

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ
ΚΑΙ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ
«Κατασκευή και Ανάλυση Χαρακτηριστικών ενός
Φορητού Power Station»



Του φοιτητή
Αναγνώστου Χρήστου
Αρ. Μητρώου: 2020259

Επιβλέπων
Ονοματεπώνυμο Γιακουμής Άγγελος
Βαθμίδα Επίκουρος Καθηγητής

Ημερομηνία Μάιος 2026

Τίτλος Δ.Ε. Κατασκευή και Ανάλυση Χαρακτηριστικών ενός Φορητού Power Station

Κωδικός Δ.Ε. 25274

Ονοματεπώνυμο φοιτητή Αναγνώστου Χρήστος

Ονοματεπώνυμο εισηγητή Γιακουμής Άγγελος

Ημερομηνία ανάληψης Δ.Ε. 24-06-2025

Ημερομηνία περάτωσης Δ.Ε. Μάιος 2026

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

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

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

«Αφιέρωση»

Πρόλογος

Σε όλους μας έχει τύχει σε διακοπή ρεύματος να χρειαζόμαστε επείγοντως να χρησιμοποιήσουμε κάποια ηλεκτρική συσκευή ή να πάμε σε κάποιο υπαίθριο χώρο και να χρειαζόμαστε ρεύμα. Η κατασκευή ενός φορητού ηλιακού Power Station με προσιτό κόστος μπορεί να μας δώσει λύσεις, εκμεταλλευόμενοι την δωρεάν ηλεκτρική ενέργεια από τον ήλιο.

Περίληψη

Η συγκεκριμένη διπλωματική περιγράφει την κατασκευή ενός φορητού Power Station. Αρχικά γίνεται μία θεωρητική ανάλυση του πλαισίου που διέπει τα συστήματα των φωτοβολταϊκών. Στο πρώτο κεφάλαιο αναλύονται τα χαρακτηριστικά των φωτοβολταϊκών πλαισίων και περιγράφεται η επίδραση της ηλιοφάνειας και της θερμοκρασίας του περιβάλλοντος. Ακολουθεί στο δεύτερο κεφάλαιο η παρουσίαση των ειδών μπαταριών και η περιγραφή των τεχνικών χαρακτηριστικών τους. Στο τρίτο κεφάλαιο αναλύονται τα είδη των ρυθμιστών φόρτισης, τα χαρακτηριστικά τους καθώς και τα κριτήρια επιλογής τους. Στο επόμενο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα είδη των αντιστροφέων και περιγράφονται τα χαρακτηριστικά λειτουργίας τους. Ακολουθεί στο πέμπτο κεφάλαιο η περιγραφή των συστημάτων διαχείρισης ενέργειας BMS και EMS. Στο έκτο κεφάλαιο περιγράφονται τα βήματα της κατασκευής καθώς και διάφορες μετρήσεις του Power Station και τέλος στο έβδομο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα συμπεράσματα και προτάσεις βελτίωσης.

«Construction and Characteristic Analysis of a Portable Power Station »

«Anagnostou Christos»

Abstract

This paper describes the construction of a portable Power Station. Initially, a theoretical analysis of the framework governing photovoltaic systems is carried out. In the first chapter, the characteristics of photovoltaic panels are analyzed and the effect of sunlight and ambient temperature is described. The second chapter presents the types of batteries and describes their technical characteristics. The third chapter analyzes the types of charge regulators, their characteristics and their selection criteria. The next chapter presents the types of inverters and describes their operating characteristics. The fifth chapter describes the energy management systems BMS and EMS. In the sixth chapter, the steps of the construction and some measurements of the Power Station are described and finally, in the seventh chapter, the conclusions and suggestions for improvement are presented.

Ευχαριστίες

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τους συναδέλφους και φίλους μου Λιάμπα Νικόλαο, Κατσιόλα Στέργιο, Θεολόγου Μιλτιάδη, Σασόπουλο Δημήτριο, Τσιόγκα Παναγιώτη, Κορωνάκη Μιχάλη, Σίγκα Κυριάκο και Αμοιρίδη Γιώργο για τις ιδέες που μου έδωσαν μέσα από τις προσωπικές μας συζητήσεις κατά την περίοδο ανάλυσης του θέματος καθώς και για τον εξοπλισμό που μου παρείχαν όποτε χρειάστηκε.

Περιεχόμενα

Πρόλογος.....	v
Περίληψη.....	vi
Abstract	vii
Ευχαριστίες	viii
Περιεχόμενα	ix
Κατάλογος Εικόνων	xi
Κατάλογος Πινάκων.....	xiii
Συντομογραφίες.....	xiv
Κεφάλαιο 1ο: Φωτοβολταϊκά Πλαίσια.....	1
1.1 Εισαγωγή.....	1
1.2 Επαφή p-n.....	1
1.3 Το Φωτοβολταϊκό Φαινόμενο	2
1.4 Φωτοβολταϊκή Κυψέλη.....	2
1.5 Χαρακτηριστική Καμπύλη V-I Φωτοβολταϊκού Πλαισίου.....	4
1.6 Μεταβολή Χαρακτηριστικής καμπύλης V - I λόγω θερμοκρασίας και ακτινοβολίας.....	4
1.7 Ενδεικτική Ταμπέλα Φωτοβολταϊκού Πλαισίου	5
1.8 Κατηγορίες Φωτοβολταϊκών Πλαισίων	7
1.8.1 Μονοκρυσταλλικά Πλαίσια	7
1.8.2 Πολυκρυσταλλικά Πλαίσια	7
1.8.3 Πάνελ Λεπτών Υμενίων	7
Κεφάλαιο 2ο: Μπαταρίες	8
2.1 Εισαγωγή.....	8
2.2 Είδη Μπαταριών.....	8
2.2.1 Μολύβδου-Οξέως.....	8
2.2.2 LifePO4	10
2.2.3 Νικελίου Καδμίου(Ni-Cd).....	10
2.3 Χαρακτηριστικά μπαταριών.....	10
2.4 Συνδεσμολογία Μπαταριών	13
Κεφάλαιο 3ο: Ρυθμιστές Φόρτισης	14
3.1 Εισαγωγή.....	14
3.2 Είδη Ρυθμιστών Φόρτισης.....	14
3.3 Στάδια Φόρτισης Ρυθμιστών Φόρτισης.....	15

3.4	Τεχνικά Χαρακτηριστικά Ρυθμιστών Φόρτισης	16
3.5	Επιλογή ρυθμιστή Φόρτισης	19
Κεφάλαιο 4ο: Αντιστροφείς		22
4.1	Εισαγωγή	22
4.2	Τρόπος Λειτουργίας	22
4.3	Είδη Αντιστροφών	23
4.4	Χαρακτηριστικά Αντιστροφών	23
Κεφάλαιο 5ο: Συστήματα Διαχείρισης Ενέργειας		27
5.1	Εισαγωγή	27
5.2	Battery Management System (BMS)	27
5.3	Σύστημα Διαχείρισης Ενέργειας(EMS)	31
Κεφάλαιο 6ο: Κατασκευή του Power station		32
6.1	Εισαγωγή	32
6.2	Βασική Συνδεσμολογία	32
6.3	Σχεδιασμός του Συστήματος	33
6.4	Επιλογή Υλικών	42
6.5	Στάδια Κατασκευής Power Station	71
6.6	Μετρήσεις Power Station	75
6.6.1	Μέτρηση Βαθμού Απόδοσης Αντιστροφέα	75
6.6.2	Μέτρηση Ιδιοκατανάλωσης Αντιστροφέα	83
6.6.3	Υπολογισμός Συντελεστής Ολικής Αρμονικής Παραμόρφωσης	84
6.6.4	Υπολογισμός Εσωτερικής Αντίστασης Μπαταρίας	85
6.6.5	Υπολογισμός Καμπυλών Εκφόρτισης Μπαταρίας	85
6.6.6	Μέτρηση Βαθμού Απόδοσης Ρυθμιστή Φόρτισης	88
Κεφάλαιο 7ο: Συμπεράσματα και προτάσεις βελτίωσης		91
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ		92

Κατάλογος Εικόνων

Εικόνα 1.1 Επαφή p-n [4].....	1
Εικόνα 1.2 Το φωτοβολταϊκό φαινόμενο [5]	2
Εικόνα 1.3 Μέρη φωτοβολταϊκού πλαισίου [7]	2
Εικόνα 1.4 Κυψέλη, πλαίσιο, πάνελ, πίνακες [8].....	3
Εικόνα 1.5 Ισοδύναμο κύκλωμα φωτοβολταϊκής κυψέλης [8]	3
Εικόνα 1.6 Χαρακτηριστική καμπύλη V - I ενός φωτοβολταϊκού πλαισίου [4].....	4
Εικόνα 1.7 Μεταβολή χαρακτηριστικής καμπύλης V - I λόγω ακτινοβολίας [8].....	4
Εικόνα 1.8 Μεταβολή χαρακτηριστικής καμπύλης V - I λόγω θερμοκρασίας [8]	5
Εικόνα 3.1 Στάδια φόρτισης μπαταριών LifePO4 και Μολύβδου-Οξέως [25].....	16
Εικόνα 3.2 Τεχνικά χαρακτηριστικά ρυθμιστών φόρτισης MPPT 150/60 και MPPT 150/70.....	16
Εικόνα 3.3 Χαρακτηριστικά φωτοβολταϊκού πλαισίου	19
Εικόνα 3.4 Χαρακτηριστικά SmartSolarChargeController.....	20
Εικόνα 3.5 Μέγιστο ρεύμα ρυθμιστή φόρτισης	21
Εικόνα 3.6 Μέγιστη ισχύς φωτοβολταϊκών στην είσοδο του ρυθμιστή φόρτισης.....	21
Εικόνα 3.7 Μέγιστη τάση φωτοβολταϊκών στην είσοδο του ρυθμιστή φόρτισης	21
Εικόνα 4.1 Χαρακτηριστικά αντιστροφών	26
Εικόνα 5.1 Αρχιτεκτονική ενός BMS [30].....	27
Εικόνα 5.2 Μέθοδοι υπολογισμού SoC [30].....	29
Εικόνα 6.1 Βασική συνδεσμολογία Power Station	33
Εικόνα 6.2 Τεχνικά χαρακτηριστικά της σειράς SmartSolarCharge.....	35
Εικόνα 6.3 Ασφάλεια μεταξύ αντιστροφέα και μπαταρίας.....	37
Εικόνα 6.4 Ασφάλεια μεταξύ αντιστροφέα και πρίζας εξόδου.....	39
Εικόνα 6.5 Ασφαλειοθήκη με ασφάλεια 16 A	40
Εικόνα 6.6 Ασφάλεια μεταξύ ρυθμιστή φόρτισης και μπαταρίας.....	40
Εικόνα 6.7 Ασφάλεια ρυθμιστή φόρτισης.....	41
Εικόνα 6.8 Bluetti PV120.....	42
Εικόνα 6.9 Μπαταρία LifePO4 Time USB	43
Εικόνα 6.10 Κύκλος φόρτισης LifePO4 και AGM	44
Εικόνα 6.11 Ενδεικτικό μπαταρίας	45
Εικόνα 6.12 Επιλογή τάσης ή θερμοκρασίας.....	45
Εικόνα 6.13 Menu 1	46
Εικόνα 6.14 Menu 2	46
Εικόνα 6.15 Menu 3	47
Εικόνα 6.16 Menu 4	47
Εικόνα 6.17 Menu 5	48
Εικόνα 6.18 Menu 6	48
Εικόνα 6.19 Menu 7	49
Εικόνα 6.20 Ένδειξη χωρητικότητας μπαταρίας.....	49
Εικόνα 6.21 Φόρτιση μπαταρίας.....	50
Εικόνα 6.22 Αντιστροφέας IPT 500-12	50
Εικόνα 6.23 Θύρες αντιστροφέα	52
Εικόνα 6.24 Ασύρματη και ενσύρματη επικοινωνία.....	53
Εικόνα 6.25 Εφαρμογή Solar Guardian	54
Εικόνα 6.26 Βήμα 1.....	55

Εικόνα 6.27 Επιλογή Local Connection.....	55
Εικόνα 6.28 Προσθήκη συσκευής.....	56
Εικόνα 6.29 Επιλογή ασύρματης συσκευής Bluetooth	56
Εικόνα 6.30 Προσθήκη συσκευής.....	57
Εικόνα 6.31 Εμφάνιση συσκευών της εφαρμογής	57
Εικόνα 6.32 Device Overview	58
Εικόνα 6.33 Basic Parameter Settings.....	58
Εικόνα 6.34 Control Parameter	59
Εικόνα 6.35 Device Parameter Settings	59
Εικόνα 6.36 Real-Time Data	60
Εικόνα 6.37 Battery Status	61
Εικόνα 6.38 Battery Voltage	61
Εικόνα 6.39 Θερμοστάτης XH-W3001 και ανεμιστήρας Tidar RQD4010-HSL1.....	62
Εικόνα 6.40 XH-W3001.....	63
Εικόνα 6.41 Συνδεσμολογία XH-W3001.....	63
Εικόνα 6.42 SmartSolar charge controller MPPT 75 15	64
Εικόνα 6.43 Device List Victron Connect.....	65
Εικόνα 6.44 Status.....	66
Εικόνα 6.45 History.....	67
Εικόνα 6.46 Trends	67
Εικόνα 6.47 Επιλογή μεγεθών απεικόνισης.....	68
Εικόνα 6.48 Μενού ρυθμίσεων	68
Εικόνα 6.49 Ρυθμίσεις μπαταρίας.....	69
Εικόνα 6.50 Ρυθμίσεις μπαταρίας Expert Mode	70
Εικόνα 6.51 Όψη πίσω	71
Εικόνα 6.52 Όψη δεξιά.....	71
Εικόνα 6.53 Όψη αριστερά	72
Εικόνα 6.54 Εσωτερικό.....	72
Εικόνα 6.55 Πολυγραμμικό σχέδιο συνδεσμολογίας Power Station	73
Εικόνα 6.56 Μονογραμμικό σχέδιο συνδεσμολογίας Power Station.....	74
Εικόνα 6.57 Πειραματική διάταξη μέτρησης βαθμού απόδοσης	75
Εικόνα 6.58 Μετρήσεις από την εφαρμογή	76
Εικόνα 6.59 Μέτρηση ρεύματος και τάσης αντιστροφέα χωρίς φορτίο	83
Εικόνα 6.60 Ανάλυση FFT αντιστροφέα	84
Εικόνα 6.61 Καμπύλη τάσης και SOC	87
Εικόνα 6.62 Καμπύλη τάσης και χρόνου	87
Εικόνα 6.63 Καμπύλη SOC και χρόνου	88
Εικόνα 6.64 Μετρήσεις μέσω εφαρμογής Victron Connect	89

Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 1.1 Χαρακτηριστικά ενός φωτοβολταϊκού πλαισίου	5
Πίνακας 2.1 Σύγκριση χαρακτηριστικών AGM και GEL [14-17]	9
Πίνακας 2.2 Ονομαστικές και τάσεις φόρτισης στοιχείου ανά είδος μπαταρίας [14], [16], [19]	11
Πίνακας 3.1 Σύγκριση χαρακτηριστικών PWM και MPPT [21-23]	15
Πίνακας 5.1 Μέθοδοι υπολογισμού SoH [32]	30
Πίνακας 5.2 Μέθοδοι υπολογισμού SoE [32]	30
Πίνακας 6.1 Μέγιστα επιτρεπόμενα ρεύματα σε A	36
Πίνακας 6.2 Συντελεστές διόρθωσης για θερμοκρασία περιβάλλοντος διαφορετική των 30 °C	37
Πίνακας 6.3 Διατομές καλωδίων και ρεύματα στους 40 °C	38
Πίνακας 6.4 Διατομές καλωδίων και ρεύματα στους 40 °C	39
Πίνακας 6.5 Διατομές καλωδίων και ρεύματα στους 40 °C	41
Πίνακας 6.6 Χαρακτηριστικά Bluetti PV120	42
Πίνακας 6.7 Χαρακτηριστικά μπαταρίας	43
Πίνακας 6.8 Εκτίμηση SOC βάση τάσης	44
Πίνακας 6.9 Χαρακτηριστικά αντιστροφέα IPT 500-12	51
Πίνακας 6.10 Ένδειξη βλάβης	53
Πίνακας 6.11 Προϋποθέσεις εκκίνησης και διακοπής λειτουργίας ανεμιστήρων	54
Πίνακας 6.12 Χαρακτηριστικά MPPT 75/15	65
Πίνακας 6.13 Μετρήσεις και υπολογισμός βαθμού απόδοσης	82
Πίνακας 6.14 Μετρήσεις τάσης και SOC κατά την εκφόρτιση της μπαταρίας	85
Πίνακας 6.15 Βαθμός απόδοσης ρυθμιστή φόρτισης	90

Συντομογραφίες

Δ.Ε.	Διπλωματική Εργασία
ΔΠΑΕ	Διεθνές Πανεπιστήμιο Ελλάδος
Π.Ε.	Πτυχιακή Εργασία
ΑΠΕ	Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας

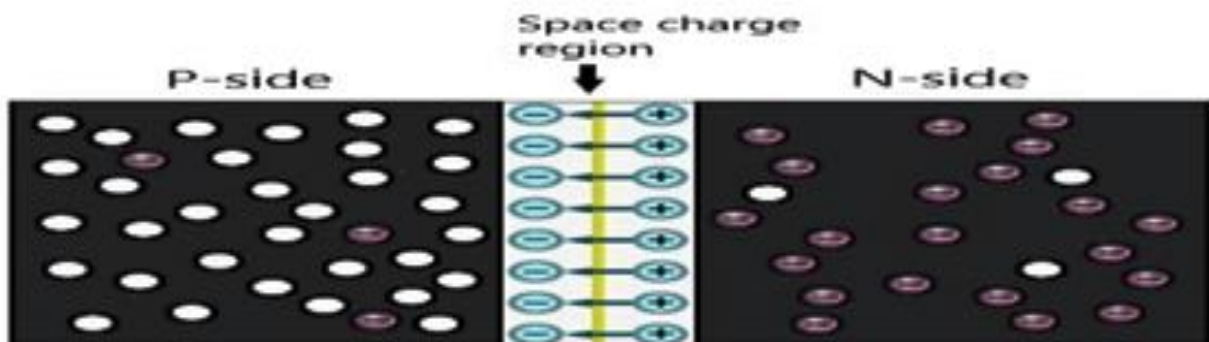
Κεφάλαιο 1ο: Φωτοβολταϊκά Πλαίσια

1.1 Εισαγωγή

Το πρώτο βήμα για την εξέλιξη της τεχνολογίας των φωτοβολταϊκών έγινε από τον Γάλλο φυσικό Alexandre Edmond Becquerel το 1839 με την ανακάλυψη του φωτοβολταϊκού φαινομένου [1]. Το 1939 κατασκευάστηκε το πρώτο φωτοβολταϊκό από σελήνιο με απόδοση 1% [1]. Το 1954 επιστήμονες της Bell Labs δημιούργησαν το πρώτο πρακτικό φωτοβολταϊκό κύτταρο πυριτίου, με σχηματισμό επαφής p-n με διάχυση και απόδοση που έφτανε έως το 6%. Αυτό αποτέλεσε την αφετηρία για πιο γενικευμένη χρήση των φωτοβολταϊκών [2]. Κατά τη διάρκεια της δεκαετίας του 1960, έγινε χρήση φωτοβολταϊκών από τη NASA για την ηλεκτροδότηση δορυφόρων, γεγονός που αποτέλεσε την πρώτη ευρεία εφαρμογή της τεχνολογίας αυτής [2]. Στη δεκαετία του 1970, η ενεργειακή κρίση αύξησε το ενδιαφέρον για τις ανανεώσιμες πηγές, οδηγώντας στην ανάπτυξη πιο αποδοτικών και φθηνότερων ηλιακών κυττάρων [1]. Από το 2000 και έπειτα, η παγκόσμια κοινότητα έβαλε ως στόχο την μείωση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων από την χρήση ρυπογόνων καυσίμων. Έτσι σε πολλές χώρες προωθούνται πολιτικές ώστε τα φωτοβολταϊκά να γίνουν βασικός πυλώνας της παγκόσμιας ενεργειακής μετάβασης [1], [3]. Στις μέρες μας η τεχνολογία αυτή έχει εξελιχθεί πολύ με νέες μορφές κυψελών καθιστώντας τα φωτοβολταϊκά πιο αποδοτικά και οικονομικά για ευρεία χρήση [1 - 2].

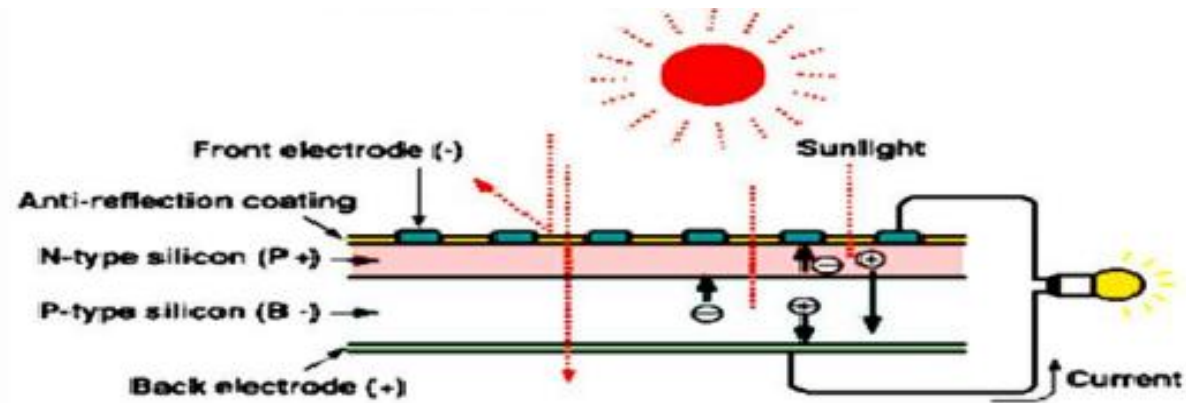
1.2 Επαφή p-n

Οι επαφές p-n είναι η βασική δομή πολλών ημιαγωγικών διατάξεων, όπως οι δίοδοι, τα τρανζίστορ και τα φωτοβολταϊκά στοιχεία [1], [4]. Προκύπτουν όταν ενώσουμε έναν ημιαγωγό τύπου p, με πλεόνασμα οπών, με έναν ημιαγωγό τύπου n με πλεόνασμα ηλεκτρονίων [4]. Στη ζώνη επαφής, λόγω διάχυσης, ηλεκτρόνια από την περιοχή n μετακινούνται προς την περιοχή p και ενώνονται με οπές, ενώ οπές από την περιοχή p κινούνται προς την περιοχή n και ενώνονται με ηλεκτρόνια. Αυτή η ανταλλαγή δημιουργεί μια περιοχή απογύμνωσης (depletion region), όπου δεν υπάρχουν ελεύθεροι φορείς, αλλά μόνο ακίνητα ιόντα [1], [4]. Η περιοχή αυτή λειτουργεί ως φράγμα δυναμικού, το οποίο εμποδίζει την περαιτέρω κίνηση φορέων χωρίς εξωτερική τάση [4]. Όταν εφαρμόζεται ορθή πόλωση, δηλαδή θετικό δυναμικό στο άκρο p και αρνητικό στο άκρο n, το φράγμα μειώνεται και επιτρέπεται η ροή ρεύματος [1]. Σε ανάστροφη πόλωση, το φράγμα αυξάνεται και το ρεύμα περιορίζεται σημαντικά, εκτός από ένα μικρό ρεύμα διαρροής [4]. Αυτή η ιδιότητα ανορθώσεως καθιστά τις επαφές p-n θεμελιώδεις για τη λειτουργία πλήθους εφαρμογών, όπως την μετατροπή του εναλλασσόμενου ρεύματος σε συνεχές και την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από την ηλιακή ακτινοβολία.



Εικόνα 1.1 Επαφή p-n [4]

1.3 Το Φωτοβολταϊκό Φαινόμενο

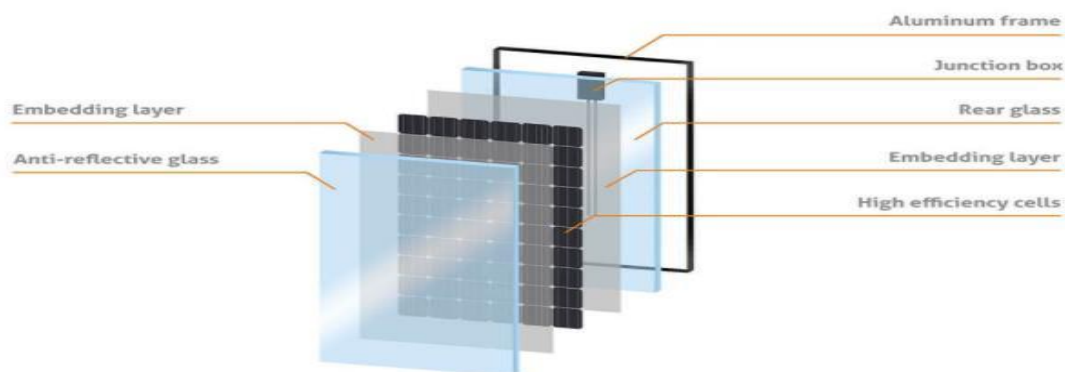


Εικόνα 1.2 Το φωτοβολταϊκό φαινόμενο [5]

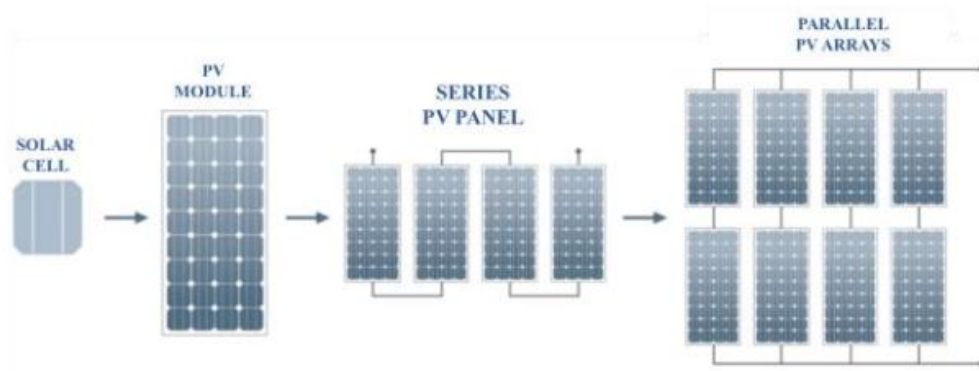
Ο Becquerel πρώτος παρατήρησε ότι είναι δυνατόν η ηλιακή ενέργεια να μετατραπεί σε ηλεκτρική και έτσι προέκυψε το φωτοβολταϊκό φαινόμενο. Το φωτοβολταϊκό φαινόμενο είναι μια διαδικασία κατά την οποία παράγεται τάση ή ηλεκτρικό ρεύμα σε ένα φωτοβολταϊκό κύτταρο όταν εκτίθεται σε ηλιακή ακτινοβολία [1], [5]. Τα ηλιακά κύτταρα αποτελούνται από δύο είδη ημιαγωγών, έναν τύπου p και έναν τύπου n, οι οποίοι ενώνονται και σχηματίζουν μια επαφή p-n [4]. Ένας από αυτούς τοποθετείται στη κορυφή του φωτοβολταϊκού, όπου προσπίπτει η ηλιακή ακτινοβολία. Καθώς η ηλιακή ακτινοβολία προσπίπτει στα φωτοβολταϊκά πλαίσια απορροφάται η ενέργεια των φωτονίων από τα ηλεκτρόνια του υλικού, με αποτέλεσμα κάποια να μεταπηδήσουν στην υψηλότερη ενεργειακή κατάσταση (ζώνη αγωγιμότητας). Αυτό έχει ως αποτέλεσμα τη δημιουργία αντίστοιχου αριθμού οπών στη ζώνη σθένους. Ο σκοπός είναι να δημιουργηθεί στα άκρα της επαφής p-n ηλεκτρική τάση [1], [4].

1.4 Φωτοβολταϊκή Κυψέλη

Η φωτοβολταϊκή κυψέλη αποτελεί την ελάχιστη δομική μονάδα για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από την φωτεινή ακτινοβολία. Οι πιο συνηθισμένες φωτοβολταϊκές κυψέλες αποτελούνται από διόδους επαφής p-n. Όταν δέχεται ηλιακή ακτινοβολία παράγει ηλεκτρική ενέργεια. Μία κυψέλη υπό ιδανικές συνθήκες παράγει ισχύ περίπου 1.5 Watt με τάση στα 0,5 Volt [6]. Οι κυψέλες μπορούν να συνδεθούν μεταξύ τους είτε σε σειρά είτε παράλληλα σχηματίζοντας τα φωτοβολταϊκά πλαίσια. Τα πλαίσια τοποθετούνται σε πλαστικό για την προστασία τους από αντίξοες καιρικές συνθήκες και αποτελούνται από επεξεργασμένους δίσκους πυριτίου όπως φαίνεται στην Εικόνα 1.3.



Εικόνα 1.3 Μέρη φωτοβολταϊκού πλαισίου [7]



Εικόνα 1.4 Κυψέλη, πλαίσιο, πάνελ, πίνακες [8]

Η πάνω μεριά του πλαισίου από την άλλη προστατεύεται από ανθεκτικό γυαλί. Όταν συνδέονται σε σειρά αυξάνεται η συνολική τάση ενώ όταν συνδέονται παράλληλα αυξάνεται η συνολική ένταση του ρεύματος. Τα πλαίσια επίσης μπορούν να συνδέονται είτε σε σειρά είτε παράλληλα σχηματίζοντας τις φωτοβολταϊκές συστοιχίες όπως φαίνεται στην Εικόνα 1.4.

Ισοδύναμο Κύκλωμα φωτοβολταϊκής Κυψέλης

Στην Εικόνα 1.5 φαίνεται το ισοδύναμο κύκλωμα μια φωτοβολταϊκής κυψέλης. Το ισοδύναμο ηλεκτρικό κύκλωμα μίας φωτοβολταϊκής κυψέλης περιλαμβάνει μια πηγή σταθερού ρεύματος παράλληλα με μια ιδανική διόδο. Η πηγή έντασης παράγει το φωτόρευμα I_{ph} , η ένταση του οποίου είναι ανάλογη με την ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας. Παράλληλα στα άκρα της διόδου συνδέεται η αντίσταση απωλειών διαρροής του ρεύματος μεταξύ των άκρων του φωτοβολταϊκού στοιχείου και σε σειρά με την παράλληλη συνδεσμολογία η αντίσταση απωλειών στο δρόμο ροής του ρεύματος της διόδου [4], [8].

Το ρεύμα εξόδου I_s δίνεται από την σχέση 1.1.

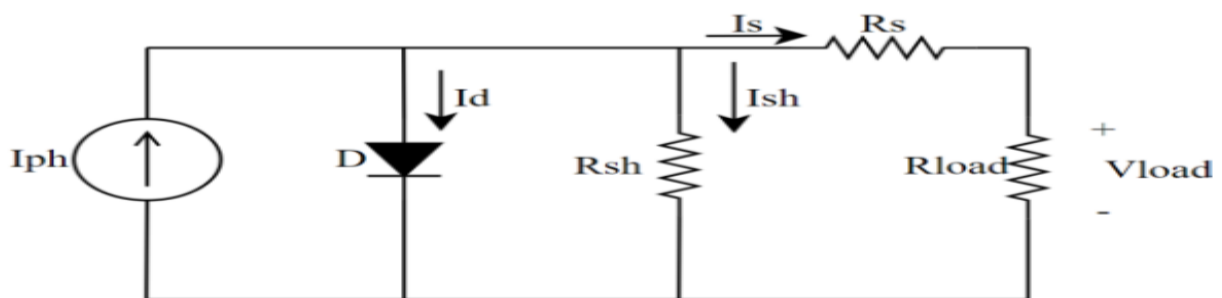
$$I_s = I_{ph} - I_{sh} - I_d \quad (1.1)$$

Όπου:

I_{ph} : Ρεύμα που παράγεται από την ηλιακή κυψέλη

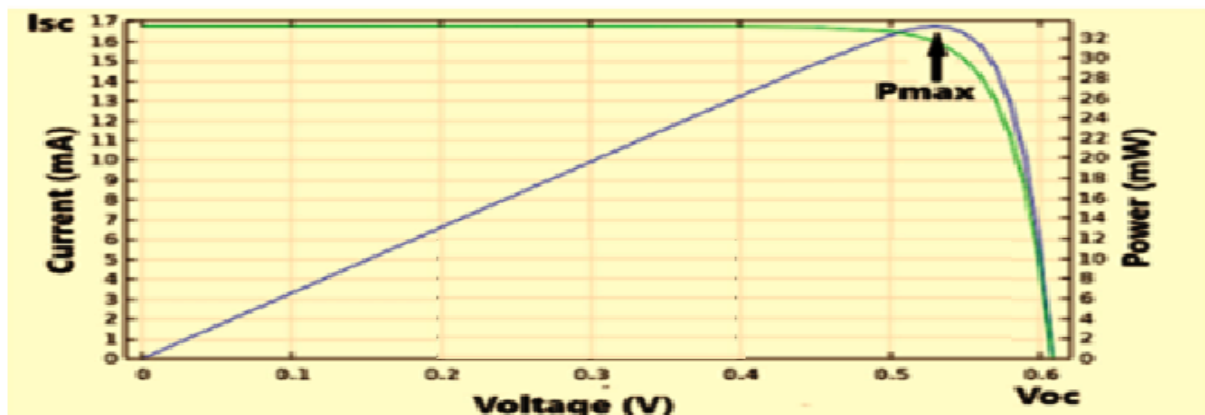
I_{sh} : Ρεύμα κορεσμού

I_d : Ρεύμα παράλληλης αντίστασης R_s



Εικόνα 1.5 Ισοδύναμο κύκλωμα φωτοβολταϊκής κυψέλης [8]

1.5 Χαρακτηριστική Καμπύλη V-I Φωτοβολταϊκού Πλαισίου



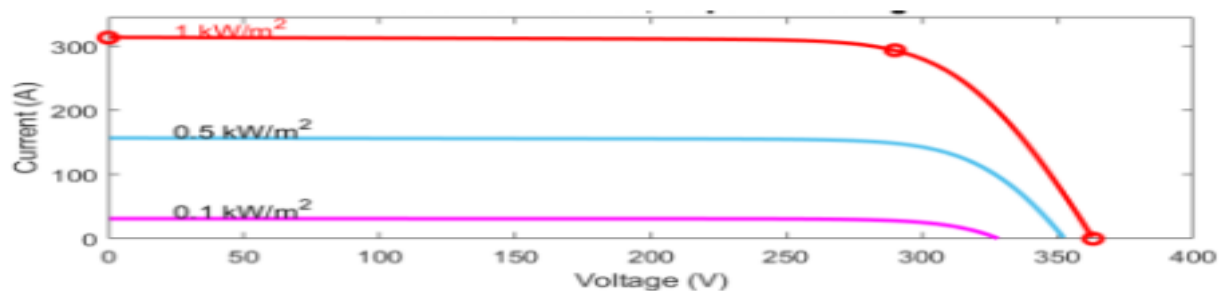
Εικόνα 1.6 Χαρακτηριστική καμπύλη V - I ενός φωτοβολταϊκού πλαισίου [4]

Στην Εικόνα 1.6 απεικονίζεται η χαρακτηριστική καμπύλη V - I ενός φωτοβολταϊκού πλαισίου. Το σημείο στο οποίο η τάση γίνεται μέγιστη είναι η τάση ανοιχτού κυκλώματος (V_{oc}), δηλαδή η τάση όταν δεν υπάρχει τίποτα συνδεδεμένο στα άκρα του πλαισίου. Το σημείο μέγιστης έντασης ρεύματος είναι το μέγιστο ρεύμα που μπορεί να δώσει το πλαίσιο και το ρεύμα αυτό καλείται ρεύμα βραχυκύκλωσης (I_{sc}). Το ρεύμα βραχυκυκλώματος μειώνεται ελαφρώς μέχρι να φτάσει σε μια γωνία και από εκείνο το σημείο και μετά μειώνεται απότομα μέχρι να φτάσει το μηδέν όσο αυξάνεται η τάση του.

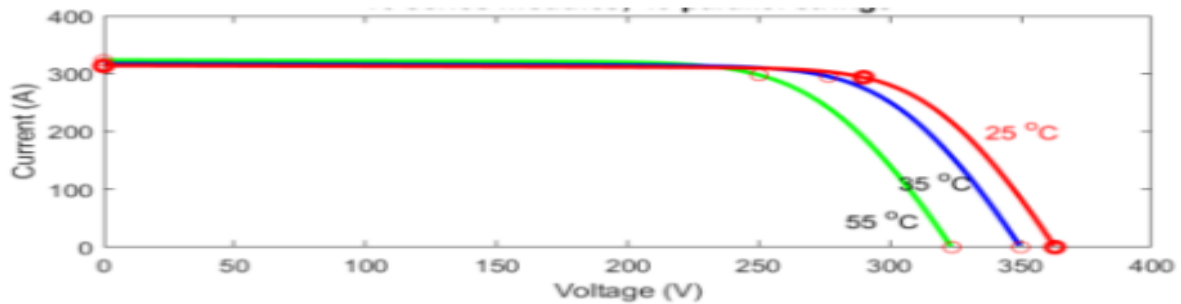
1.6 Μεταβολή Χαρακτηριστικής καμπύλης V - I λόγω θερμοκρασίας και ακτινοβολίας

Η μείωση της ακτινοβολίας προκαλεί μείωση και του ρεύματος που παράγει το πάνελ ενώ η τάση μειώνεται σε μικρότερο βαθμό [8]. Από την άλλη όταν υπάρχει αύξηση της ακτινοβολίας αυξάνεται το ρεύμα που δίνει το πάνελ ενώ η τάση αυξάνεται σε μικρότερο βαθμό. Η Εικόνα 1.7 δείχνει τις μεταβολές της τάση και της έντασης του ρεύματος σε συνάρτηση με την μεταβολή της ακτινοβολίας.

Η μείωση της θερμοκρασίας προκαλεί αύξηση της τάσης που παράγει το πάνελ ενώ η ένταση του ρεύματος παραμένει σχεδόν σταθερή [8]. Από την άλλη όταν υπάρχει αύξηση της θερμοκρασίας μειώνεται η τάση που δίνει το πάνελ ενώ η ένταση του ρεύματος παραμένει σχεδόν σταθερή. Η Εικόνα 1.8 δείχνει τις μεταβολές της τάση και της έντασης του ρεύματος σε συνάρτηση με την μεταβολή της θερμοκρασίας.



Εικόνα 1.7 Μεταβολή χαρακτηριστικής καμπύλης V - I λόγω ακτινοβολίας [8]



Εικόνα 1.8 Μεταβολή χαρακτηριστικής καμπύλης V - I λόγω θερμοκρασίας [8]

1.7 Ενδεικτική Ταμπέλα Φωτοβολταϊκού Πλαισίου

Ανάλυση των Χαρακτηριστικών

Ο Πίνακας 1.1 δείχνει τα τυπικά χαρακτηριστικά ενός φωτοβολταϊκού πλαισίου.

STC – Ονομαστικές Συνθήκες Μέτρησης

Με τον όρο STC(standard testing conditions) αναφερόμαστε στις πρότυπες συνθήκες ελέγχου. Οι STC χρησιμοποιούνται για τη σύγκριση πάνελ μεταξύ τους. Τα χαρακτηριστικά του ενδεικτικού πάνελ υπολογίστηκαν σε συνθήκες ηλιακής ακτινοβολίας 1000 W/m^2 , θερμοκρασίας κυψέλης 25°C και Φασματικής κατανομής AM 1,5.

Τάση Ανοικτού κυκλώματος (V_{oc})

Είναι η τάση που έχει το πλαίσιο στην έξοδο του όταν το κύκλωμα είναι ανοιχτό, δηλαδή δεν συνδέεται κάποιο φορτίο. Στο παράδειγμα μας αντιστοιχεί στην τιμή $V_{oc}=41,1 \text{ V}$.

Πίνακας 1.1 Χαρακτηριστικά ενός φωτοβολταϊκού πλαισίου

Χαρακτηριστικό	Σύμβολο	Τυπική Τιμή	Μονάδα
Μέγιστη Ονομαστική Ισχύς	P_{max}	410	W
Τάση στο Σημείο Μέγιστης Ισχύος	V_{mp}	34,2	V
Ρεύμα στο Σημείο Μέγιστης Ισχύος	I_{mp}	11,99	A
Τάση Ανοικτού Κυκλώματος	V_{oc}	41,1	V
Ρεύμα Βραχυκυκλώματος	I_{sc}	12,8	A
Απόδοση	η	20,5	%
Συντελεστής Θερμοκρασίας (Ισχύος)	–	-0,35	%/ $^\circ\text{C}$
Ονομαστικές Συνθήκες Μέτρησης	STC	1000 W/m^2 , 25°C , AM1,5	–
Επιφάνεια		2	m^2

Ρεύμα Βραχυκυκλώματος(Isc)

Είναι το μέγιστο ρεύμα που μπορεί να στείλει το πλαίσιο, όταν οι ακροδέκτες του πάνελ είναι βραχυκυκλωμένοι. Δεν είναι το ρεύμα λειτουργίας. Το ρεύμα βραχυκυκλώματος χρησιμοποιείται για τον σχεδιασμό των ασφαλειών και της καλωδίωσης. Στο παράδειγμα μας αντιστοιχεί στην τιμή $I_{sc}=12,8 \text{ A}$.

Τάση στο Σημείο Μέγιστης Ισχύος(Vmp)

Η τάση που αποδίδει το πλαίσιο για να λειτουργεί στο σημείο μέγιστης απόδοσης. Είναι πάντα μικρότερη από την τάση ανοικτού κυκλώματος. Στο παράδειγμα μας αντιστοιχεί στην τιμή $V_{mp}=34,2 \text{ V}$.

Ρεύμα στο Σημείο Μέγιστης Ισχύος(Impr)

Είναι η ένταση του ρεύματος που αποδίδει το πλαίσιο όταν λειτουργεί με την τάση V_{mp} . Στο παράδειγμα μας αντιστοιχεί στην τιμή $I_{mp}=11,99 \text{ A}$.

Μέγιστη Ισχύς(Pmax)

Είναι η ισχύς σε Watt που αποδίδει το πλαίσιο σε ονομαστικές συνθήκες μέτρησης για τάση ίση με την V_{mp} και ρεύμα ίσο με το I_{mp} . Υπολογίζεται από την σχέση 1.2.

$$P_{max} = V_{mp} \times I_{mp} \quad (1.2)$$

Στο παράδειγμα μας:

$$P_{max} = V_{mp} \times I_{mp} = 34,2 \times 11,99 = 410 \text{ W}$$

Απόδοση (η)

Είναι η αναλογία της παραγόμενης ισχύος προς την εισερχόμενη ηλιακή ακτινοβολία. Υπολογίζεται από την σχέση 1.3.

$$\eta = \frac{P}{G} \quad (1.3)$$

Όπου:

P: η ισχύς που αποδίδει το πλαίσιο

G: η απορροφημένη ηλιακή ακτινοβολία

Στο παράδειγμα μας για ένα πλαίσιο ισχύος 410 W με επιφάνεια 2 m^2 σε ακτινοβολία 1000 W/m^2 προκύπτει:

$$\eta = \frac{P}{G} = \frac{410}{2 \times 1000} = 0,205 = 20,5\%$$

Συντελεστής Θερμοκρασίας

Δείχνει πόσο μειώνεται η απόδοση με κάθε βαθμό Κελσίου πάνω από τους 25°C που είναι η θερμοκρασίας αναφοράς στην οποία έγιναν οι μετρήσεις. Στο παράδειγμα μας με συντελεστή θερμοκρασίας $0,35\%/^\circ\text{C}$, στους 45°C θα έχουμε απώλειες $(45-25) \times 0,35\% = 7\%$. Δηλαδή η μέγιστη ισχύς του πλαισίου στους 45°C θα είναι $0,93 \times 410 = 381,3 \text{ W}$.

1.8 Κατηγορίες Φωτοβολταϊκών Πλαισίων

Στην αγορά κυκλοφορούν πολλές κατηγορίες φωτοβολταϊκών πλαισίων, κάθε μια από της οποίες έχει συγκεκριμένα χαρακτηριστικά καθώς και πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα. Οι βασικότερες κατηγορίες φωτοβολταϊκών πλαισίων είναι τα μονοκρυσταλλικά πλαίσια, τα πολυκρυσταλλικά πλαίσια και τα πλαίσια υμενίων. Παρακάτω θα γίνει μια ανάλυση των χαρακτηριστικών καθώς και των πλεονεκτημάτων και μειονεκτημάτων της κάθε κατηγορίας.

1.8.1 Μονοκρυσταλλικά Πλαίσια

Αυτά τα πλαίσια κατασκευάζονται από ένα ενιαίο κρύσταλλο πυριτίου και έχουν σκούρο χρώμα με στρογγυλοποιημένες άκρες. Αυτή η δομή επιτρέπει στα ηλεκτρόνια να κινούνται πιο εύκολα προσφέροντας υψηλή απόδοση που αγγίζει έως και 20% [1], [4]. Επίσης προσφέρουν αξιοπιστία, σταθερότητα, έχουν μεγάλη διάρκεια ζωής και η απόδοσή του μειώνεται ελάχιστα με την πάροδο του χρόνου. Τα μονοκρυσταλλικά πλαίσια προσφέρουν μεγάλη ισχύ εξόδου και καταλαμβάνουν λιγότερο χώρο σε σχέση με άλλες κατηγορίες για τις ίδιες ανάγκες ισχύος στην εγκατάσταση. Τέλος επηρεάζονται λιγότερο από τις υψηλές θερμοκρασίες σε σχέση με άλλα φωτοβολταϊκά πάνελ. Στα μειονεκτήματα περιλαμβάνεται το υψηλότερο κόστος παραγωγής λόγω της σύνθετης διαδικασίας κατασκευής τους και το γεγονός ότι η απόδοση μειώνεται ελαφρώς σε πολύ υψηλές θερμοκρασίες, αλλά λιγότερο σε σχέση με τα πολυκρυσταλλικά πάνελ [4], [9]. Συνολικά, τα μονοκρυσταλλικά πάνελ είναι ιδανικά για εγκαταστάσεις όπου ο χώρος είναι περιορισμένος και απαιτείται η μέγιστη δυνατή ενεργειακή απόδοση παρά το υψηλότερο αρχικό κόστος [4], [10].

1.8.2 Πολυκρυσταλλικά Πλαίσια

Κατασκευάζονται από λιωμένο πυρίτιο που ψύχεται και στερεοποιείται σε πολλούς κρυστάλλους. Έχουν χαρακτηριστική μπλε απόχρωση με κρυσταλλικές κοκκώδεις δομές στην επιφάνεια των κυψελών που οφείλεται στην ανισομορφία των κρυστάλλων. Έχουν χαμηλότερο κόστος αλλά και ελαφρώς μικρότερη απόδοση (15% – 18%) σε σχέση με τα μονοκρυσταλλικά [1], [4]. Η απόδοσή τους μειώνεται περισσότερο σε υψηλές θερμοκρασίες σε σχέση με τα μονοκρυσταλλικά [1], [11]. Έχουν μεγάλη διάρκεια ζωής, παρόμοια με τα μονοκρυσταλλικά, με σταθερή απόδοση. Είναι ιδανικά για εγκαταστάσεις μεγάλης κλίμακας όπως πάρκα φωτοβολταϊκών, καθώς και για οικιακή χρήση όπου ο διαθέσιμος χώρος δεν είναι περιορισμένος [4], [12].

1.8.3 Πάνελ Λεπτών Υμενίων

Αυτή η κατηγορία περιλαμβάνει τύπους όπως το άμορφο πυρίτιο (a-Si), το τελλουρίου καδμίου (CdTe) και το CIGS [1-2]. Έχουν πιο ομοιόμορφη, συνήθως σκούρα και ματ επιφάνεια. Η διαδικασία παραγωγής είναι πιο απλή και απαιτεί λιγότερο υλικό, καθιστώντας τα πιο οικονομικά [1], [4]. Έχουν χαμηλότερη απόδοση (10% – 13%), αν και τα πιο σύγχρονα πάνελ CIGS μπορούν να φτάσουν και υψηλότερα ποσοστά [4]. Υπερτερούν όμως σε ευελιξία και στο γεγονός ότι έχουν πολύ μικρό βάρος. Λειτουργούν καλύτερα σε συνθήκες χαμηλού φωτισμού ή μερικής σκίασης και διατηρούν πιο σταθερή απόδοση σε υψηλές θερμοκρασίες σε σύγκριση με τα κρυσταλλικά πάνελ [13]. Επίσης συνήθως έχουν μικρότερη διάρκεια ζωής και μεγαλύτερη πτώση απόδοσης με το χρόνο σε σχέση με τα μονοκρυσταλλικά [4]. Είναι ιδανικά για οχήματα ή φορητές συσκευές και σε κατασκευές που δεν αντέχουν πολύ βάρος.

Κεφάλαιο 2ο: Μπαταρίες

2.1 Εισαγωγή

Οι μπαταρίες αποτελούν ένα βασικό συστατικό των αυτόνομων φωτοβολταϊκών συστημάτων μιας και είναι το στοιχείο που αποθηκεύει την ενέργεια που απορροφάται από τα φωτοβολταϊκά πλαίσια και την παρέχει στο σύστημα που δεν υπάρχει παραγωγή ενέργειας. Στο κεφάλαιο αυτό θα γίνει μία παρουσίαση των διαφόρων ειδών μπαταριών και θα γίνει ανάλυση των ιδιοτήτων τους. Έπειτα ακολουθεί ανάλυση των χαρακτηριστικών των μπαταριών όπως η ονομαστική τάση, η χωρητικότητα, η απόδοση και ο ρυθμός εκφόρτισης. Στη συνέχεια θα γίνει αναφορά στους τρόπους συνδεσμολογίας των μπαταριών και πως η επιλογή της συνδεσμολογίας επηρεάζει την συνολική τάση και χωρητικότητα του συστήματος. Η κατάλληλη συνδεσμολογία των μπαταριών και η χρησιμοποίηση κατάλληλων τύπων μπαταριών βελτιώνει την απόδοση ενός φωτοβολταϊκού συστήματος.

2.2 Είδη Μπαταριών

Κάθε κατηγορία μπαταρίας έχει κάποια συγκεκριμένα χαρακτηριστικά και προορίζεται για χρήση σε συγκεκριμένες εφαρμογές. Οι πιο συνηθισμένες κατηγορίες επαναφορτιζόμενων μπαταριών είναι οι μολύβδου-οξέως, LifePO₄ και νικελίου-καδμίου. Παρακάτω αναλύονται οι ιδιότητες της κάθε κατηγορίας.

2.2.1 Μολύβδου-Οξέως

Είναι σχετικά οικονομικές με αντοχή σε μεγάλες εκφορτίσεις. Είναι βαριές, ογκώδεις, παρέχουν μικρή διάρκεια ζωής σε κύκλους και περιέχουν μόλυβδο που είναι τοξικό υλικό [14]. Διακρίνονται σε μπαταρίες ανοιχτού τύπου και κλειστού τύπου [15].

Στις μπαταρίες ανοιχτού τύπου μία διάταξη αποτελείται από μία πλάκα μολύβδου(Pb) στον αρνητικό πόλο και μία πλάκα από διοξείδιο του μολύβδου(PbO₂) στον θετικό πόλο [14-16]. Ανάμεσα τους υπάρχει διάλυμα θεικού οξέως(H₂SO₄) που λειτουργεί ως ηλεκτρολύτης, όπου μέσω χημικής αντίδρασης που πραγματοποιείται αφαιρούνται ηλεκτρόνια από την πλάκα μολύβδου και μετακινούνται στην πλάκα διοξειδίου του μολύβδου [14-15]. Με τον τρόπο αυτό δημιουργείται διαφορά δυναμικού στα άκρα της μπαταρίας. Κατά την λειτουργία τους οι μπαταρίες αυτές απελευθερώνουν αέρια. Θα πρέπει λοιπόν να υπάρχει επαρκής αερισμός στον χώρο που βρίσκονται. Κατά την πάροδο του χρόνου οι μπαταρίες αυτού του τύπου χάνουν τα υγρά τους. Για αυτό τον λόγο έχουν πώματα ώστε να ελέγχουμε τη στάθμη των υγρών ανά τακτά χρονικά διαστήματα και αν χρειάζεται, συμπληρώνουμε τα υγρά τους.

Οι μπαταρίες κλειστού τύπου χωρίζονται σε δύο κατηγορίες, τις AGM και τις GEL [17]. Η διαφορά από τις μπαταρίες ανοιχτού τύπου είναι ότι οι ακροδέκτες περιέχουν επιπλέον ασβέστιο(Ca) και ο ηλεκτρολύτης είναι σε διαφορετική μορφή. Οι μπαταρίες αυτές δεν εκπέμπουν αέρια μια και αυτά απορροφούνται και ανακυκλώνονται μέσα στην μπαταρία με την βοήθεια του ασβεστίου. Οι μπαταρίες μολύβδου δεν πρέπει να αποφορτίζονται κάτω από το 50% της χωρητικότητάς τους.

GEL

Ανήκει στην κατηγορία VRLA(Valve Regulated Lead Acid Battery). Οι μπαταρίες αυτές χρησιμοποιούν ένα παχύρευστο ηλεκτρολύτη τύπου gel(Silica Gel) που περιέχει πυρίτιο, αντί για υγρό οξύ [15]. Το πλεονέκτημα αυτών των μπαταριών είναι ότι και να σπάσει η μπαταρία το gel δεν πρόκειται να χυθεί. Έχουν μεγαλύτερη διάρκεια ζωής, ειδικά σε εφαρμογές βαθιάς εκφόρτισης και

είναι κατάλληλες για πολλαπλούς κύκλους φόρτισης. Έχουν καλύτερη συμπεριφορά τόσο σε υψηλές όσο και σε χαμηλές θερμοκρασίες σε σύγκριση με άλλες μπαταρίες μολύβδου [15], [17]. Επίσης έχουν πολύ μικρό βαθμό αποφόρτισης και δεν απαιτούν ιδιαίτερη συντήρηση. Ένα από τα μειονεκτήματά τους είναι το υψηλό κόστος σε σχέση με τις AGM. Επίσης η φόρτιση πρέπει να γίνεται σε χαμηλότερη τάση απ' ό τι στις AGM, διότι διαφορετικά δημιουργούνται κενά στο gel με επακόλουθο τη μείωση της χωρητικότητας της μπαταρίας. Αυτό απαιτεί φορτιστή με σταθερή τάση και με προστασία υπερφόρτωσης, μιας και σε μία τέτοια περίπτωση θα καταστραφεί. Τέλος δεν είναι κατάλληλες για μεγάλα ρεύματα σε σύντομο χρονικό διάστημα όπως π.χ. για την εκκίνηση της μίζας του αυτοκινήτου.

AGM

Ανήκει στην κατηγορία VRLA(Valve Regulated Lead Acid Battery). Ανάμεσα στις πλάκες υπάρχει Glass Mat μέσα στο οποίο βρίσκεται ο ηλεκτρολύτης [15]. Έτσι δεν υπάρχει κίνδυνος διαρροής από σπάσιμο της μπαταρίας. Επίσης, η απουσία υγρών στο εσωτερικό της, συντελεί στην αποφυγή παγώματος σε χαμηλές θερμοκρασίες. Γενικά οι μπαταρίες AGM έχουν καλύτερη συμπεριφορά από τις GEL σε χαμηλές θερμοκρασίες. Λόγω της πολύ μικρής εσωτερικής αντίστασης δεν υπάρχει κίνδυνος υπερθέρμανσης σε συνθήκες γρήγορης φόρτισης ή εκφόρτισης. Ένα άλλο πλεονέκτημα είναι πως με την πάροδο του χρόνου δεν μειώνεται η απόδοσή της. Τέλος έχουν μεγάλη αντοχή στους κραδασμούς και δεν απαιτούν ιδιαίτερη συντήρηση.

Πίνακας 2.1 Σύγκριση χαρακτηριστικών AGM και GEL [14-17]

ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΟ	AGM	GEL
Τύπος Ηλεκτρολύτη	Υαλοβάμβακας (Absorbed Glass Mat)	Πηκτωματοποιημένος (Gel)
Συντήρηση	Χωρίς	Χωρίς
Κυκλική Αντοχή (Deep Cycle)	Μέτρια	Πολύ καλή
Ρεύμα Εκκίνησης (CCA)	Υψηλό – κατάλληλη για μίζες	Χαμηλό – όχι κατάλληλη για εκκινήσεις
Ανοχή σε Υψηλές Θερμοκρασίες	Καλή	Πολύ καλή
Ανοχή σε Χαμηλές Θερμοκρασίες	Πολύ καλή	Μέτρια
Αντοχή σε Δονήσεις	Υψηλή	Μέτρια
Αυτοεκφόρτιση	Πολύ χαμηλή	Πολύ χαμηλή
Διάρκεια Ζωής	3–6 έτη (ανάλογα με χρήση)	4–10 έτη (σε κυκλική χρήση)
Κόστος	Μέτριο	Υψηλότερο
Ιδανική Χρήση	Εκκινήσεις, γενική χρήση	Φωτοβολταϊκά, αναπηρικά, deep cycle εφαρμογές

2.2.2 LifePO4

Οι μπαταρίες LiFePO₄(Lithium Iron Phosphate) αποτελούν μια προηγμένη τεχνολογία αποθήκευσης ενέργειας που βασίζεται στη χημεία λιθίου, σιδήρου, φωσφορικού άλατος. Σε σύγκριση με τις μπαταρίες μολύβδου οξέος ή λιθίου, οι LiFePO₄ έχουν σημαντικά πλεονεκτήματα τόσο σε απόδοση όσο και σε αντοχή [18]. Ένα από τα βασικά χαρακτηριστικά τους είναι η μεγάλη διάρκεια ζωής, καθώς μπορούν να αντέξουν πολλούς κύκλους φόρτισης/εκφόρτισης με ελάχιστη απώλεια χωρητικότητας [18-19]. Αυτό τις καθιστά ιδανικές για εφαρμογές που απαιτούν καθημερινή χρήση, όπως φωτοβολταϊκά συστήματα, τροχήσπιτα και ναυτιλία. Η χημεία LiFePO₄ είναι θερμικά και χημικά σταθερή, μειώνοντας τον κίνδυνο υπερθέρμανσης ή ανάφλεξης σε σχέση με άλλου τύπου μπαταρίες [19]. Διαθέτουν ενσωματωμένα κυκλώματα προστασίας(Battery Management System) που προστατεύουν από υπερφόρτιση και βραχυκύκλωμα [18]. Είναι πολύ ελαφρύτερες σε σχέση με ισοδύναμες μπαταρίες μολύβδου, επιτρέποντας εύκολη μεταφορά και εγκατάσταση. Επιπλέον, παρουσιάζουν μεγάλο εύρος θερμοκρασιακής λειτουργίας από -20°C έως +60°C, γεγονός που τις καθιστά κατάλληλες για λειτουργία σε ποικίλα περιβάλλοντα. Τέλος είναι φιλικές προς το περιβάλλον, καθώς δεν περιέχουν βαρέα μέταλλα καθώς είναι πλήρως ανακυκλώσιμες [18-19].

2.2.3 Νικελίου Καδμίου(Ni-Cd)

Οι μπαταρίες νικελίου-καδμίου αποτελούν μια από τις παλαιότερες και πιο αξιόπιστες επαναφορτιζόμενες τεχνολογίες αποθήκευσης ενέργειας. Το βασικό χαρακτηριστικό τους είναι η υψηλή αντοχή και αξιοπιστία τους. Μπορούν να λειτουργήσουν αποτελεσματικά σε μεγάλο εύρος θερμοκρασιών, από -40°C έως +60°C [14]. Έχουν την ικανότητα παροχής υψηλών ρευμάτων εκκίνησης, που τις κάνουν ιδανικές για χρήση σε εφαρμογές κινητήρων [14-15]. Άλλο ένα σημαντικό πλεονέκτημα είναι η χαμηλή εσωτερική αντίσταση, που επιτρέπει γρήγορη φόρτιση και αποφόρτιση και παρουσιάζουν πολύ καλή μηχανική αντοχή [14]. Έχουν μέτρια διάρκεια ζωής, που κυμαίνεται μεταξύ κάποιων εκατοντάδων κύκλων φόρτισης [14], [18].

Το βασικό τους μειονέκτημα είναι η παρουσία καδμίου, ενός τοξικού βαρέως μετάλλου που απαιτεί ειδική ανακύκλωση και χειρισμό για την προστασία του περιβάλλοντος [14]. Ένα επιπλέον μειονέκτημα είναι το φαινόμενο μνήμης. Αν δεν εκφορτίζονται πλήρως πριν τη φόρτιση, η χωρητικότητά τους μειώνεται σταδιακά. Αυτό απαιτεί σωστή χρήση και περιοδική πλήρη εκφόρτιση. Επίσης, έχουν υψηλότερο ρυθμό αυτοεκφόρτισης σε σύγκριση με άλλες τεχνολογίες, πράγμα που σημαίνει ότι χάνουν μέρος της ενέργειάς τους ακόμη και όταν δεν χρησιμοποιούνται [14-16].

2.3 Χαρακτηριστικά μπαταριών

Ανάλογα με την εφαρμογή στην οποία θέλουμε να χρησιμοποιήσουμε πρέπει να λάβουμε υπόψη κάποια χαρακτηριστικά τους. Τα πιο βασικά είναι η ονομαστική τάση και η χωρητικότητά.

Ονομαστική τάση

Η τάση μιας μπαταρίας είναι η διαφορά δυναμικού ανάμεσα στους πόλους της. Η ονομαστική τάση εξαρτάται από τη χημική σύνθεση του ενεργού υλικού. Η τελική τάση της μπαταρίας εξαρτάται από τον αριθμό και τον τρόπο σύνδεσης των συνδεδεμένων κυψελών [16]. Για παράδειγμα στις μπαταρίες μολύβδου-οξέος κάθε κυψέλη έχει τάση 2V [14], [18] ενώ στις LifePO₄ κάθε κυψέλη έχει τάση 3,2 V [19]. Στο σημείο αυτό πρέπει να τονιστεί ότι η ονομαστική τάση είναι η τάση ανοιχτού κυκλώματος της μπαταρίας. Στον Πίνακα 2.2 παρουσιάζονται οι ονομαστικές τάσεις στοιχείου ανά είδος μπαταρίας καθώς και η τάση που πρέπει να εφαρμοστεί στα άκρα του για την φόρτιση.

Πίνακας 2.2 Ονομαστικές και τάσεις φόρτισης στοιχείου ανά είδος μπαταρίας [14], [16], [19]

Τύπος Μπαταρίας	Ονομαστική Τάση (V)	Τάση Φόρτισης Μπαταρίας (V)
Μολύβδου-Οξέος	2.0	2.1
Λιθίου (Li-on)	3.6	4.2
LiFePO4	3.2	3.6
Νικελίου-Καδμίου (NiCd)	1.2	1.4
Μπαταρία GEL	2.0	2.1–2.15
Μπαταρία AGM	2.0	2.1–2.15

Όπως θα δούμε στο παρακάτω κεφάλαιο πιο αναλυτικά αν θέλουμε να δημιουργήσουμε μια μπαταρία με μεγαλύτερη τάση θα πρέπει να συνδέσουμε τα στοιχεία σε σειρά. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση της συνολικής τάσης. Ας υποθέσουμε ότι έχουμε πολλά στοιχεία μολύβδου-οξέος και θέλουμε να δημιουργήσουμε μια μπαταρία 12 V. Κάθε στοιχείο έχει ονομαστική τάση στα άκρα του 2 V [14]. Συνδέοντας έξι στοιχεία σε σειρά προκύπτει μια μπαταρία με ονομαστική τάση 12V. Επομένως η τάση φόρτισης της μπαταρίας θα πρέπει να κυμαίνεται στα 12,6 V. Για να συμβεί το ίδιο σε μια μπαταρία LifePO4 όπου το κάθε στοιχείο έχει τάση 3,2 V θα πρέπει να συνδεθούν τέσσερα στοιχεία στη σειρά και η τελική ονομαστική τάση θα είναι 12,8 V. Αντίστοιχα η τάση φόρτισης της μπαταρίας θα πρέπει να κυμαίνεται στα 14,4 V. Στο σημείο αυτό θα πρέπει να τονιστεί ότι ο ρυθμιστής φόρτισης των μπαταριών σε μια φωτοβολταϊκή εγκατάσταση θα πρέπει ρυθμιστεί στην κατάλληλη τιμή, ανάλογα με το είδος των μπαταριών που θα χρησιμοποιηθούν, για να αποφευχθεί η φθορά τους.

Χωρητικότητα

Η χωρητικότητα εκφράζει πόση ενέργεια μπορεί να αποθηκεύσει μια μπαταρία και εκφράζεται σε Ah. Η ονομαστική χωρητικότητα ενός ηλεκτροδίου υπολογίζεται από το βάρος του ενεργού υλικού του ηλεκτροδίου μέσω του νόμου Faraday [20] όπως ορίζεται από την σχέση 2.1.

$$C = \frac{w \times n \times F}{M} \quad (2.1)$$

Όπου:

C : η χωρητικότητα ενός ηλεκτροδίου [σε A·h]

w : το βάρος του ενεργού υλικού του ηλεκτροδίου

n : ο αριθμός των εναλλασσόμενων ηλεκτρονίων

F : η σταθερά του Faraday

M : η γραμμομοριακή μάζα του ενεργού υλικού

Ο χρόνος που μπορεί να τροφοδοτήσει μια μπαταρία ένα φορτίο μέχρι να αποφορτιστεί δίνεται από την σχέση 2.2.

$$t = \frac{C}{I} \quad (2.2)$$

όπου:

C : η χωρητικότητα ενός ηλεκτροδίου σε Ah

I : η ένταση του ρεύματος της μπαταρίας

t : ο χρόνος αποφόρτισης της μπαταρίας

Αν μια μπαταρία έχει χωρητικότητα 100Ah και τροφοδοτεί ένα φορτίο με ρεύμα 10A θα αποφορτιστεί σε χρόνο:

$$t = \frac{C}{I} = \frac{100}{10} = 10 \text{ ώρες}$$

Βάθος εκφόρτισης(DoD)

Το βάθος εκφόρτισης εκφράζει το ποσοστό της χωρητικότητας που μπορεί να χρησιμοποιηθεί πριν χρειαστεί επαναφόρτιση [16]. Μεγαλύτερο DoD επιτρέπει περισσότερη αξιοποίηση της χωρητικότητας. Για παράδειγμα, 50% DoD σε μια μπαταρία 100Ah σημαίνει χρήση 50Ah πριν τη φόρτιση. Οι μπαταρίες μολύβδου-οξέος έχουν περιορισμένο DoD, συνήθως 50%, ενώ οι λιθίου αντέχουν και πάνω από 80–90%.

Κύκλοι φόρτισης/εκφόρτισης(Cycle Life)

Ο αριθμός κύκλων δείχνει πόσες φορές μπορεί να φορτιστεί και να εκφορτιστεί πλήρως μια μπαταρία πριν η χωρητικότητά της πέσει, συνήθως στο 80% της αρχικής [16]. Οι μπαταρίες μολύβδου έχουν 500–1000 κύκλους, ενώ οι λιθίου μπορούν να ξεπεράσουν τους 3000–5000 [14]. Ο κύκλος ζωής επηρεάζεται από το βάθος εκφόρτισης, τη θερμοκρασία και τον τρόπο φόρτισης. Περισσότεροι κύκλοι σημαίνουν μεγαλύτερη διάρκεια ζωής της μπαταρίας.

Ρεύμα βραχυκυκλώσεως

Είναι το μέγιστο ρεύμα που μπορεί να περάσει από την μπαταρία αν συνδεθούν οι πόλοι της απευθείας μεταξύ τους, δηλαδή όταν υπάρχει βραχυκύκλωμα. Αυτό το ρεύμα είναι πολύ υψηλό και δεν είναι χρήσιμο για την κανονική λειτουργία της μπαταρίας, αλλά είναι σημαντικό για θέματα ασφαλείας και σχεδιασμού προστασίας.

Απόδοση φόρτισης(Charge Efficiency)

Η απόδοση φόρτισης δείχνει τι ποσοστό της ενέργειας που αποθηκεύεται πραγματικά [16]. Οι μπαταρίες λιθίου έχουν απόδοση 90–95%, ενώ οι μολύβδου γύρω στο 50–92% [14]. Η χαμηλή απόδοση σημαίνει απώλειες υπό μορφή θερμότητας και μεγαλύτερη κατανάλωση ενέργειας για φόρτιση. Σε εφαρμογές με περιορισμένη παραγωγή, όπως τα φωτοβολταϊκά, η υψηλή απόδοση φόρτισης είναι κρίσιμη.

Αυτοεκφόρτιση(Self-discharge)

Η αυτοεκφόρτιση είναι η φυσική απώλεια ενέργειας όταν η μπαταρία δεν χρησιμοποιείται [16]. Οι μπαταρίες λιθίου έχουν χαμηλό ποσοστό (1–3% τον μήνα), ενώ οι νικελίου-καδμίου ή μολύβδου έχουν υψηλότερο. Η αυτοεκφόρτιση επηρεάζει την αποθήκευση και τη διαθεσιμότητα της ενέργειας, ιδιαίτερα σε συστήματα εφεδρείας. Μικρή αυτοεκφόρτιση σημαίνει μεγαλύτερη ετοιμότητα και λιγότερη ανάγκη για συχνή φόρτιση.

Θερμοκρασιακό εύρος λειτουργίας

Οι μπαταρίες έχουν ένα εύρος θερμοκρασιών μέσα στο οποίο λειτουργούν σωστά [16]. Οι μολύβδου-οξέος αντέχουν καλύτερα στο κρύο αλλά χάνουν απόδοση σε πολύ υψηλές θερμοκρασίες, ενώ οι λιθίου έχουν περιορισμούς φόρτισης κάτω από το 0°C [14]. Η υπερβολική ζέστη επιταχύνει τη γήρανση και μπορεί να προκαλέσει ζημιές. Η επιλογή μπαταρίας πρέπει να λαμβάνει υπόψη το κλίμα και τις συνθήκες χρήσης.

Μέγιστη ισχύς εξόδου(Maximum Output Power)

Η μέγιστη ισχύς εξόδου δείχνει πόση ενέργεια μπορεί να παρέχει η μπαταρία σε μικρό χρονικό διάστημα [16]. Μια μπαταρία μπορεί να έχει μεγάλη χωρητικότητα αλλά χαμηλή ικανότητα παροχής υψηλής στιγμιαίας ισχύος. Οι εφαρμογές με κινητήρες, αντλίες ή εκκινήσεις μηχανών απαιτούν υψηλή στιγμιαία ισχύ. Η χαμηλή ισχύς εξόδου μπορεί να προκαλέσει πτώση τάσης και διακοπή της λειτουργίας.

2.4 Συνδεσμολογία Μπαταριών

Οι μπαταρίες μπορούν να συνδεθούν μεταξύ τους είτε παράλληλα είτε σε σειρά. Ο τρόπος που θα συνδεθούν επηρεάζει την συνολική τάση και την χωρητικότητα της μπαταρίας.

Σειρά

Κατά την σύνδεση σε σειρά ο αρνητικός πόλος της μιας μπαταρίας συνδέεται με τον θετικό πόλο της άλλης. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα η τάση της ισοδύναμης μπαταρίας να ισούται με το άθροισμα των τάσεων της κάθε μίας, ενώ η χωρητικότητα παραμένει σταθερή.

Αν συνδέουμε δύο μπαταρίες σε σειρά και κάθε μπαταρία έχει ονομαστική τάση 12 V και χωρητικότητα 140 Ah. Θα προκύψει μια ισοδύναμη μπαταρία με:

Ονομαστική τάση: $V = V_1 + V_2 = 12 + 12 = 24 \text{ V}$

Χωρητικότητα: $C = C_1 = C_2 = 140 \text{ Ah}$

Παράλληλα

Κατά την σύνδεση παράλληλα ο αρνητικός πόλος της μιας μπαταρίας συνδέεται με τον αρνητικό πόλο της άλλης και ο θετικός πόλος της μιας μπαταρίας συνδέεται με τον θετικό πόλο της άλλης. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα η τάση της ισοδύναμης μπαταρίας να ισούται με την αρχική τάση της κάθε μπαταρίας, ενώ η χωρητικότητα ισούται με το άθροισμα των χωρητικότητων της κάθε μίας.

Αν συνδέουμε δύο μπαταρίες παράλληλα και κάθε μπαταρία έχει ονομαστική τάση 12 V και χωρητικότητα 140 Ah. Θα προκύψει μια ισοδύναμη μπαταρία με:

Ονομαστική τάση: $V = V_1 = V_2 = 12 \text{ V}$

Χωρητικότητα: $C = C_1 + C_2 = 140 + 140 = 280 \text{ Ah}$

Κεφάλαιο 3ο: Ρυθμιστές Φόρτισης

3.1 Εισαγωγή

Οι ρυθμιστές φόρτισης(charge controllers) αποτελούν βασικό εξάρτημα σε κάθε αυτόνομο ή υβριδικό φωτοβολταϊκό σύστημα, καθώς ρυθμίζουν τη ροή ηλεκτρικής ενέργειας από τα φωτοβολταϊκά πάνελ προς τις μπαταρίες. Σκοπός τους είναι να εξασφαλίζουν τη βέλτιστη φόρτιση, να αποτρέπουν την υπερφόρτιση ή την εκφόρτιση και να παρατείνουν τη διάρκεια ζωής των μπαταριών. Διαφορετικά οι μπαταρίες κινδυνεύουν να υποστούν ζημιές λόγω ακατάλληλων συνθηκών φόρτισης.

3.2 Είδη Ρυθμιστών Φόρτισης

Οι δύο βασικοί τύποι ρυθμιστών φόρτισης που χρησιμοποιούνται είναι οι PWM και οι MPPT [21]. Κάθε είδος έχει τα δικά του χαρακτηριστικά και ιδιαιτερότητες και προορίζεται για χρήση σε εφαρμογές με διαφορετικά γνωρίσματα.

Ρυθμιστές PWM(Pulse Width Modulation)

Οι PWM(Διαμόρφωση Εύρους Παλμού) είναι η πιο απλή και οικονομική τεχνολογία. Ο ρυθμιστής αυτός είναι ένας ταχύτατος ηλεκτρονικός διακόπτης ο οποίος μπορεί να αλλάζει κατάσταση με μεγάλη ταχύτητα ανάλογα με τις μετρήσεις που λαμβάνει από το φωτοβολταϊκό αλλά και από την μπαταρία ώστε να κρατάει την φόρτιση εντός ορίων. Τα πλεονεκτήματα που προσφέρουν είναι το χαμηλότερο κόστος, η απλή κατασκευή και εύκολη συντήρηση [21-23]. Στα μειονεκτήματα περιλαμβάνονται η χαμηλότερη απόδοση, περίπου 20% με 30%, και το γεγονός ότι δεν εκμεταλλεύονται πλήρως την ισχύ των φωτοβολταϊκών, ειδικά όταν η θερμοκρασία και οι συνθήκες φωτισμού μεταβάλλονται [22], [23]. Οι PWM ρυθμιστές ταιριάζουν καλύτερα σε μικρές εγκαταστάσεις, όπως συστήματα φωτισμού ή αυτόνομα συστήματα με χαμηλή κατανάλωση όπου η ονομαστική τάση του φωτοβολταϊκού string είναι λίγο μεγαλύτερη από την ονομαστική τάση της μπαταρίας [23].

Ρυθμιστές MPPT(Maximum Power Point Tracking)

Οι MPPT(Ανίχνευση Μέγιστου Σημείου Ισχύος) χρησιμοποιούν ηλεκτρονικά κυκλώματα και αλγόριθμους για να εντοπίζουν το σημείο στο οποίο τα φωτοβολταϊκά αποδίδουν τη μέγιστη ισχύ τους. Στη συνέχεια προσαρμόζουν την τάση και το ρεύμα ώστε να φορτίζουν τις μπαταρίες με τη μέγιστη δυνατή απόδοση. Πρόκειται για έναν DC-DC converter, όπου μέσω ενός MPPT αλγόριθμου ελέγχει την τάση των φωτοβολταϊκών και καθορίζει την βέλτιστη ισχύ της μπαταρίας [23]. Αυτό επιτυγχάνεται μέσω του υποβιβασμού της τάσης εξόδου, λίγο πάνω από την τάση της μπαταρίας, αυξάνοντας αντίστοιχα το ρεύμα και αξιοποιώντας στον μέγιστο βαθμό την ισχύ του φωτοβολταϊκού string. Στα πλεονεκτήματα περιλαμβάνεται η υψηλή απόδοση και η βέλτιστη εκμετάλλευση της ηλιακής ενέργειας [21], [23]. Λειτουργούν πιο αποδοτικά σε διαφορετικές θερμοκρασίες και συνθήκες φωτισμού, επιτρέποντας την χρήση φωτοβολταϊκών με υψηλότερη τάση από αυτή της μπαταρίας. Τα μειονεκτήματα τους είναι το υψηλότερο κόστος, μιας και αποτελεί μια πιο σύνθετη κατασκευή, που απαιτεί καλύτερη ψύξη και συντήρηση [23]. Οι ρυθμιστές φόρτισης MPPT είναι ιδανικοί για μεγαλύτερες εγκαταστάσεις, όπου η βελτίωση της απόδοσης αντισταθμίζει το αυξημένο κόστος αγοράς. Ο Πίνακας 3.1 παρουσιάζει μια σύγκριση των χαρακτηριστικών των ρυθμιστών φόρτισης PWM και MPPT.

Πίνακας 3.1 Σύγκριση χαρακτηριστικών PWM και MPPT [21-23]

Χαρακτηριστικό	PWM	MPPT
Απόδοση	70–80%	95–98%
Κόστος	Χαμηλό	Υψηλότερο
Πολυπλοκότητα	Απλή κατασκευή	Πιο σύνθετη τεχνολογία
Συμβατότητα με τάση πάνελ	Ίδια με την τάση της μπαταρίας	Μπορεί να είναι υψηλότερη από την τάση μπαταρίας
Καταλληλότητα	Μικρές εγκαταστάσεις	Μεσαίες και μεγάλες εγκαταστάσεις
Απόδοση σε χαμηλό φωτισμό	Μειωμένη	Βελτιστοποιημένη
Απαιτήσεις συντήρησης	Χαμηλές	Μέτριες

3.3 Στάδια Φόρτισης Ρυθμιστών Φόρτισης

Οι ρυθμιστές φόρτισης εφαρμόζουν μια διαδικασία φόρτισης για να εξασφαλίσουν τη μέγιστη απόδοση και μακροζωία των μπαταριών που περιλαμβάνει πολλά στάδια. Τα στάδια αυτά για τις μπαταρίες μολύβδου-οξέως είναι της Μαζικής Φόρτισης(Bulk), της Απορρόφησης(Absorption), της Συντήρησης(Float) και προαιρετικά της εξισορρόπησης(Equalization), ενώ για τις μπαταρίες LifePO4 είναι του συνεχούς ρεύματος(CC) και της συνεχής τάσης(CV). Τα στάδια αυτά φαίνονται στην Εικόνα 3.1.

Μαζική Φόρτιση(Bulk)

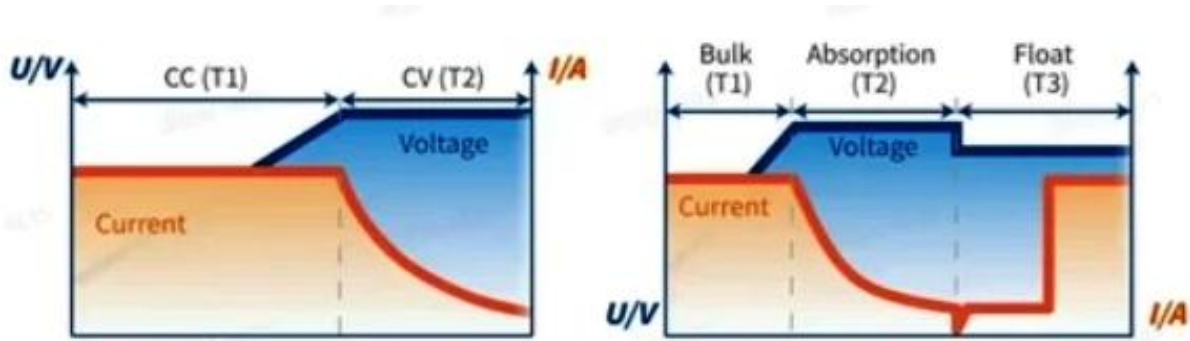
Είναι το πρώτο στάδιο, στο οποίο η μπαταρία φορτίζεται από το χαμηλότερο επίπεδο φόρτισης μέχρι περίπου το 80% της χωρητικότητάς της [21]. Ο ρυθμιστής δίνει το μέγιστο δυνατό ρεύμα που μπορούν να δώσουν τα φωτοβολταϊκά, έως ότου η τάση της μπαταρίας φτάσει την προκαθορισμένη τιμή φόρτισης [21-22]. Σε αυτό το στάδιο η φόρτιση είναι ταχύτερη, καλύπτοντας το μεγαλύτερο μέρος της αποθηκευμένης ενέργειας.

Απορρόφησης(Absorption)

Μετά την επίτευξη της επιθυμητής τάσης, ο ρυθμιστής μειώνει σταδιακά το ρεύμα, διατηρώντας σταθερή την τάση, ώστε να γεμίσει το υπόλοιπο 20% της χωρητικότητας της μπαταρίας χωρίς υπερφόρτιση [21]. Με αυτό τον τρόπο εξασφαλίζεται ότι η μπαταρία φτάνει στο 100% της φόρτισης, αποφεύγοντας την πρόωρη γήρανση.

Συντήρηση(Float)

Όταν η μπαταρία είναι πλήρως φορτισμένη, η τάση μειώνεται σε επίπεδο συντήρησης [21]. Το στάδιο αυτό διατηρεί την πλήρη φόρτιση, αντισταθμίζοντας τις μικρές αυτοεκφορτίσεις της μπαταρίας [24]. Ιδανικό για περιόδους όπου η κατανάλωση είναι χαμηλή ή μηδενική, ώστε να μην προκληθεί υπερφόρτιση.



Εικόνα 3.1 Στάδια φόρτισης μπαταριών LifePO4 και Μολύβδου-Οξέως [25]

Εξισορρόπηση(Equalization)

Εφαρμόζεται σε μπαταρίες μολύβδου-οξέος αλλά όχι σε LiFePO_4 . Σε τακτά χρονικά διαστήματα ο ρυθμιστής αυξάνει την τάση φόρτισης προσωρινά για να εξισορροπήσει την τάση ανάμεσα στις κυψέλες και να απομακρύνει τα θεϊκά άλατα από τις πλάκες, παρατείνοντας τη διάρκεια ζωής της μπαταρίας και διατηρώντας την απόδοσή της σε υψηλά επίπεδα [26].

Συνεχούς ρεύματος(CC)

Αρχικά η μπαταρία φορτίζεται με σταθερό ρεύμα και η τάση ανεβαίνει προοδευτικά μέχρι να φτάσει το επιθυμητό όριο τάσης [22], [24].

Συνεχής τάσης(CV)

Κατά τη διάρκεια αυτής της φάσης, η μπαταρία διατηρεί σταθερή τάση ενώ το ρεύμα μειώνεται σταδιακά ως ρεύμα ουράς. Σε αυτό το σημείο, η φόρτιση σταματά και η μπαταρία φορτίζεται πλήρως [22], [24].

3.4 Τεχνικά Χαρακτηριστικά Ρυθμιστών Φόρτισης

Σε αυτή την υποενότητα θα αναλύσουμε τα κυριότερα τεχνικά χαρακτηριστικά των ρυθμιστών φόρτισης όπως φαίνονται στην Εικόνα 3.2.

	MPPT 150/60	MPPT 150/70
Battery voltage	12/24/48V Auto select, 36V: manual select	
Maximum battery current	60A	70A
Nominal PV power, 12V ^{1a,b}	860W	1000W
Nominal PV power, 24V ^{1a,b}	1720W	2000W
Nominal PV power, 36V ^{1a,b}	2580W	3000W
Nominal PV power, 48V ^{1a,b}	3440W	4000W
Max. PV short circuit current ²	50A	50A
Maximum PV open circuit voltage	150V absolute maximum coldest conditions 145V start-up and operating maximum	
Peak efficiency	98%	
Self-consumption	12V: less than 35mA / 48V: less than 20mA	
Charge voltage 'absorption'	Default setting: 14.4V / 28.8V / 43.2V / 57.6V	
Charge voltage 'float'	Default setting: 13.8V / 27.6V / 41.4V / 55.2V	
Charge voltage 'equalization' ³	Default setting: 16.2V / 32.4V / 48.6V / 64.8V	
Charge algorithm	Multi-stage adaptive (eight pre-programmed algorithms) or user defined algorithm	
Temperature compensation	-16mV/°C / -32mV/°C / -64mV/°C	
Protection	PV reverse polarity / Output short circuit / Over temperature	
Operating temperature	-30°C to +60°C (full rated output up to 40°C)	

Εικόνα 3.2 Τεχνικά χαρακτηριστικά ρυθμιστών φόρτισης MPPT 150/60 και MPPT 150/70

Ονομαστική Τάση Μπαταρίας(Battery Voltage)

Είναι η ονομαστική τάση των μπαταριών που μπορούν να συνδεθούν με τον ρυθμιστή φόρτισης. Η ονομαστική τάση της μπαταρίας είναι μία από τις βασικότερες παραμέτρους που καθορίζουν τη συμβατότητα του ρυθμιστή φόρτισης με το σύστημα αποθήκευσης ενέργειας. Οι πιο συνηθισμένες τάσεις που συναντούμε είναι των 12V, 24V και 48V ανάλογα με το μέγεθος και την ισχύ της εγκατάστασης. Ο σωστός καθορισμός της τάσης είναι σημαντικός ώστε να εξασφαλίζεται η αποδοτική φόρτιση και εκφόρτιση της μπαταρίας. Σε μικρές αυτόνομες εφαρμογές, όπως φωτισμός ή μικρά φωτοβολταϊκά, χρησιμοποιούνται συνήθως τάσεις των 12V. Σε μεγαλύτερες εφαρμογές ή επαγγελματικά συστήματα, επιλέγονται υψηλότερες τάσεις όπως 24V ή 48V, για μεγαλύτερη αποδοτικότητα και μειωμένες απώλειες. Και τα δύο μοντέλα υποστηρίζουν μπαταρίες 12V/24V/36V/48V.

Μέγιστο Ρεύμα φόρτισης(Maximum Battery Current)

Πρόκειται για μια ακόμα βασική παράμετρο κατά τον σχεδιασμό αυτόνομων φωτοβολταϊκών συστημάτων. Το μέγιστο ρεύμα φόρτισης είναι η μέγιστη ένταση ρεύματος που μπορεί να παρέχει ο ρυθμιστής φόρτισης στην μπαταρία. Η παράμετρος αυτή καθορίζει πόσο γρήγορα μπορεί να φορτιστεί η μπαταρία και παράλληλα προστατεύει από τυχόν υπερβολικό ρεύμα που θα μπορούσε να προκαλέσει υπερθέρμανση ή φθορά. Ο MPPT 150/60 μπορεί να στείλει ρεύμα έως 60 A και MPPT 150/70 μπορεί να στείλει ρεύμα έως 70 A.

Μέγιστη Ισχύς Φωτοβολταϊκών(Nominal PV Power)

Η μέγιστη ισχύς των φωτοβολταϊκών αντιπροσωπεύει την μέγιστη ισχύ των φωτοβολταϊκών πάνελ σε Watt που μπορεί να διαχειριστεί ο ρυθμιστής φόρτισης. Εξαρτάται άμεσα από την ονομαστική τάση του συστήματος και το μέγιστο ρεύμα φόρτισης. Αν τοποθετηθούν περισσότερα πάνελ από όσα μπορεί να υποστηρίξει ο ρυθμιστής, υπάρχει κίνδυνος υπερφόρτωσης, θερμικής καταπόνησης και μειωμένης απόδοσης.

Μέγιστη Τάση Ανοιχτού Κυκλώματος(Maximum PV Open Circuit Voltage)

Η μέγιστη τάση ανοιχτού κυκλώματος είναι η υψηλότερη τάση στα άκρα μιας συστοιχίας φωτοβολταϊκών πλαισίων που μπορεί να συνδεθεί στην είσοδο ενός ρυθμιστή φόρτισης. Ο ρυθμιστής φόρτισης έχει συγκεκριμένο όριο στη μέγιστη τάση που μπορεί να δεχτεί, πέρα από το οποίο μπορεί να προκληθεί ζημιά στα ηλεκτρονικά του κυκλώματα. Αυτός ο παράγοντας είναι ιδιαίτερα σημαντικός σε περιοχές με χαμηλές θερμοκρασίες, όπου η τάση ανοιχτού κυκλώματος των πλαισίων αυξάνεται με τη μείωση της θερμοκρασίας. Για τον λόγο αυτό, η σωστή επιλογή ρυθμιστή πρέπει να λαμβάνει υπόψη όχι μόνο την ονομαστική τάση των πλαισίων, αλλά και τις πιθανές αυξήσεις λόγω καιρικών συνθηκών. Για τον λόγο αυτό θα πρέπει πάντα να προβλέπεται ένα περιθώριο ώστε η τάση των συνδεδεμένων πάνελ να μην υπερβαίνει το όριο που θέτει ο ρυθμιστής. Και τα δύο μοντέλα υποστηρίζουν μέγιστη τάση ανοιχτού κυκλώματος έως 150 Volt.

Μέγιστο Ρεύμα Βραχυκυκλώματος(Maximum PV Short Circuit Current)

Το μέγιστο ρεύμα βραχυκυκλώματος είναι η μέγιστη ένταση του ρεύματος που μπορεί να παραχθεί από τα φωτοβολταϊκά πλαίσια όταν οι ακροδέκτες τους βραχυκυκλωθούν. Ο ρυθμιστής φόρτισης έχει όρια στο ρεύμα που μπορεί να αντέξει χωρίς να προκληθεί ζημιά. Η διάταξή τους σε σειρά ή παράλληλα πρέπει να λαμβάνει υπόψη το μέγιστο επιτρεπτό ρεύμα του ρυθμιστή. Αν το συνολικό ρεύμα των πλαισίων υπερβεί το όριο του ρυθμιστή, υπάρχει κίνδυνος υπερθέρμανσης και βλάβης του. Και τα δύο μοντέλα υποστηρίζουν μέγιστη μέγιστο ρεύμα βραχυκυκλώματος 50 A.

Μέγιστη Απόδοση(Peak Efficiency)

Η μέγιστη απόδοση είναι το ποσοστό της ενέργειας που μπορεί να μετατρέψει ο ρυθμιστής φόρτισης από τα φωτοβολταϊκά προς τις μπαταρίες. Στους σύγχρονους ρυθμιστές MPPT κυμαίνεται συνήθως μεταξύ 95% και 99%. Όσο υψηλότερη είναι η απόδοση, τόσο περισσότερο αξιοποιείται η ηλιακή ενέργεια, μειώνοντας τις απώλειες θερμότητας και αυξάνοντας τη συνολική ενεργειακή απόδοση. Στην πράξη, η απόδοση επηρεάζεται από πολλούς παράγοντες, όπως η θερμοκρασία, η ποιότητα των ηλεκτρονικών εξαρτημάτων και το φορτίο του συστήματος. Οι ρυθμιστές υψηλής απόδοσης έχουν εξελιγμένα κυκλώματα μετατροπής DC-DC, τα οποία διασφαλίζουν ότι η μέγιστη διαθέσιμη ισχύς των πάνελ αξιοποιείται για τη φόρτιση. Και τα δύο μοντέλα έχουν μέγιστη απόδοση 98%.

Προστασία(Protection)

Οι σύγχρονοι ρυθμιστές φόρτισης διαθέτουν πολλαπλά συστήματα προστασίας για την ασφάλεια τόσο των μπαταριών όσο και των κυκλωμάτων τους. Κάποιες τυπικές προστασίες είναι οι εξής:

- 1.Προστασία από υπερφόρτιση
- 2.Αποφυγή υπερβολικής εκφόρτισης
- 3.Προστασία από βραχυκύκλωμα
- 4.Προστασία από ανάστροφη πολικότητα
- 5.Προστασία υπέρτασης από τα φωτοβολταϊκά
- 6.Προστασία υπερθέρμανσης

Χάρη σε αυτά τα συστήματα, εξασφαλίζεται η μακροχρόνια λειτουργία και η ασφάλεια των εγκαταστάσεων, μειώνοντας τον κίνδυνο βλαβών και καταστροφών. Πολλοί ρυθμιστές ενσωματώνουν συχνά οπτικές ή ηχητικές ενδείξεις για την ενημέρωση του χρήστη σε περίπτωση ενεργοποίησης κάποιας προστασίας. Έτσι, ο ρυθμιστής δεν λειτουργεί μόνο ως μέσο φόρτισης, αλλά και ως ένα κεντρικό στοιχείο ασφαλείας σε κάθε φωτοβολταϊκό σύστημα. Και τα δύο μοντέλα υποστηρίζουν προστασία από βραχυκύκλωμα, ανάστροφη πολικότητα και υπερθέρμανση.

Θερμοκρασίες Λειτουργίας(Operating temperature)

Το εύρος θερμοκρασιών λειτουργίας ενός ρυθμιστή φόρτισης καθορίζει τις περιβαλλοντικές συνθήκες στις οποίες μπορεί να λειτουργήσει με ασφάλεια και αποτελεσματικότητα. Συνήθως κυμαίνεται από -20°C έως +50°C ή και περισσότερο, ανάλογα με την ποιότητα κατασκευής. Οι υψηλές θερμοκρασίες μπορεί να προκαλέσουν μείωση της απόδοσης ή ενεργοποίηση προστασίας υπερθέρμανσης, ενώ και οι πολύ χαμηλές θερμοκρασίες ενδέχεται να επηρεάσουν την απόδοση των ηλεκτρονικών κυκλωμάτων. Για εγκαταστάσεις σε ακραία κλίματα, η επιλογή ρυθμιστή με ευρύ φάσμα θερμοκρασιών είναι απαραίτητη. Επίσης, πολλοί ρυθμιστές διαθέτουν ενσωματωμένους αισθητήρες θερμοκρασίας που προσαρμόζουν την τάση φόρτισης, ώστε να προστατεύεται η μπαταρία. Για παράδειγμα, σε χαμηλές θερμοκρασίες απαιτείται υψηλότερη τάση φόρτισης, ενώ σε υψηλές χαμηλότερη. Και τα δύο μοντέλα μπορούν να λειτουργήσουν σε θερμοκρασίες από -30°C έως 60°.

3.5 Επιλογή ρυθμιστή Φόρτισης

Max Power at STC	100 Watts
Open Circuit Voltage	22.3 V
Short Circuit Current	5.21 A
Optimum Operating Voltage	20.4 V
Optimum Operating Current	4.91 A

Εικόνα 3.3 Χαρακτηριστικά φωτοβολταϊκού πλαισίου

Για τον υπολογισμό του κατάλληλου ρυθμιστή φόρτισης θα πρέπει να ακολουθούμε την παρακάτω διαδικασία. Αρχικά βλέπουμε την ταμπέλα των φωτοβολταϊκών πλαισίων. Στο παράδειγμά μας έστω ότι χρησιμοποιούμε φωτοβολταϊκά πλαίσια ονομαστικής τάσης 12 V με χαρακτηριστικά που φαίνονται στην Εικόνα 3.3. Για αρχή για λόγους απλότητας θα χρησιμοποιήσουμε μόνο ένα φωτοβολταϊκό πλαίσιο για να γίνει κατανοητή η διαδικασία.

Τα δύο πρώτα χαρακτηριστικά που θα χρησιμοποιήσουμε είναι η τάση ανοιχτού κυκλώματος και η μέγιστη ισχύς. Στο παράδειγμά μας:

$$P_{max}=100 \text{ W}$$

$$V_{oc}=22,3 \text{ V}$$

Το επόμενο που πρέπει να κάνουμε είναι να επιλέξουμε τη τάση φόρτισης της μπαταρίας που θα χρησιμοποιήσουμε. Ο Πίνακας 2.2 δείχνει την ονομαστική τάση και την τάση φόρτισης ($V_{\text{φόρτισης}}$) των στοιχείων κάθε είδους μπαταρίας. Έστω ότι χρησιμοποιήσουμε μπαταρία LifePO4 τεσσάρων στοιχείων σε σειρά. Άρα η ονομαστική τάση της μπαταρίας είναι 12,8 V και η τάση φόρτισης είναι 14,4 V. Το μέγιστο ρεύμα που στέλνει ο ρυθμιστής φόρτισης προκύπτει από την διαίρεση της μέγιστης ισχύος με την τάση φόρτισης της μπαταρίας όπως φαίνεται από τη σχέση 3.1.

$$I = \frac{P_{max}}{V_{\text{φόρτισης}}} = \frac{100}{14,4} = 6,944 \text{ A} \quad (3.1)$$

Για λόγους ασφαλείας δίνουμε στο ρεύμα ένα περιθώριο 20%, επομένως το ρεύμα φόρτισης προκύπτει από τη σχέση 3.2.

$$I_{\text{φόρτισης}} = 1,2 \times I = 8,333 \text{ A} \quad (3.2)$$

Έστω ότι θα χρησιμοποιήσουμε ρυθμιστή φόρτισης SmartSolarChargeController εταιρίας Victron Energy. Στην Εικόνα 3.4 φαίνονται τα χαρακτηριστικά των μοντέλων MPPT 75/10, MPPT 75/15, MPPT 100/15 και MPPT 100/20.

Κεφάλαιο 3

SmartSolar Charge Controller	MPPT 75/10	MPPT 75/15	MPPT 100/15	MPPT 100/20-48V
Battery voltage (auto select)	12/24 V		12/24/48 V	
Rated charge current	10 A	15 A	15 A	20 A
Nominal PV power, 12 V 1a,b)	145 W	220 W	220 W	290 W
Nominal PV power, 24 V 1a,b)	290 W	440 W	440 W	580 W
Nominal PV power, 48 V 1a,b)	n. a.	n. a.	n. a.	1160 W
Max. PV short circuit current 2)	13 A	15 A	15 A	20 A
Automatic load disconnect	Yes			
Max. PV open circuit voltage	75 V		100 V	
Peak efficiency	98 %			
Self-consumption – load on	12 V: 19 mA 24 V: 16 mA		26 / 20 / 19 mA	
Self-consumption – load off	12 V: 10 mA 24 V: 8 mA		10 / 8 / 7 mA	
Charge voltage 'absorption'	14,4 V / 28,8 V (adjustable)			14,4 V / 28,8 V / 57,6 V (adj.)
Charge voltage 'float'	13,8 V / 27,6 V (adjustable)			13,8 V / 27,6 V / 55,2 V (adj.)
Charge algorithm	multi-stage adaptive			
Temperature compensation	-16 mV / °C resp. -32 mV / °C			
Max. continuous load current	15 A			20 A / 20 A / 1 A
Low voltage load disconnect	11,1 V / 22,2 V / 44,4 V or 11,8 V / 23,6 V / 47,2 V or Battery Life algorithm			
Low voltage load reconnect	13,1 V / 26,2 V / 52,4 V or 14 V / 28 V / 56 V or Battery Life algorithm			
Protection	Output short circuit / Over temperature			
Operating temperature	-30 to +60 °C (full rated output up to 40 °C)			
Humidity	95 %, non-condensing			
Data communication port	VE.Direct (see the data communication white paper on our website)			
ENCLOSURE				
Colour	Blue (RAL 5012)			
Power terminals	6 mm² / AWG10			
Protection category	IP43 (electronic components), IP22 (connection area)			
Weight	0,5 kg		0,6 kg	0,65 kg
Dimensions (h x w x d)	100 x 113 x 40 mm		100 x 113 x 50 mm	100 x 131 x 60 mm
STANDARDS				
Safety	EN/IEC 62109-1, UL 1741, CSA C22.2			
STORED TRENDS				
Data stored	Battery voltage,current and temperature, as well as load output current, PV voltage and PV current.			
Number of days trends data is stored	46			
1a) If more PV power is connected, the controller will limit input power. 1b) The PV voltage must exceed Vbat + 5 V for the controller to start. Thereafter the minimum PV voltage is Vbat + 1 V 2) A PV array with a higher short circuit current may damage the controller.				

Εικόνα 3.4 Χαρακτηριστικά SmartSolarChargeController

Ας κάνουμε μία ανάλυση των πιο βασικών χαρακτηριστικών του ρυθμιστή φόρτισης.

Battery voltage: Είναι η τάση των μπαταριών που μπορούν να συνδεθούν με τον ρυθμιστή φόρτισης.

Maximum battery current: Είναι το μέγιστο ρεύμα που μπορεί να στείλει ο ρυθμιστής φόρτισης.

Nominal PV power: Είναι η μέγιστη ισχύς των φωτοβολταϊκών που μπορεί να υποστηρίξει ο ρυθμιστής φόρτισης.

Maximum PV open circuit voltage: Είναι η μέγιστη τάση των φωτοβολταϊκών που μπορεί να συνδεθεί στην είσοδο του ρυθμιστή φόρτισης.

Με δεδομένα:

$$P_{max}=100 \text{ W}$$

$$V_{oc}=22,3 \text{ V}$$

$$I_{\text{φόρτισης}}=8,333 \text{ A}$$

Ο MPPT 75/10 όλες της προϋποθέσεις:

Το ρεύμα φόρτισης των 8,333 A είναι μικρότερο από το ρεύμα των 10 A που μπορεί να υποστηρίξει ο ρυθμιστής φόρτισης όπως φαίνεται στην Εικόνα 3.5.

SmartSolar Charge Controller	MPPT 75/10	MPPT 75/15	MPPT 100/15	MPPT 100/20-48V
Battery voltage (auto select)	12/24 V			12/24/48 V
Rated charge current	10 A	15 A	15 A	20 A
Nominal PV power, 12 V 1a,b)	145 W	220 W	220 W	290 W
Nominal PV power, 24 V 1a,b)	290 W	440 W	440 W	580 W
Nominal PV power, 48 V 1a,b)	n. a.	n. a.	n. a.	1160 W
Max. PV short circuit current 2)	13 A	15 A	15 A	20 A
Automatic load disconnect	Yes			
Max. PV open circuit voltage	75 V		100 V	

Εικόνα 3.5 Μέγιστο ρεύμα ρυθμιστή φόρτισης

Η μέγιστη ισχύς που μπορεί να υποστηρίξει ο ρυθμιστής φόρτισης για φωτοβολταϊκά πλαίσια ονομαστικής τάσης 12 V είναι 145 Watt και επομένως καλύπτει την ισχύ των 100 W του φωτοβολταϊκού πλαισίου όπως φαίνεται στην Εικόνα 3.6.

SmartSolar Charge Controller	MPPT 75/10	MPPT 75/15	MPPT 100/15	MPPT 100/20-48V
Battery voltage (auto select)	12/24 V			12/24/48 V
Rated charge current	10 A	15 A	15 A	20 A
Nominal PV power, 12 V 1a,b)	145 W	220 W	220 W	290 W
Nominal PV power, 24 V 1a,b)	290 W	440 W	440 W	580 W
Nominal PV power, 48 V 1a,b)	n. a.	n. a.	n. a.	1160 W
Max. PV short circuit current 2)	13 A	15 A	15 A	20 A
Automatic load disconnect	Yes			
Max. PV open circuit voltage	75 V		100 V	

Εικόνα 3.6 Μέγιστη ισχύς φωτοβολταϊκών στην είσοδο του ρυθμιστή φόρτισης

Όπως φαίνεται στην Εικόνα 3.7 η μέγιστη τάση που μπορεί να δεχθεί στην είσοδο του ο ρυθμιστής φόρτισης είναι 75 V. Για να υπολογίσουμε τον αριθμό των πλαισίων που μπορούν να συνδεθούν σε σειρά ώστε να μπορούν να υποστηριχθούν από τον ρυθμιστή φόρτισης θα πρέπει να διαιρέσουμε την τάση αυτή με την τάση ανοικτού κυκλώματος των φωτοβολταϊκών υπολογίζοντας έναν παράγοντα ασφαλείας, λόγω αύξησης της τάσης με την αύξηση της ακτινοβολίας και την μείωση της θερμοκρασίας, σύμφωνα με τη σχέση 3.3.

$$N = \frac{V_{\text{Maximum_openCircuitVoltage}} \times 0,8}{V_{oc}} = \frac{75 \times 0,8}{22,3} = \frac{60}{22,3} = 2,69 \quad (3.3)$$

Άρα ο ρυθμιστή φόρτισης ως προς την τάση εισόδου μπορεί να υποστηρίξει έως δύο πλαίσια.

SmartSolar Charge Controller	MPPT 75/10	MPPT 75/15	MPPT 100/15	MPPT 100/20-48V
Battery voltage (auto select)	12/24 V			12/24/48 V
Rated charge current	10 A	15 A	15 A	20 A
Nominal PV power, 12 V 1a,b)	145 W	220 W	220 W	290 W
Nominal PV power, 24 V 1a,b)	290 W	440 W	440 W	580 W
Nominal PV power, 48 V 1a,b)	n. a.	n. a.	n. a.	1160 W
Max. PV short circuit current 2)	13 A	15 A	15 A	20 A
Automatic load disconnect	Yes			
Max. PV open circuit voltage	75 V		100 V	

Εικόνα 3.7 Μέγιστη τάση φωτοβολταϊκών στην είσοδο του ρυθμιστή φόρτισης

Κεφάλαιο 4ο: Αντιστροφείς

4.1 Εισαγωγή

Οι αντιστροφείς (inverters) αποτελούν κρίσιμα ηλεκτρονικά συστήματα ισχύος τα οποία χρησιμοποιούνται σε εφαρμογές όπου απαιτείται η μετατροπή συνεχούς ρεύματος σε εναλλασσόμενο. Η χρήση τους έχει επεκταθεί σημαντικά τα τελευταία χρόνια, λόγω της αυξανόμενης χρήσης των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Η βασική λειτουργία ενός inverter είναι η μετατροπή συνεχούς ρεύματος σε εναλλασσόμενο, με δυνατότητα ελέγχου της συχνότητας, του πλάτους και της κυματομορφής της τάσης εξόδου. Το συνεχές ρεύμα μπορεί να προέρχεται από μπαταρίες, φωτοβολταϊκά πλαίσια ή εφεδρικά συστήματα παραγωγής ενέργειας. Ορισμένοι αντιστροφείς έχουν ενσωματωμένα συστήματα ελέγχου MPPT τα οποία παρακολουθούν σε πραγματικό χρόνο την τάση και το ρεύμα των φωτοβολταϊκών πλαισίων, ρυθμίζοντας το σημείο λειτουργίας ώστε να επιτυγχάνεται η μέγιστη δυνατή ισχύς, ανεξαρτήτως μεταβολών στην ακτινοβολία και τη θερμοκρασία. Η κατανόηση του τρόπου λειτουργίας τους, των χαρακτηριστικών τους και των κατηγοριών είναι σημαντικός ώστε να επιλεγθεί ο κατάλληλος αντιστροφέας για κάθε εφαρμογή.

4.2 Τρόπος Λειτουργίας

Η λειτουργία ενός inverter βασίζεται σε διακοπτικά στοιχεία ισχύος, όπως MOSFET, GBT και σε πιο απαιτητικές εφαρμογές ισχύος IGCT, τα οποία ανοιγοκλείνουν με υψηλή συχνότητα [27]. Μέσω αυτής της διακοπτικής λειτουργίας δημιουργείται μια σειρά παλμών που προσομοιώνουν εναλλασσόμενη κυματομορφή. Οι αντιστροφείς χρησιμοποιούν την τεχνική PWM (Pulse Width Modulation), δηλαδή την διαμόρφωση εύρους παλμών [28]. Με αυτήν την τεχνική ελέγχεται το ποσοστό του χρόνου που κάθε διακόπτης άγει, ώστε να προκύπτει μια μέση τιμή τάσης που προσεγγίζει το ημίτονο [27-28]. Για την τελική εξομάλυνση εφαρμόζονται φίλτρα LC τα οποία μειώνουν την παραμόρφωση παράγοντας καθαρή κυματομορφή [28].

Η διαδικασία περιλαμβάνει τα εξής στάδια:

Διακοπτική λειτουργία (Switching): Ο inverter χρησιμοποιεί διακοπτικά στοιχεία ισχύος όπως IGBT, MOSFET, IGCT και GTO, τα οποία ανοιγοκλείνουν με μεγάλη ταχύτητα. Μέσω αυτής της διακοπτικής λειτουργίας δημιουργούνται παλμοί που προσομοιώνουν την κυματομορφή εναλλασσόμενης τάσης [27].

Τεχνική PWM (Pulse Width Modulation): Η πιο συνηθισμένη μέθοδος παραγωγής καθαρής κυματομορφής είναι η διαμόρφωση εύρους παλμών. Η PWM ρυθμίζει το ποσοστό του χρόνου που το διακοπτικό στοιχείο βρίσκεται σε κατάσταση αγωγής, με αποτέλεσμα τον έλεγχο της μέσης τιμής της τάσης. Έτσι προσεγγίζεται μια σχεδόν ημιτονοειδής έξοδος [27-28].

Φίλτρα Εξόδου: Για την εξομάλυνση των παλμών και τη μείωση των αρμονικών, τοποθετούνται φίλτρα LC ώστε η τάση εξόδου να πλησιάζει περισσότερο το ιδανικό ημίτονο [28].

Συστήματα Ελέγχου: Οι σύγχρονοι inverter διαθέτουν μικροελεγκτές οι οποίοι διασφαλίζουν δυναμικό έλεγχο, υψηλή απόδοση και δυνατότητα προσαρμογής σε διαφορετικά φορτία και συνθήκες λειτουργίας [28].

4.3 Είδη Αντιστροφών

Οι αντιστροφείς κατατάσσονται σε διάφορες κατηγορίες ανάλογα με την κυματομορφή εξόδου, τη συνδεσμολογία και την εφαρμογή που θα χρησιμοποιηθούν όπως φαίνεται παρακάτω.

Ανάλογα με την Κυματομορφή

- 1.Τετραγωνικού κύματος:** Είναι απλοί και με χαμηλό κόστος, αλλά ακατάλληλοι για σύγχρονες εφαρμογές [27].
- 2.Τροποποιημένου ημιτόνου:** Προσφέρουν καλύτερη ποιότητα, αλλά παραμένουν ακατάλληλοι για χρήση σε φορτία που περιλαμβάνουν κινητήρες [27].
- 3.Καθαρού ημιτόνου(Pure sine wave):** Αποτελούν τη βέλτιστη επιλογή, καθώς παρέχουν καθαρή ημιτονοειδή έξοδο με χαμηλή παραμόρφωση [27].

Ανάλογα με τη Συνδεσμολογία

- 1.Αυτόνομοι(stand-alone):** Χρησιμοποιούνται σε συστήματα εκτός δικτύου (off-grid), όπου ο αντιστροφέας τροφοδοτεί κατευθείαν τα φορτία [28].
- 2.Δικτυακοί(grid):** Συνδέονται απευθείας με δίκτυο ηλεκτροδότησης, συγχρονίζοντας την ισχύ [28].
- 3.Υβριδικοί(hybrid):** Συνδυάζουν λειτουργίες αυτόνομου και δικτυακού, με ενσωματωμένη υποστήριξη μπαταριών [28].

Ανάλογα με την Εφαρμογή

- 1.Βιομηχανικοί Inverter Κίνησης(VFD):** Ρυθμίζουν την ταχύτητα και τη ροπή ηλεκτρικών κινητήρων [29].
- 2.UPS Inverter:** Εξασφαλίζουν αδιάλειπτη παροχή ρεύματος σε κρίσιμα συστήματα όταν διακόπτεται η παροχή ρεύματος [27].
- 3.Φωτοβολταϊκοί Inverter:** Ειδικά σχεδιασμένοι για εγκαταστάσεις ΑΠΕ, αποτελούν το κεντρικότερο κομμάτι σε κάθε φωτοβολταϊκό σύστημα [27-28].

4.4 Χαρακτηριστικά Αντιστροφών

Οι αντιστροφείς, και ιδιαίτερα οι φωτοβολταϊκοί, αξιολογούνται με βάση συγκεκριμένα τεχνικά χαρακτηριστικά.

Ονομαστική Τάση Εισόδου

Η ονομαστική τάση εισόδου αναφέρεται στη συνεχή τάση που πρέπει να συνδεθεί στην είσοδο του αντιστροφέα [27]. Το χαρακτηριστικό αυτό σχετίζεται άμεσα με την ονομαστική τάση της μπαταρίας που θα συνδεθεί στην είσοδο του αντιστροφέα. Αν για παράδειγμα χρησιμοποιούμε μια μπαταρία ονομαστικής 12 V θα πρέπει να επιλέξουμε αντιστροφέα με ονομαστική τάση εισόδου 12 V αντίστοιχα. Σε περίπτωση που επιλέξουμε να συνδέσουμε δύο μπαταρίες σε σειρά τότε θα πρέπει να επιλέξουμε αντιστροφέα με ονομαστική τάση εισόδου 24 V.

Ονομαστική Ισχύς Εξόδου

Η ονομαστική ισχύς εξόδου αναφέρεται στη μέγιστη ισχύ που μπορεί να παρέχει συνεχώς ο αντιστροφέας στην έξοδο του. Εδώ θα πρέπει να τονιστεί ότι σε περίπτωση που στο σύστημα μας χρησιμοποιούμε κινητήρες, λόγω της ισχύος εκκίνησης τους που είναι μεγαλύτερη από την ισχύ κανονικής λειτουργίας, θα πρέπει κατά την επιλογή του αντιστροφέα να επιλέγουμε μοντέλο το οποίο μπορεί να υποστηρίξει την ισχύ εκκίνησης των κινητήρων που θα χρησιμοποιήσουμε.

Απόδοση(Efficiency)

Η απόδοση ενός αντιστροφέα είναι ο λόγος της ισχύος εξόδου προς την ισχύ εισόδου [27] και ορίζεται από την σχέση 4.1. Οι σύγχρονοι αντιστροφείς φτάνουν αποδόσεις 96–99%.

$$\eta = \frac{P_{AC}}{P_{DC}} \quad (4.1)$$

Όπου:

P_{AC} : Η ισχύς εξόδου του αντιστροφέα

P_{DC} : Η ισχύς εισόδου του αντιστροφέα

Ονομαστική τάση εξόδου

Είναι η εναλλασσόμενη τάση που βγάζει στην έξοδό του ο αντιστροφέας. Οι συνηθισμένες τιμές είναι 220 V και 110 V. Κατά την αγορά ενός αντιστροφέα πρέπει να δίνεται προσοχή στην ονομαστική τάση εξόδου του αντιστροφέα ανάλογα με την χώρα που θα χρησιμοποιηθεί μιας και σε κάποιες χώρες, όπως οι Ηνωμένες Πολιτείες της Αμερικής, η τάση θα πρέπει να είναι 110 V ενώ στην Ευρώπη 220 V.

Συχνότητα εξόδου

Είναι η συχνότητα της εναλλασσόμενης τάσης που βγάζει στην έξοδό του ο αντιστροφέας. Οι συνηθισμένες τιμές είναι 50 και 60 Hertz.

Εύρος Τάσης Εισόδου

Αντιπροσωπεύει τις επιτρεπτές τιμές τάσης των πλαισίων ή των μπαταριών που μπορούν να συνδεθούν στην είσοδο του αντιστροφέα. Αν η τάση βρεθεί εκτός ορίων, ο αντιστροφέας σταματάει την λειτουργία για λόγους ασφαλείας.

Ποιότητα Ισχύος και THD:

Ο συντελεστής ολικής αρμονικής παραμόρφωσης(THD) είναι κρίσιμος για τη σταθερότητα του δικτύου. Οι φωτοβολταϊκοί αντιστροφείς έχουν THD μικρότερο από 3%, ώστε η παρεχόμενη ισχύς να είναι όσο το δυνατόν καθαρότερη [27].

Συγχρονισμός με το Δίκτυο

Οι δικτυακοί αντιστροφείς διαθέτουν συστήματα συγχρονισμού φάσης και συχνότητας με το δίκτυο, ώστε η παραγόμενη ενέργεια να μπορεί να διοχετευθεί με ασφάλεια [28].

Προστασία

Περιλαμβάνουν προστασία από υπερθέρμανση, υπερφόρτιση, διαρροές προς γη, νησιδοποίηση και υπέρταση, ώστε να εξασφαλίζεται η ασφάλεια του εξοπλισμού και του δικτύου.

Επικοινωνία και Έξυπνες Λειτουργίες

Οι σύγχρονοι φωτοβολταϊκοί αντιστροφείς διαθέτουν δυνατότητες παρακολούθησης μέσω διαδικτύου, επιτρέποντας εξ αποστάσεως έλεγχο και παρακολούθηση σε πραγματικό χρόνο της παραγωγή ενέργειας, καθώς και ενδείξεις σφαλμάτων [28].

Ας δούμε ένα παράδειγμα για να εξηγήσουμε τα χαρακτηριστικά ενός αντιστροφέα. Στην Εικόνα 4.1 φαίνονται τα χαρακτηριστικά των μοντέλων IP350-12, IP350-22, IP350-11, IP350-21, IP500-12,

IP500-22, IP500-11, IP500-21. Ας συγκρίνουμε το μοντέλο IP350-12 με το μοντέλο IP500-21 για να δούμε της διαφορές.

Το πιο βασικό χαρακτηριστικό που θα πρέπει να ελέγξουμε για την επιλογή του αντιστροφέα μας είναι ονομαστική τάση εισόδου(Rated Input Voltage).

IP350-12: 12 V DC

IP500-21: 24 V DC

Αυτό σημαίνει ότι για το IP350-12 η ονομαστική τάση των μπαταριών που θα συνδεθούν στην είσοδο του πρέπει να έχουν συνεχή ονομαστική τάση 12 V, ενώ για το IP500-21 η ονομαστική τάση των μπαταριών που θα συνδεθούν στην είσοδο του πρέπει να έχουν συνεχή ονομαστική τάση 24 V.

Ας εξετάσουμε τώρα την ονομαστική τάση εξόδου.

IP350-12: 220 V AC/230 V AC

IP500-21: 110 V AC/120 V AC

Το IP350-12 μπορεί να βγάλει στην έξοδο εναλλασσόμενη τάση 220 V ή 230 V με απόκλιση $\pm 5\%$ στην πρώτη περίπτωση και -7% έως $+5\%$ στην δεύτερη περίπτωση. Το IP500-21 μπορεί να βγάλει στην έξοδο εναλλασσόμενη τάση 110 V ή 120 V με απόκλιση $\pm 5\%$ στην πρώτη περίπτωση και -10% έως $+5\%$ στην δεύτερη περίπτωση. Γίνεται αντιληπτό ότι αν η χρήση αφορά την Ευρωπαϊκή αγορά θα προτιμηθεί το IP350-12, ενώ αν η χρήση αφορά την Αμερικάνικη αγορά θα προτιμηθεί το IP500-21. Και στα δυο μοντέλα η εναλλασσόμενη τάση εξόδου μπορεί να έχει συχνότητα 50 και 60 Hz με απόκλιση $\pm 0,1$ Hz.

Ας εξετάσουμε τώρα το εύρος τάσης εισόδου(Input Voltage Range).

IP350-12: 10,8-16 V DC

IP500-21: 21,6-32 V DC

Οι μπαταρίες κατά την χρήση του αποφορτίζονται και με την πάροδο τους χρόνου φθείρονται, με αποτέλεσμα η τάση στα άκρα τους να μειώνεται. Επίσης κατά την φόρτιση τους πρέπει να φορτίζονται σε τάση μεγαλύτερη από την ονομαστική τους. Ειδικά στη δεύτερη περίπτωση θα πρέπει να είμαστε ιδιαίτερα προσεκτικοί ώστε η τάση φόρτισης να μην ξεπερνάει την μέγιστη τιμή του εύρους τάσης εισόδου, διότι διαφορετικά ο αντιστροφέας δεν θα μπορεί να λειτουργεί παράλληλα με την φόρτιση, καθώς θα διακόπτει την λειτουργία του.

Άλλο ένα χαρακτηριστικό που πρέπει να λάβουμε σοβαρά υπόψη είναι η ονομαστική ισχύς εξόδου.

IP350-12: 350 W

IP500-21: 500 W

Όπως φαίνεται και στην Εικόνα 4.1 η τιμή της ισχύος που αναγράφεται είναι η ισχύς που μπορεί να παρέχει ο αντιστροφέας για ένα μικρό χρονικό διάστημα, στην περίπτωσή μας για 15 λεπτά. Η ισχύς που μπορεί να τροφοδοτεί ο αντιστροφέας για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα είναι συνήθως λίγο μικρότερη από την αναγραφόμενη και στην περίπτωσή μας είναι:

IP350-12: 280 W

IP500-21: 400 W

Κεφάλαιο 4

Βέβαια αυτή δεν είναι η ισχύς εκκίνησης(Surge Power) που μπορεί να προσφέρει ο αντιστροφέας όταν συνδέονται επαγωγικά φορτία. Αυτή είναι:

IP350-12: 750 W

IP500-21: 1000 W

Αν π.χ. θέλουμε να τροφοδοτήσουμε με αντιστροφέα έναν κινητήρα που χρειάζεται 900 W για την εκκίνηση του, μόνο ο IP500-21 μπορεί να τον εκκινήσει μιας και έχει ισχύ εκκίνησης μεγαλύτερη από αυτή του κινητήρα.

Κάποια άλλα χαρακτηριστικά που πρέπει να βλέπουμε είναι το είδος της κυματομορφής(Output Wave), την παραμόρφωση της(Distortion THD) και την απόδοση(Efficiency). Και τα δύο μοντέλα παράγουν καθαρό ημίτονο με βαθμό απόδοσης 91%. Το μοντέλο IP350-12 παράγει ελαφρώς πιο καθαρή κυματομορφή σε σχέση με το IP500-21, μιας και έχει THD<3% ενώ το IP500-21 έχει THD<5%. Τέλος συνήθως αναφέρονται οι διαστάσεις και το βάρος τους, παράμετροι σημαντικοί όταν υπάρχει στενότητα χώρου ή το σύστημα μας θέλουμε να είναι φορητό.

Model	IP350-12	IP350-22	IP350-11	IP350-21	IP500-12	IP500-22	IP500-11	IP500-21
Technical Specification								
Rated Input Voltage	12VDC	24VDC	12VDC	24VDC	12VDC	24VDC	12VDC	24VDC
Input Voltage Range	10.8 ~ 16VDC	21.6 ~ 32VDC	10.8 ~ 16VDC	21.6 ~ 32VDC	10.8 ~ 16VDC	21.6 ~ 32VDC	10.8 ~ 16VDC	21.6 ~ 32VDC
Input surge voltage	< 32VDC	< 44VDC	< 32VDC	< 44VDC	< 32VDC	< 44VDC	< 32VDC	< 44VDC
Output Voltage	220VAC (± 5%) 230VAC (-7% ~ + 5%)		110VAC (± 5%) 20VAC (-10% ~ + 5%)		220VAC (± 5%) 230VAC (-10% ~ + 5%)		110VAC (± 5%) 120VAC (-10% ~ + 5%)	
Output Frequency	50/60±0.1Hz							
Output Continuous Power	280W				400W			
Output Power 15 min.	350W				500W			
Surge power	750W				1000W			
Power factor	0.2-1(VA lower than output continuous power)							
Output Wave	Pure sine wave							
Distortion THD	THD≤3%①		THD≤5%①		THD≤3%①		THD≤5%①	
Max. Efficiency	91%	92%	90%	91%	92%		91%	
No-load current	<0.7A	<0.5A	<0.7A	<0.5A	<0.9A	<0.5A	<0.9A	<0.5A
USB Output Port②	5VDC/Max.1A							
Binding post	Φ6mm				Φ6mm			
Overall dimension	214 × 105.5 × 57.7mm				232.2 × 132 × 74.5mm			
Mounting dimension	185.5 × 76.7mm				205 × 102 mm			
Mounting hole size	Φ4.2mm				Φ5.2mm			
Net weight	1.0kg				1.7 kg			

Εικόνα 4.1 Χαρακτηριστικά αντιστροφέων

Κεφάλαιο 5ο: Συστήματα Διαχείρισης Ενέργειας

5.1 Εισαγωγή

Στην ανάπτυξη φορητών ενεργειακών συστημάτων, όπως τα Power Stations που τροφοδοτούνται από φωτοβολταϊκά πάνελ, η σωστή διαχείριση της ενέργειας αποτελεί καθοριστικό παράγοντα για την αξιοπιστία, την ασφάλεια και τη βελτίωση της διάρκειας ζωής του συστήματος. Η αποθήκευση της παραγόμενης ενέργειας πραγματοποιείται μέσω συσσωρευτών, κυρίως τεχνολογίας ιόντων λιθίου ή φωσφορικού λιθίου. Οι συσσωρευτές αυτοί απαιτούν ιδιαίτερη προστασία και παρακολούθηση, καθώς είναι ευαίσθητοι σε μεταβολές της τάσης, του ρεύματος και της θερμοκρασίας. Για τον λόγο αυτό, χρησιμοποιούνται συστήματα διαχείρισης ενέργειας. Η ύπαρξη αυτών των συστημάτων εξασφαλίζει ότι η αποθηκευμένη ενέργεια αξιοποιείται με τον αποτελεσματικότερο τρόπο, ότι το power station παραμένει ασφαλές, και ότι η διάρκεια ζωής των μπαταριών μεγιστοποιείται.

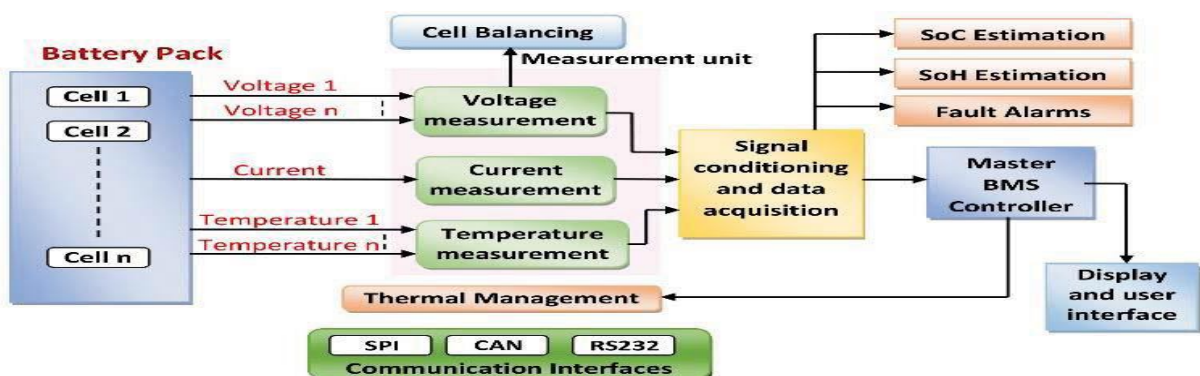
Οι δύο βασικές κατηγορίες συστημάτων διαχείρισης ενέργειας είναι οι εξής:

1.Battery Management System(BMS): Τα συστήματα αυτά επικεντρώνονται στη διαχείριση και προστασία των μπαταριών [30-32].

2.Energy Management System(EMS): Τα συστήματα αυτά βελτιώνουν συνολικά το ενεργειακό ισοζύγιο του φορητού σταθμού, συνδυάζοντας μπαταρίες, φορτιστές, αντιστροφείς και καταναλώσεις [30-32].

5.2 Battery Management System (BMS)

Ουσιαστικά πρόκειται για ένα ηλεκτρονικό κύκλωμα που ελέγχει και προστατεύει κάθε στοιχείο της μπαταρίας ξεχωριστά, διασφαλίζοντας ότι λειτουργεί εντός των επιτρεπτών ορίων. Το BMS δέχεται ως είσοδο την τάση του κάθε κελιού της μπαταρίας καθώς και τη συνολική της τάση [30]. Επίσης δέχεται τιμές από αισθητήρες θερμοκρασίας κάθε κελιού και τέλος μετράει την τιμή της έντασης του ρεύματος της μπαταρίας [32]. Εσωτερικά το κύκλωμα υλοποιεί έναν αριθμό αλγορίθμων προσπαθώντας να υπολογίσει στην έξοδο παραμέτρους όπως το state of charge(SoC) και το state of health(SoH) [30-32]. Επίσης περιλαμβάνει ενδείξεις για σφάλματα, την κατάσταση της μπαταρίας καθώς και διατάξεις προστασίας [32]. Τα κύρια δομικά στοιχεία του BMS είναι η μονάδα μέτρησης τιμών των παραμέτρων εισόδου, η μονάδα επεξεργασίας και αποθήκευσης των σημάτων και η μονάδα λήψης και εκτίμησης κατάστασης [30] όπως φαίνεται στην Εικόνα 5.1.



Εικόνα 5.1 Αρχιτεκτονική ενός BMS [30]

Οι κύριες λειτουργίες του BMS είναι οι εξής:

1. Παρακολούθηση τάσης

Το BMS μετρά την τάση κάθε στοιχείου της μπαταρίας. Αν κάποιο στοιχείο υπερβεί το ανώτερο όριο ή πέσει κάτω από το κατώτερο όριο, το BMS διακόπτει την παροχή ή τη διαδικασία της φόρτισης [30-32].

2. Παρακολούθηση ρεύματος

Ο έλεγχος του ρεύματος αποτρέπει φαινόμενα υπερφόρτισης ή υπερβολικής εκφόρτισης που μπορούν να προκαλέσουν υπερθέρμανση ή ακόμα και μόνιμη βλάβη. Όταν το ρεύμα ξεπεράσει τις προβλεπόμενες τιμές ρεύματος το BMS διακόπτει την μπαταρία από το κύκλωμα [30-32].

3. Έλεγχος θερμοκρασίας

Η θερμοκρασία αποτελεί ένα σημαντικός παράγοντα λειτουργίας μιας μπαταρίας διότι εκτός από ζητήματα ασφάλειας που προκύπτουν, αν ανέβει πολύ η θερμοκρασία της, επίσης η απόδοση της μπαταρίας επηρεάζεται λόγω της υποβάθμισης της χωρητικότητάς της και της αύξησης της εσωτερικής της αντίστασης. Το BMS διαθέτει αισθητήρες θερμοκρασίας που χρησιμοποιούν θερμίστορ NTC [30]. Αν η θερμοκρασία της μπαταρίας ανέβει σε επικίνδυνα επίπεδα, το κύκλωμα προστασίας αποτρέπει την περαιτέρω φόρτιση ή εκφόρτιση και ενεργοποιεί συστήματα απαγωγής θερμότητας [30-32].

4. Εξισορρόπηση στοιχείων (Cell Balancing)

Καθώς τα στοιχεία της μπαταρίας δεν είναι ποτέ απολύτως ίδια, με την πάροδο του χρόνου δημιουργούνται διαφορές στην τάση τους. Το BMS εκτελεί διαδικασία εξισορρόπησης ώστε όλα τα στοιχεία να φορτίζονται και να εκφορτίζονται ομοιόμορφα [30]. Η διαφορά της τάσης στα στοιχεία κάθε κελιού μπορεί να οφείλεται σε διάφορους παράγοντες όπως η εσωτερική αντίσταση, η απόδοση φόρτισης/εκφόρτισης, η χημική σύνθεση των κελιών, οι διακυμάνσεις της χωρητικότητας, οι διαφορές θερμοκρασίας μεταξύ των στοιχείων τους και τέλος οι ανοχές. Η εξισορρόπηση στοιχείων εξασφαλίζει βέλτιστη απόδοση με ομοιόμορφη κατανομή του φορτίου μεταξύ των στοιχείων της μπαταρίας. Οι δύο μέθοδοι που χρησιμοποιούνται για την εξισορρόπηση των στοιχείων είναι η παθητική εξισορρόπηση και η ενεργητική εξισορρόπηση [30-32]. Η παθητική εξισορρόπηση βασίζεται στη διάχυση της πλεονάζουσας ενέργειας από τα υπερφορτισμένα κελιά υπό μορφή θερμότητας, μέσω αντιστάσεων εκφόρτισης [30-31]. Η μέθοδος αυτή χαρακτηρίζεται από απλότητα και χαμηλό κόστος, καθώς δεν απαιτεί πολύπλοκα ηλεκτρονικά κυκλώματα [31]. Ωστόσο, η ενεργειακή της απόδοση είναι περιορισμένη, δεδομένου ότι η περίσσεια ενέργειας δεν αξιοποιείται, αλλά απορρίπτεται [32]. Αντίθετα, η ενεργητική εξισορρόπηση επιδιώκει την πραγματική ανακατανομή ενέργειας μεταξύ των κελιών. Μέσω μετατροπών ισχύος, πυκνωτών και μετασχηματιστών η περίσσεια ενέργειας ενός υπερφορτισμένου κελιού μεταφέρεται σε άλλα κελιά με χαμηλότερη τάση [32]. Η προσέγγιση αυτή επιτρέπει την πλήρη εκμετάλλευση της διαθέσιμης ενέργειας αλλά είναι πιο πολύπλοκη και έχει υψηλότερο κόστος [31].

5. Προστασία από βραχυκύκλωμα

Ενσωματώνει μηχανισμούς που επιτρέπουν την άμεση διακοπή του κυκλώματος σε περίπτωση βραχυκυκλώματος, προστατεύοντας το σύστημα και τον χρήστη.

6. Υπολογισμός κατάστασης μπαταρίας

Το BMS εκτιμά την κατάσταση φόρτισης(SoC), την κατάσταση υγείας(SoH) και την κατάσταση ενέργειας(SoE) [30-32]. Με αυτόν τον τρόπο παρέχει αξιόπιστη πληροφόρηση για το ποσοστό ενέργειας που απομένει και τη γενικότερη κατάσταση του συσσωρευτή.

Το SoC είναι το ποσοστό της αποθηκευμένης ηλεκτρικής ενέργειας μιας μπαταρίας σε σχέση με την ονομαστική της χωρητικότητα [30]. Η ακριβής εκτίμηση του SoC είναι κρίσιμη για την αποφυγή υπερφόρτισης ή υπερεκφόρτισης για την βέλτιστη διαχείριση της διαθέσιμης ενέργειας και τον περιορισμό των ακραίων καταστάσεων λειτουργίας που μειώνουν τη διάρκεια ζωής της μπαταρίας. Στην Εικόνα 5.2 παρουσιάζονται οι μέθοδοι υπολογισμού του SoC που βασίζονται σε μετρήσεις, σε μοντέλα και σε δεδομένα.

Το SoH αποτελεί έναν κρίσιμο δείκτη για την αποτίμηση της κατάστασης και της μακροχρόνιας απόδοσης μιας μπαταρίας [31]. Εκφράζει την υποβάθμιση της σε σχέση με την αρχική, ονομαστική της κατάσταση και αποτυπώνει την ικανότητά της να αποθηκεύει και να παρέχει ενέργεια σύμφωνα με τις προδιαγραφές του κατασκευαστή [30]. Συνήθως ορίζεται ως το ποσοστό της τρέχουσας ωφέλιμης χωρητικότητας ή ισχύος σε σχέση με την ονομαστική τιμή. Ο υπολογισμός της γίνεται μέσω της σχέσης 5.1 [31].

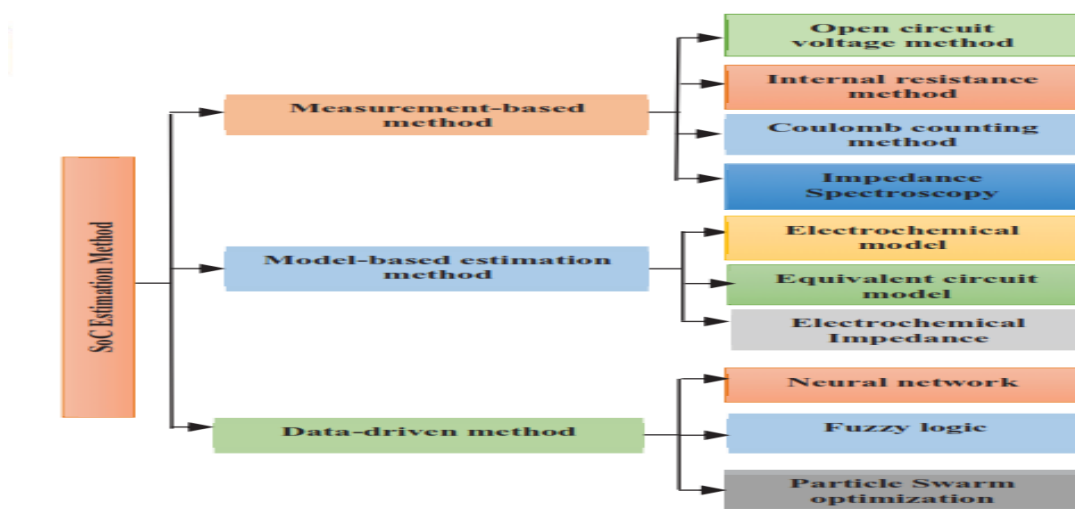
$$SOH(\%) = \frac{Q_{act}}{Q_R} \times 100 \quad (\text{σχέση 5.1})$$

όπου:

Q_{act} : Ονομαστική χωρητικότητα

Q_R : Πραγματική χωρητικότητα

Η εκτίμηση του SoH περιλαμβάνει ποικίλες παραμέτρους, όπως την ωφέλιμη χωρητικότητα, την εσωτερική αντίσταση την ικανότητα παροχής ισχύος υπό φορτίο, καθώς και τις επιπτώσεις θερμικών και χημικών παραγόντων στη λειτουργία της μπαταρίας [32]. Οι προσεγγίσεις εκτίμησης του παρουσιάζονται στον Πίνακα 5.1. Η ακριβής εκτίμηση του SoH είναι θεμελιώδης για τον προγραμματισμό της συντήρησης, την αύξηση της διάρκειας ζωής του συστήματος και την αποφυγή επικίνδυνων καταστάσεων λειτουργίας.



Εικόνα 5.2 Μέθοδοι υπολογισμού SoC [30]

Πίνακας 5.1 Μέθοδοι υπολογισμού SoH [32]

Προσέγγιση Ελέγχου	Αποτελέσματα
Μοντέλο υποβάθμισης με βάση το μονοσωματίδιο	Πρόβλεψη της υποβάθμισης της χωρητικότητας της μπαταρίας σε ευρύ φάσμα θερμοκρασιών
Πολυστρωματικός perceptron	Καλή απόδοση εκτίμησης SOH σε εκπαιδευμένη και μη εκπαιδευμένη διάρκεια ζωής
Ανάλυση επαυξημένης χωρητικότητας	Πολύ χαμηλότερο σφάλμα εκτίμησης στην καθορισμό του SOH
Μοντέλο μηχανής υποστήριξης διανυσμάτων (SVM)	Γρήγορος χρόνος εκτίμησης και ικανότητα διαχείρισης μεγάλου αριθμού δεδομένων μπαταρίας
Ολοκληρωμένη μέθοδος εξισορρόπησης SOH	Μπορεί να εφαρμοστεί σε χρήση μπαταριών δεύτερης ζωής
Προσαρμοστικό μοντέλο παρατήρησης	Η εκτιμώμενη τιμή προσεγγίζει την πραγματική πολύ γρήγορα με μικρό σφάλμα

Το SoE αναφέρεται στην ποσοτική αποτίμηση της διαθέσιμης ενέργειας μιας μπαταρίας σε δεδομένη χρονική στιγμή, σε σχέση με την ονομαστική ή τη μέγιστη αποθηκεύσιμη ενέργεια [32]. Σε αντίθεση με το SoC, το οποίο αποτυπώνει την αναλογία του αποθηκευμένου φορτίου, το SoE εστιάζει στην πραγματική ενέργεια που μπορεί να παρασχεθεί, λαμβάνοντας υπόψη φαινόμενα απωλειών, θερμοκρασίας και γήρανσης. Η εκτίμηση του SoE συχνά απαιτεί ολοκληρωμένες μεθόδους υπολογισμού που συνδυάζουν ηλεκτρικά και θερμικά μοντέλα, καθώς και δεδομένα λειτουργίας, προκειμένου να αποδοθεί μία αξιόπιστη εικόνα της διαθέσιμης ενεργειακής ικανότητας. Οι προσεγγίσεις εκτίμησης του παρουσιάζονται στον Πίνακα 5.2.

Πίνακας 5.2 Μέθοδοι υπολογισμού SoE [32]

Μέθοδος Ελέγχου	Σημαντικά Αποτελέσματα
Μοντέλο FLC	Προβλέπει το SOP χωρίς γνώση του SOH και είναι επίσης ανθεκτικό σε σφάλματα στις εκτιμήσεις SOC
Βελτιωμένο γενετικό φίλτρο σωματιδίων (IGPF)	Μεγαλύτερη αποδοτικότητα και πρακτικότητα σε σχέση με άλλους αλγορίθμους με πολύπλοκους υπολογισμούς
Μοντέλο τάσης πόλωσης	Απλό μοντέλο που απαιτεί μόνο δεδομένα μικρής κλίμακας για την επίτευξη υψηλής ακρίβειας στην εκτίμηση SOP
Προσαρμοστικό EKF	Συνδυαστικός εκτιμητής SOC και SOP δείχνει υψηλότερη ακρίβεια εκτίμησης τόσο σε νέες όσο και σε γερασμένες μπαταρίες
Αλγόριθμος αναζήτησης ακρότατου	Λαμβάνει υπόψη τους περιορισμούς ρεύματος και της τάσης της μπαταρίας, παρέχοντας εκτίμηση της μέγιστης ισχύος της μπαταρίας
Αλγόριθμος Genetic	Παρέχει βελτιωμένη ακρίβεια εκτίμησης SOP, λαμβάνοντας υπόψη τα σφάλματα στην εκτίμηση SOC

5.3 Σύστημα Διαχείρισης Ενέργειας(EMS)

Το EMS αποτελεί έναν ολοκληρωμένο μηχανισμό ελέγχου και βελτιστοποίησης, ο οποίος δεν περιορίζεται αποκλειστικά στη διαχείριση των μπαταριών, αλλά καλύπτει το σύνολο του ενεργειακού κύκλου ενός σταθμού παραγωγής ή αποθήκευσης ενέργειας. Στόχος του EMS είναι η επίτευξη της μέγιστης ενεργειακής αποδοτικότητας, η μείωση του κόστους λειτουργίας και η αύξηση της διάρκειας ζωής των επιμέρους υποσυστημάτων, μέσω συντονισμένων ελέγχων [31]. Οι βασικές λειτουργίες ενός EMS μπορούν να συνοψιστούν ως εξής:

1. Κατανομή και βελτιστοποίηση της ροής ενέργειας

Το EMS καθορίζει τον τρόπο με τον οποίο κατανέμεται η διαθέσιμη ενέργεια, είτε αυτή προέρχεται από ανανεώσιμες πηγές, είτε από συστήματα αποθήκευσης, είτε από εναλλακτικές πηγές [33]. Μέσω προηγμένων αλγορίθμων, επιτυγχάνεται ισορροπία μεταξύ προσφοράς και ζήτησης, ελαχιστοποιώντας απώλειες και αυξάνοντας την αποδοτικότητα του συστήματος.

2. Διαχείριση φόρτισης και εκφόρτισης συστημάτων αποθήκευσης

Το EMS ρυθμίζει με ακρίβεια τον ρυθμό και τον χρόνο φόρτισης/εκφόρτισης των μπαταριών, αποφεύγοντας συχνές μερικές φορτίσεις ή εκφορτίσεις που οδηγούν σε πρόωρη γήρανση των στοιχείων [33]. Μέσω της βελτιστοποίησης αυτής, παρατείνεται η διάρκεια ζωής των συστημάτων αποθήκευσης και διασφαλίζεται η μέγιστη αξιοπιστία τους.

3. Διαχείριση και ιεράρχηση φορτίων

Ένα από τα πλέον κρίσιμα καθήκοντα του EMS είναι η προτεραιοποίηση των καταναλωτών, ανάλογα με τη διαθεσιμότητα ενέργειας και τη στάθμη φόρτισης των μπαταριών [33]. Σε περιπτώσεις περιορισμένων πόρων, το σύστημα μπορεί να εξασφαλίσει τη συνέχιση λειτουργίας κρίσιμων φορτίων απορρίπτοντας δευτερεύουσες ή μη αναγκαίες καταναλώσεις.

4. Έλεγχος και βελτιστοποίηση σε πραγματικό χρόνο

Το EMS ενσωματώνει εξελιγμένους αλγορίθμους ελέγχου που συλλέγουν και επεξεργάζονται δεδομένα σε πραγματικό χρόνο από το BMS, τον ρυθμιστή φόρτισης και τον αντιστροφέα. Με τον τρόπο αυτό επιτυγχάνεται δυναμική προσαρμογή της λειτουργίας του συστήματος στις εκάστοτε συνθήκες παραγωγής και κατανάλωσης, βελτιώνοντας την αποδοτικότητα και την ευελιξία του [33].

5. Επικοινωνία και διεπαφή με τον χρήστη

Τέλος, το EMS παρέχει μια ολοκληρωμένη διεπαφή επικοινωνίας με τον χρήστη ή τον διαχειριστή του συστήματος, μέσω οθονών LCD, εφαρμογών για κινητές συσκευές και web-based πλατφορμών [33]. Μέσα από αυτά τα εργαλεία προσφέρονται πληροφορίες σε πραγματικό χρόνο σχετικά με την παραγωγή, την κατανάλωση, τα επίπεδα ενέργειας και την προβλεπόμενη διάρκεια λειτουργίας, επιτρέποντας τη λήψη τεκμηριωμένων αποφάσεων και τη βελτιωμένη παρακολούθηση του συστήματος.

Συνολικά, το EMS συνιστά έναν θεμελιώδη μηχανισμό για τη λειτουργία σύγχρονων ενεργειακών συστημάτων, καθώς προσφέρει τόσο τεχνικά οφέλη(αποδοτικότητα, αξιοπιστία, μείωση απωλειών) όσο και οικονομικά(μείωση κόστους λειτουργίας, αποφυγή υπερκατανάλωσης από το δίκτυο).

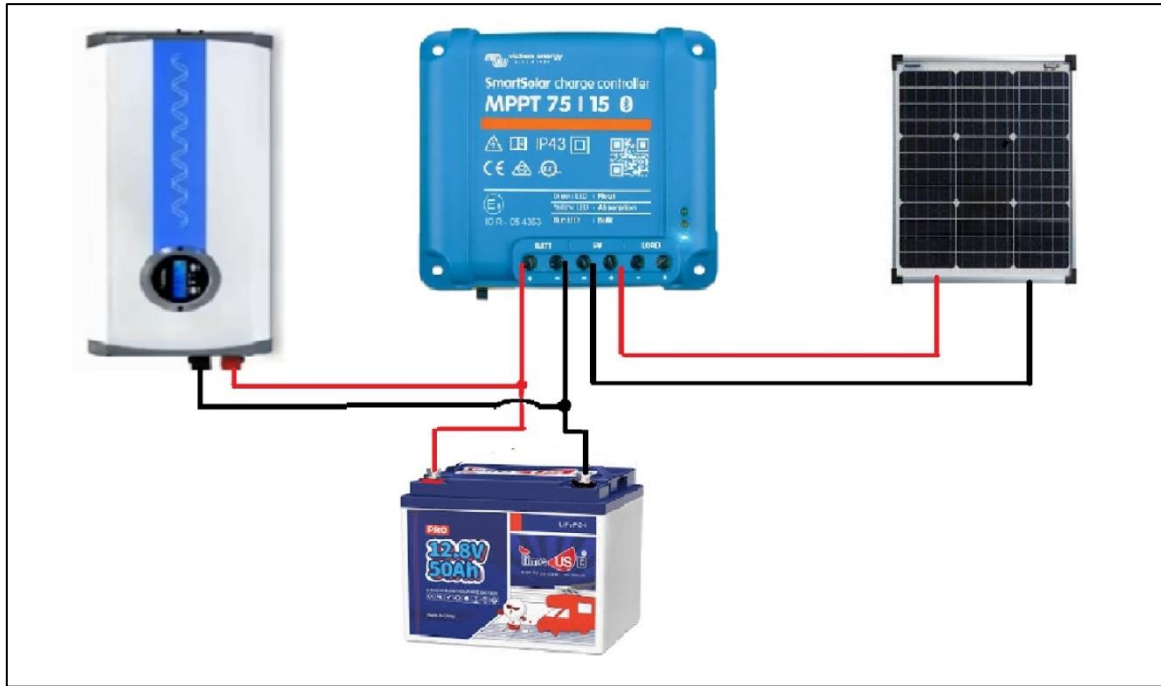
Κεφάλαιο 6ο: Κατασκευή του Power station

6.1 Εισαγωγή

Για την κατασκευή του Power Station πρέπει να ληφθούν εκ των προτέρων κάποιες απαιτήσεις που σχετίζονται με τις ανάγκες που θα πρέπει να ικανοποιεί. Στην δικιά μας περίπτωση θέλουμε να κατασκευάσουμε έναν που να καλύπτει βασικές ανάγκες ισχύος όπως λάμπες, μικρές ηλεκτρονικές συσκευές, μικρά ψυγεία, ώστε να μπορούν να τροφοδοτούνται σε περίπτωση διακοπής ρεύματος, καθώς επίσης και να μπορούμε να το μεταφέρουμε εύκολα από μέρος σε μέρος για να το χρησιμοποιήσουμε σε περίπτωση που θέλουμε να πάμε σε κάποιο μέρος για να κάνουμε κατασκήνωση στην οποία δεν υπάρχει παροχή ηλεκτρικού ρεύματος. Αρχικά λοιπόν θα πρέπει να προσδιοριστεί η συνολική ισχύς που μπορεί να ικανοποιήσει λαμβάνοντας πολύ σοβαρά υπόψιν το συνολικό βάρος της κατασκευής, μιας και θα πρέπει να μπορεί να μεταφέρεται με ευκολία. Από την έρευνα που έγινε προσδιορίστηκε ότι μία κατασκευή ισχύος 500 Watt είναι αρκετή και μπορεί να γίνει με ένα βάρος το οποίο μπορεί κάποιος να μετακινήσει με σχετική ευκολία. Επίσης κρίνεται σκόπιμο να υπάρχει η δυνατότητα φόρτισης της μπαταρίας εκτός από τα φωτοβολταϊκά και από το δίκτυο. Για αυτό τον σκοπό θα χρησιμοποιηθεί κατάλληλος φορτιστής μπαταριών. Θα πρέπει να τονιστεί ότι ανάλογα με τον τύπο της μπαταρίας που θα επιλεγεί θα πρέπει να χρησιμοποιηθεί και αντίστοιχος τύπος φορτιστή.

6.2 Βασική Συνδεσμολογία

Τα βασικά μέρη από τα οποία αποτελείται ένα Power Station όπως φαίνεται στην Εικόνα 6.1 είναι τα φωτοβολταϊκά πάνελ, ο ρυθμιστής φόρτισης, η μπαταρία και ο αντιστροφάς. Τα φωτοβολταϊκά πάνελ, τα οποία λαμβάνουν την ηλιακή ενέργεια και την μετατρέπουν σε ηλεκτρική, συνδέονται στην είσοδο του ρυθμιστή φόρτισης. Η τάση των φωτοβολταϊκών πάνελ όπως έχουμε δει δεν είναι σταθερή και επηρεάζεται από παράγοντες όπως η ηλιοφάνεια και η θερμοκρασία του περιβάλλοντος. Ο ρόλος του ρυθμιστή φόρτισης είναι να διατηρεί μια σταθερή τάση στα άκρα της μπαταρίας αλλάζοντας μόνο το ρεύμα φόρτισης. Επίσης κάθε μπαταρία ανάλογα με τον τύπο της ακολουθεί διαφορετικά στάδια φόρτισης. Θα πρέπει να επιλεγεί ρυθμιστής φόρτισης κατάλληλος για τον τύπο και τα χαρακτηριστικά της μπαταρίας. Σε ορισμένους φορτιστές τα χαρακτηριστικά φόρτισης επιλέγονται αυτόματα ενώ σε άλλες περιπτώσεις πρέπει να τα καταχωρήσουμε χειροκίνητα. Εδώ είναι σημαντικό να τονιστεί ότι η σύνδεση πρέπει να γίνει με τη σωστή πολικότητα, δηλαδή ο θετικός ακροδέκτης των φωτοβολταϊκών με την θετική είσοδο του ρυθμιστή φόρτισης και οι αρνητικοί αντίστοιχα, ειδάλλως θα προκληθεί ζημιά. Κάποιοι ρυθμιστές φόρτισης διαθέτουν προστασία από ανάστροφη πολικότητα ενώ κάποιοι άλλοι δεν διαθέτουν. Στη συνέχεια η έξοδος του ρυθμιστή φόρτισης συνδέεται με τους πόλους της μπαταρίας με τη κατάλληλη πολικότητα. Δηλαδή η θετική έξοδος του ρυθμιστή με τον θετικό πόλο της μπαταρίας και η αρνητική έξοδος του ρυθμιστή με τον αρνητικό πόλο της μπαταρίας. Τέλος γίνεται σύνδεση των πόλων της μπαταρίας με την είσοδο του αντιστροφέα, ο οποίος μετατρέπει το συνεχές ρεύμα που δέχεται στην είσοδο του σε εναλλασσόμενο και τροφοδοτεί στην έξοδό του τα φορτία. Και αυτή η σύνδεση θα πρέπει να γίνει με την σωστή πολικότητα. Συνήθως οι ακροδέκτες εισόδου έχουν κόκκινο χρώμα(θετικός ακροδέκτης) και μαύρο χρώμα(αρνητικός ακροδέκτης). Όλες οι συνδέσεις θα πρέπει να γίνουν με αγωγούς κατάλληλης διατομής για την αποφυγή υπερθέρμανσης και να ασφαλιστούν αναλόγως για περίπτωση βραχυκυκλώματος. Ο τρόπος επιλογής αγωγών και ασφαλειών θα αναλυθεί σε επόμενο κεφάλαιο.



Εικόνα 6.1 Βασική συνδεσμολογία Power Station

6.3 Σχεδιασμός του Συστήματος

Αρχικά έγινε μια έρευνα σε προϊόντα της αγοράς ώστε το σύστημα που θα υλοποιηθεί να ικανοποιεί τις εξής απαιτήσεις:

- 1.Εφόσον η κατασκευή θα είναι φορητή, θα πρέπει να έχει ένα βάρος που να επιτρέπει την μεταφορά του από μέρος σε μέρος.
- 2.Οι διαστάσεις του κουτιού στο οποίο θα μπουν τα υλικά πρέπει να είναι όσο το δυνατόν πιο μικρές.
- 3.Το σύστημα θα πρέπει να παρέχει στην έξοδό του ικανοποιητική ισχύ για να μπορεί να τροφοδοτεί τις απαραίτητες συσκευές.
- 4.Να υπάρχει ικανοποιητική επάρκεια ενέργειας από την μπαταρία.
- 5.Το συνολικό κόστος να είναι οικονομικό.

Από την έρευνα της αγοράς προέκυψε ότι για να μπορούν να ικανοποιούνται οι παραπάνω απαιτήσεις, μία ισχύς εξόδου της τάξεως των 500 W είναι ικανοποιητική. Το πιο βαρύ μέρος της κατασκευής είναι η μπαταρία. Οι περισσότεροι τύποι μπαταρίας έχουν μεγάλο βάρος. Ο πιο ελαφρύς τύπος μπαταρίας για τα ίδια χαρακτηριστικά είναι οι LifePO4. Οι μπαταρίες αυτές εκτός του χαμηλού βάρους προσφέρουν και άλλα σημαντικά πλεονεκτήματα σε σύγκριση με τις υπόλοιπες, όπως το γεγονός ότι παρέχουν πολλούς κύκλους φόρτισης και αξιοποιούν μεγάλο μέρος της χωρητικότητάς τους. Οι μπαταρίες βαθιάς εκφόρτισης πρέπει να αποφορτίζονται μέχρι 50% της χωρητικότητάς τους, ενώ οι LifePO4 μπορούν να χρησιμοποιήσουν από το 85% έως το 95% της χωρητικότητάς τους. Αυτό σημαίνει ότι με τις μπαταρίες LifePO4 χρειαζόμαστε την μισή χωρητικότητα για να καλύψουμε τις ίδιες ανάγκες σε σχέση με τις μπαταρίες βαθιάς εκφόρτισης. Το κόστος βέβαια είναι μεγαλύτερο, αλλά τα συγκριτικά οφέλη συγκλίνουν στην επιλογή μπαταρίας τύπου LifePO4. Για τους λόγους αυτούς επιλέχθηκε αυτός ο τύπος μπαταρίας. Το επόμενο βήμα είναι η επιλογή της ονομαστικής της τάσης μπαταρίας, δηλαδή αν θα είναι 12 V, 24 V, 36 V ή 48 V. Η επιλογή αυτή είναι πολύ σημαντική γιατί θα καθορίσει τα χαρακτηριστικά των φωτοβολταϊκών πάνελ, του ρυθμιστή φόρτισης, του αντιστροφέα, τις διατομές των καλωδίων και κατά επέκταση τις ασφάλειες των κυκλωμάτων. Σε

πρώτη εκτίμηση θεωρήθηκε ότι η επιλογή μιας μπαταρίας με ονομαστική τάση 24 V ήταν ιδανική επιλογή, καθώς θα αναπτύσσονταν μικρότερα ρεύματα και θα χρειαζόταν καλώδια μικρότερης διατομής. Επίσης λόγω των χαμηλότερων ρευμάτων θα αναπτύσσονταν μικρότερες θερμοκρασίες, σημαντικός παράγοντας που επηρεάζει την απόδοση των συσκευών που απαρτίζουν το σύστημα. Επειδή όμως το σύστημα μας θέλουμε να είναι φορητό, θα πρέπει και τα φωτοβολταϊκά πάνελ που θα χρησιμοποιήσουμε να είναι εύκολα στη μεταφορά τους. Έτσι κρίθηκε σκόπιμο να χρησιμοποιηθούν αναδιπλωμένα φωτοβολταϊκά πάνελ. Για να λειτουργήσει όμως ο ρυθμιστής φόρτισης πρέπει η τάση λειτουργίας των φωτοβολταϊκών πάνελ να είναι μεγαλύτερη από την ονομαστική τάση της μπαταρίας. Από έρευνα που έγινε στην αγορά η συντριπτική πλειοψηφία των αναδιπλωμένων φωτοβολταϊκών πάνελ λειτουργούν με ονομαστική τάση μπαταρίας 12 V. Σε αυτό το σημείο αξίζει να αναφερθεί ότι θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν δύο πάνελ συνδεδεμένα σε σειρά, αλλά αυτό θα αύξανε την πολυπλοκότητα χρήσης του συστήματος και θα δυσχέρανε την φορητότητά του. Με αυτά τα δεδομένα επιλέχθηκε μπαταρία LifePO4 με ονομαστική τάση 12,8 V. Επόμενο βήμα είναι η επιλογή της χωρητικότητας της μπαταρίας. Αν και μία χωρητικότητα των 100 Ah θα ήταν ιδανική, τελικά επιλέχθηκε μπαταρία 50 Ah μιας και το βάρος της ήταν πιο προσιτό για να ικανοποιήσει τις απαιτήσεις μας.

Για την επιλογή του αντιστροφέα εκτός από την ονομαστική ισχύ εξόδου, σημαντικό χαρακτηριστικό είναι το εύρος της συνεχής τάσης εισόδου στα όρια του οποίου μπορεί να λειτουργήσει ο αντιστροφέας. Εδώ πρέπει να τονιστεί ότι οι μπαταρίες LifePO4 παρόλο που αναγράφουν ονομαστική τάση 12,8 V η πραγματική τάση λειτουργίας της είναι μεγαλύτερη από την ονομαστική και μπορεί να φτάσει και έως τα 13,6 V. Άρα πρέπει να επιλεγεί αντιστροφέας του οποίου το εύρος λειτουργίας περιλαμβάνει τα όρια τάσης της μπαταρίας. Επιλέχθηκε ο αντιστροφέας IPT 500-12 ονομαστικής ισχύς εξόδου 500 W με εύρος τάσης εισόδου από 10,8 V έως 16 V. Ένας επιπλέον λόγος για την επιλογή του συγκεκριμένου αντιστροφέα είναι ότι διαθέτει θύρα επικοινωνίας RS485 η οποία επιτρέπει ενσύρματη και ασύρματη επικοινωνία με υπολογιστή και κινητό τηλέφωνο, ώστε να υπάρχει οπτικός έλεγχος της ροής ενέργειας καθώς και χειρισμός και παραμετροποίηση του.

Για την επιλογή του ρυθμιστή φόρτισης τα βασικά χαρακτηριστικά που πρέπει να συνυπολογιστούν είναι η τάση ανοιχτού κυκλώματος και η ισχύς των φωτοβολταϊκών πάνελ. Το πάνελ που επιλέχθηκε έχει ισχύ 120 W και τάση ανοιχτού κυκλώματος 24,4 V. Το πρώτο κριτήριο που πρέπει να ικανοποιεί ο ρυθμιστής φόρτισης είναι να υποστηρίζει τάση μεγαλύτερη από την τάση ανοιχτού κυκλώματος των φωτοβολταϊκών. Επειδή όμως η μείωση της θερμοκρασίας προκαλεί αύξηση της τάσης των πάνελ για λόγους ασφαλείας δίνεται ένα περιθώριο 20%. Επομένως θα πρέπει να ισχύει η σχέση 6.1.

$$1,2 \times V_{OC_{\text{φωτοβολταϊκών}}} < V_{\text{Max_PV_Circuit_Voltage}} \quad (6.1)$$

Όπου:

$V_{\text{Max_PV_Circuit_Voltage}}$: Η μέγιστη τάση που αντέχει ο ρυθμιστής φόρτισης στην είσοδό του

$V_{OC_{\text{φωτοβολταϊκών}}}$: Η τάση ανοιχτού κυκλώματος των φωτοβολταϊκών

Το επόμενο βήμα είναι ο υπολογισμός του ρεύματος φόρτισης. Για να γίνει αυτό θα πρέπει αρχικά να γνωρίζουμε τον τύπο της μπαταρίας και κατά επέκταση την τάση στην οποία πρέπει να φορτιστεί. Εφόσον χρησιμοποιούμε μπαταρία LifePO4 η τάση φόρτισης είναι 14,6 V.

Το ρεύμα φόρτισης υπολογίζεται από την σχέση 6.2.

$$I_{\text{φορ}} = \frac{P_{\text{φωτοβολταϊκών}}}{V_{\text{φορ}}} \quad (6.2)$$

Όπου:

$P_{\text{φωτοβολταϊκών}}$: Η ισχύς των φωτοβολταϊκών

$V_{\text{φορ}}$: Η τάση φόρτισης της μπαταρίας

Επομένως

$$I_{\text{φορ}} = \frac{P_{\text{φωτοβολταϊκών}}}{V_{\text{φορ}}} = \frac{120}{14,6} = 8,21 \text{ A}$$

Θα δώσουμε ένα περιθώριο ασφαλείας 20% οπότε το απαιτούμενο ρεύμα φόρτισης που μπορεί να υποστηρίξει ο ρυθμιστής φόρτισης είναι:

$$I_{\text{φορ}} = 1,2 \times 8,21 = 9,85 \text{ A}$$

SmartSolar Charge Controller	MPPT 75/10	MPPT 75/15	MPPT 100/15	MPPT 100/20-48V
Battery voltage (auto select)	12/24 V			12/24/48 V
Rated charge current	10 A	15 A	15 A	20 A
Nominal PV power, 12 V 1a,b)	145 W	220 W	220 W	290 W
Nominal PV power, 24 V 1a,b)	290 W	440 W	440 W	580 W
Nominal PV power, 48 V 1a,b)	n. a.	n. a.	n. a.	1160 W
Max. PV short circuit current 2)	13 A	15 A	15 A	20 A
Automatic load disconnect	Yes			
Max. PV open circuit voltage	75 V		100 V	
Peak efficiency	98 %			
Self-consumption – load on	12 V: 19 mA 24 V: 16 mA			26 / 20 / 19 mA
Self-consumption – load off	12 V: 10 mA 24 V: 8 mA			10 / 8 / 7 mA
Charge voltage 'absorption'	14,4 V / 28,8 V (adjustable)			14,4 V / 28,8 V / 57,6 V (adj.)
Charge voltage 'float'	13,8 V / 27,6 V (adjustable)			13,8 V / 27,6 V / 55,2 V (adj.)
Charge algorithm	multi-stage adaptive			
Temperature compensation	-16 mV / °C resp. -32 mV / °C			
Max. continuous load current	15 A			20 A / 20 A / 1 A
Low voltage load disconnect	11,1 V / 22,2 V / 44,4 V or 11,8 V / 23,6 V / 47,2 V or Battery Life algorithm			
Low voltage load reconnect	13,1 V / 26,2 V / 52,4 V or 14 V / 28 V / 56 V or Battery Life algorithm			
Protection	Output short circuit / Over temperature			
Operating temperature	-30 to +60 °C (full rated output up to 40 °C)			
Humidity	95 %, non-condensing			
Data communication port	VE.Direct (see the data communication white paper on our website)			
ENCLOSURE				
Colour	Blue (RAL 5012)			
Power terminals	6 mm ² / AWG10			
Protection category	IP43 (electronic components), IP22 (connection area)			
Weight	0,5 kg		0,6 kg	0,65 kg
Dimensions (h x w x d)	100 x 113 x 40 mm		100 x 113 x 50 mm	100 x 131 x 60 mm
STANDARDS				
Safety	EN/IEC 62109-1, UL 1741, CSA C22.2			
STORED TRENDS				
Data stored	Battery voltage,current and temperature, as well as load output current, PV voltage and PV current.			
Number of days trends data is stored	46			
1a) If more PV power is connected, the controller will limit input power. 1b) The PV voltage must exceed Vbat + 5 V for the controller to start. Thereafter the minimum PV voltage is Vbat + 1 V 2) A PV array with a higher short circuit current may damage the controller.				

Εικόνα 6.2 Τεχνικά χαρακτηριστικά της σειράς SmartSolarCharge

Στην Εικόνα 6.2 φαίνονται τα τεχνικά χαρακτηριστικά της σειράς SmartSolarCharge της εταιρίας Victron. Ο ρυθμιστής MPPT75/10 ικανοποιεί τις απαιτήσεις μας γιατί μπορεί να διαχειριστεί τάση εισόδου έως 75 V, που καλύπτει τα 29,28 V (με το περιθώριο ασφαλείας) τάσης ανοιχτού κυκλώματος των πάνελ και επίσης μπορεί να φορτίσει την μπαταρία με ρεύμα έως 10 A που καλύπτει τα 9,85 A που υπολογίστηκαν προηγουμένως. Επειδή όμως ενδεχομένως να συνδεθούν και φωτοβολταϊκά μεγαλύτερης ισχύος στο μέλλον επιλέχθηκε ο MPPT 75/15 για να υπάρχει περιθώριο για μεγαλύτερο ρεύμα φόρτισης. Μια άλλη παράμετρος που πρέπει να ληφθεί υπόψιν είναι για την εκκίνηση του ρυθμιστή φόρτισης η τάση κανονικής λειτουργίας των φωτοβολταϊκών πρέπει να είναι 5 V μεγαλύτερη από την τάση της μπαταρίας. Η ονομαστική τάση της μπαταρίας είναι 12,8 αλλά η πραγματική τιμή της μπορεί να φτάσει μέχρι και 13,5 V. Για αυτόν τον λόγο για να εκκινήσει ο ρυθμιστής φόρτισης θα πρέπει η τάση λειτουργίας των φωτοβολταϊκών πάνελ να είναι μεγαλύτερη από 18,5 V. Η τάση στην μέγιστη ισχύ λειτουργίας είναι 19,6 V και επομένως καλύπτεται και αυτό το κριτήριο.

Υπολογισμός Διατομών Καλωδίων και Ασφαλειών

Το σύστημα αποτελείται από την σύνδεση της μπαταρίας με τον αντιστροφέα, του αντιστροφέα με τα φορτία, της μπαταρίας με τον ρυθμιστή φόρτισης και των πάνελ με τον ρυθμιστή φόρτισης. Ο υπολογισμός των διατομών των καλωδίων και των ασφαλειών πρέπει να γίνει για κάθε κλάδο του κυκλώματος. Για τον υπολογισμό των διατομών των καλωδίων θα χρησιμοποιηθούν οι πίνακες 6.1 και 6.2.

Πίνακας 6.1 Μέγιστα επιτρεπόμενα ρεύματα σε A

Μόνωση	Πλήθος Φορτιζόμενων αγωγών	Οι αριθμοί παραπέμπουν στις στήλες που ακολουθούν								
		Μονωμένοι αγωγοί σε σωλήνα		Πολυτολικό καλώδιο						
				Γυμνό		Σε σωλήνα				
		Εντοιχισμέν ο	Επιτοίχιο	Εντοιχισμέν ο	Επιτοίχιο	Εντοιχισμέν ο	Επιτοίχιο			
PVC	2	3	5	3	6	2	4			
	3	2	4	2	5	1	3			
EPR ή XLPE	2	5	9	6	9	5	8			
	3	5	7	5	8	4	6			
		Στήλες								
Χάλκος	mm²	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	1,5	13	13,5	14,5	15,5	17	19	20	22	23
	2,5	17,5	18	19,5	21	23	26	28	30	31
	4	23	24	26	28	31	35	37	40	42
	6	29	31	34	36	40	44	48	51	54
	10	39	42	46	50	54	60	66	69	75
	16	52	56	61	68	73	80	88	91	100
	25	68	73	80	89	95	105	117	119	133
	35	83	89	99	109	117	128	144	146	164
	50	99	108	118	130	141	154	175	175	198
	70	125	136	149	164	179	194	222	221	253
	95	150	164	179	197	216	233	269	265	306
	120	172	188	206	227	249	268	312	305	354
	150	196	216	240	259	285	318	-	371	441
185	223	245	273	295	324	362	-	424	506	
240	261	286	321	346	380	424	-	500	599	
300	298	328	367	396	435	486	-	576	693	
Αλουμίνιο	16	41	43	48	53	58	64	71	72	79
	25	53	57	62	70	73	84	93	90	101
	35	65	70	77	86	90	103	116	112	126
	50	78	84	92	104	110	124	140	136	154
	70	98	107	116	131	140	156	179	174	198
	95	118	129	139	157	170	188	217	211	241
	120	135	149	160	180	197	216	251	245	280
	150	155	170	189	206	226	253	-	283	324
	185	176	194	215	233	256	288	-	323	371
	240	207	227	252	273	300	338	-	382	439
	300	237	261	289	313	344	387	-	440	508

Πίνακας 6.2 Συντελεστές διόρθωσης για θερμοκρασία περιβάλλοντος διαφορετική των 30 °C

Θερμοκρασία Περιβάλλοντος °C	Μόνωση PVC	Μόνωση EPR ή XLPE
10	1,22	1,15
15	1,17	1,12
20	1,12	1,08
25	1,06	1,04
35	0,94	0,96
40	0,87	0,91
45	0,79	0,87
50	0,71	0,82
55	0,61	0,76
60	0,50	0,71
65	-	0,65
70	-	0,58

1. Μπαταρία και αντιστροφέας

Για να προχωρήσουμε σε αυτούς τους υπολογισμούς το βασικά χαρακτηριστικά που χρειαζόμαστε είναι η μέγιστη ισχύς που μπορεί να προσφέρει ο αντιστροφέας στην έξοδο του και η ονομαστική τάση της μπαταρίας. Στην περίπτωση μας η ονομαστική τάση της μπαταρίας είναι 12,8 V και η μέγιστη ισχύς εξόδου του αντιστροφέα 1000 W. Η σχέση 6.3 μας δίνει το μέγιστο ρεύμα που μπορεί να τραβήξει στην είσοδό του ο αντιστροφέας

$$I_{\text{surge_input}} = \frac{P_{\text{surge}}}{V_{\text{nom}}} = \frac{1000}{12,8} = 78 \text{ A} \quad (6.3)$$

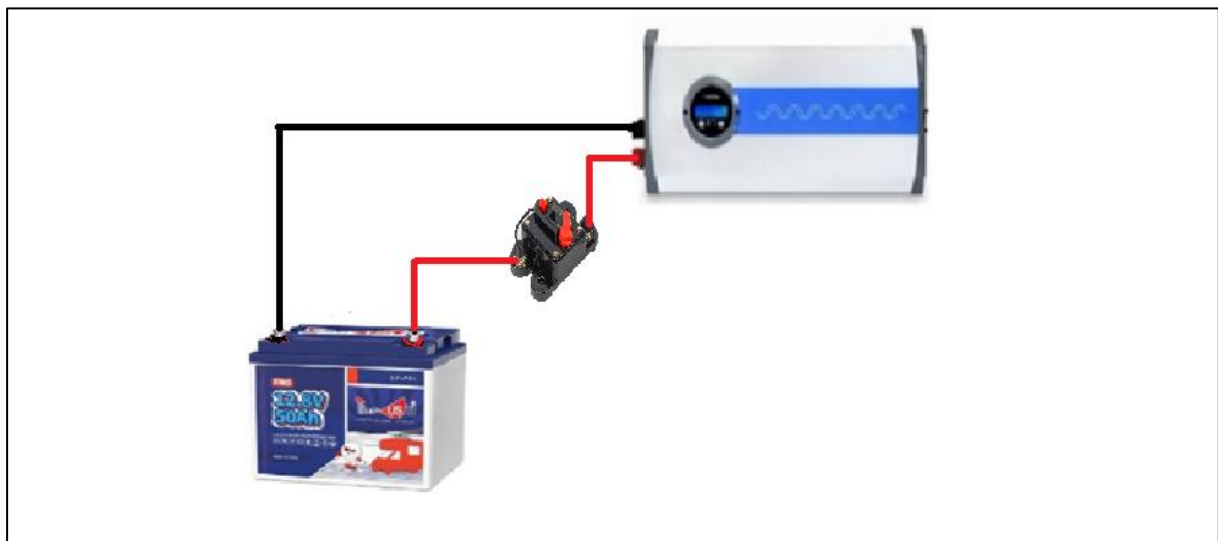
Όπου:

$I_{\text{surge_input}}$: Το μέγιστο στιγμιαίο ρεύμα στην είσοδο του αντιστροφέα

P_{surge} : Η μέγιστη ισχύς εξόδου του αντιστροφέα

V_{nom} : Η ονομαστική τάση της μπαταρίας

Άρα θα πρέπει να επιλέξουμε ασφάλεια μεγαλύτερη από την τιμή που υπολογίστηκε. Τελικά επιλέχτηκα θερμική ασφάλεια 80 A η οποία θα συνδεθεί στον θετικό ακροδέκτη της μπαταρίας όπως φαίνεται στην Εικόνα 6.3.



Εικόνα 6.3 Ασφάλεια μεταξύ αντιστροφέα και μπαταρίας

Για την επιλογή της διατομής του καλωδίου πρέπει να υπολογιστεί το μέγιστο ρεύμα συνεχούς λειτουργίας. Η σχέση 6.4 μας δίνει τα μέγιστο ρεύμα συνεχούς λειτουργίας που μπορεί να τραβήξει στην είσοδό του ο αντιστροφέας.

$$I_{\text{cont_input}} = \frac{P_{\text{cont}}}{V_{\text{nom}} \times \eta} = \frac{500}{12,8 \times 0,9} = 43,4 \text{ A} \quad (6.4)$$

Όπου:

$I_{\text{cont_input}}$: Το μέγιστο ρεύμα συνεχούς λειτουργίας στην είσοδο του αντιστροφέα

P_{cont} : Η μέγιστη ισχύς κανονικής λειτουργίας του αντιστροφέα

V_{nom} : Η ονομαστική τάση της μπαταρίας

η : Βαθμός απόδοσης αντιστροφέα

Το καλώδιο που θα χρησιμοποιήσουμε είναι μονοπολικό από χαλκό με μόνωση από PVC. Θα υπάρχουν 2 φορτισμένοι αγωγοί και η τοποθέτησή του θα γίνει επιτοίχια. Άρα θα χρησιμοποιήσουμε την στήλη 5 για τους υπολογισμούς μας. Η στήλη αυτή δείχνει τα μέγιστα ρεύματα που αντέχει κάθε διατομή στους 30 °C. Επειδή όμως μπορεί αναπτύσσονται θερμοκρασίες μεγαλύτερες στο εσωτερικό οι υπολογισμοί θα γίνουν για θερμοκρασίες 40 °C.

Πίνακας 6.3 Διατομές καλωδίων και ρεύματα στους 40 °C

Χαλκός	Διατομή mm ²	Στήλη 5 (A)
	1,5	14,79
	2,5	20,1
	4	26,97
	6	34,8
	10	46,98
	16	63,51
	25	82,65
	35	101,79
	50	122,66
	70	155,73
	95	187,92
	120	216,63
	150	247,95
	185	281,88
	240	330,6
	300	378,45

Από τον Πίνακα 6.3 προκύπτει ότι ένα μονοπολικό καλώδιο διατομής 16mm² σε θερμοκρασία 40 °C είναι ικανοποιητικό και επαρκεί να καλύψει το μέγιστο ρεύμα συνεχούς λειτουργίας στην είσοδο του αντιστροφέα.

2. Αντιστροφέας και φορτία

Αντίστοιχα το μέγιστο ρεύμα που μπορεί να βγάλει στην έξοδό του ο αντιστροφέας δίνεται από την σχέση 6.5.

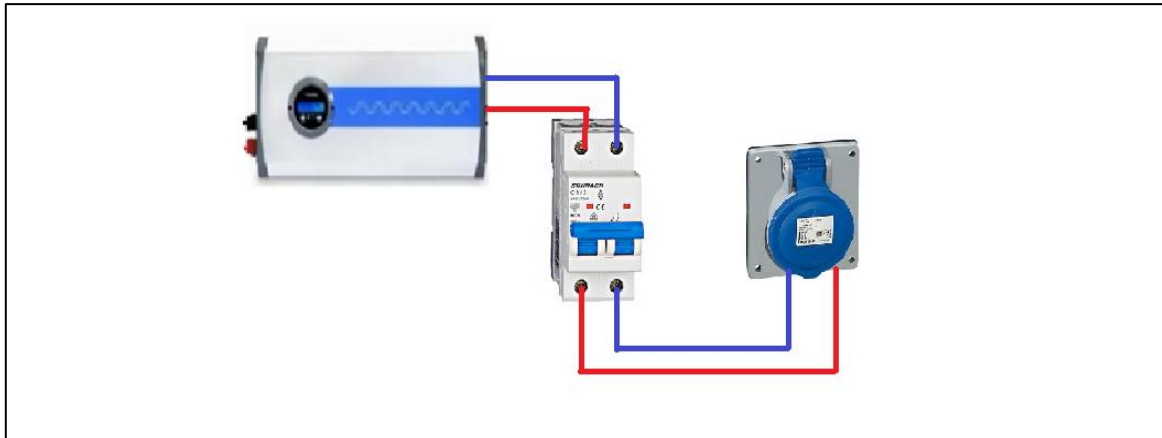
$$I_{\text{surge_output}} = \frac{P_{\text{surge}}}{V_{\text{out}}} = \frac{1000}{230} = 4,35 \text{ A} \quad (6.5)$$

Όπου:

$I_{\text{surge_output}}$: Το μέγιστο στιγμιαίο ρεύμα στην έξοδο του αντιστροφέα

P_{surge} : Η μέγιστη ισχύς εξόδου του αντιστροφέα

V_{out} : Η ονομαστική τάση εξόδου του αντιστροφέα



Εικόνα 6.4 Ασφάλεια μεταξύ αντιστροφέα και πρίζας εξόδου

Άρα θα πρέπει να επιλέξουμε ασφάλεια μεγαλύτερη από την τιμή που υπολογίστηκε. Τελικά επιλέχτηκε διπολική ασφάλεια 6 A όπως φαίνεται στην Εικόνα 6.4.

Για την επιλογή της διατομής του καλωδίου πρέπει να υπολογιστεί το μέγιστο ρεύμα συνεχούς λειτουργίας. Η σχέση 6.6 μας δίνει τα μέγιστο ρεύμα συνεχούς λειτουργίας που μπορεί να τραβήξει στην είσοδό του ο αντιστροφέας.

$$I_{\text{cont_output}} = \frac{P_{\text{cont}}}{V_{\text{out}}} = \frac{500}{230} = 2,17 \text{ A} \quad (6.6)$$

Όπου:

$I_{\text{cont_output}}$: Το μέγιστο ρεύμα συνεχούς λειτουργίας στην έξοδο του αντιστροφέα

P_{cont} : Η μέγιστη ισχύς κανονικής λειτουργίας του αντιστροφέα

V_{out} : Η ονομαστική τάση εξόδου του αντιστροφέα

Πίνακας 6.4 Διατομές καλωδίων και ρεύματα στους 40 °C

Χαλκός	Διατομή mm ²	Στήλη 6 (A)
	1,5	16,53
	2,5	22,62
	4	30,45
	6	38,28
	10	52,2
	16	69,6
	25	91,35
	35	111,36
	50	133,98
	70	168,78
	95	202,71
	120	233,16
	150	276,66
	185	314,94
	240	368,88
	300	422,82

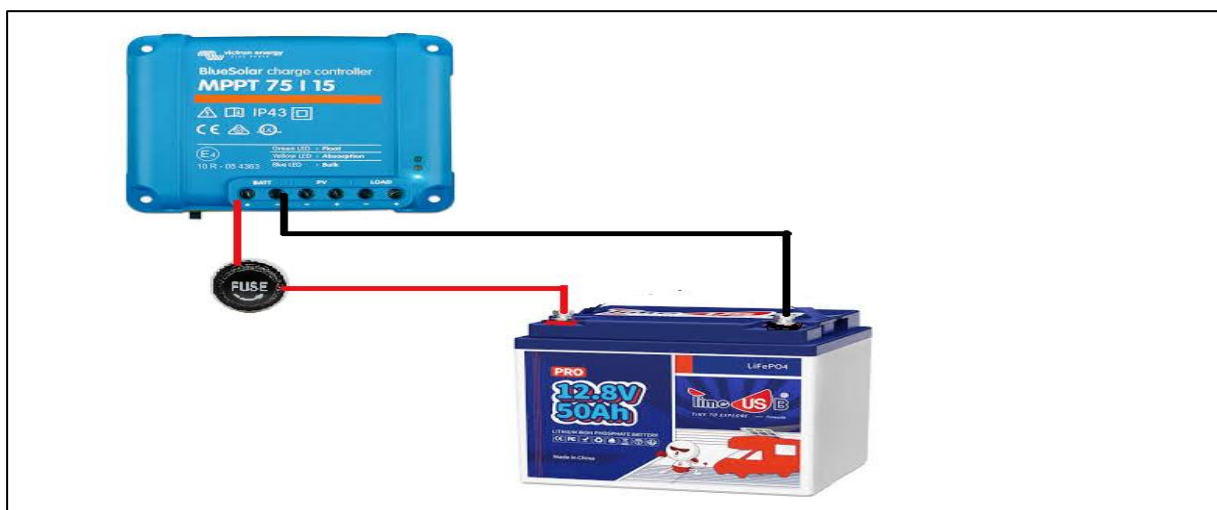
Το καλώδιο που θα χρησιμοποιήσουμε είναι διπολικό NYΥ από χαλκό με μόνωση από PVC. Θα υπάρχουν 2 φορτισμένοι αγωγοί και η τοποθέτησή του θα γίνει επιτοίχια. Άρα θα χρησιμοποιήσουμε την στήλη 6 για τους υπολογισμούς μας. Η στήλη αυτή δείχνει τα μέγιστα ρεύματα που αντέχει κάθε διατομή στους 30 °C. Επειδή όμως μπορεί αναπτύσσονται θερμοκρασίες μεγαλύτερες στο εσωτερικό οι υπολογισμοί θα γίνουν για θερμοκρασίες 40 °C. Από τον Πίνακα 6.4 προκύπτει ότι ένα διπολικό καλώδιο NYΥ διατομής 1,5mm² σε θερμοκρασία 40 °C είναι ικανοποιητικό και επαρκεί να καλύψει το μέγιστο ρεύμα συνεχούς λειτουργίας στην είσοδο του αντιστροφέα.

3. Μπαταρία και ρυθμιστής φόρτισης

Το ρεύμα φόρτισης που υπολογίστηκε από την σχέση προσθέτοντας το περιθώριο ασφαλείας 20% είναι 9,85 A. Επειδή όμως επιλέχτηκε ο MPPT 75/15 σε περίπτωση που χρησιμοποιήσουμε στο μέλλον φωτοβολταϊκά πάνελ με μεγαλύτερη ισχύ θα χρησιμοποιήσουμε γυάλινη ασφάλεια φυσιγγίου 16 A σε ασφαλειοθήκη στο θετικό άκρο του ρυθμιστή φόρτισης.



Εικόνα 6.5 Ασφαλειοθήκη με ασφάλεια 16 A



Εικόνα 6.6 Ασφάλεια μεταξύ ρυθμιστή φόρτισης και μπαταρίας

Πίνακας 6.5 Διατομές καλωδίων και ρεύματα στους 40 °C

Χαλκός	Διατομή mm ²	Στήλη 5 (A)
	1,5	14,79
	2,5	20,1
	4	26,97
	6	34,8
	10	46,98
	16	63,51
	25	82,65
	35	101,79
	50	122,66
	70	155,73
	95	187,92
	120	216,63
	150	247,95
	185	281,88
	240	330,6
	300	378,45

Το καλώδιο που θα χρησιμοποιήσουμε είναι μονοπολικό από χαλκό με μόνωση από PVC. Θα υπάρχουν 2 φορτισμένοι αγωγοί και η τοποθέτησή του θα γίνει επιτοίχια. Άρα θα χρησιμοποιήσουμε την στήλη 5 για τους υπολογισμούς μας. Η στήλη αυτή δείχνει τα μέγιστα ρεύματα που αντέχει κάθε διατομή στους 30 °C. Επειδή όμως μπορεί αναπτύσσονται θερμοκρασίες μεγαλύτερες στο εσωτερικό οι υπολογισμοί θα γίνουν για θερμοκρασίες 40 °C. Από τον Πίνακα 6.5 προκύπτει ότι το καλώδιο 1,5 mm² είναι οριακό για μελλοντική χρήση πάνελ μεγαλύτερης ισχύος και επομένως επιλέχτηκε καλώδιο 2,5 mm².

4. Φωτοβολταϊκό πάνελ και ρυθμιστής φόρτισης

Ο ρυθμιστής φόρτισης στην είσοδό του έχει ενσωματωμένη μαχαιρωτή ασφάλεια των 20 A όπως φαίνεται στην Εικόνα 6.7.



Εικόνα 6.7 Ασφάλεια ρυθμιστή φόρτισης

6.4 Επιλογή Υλικών

Για την φόρτιση του power station επιλέχθηκαν τα αναδιπλούμενα φωτοβολταϊκά πλαίσια PV120 της εταιρίας Bluetti(Εικόνα 6.8) τα χαρακτηριστικά του οποίου παρουσιάζονται στον Πίνακα 6.6. Η επιλογή αναδιπλούμενων φωτοβολταϊκών πλαισίων έγινε λόγω της εύκολης φορητότητάς τους.

Πίνακας 6.6 Χαρακτηριστικά Bluetti PV120

Μέγιστη Ισχύς	120W
Τάση Ανοικτού Κυκλώματος	24,4V
Ρεύμα Βραχυκύκλωσης	6,43A
Απόδοση	Έως 23,4%
Τάση στην Μέγιστη Ισχύ Λειτουργίας	19,6V
Ρεύμα στην Μέγιστη Ισχύ Λειτουργίας	6,1A
Θερμοκρασία Λειτουργίας	-10°C έως 65°C
Θερμοκρασίας Βέλτιστης Λειτουργίας	25 °C
Βάρος	5,7 Kg

Οι παραπάνω τιμές έχουν υπολογιστεί σε ηλιακή ακτινοβολία 1000 W/m², θερμοκρασία κυψέλης 25°C και Φασματική κατανομή AM 1,5.



Εικόνα 6.8 Bluetti PV120

Η μπαταρία που επιλέχθηκε είναι τεχνολογίας LifePO4 της εταιρίας Time USB γιατί παρουσιάζει τα εξής συγκριτικά χαρακτηριστικά. Αφενός προσφέρει πολύ περισσότερους κύκλους φόρτισης/εκφόρτισης και αφετέρου έχει πολύ μικρότερο βάρος σε σχέση με μπαταρίες άλλων τύπων. Ο παράγοντας αυτός είναι καθοριστικός για την επιλογή αυτού του τύπου μπαταρίας μιας και η κατασκευή θέλουμε να είναι φορητή και όχι σταθερή. Η κατασκευή θα γίνει με μπαταρία ονομαστικής τάσης 12,8 Volt. Ο λόγος αυτός είναι γιατί δεν βρέθηκαν στην αγορά αναδιπλώμενα φορητά φωτοβολταϊκά πλαίσια ονομαστικής τάσης 24 V. Η περίπτωση χρήσης μπαταρίας 24 V θα εξυπηρετούσε γιατί θα διαχειριζόμασταν πιο μικρά ρεύματα, θα χρησιμοποιούσαμε πιο λεπτά καλώδια και θα αναπτυσσόταν χαμηλότερες θερμοκρασίες. Έτσι επιλέχτηκε η μπαταρία της Εικόνας 6.9 τα χαρακτηριστικά της οποίας παρουσιάζονται στον Πίνακα 6.7.



Εικόνα 6.9 Μπαταρία LifePO4 Time USB

Πίνακας 6.7 Χαρακτηριστικά μπαταρίας

Τύπος	LifePO4
Ονομαστική Τάση	12,8 V
Χωρητικότητα	50 Ah
Ενέργεια	640 Wh
Εσωτερική Αντίσταση	<40m Ωμ
Ρεύμα BMS	50 A
Μέθοδοι φόρτισης	CC/CV
Τάση φόρτισης	14,4 V ± 0,2 V
Προτεινόμενο ρεύμα φόρτισης	10 A(0,2C)
Μέγιστο συνεχές ρεύμα φόρτισης	50 A
Μέγιστο συνεχές ρεύμα εκφόρτισης	50 A
Μέγιστο στιγμιαίο ρεύμα εκφόρτισης(4 sec)	100 A
Διαστάσεις	L198 W166 H170 mm
Προστασία	IP65
Εύρος Θερμοκρασιών λειτουργίας	Φόρτιση: 0 °C έως 50 °C
	Αποφόρτιση: -20 °C έως 60 °C
	Αποθήκευση: -10 °C έως 50 °C

Η μπαταρίες τύπου LifePO4 χρησιμοποιούν διαφορετικού τύπου φορτιστές από τις τυπικές μπαταρίες AGM επομένως πρέπει να χρησιμοποιηθεί ένας κατάλληλου τύπου. Αυτό συμβαίνει γιατί οι μπαταρίες AGM ακολουθούν διαφορετικά στάδια κατά την φόρτιση. Συγκεκριμένα ακολουθούν τα στάδια Bulk, Absorption και Float σε αντίθεση με τις LifePO4 που ακολουθούν τα στάδια Constant Current(CC) και Constant Voltage(CV).

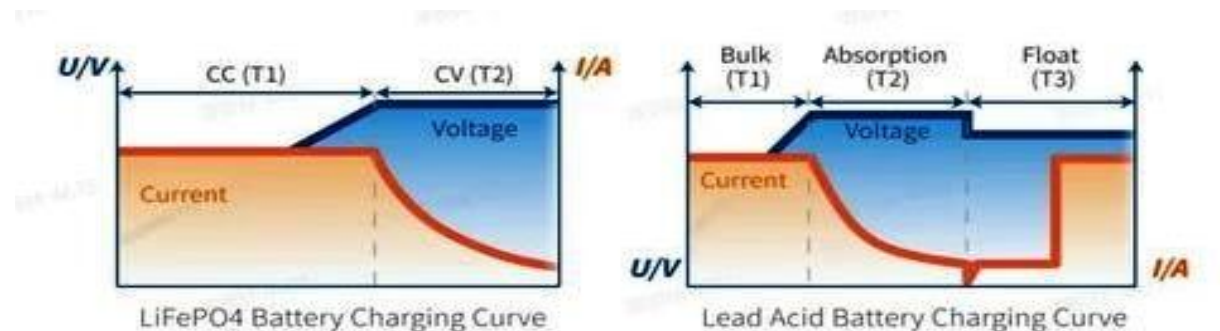
Constant Current(CC)

Αρχικά η μπαταρία φορτίζεται με σταθερό ρεύμα και η τάση ανεβαίνει σταθερά μέχρι να φτάσει στο όριο που έχουμε ορίσει, δηλαδή στην περίπτωση μας στα $14,4 \pm 0,2$ V.

Constant Voltage(CV)

Σε αυτή την φάση η τάση φόρτισης παραμένει σταθερή και το ρεύμα μειώνεται σταδιακά έως ότου φτάσει στο ρεύμα ουράς. Σε αυτό το σημείο θεωρείται ότι η μπαταρία είναι πλήρως φορτισμένη.

Η Εικόνα 6.10 δείχνει τις διαφορές στην φόρτιση των μπαταριών LifePO4 σε σύγκριση με τις μπαταρίες AGM.



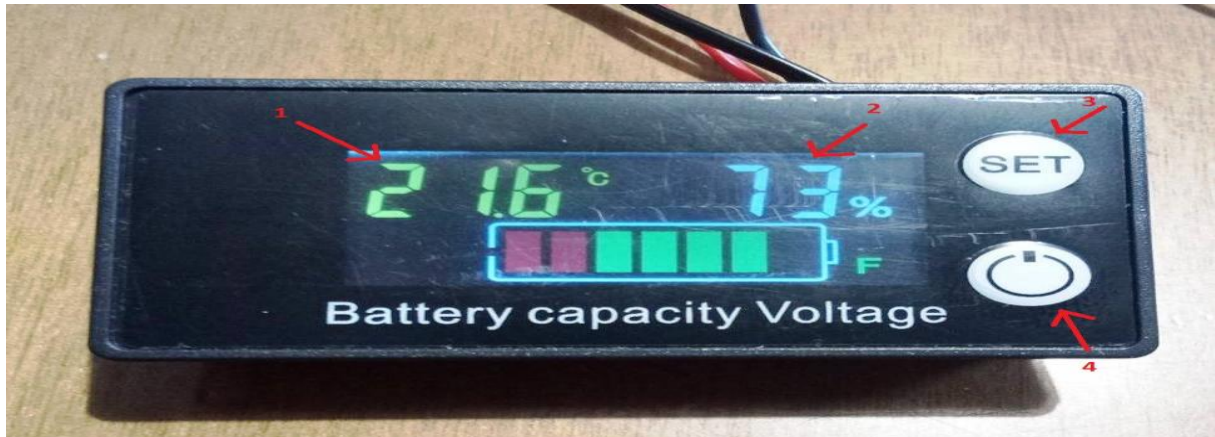
Εικόνα 6.10 Κύκλος φόρτισης LifePO4 και AGM

Το SOC της μπαταρίας μπορεί να υπολογιστεί με βάση την τάση της, όταν δεν βρίσκεται σε κατάσταση φόρτισης ή εκφόρτισης. Ο Πίνακας 6.8 δείχνει το SOC της μπαταρίας ανάλογα με την τάση της.

Πίνακας 6.8 Εκτίμηση SOC βάση τάσης

SOC(%)	Τάση (V)
0	10 έως 12
25	13 έως 13,15
50	13,15 έως 13,2
75	13,3 έως 13,33
100	>13,33

Με τον παραπάνω πίνακα μπορεί να γίνει μόνο μια εκτίμηση του SOC. Επειδή είναι σημαντικό ο χρήστης του Power Station να έχει οπτικά μια πιο αξιόπιστη εικόνα για το ποσοστό φόρτισης της



Εικόνα 6.11 Ενδεικτικό μπαταρίας

μπαταρίας επιλέχθηκε να τοποθετηθεί το ενδεικτικό όργανο της Εικόνας 6.11. Το όργανο αυτό εκτός από ένδειξη του SOC μας πληροφορεί επίσης για την τάση της μπαταρίας καθώς και για την θερμοκρασία, σημαντικό παράγοντα μιας και επηρεάζει την λειτουργία των υπολοίπων συσκευών.

1. Ένδειξη θερμοκρασίας και τάσης
2. Ένδειξη SOC
3. Μπουτόν SET
4. Μπουτόν Power

Λειτουργία και Προγραμματισμός Οργάνου Μέτρησης

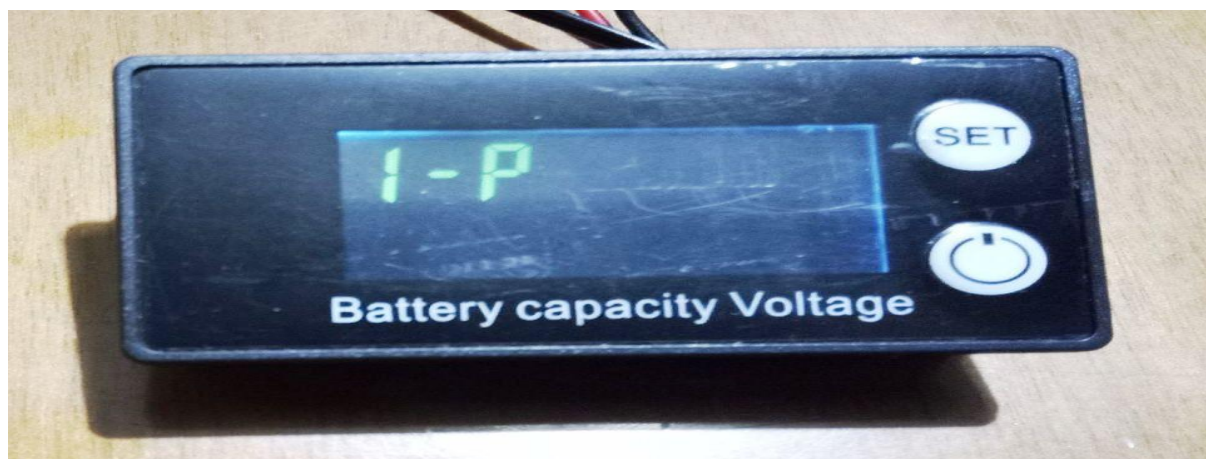
Πατώντας το μπουτόν Power ανοίγει και κλείνει η συσκευή. Πατώντας το κουμπί SET αλλάζει η ένδειξη μεταξύ τάσης και θερμοκρασίας(Εικόνα 6.12).

Το όργανο έχει επτά μενού. Για την επιλογή των μενού αρχικά κρατάμε πατημένο το κουμπί SET για δύο δευτερόλεπτα. Μόλις μπούμε στο μενού επιλογών πατώντας το κουμπί SET επιλέγουμε το μενού της επιλογής μας κυκλικά.



Εικόνα 6.12 Επιλογή τάσης ή θερμοκρασίας

Menu 1

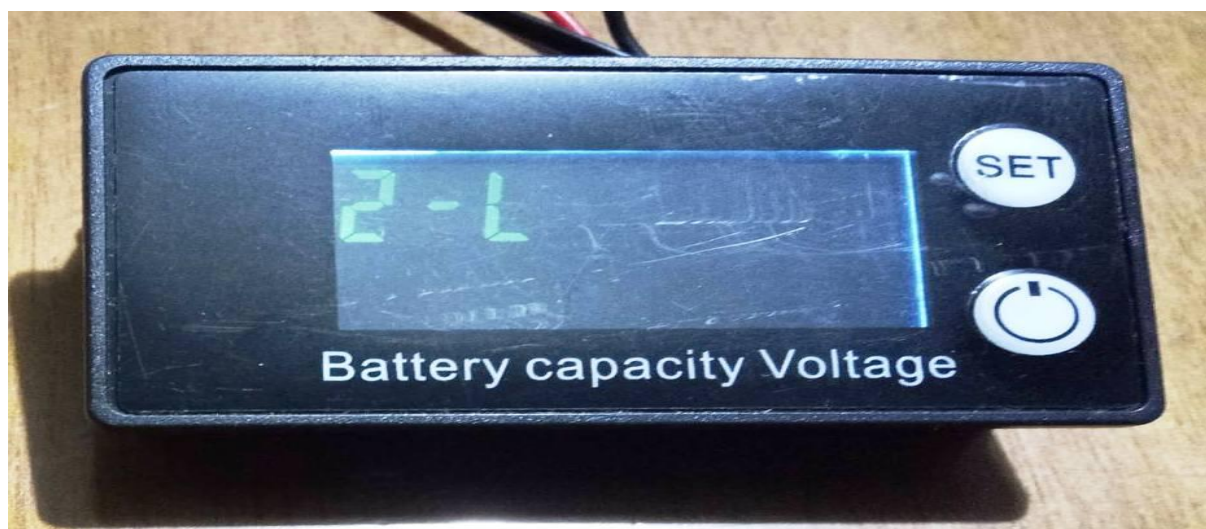


Εικόνα 6.13 Menu 1

Το Menu 1 το επιλέγουμε αν χρησιμοποιούμε μπαταρία AGM. Κάθε φορά που πατάμε το κουμπί Power στο δεξί μέρος εμφανίζονται διαδοχικά οι τιμές 12, 24, 36, 48, 60, 72 και 84 που αντιστοιχούν στην ονομαστική τάση της μπαταρίας σε Volt. Αφού επιλέξουμε την κατάλληλη τιμή πατάμε το κουμπί SET για να αποθηκευτούν οι αλλαγές.

Menu 2

Το Menu 2 το επιλέγουμε αν χρησιμοποιούμε μπαταρία λιθίου. Κάθε φορά που πατάμε το κουμπί Power στο δεξί μέρος εμφανίζονται διαδοχικά οι τιμές 3 μέχρι 20 που αντιστοιχούν στον αριθμό των στοιχείων της μπαταρίας. Η ονομαστική τάση κάθε στοιχείου λιθίου είναι 3,6 Volt. Επομένως αν χρησιμοποιούμε μια μπαταρία λιθίου ονομαστικής τάσης 14,4 Volt, δηλαδή αποτελείται από τέσσερα στοιχεία λιθίου θα βάλουμε την τιμή τέσσερα. Αφού επιλέξουμε την κατάλληλη τιμή πατάμε το κουμπί SET για να αποθηκευτούν οι αλλαγές.



Εικόνα 6.14 Menu 2

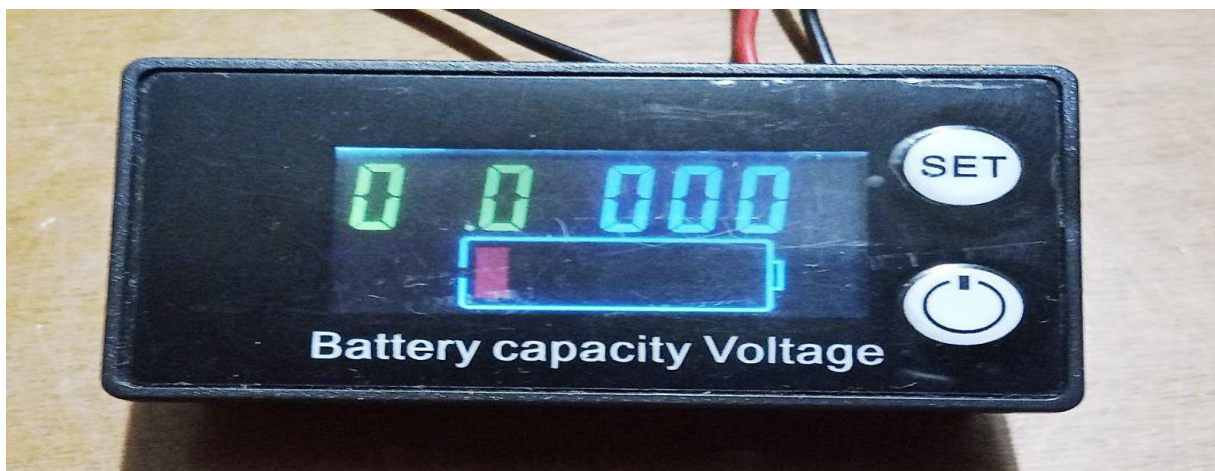
Menu 3

Εικόνα 6.15 Menu 3

Το Menu 3 το επιλέγουμε αν χρησιμοποιούμε μπαταρία LifePO4. Κάθε φορά που πατάμε το κουμπί Power στο δεξί μέρος εμφανίζονται διαδοχικά οι τιμές 3 μέχρι 23 που αντιστοιχούν στον αριθμό των στοιχείων της μπαταρίας. Η ονομαστική τάση κάθε στοιχείου LifePO4 είναι 3,2 Volt. Επομένως αν χρησιμοποιούμε μια μπαταρία λιθίου ονομαστικής τάσης 12,8 Volt, δηλαδή αποτελείται από τέσσερα στοιχεία LifePO4, θα βάλουμε την τιμή τέσσερα. Αφού επιλέξουμε την κατάλληλη τιμή πατάμε το κουμπί SET για να αποθηκευτούν οι αλλαγές. Στην περίπτωση μας μιας και η μπαταρία που χρησιμοποιούμε είναι ονομαστικής τάσης 12,8 Volt επιλέξαμε την τιμή τέσσερα.

Menu 4

Το μενού 4 το χρησιμοποιούμε όταν θέλουμε να ρυθμίσουμε μόνοι μας την χαμηλή τάση και την μέγιστη τάση της μπαταρίας. Τα τρία πρώτα ψηφία αντιστοιχούν στην χαμηλή τάση και τα τρία τελευταία αντιστοιχούν στην τάση πλήρους φόρτισης. Κάθε φορά που πατάμε το μπουτόν Power αυξάνεται κατά ένα η τιμή του ψηφίου που έχουμε επιλέξει, Αρχικά είναι επιλεγμένο το ψηφίο των δεκάδων της χαμηλής τάσης. Αν θέλουμε να αλλάξουμε ψηφίο πατάμε παρατεταμένα το μπουτόν Power και ο δείκτης περνάει στο επόμενο ψηφίο. Αν δώσουμε τιμές σε αυτό το μενού οι τιμές που έχουμε επιλέξει στα τρία πρώτα μενού ακυρώνονται.



Εικόνα 6.16 Menu 4

Menu 5



Εικόνα 6.17 Menu 5

Με το μπουτόν Power επιλέγουμε την τιμή off ή on. Στην πρώτη περίπτωση η οθόνη του οργάνου παραμένει ανοιχτή συνεχώς, ενώ στην αντίθετη περίπτωση η οθόνη σβήνει μετά από 10 δευτερόλεπτα μη χρήσης.

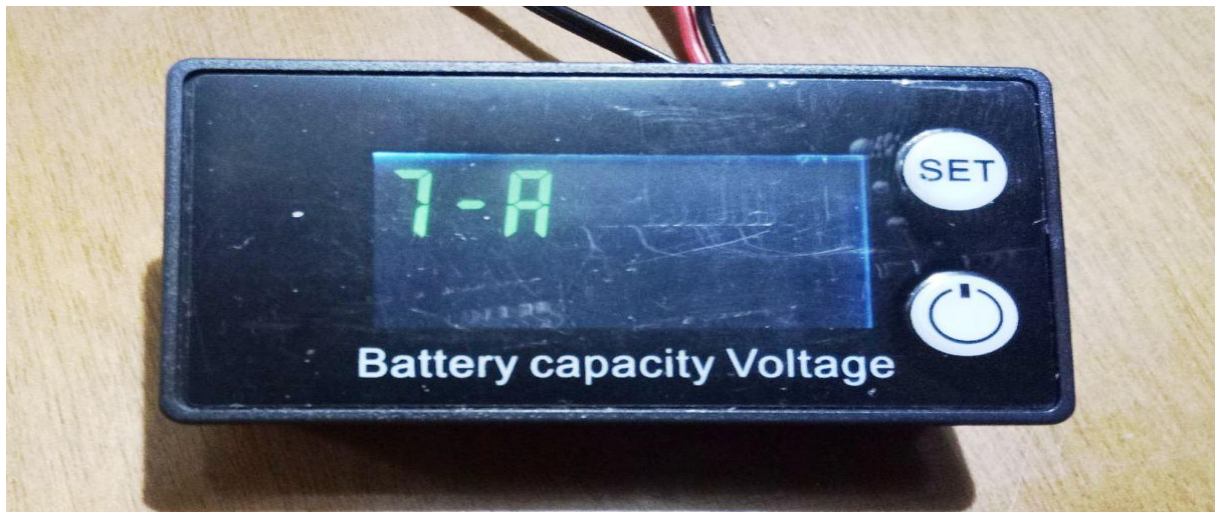
Menu 6

Στο μενού αυτό επιλέγουμε το επίπεδο της τάσης κάτω από το οποίο η μπαταρία θεωρείται αφόρτιστη και λειτουργεί συνδυαστικά με το μενού 7. Κάθε φορά που πατάμε το μπουτόν Power αυξάνεται κατά ένα η τιμή του ψηφίου που έχουμε επιλέξει. Αρχικά είναι επιλεγμένο το ψηφίο των δεκάδων. Αν θέλουμε να αλλάξουμε ψηφίο πατάμε παρατεταμένα το μπουτόν Power και ο δείκτης περνάει στο επόμενο ψηφίο.



Εικόνα 6.18 Menu 6

Menu 7



Εικόνα 6.19 Menu 7

Στο μενού αυτό επιλέγουμε πατώντας το κουμπί Power επιλέγουμε την τιμή on ή off. Στην πρώτη περίπτωση όταν η τάση της μπαταρίας, και αντίστοιχα η χωρητικότητα της, πέσει στην τιμή που ορίσαμε στο μενού 6 θα ακουστεί ήχος που μας ενημερώνει ότι πρέπει να την φορτίσουμε.

Οι μπαταρίες κατά την μεταφορά τους για λόγους ασφαλείας δεν είναι φορτισμένες στην μέγιστη χωρητικότητά της. Για τον έλεγχο της χωρητικότητας της μπαταρίας την συνδέσαμε παράλληλα με το ενδεικτικό όργανο. Εφόσον χρησιμοποιούμε μπαταρία LifePO4 παραβλέψαμε τα δύο πρώτα μενού, τα οποία σχετίζονται με μπαταρίες μολύβδου και λιθίου, και στο τρίτο επιλέξαμε την τιμή 4s μιας και η μπαταρία χρησιμοποιεί τέσσερα στοιχεία των 3,2 Volt σε σειρά. Στο μενού 5 επιλέχθηκε η τιμή on για εξοικονόμηση ενέργειας. Στα μενού 6 ορίσαμε την ειδοποίηση χαμηλής τάσης στα 11,5 Volt με ενεργοποίηση της ηχητικής ειδοποίησης στο μενού 7. Η χωρητικότητα της μπαταρίας όπως φαίνεται στην Εικόνα 6.20 είναι στο 73%.



Εικόνα 6.20 Ένδειξη χωρητικότητας μπαταρίας



Εικόνα 6.21 Φόρτιση μπαταρίας

Το επόμενο βήμα είναι να φορτιστεί η μπαταρία στο 100% της χωρητικότητας της. Για την φόρτιση της μπαταρίας θα χρησιμοποιηθεί ρυθμιστής φόρτισης ειδικός για μπαταρίες LifePO4 με ονομαστική τάση φόρτισης 14,6 V και ρεύμα φόρτισης 5 A. Ο φορτιστής συνδέεται παράλληλα με την μπαταρία όπως φαίνεται στην Εικόνα 6.21. Κατά την διάρκεια της φόρτισης η ενδεικτική λυχνία παραμένει κόκκινη. Όταν ολοκληρωθεί η φόρτιση της μπαταρίας η ενδεικτική λυχνία γίνεται πράσινη.

Το επόμενο βήμα είναι η επιλογή του αντιστροφέα που θα χρησιμοποιήσει το σύστημα. Επιλέχθηκε ο αντιστροφέας IPT 500-12(Εικόνα 6.22) τα χαρακτηριστικά του οποίου φαίνονται στον Πίνακα 6.9.



Εικόνα 6.22 Αντιστροφέας IPT 500-12

Πίνακας 6.9 Χαρακτηριστικά αντιστροφέα IPT 500-12

Ονομαστική Τάση	12 V DC
Εύρος Τάσης Εισόδου	10,8 ~ 16 V DC
Τάση Εξόδου	220 V AC($\pm 5\%$) 230 V AC(-10% ~ +5%)
Συχνότητα Εξόδου	50 Hz/60 Hz $\pm 0,2$ Hz
Συνεχή Ισχύς Εξόδου	500 W
Μέγιστη Ισχύς Εκκίνησης	1000 W
Τύπος Αντιστροφέα	Καθαρού Ημιτόνου
Συντελεστής Ισχύος	0,2 ~ 1
Παραμόρφωση(THD)	< 0,3%
Μέγιστη Απόδοση	> 91%
Ρεύμα χωρίς Φορτίο	< 0,9 A
Θύρα επικοινωνίας RS485	5VDC / 200mA

Ανάλυση Χαρακτηριστικών IPT 500-12

Ο τύπος του αντιστροφέα είναι καθαρού ημιτόνου με παραμόρφωση μικρότερη από 3%. Η ονομαστική του τάση εισόδου είναι 12 V συνεχούς ρεύματος. Αυτό βέβαια δεν σημαίνει ότι ο αντιστροφέας λειτουργεί μόνο ακριβώς στα 12 V, καθώς έχει ένα εύρος τάσης εισόδου στο οποίο μπορεί να λειτουργήσει, που κυμαίνεται από τα 10,8 V έως τα 16 V συνεχούς ρεύματος. Υπάρχει μηχανισμός προστασίας από υπόταση και από υπέρταση ο οποίος διακόπτει την λειτουργία του όταν η τάση εισόδου δεν βρίσκεται σε αυτό το εύρος τιμών. Ο αντιστροφέας στην έξοδό του μπορεί να δώσει εναλλασσόμενη τάση 220 V ή 230 V με συχνότητα είτε 50 Hz ή 60 Hz. Όπως θα αναλυθεί παρακάτω το μοντέλο αυτό έχει την δυνατότητα, με τη χρήση κατάλληλου προσαρμογέα και εφαρμογής, να επιλέξει την τάση και την συχνότητα εξόδου καθώς και να ορίσει την ελάχιστη και την μέγιστη τάση εισόδου στην οποία ο μηχανισμός προστασίας του αντιστροφέα σταματάει την λειτουργία του. Η συνεχόμενη ισχύ εξόδου που μπορεί να παρέχει είναι 500 W. Η τιμή αυτή αντιστοιχεί σε τάση εισόδου ίση με την ονομαστική σε θερμοκρασία λειτουργίας 35 °C. Η μέγιστη ισχύς που μπορεί να προσφέρει για διάστημα πέντε δευτερολέπτων είναι 1000 W και παίζει σημαντικό ρόλο όταν τροφοδοτήσουμε επαγωγικά φορτία, όπως π.χ. κινητήρες, τα οποία κατά την εκκίνηση τους απαιτούν για κάποιο χρονικό διάστημα μεγαλύτερη ισχύ σε σχέση με αυτήν κατά την κανονική τους λειτουργία. Όταν λειτουργεί χωρίς φορτίο έχει πάρα πολύ μικρή κατανάλωση ρεύματος. Οι διαστάσεις του είναι 286 × 160 × 73mm (L×W×H) και το καθαρό βάρος 2,3 κιλά. Τέλος διαθέτει θύρα επικοινωνίας RS485.

Ανάλυση θυρών Αντιστροφέα

Στην Εικόνα 6.23 φαίνονται οι θύρες, οι διακόπτες και τα λαμπάκια του αντιστροφέα. Ακολουθεί ανάλυση της λειτουργίας κάθε ενός από αυτά.

1. Διακόπτης Ενεργοποίησης: Όταν ο διακόπτης βρίσκεται στη θέση I ο αντιστροφέας είναι σε λειτουργία και ανάβει το πράσινο λαμπάκι. Όταν ο διακόπτης βρίσκεται στη θέση O είναι απενεργοποιημένος.

2. Λαμπάκια ένδειξης Λειτουργίας και Σφάλματος: Ο συνδυασμός των δύο λαμπτήρων με την ύπαρξη ή όχι ηχητικού σήματος μας δείχνει την κατάσταση του αντιστροφέα σύμφωνα με τον Πίνακα 6.10.



Εικόνα 6.23 Θύρες αντιστροφέα

Πίνακας 6.10 Ένδειξη βλάβης

Ένδειξη	Ένδειξη βλάβης	Βομβητής	Κατάσταση
Πράσινο ON	Κόκκινο OFF	Χωρίς ήχους	Κανονική τάση εξόδου
Πράσινο αργό αναβόσβημα (1/4Hz)	Κόκκινο OFF	Ήχος βομβητή	Χαμηλή τάση εισόδου
Πράσινο γρήγορο αναβόσβημα (1Hz)	Κόκκινο OFF	Ήχος βομβητή	Υψηλή τάση εισόδου
Πράσινο OFF	Κόκκινο συνεχές	Ήχος βομβητή	Υπερθέρμανση inverter ή ψύκτρας
Πράσινο OFF	Κόκκινο γρήγορο αναβόσβημα (1Hz)	Ήχος βομβητή	Βραχυκύκλωμα φορτίου
Πράσινο ON	Κόκκινο αργό αναβόσβημα (1/4Hz)	Ήχος βομβητή	Υπερφόρτωση

3.Θύρα σύνδεσης εξωτερικού διακόπτη ενεργοποίησης: Στη θύρα αυτή μπορεί να συνδεθεί ένας εξωτερικός διακόπτης και να γίνει η ενεργοποίηση και απενεργοποίηση του αντιστροφέα μέσω αυτού του διακόπτη.

4.Θύρα Remote: Στην θύρα αυτή συνδέεται καλώδιο rj11 και παρέχει απομακρυσμένο έλεγχο της λειτουργίας του αντιστροφέα.

5.Θύρα RS485: Η θύρα αυτή χρησιμοποιείται για την επικοινωνία του αντιστροφέα με ηλεκτρονικό υπολογιστή ή κινητό τηλέφωνο μέσω εφαρμογής. Η επικοινωνία γίνεται είτε ενσύρματα, είτε ασύρματα μέσω bluetooth ή Wi-fi.



Εικόνα 6.24 Ασύρματα και ενσύρματα επικοινωνία

6.Πρίζα Εξόδου: Στην πρίζα αυτή συνδέεται το φορτίο που θέλουμε να τροφοδοτήσουμε.

7.Θετικός Ακροδέκτης Εισόδου: Ο ακροδέκτης αυτός συνδέεται με το θετικό πόλο της μπαταρίας. Μεταξύ τους μεσολαβεί μια ασφάλεια προστασίας.

8.Αρνητικός Ακροδέκτης Εισόδου: Ο ακροδέκτης αυτός συνδέεται με το αρνητικό πόλο της μπαταρίας.

9.Ακροδέκτης Γείωσης: Ο ακροδέκτης αυτός συνδέεται με την γείωση, αν υπάρχει.

10.Ανεμιστήρες: Οι ανεμιστήρες χρησιμεύουν για να ψύχουν τον αντιστροφέα και οι προϋποθέσεις εκκίνησης και διακοπής λειτουργίας τους παρουσιάζονται στον Πίνακα 6.11.

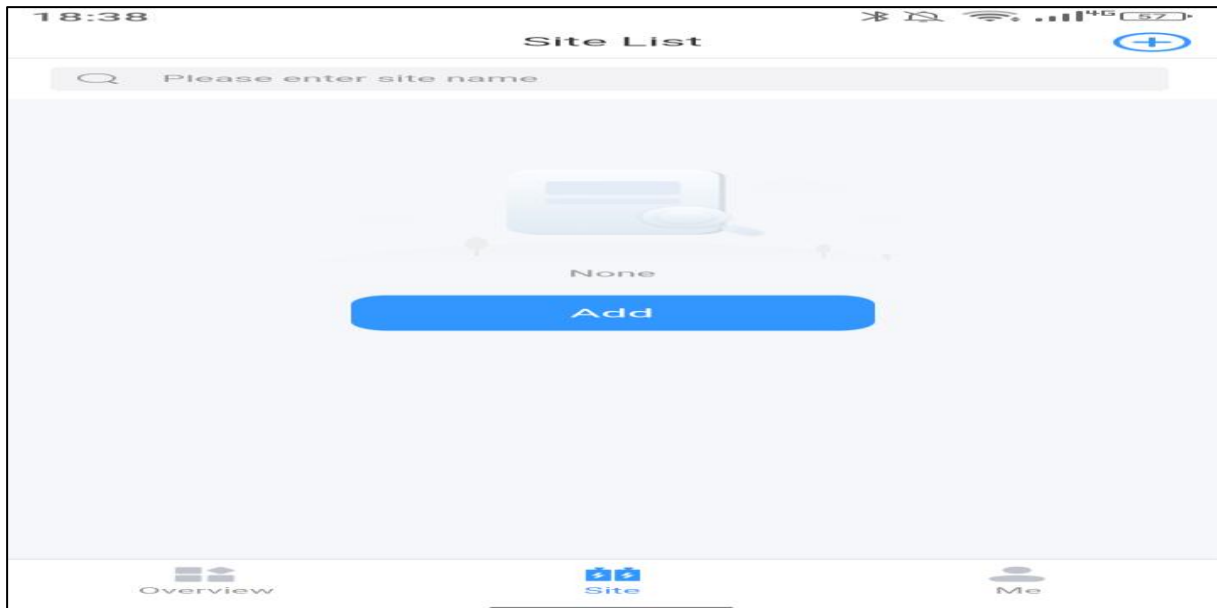
Πίνακας 6.11 Προϋποθέσεις εκκίνησης και διακοπής λειτουργίας ανεμιστήρων

Συνθήκες για την εκκίνηση του ανεμιστήρα ψύξης	Συνθήκες για τη διακοπή του ανεμιστήρα ψύξης
• Η θερμοκρασία της ψύκτρας είναι υψηλότερη από 45°C ή • Η εσωτερική θερμοκρασία του inverter είναι υψηλότερη από 45°C ή • Η ισχύς εξόδου είναι υψηλότερη από το 50% της ονομαστικής ισχύος	• Η θερμοκρασία της ψύκτρας είναι χαμηλότερη από 40°C και • Η εσωτερική θερμοκρασία του inverter είναι χαμηλότερη από 40°C και • Η ισχύς εξόδου είναι χαμηλότερη από το 30% της ονομαστικής ισχύος

Για να αποκτήσουμε πρόσβαση στις πληροφορίες για τον αντιστροφέα μέσω bluetooth αρχικά εγκαθιστούμε την εφαρμογή Solar Guardian. Στη συνέχεια ενεργοποιούμε το bluetooth, ανοίγουμε την εφαρμογή και εμφανίζεται το μενού της Εικόνας 6.25.



Εικόνα 6.25 Εφαρμογή Solar Guardian



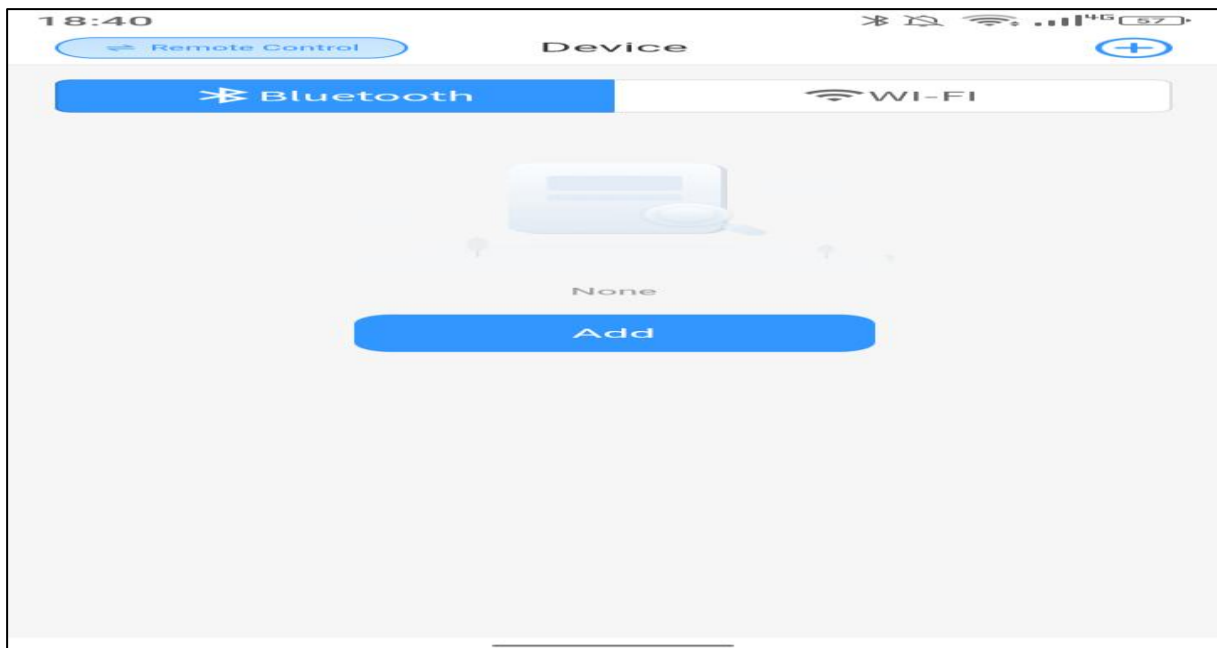
Εικόνα 6.26 Βήμα 1

Στη συνέχεια πρέπει να κάνουμε εγγραφή στην εφαρμογή επιλέγοντας Sign up now. Δίνουμε ένα username, password επιλέγουμε ως χώρα την επιλογή International και σαν γλώσσα της εφαρμογής τα αγγλικά. Η άλλη επιλογή χώρας είναι η Κίνα. Επομένως σε οποιαδήποτε άλλη χώρα εκτός Κίνας γίνει χρήση της εφαρμογής Solar Guardian θα πρέπει να γίνει επιλογή της τιμής International. Αφού ολοκληρωθεί η εγγραφή επιστρέφουμε στο μενού της Εικόνας 6.25, συμπληρώνουμε τα στοιχεία εισόδου, πατάμε το κουμπί Login και μεταφερόμαστε στο μενού της Εικόνας 6.26. Σε πρώτη φάση θα πρέπει να γίνει προσθήκη της συσκευής του αντιστροφέα στην εφαρμογή. Για να γίνει αυτό ακολουθούμε τα βήματα που περιγράφονται παρακάτω.

Από εδώ επιλέγουμε την τιμή Overview και μεταφερόμαστε στο μενού της Εικόνας 6.27. Εδώ επιλέγουμε την τιμή Local Connection για να μεταφερθούμε στο μενού της Εικόνας 6.28.

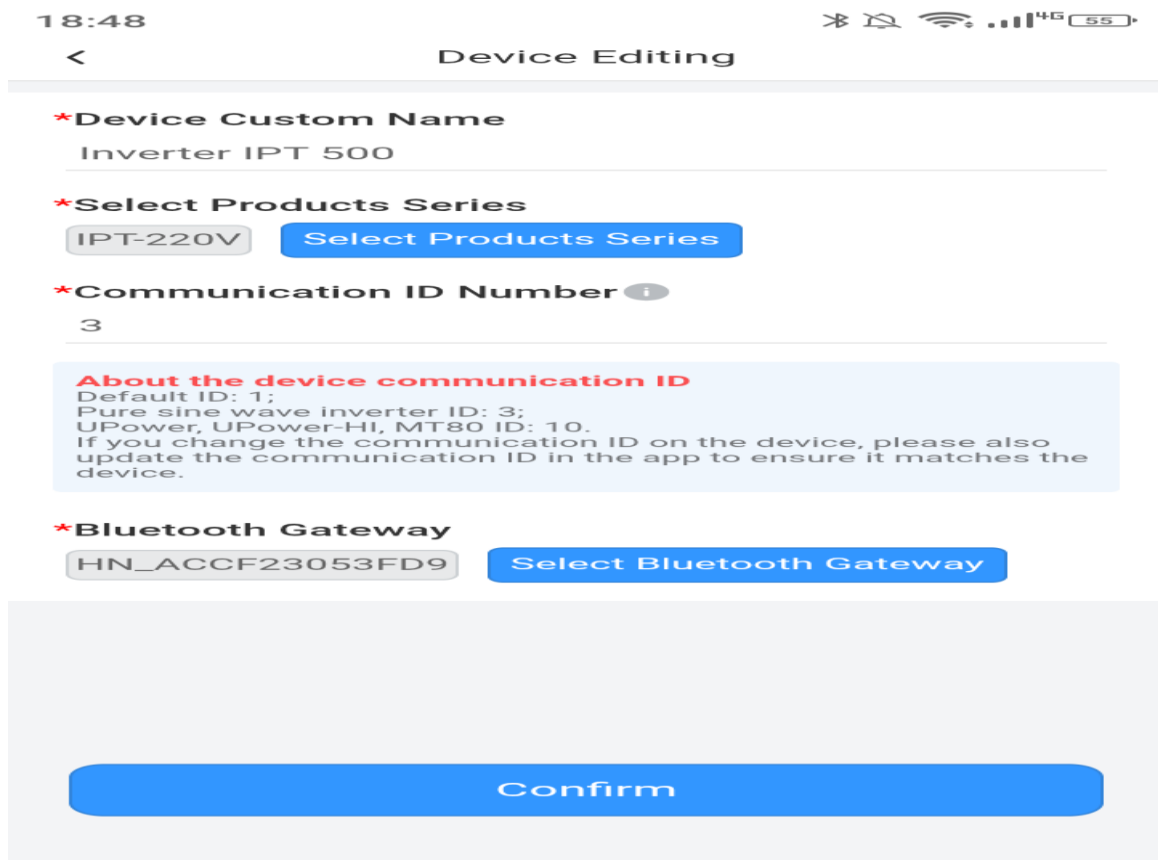


Εικόνα 6.27 Επιλογή Local Connection



Εικόνα 6.28 Προσθήκη συσκευής

Στο σημείο αυτό πατάμε το κουμπί Add για να προσθέσουμε την συσκευή που μας ενδιαφέρει και μεταφερόμαστε στο μενού της Εικόνας 6.29.

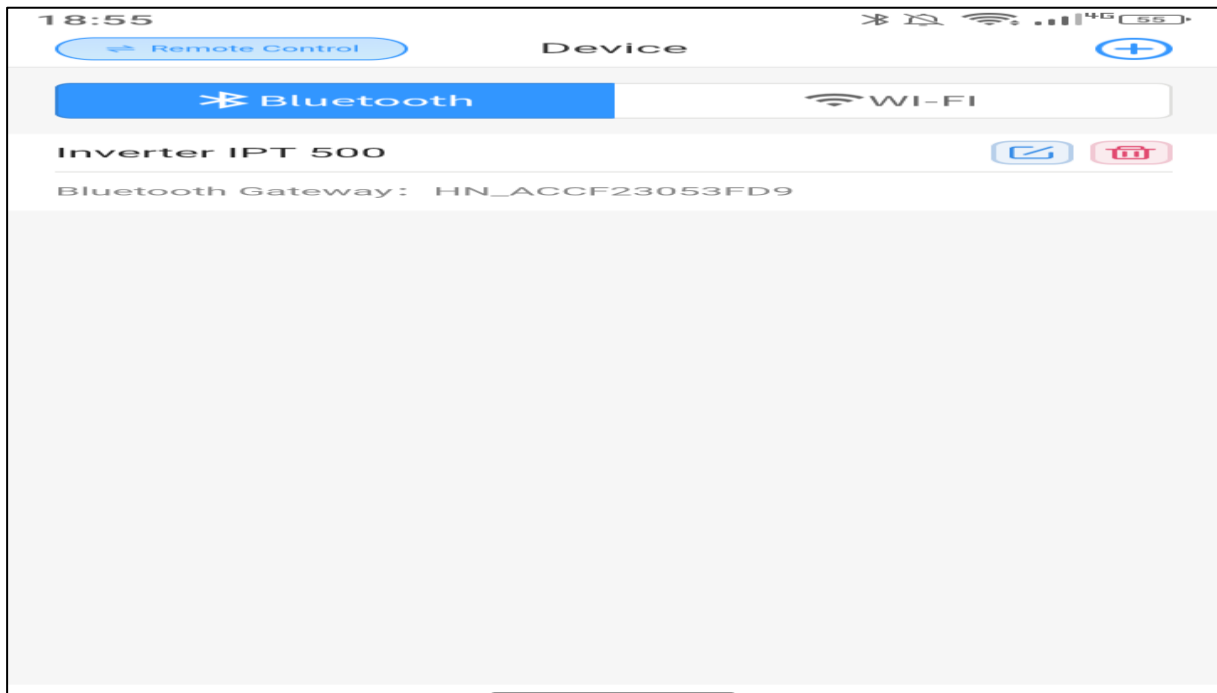


Εικόνα 6.29 Επιλογή ασύρματης συσκευής Bluetooth



Εικόνα 6.30 Προσθήκη συσκευής

Στο πεδίο Device Custom Name δίνουμε το όνομα με το οποίο θα εμφανίζεται η συσκευή. Στην περίπτωση μας δόθηκε το όνομα IPT 500. Στο πεδίο Select Product Series επιλέγουμε τη σειρά του μοντέλου μας, IPT-220 V. Στο Communication ID Number βάζουμε την τιμή 3 μιας και είναι η τιμή που απαιτείται για off-grid αντιστροφή. Στη συνέχεια πρέπει να επιλέξουμε την bluetooth συσκευή με την οποία θα συνδεθούμε. Επιλέγοντας Select Bluetooth Gateway μεταφερόμαστε στο μενού της Εικόνας 6.30 και προσθέτουμε τη συσκευή πατώντας το κουμπί Add. Πατώντας στη συνέχεια Confirm μεταφερόμαστε στο μενού της Εικόνας 6.31 που όπως φαίνεται η συσκευή έχει προστεθεί στην εφαρμογή μας.



Εικόνα 6.31 Εμφάνιση συσκευών της εφαρμογής

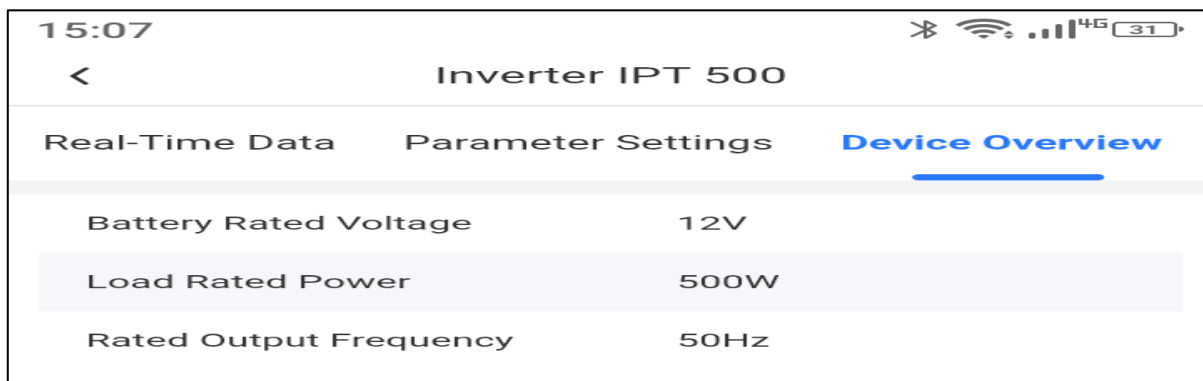
Με την είσοδο στη συσκευή υπάρχουν τέσσερα μενού:

1. Device Overview
2. Parameter Setting
3. Real-Time Data
4. Curve Analysis

Device Overview

Το μενού αυτό μας δίνει πληροφορίες σχετικά με ονομαστική τάση λειτουργίας, την ισχύ εξόδου και την συχνότητα εξόδου του αντιστροφέα. Στην περίπτωση μας τα στοιχεία είναι:

- Ονομαστική τάση: 12 V
- Ισχύς εξόδου: 500 W
- Συχνότητα εξόδου: 50 Hz



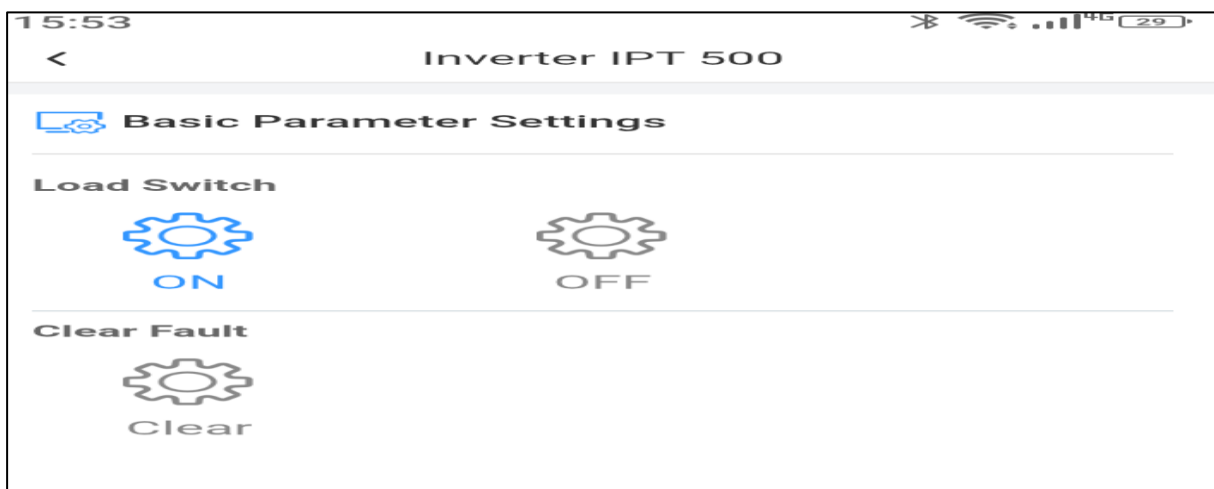
Εικόνα 6.32 Device Overview

Parameter Settings

Το μενού αυτό έχει τρεις υποκατηγορίες:

1. Basic Parameter Settings

Στο υπομενού αυτού μπορούμε να απενεργοποιήσουμε/ενεργοποιήσουμε την έξοδο του αντιστροφέα και να καθαρίσουμε την ένδειξη ενός λάθους.



Εικόνα 6.33 Basic Parameter Settings

2. Control Parameter

15:59 Inverter IPT 500

Control Parameter

Overvoltage Disconnect Voltage	16.0	V
Overvoltage Recovery Voltage	14.5	V
Low Voltage Disconnect Voltage	10.8	V
Low Voltage Recovery Voltage	12.5	V

Read Apply

Εικόνα 6.34 Control Parameter

Στο υπομενού αυτό μπορούμε να ορίσουμε την τάση αποσύνδεσης υπέρτασης, την τάση επανασύνδεσης από υπέρταση, την τάση αποσύνδεσης χαμηλής τάσης μπαταρίας και την τάση επανασύνδεσης ύστερα από διακοπή λόγω υπότασης. Οι εργοστασιακές ρυθμίσεις είναι:

- Τάση αποσύνδεσης υπέρτασης 16 V
- Τάση επανασύνδεσης από υπέρταση 14,5 V
- Τάση αποσύνδεσης χαμηλής τάσης μπαταρίας 10,8 V
- Τάση αποσύνδεσης από χαμηλή τάση μπαταρίας 12,5 V

3. Device Parameter Settings

Στο υπομενού αυτό μπορούμε να επιλέξουμε την τάση εξόδου του αντιστροφέα αν θα είναι 230 V ή 220 V και τη συχνότητα εξόδου αν θα είναι 50 Hz ή 60 Hz.

15:59 Inverter IPT 500

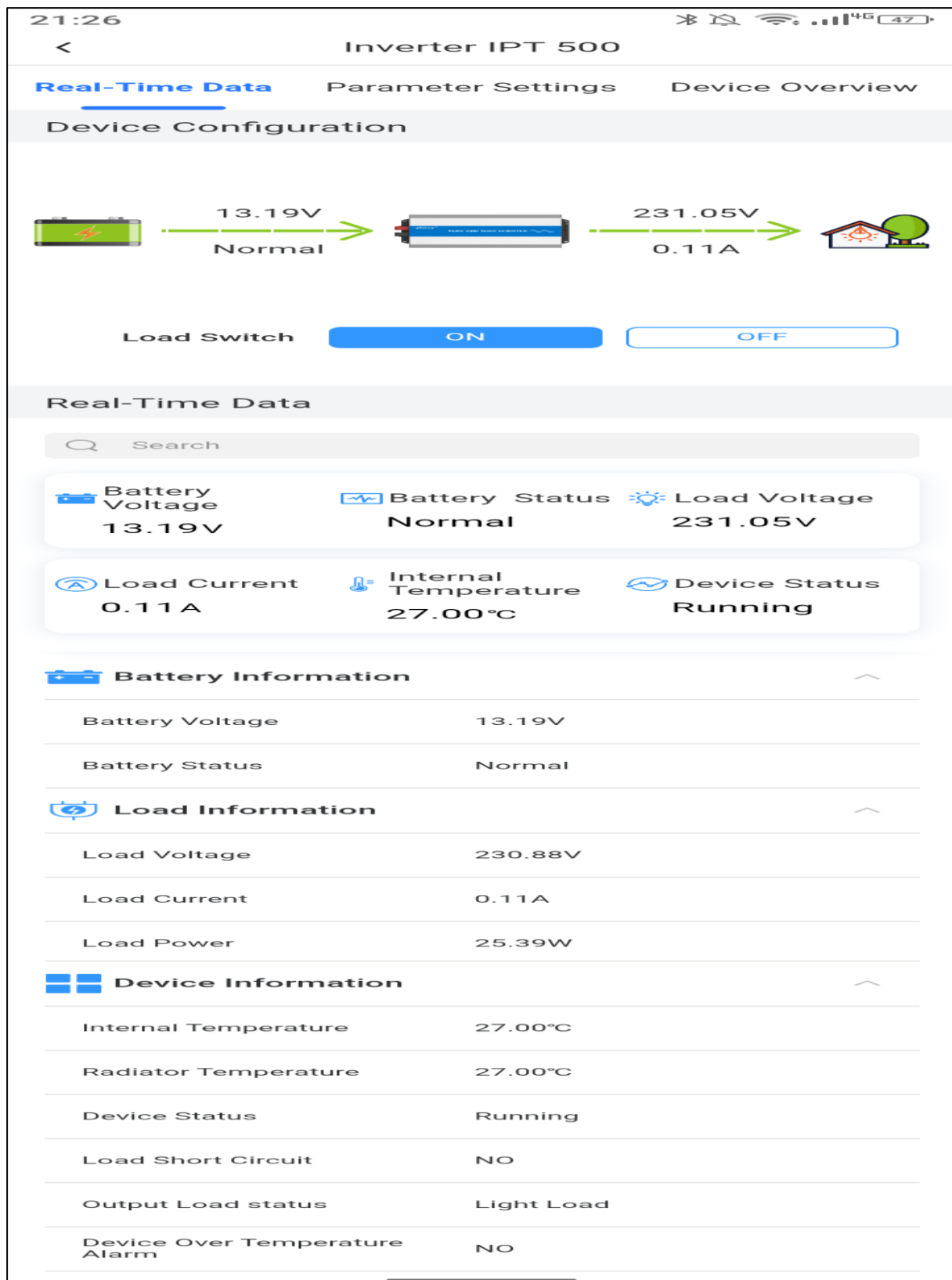
Device Parameter Settings

Output voltage class	230V
Output frequency	50Hz

Read Apply

Εικόνα 6.35 Device Parameter Settings

Real-Time Data

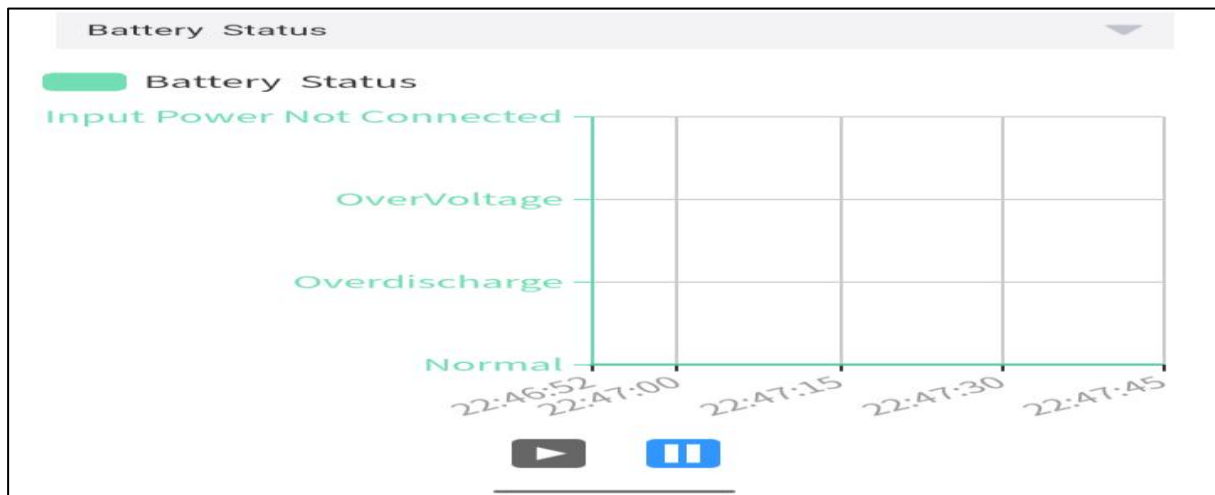


Εικόνα 6.36 Real-Time Data

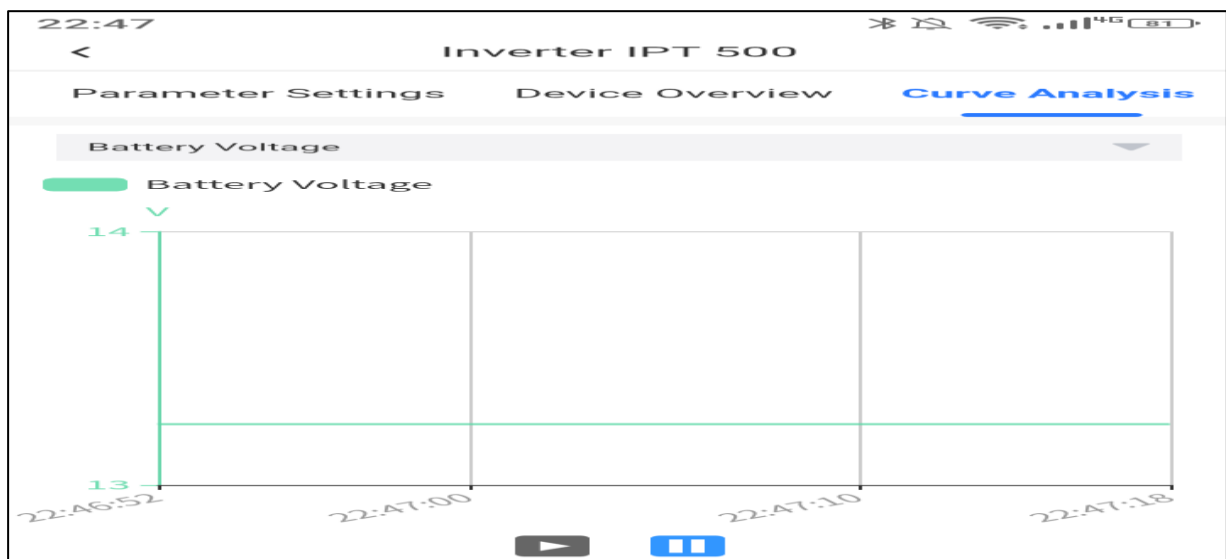
Το μενού αυτό παρέχει αρχικά μια οπτική απεικόνιση της ροής ενέργειας από την μπαταρία έως το φορτίο. Πιο συγκεκριμένα παρέχονται πληροφορίες για την κατάσταση της μπαταρίας και την τάση εισόδου, το ρεύμα εξόδου και την τάση εξόδου του αντιστροφέα. Επίσης υπάρχει επιλογή απενεργοποίησης/ενεργοποίησης της εξόδου του αντιστροφέα. Έπειτα παρουσιάζονται σε πραγματικό χρόνο οι παραπάνω τιμές μαζί με την θερμοκρασία του αντιστροφέα και την κατάσταση του, δηλαδή αν είναι ενεργοποιημένος ή απενεργοποιημένος. Επιπλέον παρουσιάζονται πληροφορίες ξεχωριστά για την μπαταρία, το φορτίο και τον αντιστροφέα. Για την μπαταρία παρουσιάζεται η τάση της και η κατάστασή της. Για το φορτίο παρουσιάζεται η τάση του, το ρεύμα και η ισχύς που καταναλώνει. Τέλος για τον αντιστροφέα παρουσιάζονται η θερμοκρασία του, αν είναι ενεργοποιημένος ή απενεργοποιημένος, ένδειξη βραχυκυκλώματος και υπερθέρμανσης και τέλος αν το φορτίο είναι μεγάλο ή μικρό.

Curve Analysis

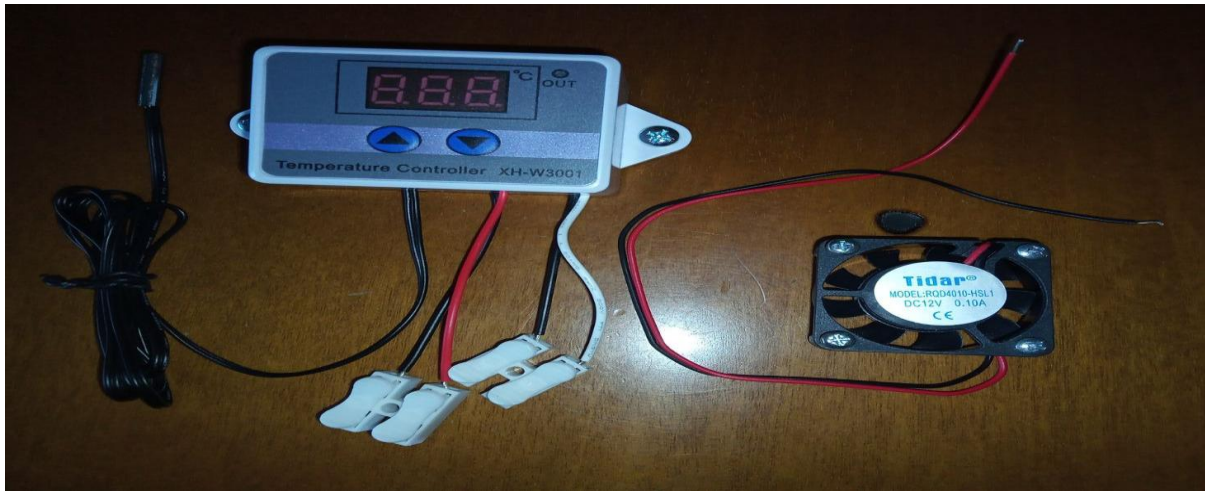
Το μενού αυτό μας δείχνει την μεταβολή της τάσης στην πάροδο του χρόνου καθώς και την κατάστασή της, δηλαδή αν λειτουργεί κανονικά ή αν έχει υπέρταση ή αποφόρτιση πέρα του κανονικού.



Εικόνα 6.37 Battery Status



Εικόνα 6.38 Battery Voltage



Εικόνα 6.39 Θερμοστάτης XH-W3001 και ανεμιστήρας Tidar RQD4010-HSL1

Ένας σημαντικός παράγοντας που πρέπει να ληφθεί σοβαρά υπόψη είναι οι υψηλές θερμοκρασίες που θα αναπτύσσονται στο εσωτερικό του Power Station μιας και όλες οι συσκευές θα είναι κλειστές μέσα σε ένα κουτί. Οι σημαντικότερες συσκευές που επηρεάζονται από τις υψηλές θερμοκρασίες είναι η μπαταρία και ο αντιστροφέας. Αρχικά πρέπει να δημιουργηθούν αεραγωγοί που επιτρέπουν την εισροή αέρα και ανεμιστήρας ο οποίος θα απάγει την θερμότητα προς το εξωτερικό του, ώστε η θερμοκρασία εντός να διατηρείται σε επίπεδα ανεκτά και να μην επηρεάζεται η λειτουργία του. Η διαδικασία θα γίνεται αυτόματα με την χρήση ενός θερμοστάτη. Και ο θερμοστάτης και ο ανεμιστήρας θα πρέπει να έχουν ονομαστική τάση λειτουργίας για να μπορούν να τροφοδοτηθούν από την μπαταρία. Ο θερμοστάτης που επιλέχτηκε είναι ο XH-W3001 και ο ανεμιστήρας είναι ο Tidar RQD4010-HSL1 όπως φαίνονται στην Εικόνα 6.39.

Χαρακτηριστικά XH-W3001

Εύρος θερμοκρασίας: -50 έως 110 °C

Ακρίβεια μέτρησης: 0,1 °C

Τάση εισόδου: 12 V DC

Μέγιστη ισχύς εξόδου: 120 W

Τύπος: NTC 10KΩ

Χαρακτηριστικά Tidar RQD4010-HSL1

Τάση εισόδου: 12 V DC

Ρεύμα εισόδου: 0,1 A

Ισχύς: 1,2 W

Προγραμματισμός και συνδεσμολογία θερμοστάτη



Εικόνα 6.40 XH-W3001

1. Ένδειξη Θερμοκρασίας
2. Ένδειξη ενεργοποίησης θερμοστάτη
3. Μπουτόν πάνω
4. Μπουτόν κάτω
5. Σύνδεση ανεμιστήρα
6. Σύνδεση μπαταρίας
7. Αισθητήρας θερμοκρασίας NTC

Η συνδεσμολογία του θερμοστάτη με τον ανεμιστήρα φαίνεται στην Εικόνα 6.41.



Εικόνα 6.41 Συνδεσμολογία XH-W3001

Με την σύνδεση της μπαταρίας με τον θερμοστάτη εμφανίζεται η ένδειξη της θερμοκρασίας του χώρου στον ενδεικτή θερμοκρασίας. Ο θερμοστάτης μπορεί να λειτουργήσει είτε για θέρμανση είτε για ψύξη. Στην περίπτωση μας θα τον χρησιμοποιήσουμε σε λειτουργία ψύξης. Αρχικά κρατάμε πατημένο το μπουτόν 3. Μετά από δύο δευτερόλεπτα εμφανίζεται μία ένδειξη της θερμοκρασίας να αναβοσβήνει. Στο στάδιο αυτό επιλέγουμε την θερμοκρασία πάνω από την οποία θα ενεργοποιηθεί ο θερμοστάτης, χρησιμοποιώντας τα μπουτόν πάνω και κάτω. Στη συνέχεια κρατάμε πατημένο για δυο δευτερόλεπτα το μπουτόν 4 και εμφανίζεται η ένδειξη της θερμοκρασίας να αναβοσβήνει. Στο στάδιο αυτό επιλέγουμε την θερμοκρασία πάνω από την οποία θα απενεργοποιηθεί ο θερμοστάτης, χρησιμοποιώντας τα μπουτόν πάνω και κάτω. Μόλις η θερμοκρασία του χώρου ξεπεράσει την θερμοκρασία ενεργοποίησης του θερμοστάτη ανάβει το ενδεικτικό 2 και η έξοδος 6 στέλνει ρεύμα στον ανεμιστήρα. Μόλις η θερμοκρασία του χώρου πέσει κάτω από την θερμοκρασία απενεργοποίησης του θερμοστάτη, σβήνει το ενδεικτικό 2 και η έξοδος 6 σταματάει να στέλνει ρεύμα στον ανεμιστήρα.

Για την φόρτιση της μπαταρίας επιλέχθηκε ο ρυθμιστής φόρτισης SmartSolar charge controller MPPT 75 | 15 της εταιρίας Victron Energy που φαίνεται στην Εικόνα 6.42. Ικανοποιητικός θα ήταν και ο SmartSolar charge controller MPPT 75 | 10 αλλά επιλέχθηκε ο MPPT 75 | 15 για μελλοντική χρήση φωτοβολταϊκών πάνελ μεγαλύτερης ισχύος. Ο ρυθμιστής έχει ως είσοδο τους ακροδέκτες σύνδεσης των φωτοβολταϊκών πάνελ(PV), εξόδους τους ακροδέκτες σύνδεσης της μπαταρίας(BATT) και τους ακροδέκτες σύνδεσης DC φορτίου(LOAD). Επίσης διαθέτει τρία ενδεικτικά LED για ένδειξη των σταδίων της φόρτισης, Bulk, Absorption, Float και άλλων επιπλέον λειτουργιών. Τέλος διαθέτει ενσωματωμένο Bluetooth για ασύρματη επικοινωνία μέσω εφαρμογής και θύρα VE.Direct για ενσύρματη επικοινωνία με ενσύρματες συσκευές. Για την κατασκευή θα χρησιμοποιηθεί επικοινωνία μόνο μέσω Bluetooth.

Τα χαρακτηριστικά του φαίνονται στον Πίνακα 6.12. Υποστηρίζει στην είσοδό του φωτοβολταϊκά πάνελ ονομαστικής τάσης 12 V και 24 V. Η επιλογή της ονομαστικής τάσης εισόδου μπορεί να γίνει είτε αυτόματα είτε χειροκίνητα. Στην περίπτωση χρήσης φωτοβολταϊκών πάνελ ονομαστικής τάσης 12 V μπορεί να υποστηρίξει ισχύ έως 220 W, ενώ σε περίπτωση χρήσης φωτοβολταϊκών πάνελ ονομαστικής τάσης 24 V μπορεί να υποστηρίξει ισχύ έως 220 W. Η μέγιστη τάση που μπορούν να



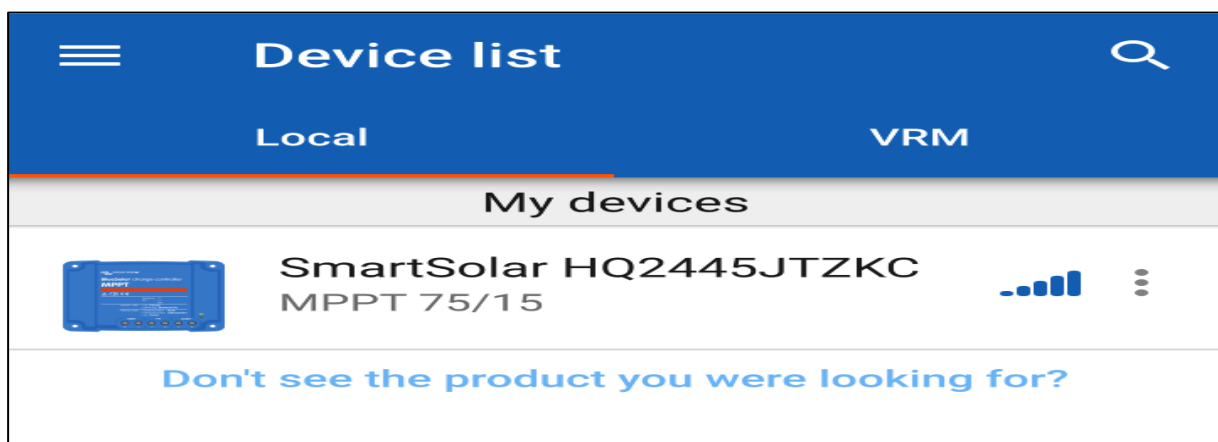
Εικόνα 6.42 SmartSolar charge controller MPPT 75 | 15

έχουν οι συστοιχίες των πάνελ είναι έως 75 V και το μέγιστο ρεύμα που μπορεί να στείλει ο ρυθμιστής τόσο στην μπαταρία όσο και στα DC φορτία είναι 15 A. Έχει μεγάλο βαθμό απόδοσης που φτάνει μέχρι και 98%. Η ιδιοκατανάλωση είναι πολύ μικρή, της τάξεως μερικών mA. Το θερμοκρασιακό εύρος λειτουργίας κυμαίνεται από -30 έως +60 °C. Τέλος χρησιμοποιεί αλγόριθμο φόρτισης πολλαπλών σταδίων και παρέχει προστασία από αντιστροφή πολικότητα και υπερθέρμανση.

Πίνακας 6.12 Χαρακτηριστικά MPPT 75/15

Τάση μπαταρίας (αυτόματη επιλογή)	12 / 24 V
Ονομαστικό ρεύμα φόρτισης	15 A
Ονομαστική ισχύς Φ/B 12 V	220 W
Ονομαστική ισχύς Φ/B 24 V	440 W
Μέγιστο ρεύμα βραχυκύκλωσης Φ/B	15 A
Αυτόματη αποσύνδεση φορτίου	Ναι
Μέγιστη τάση ανοικτού κυκλώματος Φ/B	75 V
Μέγιστη απόδοση	98 %
Ιδιοκατανάλωση(χωρίς φορτίο)	12 V: 19 mA / 24 V: 16 mA
Ιδιοκατανάλωση(με φορτίο απενεργοποιημένο)	12 V: 10 mA / 24 V: 8 mA
Αλγόριθμος φόρτισης	Πολλαπλών σταδίων
Μέγιστο συνεχές ρεύμα φορτίου	15 A
Προστασίες	Αντιστροφή πολικότητας / Υπερθέρμανση
Θερμοκρασία λειτουργίας	-30 έως +60 °C
Θύρα επικοινωνίας δεδομένων	VE.Direct

Για την επικοινωνία μέσω bluetooth απαιτείται η εγκατάσταση Victron Connect. Με την είσοδο στην εφαρμογή εμφανίζονται οι διαθέσιμες συσκευές.



Εικόνα 6.43 Device List Victron Connect

Επιλέγοντας την συσκευή μας μεταφερόμαστε στο περιβάλλον της Εικόνας 6.44 όπου υπάρχουν τρία μενού:

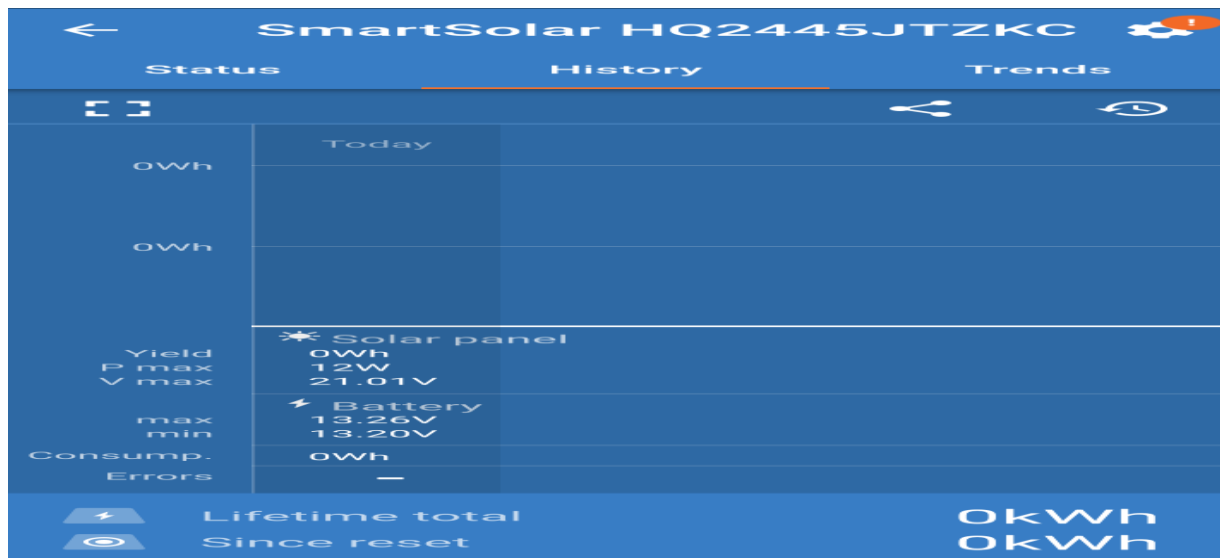
1. Status
2. History
3. Trends

Status

Το μενού αυτό παρέχει πληροφορίες σχετικά με την ισχύ που παράγουν τα πάνελ, την τάση στα άκρα τους και το ρεύμα που παρέχουν. Επίσης παρέχει πληροφορίες σχετικά με την τάση της μπαταρίας, το ρεύμα φόρτισης καθώς και το στάδιο φόρτισης στο οποίο βρίσκεται.



Εικόνα 6.44 Status

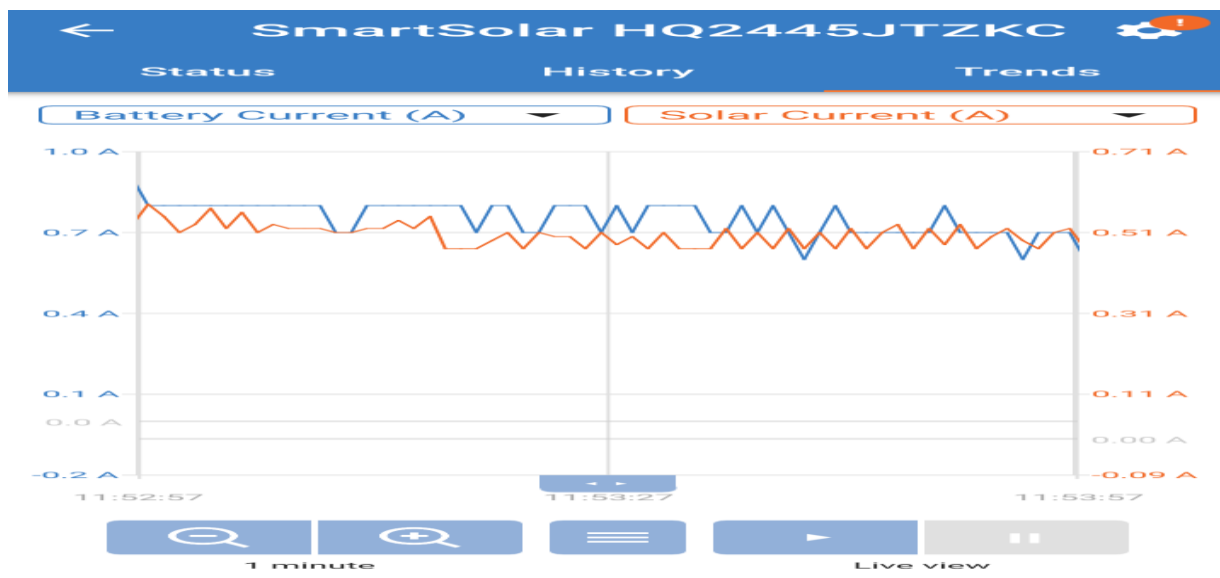
History

Εικόνα 6.45 History

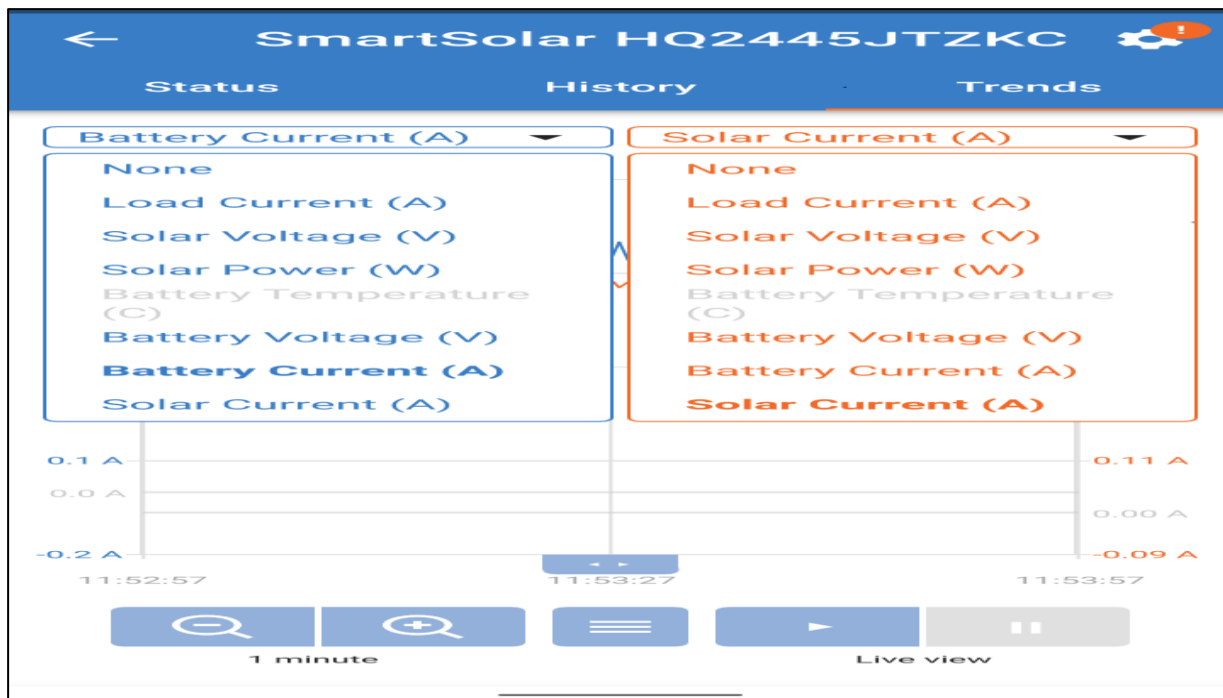
Το μενού αυτό παρέχει πληροφορίες σχετικά τις KWh που παρήγαγαν τα πάνελ και την μέγιστη ισχύ και τάση ανά ημέρα. Επίσης μας πληροφορεί για την μέγιστη και ελάχιστη τάση της μπαταρίας ανά ημέρα και τέλος την ημερήσια αλλά και την συνολική κατανάλωση ενέργειας.

Trends

Το μενού αυτό παρέχει πληροφορίες σε πραγματικό χρόνο για μεγέθη που σχετίζονται με την μπαταρία, τα πάνελ και το φορτίο. Τα μεγέθη όπως φαίνονται και στην Εικόνα 6.47 είναι το ρεύμα, η τάση και η ισχύς των πάνελ, το ρεύμα και η τάση φόρτισης της μπαταρίας και το ρεύμα των φορτίων.

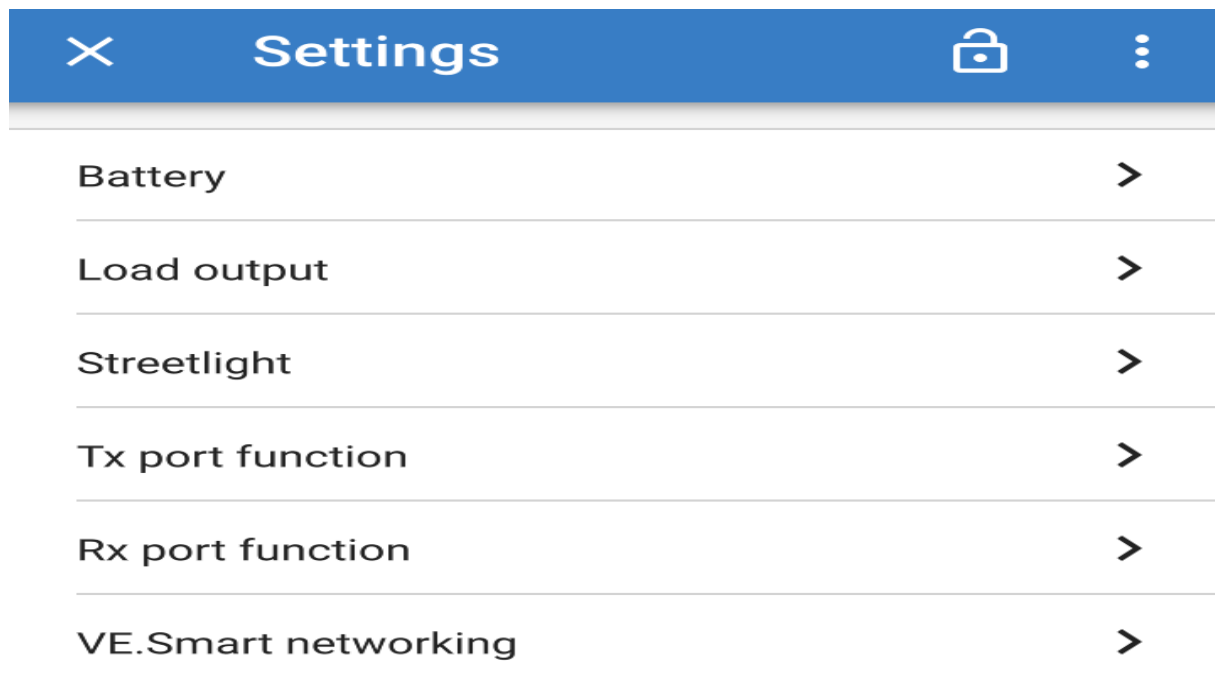


Εικόνα 6.46 Trends

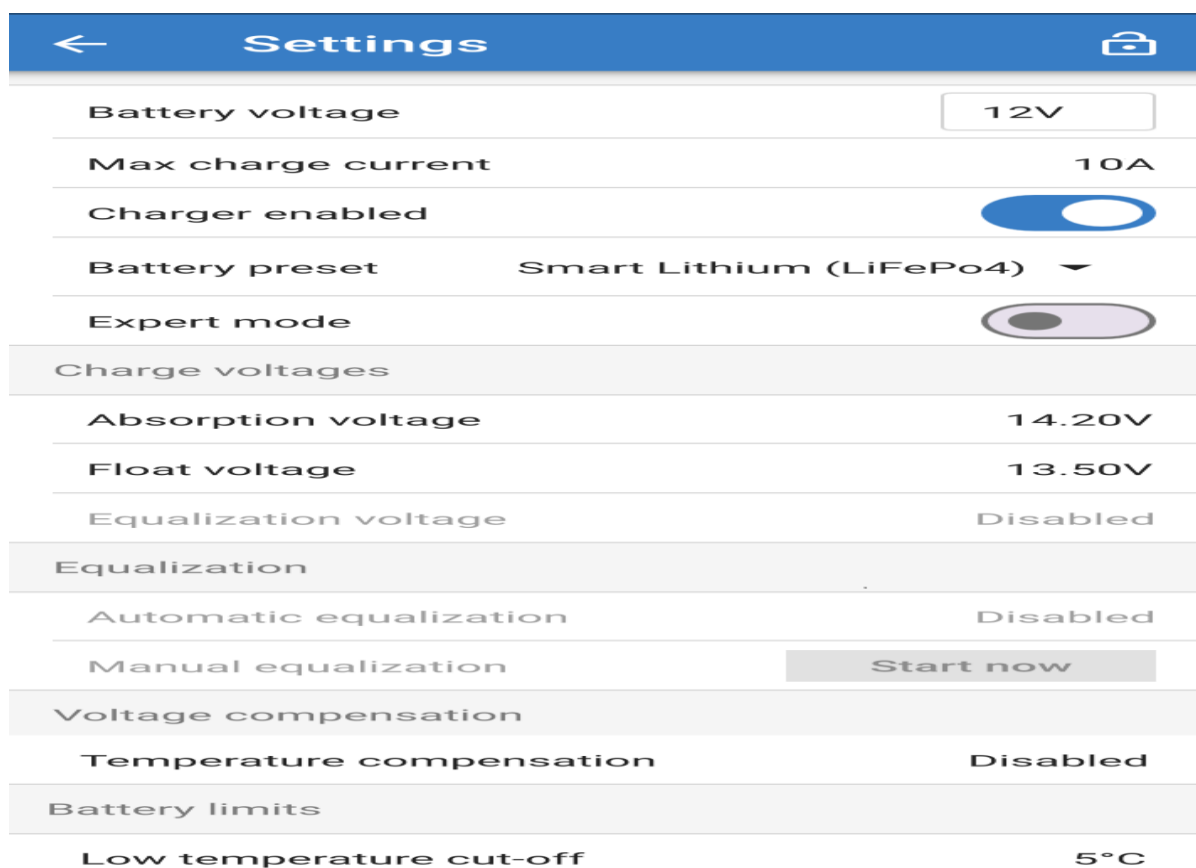


Εικόνα 6.47 Επιλογή μεγεθών απεικόνισης

Επιλέγοντας το γρανάτζι στο δεξί πάνω μέρος μεταφερόμαστε στο μενού ρυθμίσεων της Εικόνας 6.48. Το σημαντικό είναι να ρυθμίσουμε τις συνθήκες φόρτισης ανάλογα με τον τύπο της μπαταρίας που χρησιμοποιούμε. Αυτό είναι πολύ σημαντικό γιατί κάθε τύπος μπαταρίας έχει διαφορετικά χαρακτηριστικά και στάδια φόρτισης τα οποία πρέπει να παραμετροποιηθούν κατάλληλα. Με την επιλογή Battery μεταφερόμαστε στο μενού της Εικόνας 6.49.



Εικόνα 6.48 Μενού ρυθμίσεων



Settings	
Battery voltage	12V
Max charge current	10A
Charger enabled	☒
Battery preset	Smart Lithium (LiFePo4) ▼
Expert mode	☐
Charge voltages	
Absorption voltage	14.20V
Float voltage	13.50V
Equalization voltage	Disabled
Equalization	
Automatic equalization	Disabled
Manual equalization	Start now
Voltage compensation	
Temperature compensation	Disabled
Battery limits	
Low temperature cut-off	5°C

Εικόνα 6.49 Ρυθμίσεις μπαταρίας

Αρχικά στο πεδίο Battery voltage ορίζουμε την ονομαστική τάση της μπαταρίας. Στην περίπτωση μας βάζουμε τιμή 12 V. Στο πεδίο Max charge current βάζουμε το μέγιστο ρεύμα με το οποίο μπορεί ο ρυθμιστής φορτιστής να φορτίσει την μπαταρία. Στην περίπτωση μας βάζουμε τιμή 10 A. Με την επιλογή Charger enabled ενεργοποιούμε και απενεργοποιούμε την ρυθμιστή. Ο πιο εύκολος τρόπος για την επιλογή των υπολοίπων χαρακτηριστικών της φόρτισης είναι να επιλέξουμε την επιλογή Battery preset για την περίπτωση μας Smart Lithium (LifePO4). Αυτόματα η τάση του σταδίου absorption παίρνει την τιμή 14,2 V, η τάση του σταδίου float την τιμή 13,5 V και το στάδιο της εξισορρόπησης(equalization) απενεργοποιείται μιας και απαγορεύεται να χρησιμοποιείται σε αυτού του τύπου μπαταρίες. Τέλος η αντιστάθμιση τάσης(Voltage compensation) λόγω μεταβολής της θερμοκρασίας απενεργοποιείται και ορίζεται η θερμοκρασία των 5 °C ως το όριο κάτω από το οποίο διακόπτεται η φόρτιση.

Αν θέλουμε να ρυθμίσουμε επιπλέον παραμέτρους επιλέγουμε την επιλογή Expert mode. Με την επιλογή αυτή όπως φαίνεται και στην Εικόνα 6.50 μπορούμε να ρυθμίσουμε τις παραμέτρους Re-bulk voltage offset, τον χρόνο του σταδίου absorption(Absorption time), το ρεύμα ουράς(Tail current) και τον χρόνο του σταδίου εξισορρόπησης(Equalization duration). Η τάση Re-bulk voltage offset καθορίζει πότε μηδενίζεται και ξεκινά ξανά από το πρώτο στάδιο φόρτισης. Εάν η μετατόπιση επαναφόρτισης οριστεί στα 0,1V και η τάση float στα 13,5V, ο κύκλος φόρτισης θα επανεκκινήσει μόλις η τάση της μπαταρίας πέσει κάτω από τα 13,4V για ένα λεπτό. Αυτή η ρύθμιση ορίζει το όριο ρεύματος για να τερματίσει το στάδιο απορρόφησης πριν επιτευχθεί ο μέγιστος χρόνος απορρόφησης. Εάν το ρεύμα φόρτισης πέσει κάτω από το καθορισμένο ρεύμα ουράς, για ένα λεπτό, το στάδιο

Κεφάλαιο 6

absorption θα τερματιστεί και θα ξεκινήσει το στάδιο float. Αυτή η ρύθμιση μπορεί να απενεργοποιηθεί ορίζοντας την στο μηδέν. Μία ακόμα δυνατότητα που έχουμε είναι να ρυθμίσουμε την διάρκεια που θα διαρκέσει το στάδιο absorption.

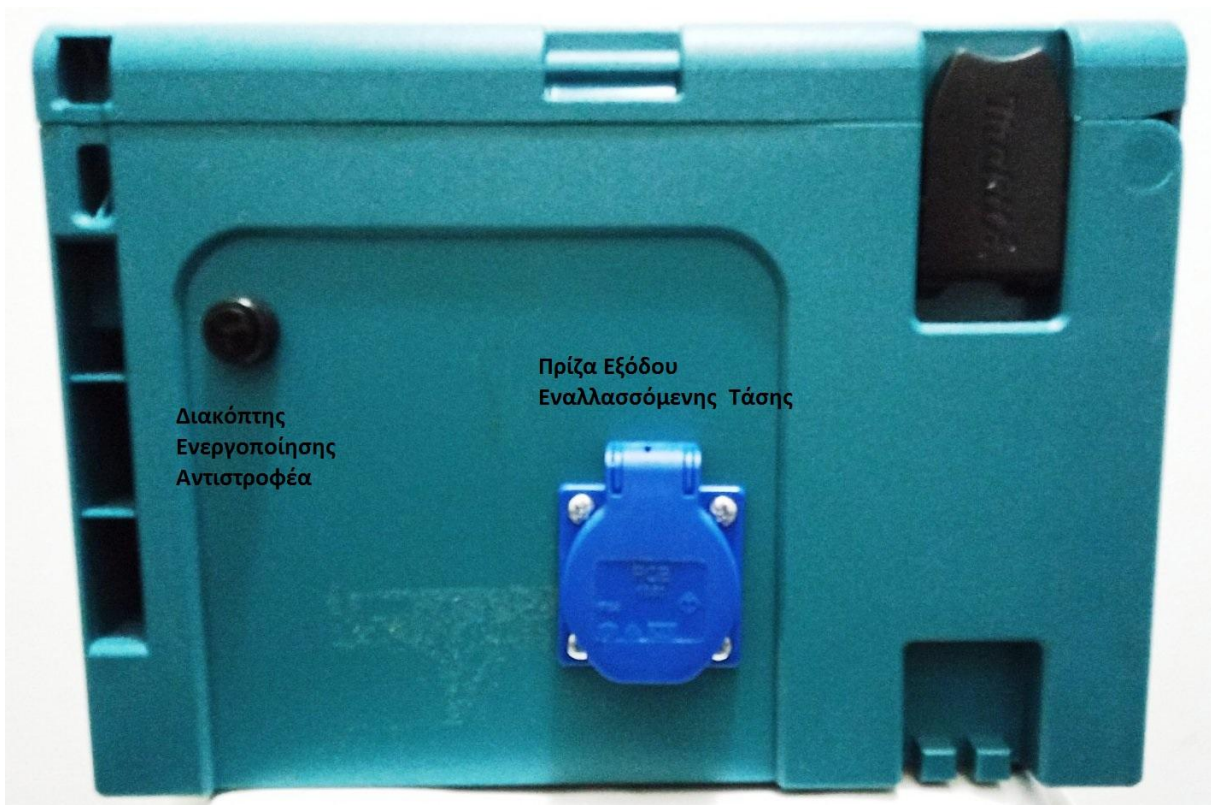
The screenshot shows the 'Settings' app interface for a battery charger. The top bar is blue with a back arrow and a lock icon. The settings are organized into sections with grey headers. The 'Charge voltages' section includes 'Absorption voltage' (14.20V), 'Float voltage' (13.50V), and 'Equalization voltage' (Disabled). The 'Bulk' section has 'Re-bulk voltage offset' (0.10V). The 'Absorption' section includes 'Absorption duration' (Fixed), 'Absorption time' (2h 0m), and 'Tail current' (Disabled). The 'Equalization' section has 'Equalization current percentage' (0%), 'Automatic equalization' (Disabled), 'Equalization stop mode' (Fixed time), 'Equalization duration' (2h 0m), and a 'Manual equalization' button labeled 'Start now'. The 'Voltage compensation' section has 'Temperature compensation' (Disabled). The 'Battery limits' section has 'Low temperature cut-off' (5°C).

← Settings		🔒
Battery voltage	12V	
Max charge current	10A	
Charger enabled	☒	
Battery preset	Smart Lithium (LiFePo4) ▼	
Expert mode	☒	
Charge voltages		
Absorption voltage	14.20V	
Float voltage	13.50V	
Equalization voltage	Disabled	
Bulk		
Re-bulk voltage offset	0.10V	
Absorption		
Absorption duration	Fixed	
Absorption time	2h 0m	
Tail current	Disabled	
Equalization		
Equalization current percentage	0%	
Automatic equalization	Disabled	
Equalization stop mode	Fixed time	
Equalization duration	2h 0m	
Manual equalization	Start now	
Voltage compensation		
Temperature compensation	Disabled	
Battery limits		
Low temperature cut-off	5°C	

Εικόνα 6.50 Ρυθμίσεις μπαταρίας Expert Mode

6.5 Στάδια Κατασκευής Power Station

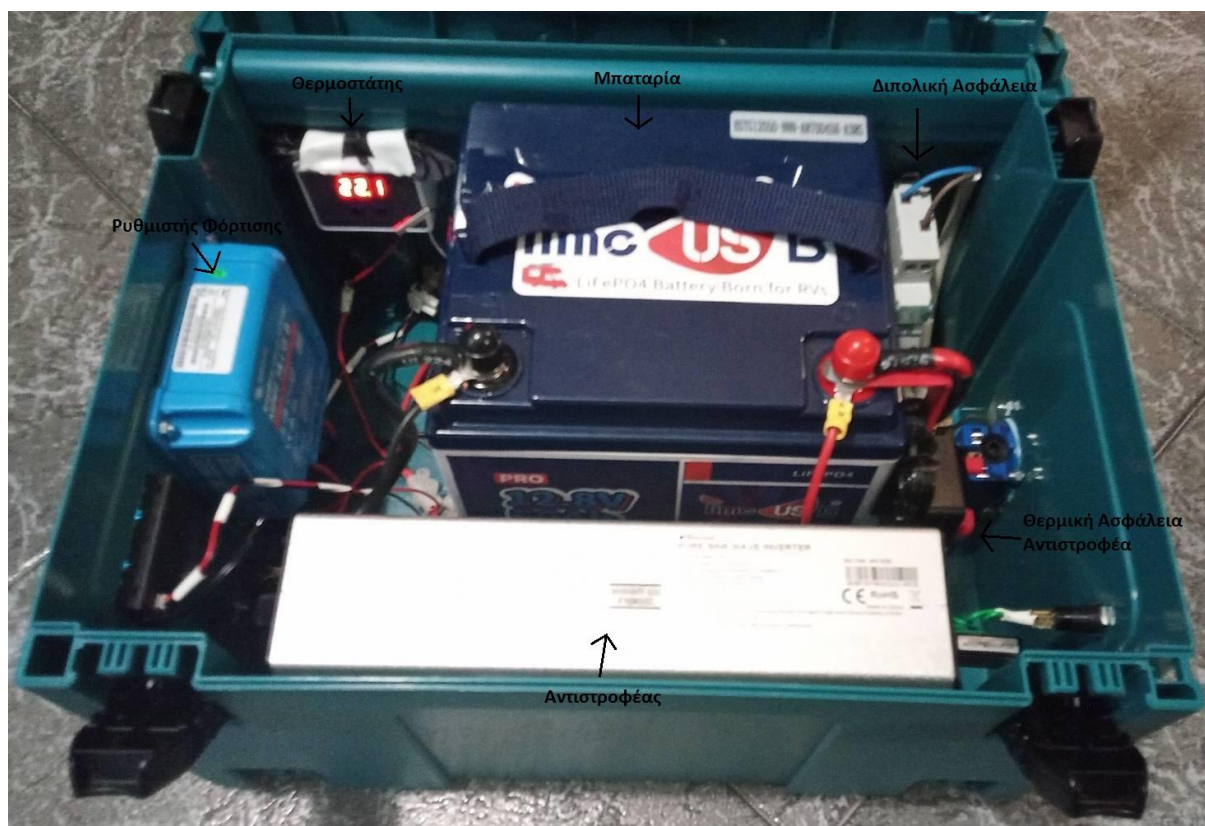
Αρχικά δημιουργήθηκαν στο κουτί οι τρύπες για να κουμπώσουν τα εξαρτήματα του Power Station. Στη συνέχεια τοποθετήθηκαν τα εξαρτήματα όπως φαίνεται στις εικόνες 6.51 έως 6.54.



Εικόνα 6.52 Όψη δεξιά

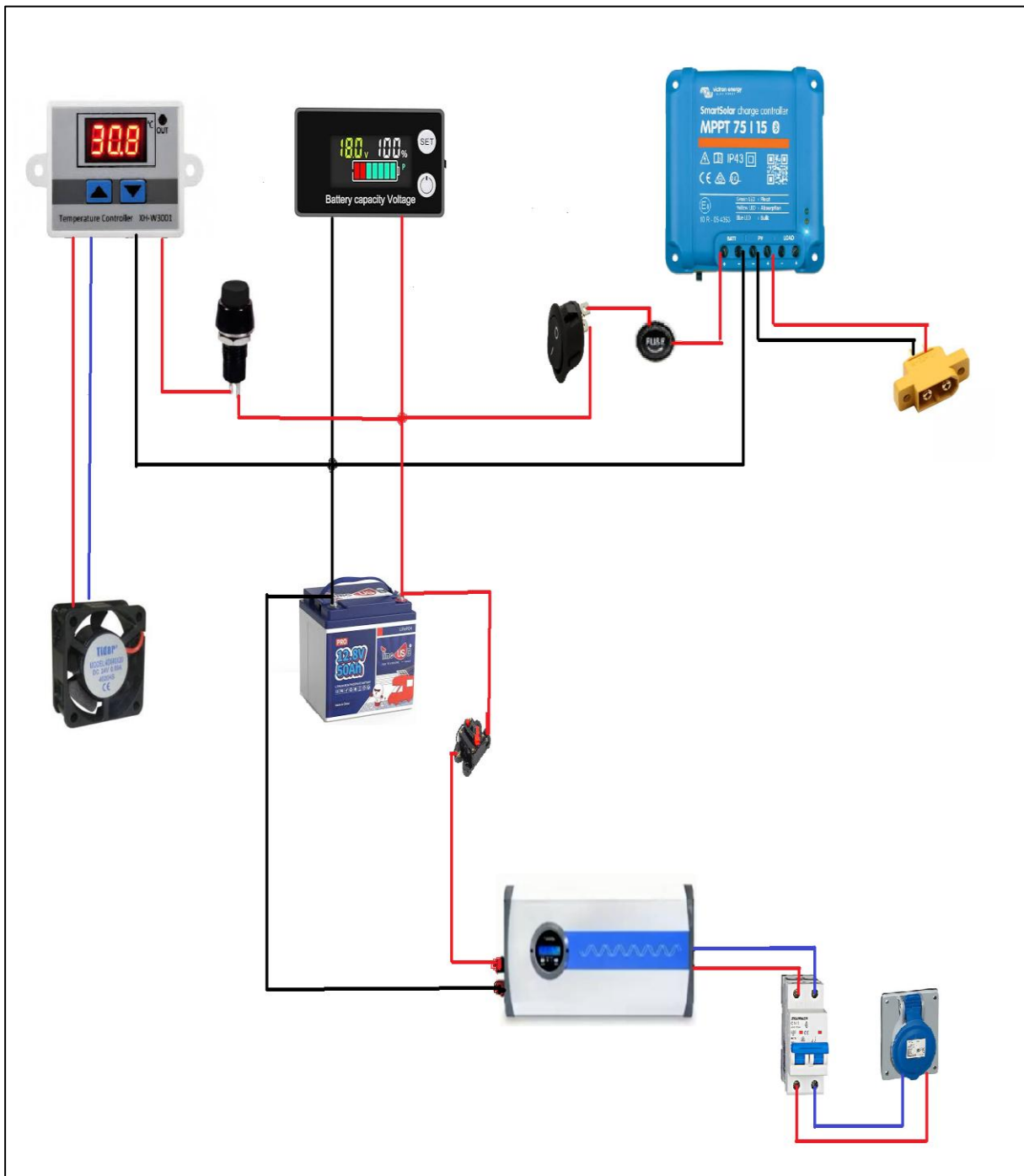


Εικόνα 6.53 Όψη αριστερά



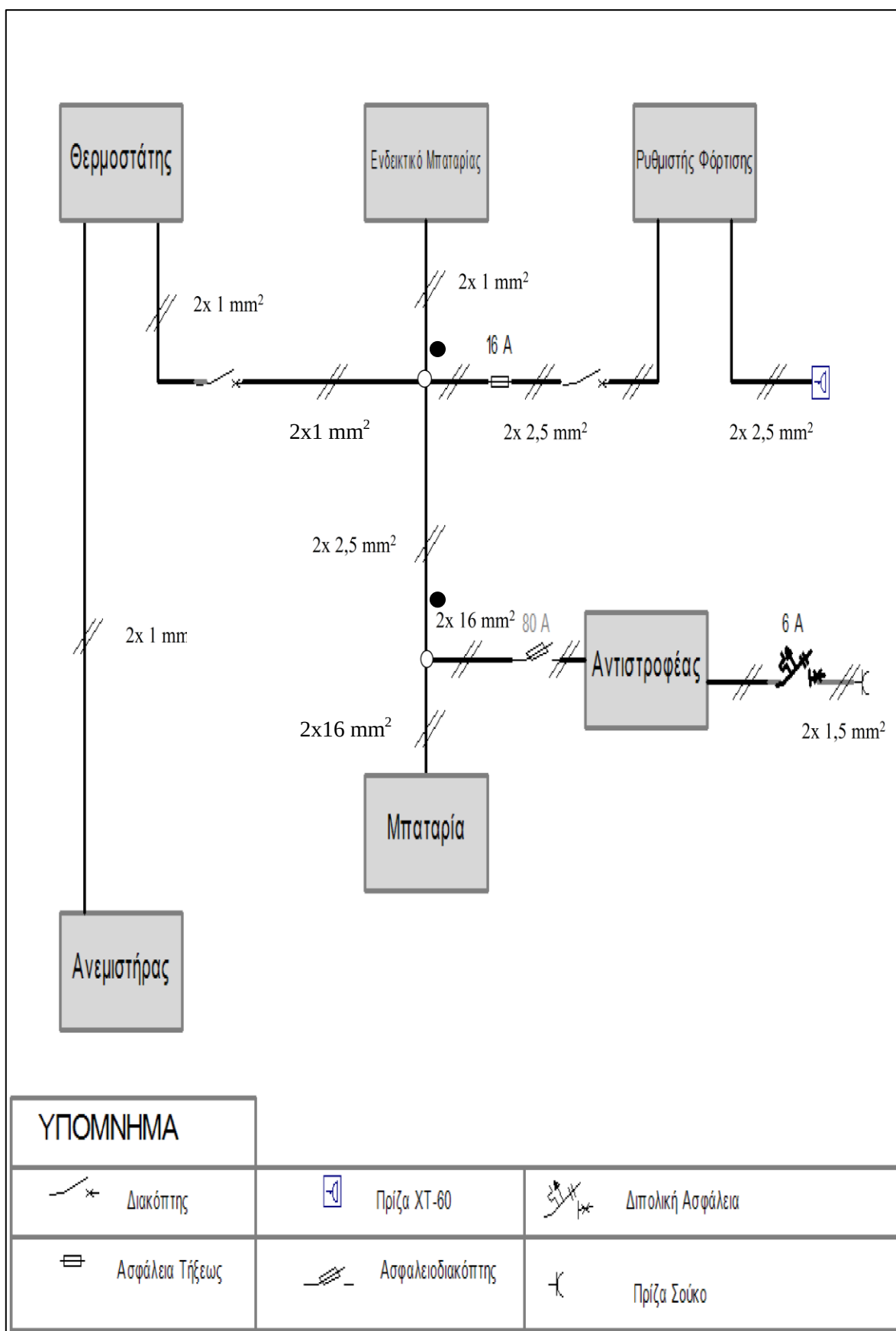
Εικόνα 6.54 Εσωτερικό

Ακολούθως έγιναν οι συνδέσεις σύμφωνα με τις εικόνες 6.55 και 6.56.



Εικόνα 6.55 Πολυγραμμικό σχέδιο συνδεσμολογίας Power Station

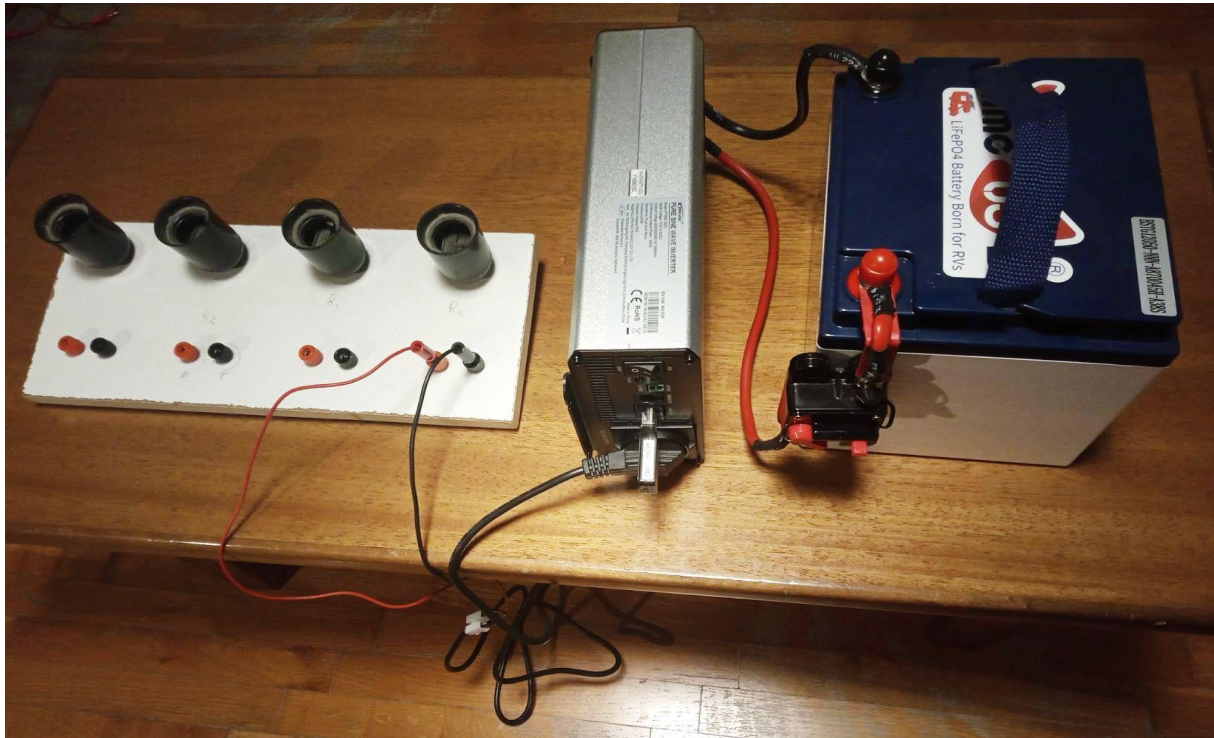
Για τις συνδέσεις της μπαταρίας με τον αντιστροφέα χρησιμοποιήθηκε εύκαμπτο μονοπολικό καλώδιο 16 mm^2 και μεσολαβεί θερμική ασφάλεια 80 A. Για τις συνδέσεις του αντιστροφέα με την πρίζα χρησιμοποιήθηκε καλώδιο NYF 1,5 mm^2 και μεσολαβεί διπολική ασφάλεια 6 A. Για τις συνδέσεις του ρυθμιστή φόρτισης με την μπαταρία χρησιμοποιήθηκε εύκαμπτο μονοπολικό καλώδιο 2,5 mm^2 και μεσολαβεί γυάλινη ασφάλεια 16 A. Στις υπόλοιπες συνδέσεις χρησιμοποιήθηκε καλώδιο 1 mm^2 .



Εικόνα 6.56 Μονογραμμικό σχέδιο συνδεσμολογίας Power Station

6.6 Μετρήσεις Power Station

6.6.1 Μέτρηση Βαθμού Απόδοσης Αντιστροφέα



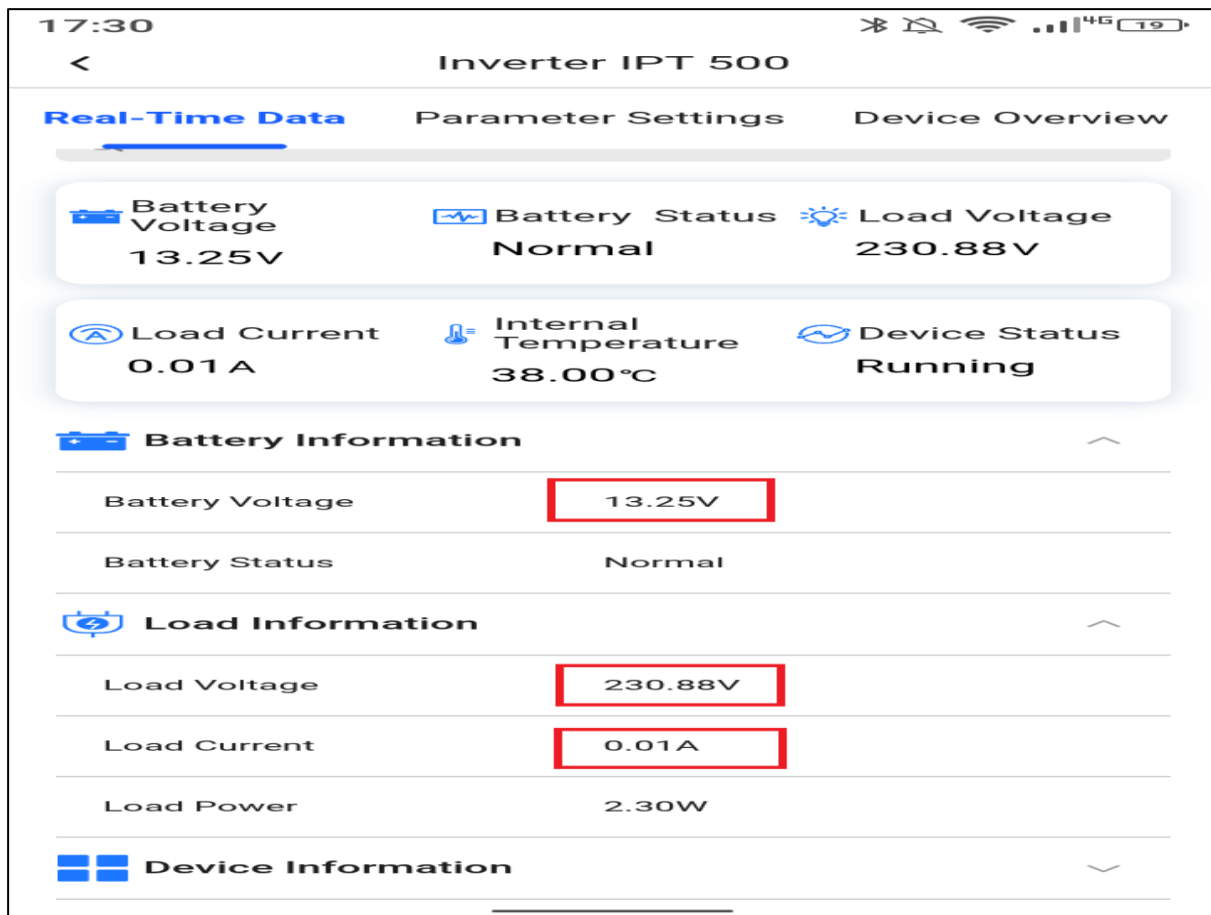
Εικόνα 6.57 Πειραματική διάταξη μέτρησης βαθμού απόδοσης

Για τον υπολογισμό του βαθμού απόδοσης του αντιστροφέα εφαρμόστηκε η παρακάτω μεθοδολογία. Αρχικά έγινε η συνδεσμολογία της Εικόνας 6.57 όπου πραγματοποιήθηκε συνδυασμός λαμπτήρων ως φορτίο. Για κάθε φορτίο έγινε μέτρηση των παρακάτω μεγεθών:

- V_{in} : Τάση εισόδου αντιστροφέα
- V_{out} : Τάση εξόδου αντιστροφέα
- I_{in} : Ρεύμα εισόδου αντιστροφέα
- I_{out} : Ρεύμα εξόδου αντιστροφέα

Για την μέτρηση της τάσης εισόδου και της τάση εξόδου του αντιστροφέα χρησιμοποιήθηκε βολτόμετρο, ενώ για την μέτρηση του ρεύματος εισόδου και του ρεύματος εξόδου του αντιστροφέα χρησιμοποιήθηκε αμπεροτσιμπίδα.

Επίσης όπως φαίνεται στην Εικόνα 6.58 μέσω της εφαρμογής Solar Guardian πήραμε τις τιμές της τάσης εισόδου και της τάση εξόδου του αντιστροφέα καθώς και του ρεύματος εξόδου του αντιστροφέα όπως αυτά μετρήθηκαν από την εφαρμογή. Η εφαρμογή δεν υποστηρίζει μέτρηση του ρεύματος εισόδου του αντιστροφέα και έτσι ο υπολογισμός του είναι δυνατός μόνο μέσω της μέτρησης με την αμπεροτσιμπίδα. Η μέτρηση της τάσης εισόδου πρέπει να γίνεται στην είσοδο του αντιστροφέα και όχι απευθείας στους πόλους της μπαταρίας διότι λόγω των ισχυρών ρευμάτων υπάρχει πτώση τάσης από τους πόλους της μέχρι την είσοδο του αντιστροφέα. Έγινε καταγραφή των παραπάνω μεγεθών και οι τιμές τους χρησιμοποιήθηκαν για τον υπολογισμό της ισχύος εισόδου και εξόδου και μετέπειτα του βαθμού απόδοσης.



Εικόνα 6.58 Μετρήσεις από την εφαρμογή

Ακολούθησε ο υπολογισμός της ισχύος εισόδου και εξόδου του αντιστροφέα από τις σχέσεις 6.7 και 6.8 αντίστοιχα.

$$P_{in} = V_{in} \times I_{in} \quad (6.7)$$

$$P_{out} = V_{out} \times I_{out} \quad (6.8)$$

Τέλος ο βαθμός απόδοσης του αντιστροφέα υπολογίζεται από την σχέση 6.9.

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \quad (6.9)$$

Ο βαθμός απόδοσης υπολογίστηκε τόσο για τις μετρούμενες τιμές όσο και για τις τιμές της εφαρμογής, Συνολικά εφαρμόστηκαν δέκα διαφορετικά φορτία. Θα υπάρξουν κάποιες αποκλίσεις στους υπολογισμούς λόγω σφαλμάτων ακρίβειας των οργάνων μέτρησης. Στον Πίνακα 6.13 εμφανίζονται συγκεντρωτικά οι μετρήσεις και οι υπολογισμοί.

Φορτίο 1**Μετρήσεις**

- $V_{in}=13,2 \text{ V}$
- $V_{out}=231 \text{ V}$
- $I_{in}=2,185 \text{ A}$
- $I_{out}=0,109 \text{ A}$

$$P_{in}=V_{in} \times I_{in}=13,2 \times 2,185=28,842 \text{ W}$$

$$P_{out}=V_{out} \times I_{out}=231 \times 0,109=25,179 \text{ W}$$

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} = \frac{25,179}{28,842} = 0,873 = 87,3\%$$

Εφαρμογή

- $V_{in}=13,21 \text{ V}$
- $V_{out}=230,88 \text{ V}$
- $I_{in}=2,185 \text{ A}$
- $I_{out}=0,11 \text{ A}$

$$P_{in}=V_{in} \times I_{in}=13,21 \times 2,185=28,864 \text{ W}$$

$$P_{out}=V_{out} \times I_{out}=230,88 \times 0,11=25,397 \text{ W}$$

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} = \frac{25,397}{28,864} = 0,88 = 88\%$$

Φορτίο 2**Μετρήσεις**

- $V_{in}=13,15 \text{ V}$
- $V_{out}=231 \text{ V}$
- $I_{in}=3,745 \text{ A}$
- $I_{out}=0,185 \text{ A}$

$$P_{in}=V_{in} \times I_{in}=13,15 \times 3,745=49,247 \text{ W}$$

$$P_{out}=V_{out} \times I_{out}=231 \times 0,185=42,735 \text{ W}$$

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} = \frac{42,735}{49,247} = 0,8677 = 86,77\%$$

Εφαρμογή

- $V_{in}=13,16 \text{ V}$
- $V_{out}=230,88 \text{ V}$
- $I_{in}=3,745 \text{ A}$
- $I_{out}=0,19 \text{ A}$

$$P_{in}=V_{in} \times I_{in}=13,16 \times 3,745=49,284 \text{ W}$$

$$P_{out}=V_{out} \times I_{out}=230,88 \times 0,19=43,867 \text{ W}$$

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} = \frac{43,867}{49,284} = 0,89 = 89\%$$

Φορτίο 3

Μετρήσεις

- $V_{in}=13,1 \text{ V}$
- $V_{out}=231 \text{ V}$
- $I_{in}=4,42 \text{ A}$
- $I_{out}=0,227 \text{ A}$

$$P_{in}=V_{in} \times I_{in}=13,1 \times 4,42=57,9 \text{ W}$$

$$P_{out}=V_{out} \times I_{out}=231 \times 0,227=52,437 \text{ W}$$

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} = \frac{52,437}{57,9} = 0,905 = 90,5\%$$

Εφαρμογή

- $V_{in}=13,11 \text{ V}$
- $V_{out}=230,88 \text{ V}$
- $I_{in}=4,42 \text{ A}$
- $I_{out}=0,232 \text{ A}$

$$P_{in}=V_{in} \times I_{in}=13,11 \times 4,42=57,946 \text{ W}$$

$$P_{out}=V_{out} \times I_{out}=230,88 \times 0,232=53,564 \text{ W}$$

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} = \frac{53,564}{57,946} = 0,9243 = 92,43\%$$

Φορτίο 4

Μετρήσεις

- $V_{in}=13,05 \text{ V}$
- $V_{out}=231 \text{ V}$
- $I_{in}=5,248 \text{ A}$
- $I_{out}=0,27 \text{ A}$

$$P_{in}=V_{in} \times I_{in}=13,05 \times 5,248=68,486 \text{ W}$$

$$P_{out}=V_{out} \times I_{out}=231 \times 0,27=62,3 \text{ W}$$

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} = \frac{62,37}{68,486} = 0,91 = 91\%$$

Εφαρμογή

- $V_{in}=13,04 \text{ V}$
- $V_{out}=230,88 \text{ V}$
- $I_{in}=0,3 \text{ A}$
- $I_{out}=0,28 \text{ A}$

$$P_{in}=V_{in} \times I_{in}=13,04 \times 5,248=68,234 \text{ W}$$

$$P_{out}=V_{out} \times I_{out}=230,88 \times 0,275=63,492 \text{ W}$$

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} = \frac{63,492}{68,234} = 0,93 = 93\%$$

Φορτίο 5**Μετρήσεις**

- $V_{in}=12.96 \text{ V}$
- $V_{out}=231 \text{ V}$
- $I_{in}=10,83 \text{ A}$
- $I_{out}=0,554 \text{ A}$

$$P_{in}=V_{in} \times I_{in}=12,9 \times 10,83=139,707 \text{ W}$$

$$P_{out}=V_{out} \times I_{out}=231 \times 0,554=127,974 \text{ W}$$

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} = \frac{127,974}{139,707} = 0,916 = 91,6\%$$

Εφαρμογή

- $V_{in}=12,98 \text{ V}$
- $V_{out}=230,88 \text{ V}$
- $I_{in}=10,83 \text{ A}$
- $I_{out}=0,57 \text{ A}$

$$P_{in}=V_{in} \times I_{in}=12,98 \times 10,83=140,573 \text{ W}$$

$$P_{out}=V_{out} \times I_{out}=230,88 \times 0,57=131,6 \text{ W}$$

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} = \frac{131,6}{140,573} = 0,9361=93,61\%$$

Φορτίο 6**Μετρήσεις**

- $V_{in}=12,8 \text{ V}$
- $V_{out}=230 \text{ V}$
- $I_{in}=15,35 \text{ A}$
- $I_{out}=0,784 \text{ A}$

$$P_{in}=V_{in} \times I_{in}=12,8 \times 15,35=196,48 \text{ W}$$

$$P_{out}=V_{out} \times I_{out}=230 \times 0,784=180,32 \text{ W}$$

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} = \frac{180,32}{196,48} = 0,9177 = 91,17\%$$

Εφαρμογή

- $V_{in}=12,77 \text{ V}$
- $V_{out}=230,88 \text{ V}$
- $I_{in}=15,35 \text{ A}$
- $I_{out}=0,8 \text{ A}$

$$P_{in}=V_{in} \times I_{in}=12,77 \times 15,35=196 \text{ W}$$

$$P_{out}=V_{out} \times I_{out}=230,88 \times 0,8=187 \text{ W}$$

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} = \frac{184,7}{196} = 0,9423 = 94,23\%$$

Φορτίο 7

Μετρήσεις

- $V_{in}=12,69\text{ V}$
- $V_{out}=229\text{ V}$
- $I_{in}=17,55\text{ A}$
- $I_{out}=0,891\text{ A}$

$$P_{in}=V_{in}\times I_{in}=12,69\times 17,55=222,7\text{ W}$$

$$P_{out}=V_{out}\times I_{out}=229\times 0,891=204,04\text{ W}$$

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} = \frac{204,04}{222,7} = 0,9178 = 91,78\%$$

Εφαρμογή

- $V_{in}=12,63\text{ V}$
- $V_{out}=230,88\text{ V}$
- $I_{in}=17,55\text{ A}$
- $I_{out}=0,91\text{ A}$

$$P_{in}=V_{in}\times I_{in}=12,63\times 17,55=221,66\text{ W}$$

$$P_{out}=V_{out}\times I_{out}=230,88\times 0,91=210,1\text{ W}$$

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} = \frac{210,1}{221,66} = 0,9478 = 94,78\%$$

Φορτίο 8

Μετρήσεις

- $V_{in}=12,64\text{ V}$
- $V_{out}=229\text{ V}$
- $I_{in}=21,23\text{ A}$
- $I_{out}=1,083\text{ A}$

$$P_{in}=V_{in}\times I_{in}=12,64\times 21,23=268,35\text{ W}$$

$$P_{out}=V_{out}\times I_{out}=229\times 1,083=248\text{ W}$$

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} = \frac{248}{268,34} = 0,9242 = 92,42\%$$

Εφαρμογή

- $V_{in}=12,59\text{ V}$
- $V_{out}=230,88\text{ V}$
- $I_{in}=21,23\text{ A}$
- $I_{out}=1,08\text{ A}$

$$P_{in}=V_{in}\times I_{in}=12,55\times 21,23=266,43\text{ W}$$

$$P_{out}=V_{out}\times I_{out}=230,88\times 1,08=249,35\text{ W}$$

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} = \frac{249,35}{266,43} = 0,9359 = 93,59\%$$

Φορτίο 9**Μετρήσεις**

- $V_{in}=12,53 \text{ V}$
- $V_{out}=229 \text{ V}$
- $I_{in}=24,52 \text{ A}$
- $I_{out}=1,256 \text{ A}$

$$P_{in}=V_{in} \times I_{in}=12,53 \times 24,52=307,24 \text{ W}$$

$$P_{out}=V_{out} \times I_{out}=229 \times 1,256=287,62 \text{ W}$$

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} = \frac{287,62}{307,24} = 0,9361 = 93,61\%$$

Εφαρμογή

- $V_{in}=12,42 \text{ V}$
- $V_{out}=230,88 \text{ V}$
- $I_{in}=24,52 \text{ A}$
- $I_{out}=1,24 \text{ A}$

$$P_{in}=V_{in} \times I_{in}=12,42 \times 24,52=304,54$$

$$P_{out}=V_{out} \times I_{out}=230,88 \times 1,24=286,29 \text{ W}$$

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} = \frac{286,29}{304,54} = 0,94 = 94\%$$

Φορτίο 10**Μετρήσεις**

- $V_{in}=12,39 \text{ V}$
- $V_{out}=229 \text{ V}$
- $I_{in}=33,5 \text{ A}$
- $I_{out}=1,69 \text{ A}$

$$P_{in}=V_{in} \times I_{in}=12,39 \times 33,5= 415,065 \text{ W}$$

$$P_{out}=V_{out} \times I_{out}=229 \times 1,69=387,01 \text{ W}$$

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} = \frac{387,01}{415,065} = 0,9324 = 93.24\%$$

Εφαρμογή

- $V_{in}=12,29 \text{ V}$
- $V_{out}=230 \text{ V}$
- $I_{in}=33,5 \text{ A}$
- $I_{out}=1,72 \text{ A}$

$$P_{in}=V_{in} \times I_{in}=12,29 \times 33,5=411,715 \text{ W}$$

$$P_{out}=V_{out} \times I_{out}=230 \times 1,72=395,6 \text{ W}$$

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} = \frac{395,6}{411,715} = 0,96 = 96\%$$

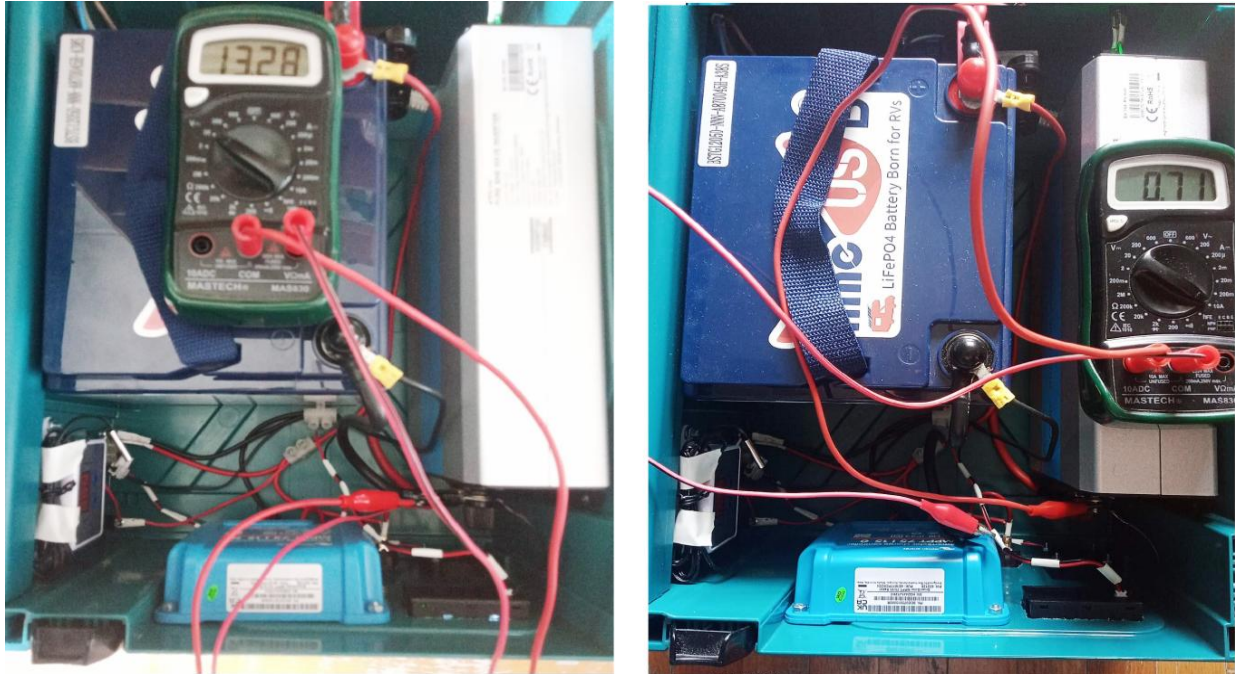
Κεφάλαιο 6

Πίνακας 6.13 Μετρήσεις και υπολογισμός βαθμού απόδοσης

	Μετρήσεις							Solar Guardian						
Φορτίο	Vin (V)	Iin (A)	Pin (W)	Vout (V)	Iout (A)	Pout (W)	η (%)	Vin (V)	Iin (A)	Pin (W)	Vout (V)	Iout (A)	Pout (W)	η (%)
1	13,2	2,185	28,842	231	0,109	25,179	87,3	13,21	2,185	28,864	230,88	0,11	25,397	88
2	13,15	3,745	49,247	231	0,185	42,735	86,77	13,16	3,745	49,284	230,88	0,19	43,867	89
3	13,1	4,42	57,9	231	0,227	52,437	90,5	13,11	4,42	57,946	230,88	0,232	53,564	92,43
4	13,05	5,248	68,486	231	0,27	62,3	91	13,04	5,248	68,234	230,88	0,275	63,492	93
5	12,9	10,83	139,707	231	0,554	127,974	91,6	12,98	10,83	140,573	230,88	0,57	131,6	93,61
6	12,8	15,35	196,48	230	0,784	180,32	91,17	12,77	15,35	196	230,88	0,8	187	94,23
7	12,69	17,55	222,7	229	0,891	204,04	91,78	12,63	17,55	221,66	230,88	0,91	210,1	94,78
8	12,64	21,23	268,35	229	1,083	248	92,42	12,55	21,23	266,43	230,88	1,08	249,35	93,59
9	12,53	24,52	307,24	229	1,256	287,62	93,61	12,42	24,52	304,54	230,88	1,24	286,29	94
10	12,39	33,5	415,065	229	1,69	387,01	93,24	12,29	33,5	411,715	230	1,72	395,6	96

6.6.2 Μέτρηση Ιδιοκατανάλωσης Αντιστροφέα

Για την μέτρηση της ιδιοκατανάλωσης του αντιστροφέα θα χρησιμοποιηθεί ένα πολύμετρο το οποίο αρχικά θα χρησιμοποιηθεί ως αμπερόμετρο και στη συνέχεια ως βολτόμετρο όπως φαίνεται στην Εικόνα 6.58. Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν χωρίς σύνδεση φορτίου στην έξοδο του αντιστροφέα.



Εικόνα 6.59 Μέτρηση ρεύματος και τάσης αντιστροφέα χωρίς φορτίο

Η μέτρηση της τάσης του αντιστροφέα έγινε τοποθετώντας το πολύμετρο σε λειτουργία βολτομέτρου, παράλληλα στην είσοδο του αντιστροφέα. Η μέτρηση του ρεύματος του αντιστροφέα έγινε τοποθετώντας το πολύμετρο σε λειτουργία αμπερομέτρου, σε σειρά ανάμεσα στην μπαταρία και τον αντιστροφέα. Από τις μετρήσεις προέκυψαν τα εξής δεδομένα:

1. $V=13,28 \text{ V}$

2. $I=0,71 \text{ A}$

Επομένως η ισχύς που καταναλώνει ο αντιστροφέας χωρίς φορτίο προκύπτει από την σχέση 6.10.

$$P=V \times I = 13,28 \times 0,71 = 9,4288 \text{ W} \quad (6.10)$$

Όπου:

V: Τάση αντιστροφέα χωρίς φορτίο

I: Ρεύμα αντιστροφέα χωρίς φορτίο

P: Ισχύς αντιστροφέα χωρίς φορτίο

6.6.3 Υπολογισμός Συντελεστής Ολικής Αρμονικής Παραμόρφωσης

Για τον υπολογισμό του συντελεστής ολικής αρμονικής παραμόρφωσης (THD) του αντιστροφέα εφαρμόστηκε η παρακάτω μεθοδολογία. Η έξοδος του αντιστροφέα συνδέθηκε στον παλμογράφο RIGOL 1052E. Επειδή ο παλμογράφος δεν μπορούσε να υποστηρίξει 230 V παρεμβλήθηκε μετασχηματιστής που υποβίβασε την τάση στα 12 V. Τα αποτελέσματα της ανάλυσης Fast Fourier Transport (FFT) εμφανίζονται στην Εικόνα 6.60. Όπως φαίνεται και στην εικόνα εμφανίζεται μόνο μία αρμονική στην κεντρική συχνότητα των 50 Hz. Ο υπολογισμός του THD γίνεται από την σχέση 6.11.

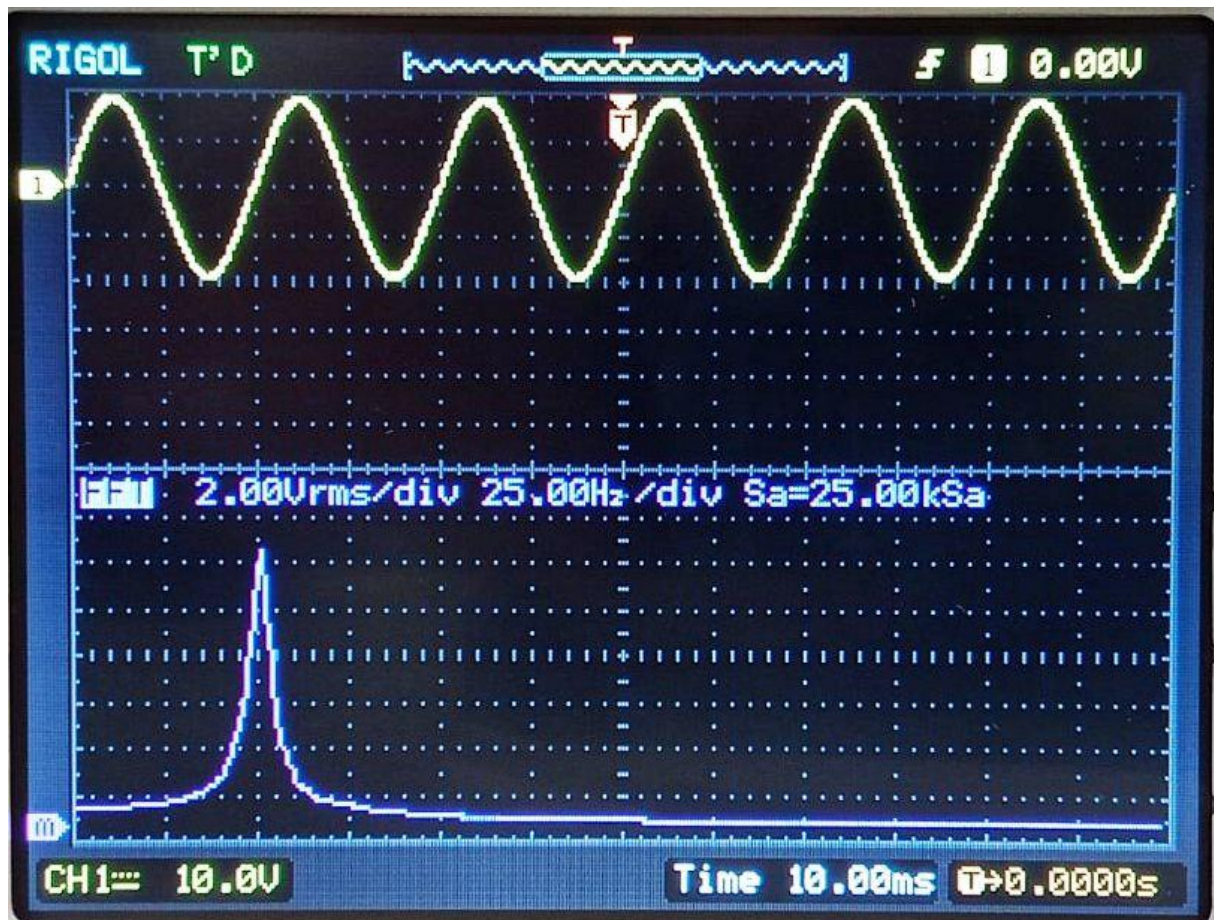
$$THD = \frac{\sqrt{V_2^2 + V_3^2 + V_4^2 + \dots + V_n^2}}{V_1} \quad (6.11)$$

Όπου:

V_1 : Το πλάτος της βασικής συχνότητας

V_n : Τα πλάτη των αρμονικών

Επειδή δεν εμφανίζονται άλλες αρμονικές ο THD τείνει στο μηδέν.



Εικόνα 6.60 Ανάλυση FFT αντιστροφέα

6.6.4 Υπολογισμός Εσωτερικής Αντίστασης Μπαταρίας

Για τον υπολογισμό της εσωτερικής αντίστασης της μπαταρίας εφαρμόστηκε η εξής μεθοδολογία. Αρχικά έγινε μέτρηση της τάσης της μπαταρίας με πολύμετρο, με απενεργοποιημένο τον αντιστροφέα και όλα τα υπόλοιπα στοιχεία του Power Station. Η τιμή της τάσης της μπαταρίας που μετρήθηκε ήταν:

$$V_{\text{αρχ}}=13,46 \text{ V}$$

Στη συνέχεια ενεργοποιήθηκε ο αντιστροφέας και στην έξοδό του εφαρμόστηκε φορτίο ισχύος 9,23 W. Ακολούθως έγινε μέτρηση της τάσης στα άκρα της μπαταρίας και της έντασης του ρεύματος που στέλνει με πολύμετρο. Οι τιμές που μετρήθηκαν είναι οι εξής:

$$V_{\text{φορτίο}}=13,44 \text{ V}$$

$$I= 1,47 \text{ A}$$

Το ρεύμα του φορτίου λοιπόν προκάλεσε μία πτώση τάσης στα άκρα της μπαταρίας κατά 0,02 V λόγω της εσωτερικής της αντίστασης. Επομένως ο υπολογισμός της εσωτερικής αντίστασης της μπαταρίας προκύπτει από την σχέση 6.12.

$$R=\frac{V_{\text{αρχ}}-V_{\text{φορτίο}}}{I}=\frac{13,46-13,44}{1,47}=\frac{0,02}{1,47}=13,6 \text{ m}\Omega \quad (6.12)$$

6.6.5 Υπολογισμός Καμπυλών Εκφόρτισης Μπαταρίας

Για τον υπολογισμό των καμπυλών εκφόρτισης της μπαταρίας εφαρμόστηκε η εξής διαδικασία. Αρχικά έγινε πλήρης φόρτιση της μπαταρίας. Στην έξοδο του Power Station εφαρμόστηκε φορτίο 94,7 W. Στα άκρα της μπαταρίας τοποθετήθηκε βολτόμετρο. Κάθε πέντε λεπτά απενεργοποιούνταν ο αντιστροφέας και γινόταν καταγραφή της τάσης στα άκρα της μπαταρίας από το βολτόμετρο και της χωρητικότητας της μπαταρίας από το ενδεικτικό όργανο του Power Station. Η απενεργοποίηση του αντιστροφέα γινόταν για να γίνει η μέτρηση της τάσης χωρίς την πτώση τάσης που προκαλεί η εσωτερική της αντίσταση. Οι τιμές που μετρήθηκαν εμφανίζονται στον Πίνακα 6.14.

Πίνακας 6.14 Μετρήσεις τάσης και SOC κατά την εκφόρτιση της μπαταρίας

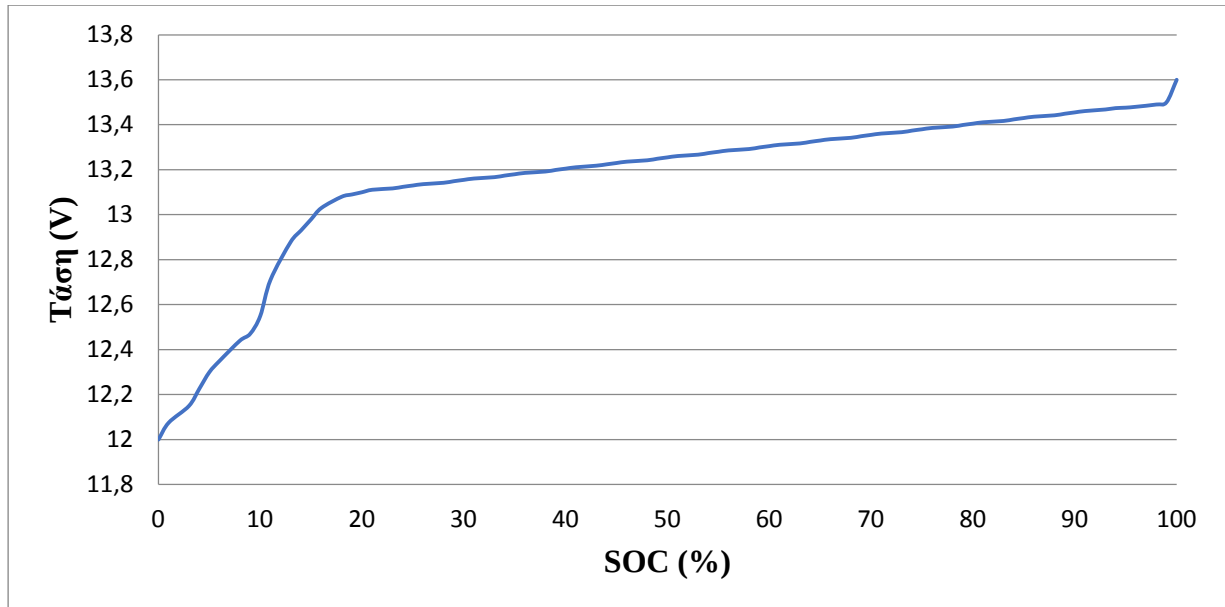
Χρόνος(Λεπτά)	Τάση(V)	SOC(%)	Χρόνος(Λεπτά)	Τάση(V)	SOC(%)
0	13.6	100	205	13.249	49
5	13.5	99	210	13.242	48
10	13.49	98	215	13.236	46
15	13.48	96	220	13.23	45
20	13.476	95	225	13.224	44
25	13.474	94	230	13.218	43
30	13.468	93	235	13.211	41
35	13.461	91	240	13.205	40
40	13.455	90	245	13.199	39

Κεφάλαιο 6

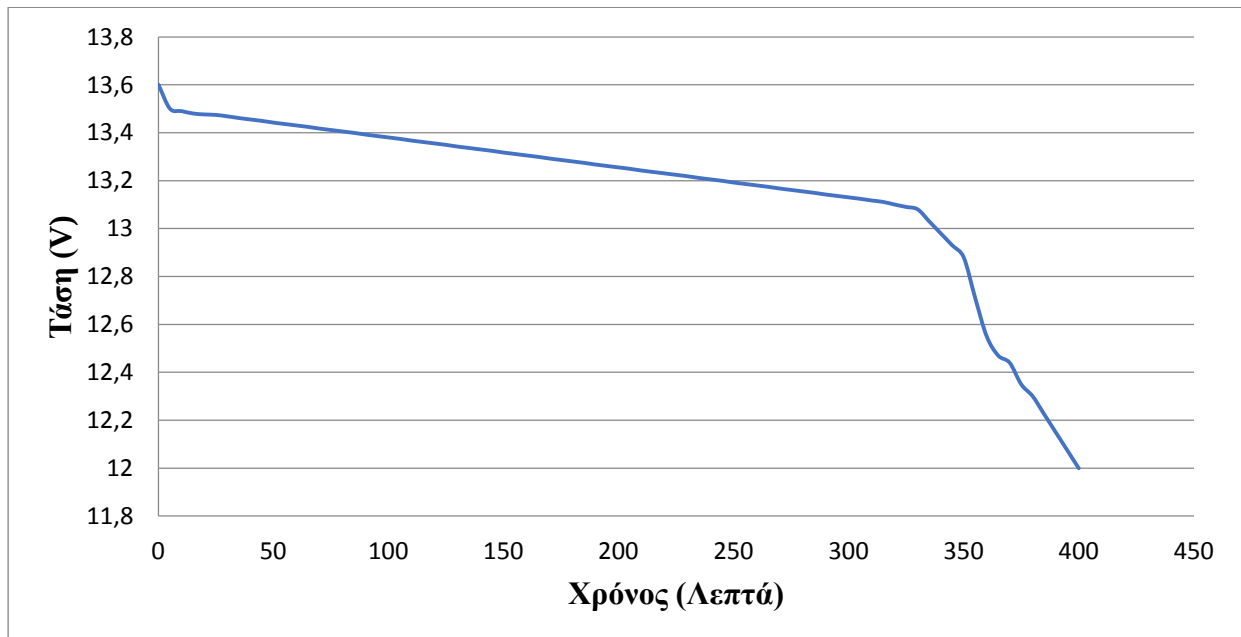
45	13.449	89	250	13.192	38
50	13.442	88	255	13.186	36
55	13.436	86	260	13.18	35
60	13.43	85	265	13.174	34
65	13.424	84	270	13.167	33
70	13.417	83	275	13.161	31
75	13.411	81	280	13.155	30
80	13.405	80	285	13.149	29
85	13.399	79	290	13.142	28
90	13.392	78	295	13.136	26
95	13.386	76	300	13.13	25
100	13.38	75	305	13.124	24
105	13.374	74	310	13.117	23
110	13.367	73	315	13.111	21
115	13.361	71	320	13.1	20
120	13.355	70	325	13.09	19
125	13.349	69	330	13.08	18
130	13.342	68	335	13.03	16
135	13.336	66	340	12.98	15
140	13.33	65	345	12.93	14
145	13.324	64	350	12.88	13
150	13.317	63	355	12.71	11
155	13.311	61	360	12.55	10
160	13.305	60	365	12.47	9
165	13.299	59	370	12.44	8
170	13.292	58	375	12.35	6
175	13.286	56	380	12.3	5
180	13.28	55	385	12.225	4
185	13.274	54	390	12.15	3
190	13.267	53	395	12.075	1
195	13.261	51	400	12.0	0
200	13.255	50			

Τα στοιχεία αυτά περάστηκαν σε ένα excel και έγιναν τρία διαγράμματα διασποράς που αποτυπώνουν:

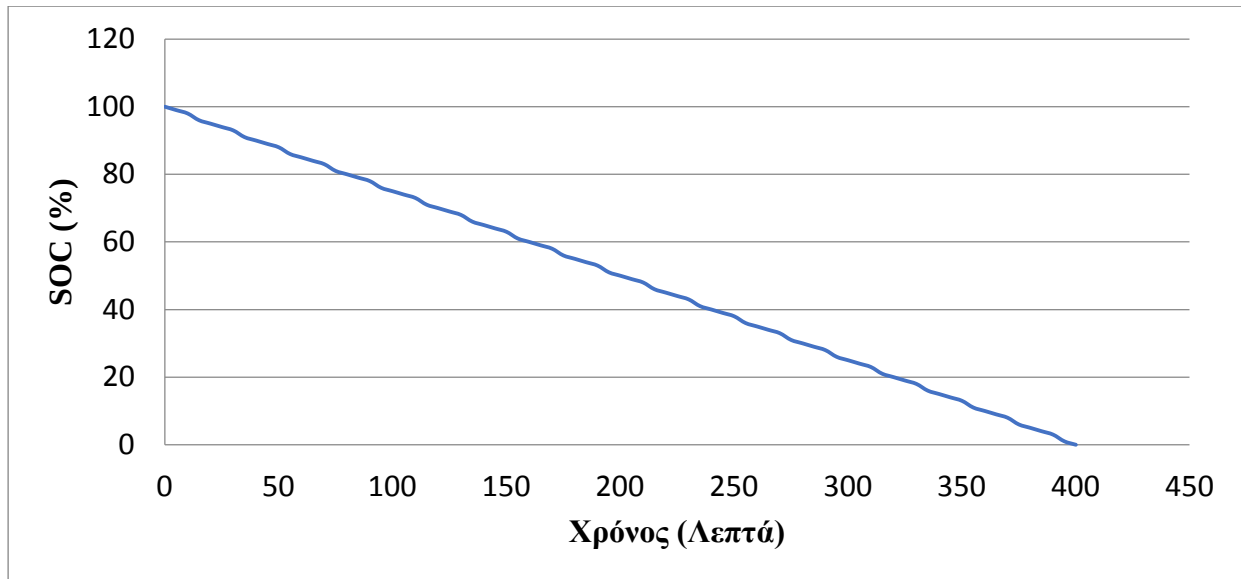
- α) Την μείωση της χωρητικότητας της μπαταρίας σε σχέση με την τάση της
- β) Την μείωση της τάσης της μπαταρίας ως προς τον χρόνο
- γ) Την μείωση της χωρητικότητας της μπαταρίας ως προς τον χρόνο



Εικόνα 6.61 Καμπύλη τάσης και SOC



Εικόνα 6.62 Καμπύλη τάσης και χρόνου



Εικόνα 6.63 Καμπύλη SOC και χρόνου

6.6.6 Μέτρηση Βαθμού Απόδοσης Ρυθμιστή Φόρτισης

Για τον υπολογισμό του βαθμού απόδοσης του ρυθμιστή φόρτισης εφαρμόστηκε η παρακάτω μεθοδολογία. Για διαφορετικές συνθήκες ηλιοφάνειας μετρήθηκαν τα παρακάτω μεγέθη μέσω της εφαρμογής Victron Connect όπως φαίνεται στην Εικόνα 6.64.

- Vin: Τάση εισόδου ρυθμιστή φόρτισης
- Vout: Τάση εξόδου ρυθμιστή φόρτισης
- Iin: Ρεύμα εισόδου ρυθμιστή φόρτισης
- Iout: Ρεύμα εξόδου ρυθμιστή φόρτισης

Ακολούθησε ο υπολογισμός της ισχύος εισόδου και εξόδου του αντιστροφέα από τις σχέσεις 6.13 και 6.14 αντίστοιχα.

$$P_{in} = V_{in} \times I_{in} \quad (6.13)$$

$$P_{out} = V_{out} \times I_{out} \quad (6.14)$$

Τέλος ο βαθμός απόδοσης του αντιστροφέα υπολογίζεται από την σχέση 6.15.

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \quad (6.15)$$

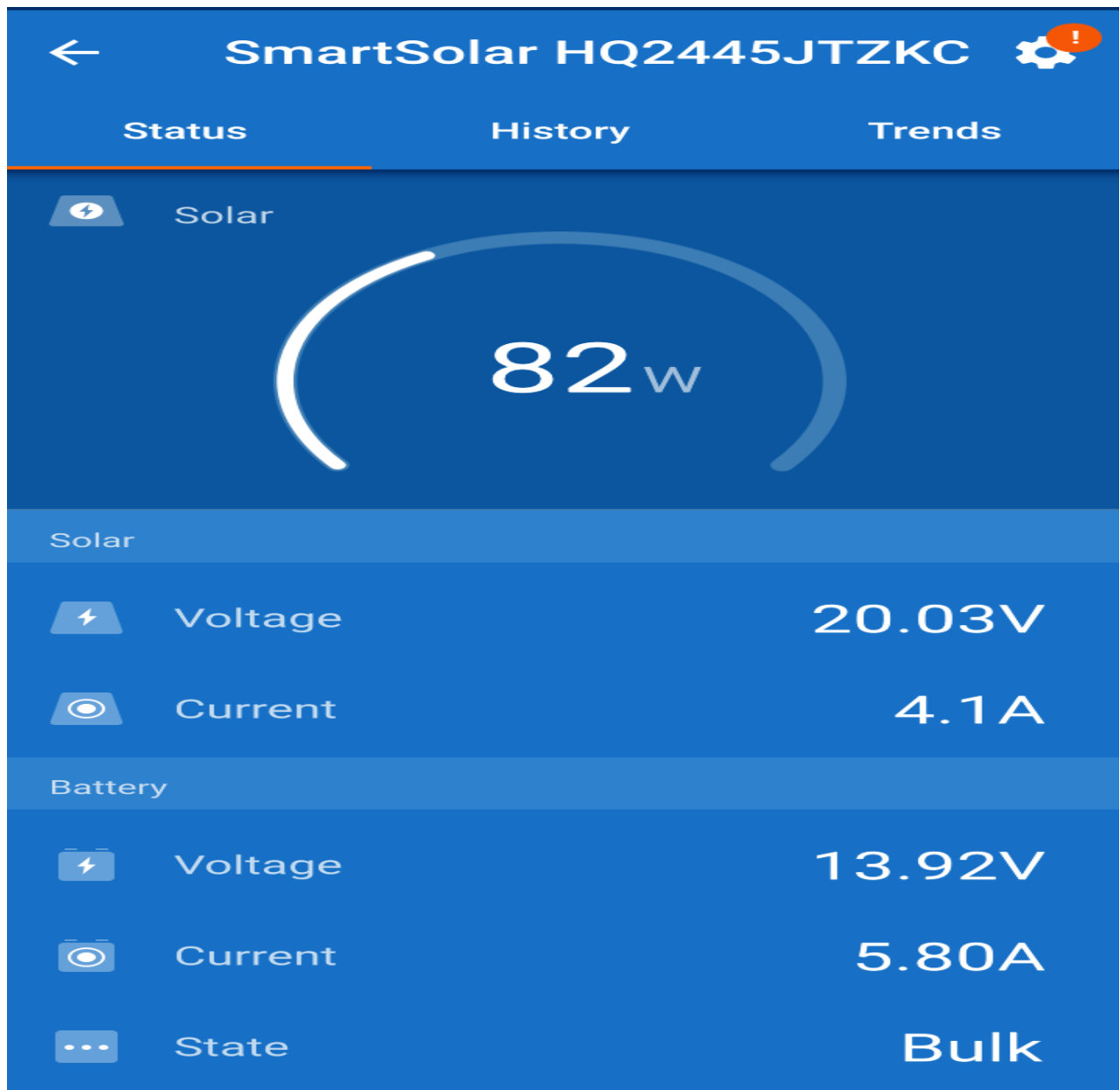
Στο παράδειγμα της Εικόνας 6.64 τα δεδομένα είναι:

Vin=20,3 V

Vout= 13,92 V

Iin=4,1 A

Iout=5,8 A



Εικόνα 6.64 Μετρήσεις μέσω εφαρμογής Victron Connect

$$P_{in} = V_{in} \times I_{in} = 20,03 \times 4,1 = 82,123 \text{ W}$$

$$P_{out} = V_{out} \times I_{out} = 13,92 \times 5,8 = 80,736 \text{ W}$$

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} = \frac{80,763}{82,123} = 98,31\%$$

Οι συνολικές μετρήσεις παρουσιάζονται στον Πίνακα 6.16.

Πίνακας 6.15 Βαθμός απόδοσης ρυθμιστή φόρτισης

V_{in}	I_{in}	P_{in}	V_{out}	I_{out}	P_{out}	η(%)
19,03	0,6	11,418	13,36	0,8	10,688	93,61
19,25	0,9	17,325	13,42	1,25	16,775	96,83
19,05	1,2	22,86	13,46	1,6	21,536	94,21
20,47	1,3	26,611	13,49	1,9	25,631	96,32
18,21	1,8	32,778	13,54	2,3	31,142	95,01
20,01	1,8	36,018	13,54	2,45	33,173	92,1
19,86	2	39,72	13,5	2,8	37,8	95,17
21,34	2	42,68	13,6	2,99	40,664	95,28
19,65	2,5	49,125	13,68	3,5	47,88	97,47
20,19	2,8	56,532	13,73	4	54,92	97,15
19,82	3,3	65,406	13,77	4,7	64,719	98,95
19,43	3,6	69,948	13,84	5	69,2	98,93
18,62	4,1	76,342	14,07	5,3	74,5	97,59
20,03	4,1	82,123	13,92	5,8	80,736	98,31
17,59	4,9	86,191	14,12	5,9	83,308	96,66
17,01	5,3	90,153	14,12	6,1	86,132	95,54
17,91	5,3	94,923	14,15	6,4	90,56	95,4
18,02	5,5	99,11	14,19	6,7	97,911	98,79

Κεφάλαιο 7ο: Συμπεράσματα και προτάσεις βελτίωσης

Στην παρούσα διπλωματική εργασία πραγματοποιήθηκε η κατασκευή και η ανάλυση των χαρακτηριστικών ενός Power Station, με στόχο τη μελέτη της λειτουργίας του ως αυτόνομης μονάδας παροχής και αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας. Η εργασία κάλυψε τόσο το θεωρητικό υπόβαθρο των βασικών υποσυστημάτων που το απαρτίζουν όσο και την πρακτική υλοποίηση του. Κατά τη διάρκεια της μελέτης αναλύθηκαν τα κύρια δομικά στοιχεία του συστήματος, όπως η μονάδα αποθήκευσης ενέργειας, τα κυκλώματα μετατροπής ισχύος, τα φωτοβολταϊκά πλαίσια και οι διατάξεις προστασίας τους. Οι μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν κατέδειξαν ότι το Power Station λειτουργεί σύμφωνα με τον σχεδιασμό, παρέχοντας σταθερή τάση εξόδου και ικανοποιητική απόδοση υπό διάφορες συνθήκες φορτίου. Η κατασκευή περιλαμβάνει όλες της απαραίτητες διατάξεις προστασίας για την ασφαλή λειτουργία του. Επίσης παρουσιάζει σημαντικά πλεονεκτήματα, όπως η φορητότητα, η ευκολία χρήσης και η δυνατότητα αυτόνομης λειτουργίας, καθιστώντας το κατάλληλο για εφαρμογές έκτακτης ανάγκης, υπαίθριες δραστηριότητες ή περιοχές με περιορισμένη πρόσβαση στο ηλεκτρικό δίκτυο.

Τέλος για την περαιτέρω βελτιστοποίηση του συστήματος προτείνεται η ενσωμάτωση μιας επιπλέον θύρας xt-60 που θα συνδέεται με την μπαταρία του Power Station. Μπορούν να κατασκευαστούν βαλιτσάκια με μπαταρία μέσα και μια θύρα xt-60. Με τη σύνδεση, με ειδικά διαμορφωμένο καλώδιο των δύο θυρών xt-60, θα μπορούν να συνδέονται παράλληλα οι δύο μπαταρίες. Οι βελτιώσεις αυτές θα μπορούσαν να αυξήσουν την χωρητικότητα και την αυτονομία του Power Station.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] R. A. Marques Lameirinhas, J. P. N. Torres, and J. P. de Melo Cunha, “A Photovoltaic Technology Review: History, Fundamentals and Applications,” *Energies*, vol. 15, no. 5, Art. no. 1823, Mar. 2022, doi: 10.3390/en15051823.
- [2] A. Starowicz, P. Rusanowska, and M. Zieliński, “Photovoltaic Cell – The History of Invention – Review,” *European Physical Journal*, vol. 26, no. 1, pp. 169–180, 2023, doi: 10.33223/epj/161290.
- [3] T. N. Olayiwola, S.-H. Hyun, and S.-J. Choi, “Photovoltaic Modeling: A Comprehensive Analysis of the I–V Characteristic Curve,” *Sustainability*, vol. 16, no. 1, Art. no. 432, Jan. 2024, doi: 10.3390/su16010432.
- [4] A. S. Al-Ezzi and M. N. M. Ansari, “Photovoltaic Solar Cells: A Review,” *Appl. Syst. Innov.*, vol. 5, no. 4, p. 67, Jul. 2022, doi: 10.3390/asi5040067.
- [5] V. K. Tiwari, A. N. Khalkho, and G. P. Ranjan, “Nano Tree with Sun Tracking Nano Leaves – Future Energy Aspects,” in *Proc. Natl. Conf. Govt. Women's Polytechnic*, Ranchi, India, 2022.
- [6] R. B. Barr and R. C. Petersen, *Electrical Tech Note — 224: Power Generation*, Michigan State University, East Lansing, MI, Tech. Note 224, 2024.
- [7] Terli Corp., “Official Website,” 2026. [Online]. Available: <http://www.terli.net>.
- [8] I. F. Tepe and E. Irmak, “Review and Comparative Analysis of Metaheuristic MPPT Algorithms in PV Systems Under Partial Shading Conditions,” in *Proc. 11th IEEE Int. Conf. Renewable Energy Research and Applications (ICRERA)*, Istanbul, Turkey, Sep. 18–21, 2022, pp. 471–479, doi: 10.1109/ICRERA55966.2022.9922868.
- [9] A. Shore et al., “Electrical and Electroluminescence Evaluation of 17-Year-Old Monocrystalline Silicon Building Integrated Photovoltaic Modules,” in *Proc. IEEE 50th Photovoltaic Specialists Conf. (PVSC)*, San Juan, PR, USA, 2023.
- [10] J. H. Yerger et al., “Degradation of Monocrystalline Silicon Photovoltaic Modules From a 10-Year-Old Rooftop System in Florida,” *IEEE J. Photovolt.*, vol. 13, no. 2, pp. 450–458, 2023.
- [11] M. Almadhhachi, I. Seres and I. Farkas, “Comparison of the Efficiency of Polycrystalline and Thin-Film Photovoltaic Outdoors,” *European Journal of Energy Research*, vol. 2, no. 2, pp. 1–6, 2022.
- [12] A. Infuso, M. Corrado, and M. Paggi, “Image Analysis of Polycrystalline Solar Cells and Modeling of Intergranular and Transgranular Cracking,” *Sol. Energy Mater. Sol. Cells*, vol. 120, pp. 27–34, 2014.
- [13] X. Wu, “High-Efficiency Polycrystalline CdTe Thin-Film Solar Cells,” *Solar Energy*, vol. 77, no. 6, pp. 803–814, 2004.
- [14] G. Marin-Garcia, G. Vazquez-Guzman, J. M. Sosa, A. R. Lopez, P. R. Martinez-Rodriguez and D. Langarica, “Battery Types and Electrical Models: A Review,” in *Proc. 2020 IEEE Int. Autumn Meeting on Power, Electronics and Computing (ROPEC)*, Ixtapa, Mexico, Nov. 2020.

- [15] K. C. Divya and J. Østergaard, "Battery energy storage technology for power systems—An overview," *Electric Power Systems Research*, vol. 79, no. 4, pp. 511–520, Apr. 2009, doi: 10.1016/j.epsr.2008.09.017.
- [16] Z. Šimić, D. Topić, G. Knežević and D. Pelin, "Battery energy storage technologies overview," *International Journal of Electrical and Computer Engineering Systems, Review Paper*, vol. 12, no. 1, pp. 53-65, 2021.
- [17] Z. Kavaliauskas, I. Šajev, G. Blažiūnas and G. Gecevičius, "*Electronic Life Cycle Monitoring System for Various Types of Lead Acid Batteries*," *Applied Sciences*, vol. 13, no. 8, art. no. 4746, Apr. 2023, doi: 10.3390/app13084746.
- [18] A. C.-C. Hua and B. Z.-W. Syue, "Charge and discharge characteristics of lead-acid battery and LiFePO₄ battery," in *Proc. 2010 Int. Power Electronics Conference (IPEC) – ECCE Asia*, Sapporo, Japan, Jun. 21–24, 2010, pp. 1478–1483, doi: 10.1109/IPEC.2010.5544506.
- [19] T. Chen, M. Li and J. Bae, "Recent advances in lithium iron phosphate battery technology: A comprehensive review," *Batteries*, vol. 10, no. 12, art. no. 424, 2024, doi: 10.3390/batteries10120424.
- [20] J. Liu et al., "Exceeding three-electron reactions in Na_{3+2x}Mn_{1+x}Ti_{1-x}(PO₄)₃ NASICON cathode with high energy density for sodium-ion batteries," *Journal of Materials Chemistry A*, Royal Society of Chemistry, vol. 9, no. 38, pp. 21996–22004, 2021.
- [21] M. A. Laguado-Serrano, E. A. Luna-Paipa, L. F. Bustos-Marquez, and S. B. Sepulveda-Mora, "Performance comparison between PWM and MPPT charge controllers," *Scientia et Technica*, vol. 24, no. 01, Mar. 2019, Universidad Tecnológica de Pereira.
- [22] A. Yılmaz, A. Demirci, and S. M. Tercan, "Technical comparison of PWM and MPPT charge regulators," Dept. Elect. Eng., Yıldız Technical Univ., Istanbul, Turkey, Tech. Rep., 2021.
- [23] A. Z. Arsad, A. W. M. Zuhdi, A. D. Azhar, C. F. Chau, and A. Ghazali, "Advancements in maximum power point tracking for solar charge controllers," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 210, p. 115208, Mar. 2025.
- [24] P. G. Horkos, E. Yammine, and N. Karami, "Review on different charging techniques of lead-acid batteries," in *Proc. 2015 Third International Conference on Technological Advances in Electrical, Electronics and Computer Engineering (TAECE)*, Beirut, Lebanon, Apr.–May 2015, pp. 27–32.
- [25] LiTime, "LiFePO₄ charging with a normal charger: Is it safe?" LiTime UK. [Online]. Available: <https://uk.litime.com/blogs/news/lifepo4-charging-with-a-normal-charger-is-it-safe>.
- [26] P. T. Krein and R. Balog, "Life extension through charge equalization of lead-acid batteries," in *Proc. INTELEC 2002*, Paper 32.1, 2002.
- [27] M. H. Rashid, *Power Electronics: Devices, Circuits, and Applications*, 4th ed., International Edition. Boston, MA, USA: Pearson, 2014.
- [28] I. Vairavasundaram et al., "A review on small power rating PV inverter topologies and smart PV inverters," *Energies*, vol. 13, no. 21, p. 5745, 2020.
- [29] M. M. Swamy, J.-K. Kang, and K. Shirabe, "Power loss, system efficiency, and leakage current comparison between Si IGBT VFD and SiC FET VFD with various filtering options," *IEEE Transactions on Industry Applications*, vol. 51, no. 5, pp. 3858–3868, Sept./Oct. 2015.

- [30] A. Abitha, A. Joseph, S. C. R. P, and S. S. V, “Design and experimental investigation of battery management system,” in *Proc. 2024 IEEE Int. Conf. Power Electron., Drives Energy Syst. (PEDES)*, 2024, pp. 1–6, doi: 10.1109/PEDES61459.2024.10961871.
- [31] H. Rahimi-Eichi, U. Ojha, F. Baronti, and M.-Y. Chow, “Battery management system: An overview of its application in the smart grid and electric vehicles,” *IEEE Industrial Electronics Magazine*, vol. 7, no. 2, pp. 4–16, Jun. 2013, doi: 10.1109/MIE.2013.2250351.
- [32] B. Ashok et al., “Towards Safer and Smarter Design for Lithium-Ion-Battery-Powered Electric Vehicles: A Comprehensive Review on Control Strategy Architecture of Battery Management System,” *Energies*, vol. 15, no. 12, p. 4227, 2022, doi: 10.3390/en15124227.
- [33] N. A. Arman, T. Logenthiran, and W. L. Woo, “Intelligent energy management of distributed energy storage systems in microgrid,” in *Proc. IEEE Innovative Smart Grid Technologies – Asia (ISGT Asia)*, Bangkok, Thailand, Nov. 2015, pp. 1–6, doi: 10.1109/ISGT-Asia.2015.7387076.