



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ  
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ  
ΤΟΜΕΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΙΣΧΥΟΣ

**Σχεδιασμός και ανάπτυξη αυτόνομου συστήματος φωτισμού με  
φωτοβολταϊκό και διάταξης καταγραφής επιδόσεων λειτουργίας.**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Ερασμία Α. Καραλέξη

Επιβλέπων : Φραγκίσκος Β. Τοπαλής

Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Μάρτιος 2012





ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΙΣΧΥΟΣ

**Σχεδιασμός και ανάπτυξη αυτόνομου συστήματος φωτισμού με φωτοβολταϊκό και διάταξης καταγραφής επιδόσεων λειτουργίας.**

## ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**Επιβλέπων :** Φραγκίσκος Β. Τοπαλής

Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την 15<sup>η</sup> Μαρτίου 2012.

Ερασμία Α. Καραλέξη

Αθήνα, Μάρτιος 2012

.....  
Φραγκίσκος Β. Τοπαλής

Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....  
Ιωάννης Αθ. Σταθόπουλος

Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....  
Σταυρούλα Καβατζά

Λέκτορας Ε.Μ.Π.

.....  
Ερασμία Α. Καραλέξη

Διπλωματούχος Ηλεκτρολόγος Μηχανικός και Μηχανικός Υπολογιστών Ε.Μ.Π.

Copyright © Ερασμία Α. Καραλέξη, 2012.

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς τον συγγραφέα.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.



## Περίληψη

Σκοπός αυτής της διπλωματικής εργασίας είναι η σχεδίαση και επιλογή των επιμέρους στοιχείων για ένα αυτόνομο φωτοβολταϊκό σύστημα φωτισμού ενός δρόμου καθώς και η σχεδίαση ενός μετρητικού συστήματος και η δημιουργία ενός συστήματος καταγραφής και αξιολόγησης της απόδοσης του αυτόνομου φωτοβολταϊκού και του φωτισμού.

Ο δρόμος που σχεδιάζουμε για να φωταγωγηθεί βρίσκεται στο χώρο στάθμευσης των παλιών κτιρίων της σχολής των ηλεκτρολόγων (ΗΜΜΥ). Επάνω σε μία υπάρχουσα κολόνα τοποθετήθηκε το εν λόγω σύστημα που αποτελείται από ένα φωτοβολταϊκό πλαίσιο με δύο εν σειρά πανέλα, ένα συσσωρευτή με το σύστημα ελέγχου φόρτισης και δύο λαμπτήρες φθορισμού. Τα βήματα της σχεδίασης και επιλογής των κατάλληλων φωτοβολταϊκών στοιχείων, του συσσωρευτή, του φορτιστή καθώς και των λαμπτήρων που χρειάζεται το σύστημα για να λειτουργεί αυτόνομα και συνεχώς περιγράφονται αναλυτικά στα πλαίσια της διπλωματικής. Με τη βοήθεια δύο προγραμμάτων προσομοίωσης φωτοβολταϊκών συστημάτων, το PVSOL Expert 4.0 και το Matlab – Simulink 2007, έγινε προσομοίωση του πραγματικού συστήματος με μετρήσεις ακτινοβολίας και θερμοκρασίας του έτους 2010. Τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων χρησιμοποιήθηκαν για την εξαγωγή των αποτελεσμάτων που αφορά στην λειτουργία του συστήματος. Επιπλέον, επάνω στην συγκεκριμένη κολόνα σχεδιάζεται να τοποθετηθεί και σύστημα καταγραφής αποτελούμενο από αισθητήρες θερμοκρασίας και ακτινοβολίας, ένα φωτόμετρο, δύο αμπερόμετρα και δύο βολτόμετρα και μέσω ενός καταγραφικού της εταιρείας Symmetron να λαμβάνουμε δεδομένα ανά καθορισμένα χρονικά διαστήματα. Οι μετρήσεις αυτές θα αποθηκεύονται σε βάση δεδομένων στο διαδίκτυο και η επεξεργασία τους μπορεί να γίνεται σε περιβάλλον EXCEL. Μας απασχόλησαν η απόδοση των φωτοβολταϊκών, η απόδοση του συσσωρευτή του συστήματος, η λειτουργία του φορτιστή, οι απώλειες όλων των επιμέρους στοιχείων καθώς και των λαμπτήρων όσον αφορά στην φωτεινότητα.

Τέλος, η ανάλυση αυτών των αποτελεσμάτων μας οδήγησε σε ορισμένα συμπεράσματα ως προς το όφελος του εν λόγω συστήματος καθώς και σε προτάσεις βελτιστοποίησης για να γίνει πιο αποδοτικό.

## Λέξεις κλειδιά

Φωτοβολταϊκό πλαίσιο, μπαταρία, φωτιστικό, αυτόνομο φωτοβολταϊκό σύστημα, όργανα καταγραφής, ακτινοβολία, έλεγχος φόρτισης μπαταρίας, μετατροπέας τάσης, ρυθμιστής, φορτιστής

## Abstract

The aim of this thesis is the design and selection of components for a standalone photovoltaic street lighting system and design of a measuring system and a system of recording and performance assessment of autonomous solar power and lighting.

The road designed to be illuminated is placed in the parking of the old buildings of the Faculty of Electrical Engineers (EMP). Onto an existing column this system is posted and consists of a photovoltaic panel with two series panels, a battery with a charging control system and two fluorescent lamps. The steps of the design and selection of suitable photovoltaic cells, battery, charger and lamps the system needs to operate autonomously and continuously are described in detail in this thesis. With the help of two simulation programs of photovoltaic systems, PVSOL Expert 4.0 and Matlab - Simulink 2007, the actual system was simulated with radiation and temperature measurements of the year 2010. The results of simulations used to export the results to the system operation. Moreover, upon this column a recording system is designed to be installed consisting of temperature sensors and radiation, one luxmeter, two ammeters and voltmeters and through the selected recorder of the company Symmetron to receive data at specified intervals. These measurements will be stored in a database on the internet and their treatment can be performed in an environment EXCEL. We looked at the performance of photovoltaic performance of the battery system, the operation of the charger, the losses of all components and lamps in terms of brightness.

Finally, the analysis of these results led us to some conclusions as to the benefit of this system as well as optimization suggestions to become more efficient.

## Keywords

Photovoltaic panel, battery, lamp, autonomous photovoltaic system, recorders, radiation, battery charger, voltage regulator

## ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

Περίληψη .....	6
Λίστα πινάκων .....	11
Λίστα εικόνων .....	12
Κεφάλαιο 1 <sup>ο</sup> : Εισαγωγή.....	16
Κεφάλαιο 2 <sup>ο</sup> : Φωτοβολταϊκά συστήματα & Φωτισμός .....	18
2.1 Το φωτοβολταϊκό φαινόμενο .....	18
2.2 Φωτοβολταϊκή Τεχνολογία .....	20
2.3 Τεχνολογίες Ηλιακών Φωτοβολταϊκών Στοιχείων-Φωτοβολταϊκών κυψελών.....	22
2.4 Φωτοβολταϊκά Συστήματα φωτισμού. ....	26
2.4.1 Ηλεκτρονικά στοιχεία που υπάρχουν σε συστήματα φωτισμού τροφοδοτούμενα από φωτοβολταϊκά .....	28
2.4.2 Παράγοντες που πρέπει να λαμβάνονται υπόψη κατά την επιλογή ενός φωτιστικού για φωτοβολταϊκό σύστημα φωτισμού .....	29
2.5 Σύγκριση κόστους για φωτοβολταϊκά συστήματα φωτισμού σε σχέση με τα συνδεδεμένα στο δίκτυο .....	31
2.5.1 Παράδειγμα κοστολόγησης διασυνδεδεμένου συστήματος – αυτόνομου συστήματος .....	32
Κεφάλαιο 3 <sup>ο</sup> : Στοιχεία Αυτόνομου Φωτοβολταϊκού συστήματος.....	34
3.1 Φωτοβολταϊκό Πλαίσιο .....	34
3.1.1 Ηλεκτρικό ισοδύναμο φωτοβολταϊκού στοιχείου .....	34
3.1.2 Καμπύλη I – V του φωτοβολταϊκού .....	36
3.1.3 Απόδοση φωτοβολταϊκού στοιχείου - Παράγοντες που επηρεάζουν την απόδοση .....	39
3.1.4 Υπολογισμός θερμοκρασιακού Συντελεστή και Συντελεστή Ρύπανσης .....	42
3.2 Οι Ηλεκτρικοί συσσωρευτές .....	43
3.2.1 Συσσωρευτής μολύβδου – οξέος .....	44
3.2.2 Ηλεκτρικό ισοδύναμο στοιχείου συσσωρευτή .....	46
3.2.3 Μοντέλο τάσης συσσωρευτή .....	47
3.2.4 Κατάσταση φόρτισης συσσωρευτή – Ενέργεια φόρτισης σε Wh .....	49
3.3 Φορτιστής.....	52
3.3.1 DC-DC μετατροπέας .....	52



3.3.2 Μονάδα ελέγχου .....	56
3.3.2 Α) Σύστημα εντοπισμού μέγιστης ισχύος (Mpp Tracker).....	57
3.3.2 Β) Ηλεκτρονικό κύκλωμα της μονάδας ελέγχου.....	58
3.4 Λαμπτήρες .....	61
3.4.1 Είδη λαμπτήρων .....	61
3.4.2 Σύγκριση λαμπτήρων .....	64
<b>Κεφάλαιο 4<sup>ο</sup> : Διαστασιολόγηση και ανάπτυξη του συστήματος .....</b>	<b>65</b>
4.1 Επιλογή των μοντέλων φορτίου και ηλιακής ακτινοβολίας .....	65
4.1.1 Προσδιορισμός του φορτίου.....	65
4.1.2 Προσδιορισμός του μοντέλου ισχύος της ηλιακής ενέργειας ανά m <sup>2</sup> ηλιακού συλλέκτη .....	66
4.2 Υπολογισμός παραμέτρων φωτοβολταϊκής γεννήτριας (Wp) .....	68
4.2.1 Υπολογισμός παραμέτρων Φ/Β γεννήτριας .....	68
4.2.2 Τρόπος Σύνδεσης Φ/Β πλαισίων .....	69
4.3 Υπολογισμός παραμέτρων συσσωρευτή (Ah) .....	73
4.3.1 Ημερήσιο και εποχιακό έλλειμμα .....	73
4.3.2 Χωρητικότητα συσσωρευτών .....	74
4.4 Επιλογή ρυθμιστή φόρτισης .....	76
4.5 Φορτίο .....	78
4.6 Συνολική εποπτεία της σχεδίασης .....	79
<b>Κεφάλαιο 5<sup>ο</sup> : Αποτελέσματα Προσομοίωσης συστήματος .....</b>	<b>80</b>
5.1 Φωτοβολταϊκή γεννήτρια .....	81
5.1.1 Παραγόμενη ενέργεια από την φωτοβολταϊκή γεννήτρια .....	81
5.1.2 Συντελεστής απόδοσης – $\eta$ $\phi/\beta$ .....	84
5.1.3 Ποσοστό χρησιμοποιούμενης ενέργειας από το φωτοβολταϊκό .....	85
5.2 Συσσωρευτής.....	86
5.2.1 Ενέργεια Φόρτισης σε (Ah – Wh).....	86
5.2.2 Απόδοση ενέργειας .....	86
5.3 Αποτελέσματα προσομοίωσης φορτιστή .....	94
5.4 Υπολογισμός Αυτονομίας .....	98
5.4.1 Λειτουργία αυτόνομου συστήματος για κάθε μήνα ξεχωριστά του έτους 2010 και λειτουργία για χαρακτηριστικές ημέρες του έτους .....	101
5.5 Απόδοση συστήματος .....	110

<b>Κεφάλαιο 6° : Σχεδίαση μετρητικού συστήματος – Περιγραφή οργάνων μέτρησης και λογισμικό λειτουργίας.....</b>	<b>114</b>
6.1 Καταγραφέας δεδομένων Stylitis-10 (data logger). ....	99
6.2 Σύνδεση στοιχείων και οργάνων μέτρησης – Μέτρηση μεγεθών.....	102
6.3 Λογισμικό Orpton data logger operating software .....	104
<b>Συμπεράσματα .....</b>	<b>127</b>
<b>Βιβλιογραφία .....</b>	<b>129</b>
<b>Παράρτημα Α: Προσομοίωση συστήματος .....</b>	<b>130</b>
<b>Παράρτημα Β: Πίνακες υπολογισμών.....</b>	<b>137</b>
<b>Παράρτημα Γ: Φύλλα κατασκευαστών .....</b>	<b>167</b>

<b>Λίστα πινάκων</b>
<b>Πίνακας1.1</b> Φωτοβολταϊκή μετατροπή - πλεονεκτήματα-μειονεκτήματα
<b>Πίνακας 2.1</b> Κοστολόγηση αυτόνομου συστήματος
<b>Πίνακας3.1</b> Λειτουργία Φορτιστή
<b>Πίνακας3.2</b> Σύγκριση λαμπτήρων
<b>Πίνακας4.1</b> Κλιματολογικά και μετεωρολογικά στοιχεία όπως προέκυψαν από το διάγραμμα του 2010.
<b>Πίνακας4.2</b> Τρόποι σύνδεσης πλαισίων
<b>Πίνακας4.3</b> Κατασκευαστικά στοιχεία Φ/Β πλαισίου Sharp
<b>Πίνακας4.4</b> Ετήσια περίσσεια ενέργειας
<b>Πίνακας4.5</b> Τεχνικά χαρακτηριστικά συσσωρευτή
<b>Πίνακας4.6</b> Τιμές σύνδεσης και επανασύνδεσης του φορτιστή.
<b>Πίνακας4.7</b> Τεχνικά χαρακτηριστικά Φορτιστή Conergy SCC Vision
<b>Πίνακας4.8</b> Τεχνικά χαρακτηριστικά λαμπτήρων φθορισμού
<b>Πίνακας4.9</b> Τελική Σχεδίαση συστήματος
<b>Πίνακας5.1</b> Απόδοση Φ/Β
<b>Πίνακας5.2</b> Απόδοση συσσωρευτή
<b>Πίνακας5.3</b> LLP Μαρτίου
<b>Πίνακας5.4</b> Απόδοση συστήματος
<b>Πίνακας5.5</b> Σύνοψη αποτελεσμάτων προσομοίωσης

<b>Λίστα εικόνων</b>
<b>Εικόνα2.1</b> Φωτοηλεκτρικό Φαινόμενο. Η προσπίπτουσα ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία στα αριστερά εξάγει ηλεκτρόνια από την επιφάνεια του μετάλλου δεξιά.
<b>Εικόνα2.2</b> Σύνθεση ηλιακών κυψελών και στοιχείων
<b>Εικόνα2.3</b> Η ερευνητική ομάδα του Πανεπιστημίου του Μισούρι ανέπτυξε ένα λεπτό, εύκαμπτο φύλλο νανοκεραίων (nantennas), οι οποίες εκτός από το φως, μπορούν ακόμα να συλλέγουν τη θερμότητα που παράγεται από βιομηχανικές διαδικασίες και την μετατρέπουν άμεσα σε ηλεκτρική - <i>Περιοδικό Journal of Solar Energy Engineering</i> .
<b>Εικόνα2.4</b> Τα πρωτοποριακά εύκαμπτα φωτοβολταϊκά CIGS, κατασκευασμένα από χαλκό, ίνδιο, γάλλιο και διοξείδιο του σεληνίου, υπόσχονται να συμπιέσουν το κόστος της «ηλιακής» ηλεκτροπαραγωγής, καθώς αφενός είναι φθηνότερα και αφετέρου πλησιάζουν πλέον σε αποδοτικότητα τα φωτοβολταϊκά πολυκρυσταλλικής σιλικόνης και τα άκαμπτα CIGS.
<b>Εικόνα2.5</b> Θεωρητικά μέγιστα επίπεδα της απόδοσης διαφόρων φωτοβολταϊκών κυττάρων σε συνάρτηση με το ενεργειακό διάκενο του ημιαγωγού από τον οποίο είναι κατασκευασμένα σε κανονικές συνθήκες.
<b>Εικόνα2.6</b> Φωτοβολταϊκό Σύστημα φωτισμού πακτωμένο σε κολώνα - λευκό LED σε φωτιστικό κήπου
<b>Εικόνα2.7</b> Ηλιακό Φωτιστικό κήπου με 3 LEDs , Φωτοβολταϊκοί αισθητήρες
<b>Εικόνα2.8</b> Ροή Ενέργειας
<b>Εικόνα2.9</b> Φωτοβολταϊκά Συστήματα Φωτισμού με διαφορετικές πηγές φωτός
<b>Εικόνα2.10</b> Τρεις τύποι Αυτόνομων Φωτοβολταϊκών Φωτιστικών Συστημάτων
<b>Εικόνα2.11</b> Διανομή ενέργεια σε σύστημα συνδεδεμένο με το δίκτυο της ΔΕΗ
<b>Εικόνα 2.12</b> Αυτόνομο σύστημα φωτισμού
<b>Εικόνα3.1</b> Κυκλωματικό ισοδύναμο φωτοβολταϊκού στοιχείου
<b>Εικόνα3.2</b> Καμπύλη I – V φωτοβολταϊκού υπό σταθερή ακτινοβολία 1000W/m <sup>2</sup>
<b>Εικόνα3.3</b> Καμπύλη I – V φωτοβολταϊκού υπό σταθερή θερμοκρασία 25°C
<b>Εικόνα3.4</b> Καμπύλες P-V υπό σταθερή θερμοκρασία 25°C
<b>Εικόνα3.5</b> Καμπύλες P-V υπό σταθερή ακτινοβολία 1000W/m <sup>2</sup>
<b>Εικόνα3.6</b> Βέλτιστη γωνία κλίσης Φ/Β για μέγιστη απόδοση ισχύος ανάλογα με το προσανατολισμό και την κλίση.
<b>Εικόνα3.7</b> Εξάρτηση απόδοσης η(%) και παράγοντα πλήρωσης FF(%) Φ/Β στοιχείου από θερμοκρασία
<b>Εικόνα3.8</b> Καμπύλη απόδοσης Φ/Β – εξάρτηση από ακτινοβολία για διαφορετικές θερμοκρασίες περιβάλλοντος
<b>Εικόνα3.9</b> Ηλεκτροχημικές καταστάσεις φόρτισης συσσωρευτή
<b>Εικόνα3.10</b> Ισοδύναμο στοιχείου συσσωρευτή
<b>Εικόνα3.11</b> Εξάρτηση Voc από θερμοκρασία
<b>Εικόνα3.12</b> Καμπύλη εκφόρτισης

<b>Εικόνα3.13</b> Καμπύλη Φόρτισης συσσωρευτή: Τάση (V) - Χρόνος φόρτισης σε ώρες
<b>Εικόνα3.14</b> Τάση κελιού συσσωρευτή (V) - Κατάσταση Φόρτισης (%)
<b>Εικόνα3.15</b> Ηλεκτρικό Ισοδύναμο DC-DC μετατροπέα
<b>Εικόνα3.16</b> Καταστάσεις Διακόπτη
<b>Εικόνα3.17</b> Ρεύμα πηνίου
<b>Εικόνα3.18</b> Φορτίο πυκνωτή ανά περίοδο
<b>Εικόνα3.19</b> Σχηματικό διάγραμμα της μονάδας ελέγχου
<b>Εικόνα3.20</b> Μέγιστο σημείο λειτουργίας φωτοβολταϊκού κελιού σε διαφορετικά επίπεδα ακτινοβολίας
<b>Εικόνα3.21</b> Ηλεκτρονικό Κύκλωμα ελέγχου
<b>Εικόνα3.22</b> Ισοδύναμο κύκλωμα φόρτισης στοιχείου συσσωρευτή από φ/β πηγή
<b>Εικόνα3.23</b> Είδη λαμπτήρων.
<b>Εικόνα3.24</b> Μια ποικιλία από λαμπτήρες LED που διατίθενται στο εμπόριο από το 2010 για την αντικατάσταση των βιδωτών λαμπτήρων. Προβολέας-φωτιστικό (αριστερά), φως ανάγνωσης (κέντρο), οικιακοί λαμπτήρες (κέντρο δεξιά και κάτω), και χαμηλής κατανάλωσης λαμπτήρας.
<b>Εικόνα3.25</b> Εξοικονόμηση ενέργειας με χρήση λαμπτήρα φθορισμού
<b>Εικόνα4.1</b> Μέση ημερήσια κατανάλωση ανά μήνα
<b>Εικόνα4.2</b> Ενέργεια απαιτούμενη από το φορτίο για κάθε μήνα του έτους σε kWh.
<b>Εικόνα4.3</b> Καμπύλη ακτινοβολίας στη διάρκεια του έτους 2010
<b>Εικόνα4.4</b> Καμπύλη I-V Φ/Β κελιού όπως υπολογίστηκε στο Simulink με βάση τα στοιχεία του κατασκευαστή
<b>Εικόνα4.5</b> Σημείο σύνδεσης Φορτιστή
<b>Εικόνα4.6</b> Εσωτερική δομή λαμπτήρα Φθορισμού με ενσωματωμένο Ballast
<b>Εικόνα5.1</b> Κολόνα στο χώρο του ΕΜΠ με το εγκατεστημένο σύστημα
<b>Εικόνα5.2</b> Ημερήσια παραγωγή ενέργειας από φωτοβολταϊκή γεννήτρια
<b>Εικόνα5.3</b> Ισχύς Φ/Β γεννήτριας σε διαφορετικές τιμές ακτινοβολίας όπως υπολογίστηκε στο Simulink
<b>Εικόνα5.4</b> Ρεύμα Φ/Β γεννήτριας σε διαφορετικές τιμές ακτινοβολίας όπως υπολογίστηκε στο Simulink
<b>Εικόνα5.5</b> Απόδοση Φ/Β - σχέση μετατροπής
<b>Εικόνα5.6</b> Ποσοστό χρησιμοποίησης στη διάρκεια του έτους
<b>Εικόνα5.7</b> Καμπύλη μέσης ενέργειας φόρτισης για κάθε ημέρα του 2010
<b>Εικόνα5.8</b> Καμπύλη ενέργειας αποφόρτισης για κάθε ημέρα του 2010.
<b>Εικόνα5.9</b> Ετήσια διάρκεια φόρτισης συσσωρευτή σε ώρες
<b>Εικόνα5.10</b> Κατάσταση φόρτισης συσσωρευτή στη διάρκεια του έτους (SOC%).
<b>Εικόνα5.11</b> Κατάσταση φόρτισης συσσωρευτή ανά ώρα (SOC) –Προσομοίωση για 48 συνεχόμενες ώρες.
<b>Εικόνα5.12</b> Κατάσταση φόρτισης συσσωρευτή
<b>Εικόνα5.13</b> Τάση συσσωρευτή με έλεγχο φόρτισης - Προσομοίωση σε Simulink για 15/07/2010.
<b>Εικόνα5.14</b> Ρεύμα συσσωρευτή κατά τη διάρκεια της φόρτισης - Προσομοίωση σε Simulink για 15/07/2010.

<b>Εικόνα5.15</b> Κατάσταση φόρτισης συσσωρευτή - Προσομοίωση σε Simulink για 15/07/2010.
<b>Εικόνα 5.16</b> Τάση συσσωρευτή - Προσομοίωση σε Simulink για 02/02/2010
<b>Εικόνα 5.17</b> Κατάσταση φόρτισης συσσωρευτή - Προσομοίωση σε Simulink για 02/02/2010
<b>Εικόνα 5.18</b> Εκφόρτιση συσσωρευτή σε σχέση με τη χωρητικότητα για διαφορετικές τιμές ρεύματος
<b>Εικόνα 5.19</b> α) χαρακτηριστική καμπύλη εκφόρτισης συσσωρευτή για C/20 β) καμπύλη εκφόρτισης συσσωρευτή για διαφορετικούς ρυθμούς εκφόρτισης. Προσομοίωση σε Simulink
<b>Εικόνα5.20</b> Ενέργεια που κατανάλωσε ο φορτιστής για κάθε μέρα του 2010
<b>Εικόνα5.21</b> Αποκοπή συσσωρευτή από την Φ/Β γεννήτρια.
<b>Εικόνα5.22</b> Αποκοπή συσσωρευτή από το φορτίο.
<b>Εικόνα5.23</b> Πιθανότητα απώλειας φορτίου για το έτος 2010 (LLP) Ετήσια κάλυψη φορτίου
<b>Εικόνα5.24</b> Ετήσια κάλυψη φορτίου
<b>Εικόνα5.25</b> Περίπτωση 1η : Απώλεια φορτίου σε ποσοστό 16,6% . Μη πλήρης φόρτιση του συσσωρευτή.
<b>Εικόνα 5.26</b> Περίπτωση 2η : Αυτονομία συστήματος για 3 ημέρες τουλάχιστον. Πλήρης φόρτιση συσσωρευτή και απόδοση ενέργειας κατανάλωσης.
<b>Εικόνα5.27</b> Περίπτωση 3η : Απώλεια Φορτίου για 2 συνεχόμενες μέρες. Έλλειψη αυτονομίας συστήματος.
<b>Εικόνα5.28</b> Περίπτωση 4η : Πλήρης κάλυψη Φορτίου - περίσσειμα ενέργειας στον συσσωρευτή.
<b>Εικόνα5.29</b> Απώλειες Συστήματος
<b>Εικόνα5.30</b> Απόδοση Συστήματος
<b>Εικόνα5.31</b> Ποσοστά απωλειών συστήματος και αξιοποιήσιμη ενέργεια
<b>Εικόνα6.1</b> Μπροστινή όψη καταγραφέα
<b>Εικόνα6.2</b> Λειτουργία
<b>Εικόνα6.3</b> Παράδειγμα διασύνδεσης για αυτόνομο φωτοβολταϊκό σύστημα
<b>Εικόνα6.4</b> Λουξόμετρο για μέτρηση φωτεινής έντασης
<b>Εικόνα6.5</b> Θερμόμετρο
<b>Εικόνα6.6</b> Πυρανόμετρο για μέτρηση ακτινοβολίας
<b>Εικόνα6.7</b> Μετρητές ρεύματος
<b>Εικόνα6.8</b> Ηλεκτρικό διάγραμμα μεγεθών και μετρητικών οργάνων
<b>Εικόνα6.9</b> Διαιρέτης τάσης
<b>Εικόνα6.10</b> Περιβάλλον λογισμικού Orton
<b>Εικόνα6.11</b> Περιβάλλον Access για δημιουργία βάσης δεδομένων



# Κεφάλαιο 1<sup>ο</sup>

## Εισαγωγή

Μια πηγή ενέργειας που φαίνεται να συνδυάζει ιδανικά τις απαιτήσεις για νέες ενεργειακές αναζητήσεις όπως αυτές προέκυψαν μετά την πετρελαϊκή κρίση και τα σοβαρά ατυχήματα που εκδηλώθηκαν σε πυρηνικούς σταθμούς στην δεκαετία του 1970-1980, είναι η ηλιακή ενέργεια. Το ενδιαφέρον για την ηλιακή ενέργεια εντάθηκε όταν χάρη στο φωτοβολταϊκό φαινόμενο διαπιστώθηκε η πρακτική δυνατότητα της εύκολης, άμεσης και αποδοτικής μετατροπής της σε ηλεκτρική με την κατασκευή φωτοβολταϊκών γεννητριών. Τα φωτοβολταϊκά είναι από τις ελάχιστες τεχνολογίες των οποίων το κόστος πέφτει συστηματικά, σε μια περίοδο που το κόστος κατασκευής και λειτουργίας των συμβατικών σταθμών ηλεκτροπαραγωγής αυξάνει διαρκώς. Επιπλέον, κάθε εγκατεστημένο κιλοβάτ φωτοβολταϊκών συμβάλλει ετησίως στην αποφυγή εκπομπής περίπου 1,5 τόνου διοξειδίου του άνθρακα και άλλων ρύπων, αν η ισόποση ενέργεια παραγόταν με την καύση λιγνίτη, προστατεύοντας ουσιαστικά το περιβάλλον και την υγεία των πολιτών. Τις τελευταίες δεκαετίες, η χρήση των φωτοβολταϊκών συστημάτων εξαπλώνεται ραγδαία καθιστώντας τα ανταγωνιστικά έναντι των συμβατικών πηγών ενέργειας παρά την επιβολή της τιμωρίας στην Ελλάδα από τον ΟΗΕ λόγω της μη συμμόρφωσης στις νομικές δεσμεύσεις της Συνθήκης του Κιότο. Το πρωτόκολλο του Κιότο είναι το μόνο διεθνές νομοθετικό εργαλείο για την αντιμετώπιση του φαινομένου του θερμοκηπίου. Στόχος του να μειωθούν στα αναπτυγμένα κράτη οι εκπομπές των αερίων που προκαλούν τις κλιματικές αλλαγές κατά 5,2% μεταξύ 2008-2012 (ως προς τα επίπεδα εκπομπών του 1990). Η μείωση αυτή ωστόσο είναι μόνο το πρώτο βήμα δεδομένου ότι απαιτούνται πολλαπλάσιες περικοπές εκπομπών στα επόμενα χρόνια. Σύμφωνα με τα Ηνωμένα Έθνη, για να αποτραπούν επικίνδυνες κλιματικές αλλαγές απαιτείται μείωση των εκπομπών κατά 50-70% παγκοσμίως, μέχρι τα μισά του 21ου αιώνα.

Το Ευρωπαϊκό Συμβούλιο του Μαρτίου 2007 επαναβεβαίωσε τη δέσμευση της Κοινότητας για την ανάπτυξη ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές μετά το 2010. Η Έκθεση του Εθνικού Σχεδίου Δράσης για την επίτευξη της συμβολής των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας στην τελική κατανάλωση ενέργειας απορρέει από την Οδηγία 2009/28/EK, και περιλαμβάνει εκτιμήσεις για την εξέλιξη του ενεργειακού τομέα και τη διεϊσδυση των τεχνολογιών των ΑΠΕ έως το 2020. Οι εκτιμήσεις αυτές εξειδικεύονται στη συμμετοχή των ΑΠΕ στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, θερμότητας και ψύξης κυρίως για τον οικιακό τομέα, αλλά και στη χρήση βιοκαυσίμων στις μεταφορές. Ως εκ τούτου, κάθε χώρα της Ευρωπαϊκής Ένωσης, έχει δεσμευθεί να επιτύχει ένα συγκεκριμένο στόχο μέχρι το 2020 που αναφέρει το 20 % ως μερίδιο της ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές στη συνολική κατανάλωση ενέργειας της Κοινότητας και υποχρεωτικό ελάχιστο στόχο, τον οποίο πρέπει να επιτύχουν όλα τα κράτη μέλη, 10 % ως μερίδιο των βιοκαυσίμων στην κατανάλωση βενζίνης και πετρελαίου ντίζελ στις μεταφορές, στόχος που πρέπει να υλοποιηθεί κατά οικονομικώς συμφέροντα τρόπο.

Συγκεκριμένα για την Ελλάδα το μερίδιο της ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές στην ακαθάριστη τελική κατανάλωση ενέργειας για το έτος 2020 ορίστηκε σε 18% το διπλάσιο δηλαδή σε σχέση με το 2005 που ήταν 6,9%. [4],[24]



## Φωτοβολταϊκή μετατροπή.

Ο άνθρωπος δύναται να εκμεταλλεύεται την ηλιακή ενέργεια χρησιμοποιώντας ηλιακά ηλεκτρικά στοιχεία, πλαίσια ηλιακών κυψελίδων και γιγαντιαία κάτοπτρα ώστε να παράγει ηλεκτρική ενέργεια καλύπτοντας μέρος των ενεργειακών του αναγκών. Αν και το φωτοβολταϊκό φαινόμενο ανακαλύφθηκε μόλις το 1839, το πρώτο ηλιακό ηλεκτρικό στοιχείο κατασκευάστηκε πολύ αργότερα, το 1954 για διαστημικές εφαρμογές. Ο ήλιος, ένα αστέρι τύπου G ηλικίας πέντε δισεκατομμυρίων ετών δημιουργεί την ηλιακή ενέργεια μέσω της πυρηνικής τήξης. Κάθε δευτερόλεπτο μέσω της διαδικασίας της τήξης, 5 εκατομμύρια μετρικοί τόνοι μετατρέπονται σε ενέργεια. Το προϊόν από ένα δευτερόλεπτο της ενέργειας αντιστοιχεί σε  $1 \times 10^{27}$  Watt ενέργειας. **Στη γη, λαμβάνουμε περίπου 2/1.000.000.000 εκείνης της ενέργειας, ή περίπου  $2 \times 10^{18}$  Watt, αρκετή ενέργεια ώστε να τροφοδοτηθούν 100 κοινοί λαμπτήρες φωτός για περίπου 5 εκατομμύρια έτη.**

Πίνακας 1.1 Φωτοβολταϊκή μετατροπή - πλεονεκτήματα-μειονεκτήματα

Πλεονεκτήματα Φ/Β μετατροπής	Μειονεκτήματα Φ/Β μετατροπής
1)Ανανεώσιμη και ελεύθερα διαθέσιμη ενεργειακή πηγή.	1)Υψηλό κόστος κατασκευής ηλιακών στοιχείων.
2)Ικανοποιητική απόδοση μετατροπής και Αυτονομία.	2)Αποθήκευση ενέργειας με χρήση ακριβών συστημάτων (συσσωρευτές).
3)Κατασκευή στοιχείων από πρώτες ύλες που αφθονούν. (π.χ. Si, Cu, Ar)	3)Μεγάλη διακύμανση ηλιακής ακτινοβολίας και ενδεχόμενη αστάθεια συστημάτων.
4)Εύκολη και ανέξοδη συντήρηση και επίλυση βλαβών στις φωτοβολταϊκές διατάξεις.	4)Χρησιμοποίηση μεγάλων επιφανειών λόγω της μικρής πυκνότητας της ισχύος της ηλιακής ακτινοβολίας.
6)Μηδενική ρύπανση περιβάλλοντος.	
7)Κατάλληλα για διαστημικές εφαρμογές.	

Η εγκατάσταση ενός φωτοβολταϊκού συστήματος είναι μία αξιόλογη περιβαλλοντική επένδυση. Κάθε κιλοβατώρα ηλεκτρισμού που παράγεται από ορυκτά καύσιμα, επιβαρύνει την ατμόσφαιρα με ένα κιλό περίπου διοξειδίου του άνθρακα. Παράγοντας ρεύμα από τον ήλιο αποφεύγουμε την παραγωγή του προαναφερόμενου ρύπου και προστατεύουμε το περιβάλλον. Μπορούμε απλά να πούμε ότι ένα τετραγωνικό μέτρο φωτοβολταϊκών πλαισίων ισοδυναμεί περίπου με 10 δέντρα!

Εκτός όμως από περιβαλλοντικά, τα παρεχόμενα κίνητρα καθιστούν την φωτοβολταϊκή εγκατάσταση μια ενδιαφέρουσα οικονομική επένδυση με μεσομακροπρόθεσμη απόδοση. Σε καμία όμως περίπτωση δεν ισχύουν οι απλουστευμένες υπεραποδόσεις, που υπόσχονται ορισμένες εταιρείες. Να σημειωθεί τέλος ότι στην Ελλάδα λειτουργούν πάνω από 1300 φωτοβολταϊκά πάρκα (αυτόνομα, συνδεδεμένα ή/και υβριδικά) που παράγουν πάνω από 900MWh ηλεκτρικής ενέργειας.

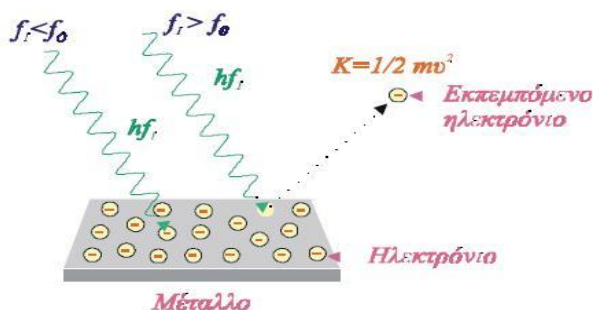
## Κεφάλαιο 2<sup>ο</sup>

### Φωτοβολταϊκά συστήματα & Φωτισμός

#### 2.1 Το Φωτοβολταϊκό Φαινόμενο

Τα φωτόνια της ηλιακής δέσμης διαθέτουν χαρακτηριστική ποσότητα ενέργειας η οποία είναι ανάλογη του μήκους κύματος του φωτός. Στη διαδικασία της φωτοεκπομπής, εάν ένα ηλεκτρόνιο απορροφήσει την ενέργεια ενός φωτονίου και αποκτήσει περισσότερη ενέργεια από την απαιτούμενη που χρειάζεται για να απομακρυνθεί από το υλικό, τότε αυτό εκτινάσσεται από το. Εάν η ενέργεια των φωτονίων είναι πάρα πολύ χαμηλή, το ηλεκτρόνιο είναι ανίκανο να δραπετεύσει από την επιφάνεια του υλικού. Η αύξηση της έντασης της ηλιακής ακτινοβολίας δεν αλλάζει την ενέργεια των αρχικών φωτονίων, παρά μόνο τον αριθμό τους, και έτσι η ενέργεια των εκπεμπόμενων ηλεκτρονίων δεν εξαρτάται από την ένταση του προσπίπτοντος φωτός.

Τα ηλεκτρόνια μπορούν να απορροφήσουν την ενέργεια από τα φωτόνια όταν ακτινοβολούνται, αλλά ακολουθούν την αρχή «όλα ή τίποτα». Όλη η ενέργεια ενός φωτονίου πρέπει να απορροφηθεί και να χρησιμοποιηθεί για να ελευθερώσει ένα ηλεκτρόνιο από την ατομική σύνδεση, αλλιώς η ενέργεια επανεκπέμπεται. Εάν όλη η ενέργεια του φωτονίου απορροφηθεί, μέρος της ενέργειας αυτής χρησιμοποιείται για να το ελευθερώσει από το άτομο, και το υπόλοιπο συμβάλλει στην κινητική ενέργεια του ηλεκτρονίου ως ελεύθερο μόριο. Τα ηλεκτρόνια που εκπέπονται καλούνται συχνά φωτοηλεκτρόνια.



Εικόνα 2.1 Φωτοηλεκτρικό Φαινόμενο. Η προσπίπτουσα ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία στα αριστερά εξάγει ηλεκτρόνια από την επιφάνεια του μετάλλου δεξιά.

Η ερμηνεία του φωτοηλεκτρικού φαινομένου έγινε το 1905 από τον Άλμπερτ Αϊνστάιν που πήρε το βραβείο Νόμπελ για αυτή του την εργασία. Για να ερμηνεύσει το φωτοηλεκτρικό φαινόμενο, ο Αϊνστάιν υπέθεσε ότι η ενέργεια ενός ηλεκτρομαγνητικού κύματος δεν είναι ισοκατανεμημένη στο κυματικό μέτωπο αλλά μεταφέρεται σε διακριτές ποσότητες που ονομάζονται φωτόνια. Η διαπίστωση αυτή αποτέλεσε, μαζί με την ερμηνεία της ακτινοβολίας του μέλανος σώματος από τον Πλανκ και την παρατήρηση του φαινομένου Κόμπτον (Compton) το θεμέλιο της θεωρίας για τον κυματοσωματιδιακό δυϊσμό του φωτός αλλά και της πρώιμης Κβαντικής Μηχανικής. Έτσι ένα ηλεκτρομαγνητικό κύμα συχνότητας  $\nu$  αποτελείται από μια δέσμη φωτονίων που όλα έχουν ενέργεια:

$$E_{\phi} = h \cdot \nu \quad (1.1)$$

Η ολική ενέργεια της δέσμης που αποτελείται από  $n$  φωτόνια είναι:

$$E_{\Phi} = n \cdot h \cdot \nu \quad (1.2)$$

Ο Αϊνστάιν θεώρησε ότι κάθε φωτόνιο όταν δίνει την ενέργειά του τη δίνει ολόκληρη και μόνο σε ένα ηλεκτρόνιο κάθε φορά και επιπλέον μόνο εάν είναι αρκετή για να απελευθερώσει το ηλεκτρόνιο από τις ελκτικές δυνάμεις του μετάλλου. Έτσι από την ενέργεια του φωτονίου μέρος χρησιμοποιείται για να υπερνικηθούν οι ελκτικές δυνάμεις του μετάλλου και η υπόλοιπη μένει στο ηλεκτρόνιο ως κινητική ενέργεια. Έτσι έχουμε την ακόλουθη εξίσωση η οποία ονομάζεται και φωτοηλεκτρική εξίσωση του Αϊνστάιν:

$$h \cdot \nu = E_{K_{\max}} + b \quad (1.3)$$

Αναλυτικότερα, τα ηλιακά στοιχεία βασίζουν τη λειτουργία τους στη δημιουργία ενός ηλεκτροστατικού φράγματος δυναμικού, το οποίο εκτίνεται σε όλο το πλάτος του στοιχείου που δέχεται την ηλιακή ακτινοβολία. Αυτό το φράγμα δυναμικού βρίσκεται κατανεμημένο σε μικρό βάθος από την επιφάνεια και τοποθετείται από την πλευρά από την οποία προσπίπτει το φως. Κάθε φωτόνιο της προσπίπτουσας ακτινοβολίας με ενέργεια ίση ή μεγαλύτερη από το ενεργειακό διάκενο του ημιαγωγού, έχει τη δυνατότητα να απορροφηθεί σε ένα χημικό δεσμό και να δημιουργηθεί ένα ζεύγος ελεύθερων φορέων: δηλαδή ένα ηλεκτρόνιο της ζώνης αγωγιμότητας και μια οπή στη ζώνη σθένους. Η αναγκαιότητα ύπαρξης του ηλεκτροστατικού φράγματος πηγάζει από την απαίτηση για διαχωρισμό των θετικών και αρνητικών φορέων φορτίου και την συγκέντρωσή τους πάνω στις δυο όψεις του ηλιακού στοιχείου, δηλαδή τη φωτιζόμενη και την πίσω όψη τους. Συγκεκριμένα επειδή μερικά από τα ζεύγη των φορέων αυτών δημιουργούνται μέσα ή και δίπλα από την περιοχή του ηλεκτροστατικού φράγματος δυναμικού διαχωρίζονται προκειμένου να ελαχιστοποιήσουν τη δυναμική τους ενέργεια. Για παράδειγμα σε μια δίοδο p-n τα ελεύθερα ηλεκτρόνια εκτρέπονται προς το τμήμα τύπου n και οι οπές εκτρέπονται προς το τμήμα τύπου p, με αποτέλεσμα να συσσωρεύονται φορτία στις δυο αντικρινές επιφάνειες και να δημιουργείται μια διαφορά δυναμικού ανάμεσα στους ακροδέκτες των δυο τμημάτων του ηλιακού στοιχείου, για όσο διάστημα υπάρχει η οπτική διέγερση. **Το φαινόμενο αυτό ονομάζεται φωτοβολταϊκό φαινόμενο.** Η αποδοτική λειτουργία των ηλιακών φωτοβολταϊκών στοιχείων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας στηρίζεται στην πρακτική εκμετάλλευση του παραπάνω φαινομένου. Εκτός από τις προσμίξεις των τμημάτων p και n μιας ομοένωσης, δηλαδή υλικού από τον ίδιο βασικά ημιαγωγό, το ενσωματωμένο ηλεκτροστατικό πεδίο, που είναι απαραίτητη προϋπόθεση για την πραγματοποίηση ενός ηλιακού στοιχείου, αλλά και κάθε φωτοβολταϊκής διάταξης, μπορεί να προέρχεται επίσης και από διόδους π.χ. από διόδους Schottky που σχηματίζονται όταν έρθουν σε επαφή ένας ημιαγωγός με ένα μέταλλο.

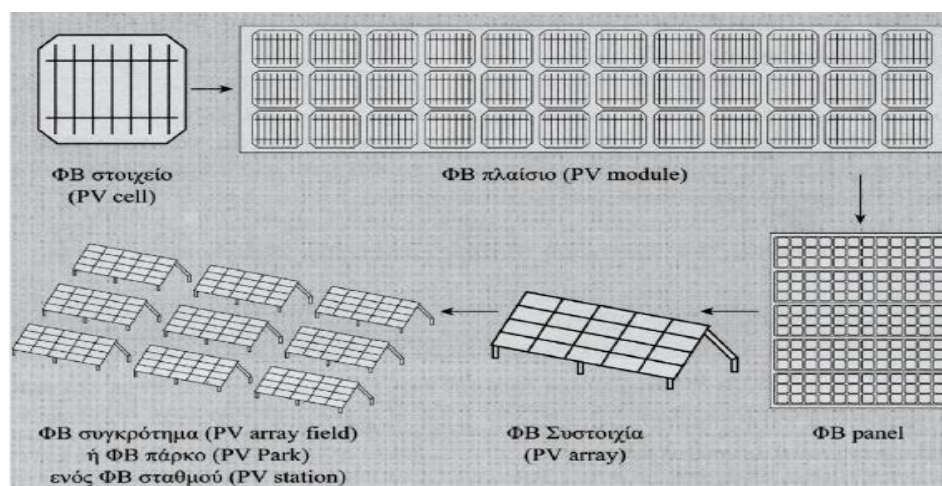
Στο ηλιακό στοιχείο προσπίπτει ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία με ενέργεια τιμής  $E = h \cdot \nu \geq E_g$ . Όπου  $E_g = E_{cb} - E_{vt}$  η τιμή του ενεργειακού διακένου,  $E_{cb}$  ο πυθμένας της ζώνης αγωγιμότητας και  $E_{vt}$  η κορυφή της ζώνης σθένους. Το δημιουργούμενο ζεύγος ηλεκτρονίου-οπής διαχωρίζεται από το ηλεκτροστατικό πεδίο, τα ηλεκτρόνια κυλούν πάνω στον πυθμένα της ζώνης αγωγιμότητας και μεταφέρονται στην περιοχή τύπου-n. Κατ' αναλογία, οι οπές ολισθαίνουν μόλις κάτω από την περιοχή της ζώνης σθένους και μεταφέρονται προς την περιοχή τύπου-p για να ελαχιστοποιήσουν τη

δυναμική τους ενέργεια. Στην μεσαία περιοχή δεν διαχωρίζονται χωρικά οι παραγόμενοι φορείς οπότε, αφού ζήσουν το χρόνο ζωής τους, επανασυνδέονται εκπέμποντας ένα φωτόνιο ενέργειας: [3]

$$E = h \cdot \nu = E_g. \quad (1.4)$$

## 2.2 Φωτοβολταϊκή Τεχνολογία

Μια πολλά υποσχόμενη και συνεχώς αναπτυσσόμενη τεχνολογία είναι τα φωτοβολταϊκά συστήματα που μπορούν να παράγουν ηλεκτρική ενέργεια, αντλώντας όπως και τα ηλιοθερμικά συστήματα, ενέργεια από τον ήλιο. Οι ηλιακές κυψέλες, κοινώς τα φωτοβολταϊκά στοιχεία (ημιαγωγοί), είναι “συσκευές” που μετατρέπουν την ηλιακή ενέργεια άμεσα σε ηλεκτρική μέσω του φωτοβολταϊκού φαινομένου. Το σύνολο των **φωτοβολταϊκών στοιχείων** που συνδέονται ηλεκτρονικά μεταξύ τους ονομάζεται **φωτοβολταϊκή γεννήτρια** και το σύνολο των φωτοβολταϊκών γεννητριών συνδεδεμένων μεταξύ τους ονομάζεται **φωτοβολταϊκή συστοιχία**. Η φωτοβολταϊκή συστοιχία αποτελεί το βασικότερο μέρος του φωτοβολταϊκού συστήματος και συνοδεύεται από κατάλληλα ηλεκτρονικά κυκλώματα για έλεγχο και διαχείριση της παραγόμενης ενέργειας, καθώς και από σύστημα αποθήκευσης (συσσωρευτές). Το παραγόμενο ηλεκτρικό ρεύμα είναι συνεχούς τάσης και ανάλογα με την εφαρμογή μπορεί να μετατραπεί σε εναλλασσόμενο με τη βοήθεια ενός αντιστροφέα τάσης. [4]



Εικόνα 2.2 Σύνθεση ηλιακών κυψελών και στοιχείων

Τα φωτοβολταϊκά συστήματα μπορούν να αξιοποιηθούν ως :

- **Αυτόνομα**, όπου η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια χρησιμοποιείται μόνο για κάλυψη των αναγκών του χρήστη και συνήθως διαθέτουν σύστημα αποθήκευσης (συσσωρευτής). Εφαρμόζονται για τη δημιουργία μικρών τοπικών σταθμών ηλεκτροπαραγωγής, εξοικονομώντας σημαντικό κόστος από την εγκατάσταση νέων δικτύων και γραμμών μεταφοράς ηλεκτρισμού σε περιοχές που δεν καλύπτει το υφιστάμενο δίκτυο.
- **Συνδεδεμένα με το ηλεκτρικό δίκτυο**, όπου η τυχόν πλεονάζουσα ηλεκτρική ενέργεια ή το σύνολό της διοχετεύεται στο ηλεκτρικό δίκτυο.

- **Υβριδικά**, σε συνδυασμό με ηλεκτροπαραγωγή ζεύγη ή με ανεμογεννήτριες ή και με τα δύο.

Η απόδοση των φωτοβολταϊκών συστημάτων αυξάνεται με τη χρήση συστημάτων περιστροφής των πλαισίων τα οποία ακολουθούν την κίνηση του ήλιου, ωστόσο η εγκατάσταση τέτοιων συστημάτων είναι δυνατό να αυξήσει σημαντικά το κόστος της επένδυσης. Οι συνεχείς τεχνολογικές εξελίξεις στο τομέα αποσκοπούν στη μεγιστοποίηση της απόδοσης των συστημάτων αυτών και στην ταυτόχρονη μείωση του κόστους της παραγόμενης κιλοβατώρας με στόχο να καταστήσουν τα φωτοβολταϊκά συστήματα μια από τις σημαντικότερες τεχνολογίες εκμετάλλευσης της ηλιακής ενέργειας στο άμεσο μέλλον.

#### Πλεονεκτήματα:

- Μηδενική ρύπανση.
- Αθόρυβη λειτουργία.
- Αξιοπιστία και μεγάλη διάρκεια ζωής (μέχρι και 30 χρόνια).
- Ελάχιστες απαιτήσεις συντήρησης.
- Μπορούν να ενσωματωθούν στην αρχιτεκτονική των κτιρίων.
- Έχουν μέγιστη παραγωγή την περίοδο μεγάλης ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας.
- Μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε περιοχές όπου είναι αδύνατο ή ασύμφορο να μεταφερθεί ηλεκτρικό ρεύμα από το δίκτυο.
- Απευθείας παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.
- Δυνατότητα εγκατάστασης των συστημάτων και από τον ίδιο τον χρήστη.
- Συνδυάζονται και με άλλες πηγές ενέργειας (Υβριδικά συστήματα).
- Δυνατότητα επέκτασης για αυξημένες απαιτήσεις ενέργειας.
- Ανεξάρτητα των αυξήσεων στις τιμές των καυσίμων.

#### Μειονεκτήματα:

- Η ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται από ένα ΦΒ σύστημα κοστίζει πολύ περισσότερο από αυτήν που παράγεται από τη χρήση άλλων ανανεώσιμων ή συμβατικών πηγών ενέργειας.
- Υψηλό κόστος κατασκευής. Ειδικά σε περιπτώσεις όπου χρειάζεται αποθήκευση (αυτόνομα) υπάρχει το επιπρόσθετο κόστος των συσσωρευτών των οποίων η διάρκεια ζωής δεν υπερβαίνει ποτέ τη χρήσιμη ζωή των πλαισίων, δημιουργώντας επιπρόσθετο κόστος συντήρησης και αντικατάστασής τους. [11]

## 2.3 Τεχνολογίες Ηλιακών Φωτοβολταϊκών Στοιχείων-Φωτοβολταϊκών κυψελών

Το πυρίτιο (Si) αποτελεί το βασικότερο υλικό για την κατασκευή φωτοβολταϊκών κυττάρων από τη στιγμή που αποτελεί το κυρίαρχο υλικό στην κατασκευή ημιαγωγών. Τα φωτοβολταϊκά στοιχεία από πυρίτιο κατασκευάζονται χρησιμοποιώντας είτε μονοκρυσταλλικά ή πολυκρυσταλλικά wafer, είτε λεπτά films πυριτίου (άμορφο).

### 1. Φωτοβολταϊκά κρυσταλλικού πυριτίου:

➤ φωτοβολταϊκά μονοκρυσταλλικού πυριτίου με αποδόσεις πλαισίων 14,5% έως 21%. Οι κυψέλες μονοκρυσταλλικού πυριτίου έχουν κοπεί από ένα κυλινδρικό κρύσταλλο πυριτίου. Το πυρίτιο πρέπει να είναι πολύ υψηλής καθαρότητας και να έχει τέλεια δομή κρυστάλλου. Αυτού του είδους οι ηλιακές κυψέλες έχουν και την μεγαλύτερη απόδοση, δηλαδή μετατρέπουν μεγαλύτερο ποσοστό της ηλιακής ενέργειας σε ηλεκτρισμό. Η κατασκευή τους όμως είναι πιο πολύπλοκη γιατί απαιτεί την κατασκευή του μονοκρυσταλλικού πυριτίου με αποτέλεσμα υψηλότερο κόστος κατασκευής.

➤ φωτοβολταϊκά πολυκρυσταλλικού πυριτίου με αποδόσεις πλαισίων 11% έως 15,5%. Οι ηλιακές κυψέλες πολυκρυσταλλικού πυριτίου κατασκευάζονται από ράβδους λιωμένου και επανακρυσταλλωμένου πυριτίου. Για την παραγωγή τους, οι ράβδοι του πυριτίου κόβονται σε λεπτά τμήματα από τα οποία κατασκευάζεται η κυψέλη του φωτοβολταϊκού πλαισίου με την διαδικασία χύτευσης. Η διαδικασία κατασκευής τους είναι απλούστερη από εκείνη των μονοκρυσταλλικών ηλιακών κυψελών με αποτέλεσμα χαμηλότερο κόστος παραγωγής. Όμως, παρουσιάζουν μικρότερη απόδοση από τις ηλιακές κυψέλες μονοκρυσταλλικού πυριτίου που οφείλεται στις ατέλειες στη δομή του κρυστάλλου ως αποτέλεσμα της διαδικασίας χύτευσης.

### 2. Φωτοβολταϊκά λεπτών μεμβρανών (thin film):

➤ φωτοβολταϊκά από άμορφο πυρίτιο με ονομαστική απόδοση από 4,5% έως 6,5%. Το άμορφο πυρίτιο ανήκει σε μια από τις τεχνολογίες λεπτού υμενίου (thin film technology). Οι ηλιακές κυψέλες αυτής της κατηγορίας αποτελούνται από ένα λεπτό στρώμα πυριτίου που έχει εναποτεθεί ομοιόμορφα σε κατάλληλη βάση. Σαν βάση μπορεί να χρησιμοποιηθεί μια μεγάλη ποικιλία υλικών από δύσκαμπτα μέχρι ελαστικά με αποτέλεσμα μεγαλύτερο εύρος εφαρμογών, ιδιαίτερα σε καμπύλες ή εύκαμπτες επιφάνειες. Ενώ το άμορφο πυρίτιο παρουσιάζει μεγαλύτερη αποτελεσματικότητα στην απορρόφηση του φωτός, εντούτοις η φωτοβολταϊκή απόδοση του είναι η μικρότερη των κρυσταλλικών. Το φθηνό όμως κόστος κατασκευής τους τα κάνει ιδανικά σε εφαρμογές όπου δεν απαιτείται υψηλή απόδοση. Η απόδοσή τους μειώνεται έντονα στα αρχικά στάδια φωτισμού τους, στα επίπεδα του 5-8%. Το ενεργειακό διάκενο δεν έχει σταθερή τιμή αλλά κυμαίνεται, ανάλογα με τον τρόπο της παρασκευής του, από 1,2 μέχρι 1,6eV περίπου, σε σύγκριση με 1,1eV του κρυσταλλικού πυριτίου.

Πολύ σημαντική βελτίωση των ηλεκτρικών ιδιοτήτων του άμορφου πυριτίου a-Si γίνεται με την προσθήκη ατόμων υδρογόνου, που αποτελούν τέρματα για τους ατελείς δεσμούς και χαλαρώνουν τον ιστό του σώματος. Το υδρογονούχο a-Si περιέχει συνήθως 10-40% υδρογόνο, σε ατομική αναλογία και με τη γενική έννοια, ένα άμορφο κράμα πυριτίου και υδρογόνου.

Συμβολίζεται ως a-Si:H. Ανάλογα, και ίσως καλύτερα αποτελέσματα, έχει η προσθήκη ατόμων φθορίου αντί για άτομα υδρογόνου. Η εμπορική παραγωγή φωτοβολταϊκών στοιχείων από a-Si:H έχει ήδη αρχίσει από το 1983, κυρίως στην Ιαπωνία, σε μορφή διόδων Σότκυ με απόθεση του πυριτίου πάνω σε λεπτά φύλλα ανοξείδωτου χάλυβα. Παράλληλα, εδώ και αρκετό καιρό εξετάζεται ερευνητικά η δυνατότητα κατασκευής φθηνών φωτοβολταϊκών στοιχείων κρυσταλλικού ή άμορφου πυριτίου με διάφορες νέες τεχνολογίες, όπως ο σχηματισμός του πυριτίου σε μορφή μεμβράνης που επιπλέει ή τραβιέται κατευθείαν από το τήγμα, η απόθεση πάνω σε κεραμικά υποστρώματα ή σε γραφίτη κλπ.

Καθώς οι έρευνες γύρω από τα φωτοβολταϊκά συνεχίζονται ανελλιπώς όλο και νέες τεχνολογίες αναπτύσσονται με μοναδικό στόχο την αύξηση του βαθμού απόδοσης της φωτοβολταϊκής μετατροπής στο μέγιστο με απλούς και οικονομικούς τρόπους. **Γενικά, θεωρείται ότι οι παραδοσιακές φωτοβολταϊκές τεχνολογίες δεν είναι αποδοτικές διότι αποτυγχάνουν να συλλέξουν πολύ μεγάλο ποσοστό του διαθέσιμου ηλιακού ηλεκτρομαγνητικού φάσματος.**

Αξίζει να αναφερθεί εδώ ότι πρόσφατα η ερευνητική ομάδα του Πανεπιστημίου του Μισούρι ανέπτυξε ένα λεπτό, εύκαμπτο φύλλο νανοκεραιών (nantennas), οι οποίες εκτός από το φως, μπορούν ακόμα να συλλέγουν τη θερμότητα που παράγεται από βιομηχανικές διαδικασίες και την μετατρέπουν άμεσα σε ηλεκτρική. Φιλοδοξία των επιστημόνων είναι να εφαρμόσουν την τεχνολογία σε μια συσκευή εξοπλισμένη με νανοκεραίες οι οποίες στραμμένες απευθείας προς τον ήλιο θα συλλέγουν την υπέρυθη ακτινοβολία του ηλιακού φάσματος. Στην παρακάτω εικόνα φαίνεται ένα λεπτό, εύκαμπτο φύλλο νανοκεραιών όπως αναπτύχθηκε από την ομάδα:



Εικόνα 2.3 Η ερευνητική ομάδα του Πανεπιστημίου του Μισούρι ανέπτυξε ένα λεπτό, εύκαμπτο φύλλο νανοκεραιών (nantennas), οι οποίες εκτός από το φως, μπορούν ακόμα να συλλέγουν τη θερμότητα που παράγεται από βιομηχανικές διαδικασίες και την μετατρέπουν άμεσα σε ηλεκτρική - *Περιοδικό Journal of Solar Energy Engineering*.

- φωτοβολταϊκά από Χαλκοκυρίτες CIS / CIGS, ονομαστική απόδοση από 6% έως 12% ανά μονάδα επιφάνειας.



Εικόνα 2.4 Τα πρωτοποριακά εύκαμπτα φωτοβολταϊκά CIGS, κατασκευασμένα από χαλκό, ίνδιο, γάλλιο και διοξείδιο του σεληνίου, υπόσχονται να συμπίεσουν το κόστος της «ηλιακής» ηλεκτροπαραγωγής, καθώς αφενός είναι φθηνότερα και αφετέρου πλησιάζουν πλέον σε αποδοτικότητα τα φωτοβολταϊκά πολυκρυσταλλικής σιλικόνης και τα άκαμπτα CIGS.

**Άλλη μια σημαντική έρευνα που εκπονήθηκε στο Πανεπιστήμιο του Κέμπριτζ και αξίζει να σημειωθεί είναι μια νέα ηλιακή κυψέλη, ικανή να αυξήσει την αποδοτικότητα των φωτοβολταϊκών κατά 25%, συγκριτικά με τα συμβατικά πάνελ σιλικόνης. Όπως ανακοινώθηκε, οι Βρετανοί ερευνητές ανέπτυξαν μια υβριδική ηλιακή κυψέλη, που μπορεί να μετατρέψει το 44% του ηλιακού φωτός σε ηλεκτρική ενέργεια, δηλαδή 25% περισσότερο συγκριτικά με τις συμβατικές ηλιακές κυψέλες. Οι ηλιακές κυψέλες μετατρέπουν το φως του ήλιου σε ηλεκτρική ενέργεια. Μέσω ημιαγωγικών υλικών, όπως η σιλικόνη, απορροφούν ενέργεια από τα σωματίδια του φωτός, που ονομάζονται φωτόνια, και τροφοδοτούν τα ηλεκτρόνια για την παραγωγή ηλεκτρισμού. Το πρόβλημα είναι ότι τα πάνελ σιλικόνης δεν μπορούν να απορροφήσουν όλη την ενέργεια του φωτονίου, με αποτέλεσμα μεγάλο μέρος να χάνεται. Συνήθως μια ηλιακή κυψέλη παράγει ένα ηλεκτρόνιο για κάθε φωτόνιο που αιχμαλωτίζεται.**

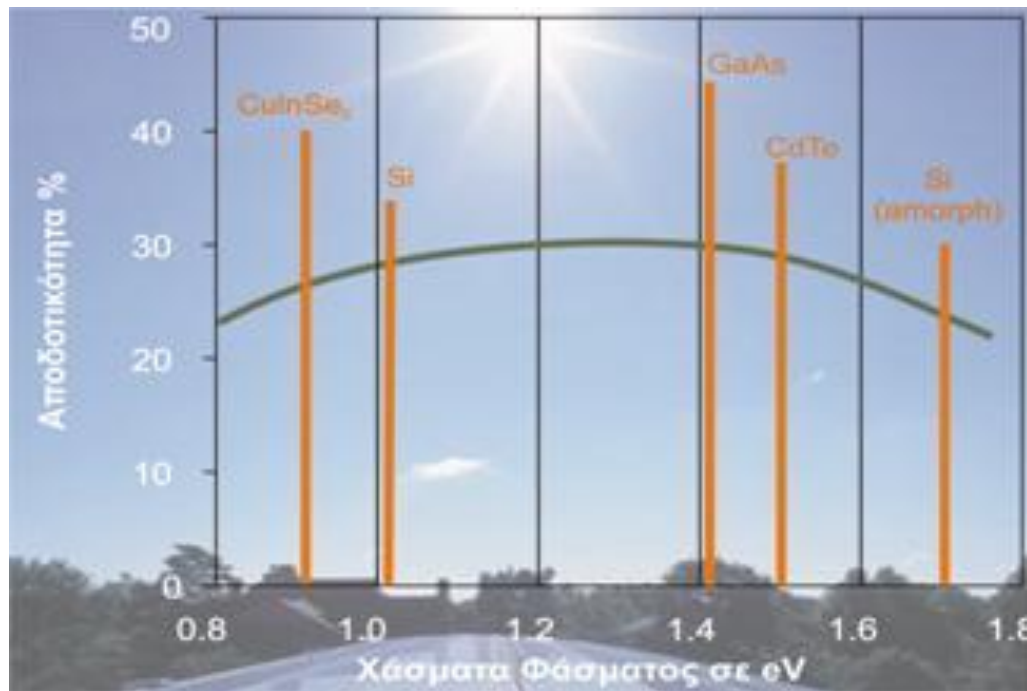
Υβριδικές κυψέλες αναπτύχθηκαν για πρώτη φορά το 1996, ωστόσο η αποδοτικότητά τους χρειάζεται να αυξηθεί και να σταθεροποιηθεί για να βγουν στο εμπόριο.

Οι υβριδικές κυψέλες που ανέπτυξαν οι ερευνητές του Κέμπριτζ είναι ακόμα πιο εξελιγμένες, όμως ακόμα κανείς δεν μπορεί να πει με σιγουριά πότε θα διατεθούν στην αγορά, καθώς χρειάζονται άλλα δυο με τρία χρόνια για να εκτιμηθεί αν είναι εμπορικά βιώσιμες.

Με τη συνεχή αύξηση της παραγωγής ημιαγωγικών υλικών και τη βελτίωση της τεχνολογίας πυριτίου, η απόδοση των Φ/Β στοιχείων παρουσιάζει μια συνεχή αύξηση πλησιάζοντας τη μέγιστη θεωρητική τιμή τους και με παράλληλη ραγδαία μείωση στο κόστος τους. Για την εκτίμηση του κόστους των φωτοβολταϊκών στοιχείων χρησιμοποιείται ο συμβατικός όρος watt αιχμής ( $W_p$ , peak watt) που είναι η ελάχιστη απαιτούμενη επιφάνεια του στοιχείου για την παραγωγή ηλεκτρικής



ισχύος 1W όταν δέχεται ηλιακή ακτινοβολία με πυκνότητα ισχύος  $1\text{kW}/\text{m}^2$ . Π.χ. κόστος ηλιακού στοιχείου  $10\text{€}/\text{Wp}$  σημαίνει ότι το κόστος ενός ή περισσότερων φωτοβολταϊκών στοιχείων με τόση συνολική επιφάνεια ώστε να παράγουν ηλεκτρική ισχύ 1W, όταν εκτεθούν σε ακτινοβολία πυκνότητας  $1\text{kW}/\text{m}^2$ , είναι 10€. Δηλαδή το Wp εκφράζει το συνδυασμό του κόστους κατασκευής και της απόδοσης του ηλιακού στοιχείου.



Εικόνα 1.5 Θεωρητικά μέγιστα επίπεδα της απόδοσης διαφόρων φωτοβολταϊκών κυττάρων σε συνάρτηση με το ενεργειακό διάκενο του ημιαγωγού από τον οποίο είναι κατασκευασμένα σε κανονικές συνθήκες.

## 2.4 Φωτοβολταϊκά Συστήματα φωτισμού:

Φωτοβολταϊκά συστήματα φωτισμού λέγονται τα συστήματα που τουλάχιστον εν μέρει τροφοδοτούνται από την ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται από φωτοβολταϊκούς συλλέκτες. Ένα δημοφιλές παράδειγμα των φωτοβολταϊκών φωτιστικών είναι τα ηλιακά φωτιστικά για κήπο ή αυτόνομα συστήματα φωτισμού σε δρόμους. Άλλα παραδείγματα περιλαμβάνουν φωτιστικά σώματα για πάρκινγκ που τοποθετούν το ηλιακό πάνελ σε κολόνες ή πηγές φωτισμού για σηματοδότηση δρόμων και είναι συνήθως εκτός δικτύου. Μοναδική πηγή ισχύος τους είναι η ηλιακή ενέργεια. Τα υβριδικά συστήματα είναι πιο περίπλοκα, διότι η ηλιακή ενέργεια είναι σε συνδυασμό με άλλες πηγές ενέργειας, όπως ένα βοηθητικό πρόγραμμα που δημιουργείται στο δίκτυο, άλλα λειτουργούν με αιολική ενέργεια ή με ορυκτά καύσιμα γεννητριών ενώ υπάρχουν και τεχνολογίες φωτισμού που προορίζονται για νυχτερινές εφαρμογές φωτισμού.



Εικόνα 2.6 Φωτοβολταϊκό Σύστημα φωτισμού πακτωμένο σε κολώνα - σηματοδότηση

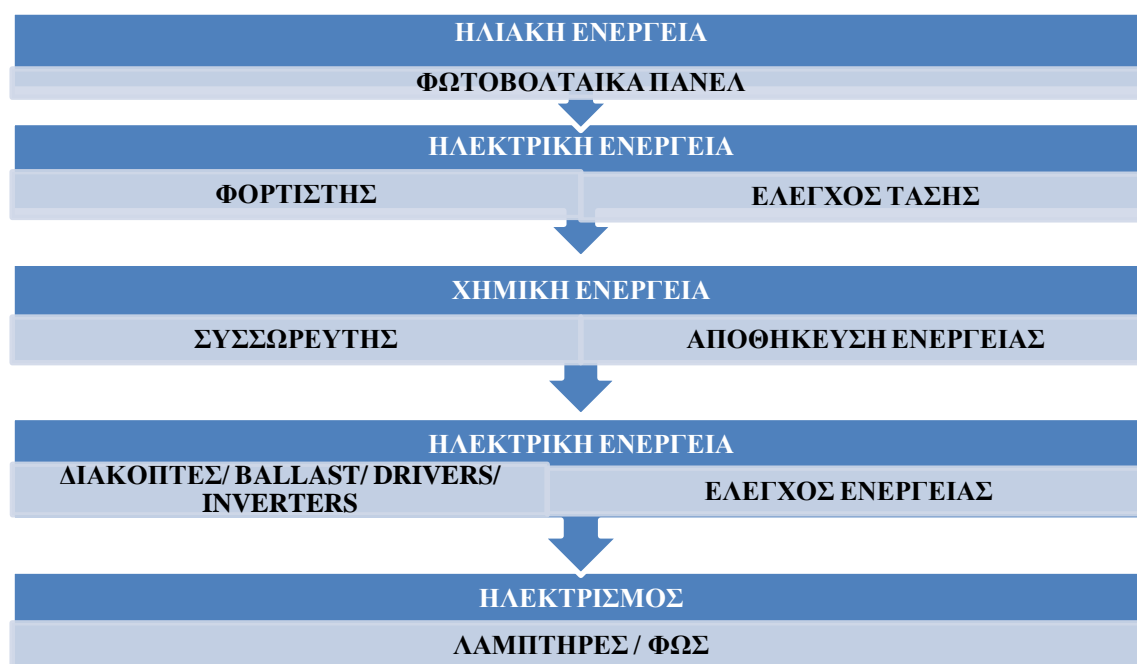
Το φωτοβολταϊκό σύστημα φωτισμού συλλέγει την ηλιακή ενέργεια χρησιμοποιώντας ένα ή περισσότερα φωτοβολταϊκών πάνελ, αποθηκεύουν την ενέργεια σε ένα συσσωρευτή ή μια σειρά από συσσωρευτές, και στη συνέχεια την αποδίδουν για να τροφοδοτήσει τις πηγές φωτός τη νύχτα. Το αρχικό κόστος αγοράς και το κόστος συντήρησης για πολλά από τα συστατικά που συνθέτουν τα συστήματα αυτά είναι υψηλά σε σύγκριση με τα παραδοσιακά συστήματα φωτισμού που τροφοδοτούνται από το δίκτυο. Ο σχεδιασμός και η εγκατάσταση φωτοβολταϊκών συστημάτων φωτισμού είναι επίσης πιο περίπλοκη και κατά συνέπεια οι εφαρμογές αυτές είναι πιο περιορισμένες επί του παρόντος. Ωστόσο, οι επιτυχείς εφαρμογές φωτισμού με φωτοβολταϊκά μπορούν να αναπτυχθούν μέσα από μια προσεκτικά σχεδιασμένη διαδικασία σχεδιασμού μεταξύ φωτοβολταϊκής ισχύος και της δύναμης του δικτύου και είναι γενικά πιο επιτυχημένες όπου τα χαμηλά επίπεδα φωτός και η περιορισμένη ηλεκτρική ενέργεια είναι μεγαλύτερες ή / και όπου η πρόσβαση στο δίκτυο είναι ακριβή ή δύσκολη, όπως σε αγροτικούς δρόμους, χώρους στάθμευσης και σε απομακρυσμένες περιοχές.



Εικόνα 2.7 Αυτόνομο Φ/Β σύστημα φωτισμού οδού , Φωτοβολταϊκοί αισθητήρες

Ένα φωτοβολταϊκό (Φ/Β) σύστημα φωτισμού αποτελείται από ένα πάνελ φωτοβολταϊκών, ένα συσσωρευτή, τα ηλεκτρονικά κυκλώματα, φωτεινές πηγές (λαμπτήρας), και το φωτιστικό (οπτικά). Η ηλεκτρική ενέργεια που δημιουργείται από τα Φ/Β κύτταρα μπορεί να τροφοδοτήσει πηγές φωτισμού (λαμπτήρες) άμεσα ή να αποθηκεύεται σε ένα συσσωρευτή για μελλοντική χρήση. Το συνεχές ρεύμα που παράγεται από το φωτοβολταϊκό κύτταρο ή ο συσσωρευτής μπορεί να ρυθμιστεί και να σταθεροποιηθεί με τη βοήθεια ηλεκτρονικών κυκλωμάτων για να ενεργοποιήσει dc πηγές φωτός, όπως λαμπτήρες πυρακτώσεως, διόδους εκπομπής φωτός (LED), ή λαμπτήρες φθορισμού που λειτουργούν με dc στραγγαλιστικά πηνία (ballast). Μπορεί επίσης να μετατρέπει σε τάση 120 V, 60 Hz AC για να ενεργοποιήσει ac πηγές φωτός, όπως λαμπτήρες φθορισμού με εναλλασσόμενα στραγγαλιστικά πηνία τα οποία είναι και ευρύτερα διαδεδομένα. [11]

Το παρακάτω σχήμα δείχνει τη ροή ενέργειας σε ένα τυπικό σύστημα φωτισμού με φωτοβολταϊκά:



Εικόνα 2.8 Ροή Ενέργειας

#### 2.4.1 Ηλεκτρονικά στοιχεία συστημάτων φωτισμού τροφοδοτούμενα από φωτοβολταϊκά:

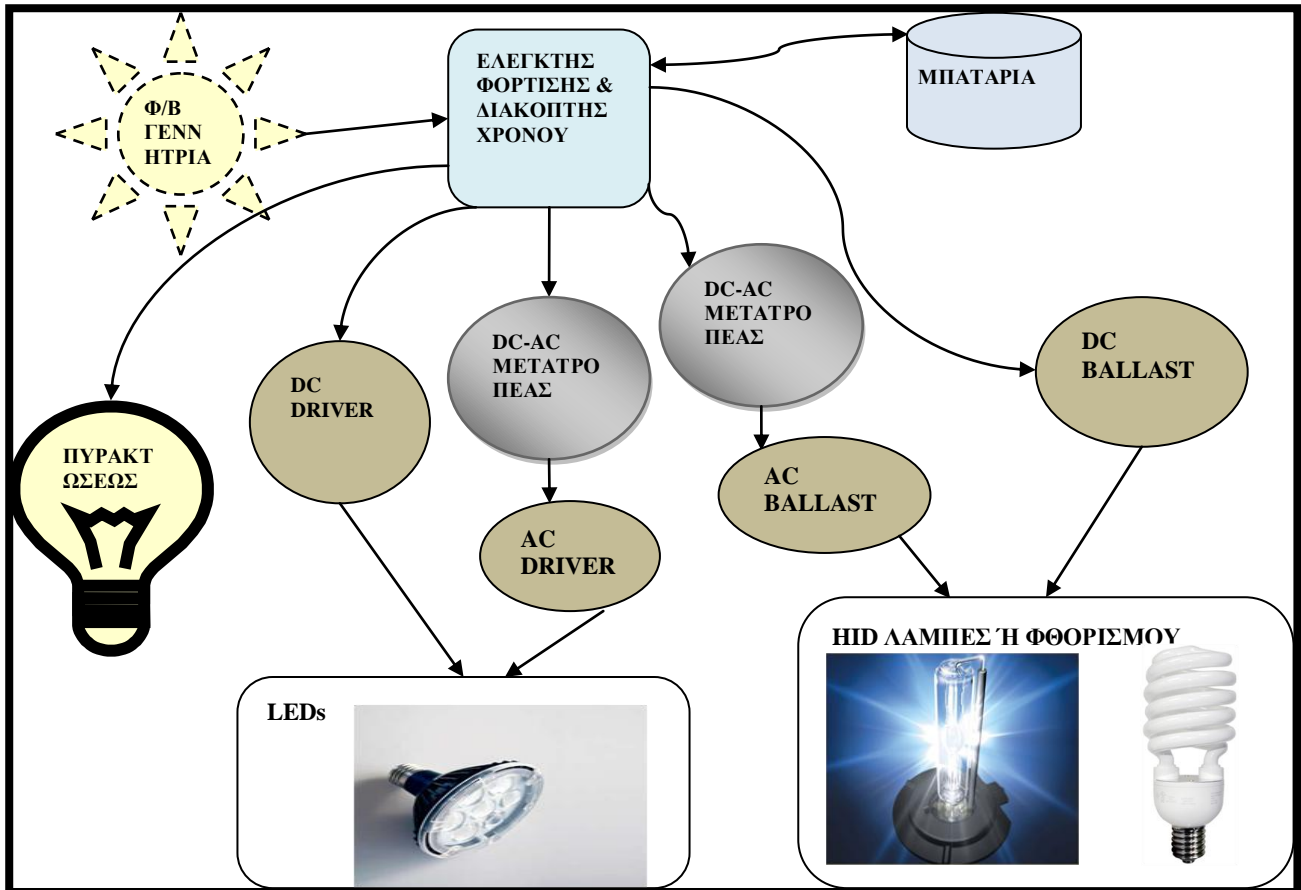
Τα ηλεκτρονικά εξαρτήματα για φωτοβολταϊκά (Φ/Β) συστήματα φωτισμού περιλαμβάνουν συνήθως έναν συσσωρευτή, ένα ρυθμιστή φόρτισης, ένα χρονοδιακόπτη, ή / και ένα μετατροπέα ή στραγγαλιστικό πηνίο (ballast), ανάλογα με το μέγεθος του συστήματος και τον τύπο της φωτεινής πηγής που χρησιμοποιείται. Για παράδειγμα, ένα ηλιακό φωτιστικό για τον κήπο που χρησιμοποιεί διόδους εκπομπής φωτός (LED) μικρότερη του 1Watt μπορεί να έχει τα ηλεκτρονικά σε μια πλακέτα. Για μεγαλύτερα συστήματα, όπως τα ηλιακά φωτιστικά παρκινγκ, τα ηλεκτρονικά εξαρτήματα είναι πιο πιθανό να διαχωρίζονται.

Η πρωταρχική λειτουργία των ελεγκτών φόρτισης σε ένα αυτόνομο Φ/Β σύστημα είναι να διατηρήσει το συσσωρευτή στην υψηλότερη δυνατή κατάσταση φόρτισης, ενώ προστατεύει από υπερφόρτιση από τη φωτοβολταϊκή γεννήτρια και από την υπερβολική εκφόρτιση από τα φορτία. Το σύνολο των λειτουργιών ενός ελεγκτή καθορίζουν τη λειτουργία του. Οι ρυθμιστές φόρτισης ρυθμίζουν μια φωτοβολταϊκή εγκατάσταση με διαφορετικές μεθόδους που έχουν διαφορετικά χαρακτηριστικά απόδοσης και τη δυνατότητα εφαρμογής. Οι διακόπτες χρόνου ελέγχουν πότε η φωτεινή πηγή πρέπει να είναι ενεργοποιημένη. Η λειτουργία αυτή επιτυγχάνεται συνήθως με μια συσκευή χρόνου, ένα φωτοκύτταρο, ή το ίδιο το φωτοβολταϊκό κύτταρο.

Η πηγή φωτός παρέχει το φως, και το φωτιστικό που φιλοξενεί αυτά τα συστατικά παρέχει προστασία για τα στοιχεία και το οπτικό σύστημα που κατευθύνει το φως. Η φωτεινή απόδοση ενός φωτοβολταϊκού συστήματος φωτισμού εξαρτάται από το ποσό της ηλιακής ενέργειας και την αποδοτικότητα των στοιχείων του συστήματος μετατροπής του εγκατεστημένου συστήματος.

Πηγές φωτός που χρησιμοποιούνται σε φωτοβολταϊκά συστήματα φωτισμού μπορούν να χωριστούν σε AC πηγές φωτός και DC πηγές φωτός. Οι λάμπες φθορισμού και εκκένωσης/υψηλής έντασης (HID) είναι AC πηγές φωτός. Οι διόδοι εκπομπής φωτός (LED) και οι λαμπτήρες πυρακτώσεως (συμπεριλαμβανομένων και των λαμπτήρων αλογόνου) μπορεί να είναι DC πηγές φωτός.

Φωτοβολταϊκά συστήματα φωτισμού με χρήση AC πηγών φωτισμού, όπως λαμπτήρες φθορισμού ή υψηλής εκκένωσης (HID) που λειτουργούν με εναλλασσόμενου ρεύματος στραγγαλιστικά πηνία απαιτούν μετατροπείς για να μετατρέπουν το συνεχές ρεύμα σε εναλλασσόμενο. Από την άλλη, τα LED απαιτούν μόνο οδηγούς (drivers). Και οι δύο οδηγοί AC και DC είναι κατάλληλοι για τα LED. Οι DC οδηγοί δουλεύουν σε χαμηλή τάση συνεχούς ρεύματος και συνήθως χρησιμοποιούνται σε φωτοβολταϊκές εφαρμογές φωτισμού. Και οι δύο οδηγοί AC και DC διατηρούν κατάλληλη, σταθερή τάση λειτουργίας για τα LED. [11]

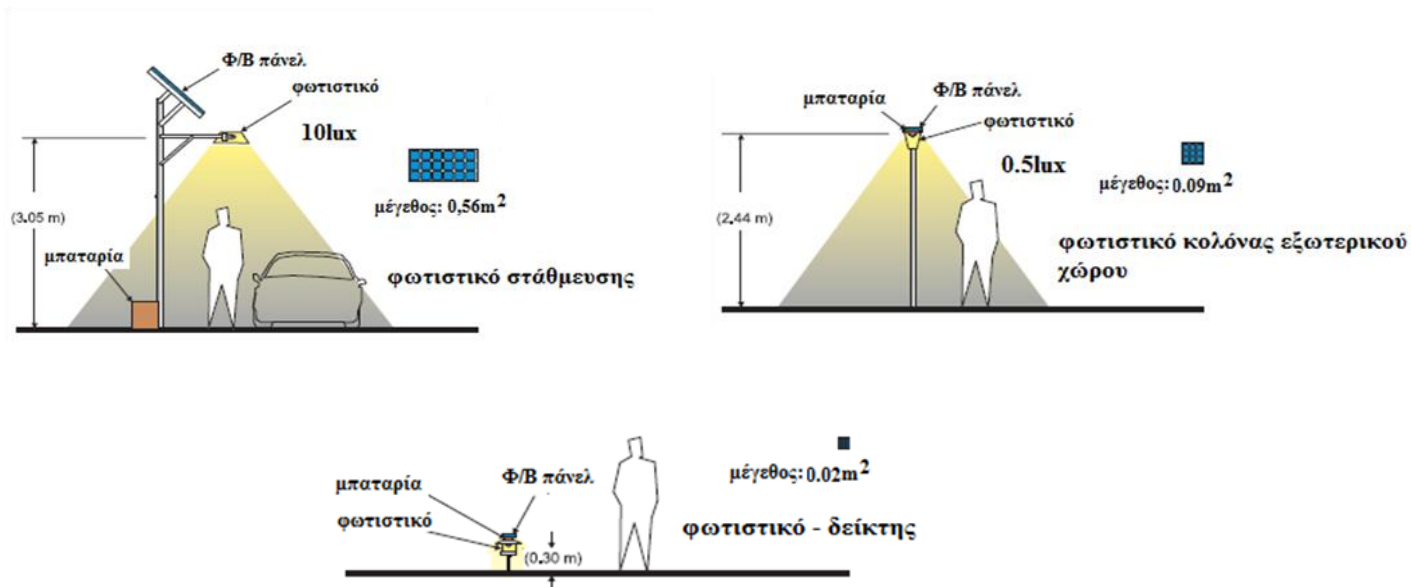


Εικόνα 2.9 Φωτοβολταϊκά Συστήματα Φωτισμού με διαφορετικές πηγές φωτός

#### 2.4.2 Παράγοντες που πρέπει να λαμβάνονται υπόψη κατά την επιλογή ενός φωτιστικού για φωτοβολταϊκό σύστημα φωτισμού:

Τα φωτιστικά σώματα για τα φωτοβολταϊκά συστήματα (Φ/Β) είναι παρόμοια με εκείνα για τα άλλα συστήματα φωτισμού. Ωστόσο, περισσότερα στοιχεία πρέπει να περιληφθούν σε Φ/Β - φωτιστικά από ότι με τα παραδοσιακά τροφοδοτούμενα από το δίκτυο φωτιστικά. Ο έλεγχος της εξόδου του φωτιστικού είναι μια λειτουργία των οπτικών στοιχείων του φωτιστικού (ανακλαστήρας, φακός). Η οπτική απόδοση ενός φωτιστικού καθορίζει το ποσοστό του φωτός εξόδου που μπορεί να αποδοθεί από την φωτεινή πηγή οπότε όσο πιο μεγάλη τόσο το καλύτερο. Προκύπτουν βέβαια ζητήματα της λάμψης, της διανομής του φωτός και της ομοιομορφίας του φωτισμού που πρέπει να επιλυθούν με κατάλληλο τρόπο.

Το παρακάτω σχήμα δείχνει κατά προσέγγιση το μέγεθος των φωτοβολταϊκών συστημάτων, τοποθετημένα επάνω σε κολώνες, που απαιτείται για την παροχή φωτός σε δύο διαφορετικά επίπεδα φωτισμού στο έδαφος: 10lux ή 0,5lux που προϋποθέτουν ένα φωτιστικό με μια πηγή φωτός και απόδοση 50%, το οποίο διανέμει ομοιόμορφα όλο το φως εξόδου σε μια κυκλική περιοχή με ακτίνα ίση με το ύψος του ιστού. Στην τρίτη περίπτωση που φαίνεται στο σχήμα, ένα σύστημα είναι σε θέση να παράσχει επαρκή φωτεινότητα για να λειτουργήσει ως φωτεινή ένδειξη, όπως φωτιστικό μονοπάτι στον κήπο:



Εικόνα 2.10 Τρεις τύποι Αυτόνομων Φωτοβολταϊκών Φωτιστικών Συστημάτων

Τα φωτοβολταϊκά συστήματα που απαιτούνται για να τροφοδοτήσουν μεγαλύτερα φωτιστικά 10 lux ή περισσότερο τείνουν να είναι μεγαλύτερα σε μέγεθος σε σύγκριση με το ίδιο φωτιστικό. Αυτό μπορεί να παρουσιάσει κάποια αισθητικά προβλήματα, ειδικά σε εφαρμογές όπου χρησιμοποιούνται διακοσμητικά φωτιστικά σώματα ή σε ιστορικές περιοχές, όπου το κοινό αναμένει τα φωτιστικά σώματα να έχουν το παραδοσιακό στυλ. Ο ιστός στήριξης για τα μεγαλύτερα συστήματα φωτοβολταϊκών θα πρέπει να είναι ισχυρός ώστε να τα υποστηρίξει και να αντέχει το φορτίο ανέμου στο σύστημα. Τέλος, σε δυσμενείς καιρικές συνθήκες απαιτείται σφραγιστό σύστημα για να στεγάσει τον συσσωρευτή. Όλα αυτά τα στοιχεία αυξάνουν το κόστος του συστήματος φωτισμού.

Αντίθετα, τα μικρότερης κλίμακας φωτιστικά που παρέχουν έως 0,5 lux στο έδαφος είναι πολύ πιο συμπαγή, και τόσο το πάνελ των φωτοβολταϊκών όσο και ο συσσωρευτής είναι αρκετά μικρά για να ενσωματωθούν μέσα στο σχεδιασμό του ίδιου του φωτιστικού. Λόγω του μικρού μεγέθους των εν λόγω φωτιστικών σωμάτων, ο ιστός στήριξης μπορεί επίσης να είναι μικρότερος.

Για τα χαμηλά επίπεδα φωτός, όπως τα 0,5 lux, μόνο οι δίοδοι εκπομπής φωτός (LED) και οι λαμπτήρες πυρακτώσεως είναι διαθέσιμοι σε πακέτα αρκετά μικρά για να παρέχουν αυτά τα επίπεδα αποτελεσματικά. Οι λαμπτήρες πυρακτώσεως δεν συνιστανται από την άλλη σε εφαρμογές που απαιτούν υψηλά επίπεδα φωτός και / ή που τοποθετούν τα φωτιστικά σώματα σε μεγάλο ύψος, επειδή θα χρειαστούν ένα μεγάλο πάνελ φωτοβολταϊκών για να πληροί τις απαιτήσεις ισχύος των φωτεινών πηγών. Ωστόσο, σε περιπτώσεις που το ύψος τοποθέτησης είναι χαμηλότερο ( [2,4 μ] ή λιγότερο), οι λαμπτήρες πυρακτώσεως είναι μια βιώσιμη επιλογή. Ωστόσο, τα LED είναι σε θέση να παρέχουν τα επίπεδα φωτός πιο αποτελεσματικά πάνω από το ευρύτερο φάσμα της τοποθέτησης. Αυτό συμβαίνει επειδή το φως εξόδου που παρέχεται από κάθε LED ως ατομική πηγή φωτός μπορεί να είναι πολύ μικρό, και μπορεί εύκολα να προσαρμοστεί με την προσθήκη επιπλέον LEDs σε ένα φωτιστικό σχεδιασμό για την αύξηση του φωτισμού, όταν χρειάζεται.[11]

## 2.5 Σύγκριση κόστους για αυτόνομα φωτοβολταϊκά συστήματα φωτισμού σε σχέση με τα συνδεδεμένα στο δίκτυο:

Η καλύτερη ανάλυση του κόστους ενός φωτοβολταϊκού συστήματος φωτισμού σε σύγκριση με ένα σύστημα φωτισμού συνδεδεμένο στο δίκτυο μπορεί να γίνει μέσω της ανάλυσης κόστους κύκλου ζωής (Life Cycle Cost) . Η LCC ανάλυση είναι μια μέθοδος αξιολόγησης που λαμβάνει υπόψη το σύνολο των εξόδων από την ιδιοκτησία ενός προϊόντος ή συστήματος σε μια χρονική περίοδο (συνήθως κατά τη διάρκεια ζωής του). Η LCC ανάλυση περιλαμβάνει τη διαχρονική αξία του χρήματος και υπολογίζει την παρούσα αξία όλων των εξόδων που αναμένεται να συμβούν.

Το κόστος από την ιδιοκτησία ενός συστήματος φωτισμού περιλαμβάνει την απόκτηση ή το κόστος του κεφαλαίου (C), το κόστος συντήρησης (M), το κόστος της ενέργειας (E), και το κόστος αντικατάστασης (R). Αυτό εκφράζεται από τον τύπο:  $LCC = C + M_{PW} + E_{PW} + R_{PW}$  , όπου ο "pw" δείκτης αναφέρεται στην παρούσα αξία του κάθε κόστους. (Sandia National Laboratories 2002? Messenger και Ventre 2004).

Γενικά, είναι δύσκολο να δικαιολογηθεί το υψηλότερο κόστος του κύκλου ζωής του αυτόνομου Φ/Β συστήματος φωτισμού όταν συγκρίνεται με συστήματα φωτισμού συνδεδεμένα σε δίκτυο, σε εφαρμογές όπου το ηλεκτρικό δίκτυο είναι προσβάσιμο, ο φωτισμός πρέπει να λειτουργεί με αξιοπιστία στη διάρκεια της νύχτας, ανά πάσα στιγμή του έτους και όπου απαιτούνται σχετικά υψηλά επίπεδα φωτισμού κατά τη διάρκεια της νύχτας (π.χ. 1 lux ή περισσότερο). Αυτό συμβαίνει κυρίως επειδή το υψηλότερο κόστος κεφαλαίου της φωτοβολταϊκής εγκατάστασης δεν μπορεί να αντισταθμιστεί από την εξοικονόμηση του κόστους ενέργειας που επιτυγχάνεται από το σύστημα.

Και οι δύο περιπτώσεις συστημάτων απαιτούν ένα φωτιστικό, ένα στύλο ή άλλο σύστημα στήριξης, και μια λάμπα. μια απλή σύγκριση των συγκεκριμένων δαπανών είναι δύσκολο να γίνει διότι σε ορισμένες περιπτώσεις, μπορεί να είναι οι ίδιες για κάθε σύστημα και σε άλλες περιπτώσεις, το κόστος μπορεί να διαφέρει. Για παράδειγμα, στην περίπτωση ενός μεγάλου φωτοβολταϊκού συστήματος φωτισμού, ο στύλος και όλη η εγκατάσταση στήριξης ενδέχεται να πρέπει να είναι σημαντικά ισχυρότερη για να αντέξει το βάρος και το φορτίο του ανέμου στο πάνελ των φωτοβολταϊκών. Αυτό θα προσθέσει στο κόστος του συστήματος. Επίσης για κάθε σύστημα απαιτείται η αγορά και εγκατάσταση των φωτοβολταϊκών πάνελ, ένα συσσωρευτή (ο οποίος κατά κανόνα πρέπει να αντικαθίσταται κάθε πέντε χρόνια), και άλλες ηλεκτρονικές συσκευές, όπως ο ελεγκτής. Το συνδεδεμένο στο δίκτυο σύστημα φωτισμού απαιτεί καλωδίωση για τη σύνδεση του συστήματος με το δίκτυο. Το κόστος συντήρησης της φωτοβολταϊκής εγκατάστασης φωτισμού θα είναι επίσης κατά κανόνα μεγάλο λόγω της εργασίας αντικατάστασης συσσωρευτή, και επειδή το πάνελ φωτοβολταϊκών αποτελεί μια επιφάνεια που επίσης χρειάζεται καθαρισμό. [11]

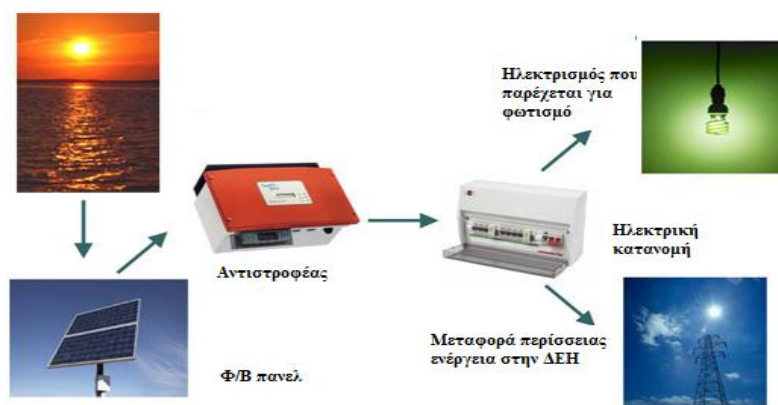
### 2.5.1 Παράδειγμα κοστολόγησης διασυνδεδεμένου συστήματος – αυτόνομου συστήματος:

Α. Το κεφάλαιο που χρειάζεται κάποιος για ένα μικρό φωτοβολταϊκό σύστημα είναι ανάλογα με το μέγεθος της εγκατάστασης που θέλει να κάνει. Έτσι για παράδειγμα αν κάποιος τοποθετήσει 1 φωτοβολταϊκό πάνελ των 200 Watt (μαζί με τα λοιπά εξαρτήματα) σε μια σκεπή για να πουλήσει το ρεύμα που παράγει στην ΔΕΗ θα χρειαστεί από 700 έως 1100 ευρώ. Εάν πάλι τοποθετήσει φωτοβολταϊκό σύστημα των 5KW οι τιμές θα κυμαίνονται από 17.500 έως 27.500 ευρώ.

Το κύριο μέρος του κόστους της εγκατάστασης αφορά τα φωτοβολταϊκά πλαίσια (ή πάνελ ή συλλέκτες ή πανέλα (**50% - 70% του συνολικού κόστους**)). Το υπόλοιπο κόστος επιμερίζεται στους αντιστροφείς, το σύστημα στήριξης και κατά δεύτερο λόγο στις καλωδιώσεις και ηλεκτρολογικούς πίνακες (ασφάλειες, διακόπτες, αντικεραυνικά κλπ). Γενικά λοιπόν το κόστος και οι τιμές για ένα σταθερό φωτοβολταϊκό σύστημα στην Ελληνική αγορά κυμαίνεται από 2.300 έως 3.400 ευρώ ανά kW ή 2,3 έως 3,4 ευρώ ανά Watt. Φυσικά η αναλογία τιμή/Watt μειώνεται όσο μεγαλύτερο είναι το μέγεθος της εγκατάστασης.

Τα έσοδα τώρα εξαρτώνται από την ενέργεια που παράγει το φωτοβολταϊκό σύστημα. Κοντά στο σημείο σύνδεσης του φωτοβολταϊκού συστήματος με το δίκτυο της ΔΕΗ θα υπάρχει ένας διπλός μετρητής (ο ίδιος και για την ενέργεια που καταναλώνουμε) που θα μετράει την ενέργεια που παράγει το φωτοβολταϊκό σύστημα σε κιλοβατώρες (kWh). Αυτήν την ενέργεια η ΔΕΗ είναι υποχρεωμένη να την αγοράζει πληρώνοντας **0,55 σεντς ανά κιλοβατώρα** ( 0,55 euro cents/kWh ). Αυτό σημαίνει ότι εάν για κάποιον μήνα παραχθούν για παράδειγμα 100 κιλοβατώρες (100kWh) η ΔΕΗ θα πρέπει να πληρώσει 55 ευρώ στον ιδιώτη. Συνεπώς ανάλογα με την ενέργεια που παράγει το σύστημα έχουμε και τα αντίστοιχα έσοδα σε ευρώ πολλαπλασιάζοντας τις κιλοβατώρες που παράγει με το 0,55.

Όσον αφορά την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από τον ήλιο, αυτή θεωρείται εξαιρετικά προβλέψιμη. Σε γενικές γραμμές, ένα φωτοβολταϊκό σύστημα στην Ελλάδα παράγει κατά μέσο όρο ετησίως περί τις 1.150-1.400 κιλοβατώρες ανά εγκατεστημένο κιλοβάτ (KWh/έτος/KW). [21]



Εικόνα 2.11 Διανομή ενέργεια σε σύστημα συνδεδεμένο με το δίκτυο της ΔΕΗ.

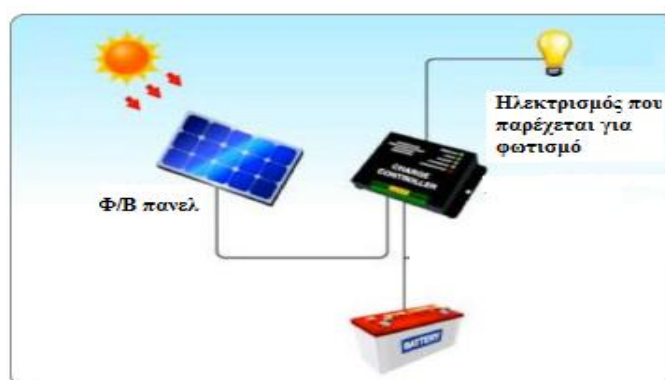


**Β. Σε ένα αυτόνομο σύστημα** ο καταναλωτής καλύπτει το σύνολο των ενεργειακών αναγκών ενός κτιρίου ή μιας επαγγελματικής χρήσης χωρίς να τροφοδοτείται από την ΔΕΗ ενώ σε ορισμένες περιπτώσεις, τα αυτόνομα φωτοβολταϊκά χρησιμοποιούνται και για παροχή ηλεκτρικής ενέργειας εφεδρείας, δηλαδή ως συστήματα αδιάλειπτης παροχής - UPS. Στην δεύτερη περίπτωση το σύστημα είναι μεν διασυνδεδεμένο με τη ΔΕΗ, αλλά διαθέτει και συσσωρευτές για να αναλαμβάνει την κάλυψη των αναγκών σε περίπτωση διακοπής του ρεύματος και για όσο διαρκεί. Η διαμόρφωση του κόστους με ποσοστιαίες μονάδες έχει ως εξής:

Πίνακας 2.1 Κοστολόγηση αυτόνομου συστήματος

Παράγοντας κόστους:	Συμβολή στο συνολικό κόστος:	Σημερινές τιμές για μικρή εγκατάσταση 120Wp:
Φ/Β πλαίσια ή πανέλα	65%	259 € – 400 € , ανάλογα με την εταιρεία.
Στηρίγματα Φ/Β συλλεκτών και καλωδιώσεις στοιχείων	5%	50 € - 100 € για τα στηρίγματα. 40 € - 50 € για τις καλωδιώσεις.
Συσσωρευτές αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας	15%	90€ - 200€ για κλειστού τύπου AGM επαναφορτιζόμενη αναλόγως του μεγέθους και της αυτονομίας για την οποία προορίζεται.
Διατάξεις ρυθμίσεων τάσης και ισχύος, μετατροπής τάσης, προστασίας ελέγχου κλπ.	12%	30 € - 100 € για ρυθμιστή 130€ - 250 € για το μετατροπέα DC/AC
Λαμπτήρες – φωτιστικά	1%	10€ - 40€ (LEDs) αναλόγως των lumens.
Σχεδιασμός – συντήρηση	2%	

Κατά κανόνα τα φωτοβολταϊκά συστήματα που έχουν εγκατασταθεί ως σήμερα στην Ελλάδα εξυπηρετούν απομονωμένες χρήσεις, σε σημεία όπου δεν υπάρχει δίκτυο της ΔΕΗ, επειδή στις περιπτώσεις αυτές η οικονομική βιωσιμότητα του συστήματος είναι πολύ πιο εμφανής. Σε αυτές τις περιπτώσεις, η εναλλακτική λύση μιας ηλεκτρογεννήτριας αποδεικνύεται μακροπρόθεσμα εξαιρετικά ακριβή. [11]



Εικόνα 2.12 Αυτόνομο σύστημα φωτισμού

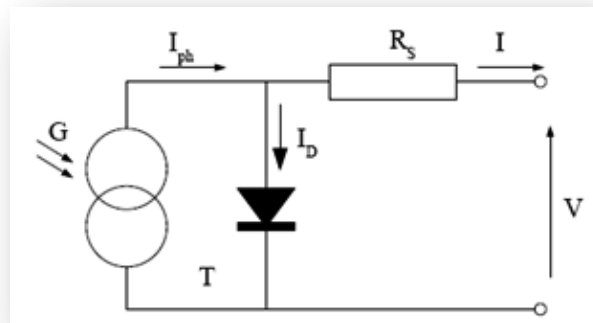
## Κεφάλαιο 3<sup>ο</sup>

### Στοιχεία Αυτόνομου Φωτοβολταϊκού συστήματος.

#### 3.1 Φωτοβολταϊκό Πλαίσιο.

##### 3.1.1 Ηλεκτρικό ισοδύναμο φωτοβολταϊκού στοιχείου.

Ένα απλό φωτοβολταϊκό κύτταρο είναι ουσιαστικά μια ιδανική πηγή ρεύματος παράλληλα συνδεδεμένη με μια ιδανική δίοδο. Η πηγή ρεύματος αντιπροσωπεύει το ρεύμα που παράγεται από το φωτοβολταϊκό λόγω των φωτονίων που απορροφά και είναι σταθερό κάτω από σταθερές συνθήκες ακτινοβολίας και θερμοκρασίας. Τα δύο χαρακτηριστικά του μεγέθη είναι η τάση ανοιχτοκύκλωσης και το ρεύμα βραχυκύκλωσης που δίνονται από το κατασκευαστή.



Εικόνα 3.1 Κυκλωματικό ισοδύναμο φωτοβολταϊκού στοιχείου

Το ρεύμα εξόδου του φωτοβολταϊκού υπολογίζεται από την διαφορά του ρεύματος δίοδου από το φωτόρευμα:

$$I = I_{ph} - I_D \quad (3.1)$$

Όπου το  $I_{ph}$  είναι το ρεύμα βραχυκύκλωσης που ισοδυναμεί με το παραγόμενο φωτόρευμα και το  $I_D$  είναι το ρεύμα που ρέει μέσω τις εσωτερικής δίοδου. Το ρεύμα τις δίοδου δίνεται από την εξίσωση τις δίοδου Shockley:

$$I_D = I_0 * \left( e^{q * \frac{(V + R_s * I)}{k * T * m}} - 1 \right) \quad (3.2)$$

Όπου  $I_0$  : ρεύμα ανάστροφης πόλωσης δίοδου

$q$  : στοιχειώδες ηλεκτρικό φορτίο ( $1,602 * 10^{-23}$  C)

$V$  : τάση κατά μήκος του κελιού (V)

$I$  : ρεύμα εξόδου (A)

$k$  : σταθερά του Boltzmann ( $1,381 * 10^{-23}$  J/K)

T : θερμοκρασία σε βαθμούς Kelvin (K)

m : παράγοντας εκπομπής (1-2 αναλόγως του υλικού)

$V_T = k \cdot T / q = 25,7 \text{ mV}$  : θερμική τάση ( $25^\circ\text{C}$ )

Συνδυάζοντας την εξίσωση του ρεύματος διόδου με αυτήν του ρεύματος εξόδου του φωτοβολταϊκού παίρνουμε:

$$I = I_{ph} - I_o * \left( e^{q * \frac{(V+R_s * I)}{k * T * m}} - 1 \right) \quad (3.3)$$

Αν θέσουμε  $I = 0$  έχουμε το ρεύμα ανάστροφης πόλωσης τις διόδου:

$$0 = I_{ph} - I_o * \left( e^{q * \frac{(V+0)}{k * T * m}} - 1 \right) \quad (3.4)$$

$$I_o = \frac{I_{ph}}{\left( e^{q * \frac{V}{k * m * T}} - 1 \right)} \quad (3.5)$$

Λύνοντας την παραπάνω εξίσωση ως προς την τάση στα άκρα του φωτοβολταϊκού παίρνουμε:

$$V = m * N * V_T * \ln\left(\frac{I_{ph} - I}{I_o} + 1\right) - R_s * I \quad (3.6)$$

Τέλος, όσον αφορά στα δύο χαρακτηριστικά μεγέθη των  $\phi/\beta$ , το ρεύμα βραχυκύκλωσης είναι η μέγιστη τιμή που μπορεί να παραχθεί από το  $\phi/\beta$  όταν  $V=0$  και η τάση ανοιχτοκύκλωσης αντιστοιχεί στην πτώση τάσης κατά μήκος τις διόδου (p-n junction) όταν διαρρέεται μόνο από το φωτόρρευμα, πιο πρακτικά όταν το ρεύμα εξόδου  $I=0$ . Μαθηματικά η τάση ανοιχτοκύκλωσης δίνεται:

$$V_{oc} = m * N * V_T * \ln\left(\frac{I_{ph}}{I_o} + 1\right) \quad (3.7)$$

Η βέλτιστη τιμή της αντίστασης  $R_s$  είναι η τιμή για την οποία η ισχύς γίνεται μέγιστη και υπολογίζεται από την πρώτη παράγωγο της σχέσης (3.4) :

$$\frac{I_{ph}}{I_o} + 1 = \left( 1 + \frac{q * V_m}{n * k * T} \right) * e^{\left(\frac{q * V_m}{n * k * T}\right)} \quad (3.8)$$

Όπου  $V_m$ : τάση στο μέγιστο σημείο λειτουργίας.

Τέλος, η ισχύς στο μέγιστο σημείο λειτουργίας δίνεται από το τύπο:

$$PMPP = FF * \frac{\left( \frac{V_{oc}}{\left( 1 + \beta \ln\left(\frac{G_o}{G}\right)} - \gamma(T - T_o) \right) a G}{G_o} \right)}{G_o} \quad (3.9)$$

Συντελεστής πλήρωσης φωτοβολταϊκού λέγεται ο λόγος της μέγιστης ισχύος  $I_m \cdot V_m$  προς το γινόμενο της τάσης ανοιχτοκύκλωσης με το ρεύμα βραχυκύκλωσης  $V_{oc} \cdot I_{sc}$  και αντιπροσωπεύει το λόγο του εμβαδού του μέγιστου ορθογωνίου που μπορεί να εγγραφεί στη χαρακτηριστική καμπύλη I-V του στοιχείου υπό συνθήκες ακτινοβολίας, προς το εμβαδόν που ορίζεται από τις τιμές  $I_{sc}$  και  $V_{oc}$ .

$$FF = \frac{I_m \cdot V_m}{I_{sc} \cdot V_{oc}} \quad (3.10)$$

Οι παράμετροι FF,  $I_{sc}$  και  $V_{oc}$  είναι οι πλέον απαραίτητες για την απόδοση του φωτοβολταϊκού στοιχείου και επιδιώκεται να είναι όσο δυνατόν μεγαλύτερες.

Η απόδοση δίνεται από την σχέση :

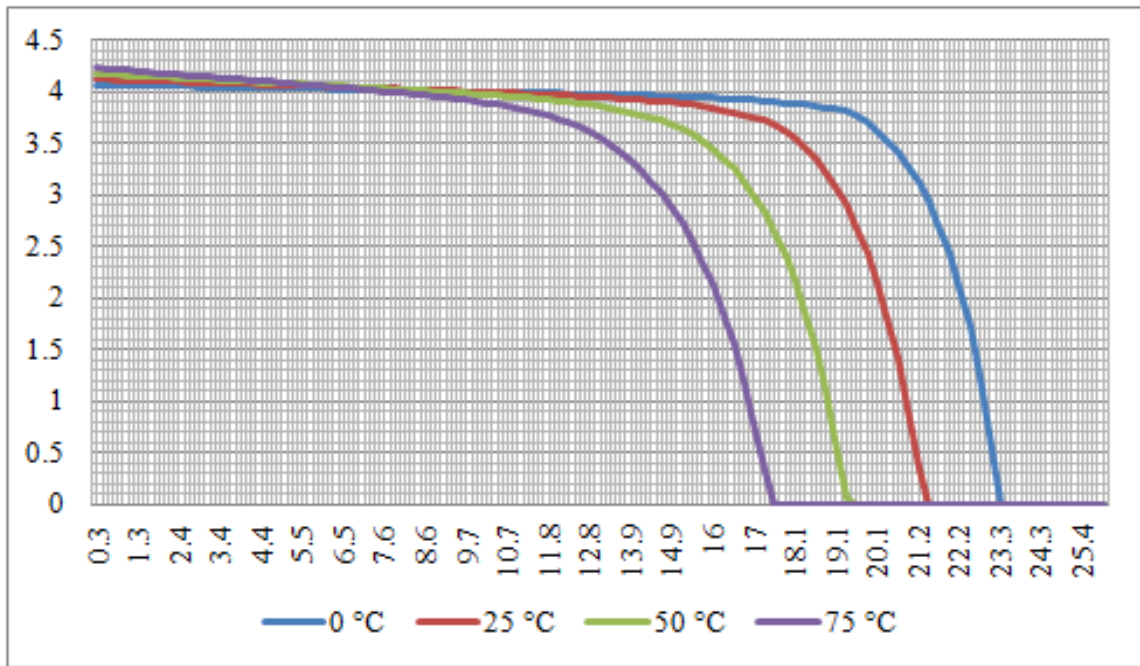
$$N = \frac{(FF) \cdot I \cdot V}{H \cdot X \cdot A} \quad (3.11)$$

Όπου H είναι η ένταση (πυκνότητα ισχύος) της ακτινοβολίας που δέχεται η επιφάνεια του φωτοβολταϊκού στοιχείου εμβαδού A. [10]

### 3.1.2 Καμπύλη I – V του φωτοβολταϊκού

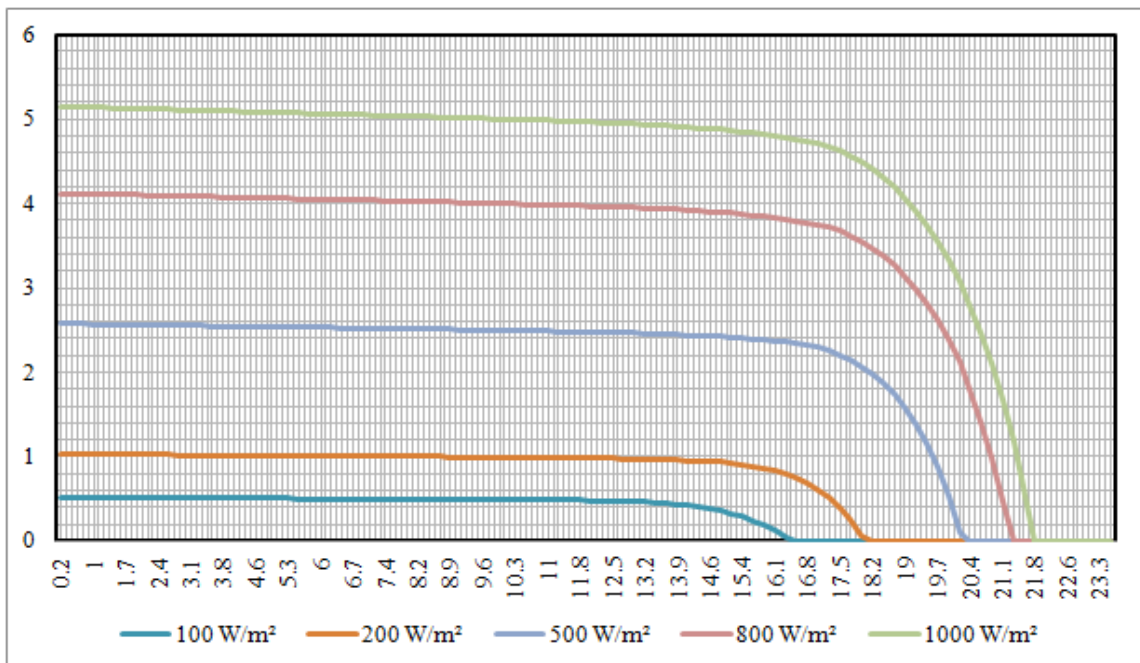
Ως πηγή ηλεκτρικής ενέργειας το φωτοβολταϊκό στοιχείο έχει μια αρκετά ασυνήθιστη συμπεριφορά. Σε αντίθεση με τις περισσότερες κοινές ηλεκτρικές πηγές οι οποίες διατηρούν περίπου σταθερή τάση στη περιοχή της κανονικής τους λειτουργίας, η τάση των φωτοβολταϊκών στοιχείων μεταβάλλεται μη γραμμικά σε συνάρτηση με την ένταση του ρεύματος που δίνουν στο κύκλωμα, έστω και αν η ακτινοβολία που δέχονται παραμένει σταθερή. Για σταθερές συνθήκες ακτινοβολίας αλλά μεταβαλλόμενες τιμές της αντίστασης του κυκλώματος ανάμεσα στις ακραίες καταστάσεις ανοιχτοκύκλωσης και βραχυκύκλωσης, η τάση και η ένταση του ρεύματος παίρνουν ενδιάμεσες τιμές από μηδέν μέχρι άπειρο. Παράλληλα μεταβάλλεται ομαλά και η ισχύς που παράγει το στοιχείο, με μέγιστη  $P_m$  σε ένα ορισμένο ζεύγος τιμών τάσης και έντασης  $V_m - I_m$ . Το ζεύγος αυτό όπως αναφέρθηκε σε συνδυασμό με τις τιμές  $V_{oc} - I_{sc}$  καθορίζουν τον συντελεστή απόδοσης του στοιχείου. Επομένως, είναι πολύ σημαντικό η αντίσταση του κυκλώματος που τροφοδοτείται από το φωτοβολταϊκό στοιχείο να έχει κατάλληλη τιμή ώστε στις συγκεκριμένες συνθήκες ακτινοβολίας να παράγεται από το στοιχείο η μεγαλύτερη δυνατή ηλεκτρική ισχύς. [5]

Οι καμπύλες που ακολουθούν είναι υπολογισμένες μέσω της προσομοίωσης που έγινε και περιγράφεται στα κεφάλαια 4 και 5 για το συγκεκριμένο φωτοβολταϊκό πάνελ που επιλέχθηκε για την πραγματική εγκατάσταση και βάση αυτού παρουσιάζονται οι μεταβολές και οι εξαρτήσεις όπως θα περιγραφούν στη συνέχεια.



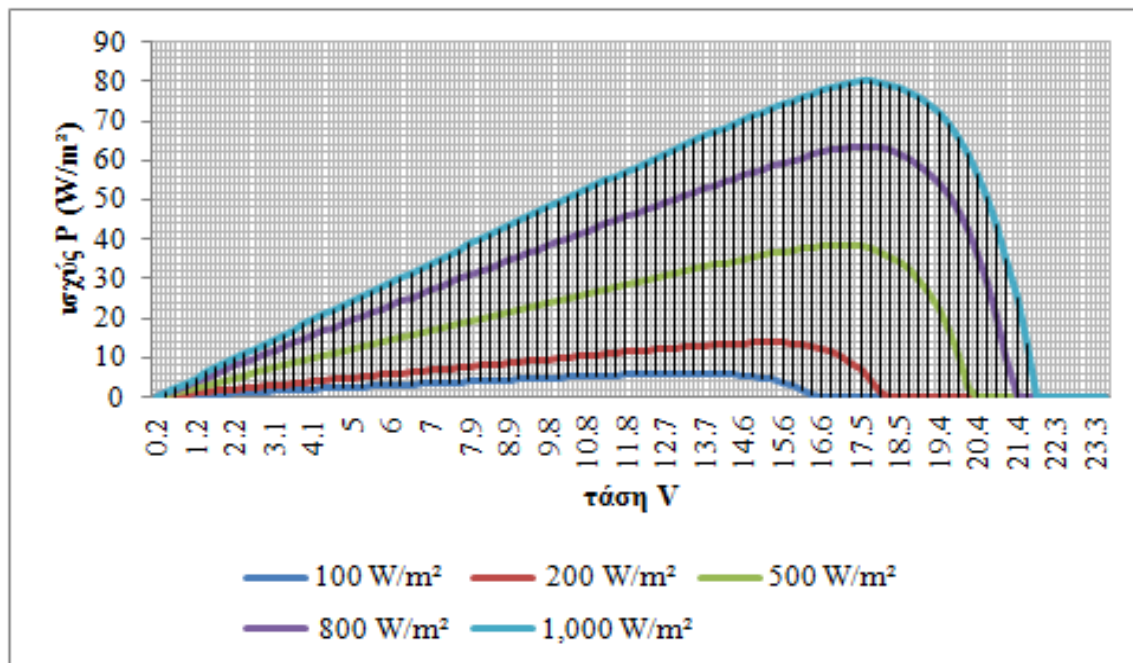
Εικόνα 3.2 Καμπύλη I – V φωτοβολταϊκού υπό σταθερή ακτινοβολία 1000W/m<sup>2</sup>

Παρατηρείται από την καμπύλη ότι αυξανόμενης της θερμοκρασίας η τάση εξόδου του φωτοβολταϊκού και η ένταση μειώνονται οπότε το μέγιστο σημείο λειτουργίας της καμπύλης μετατοπίζεται προς τα αριστερά(Pm).



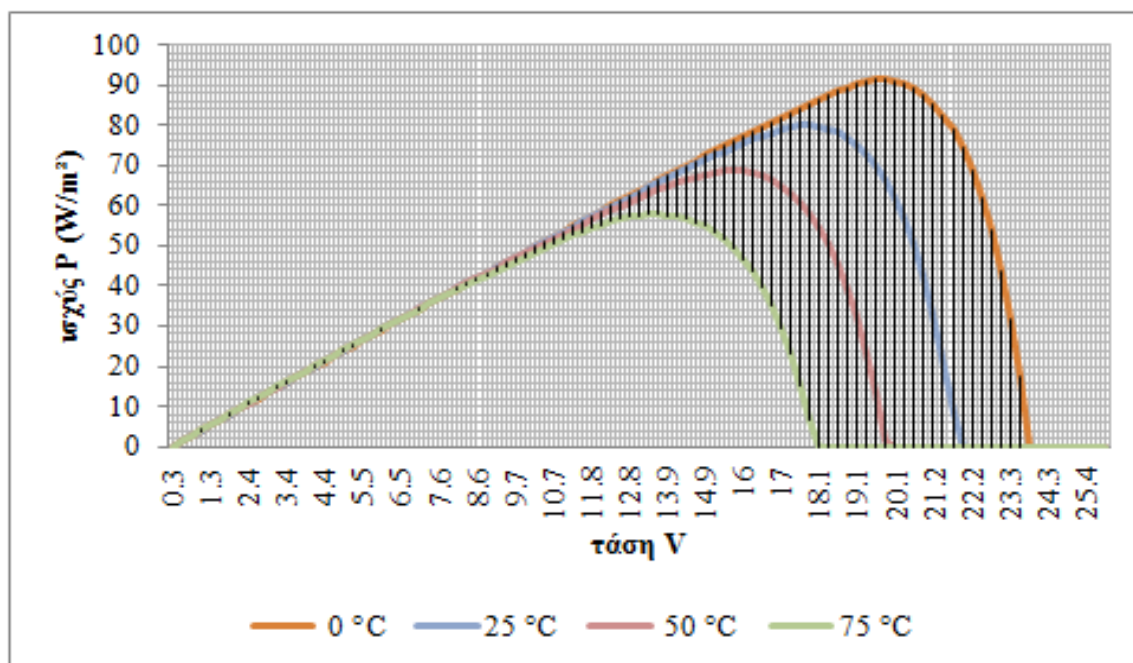
Εικόνα 3.3 Καμπύλη I – V φωτοβολταϊκού υπό σταθερή θερμοκρασία 25°C

Αυξανόμενη της έντασης της ακτινοβολίας ανά μονάδα επιφάνειας αυξάνεται και η μέγιστη παραγόμενη ισχύς από το φωτοβολταϊκό. Το μέγιστο σημείο λειτουργίας μετατοπίζεται προς τα δεξιά και πάνω.



Εικόνα 3.4 Καμπύλες P-V υπό σταθερή θερμοκρασία 25°C

Στις δύο καμπύλες ισχύος – τάσης φαίνεται καθαρά η εξάρτηση της απόδοσης του φ/β από θερμοκρασία και ένταση ακτινοβολίας καθώς και η μετατόπιση του γόνατου της καμπύλης.



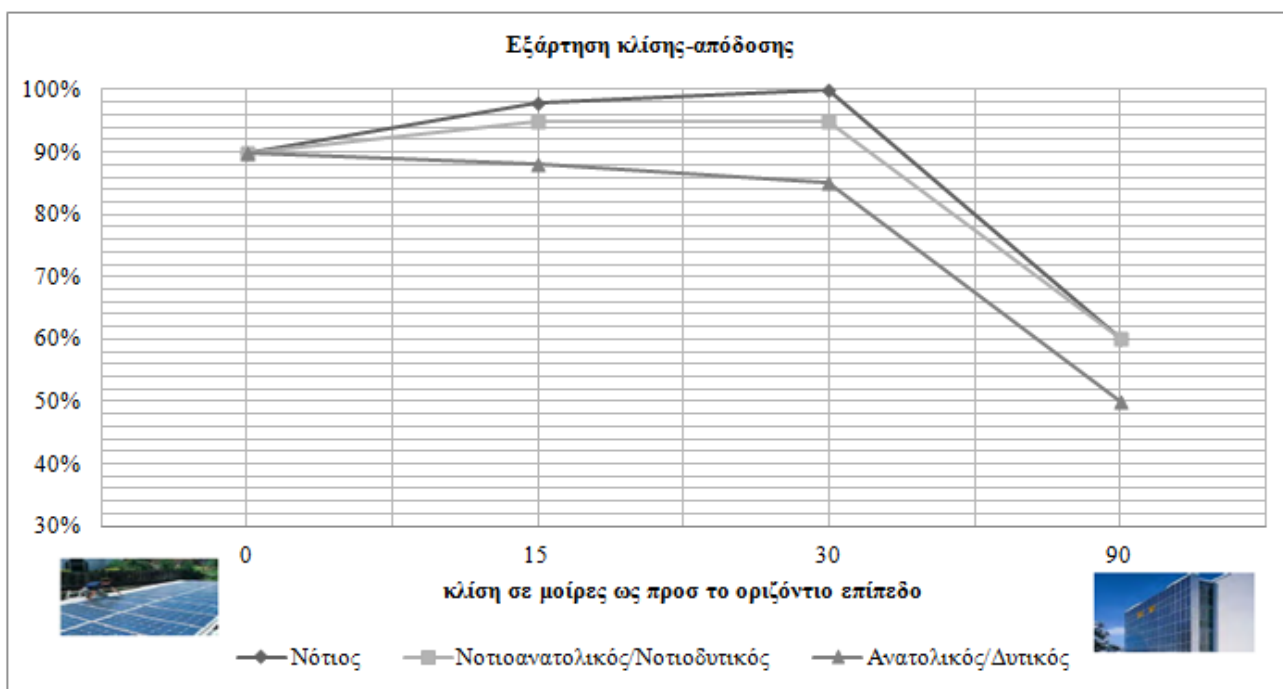
Εικόνα 3.5 Καμπύλες P-V υπό σταθερή ακτινοβολία 1000W/m<sup>2</sup>

### 3.1.3 Απόδοση φωτοβολταϊκού στοιχείου - Παράγοντες που επηρεάζουν την απόδοση:

Η απόδοση της Φ/Β μετατροπής ορίζεται ως η μέγιστη ηλεκτρική ισχύς που παράγεται από τα φωτοβολταϊκά κύτταρα που χωρίζονται από την επικείμενη ενέργεια των φωτονίων και μετρείται σε σχέση με τις πρότυπες καταστάσεις δοκιμής (STC). **Οι πρότυπες καταστάσεις δοκιμής συνδυάζουν την ακτινοβολία μια θερινής μέρας, την θερμοκρασία κυττάρου μιας χειμερινής μέρας και το ηλιακό ηλεκτρομαγνητικό φάσμα μιας ανοιξιότικης μέρας.** Αυτές οι καταστάσεις μέτρησης δεν αντιπροσωπεύουν φυσικά την πραγματική λειτουργία του φωτοβολταϊκού. Για το βέλτιστο σχεδιασμό των Φ/Β συστημάτων είναι επιθυμητό να μετρηθούν οι μακροπρόθεσμες αποδόσεις τους στην περιοχή εγκατάστασης. Η εκτίμηση της απόδοσης των φωτοβολταϊκών κυττάρων απαιτεί την μέτρηση του ρεύματος ως λειτουργία της ηλεκτρικής τάσης, της θερμοκρασίας, της έντασης της ταχύτητας του ανέμου και της ακτινοβολίας του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος.

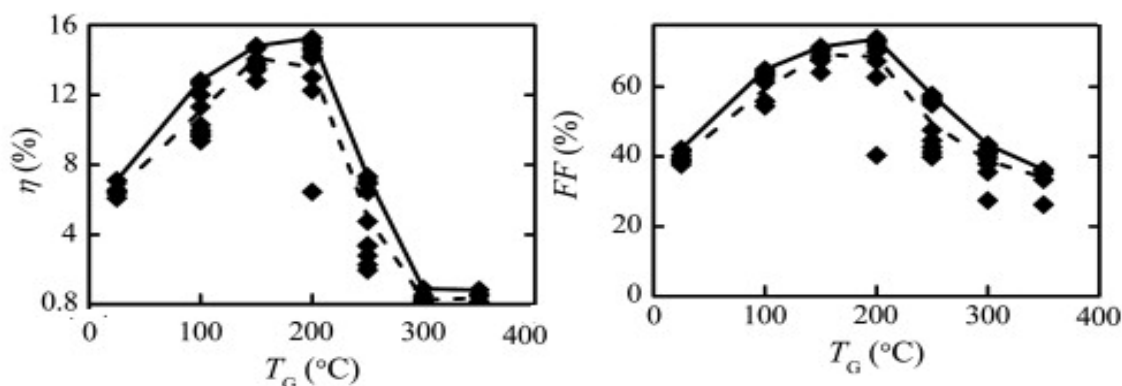
- Ο συντελεστής ωμικών απωλειών στη γραμμή σύνδεσης του φ/β συστήματος με το δίκτυο : επιλέγουμε τέτοια διάμετρο καλωδίου ώστε οι ωμικές αντιστάσεις των καλωδίων να είναι της τάξης του 2%.
- Η αντίσταση του κυκλώματος: Η ισχύς που παράγεται από το φ/β στοιχείο και αποδίδεται στην αντίσταση  $R_L$  (φορτίο καταναλωτή) είναι:  $P_L = V_L \cdot I_L = R_L \cdot I_L^2$  . Η αποδιδόμενη ισχύς γίνεται προφανώς μέγιστη για μια ορισμένη τιμή της αντίστασης  $R_L = R_m$ , που αντιστοιχεί στο Σημείο Μέγιστης Ισχύος.
- Ο συντελεστής γήρανσης του φ/β στοιχείου: τα φ/β στοιχεία με την πάροδο του χρόνου παρουσιάζουν σημάδια φθοράς, τα οποία οδηγούν σε ελάττωση της συνολικής τους ισχύος. Τα σύγχρονα φ/β πλαίσια έχουν ένα βαθμό μείωσης της απόδοσης τους της τάξης του 0,8% ετησίως (οι κατασκευαστές δηλώνουν ότι εξασφαλίζουν το 80% της αποδοτικότητάς τους μετά την παρέλευση 25ετίας).
- Οπτικές ενεργειακές απώλειες: οι οπτικές απώλειες οφείλονται σε πολλούς παράγοντες. Οι κυριότεροι από αυτούς είναι:
  - α) η διαφοροποίηση ανακλαστικότητας του φ/β πλαισίου σε σχέση με την αντίστοιχη σε εργαστηριακές συνθήκες ελέγχου, με μέση ετήσια τιμή των απωλειών αυτών ~3%,
  - β) οι απώλειες διαφοροποίησης της πόλωσης της προσπίπτουσας ακτινοβολίας με μέση ετήσια απώλεια ~2%,
  - γ) η καθαρότητα του πλαισίου με ~1,5% μέση ετήσια απώλεια. Ένας αντιπροσωπευτικός μέσος ετήσιος συντελεστής οπτικών απωλειών κυμαίνεται ανάλογα με την καθαρότητα της επιφάνειας του φ/β πλαισίου από 7%~10%.
- Η δίοδος αντεπιστροφής: εμποδίζει την εκφόρτιση του ηλεκτρικού συσσωρευτή διαμέσου του φ/β πλαισίου, όταν αυτό δεν φωτίζεται κατά τις νυχτερινές ώρες. Είναι εγκατεστημένη στο πλαίσιο από τον κατασκευαστή σε όλα τα πλαίσια, ανεξαρτήτως εάν αυτά θα χρησιμοποιηθούν για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας απευθείας στο δίκτυο ή θα την αποθηκεύσουν σε συσσωρευτές. Έτσι θα πρέπει να λαμβάνεται πάντα υπόψη ανεξάρτητα της μικρής τιμής της ~1%.

- **Γωνία:** Είναι απαραίτητη η τοποθέτηση συλλεκτών στην κατάλληλη γωνία σύμφωνα με την γωνία πρόσπτωσης του φωτός. Για μεγαλύτερη απόδοση των στοιχείων είναι καλύτερο η κλίση να μην μένει σταθερή όλο τον χρόνο. Για την Αθήνα μια καλή λύση είναι να τοποθετούνται οι συλλέκτες υπό κλίση  $60^\circ$  τους χειμερινούς μήνες και  $30^\circ$  τους θερινούς. [16]



Εικόνα 3.6 Βέλτιστη γωνία κλίσης Φ/Β για μέγιστη απόδοση ισχύος ανάλογα με το προσανατολισμό και την κλίση.

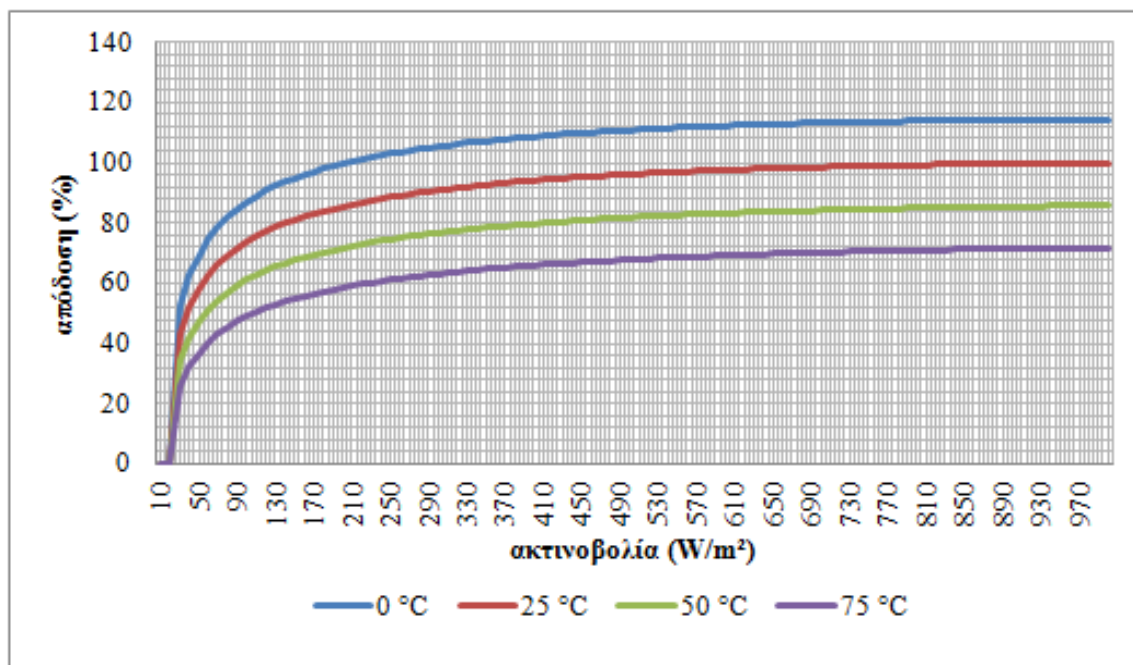
- **Η θερμοκρασία:** επιδρά αρνητικά στην απόδοση των φωτοβολταϊκών. Με την αύξηση της προκαλείται αύξηση της ενδογενούς συγκέντρωσης των φορέων του ημιαγωγού, με αποτέλεσμα να πραγματοποιούνται περισσότερες επανασυνδέσεις φορέων. Έτσι εκδηλώνεται ισχυρότερο ρεύμα διαρροής διαμέσου της διόδου, που συνεπάγεται μείωση της Voc και του FF.



Εικόνα 3.7 Εξάρτηση απόδοσης  $\eta$ (%) και παράγοντα πλήρωσης FF(%) Φ/Β στοιχείου από θερμοκρασία



- Η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας: Αυξανόμενη της ηλιακής έντασης έχουμε γραμμική αύξηση του παραγομένου φωτορεύματος και λογαριθμική αύξηση της τάσης της ανοικτοκυκλωμένης φ/β κυψέλης.



Εικόνα 3.8 Καμπύλη απόδοσης Φ/Β – εξάρτηση από ακτινοβολία για διαφορετικές θερμοκρασίες περιβάλλοντος

**Για μεγιστοποίηση της απόδοσης των φωτοβολταϊκών γεννητριών γενικότερα και την αντιμετώπιση του προβλήματος της μικρής πυκνότητας ισχύος της ηλιακής ακτινοβολίας μπορούν να εφαρμοστούν οι παρακάτω μέθοδοι:**

1. Τοποθέτηση ηλιακών στοιχείων σε κινητά πλαίσια που περιστρέφονται και παρακολουθούν συνεχώς της πορεία του ήλιου ώστε να δέχονται κάθετα τη δέσμη της ηλιακής ακτινοβολίας.
2. Συγκέντρωση ηλιακής ακτινοβολίας με φακούς ή κάτοπτρα και η εστίασή της πάνω στα ηλιακά στοιχεία. (απαιτείται και τεχνητή ψύξη)
3. Υποδοχή της ακτινοβολίας και στις δύο όψεις του φωτοβολταϊκού στοιχείου με διαμόρφωση και των δύο ηλεκτροδίων του σε μορφή σχάρας.
4. Ανάλυση της ηλιακής ακτινοβολίας με πρίσματα ή φίλτρα και κατεύθυνση των διαφορετικών δεσμών σε διαφορετικά φωτοβολταϊκά στοιχεία κατασκευασμένα από ημιαγωγούς με το κατάλληλο ενεργειακό διάκενο για την κάθε δέσμη.
5. Τοποθέτηση πολλών φωτοβολταϊκών στοιχείων στη σειρά με βαθμιαία μειούμενο ενεργειακό διάκενο.

### 3.1.4 Υπολογισμός θερμοκρασιακού Συντελεστή-σθ και Συντελεστή Ρύπανσης-σρ:

Σε συμβατική θερμοκρασία ο  $\sigma_{\theta}$  είναι ίσος με την μονάδα ενώ για τα συνηθισμένα ηλιακά στοιχεία πυριτίου του εμπορίου μειώνεται κατά περίπου 0,005 ανά βαθμό αύξησης της θερμοκρασίας πάνω από αυτή. Αν ο συντελεστής απόδοσης του στοιχείου σε μια συμβατική θερμοκρασία είναι  $n$ , η τιμή του σε διαφορετική θερμοκρασία  $\theta$  θα είναι :

$$n_{\theta} = n \times \sigma_{\theta} \quad (3.11)$$

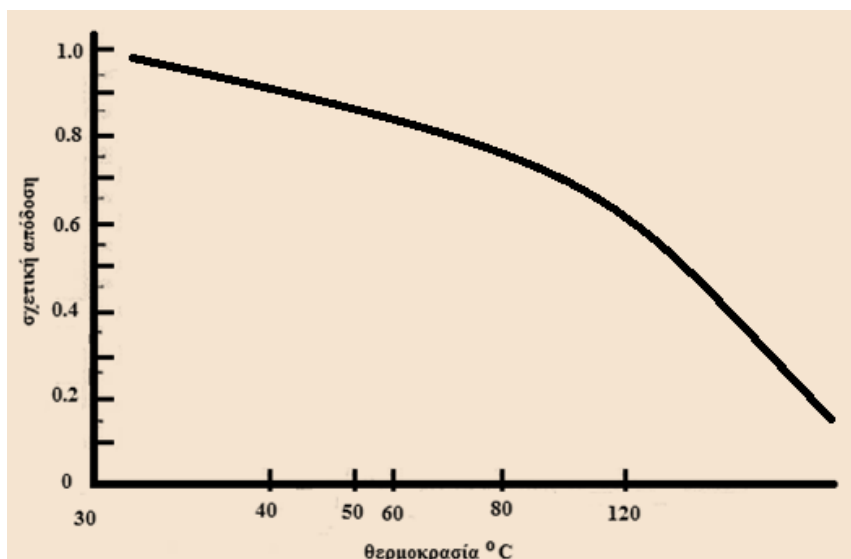
Όπου  $\sigma_{\theta}$  είναι ένας αδιάστατος συντελεστής της θερμοκρασιακής διόρθωσης της απόδοσης. Πιο συγκεκριμένα, για τον ακριβή υπολογισμό του θερμοκρασιακού συντελεστή χρησιμοποιούμε τον παρακάτω τύπο:

$$\sigma_{\theta} = 1,00 - (\theta - 20) * 0,005 \quad (3.12)$$

όπου  $\theta^{\circ}\text{C}$  είναι η μέση θερμοκρασία του αέρα τις φωτεινές ώρες της ημέρας .

Όσον αφορά τον συντελεστή ρύπανσης ή καθαρότητας-  $\sigma_{\rho}$ , εξαρτάται από την περιοχή(βιομηχανική ,αστική κτλ) και από την κλίση του πάνελ- όσο μικρότερη η κλίση τόσο περισσότερη σκόνη επικάθεται.

Στη συγκεκριμένη μελέτη δεδομένου ότι η κλίση των  $\phi/\beta$  θα είναι  $30^{\circ}$  θεωρούμε ότι ο συντελεστής καθαρότητας είναι 0,9 και τους χειμερινούς μήνες φτάνει το 0,92. [16]



Εικόνα 3.9 Εξάρτηση απόδοσης  $\Phi/B$  στοιχείου από θερμοκρασία

### 3.2 Οι Ηλεκτρικοί συσσωρευτές

Οι ηλεκτρικοί συσσωρευτές (μπαταρίες) παρέχουν την δυνατότητα αποταμίευσης της ηλεκτρικής ενέργειας, μετατρέποντάς την σε χημική, για να την αποδώσουν οποιαδήποτε στιγμή χρειαστεί στην αρχική της μορφή δίνοντας έτσι την λύση στο πρόβλημα της συχνής ασυμφωνίας ζήτησης και παροχής της ηλεκτρικής ενέργειας.

Η ηλεκτρική ενέργεια είναι αποτέλεσμα μιας αυθόρμητης χημικής αλλαγής (δηλαδή μιας αντίδρασης redox με αρνητική ελεύθερη ενέργεια) μέσα στο συσσωρευτή. Η δομική ηλεκτροχημική μονάδα του συσσωρευτή είναι το στοιχείο (cell) που συνίσταται από μια θετική και μια αρνητική πλάκα, βυθισμένες σε ένα διάλυμα ηλεκτρολύτη και περιέχονται σε ένα δοχείο. Για κάθε εφαρμογή είναι απαραίτητα τα χαρακτηριστικά του συσσωρευτή που θα καθορίσουν τις απαιτήσεις στις ηλεκτροδιακές αντιδράσεις και θα ορίσουν το σχέδιο του κελιού. Το ενεργό υλικό από την θετική και την αρνητική πλάκα είναι ένας συνδυασμός υλικών τα οποία είναι και οι βασικοί συντελεστές της ηλεκτροχημικής αντίδρασης μέσα στη κυψελίδα. Η ποσότητα του ενεργού υλικού μέσα στη μπαταρία είναι ανάλογη της χωρητικότητάς της.

#### Τα πιο συνηθισμένα είδη συσσωρευτών:

- Lead-Acid(μολύβδου - οξέος) (αυτοκίνητα, επικουρικά συστήματα αναμονής, βιομηχανία)
- Nickel-Cadmium(νικελίου - καδμίου) (επικουρικά συστήματα αναμονής, βιομηχανία, εκκίνηση μηχανών αεροπλάνων, φωτισμός τραίνων)
- Nickel-Iron(νικελίου – σιδήρου)
- Nickel-Hydrid(νικελίου – υδριδίου)
- Λιθίου
- Pb-Sd (μολύβδου - αντιμονίου).
- Αργύρου-Ψευδαργύρου( μικρές φορητές πηγές ενέργειας όπως φακοί, ραδιόφωνα, παιχνίδια)
- Redox ( με υψηλό βαθμό απόδοσης και υψηλό αριθμό κύκλων λειτουργίας(16.000) για μεγάλα συστήματα, επαναφορτίζονται και ηλεκτρικά αλλά και μηχανικά ενώ μπορούν να εκφορτιστούν τελείως χωρίς πρόβλημα).

Συγκεκριμένα για **τα φωτοβολταϊκά συστήματα**, όπου οι ανάγκες της κατανάλωσης δε συμβαδίζουν συχνά με τις ώρες παραγωγής και την παραγόμενη ποσότητα ηλεκτρικής ενέργειας, περισσότερο κατάλληλοι είναι οι συσσωρευτές που μπορούν να υποστούν βαθιά εκφόρτιση χωρίς να αλλοιώνεται η χωρητικότητά τους και να μειώνεται διαρκώς ο χρόνος ζωής τους. Οι συσσωρευτές που χρησιμοποιούνται είναι επαναφορτιζόμενοι και κατηγοριοποιούνται ως δευτερογενείς συσσωρευτές (μολύβδου) σε αντιδιαστολή με τους πρωτογενείς οι οποίοι έχουν ήδη αποθηκευμένη χημική ενέργεια και δεν μπορούν να επαναφορτιστούν (λιθίου). Στους επαναφορτιζόμενους συσσωρευτές ανήκουν εκτός από τους μολύβδου-οξέος και οι νικελίου-καδμίου, νικελίου-σιδήρου και ορισμένοι λιθίου επαναφορτιζόμενοι.[12]

### 3.2.1 Συσσωρευτές μολύβδου – οξέος:

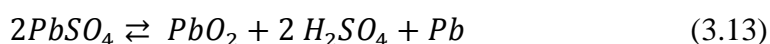
Στην περίπτωση συσσωρευτή μολύβδου το ενεργό υλικό είναι συνδυασμός διοξειδίου του μολύβδου στην θετική πλάκα (PbO<sub>2</sub>) και μεταλλικό πορώδη μολύβδο στην αρνητική (Pb) και αντιδρούν σε διάλυμα θεικού οξέος (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) κατά την λειτουργία του συσσωρευτή. Ο ηλεκτρολύτης αυτός αποτελεί το αγώγιμο μέσο που επιτρέπει τη ροή ηλεκτρικού ρεύματος μέσω της ιοντικής ανταλλαγής ή της ανταλλαγής ηλεκτρονίων επάνω στις πλάκες. Σε άλλα είδη συσσωρευτών μπορεί να είναι και σε μορφή gel. Στην μπαταρία νικελίου (Ni) ο ηλεκτρολύτης είναι για παράδειγμα διάλυμα υδροξειδίου του καλίου (KOH). Σε υγρό διάλυμα συνήθως απαιτείται αναπλήρωση του νερού καθώς εμφανίζεται φαινόμενο εξαέρωσης.

Στο συσσωρευτή μολύβδου το πλέγμα είναι ένα πλαίσιο από κράμα μολύβδου το οποίο υποστηρίζει το ενεργό υλικό πάνω στις πλάκες και είναι αγωγός του ηλεκτρικού ρεύματος. Χαρακτηριστική επίδραση στις επιδόσεις του συσσωρευτή καθώς και αύξηση της μηχανικής αντοχής έχει η χρησιμοποίηση κραμάτων όπως το αντιμόνιο και το ασβέστιο (Sb, Ca).

- Οι πλάκες ή ηλεκτρόδια συνίστανται από το πλέγμα και από το ενεργό υλικό. Μέσα σε μια κυψελίδα υπάρχουν πολλές αρνητικές και θετικές πλάκες συνδεδεμένες παράλληλα και το μεταξύ τους πάχος έχει καθοριστική επίδραση στα χαρακτηριστικά του συσσωρευτή.
- Ο διαχωριστής είναι το απομονωτικό μέσο μεταξύ των πλακών του συσσωρευτή και εμποδίζει την επαφή μεταξύ των αντίθετα φορτισμένων ηλεκτροδίων. Έτσι αποτρέπεται η δημιουργία βραχυκυκλώματος λόγω των διαχεόμενων υλικών στο κάτω μέρος των πλακών.
- Τέλος οι πόλοι είναι οι εξωτερικές θετικές και αρνητικές συνδέσεις του συσσωρευτή όπου ενώνεται ένα φορτίο ή το φωτοβολταϊκό σύστημα. [12]

#### Αρχή λειτουργίας

Οι πλάκες του αφόρτιστου συσσωρευτή καλύπτονται από θεικό μολύβδο Pb SO<sub>4</sub>. Κατά το στάδιο της φόρτισης διασπάται ο θεικός μολύβδος και σχηματίζεται οξείδιο του μολύβδου στις πλάκες των θετικών ηλεκτροδίων και μεταλλικός μολύβδος στις πλάκες των αρνητικών:



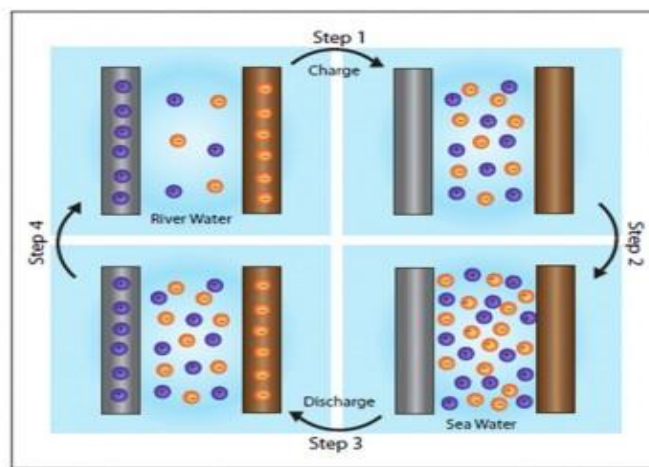
Κατά την εκφόρτιση και τροφοδότηση των φορτίων/φωτοβολταϊκών, ο Pb οξειδώνεται στις πλάκες των αρνητικών ηλεκτροδίων προς ιόντα Pb<sup>2+</sup> δίνοντας ηλεκτρόνια στο εξωτερικό κύκλωμα ενώ στις θετικές πλάκες ο Pb<sup>4+</sup> ανάγεται προς Pb<sup>2+</sup>, παίρνοντας ηλεκτρόνια από το εξωτερικό κύκλωμα.

Τα προϊόντα των δύο αντιδράσεων ενώνονται με θεικά ιόντα από το διάλυμα του ηλεκτρολύτη και σχηματίζουν ξανά θεικό μολύβδο πάνω στις πλάκες. Έτσι, καταναλώνεται θεικό οξύ και αραιώνεται το διάλυμα στο στοιχείο. Με την φόρτιση τα θεικά ιόντα επιστρέφουν στο διάλυμα και η περιεκτικότητά αποκαθίσταται στην κανονική τιμή.

Το ρεύμα είναι ένα μέτρο του ρυθμού με το οποίο εκφορτίζεται ο συσσωρευτής. Το ρεύμα και το δυναμικό είναι συσχετισμένα αλλά η ικανότητα να μεταφερθεί υψηλό ρεύμα χωρίς μείωση του δυναμικού εξαρτάται από πόσο ταχείες είναι οι ηλεκτροχημικές αντιδράσεις μεταφοράς

και από το σωστό σχεδιασμό του ενεργού υλικού ώστε να υπάρχουν πολλά ηλεκτροαρνητικά σωματίδια στο σημείο όπου γίνεται η μεταφορά ηλεκτρονίων.[3]

Τέλος, μπορούμε να χωρίσουμε τους συσσωρευτές μολύβδου και σε δύο επιμέρους κατηγορίες, στους ανοιχτούς και στους σφραγισμένους (με βαλβίδα εξαέρωσης). Ο συσσωρευτής που επιλέχθηκε για το σύστημα ανήκει στην δεύτερη κατηγορία και χρησιμοποιεί συγκεκριμένα απορροφητικό γυαλί ματ το οποίο περικλείει όλο το οξύ και ονομάζεται τύπου AGM. Αντί για γυαλί ορισμένοι συσσωρευτές περιέχουν ένα μίγμα θεικού οξέος και καλά χωρισμένου πυριτίου δημιουργώντας ένα ειδικό gel και είναι οι τύπου GEL. Οι AGM λειτουργούν καλύτερα σε υψηλότερες θερμοκρασίες λόγω του λιγότερου οξέος που περιέχουν που οδηγεί σε μικρότερη απώλεια νερού όταν ανοίγουν οι βαλβίδες και εκτονώνεται το αέριο υδρογόνο και οξυγόνο που δημιουργούνται κατά τις υπερφορτίσεις του συσσωρευτή. [14]



Εικόνα 3.9 Ηλεκτροχημικές καταστάσεις φόρτισης συσσωρευτή

### 3.2.2 Ηλεκτρικό ισοδύναμο στοιχείου συσσωρευτή:

**Χωρητικότητα** : ορίζεται το φορτίο που μπορεί να αποθηκευτεί σε ένα συσσωρευτή και αναφέρεται σε μονάδες Ampere-hours(Ah) και σχετίζεται με το μέγεθός του. Η ονομαστική χωρητικότητα του κάθε ηλεκτροδίου υπολογίζεται από το βάρος του ενεργού υλικού ,w, μέσω του νόμου του Faraday:

$$C = \frac{wnF}{M} \quad (3.14)$$

Όπου,

M: η γραμμομοριακή μάζα του ενεργού υλικού

n: ο αριθμός των ανταλλασσόμενων ηλεκτρονίων

F: η σταθερά του Faraday (~96000Cb)

Η χωρητικότητα του συσσωρευτή καθορίζεται από το ηλεκτρόδιο με την μικρότερη χωρητικότητα. Η πραγματική χωρητικότητα του κάθε ηλεκτροδίου και επομένως του συσσωρευτή εξαρτάται από το πόσο ενεργό υλικό μπορεί να καταναλωθεί κατά την εκφόρτιση και αυτό ορίζεται πειραματικά. Το ποσό της ηλεκτρικής ενέργειας που αποθηκεύεται σε ένα συσσωρευτή μετρείται σε Watt-hours (Wh).

**Ενεργειακή απόδοση:** ορίζεται ως το πηλίκο της ενέργειας που προσδίδεται κατά την εκφόρτιση προς την ενέργεια που απαιτείται για μια πλήρη φόρτιση και έχει τιμές γύρω στο 70-80%.

**Απόδοση φόρτισης** ορίζεται ως τις αμπεροώρες εκφόρτισης προς τις αμπεροώρες για μια πλήρη φόρτιση και κυμαίνεται στο 95% για τις μπαταρίες μολύβδου. Η διαφορά στην τιμή της ενεργειακής από την απόδοση φόρτισης οφείλεται στο ότι οι συσσωρευτές αποφορτίζονται σε χαμηλότερη τάση από ότι όταν φορτίζονται.

Οι μαθηματικές σχέσεις που διέπουν την λειτουργία του συσσωρευτή αφορούν στα βασικά χαρακτηριστικά της που είναι ο ρυθμός φόρτισης – εκφόρτισης (State – Of – Charge ) και η τάση εξόδου.

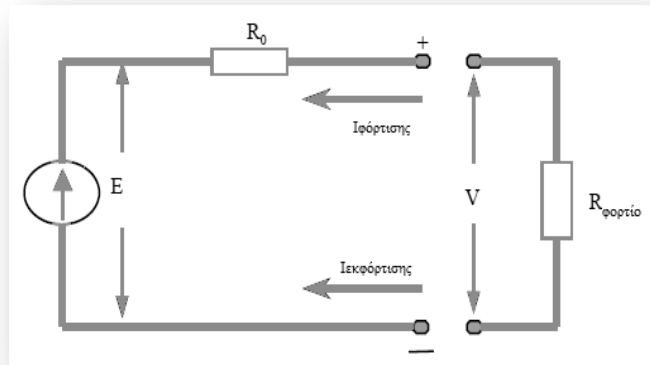
**Ρυθμός φόρτισης/εκφόρτισης** ορίζεται ως ο λόγος της χωρητικότητας (Ah) προς τον χρόνο φόρτισης ή εκφόρτισης (hours). Αναφέρεται σε C/n ή n-ωριαίος ρυθμός που είναι το ρεύμα που εκφορτίζει την ονομαστική χωρητικότητα του συσσωρευτή C σε n αριθμό ωρών.

**Βάθος εκφόρτισης** (depth of charge) – DOD είναι το ποσοστό της χωρητικότητας που έχει αφαιρεθεί από έναν πλήρως φορτισμένο συσσωρευτή **ενώ η κατάσταση φόρτισης (state of charge) – SOC** είναι το ποσοστό της χωρητικότητας που έχει απομείνει. Φυσικά ισχύει: SOC = 100 – DOD

**Κύκλος ζωής** (cycle of life) είναι το μέτρο που δείχνει πόσους κύκλους μπορεί μια μπαταρία να αποδώσει πριν την καταστροφή της. Κύκλος θεωρείται μια βαθιά εκφόρτιση ακολουθούμενη από μια πλήρη φόρτιση του συσσωρευτή. Για έναν επαναφορτιζόμενο συσσωρευτή είναι βασικό κατά τον κύκλο των φορτίσεων/ εκφορτίσεων να γίνεται αναδόμηση του ενεργού υλικού σε κατάλληλη στάθμη ώστε να παρέχει επιπλέον εκφόρτιση. Το ενεργό υλικό πρέπει να έχει την σωστή χημική σύσταση, μορφολογία και κατανομή στο κελί. Ο κύκλος ζωής πολύ συχνά σχετίζεται με το ποσοστό

κάθε εκφόρτισης και αυτό υπονοεί ότι όταν γίνεται πλήρης εκφόρτιση του συσσωρευτή πολλές φορές καταστρέφονται τα ηλεκτρόδια. [14],[22],[3]

### 3.2.3 Μοντέλο τάσης συσσωρευτή :



Εικόνα 3.10 Ισοδύναμο στοιχείου συσσωρευτή

- Αρχική φόρτιση : SOC1(%), που υποδεικνύει την διαθέσιμη φόρτιση.
- Μέγιστη κατάσταση φόρτισης : SOCm (Wh)
- Αριθμός κελιών συσσωρευτή σε σειρά : ns
- Παράγοντας ικανότητας φόρτισης/αποφόρτισης συσσωρευτή : K
- Ποσοστό αυτοεκφόρτισης συσσωρευτή : D (h<sup>-1</sup>)

Οι τελευταίες δύο παράμετροι είναι καθαρά εμπειρικοί και εξαρτώνται από τα χαρακτηριστικά του συσσωρευτή.

Η κατάσταση φόρτισης (%) έχει εντελώς γραμμική σχέση με την τάση ανοιχτοκύκλωσης στα άκρα του συσσωρευτή. Η αρχική φόρτιση (SOC1) υπολογίζεται από το ρεύμα ανοιχτού κυκλώματος. Η τάση στα άκρα του συσσωρευτή δίνεται από:

$$V_{bat} = V1 - I_{bat} * R1 \quad (3.15)$$

Όπου τα V1 και R1 δίνονται από διαφορετικές εξισώσεις με βάση την κατάσταση φόρτισης του συσσωρευτή. Το ρεύμα του συσσωρευτή έχει θετικές τιμές όταν είναι σε κατάσταση φόρτισης και αρνητικές όταν είναι σε κατάσταση αποφόρτισης.

Ένα απλοποιημένο μοντέλο του συσσωρευτή περιγράφεται παρακάτω:

Η τάση ακροδεκτών είναι:

$$V = V_0 + AX + CX/(D - X) \quad (3.16)$$

A,C,D είναι συντελεστές που περιγράφουν την καμπύλη μείωσης της τάσης και υπολογίζονται πειραματικά. Όταν ο συσσωρευτής φορτίζεται η παραπάνω σχέση γίνεται: [1]

$$V = V_0 + AX + C(D - X)/X \quad (3.17)$$

Όπου,

$V_0$ : η τάση ακροδεκτών για μηδενική ένταση (HEΔ)

$X = q_{\max} * [q_{\text{out}} / q_{\max}(I)]$  είναι η κανονικοποιημένη ποσότητα ηλεκτρικού φορτίου  $q_{\text{out}}$  με την οποία γίνεται η εκφόρτιση του συσσωρευτή σε μια ορισμένη ένταση  $I$ .

$q_{\max}(I)$ : η ποσότητα του ηλεκτρικού φορτίου του συσσωρευτή με ρεύμα εκφόρτισης  $I$ . Πειραματικά προσδιορίζεται ως το σημείο στο οποίο αρχίζει η απότομη μείωση της τάσης και του οποίου η υπέρβαση απαγορεύεται.

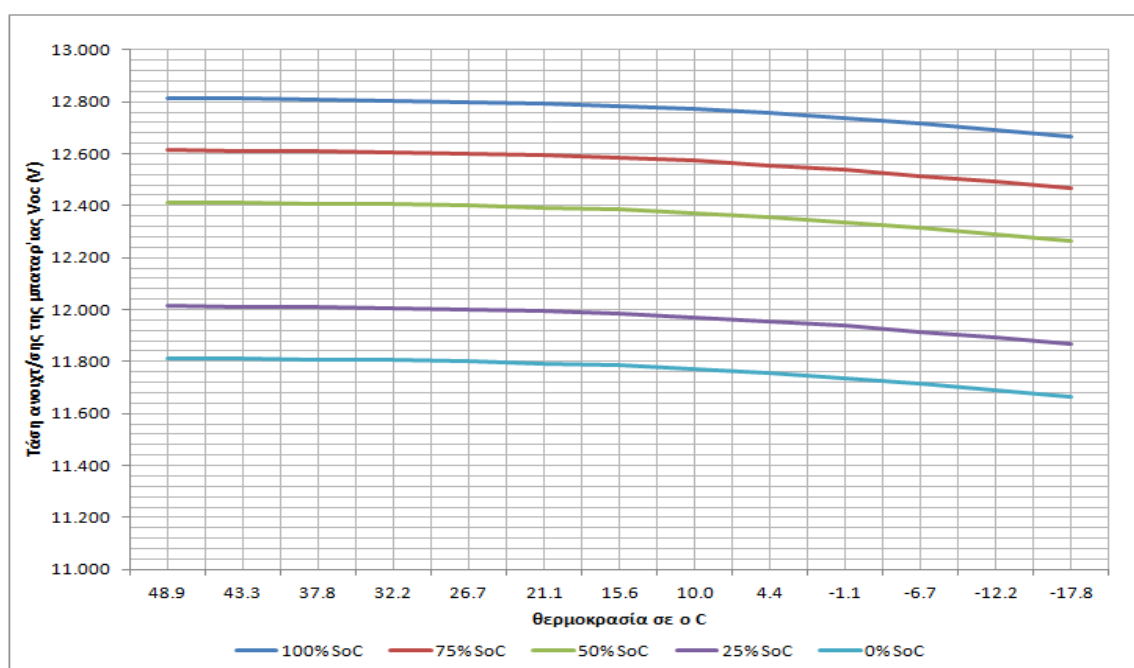
$q_{\max}$ : η μέγιστη αποθηκευμένη ποσότητα ηλεκτρικού φορτίου (ονομαστικές Ah) που αντιστοιχεί στο φορτίο που λαμβάνεται αν η εκφόρτιση γίνει με πολύ μικρή ένταση  $I \approx 0$ .

$q_{\text{out}} = \int Idt = q_{\max} - q_1 - q_2$ , η ποσότητα του ηλεκτρικού φορτίου που λαμβάνεται κατά την εκφόρτιση.

A: αρχική γραμμική μεταβολή της εσωτερικής τάσης του συσσωρευτή με την κατάσταση της φόρτισης.

C, D: παράμετροι που αντανακλούν την ευκρίνεια της πτώσης τάσης στο τέλος της εκφόρτισης(γόνατο καμπύλης). Το C θα είναι πάντα αρνητικό κατά την εκφόρτιση. Το D έχει θετικές τιμές και αντικατοπτρίζει με μεγάλη ακρίβεια την μέγιστη ικανότητα εκφόρτισης.

Το μοντέλο τάσης χαρακτηρίζεται από τις 4 παραμέτρους που αναφέραμε  $V_0$ , A, C, D. Αυτές μπορούν επίσης να υπολογιστούν με την μη-γραμμική μέθοδο των ελαχίστων τετραγώνων αν την εφαρμόσουμε στις καμπύλες που δίνουν οι κατασκευαστές. Τέλος, αυτές οι παράμετροι καλό είναι να υπολογίζονται ξεχωριστά για την εκφόρτιση και την φόρτιση του συσσωρευτή. Από την άλλη οι παράμετροι k, c,  $q_{\max}$  μπορούν να τεθούν ίδιες και στις δύο διεργασίες.



Εικόνα 3.11 Εξάρτηση  $V_{oc}$  από θερμοκρασία



### 3.2.4 Κατάσταση φόρτισης συσσωρευτή – Ενέργεια φόρτισης σε kWh

Την φόρτιση του συσσωρευτή μπορούμε να την υπολογίσουμε:

- μέσω του ρεύματος φόρτισης ως εξής:

$$\text{ενέργεια φόρτισης(Ah)} = \text{Ιφόρτισης} * (\text{ώρες φόρτισης}) \quad (3.18)$$

Δυστυχώς, υπάρχουν δύο προβλήματα με αυτό. Σε όλους πρακτικά τους συσσωρευτές, το ρεύμα αποφόρτισης δεν είναι σταθερό αλλά μειώνεται καθώς αποφορτίζονται, συνήθως με μη-γραμμικό τρόπο. Δεύτερον, αυτή η μέθοδος εξαρτάται από την εκφόρτιση του συσσωρευτή για να μάθουμε πόση φόρτιση περιείχε. Στις περισσότερες εφαρμογές ο χρήστης (ή το σύστημα) πρέπει να γνωρίζει πόσο φορτίο είναι στο κελί χωρίς να χρειαστεί να αποφορτιστεί. Δεν είναι δυνατόν να μετρηθεί άμεσα η πραγματική φόρτιση καθώς δεν γίνεται να ελέγξουμε το πραγματικό φορτίο στην είσοδο του λόγω της κολουμπικής απόδοσης του συσσωρευτή (Coulombic efficiency). Οι απώλειες του συσσωρευτή κατά την διάρκεια του κύκλου φόρτισης - εκφόρτισης σημαίνουν ότι θα αποδώσει λιγότερο φορτίο κατά την αποφόρτιση σε σχέση με αυτό που μπήκε.

Η Coulombic απόδοση ή αποδοχή φόρτισης είναι ένα μέτρο της χρήσιμης ενέργειας που είναι διαθέσιμη κατά την εκφόρτιση συγκρινόμενη με την ενέργεια που χρειάζεται για να φορτίσει το κελί. Εξαρτάται και από την θερμοκρασία και από την κατάσταση φόρτισης (SOC%).

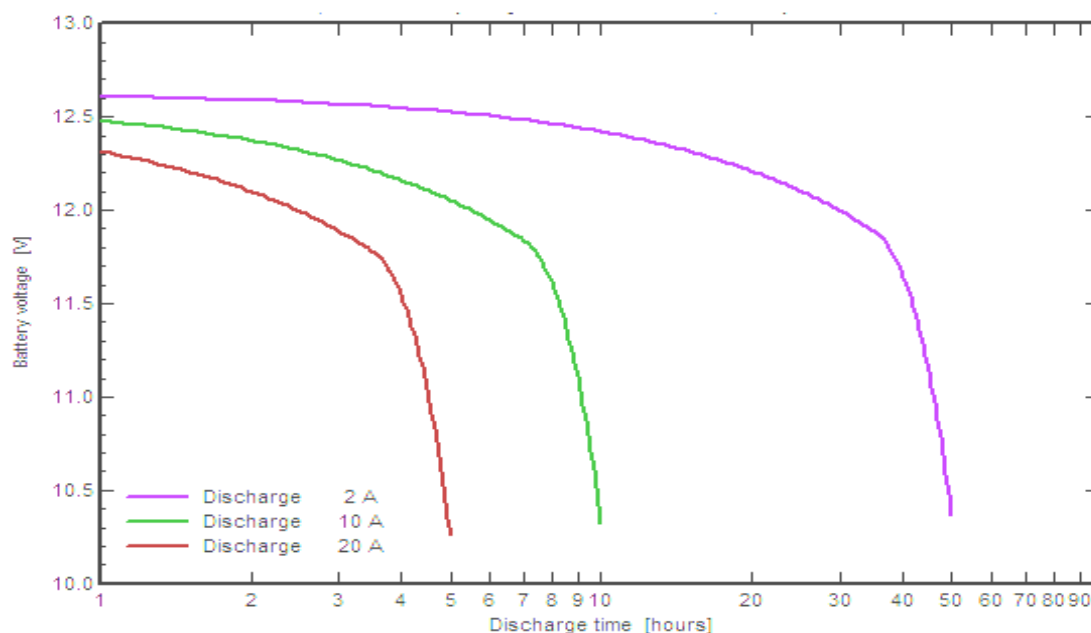
- από μέτρηση του ειδικού βάρους του ηλεκτρολύτη (SG):

Αυτός είναι ο συνήθης τρόπος για να καθοριστεί η κατάσταση φόρτισης των συσσωρευτών μολύβδου-οξέος. Εξαρτάται από την μέτρηση των μεταβολών του βάρους των δραστικών χημικών ουσιών. Καθώς ο συσσωρευτής εκφορτίζεται ο ενεργός ηλεκτρολύτης, θειικό οξύ, καταναλώνεται και η συγκέντρωση του θειικού οξέος σε νερό μειώνεται. Αυτό με τη σειρά του μειώνει την πυκνότητα του διαλύματος σε άμεση αναλογία με την κατάσταση φόρτισης. Το πραγματικό βάρος του ηλεκτρολύτη μπορεί επομένως να χρησιμοποιηθεί ως ένδειξη της κατάστασης φόρτισης του συσσωρευτή. Οι μετρήσεις παραδοσιακά γίνονται με τη χρήση ενός υδρομέτρου αναρρόφησης αλλά η μέθοδος είναι αργή και άβολη πρακτικά. Σήμερα οι μετρήσεις αυτές γίνονται με αισθητήρες που δίνουν μια ψηφιακή μέτρηση του ειδικού βάρους του ηλεκτρολύτη.

- μέσω της τάσης του συσσωρευτή του κελιού ή της απομένουσας χωρητικότητας:

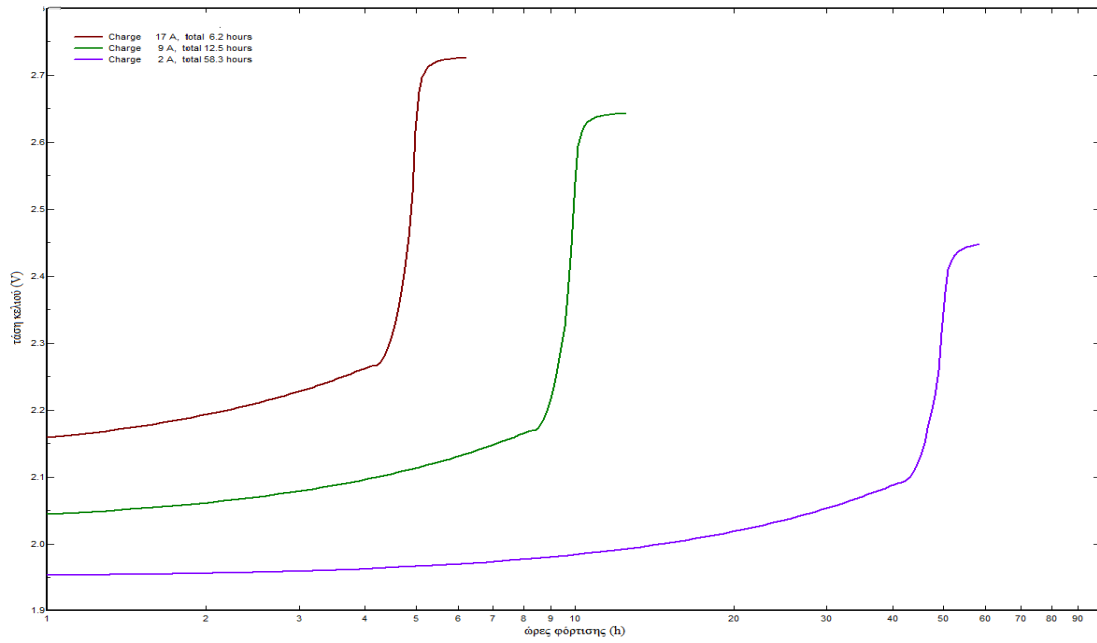
Τα αποτελέσματα εξαρτώνται από το πραγματικό επίπεδο τάσης, την θερμοκρασία, το ρυθμό αποφόρτισης και την καταπόνηση των κελιών του συσσωρευτή. Γι αυτό δεν είναι και τόσο ακριβής σαν μέθοδος. [18],[22]

Ακολουθούν οι καμπύλες εκφόρτισης, φόρτισης και κατάστασης φόρτισης (SOC) του συσσωρευτή όπως υπολογίστηκαν κατά την προσομοίωση για το μοντέλο του συσσωρευτή μολύβδου – οξέος που χρησιμοποιήθηκε στο εγκατεστημένο σύστημα. Οι καμπύλες είναι χαρακτηριστικές και προέκυψαν για 12V και 100Ah χωρητικότητας συσσωρευτή με βάση τα στοιχεία του κατασκευαστή. Οι καμπύλες δείχνουν τις μεταβολές για διαφορετικά ρεύματα φόρτισης – εκφόρτισης του συσσωρευτή. Στα κεφάλαια 4 και 5 γίνεται εκτενής ανάλυση για τον τρόπο που ελέγχθησαν όλα τα μεγέθη.

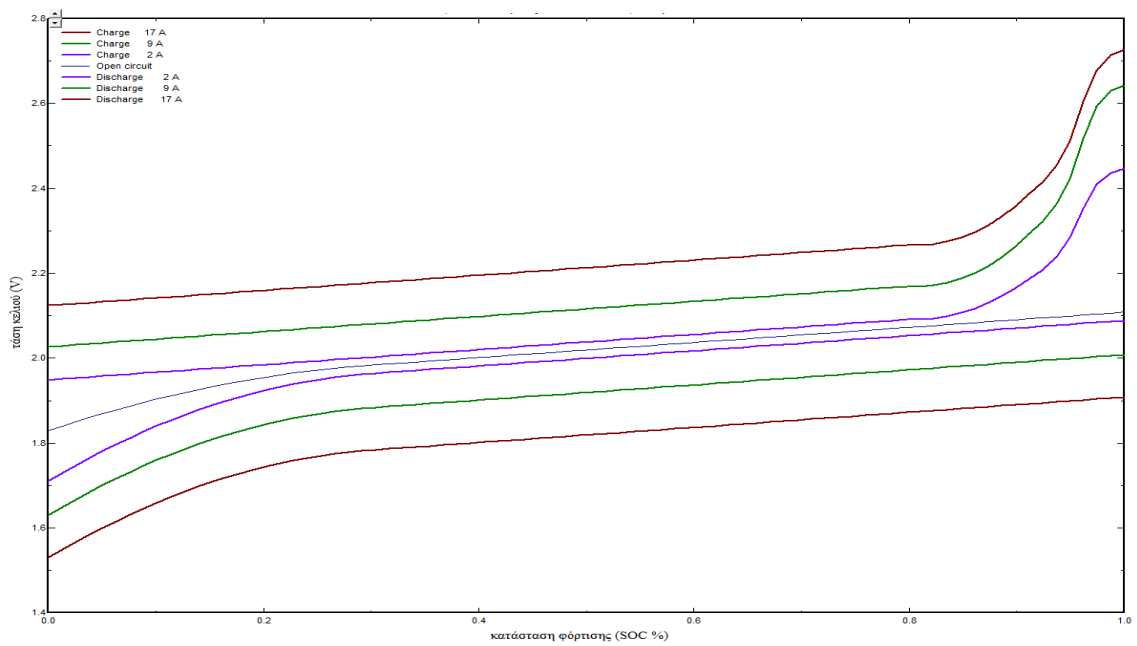


Εικόνα 3.12 Καμπύλη εκφόρτισης

Η οριζοντιότητα της καμπύλης εκφόρτισης – ουσιαστικά η μεταβολή του δυναμικού του συσσωρευτή κατά την εκφόρτιση και η δυνατότητα του κελιού να συνεχίζει να αποδίδει την αναμενόμενη χωρητικότητα σε αυξημένους ρυθμούς εκφόρτισης είναι πολύ σημαντικές ιδιότητες για τους συσσωρευτές. Το θετικό ηλεκτρόδιο του συσσωρευτή μολύβδου είναι ένα παράδειγμα όπου η πραγματική χωρητικότητα έχει τιμή πιο πάνω από την θεωρητική. Ο κύριος λόγος γι' αυτό είναι η δημιουργία του  $\text{PbSO}_4$  που είναι κακός αγωγός, κατά την εκφόρτιση και δημιουργεί φράγμα μεταξύ του ηλεκτροαγωγίμου  $\text{PbO}_2$  και του ρευματοσυλλέκτη, έτσι ώστε να εμποδίζει την συνέχεια της αναγωγής.



Εικόνα 3.13 Καμπύλη Φόρτισης συσσωρευτή: Τάση (V) - Χρόνος φόρτισης σε ώρες



Εικόνα 3.14 Τάση κελιού συσσωρευτή (V) - Κατάσταση Φόρτισης (%)

### 3.3 Φορτιστής

Η μονάδα φόρτισης στο αυτόνομο φωτοβολταϊκό σύστημα περιλαμβάνει έναν DC/DC μετατροπέα ελεγχόμενο από διαμορφωμένου εύρους/πλάτους παλμούς (μέθοδος PWM). Ο μετατροπέας αποτελείται από δύο διακόπτες και δύο φίλτρα εισόδου-εξόδου. Οι παλμοί ελέγχου παράγονται από την μονάδα ελέγχου η οποία αποτελείται από έναν μικροεπεξεργαστή (PIC microcontroller –programmable interface circuit) και ένα ολοκληρωμένο κύκλωμα (IC).

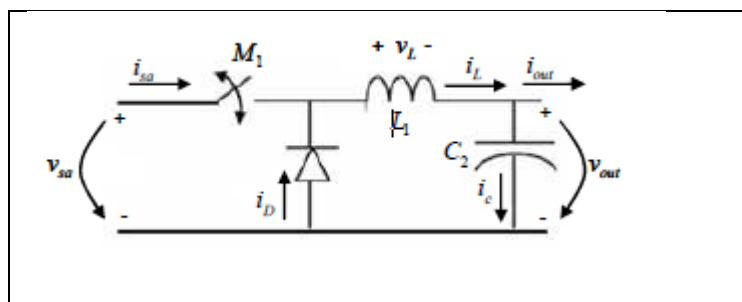
#### 3.3.1 DC-DC μετατροπέας

Ένας DC/DC μετατροπέας χρησιμοποιείται σε φωτοβολταϊκές διατάξεις και για να βελτιώσει το ταίριασμα μεταξύ της φωτοβολταϊκής γεννήτριας και του φορτίου, αυξάνοντας την ισχύ εξόδου της σε κάθε περίπτωση ακτινοβολίας και θερμοκρασίας (maximum power point tracker). Ο DC/DC μετατροπέας αποτελεί μέρος της μονάδας φόρτισης προκειμένου να αυξήσει την αποδοτικότητα του συστήματος με το να ταιριάζει την τάση τροφοδοσίας με την τάση που απαιτούν τα φορτία. Λειτουργεί όπως ένας απλός μετατροπέας που μπορεί είτε να αυξάνει είτε να μειώνει την τάση (buck-boost converter). Αποτελείται από έναν αριθμό στοιχείων και διακοπών που συνδέονται έτσι ώστε τα περιοδικά σήματα διακοπών να ελέγχουν την δυναμική μεταφορά της ισχύος από την είσοδο προς την έξοδο και να παράγουν την επιθυμητή DC μετατροπή. Στην έξοδο υπάρχει ένα χαμηλοπερατό φίλτρο που ελέγχει την διακύμανση της τάσης εξόδου ώστε να μην ξεπερνά το 3%.

Οι δύο βασικές τοπολογίες μετατροπέων DC/DC είναι υποβιβασμού και ανύψωσης και αναλόγως μετατρέπουν την DC τάση από ένα επίπεδο στο άλλο με την εναλλαγή του βαθμού χρησιμοποίησης του διακόπτη –  $\delta$  - (duty cycle:  $D = t_{on} / T$ , όπου  $t_{on}$  είναι ο χρόνος που άγει ο διακόπτης και  $T$  η διακοπτική συχνότητα). Μεταβάλλοντας το  $\delta$ , το εύρος των παλμών αλλάζει και εφαρμόζεται η μέθοδος ελέγχου διαμορφωμένου εύρους παλμών. Ο μετατροπέας λειτουργεί σε συνεχή αγωγή (CCM – continuous conduction mode) καθώς πρέπει να εξυπηρετεί συνεχώς την μεταφορά της ισχύος από το φωτοβολταϊκό πλαίσιο προς τα φορτία.

#### ➤ Μετατροπέας υποβιβασμού τάσης

Αποτελείται από πέντε στοιχεία, έναν ημιαγωγικό διακόπτη ισχύος, μια δίοδο, ένα πηνίο, έναν πυκνωτή και τον ελεγκτή PWM. Το ηλεκτρικό ισοδύναμο φαίνεται στο παρακάτω σχήμα:

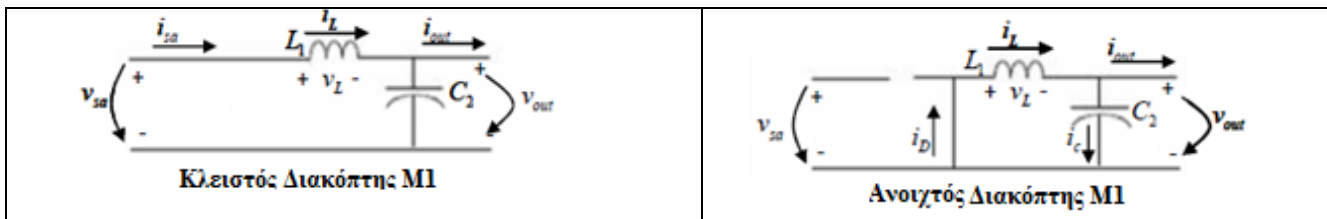


Εικόνα 3.15 Ηλεκτρικό Ισοδύναμο DC-DC μετατροπέα

## Αρχή λειτουργίας

Ο DC-DC μετατροπέας θα συνδέει/αποσυνδέει αναλόγως την φωτοβολταϊκή γεννήτρια από το συσσωρευτή με βάση τους παλμούς PWM. Η λειτουργία βασίζεται στη παραδοχή ότι η ισχύς διατηρείται στην είσοδο και στην έξοδο μεταβάλλοντας την τάση και το ρεύμα. ( $P_{in}=P_{out}$ )

Στο παρακάτω σχήμα φαίνονται οι δύο καταστάσεις λειτουργίας του διακόπτη M1:



Εικόνα 3.16 Καταστάσεις Διακόπτη

Όταν ο M1 είναι κλειστός η ισχύς της πηγής τάσης  $v_{sa}$  μεταφέρεται στο φορτίο μέσω του πηνίου  $L_1$ . Η διόδος τότε είναι ανάστροφα πολωμένη και δεν άγει, το ρεύμα του πηνίου  $i_L$  αυξάνει με ρυθμό:

$$\frac{d i_L}{dt} = \frac{v_L}{L_1} = \frac{v_{sa} - v_{out}}{L_1}, 0 \leq t \leq \delta T \quad (3.19)$$

Σε αυτήν την περίπτωση το πηνίο  $L_1$  φορτίζει. Όταν ο διακόπτης ανοίξει το ρεύμα του πηνίου  $i_L$  συνεχίζει να ρέει μέσω της διόδου η οποία πολώνεται ορθά και το ρεύμα του πηνίου μειώνεται πάλι με ρυθμό:

$$\frac{d i_L}{dt} = \frac{v_L}{L_1} = \frac{-v_{out}}{L_1}, \delta T \leq t \leq T \quad (3.20)$$

Η μέση τιμή της τάσης στο πηνίο  $v_L$  είναι μηδέν για μία περίοδο. Επειδή η  $v_L$  έχει δύο καταστάσεις με σταθερή τιμή τάσης, η μέση τιμή της δίνεται από την εξίσωση:

$$v_{out} = \frac{1}{T} \int_0^T v_{out}(t) dt = \frac{1}{T} \int_0^{\delta T} v_{sa}(t) dt = v_{sa} * \delta \quad (3.21)$$

Επομένως

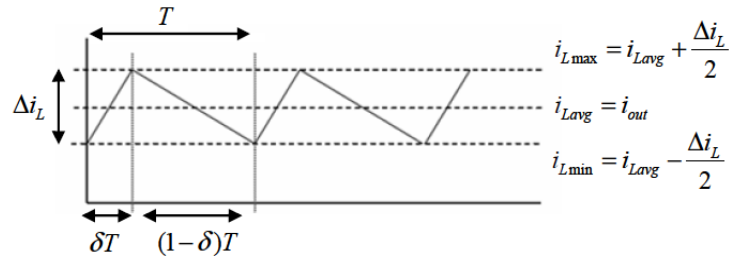
$$v_{out} = v_{sa} * \delta \quad (3.22)$$

Η σχέση αυτή είναι πολύ σημαντική καθώς περιγράφει την λειτουργία του μετατροπέα υποβιβασμού. Το  $\delta$  είναι ο βαθμός χρησιμοποίησης όπως ορίστηκε παραπάνω, και παίρνει τιμές μεταξύ 0 και 1. Έτσι η τάση εξόδου θα είναι πάντα μικρότερη ή ίση με την τάση εισόδου. Για την διαστασιολόγηση του φίλτρου εξόδου λαμβάνεται υπόψη ο ρυθμός αυξομείωσης του ρεύματος του πηνίου  $i_L$  του οποίου η μέση τιμή προκύπτει από τον κόμβο πάνω από τον πυκνωτή. Εφαρμόζοντας

των νόμο ρευμάτων του Κίρχωφ και γνωρίζοντας ότι το μέσο ρεύμα του πυκνωτή σε κατάσταση λειτουργίας είναι μηδέν είναι φανερό ότι:

$$i_{Lavg} = i_{out} \quad (3.23)$$

Από τις εξισώσεις του ρυθμού αύξησης, μείωσης και της μέσης τιμής του ρεύματος του πηνίου προκύπτει η παρακάτω γραφική που δείχνει το ρεύμα του πηνίου στην περίοδο του χρόνου:



Εικόνα 3.17 Ρεύμα πηνίου

Εφόσον το ρεύμα πηνίου αποτελείται καθαρά από ευθύγραμμα τμήματα όπως φαίνεται και στο πάνω διάγραμμα μπορούμε να γράψουμε:

$$i_{Lavg} = \frac{i_{Lmax} + i_{Lmin}}{2}, \quad i_{Lmax} = i_{Lavg} + \frac{\Delta i_L}{2}, \quad i_{Lmin} = i_{Lavg} - \frac{\Delta i_L}{2} \quad (3.24)$$

Επίσης, από την εξίσωση του ρυθμού αύξησης του ρεύματος πηνίου έχουμε:

$$\frac{di_L}{dt} = \frac{v_{sa} - v_{out}}{L_1} = \frac{\Delta i_L}{\delta T} \quad (3.25)$$

Έτσι ,

$$\Delta i_L = \frac{v_{sa} - v_{out}}{L_1} \times \delta T = \frac{v_{sa} - \delta v_{sa}}{L_1} \times \delta T = \frac{v_{sa} \times \delta (1 - \delta)}{L_1 \times f_{PWM}} \quad (3.26)$$

Όπου  $f_{PWM}$  είναι η διακοπτική συχνότητα της τεχνικής PWM.

$$\text{Λόγω της συνεχούς λειτουργίας,} \quad \Delta i_L = 2i_{Lavg} = 2i_{out} \quad (3.27)$$

$$\frac{v_{out}}{L_{max}} (1 - \delta) T = 2i_{out} \Leftrightarrow L_{max} = \frac{v_{out} \times (1 - \delta)}{2i_{out} \times f_{PWM}} \quad (3.28)$$

Η μέγιστη τιμή προκύπτει όταν το  $\delta \rightarrow 0$ . Οπότε,

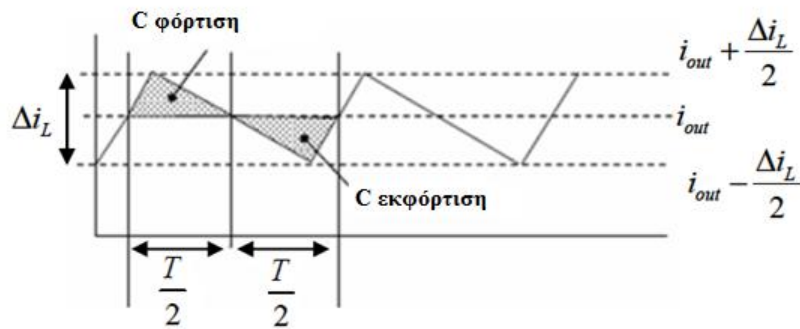
$$L_{max} > \frac{v_{out}}{2i_{out} \times f_{PWM}} \quad (3.29)$$

Η τιμή αυτή εγγυάται λειτουργία συνεχούς αγωγής για κάθε τιμή του κύκλου  $\delta$ .

Το ρεύμα του πυκνωτή προκύπτει από την διαφορά μεταξύ του ρεύματος πηνίου και του ρεύματος που τραβάει το φορτίο  $i_L$  και  $i_{out}$ :

$$i_c = i_L - i_{out} \quad (3.30)$$

Από την γραφική του ρεύματος πηνίου, φαίνεται ότι κάθε διαδικασία φόρτισης και εκφόρτισης καταλαμβάνει ίση περιοχή για την μισή περίοδο (  $T / 2$  ) και κάθε περιοχή αντιπροσωπεύει μια αύξηση φορτίου του πυκνωτή  $\Delta Q$ :



Εικόνα 3.18 Φορτίο πυκνωτή ανά περίοδο

Αν θέσουμε την διακύμανση της τάσης εξόδου  $\Delta V$ , έχουμε:  $\Delta V = \frac{\Delta Q}{C}$  (3.31)

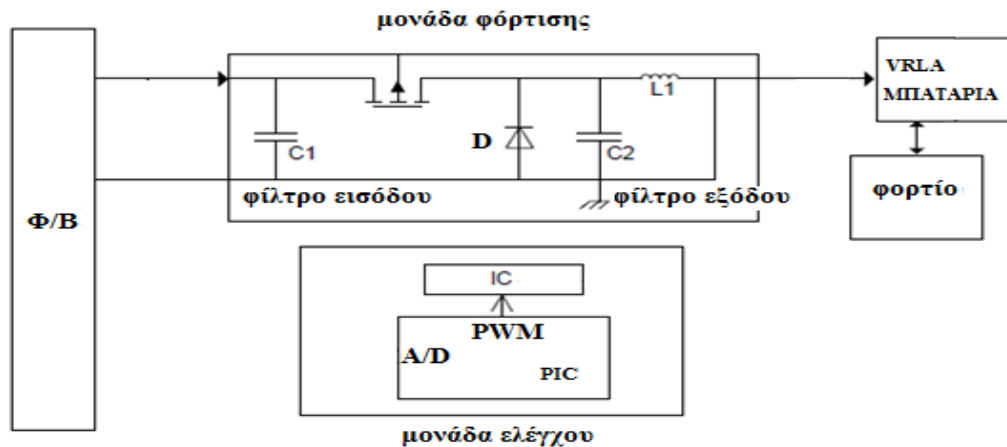
Οπότε,  $\Delta V = \frac{\Delta Q}{C} = \frac{1}{C} \times \frac{1}{2} \times \frac{T}{2} \times \frac{\Delta i_L}{2} = \frac{T \times \Delta i_L}{8 \times C}$  (3.32)

Στην χειρότερη περίπτωση,  $\Delta i_L = 2 \times i_{out}$  και η τιμή του πυκνωτή:

$$C = \frac{i_{out}}{4 \times \Delta V \times f_{PWM}} \quad (3.33)$$

Με  $i_{out}$  το ρεύμα εξόδου του μετατροπέα στην μέγιστη είσοδο ισχύος. [6]

### 3.3.2 Μονάδα ελέγχου



Εικόνα 3.19 Σχηματικό διάγραμμα της μονάδας ελέγχου

Όπως αναφέρθηκε στην αρχή του κεφαλαίου η μονάδα ελέγχου περιλαμβάνει έναν μικροεπεξεργαστή (PIC) και ένα ολοκληρωμένο κύκλωμα και σκοπός της είναι η παραγωγή των παλμών PWM που ελέγχουν την λειτουργία του μετατροπέα.

Ο μικροεπεξεργαστής επιτρέπει την καταγραφή της τάσης από τα φωτοβολταϊκά στοιχεία και δουλειά του είναι να υπολογίζει την τιμή της στο μέγιστο σημείο ισχύος εφαρμόζοντας έναν αλγόριθμο (VMPPT – Voltage control Maximum Power Point Tracking):

- Καταγραφή της αναλογικής τιμής τάσης από την φωτοβολταϊκή γεννήτρια
- Μετατροπή αναλογικού σήματος σε ψηφιακό (A/D)
- Εφαρμογή του αλγορίθμου VMPPT
- Αποστολή κατάλληλου σήματος τάσης στο ολοκληρωμένο κύκλωμα ( $V_{ref}$ ) έτσι ώστε να επιτραπεί ο έλεγχος του  $\delta$  (χρόνος χρησιμοποίησης) της μεθόδου PWM.

Μετά την παραγωγή του σήματος PWM από τον μικροεπεξεργαστή είναι απαραίτητο να υπολογιστεί η μέση τιμή του μέσω ενός χαμηλοπερατού φίλτρου (Low Pass Filter –LPF). Αυτός είναι ο πιο απλός και ανέξοδος τρόπος υπολογισμού. Το PWM σήμα έχει διορθωθεί όμως το εύρος των παλμών παίρνει διάφορες τιμές αναλόγως του σημείου λειτουργίας της φωτοβολταϊκής γεννήτριας. Το χαμηλοπερατό φίλτρο είναι ένας απλός συνδυασμός αντίστασης και πυκνωτή (RC) με τον πυκνωτή παράλληλα συνδεδεμένο στο φορτίο. Ο πυκνωτής μπλοκάρει τα σήματα χαμηλής συχνότητας και τα αναγκάζει να περνούν μέσα από την αντίσταση φορτίου. Η σταθερά χρόνου του φίλτρου δίνεται από την εξίσωση:  $\tau = RC$ . [9]

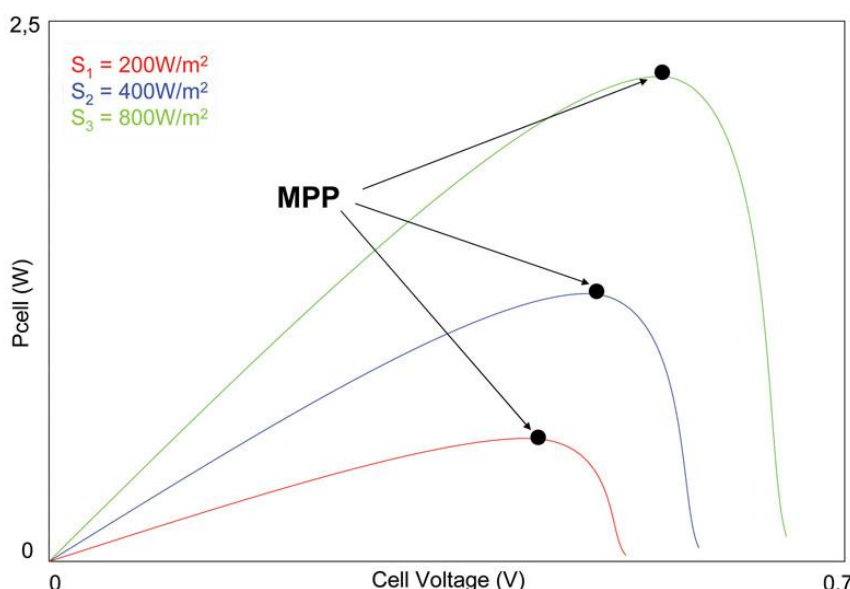
Η συχνότητα αποκοπής :

$$f_c = \frac{1}{2\pi RC} \quad (3.34)$$



### 3.3.2 A) Σύστημα εντοπισμού μέγιστης ισχύος (Mpp Tracker)

Στις υλοποιήσεις των ρυθμιστών φόρτισης συσσωρευτών με κύριο μέλημα τους την προστασία του συσσωρευτή από υπερφόρτιση όπως και την προστασία του συσσωρευτή από υπερβολική εκφόρτιση, η ισχύς που τροφοδοτεί το φωτοβολταϊκό δεν είναι για όλες τις συνθήκες λειτουργίας η μέγιστη. Σε αυτές τις περιπτώσεις, η μεταφορά ισχύος από τη γεννήτρια στο συσσωρευτή και το φορτίο είναι αποδοτική μόνο για ορισμένες τιμές από μια σχετικά μεγάλη περιοχή τιμών των παραμέτρων λειτουργίας, όπως το μέγεθος του φορτίου, του συσσωρευτή, τη θερμοκρασία των φωτοβολταϊκών κυττάρων, την πυκνότητα ενέργειας της ηλιακής ακτινοβολίας, τον βαθμό γήρανσης των φωτοβολταϊκών κυττάρων, κλπ. Έτσι παρουσιάζονται απώλειες οι οποίες κυμαίνονται από πολύ μικρές ως 10% κατά τη διάρκεια μιας τυπικής ηλιόλουστης ημέρας. Η λύση στο πρόβλημα αυτό είναι να χρησιμοποιηθεί ένα σύστημα παρακολούθησης του σημείου μέγιστης ισχύος (maximum power point tracker).



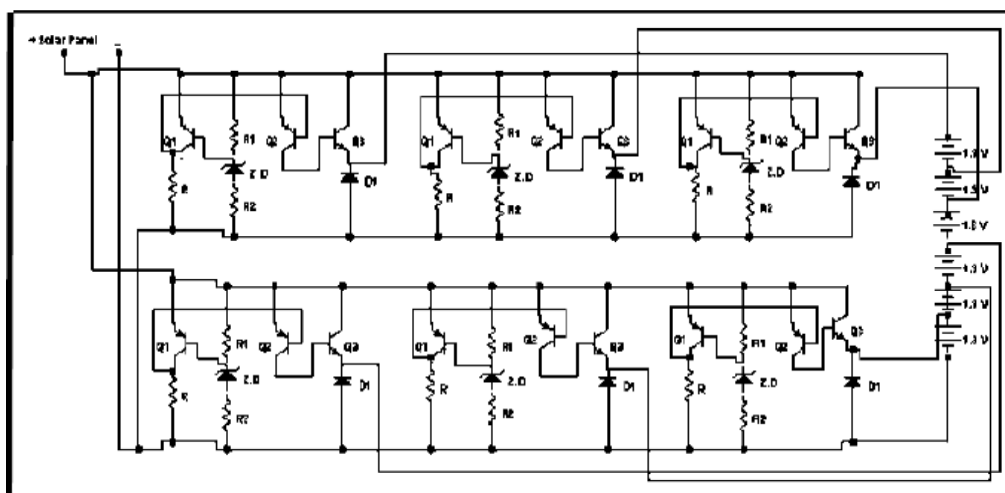
Εικόνα 3.20 Μέγιστο σημείο λειτουργίας φωτοβολταϊκού κελιού σε διαφορετικά επίπεδα ακτινοβολίας

Μερικές από τις τεχνικές **MPPT** είναι οι ακόλουθες:

1. Διαταραχή και Παρατήρηση (Perturb and Observe)
2. Στοιχειώδης αγωγιμότητα ( Incremental Conductance)
3. Με βάση την τάση ανοιχτού κύκλου ως ποσοστό ( Open Voltage, OV)
4. Με βάση το ρεύμα βραχυκύκλωσης ως ποσοστό (Short Current, SC)
5. Έλεγχος με συσχέτιση της κυμάτωσης (Ripple Correlation Control, RCC)
6. Σάρωση ρεύματος (Current Sweep)
7. DC Link Capacitor Droop Control (DC LCDC)
8. Μεγιστοποίηση ρεύματος ή τάσης φορτίου
9.  $dP/dV$  ή  $dP/dI$  Feedback control
10. Έλεγχος με ασαφή λογική ( Fuzzy Logic)
11. Νευρωνικά Δίκτυα.

Η αρχή λειτουργίας ενός MPPT ρυθμιστή φόρτισης, βασίζεται στη συνεχή παρακολούθηση της δυναμικής αντίστασης  $R_m$  της φωτοβολταϊκής συστοιχίας και στο κατάλληλο ταίριασμα της εμπέδησης του φορτίου του συστήματος, δηλαδή στην προσαρμογή του σημείου λειτουργίας της συστοιχίας-φορτίου, ώστε το σημείο αυτό λειτουργίας του φωτοβολταϊκού συστήματος να βρίσκεται όσο το δυνατό πλησιέστερα στο αντίστοιχο με το επίπεδο ηλιοφάνειας σημείο μέγιστης ισχύος. Αυτό επιτυγχάνεται με τον συνεχή έλεγχο των αλγεβρικών πρόσημων των παραγώγων της ισχύος και της τάσης στην έξοδο της γεννήτριας με τη βοήθεια των κατάλληλων κυκλωμάτων, τα οποία και παράγουν κατάλληλα σήματα που αλλάζουν την κατάσταση του διακόπτη του μετατροπέα DC / DC και διαμορφώνουν κατάλληλα τον κύκλο λειτουργίας του, ώστε να μετατοπίζεται το σημείο λειτουργίας στην I-V χαρακτηριστική της φωτοβολταϊκής γεννήτριας όσο το δυνατόν πλησιέστερα στο σημείο μέγιστης ισχύος, ανάλογα με την ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας και της θερμοκρασίας στα ηλιακά κύτταρα. [10]

### 3.3.2 B) Ηλεκτρονικό κύκλωμα της μονάδας ελέγχου:



Εικόνα 3.21 Ηλεκτρονικό κύκλωμα ελέγχου

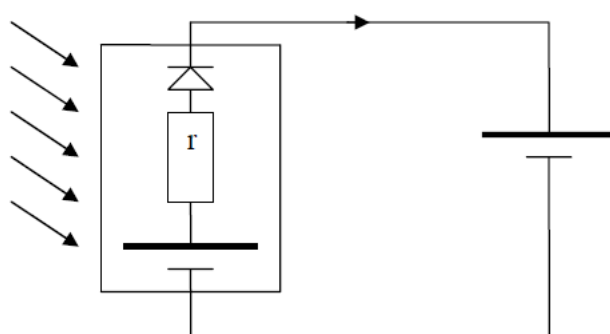
Το ηλεκτρονικό κύκλωμα της μονάδας ελέγχου αποτελείται από 6 παρόμοια τμήματα το καθένα από τα οποία αποτελείται από 3 τρανζίστορ γενικού τύπου. Ο μοναδικός περιορισμός για αυτά είναι η ονομαστική τους ισχύς. Καθένα από αυτά τα ίδια 6 τμήματα αναλαμβάνει να φορτίσει και ένα κελί του συσσωρευτή. Ο συσσωρευτής αποτελείται από 6 κελιά των 2,2V (συνολικά 12V) και οι λειτουργίες του κάθε τμήματος περιγράφονται παρακάτω:

1. Το πρώτο τρανζίστορ θα πρέπει να έχει χαμηλή ισχύ της τάξης των 0,1W το δεύτερο περίπου 1W ενώ το τρίτο πρέπει να ναι τύπου 2N3055NPN τρανζίστορ μεγάλης ισχύος(σαν boost converter σε flyback mode). Η βάση του πρώτου τρανζίστορ ενεργοποιεί την δίοδο zener. Για χαμηλές τιμές τάσης η zener είναι εκτός λειτουργίας. Καθώς αυξάνει η τάση από τα φ/β, το ρεύμα περνάει μέσα από την δίοδο και την βάση του NPN τρανζίστορ.
2. Οι τιμές των αντιστάσεων που συνδέονται στις 2 μεριές της δίοδου zener έχουν τιμές ώστε το ρεύμα της δίοδου να ρέει όταν η τάση από τα φωτοβολταϊκά πάνελ φτάνει τουλάχιστον στα 4V. Σε αυτό το σημείο το πρώτο τρανζίστορ ενεργοποιείται και αυτό θα βραχυκυκλώσει το δεύτερο που θα οδηγήσει το τρίτο τρανζίστορ ισχύος σε κατάσταση εκτός λειτουργίας. Τα δύο τελευταία τρανζίστορ είναι ένα ζευγάρι Darlington και θα μπορούσαν να

αντικατασταθούν και με ένα υψηλού κέρδους Darlington τρανζίστορ. Έτσι, για τάση από τα ηλιακά πάνελ ίση με 2,2-4,4V το ρεύμα φόρτισης θα ρέει μόνο μέσω του πρώτου κελιού του συσσωρευτή.

3. Σε κανένα από τα υπόλοιπα κελιά δεν ρέει ρεύμα γιατί όλα έχουν τάση πάνω από την τάση των φ/β. Καθώς η τάση από τα φωτοβολταϊκά φτάνει στα 4,4V η φόρτιση του πρώτου κελιού απενεργοποιείται και μέσω του δεύτερου κυκλώματος αρχίζει να φορτίζει ο συνδυασμός του πρώτου με το δεύτερο κελί. Μέχρι η τάση να αυξηθεί στα 6,6V. Έτσι συνεχίζεται η διαδικασία φόρτισης για τα υπόλοιπα κελιά μέχρι η τάση από τα φωτοβολταϊκά να γίνει μεγαλύτερη από 13,6V οπότε και ενεργοποιείται το έκτο κύκλωμα το οποίο είναι ρυθμισμένο ώστε να απενεργοποιείται όποτε ο συσσωρευτής κινδυνεύει να υπερφορτιστεί. [24]

➤ **Προστασία συσσωρευτή από υπερβολική φόρτιση - εκφόρτιση:**



Εικόνα 3.22 Ισοδύναμο κύκλωμα φόρτισης στοιχείου συσσωρευτή από φ/β πηγή

Η αποθηκευμένη ενέργεια στο συσσωρευτή θα ισούται με

$$P = i * E_0 \quad (3.35)$$

Με  $i$  να είναι το ρεύμα του φωτοβολταϊκού και  $E$  η τάση ανοιχτοκύκλωσής του. Αν  $r$  αντιπροσωπεύει την εσωτερική αντίσταση του φ/β θα ισχύει:

$$i * r = E - E_0 \quad (3.36)$$

και 
$$i = E / I_0 . \quad (3.37)$$

Το  $I_0$  είναι το ρεύμα βραχυκύκλωσης του φ/β και ισούται με:  $I_0 = K * \Phi$  όπου  $\Phi$  είναι η ακτινοβολία που δέχεται το φ/β και  $K$  μια σταθερά που δείχνει το βαθμό μετατροπής.

Η ισχύς του συσσωρευτή επομένως γίνεται: 
$$P = E * i - i^2 * r \quad (3.38)$$

και για την μέγιστη κατάσταση ισχύος έχουμε: 
$$i = E / 2r = I_0 / 2 = K\Phi / 2. \quad (3.39)$$

Η φόρτιση του συσσωρευτή γίνεται με την αρχή της απομόνωσης των εν σειρά κελιών από τα οποία αποτελείται. Η τάση στα άκρα των συσσωρευτών ελέγχεται διαρκώς. Όταν η τιμή της τάσης αυτής ξεπεράσει μία συγκεκριμένη στάθμη (οπότε οι συσσωρευτές θα έχουν φορτιστεί πλήρως), ένα τρανζίστορ ισχύος T1 παράλληλα με το ηλιακό πάνελ μετάγεται οπότε η τάση εξόδου του πλαισίου χαμηλώνει και οι συσσωρευτές παύουν να φορτίζονται. Η τάση ελέγχεται από το

κύκλωμα γύρω από το δεύτερο τρανζίστορ T2 που υπάρχει. Μια διόδος ζένερ επιβάλλει στον εκπομπό του T2 μία μετατόπιση κατά περίπου 1,4V. Ένας διαιρέτης τάσης εξασφαλίζει στο T2 την τάση πόλωσης της βάσης. Μόλις η τάση αυτή ξεπεράσει τα 2 V (1,4 V συν την πτώση τάσης της επαφής βάσης –εκπομπού του T2), το τρανζίστορ αρχίζει να άγει. Η αγωγιμότητα αυτή “τραβάει” μέσω μιας αντίστασης την βάση του T1 χαμηλότερα, οπότε αρχίζει να άγει και το T1. Μόλις αρχίσει να άγει το T1, το ρεύμα από το ηλιακό πλαίσιο εκτρέπεται προς την αντίσταση ισχύος (10 Ω, στο 1 Watt είναι αρκετά). Με τον τρόπο αυτό πέφτει η τάση στα άκρα του πλαισίου και η διαδικασία φόρτισης διακόπτεται. Ανάλογα με τις ανοχές των εξαρτημάτων στον διαιρέτη τάσης, το T2 και την διόδο, πρέπει να πειραματιστούμε λίγο για να εντοπίσουμε την ακριβή θέση ρύθμισης της μεταβλητής αντίστασης που υπάρχει στον διαιρέτη τάσης στην οποία επιτυγχάνεται η σωστή τελική τάση για τους συσσωρευτές.

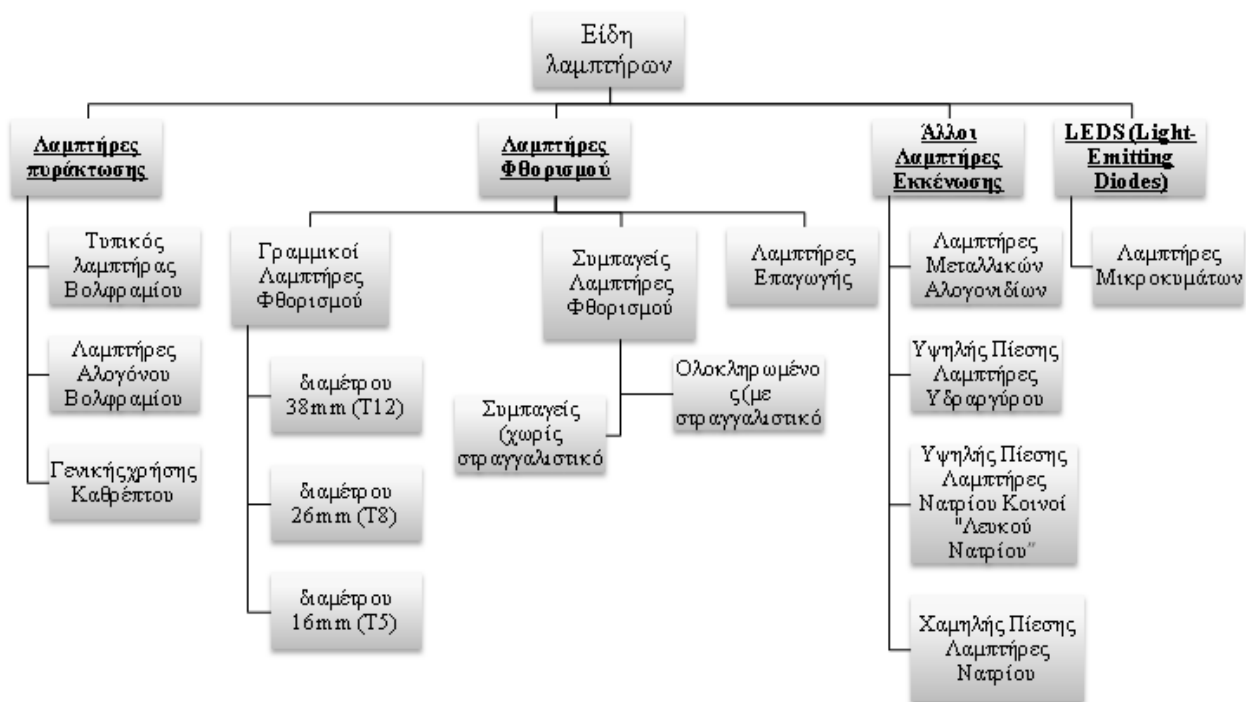
Για τον συσσωρευτή των 12V που αποτελείται από 6 κελιά των 2,1V/κελί ο φορτιστής οδηγεί το ρεύμα ώστε να φορτίσει πρώτα το πρώτο κελί όταν η τάση από τα φωτοβολταϊκά είναι μεταξύ 2-4V. Στην συνέχεια το ρεύμα φόρτισης θα πρέπει να δρομολογηθεί ξανά και σιγά να φορτίσει τον συνδυασμό των σε σειρά κελιών του συσσωρευτή. Στην περίπτωση που η τάση από τα φωτοβολταϊκά ξεπερνά τα 12V ο συσσωρευτής θα είναι συνεχώς σε κατάσταση φόρτισης η οποία θα διακόπτεται από την μονάδα ελέγχου όταν η τάση ξεπερνά συγκεκριμένα όρια τιμών (για παράδειγμα τα 14,4V για έναν 12V συσσωρευτή).

Πίνακας 3.1 Λειτουργία Φορτιστή

Κατάσταση συστήματος	Ενέργεια φορτιστή
Αν $V_{\text{συσσωρ.}} > V_{\text{max\_off\_συσσωρ.}}$ και $I_{\text{φορτίου}} < I_{\text{φωτοβ.}}$	Αποσύνδεση της φωτοβολταϊκής γεννήτριας από το σύστημα
Αν η προηγούμενη εντολή εκτελέστηκε και $V_{\text{συσσωρ.}} < V_{\text{max\_on\_συσσωρ.}}$	Επανασύνδεση της φωτοβολταϊκής γεννήτριας στο σύστημα
Αν $V_{\text{συσσωρ.}} < V_{\text{min\_off\_συσσωρ.}}$ και $I_{\text{φορτίου}} > I_{\text{φωτοβ.}}$	Αποσύνδεση του φορτίου από το σύστημα
Αν η προηγούμενη εντολή εκτελέστηκε και $V_{\text{συσσωρ.}} > V_{\text{min\_on\_συσσωρ.}}$	Επανασύνδεση του φορτίου στο σύστημα

### 3.4 Λαμπτήρες

#### 3.4.1 Είδη λαμπτήρων:



Εικόνα 3.23 Είδη λαμπτήρων.

**A) Λαμπτήρας πυράκτωσης:** Λαμπτήρας στον οποίο το φως παράγεται από την θέρμανση ενός μεταλλικού νήματος κατά την δίοδο του ηλεκτρικού ρεύματος.

- [1] Τυπικός λαμπτήρας βολφραμίου: Λαμπτήρας πυράκτωσης, στον οποίο το νήμα της είναι από βολφράμιο.
- [2] Λαμπτήρας αλογόνου βολφραμίου: Περιέχει και στοιχεία αλογόνων ή ενώσεις αλογόνων.

**B) Λαμπτήρας φθορισμού:** Αποτελείται από ένα στεγανό γυάλινο σωλήνα, με εσωτερική επικάλυψη από φθορίζουσες ουσίες και πλήρωση με ευγενή αέρια και μικρή ποσότητα ατμών υδραργύρου. Μια ηλεκτρική εκκένωση μέσα στο σωλήνα διεγείρει τα άτομα υδραργύρου, τα οποία εκπέμπουν ακτινοβολία κυρίως στο υπεριώδες φάσμα συχνοτήτων. Αυτή η υπεριώδης ακτινοβολία μετατρέπεται σε ορατό φως μέσω φθορίζουσών ουσιών. Οι λαμπτήρες φθορισμού είναι διαθέσιμοι σε διάφορες διαμέτρους, με πλήρωση διαφορετικών ευγενών αερίων και με διάφορες φθορίζουσες ουσίες. Το χρώμα της φωτεινής δέσμης ενός λαμπτήρα φθορισμού καθορίζεται από το είδος της φθορίζουσας επικάλυψης του σωλήνα, η οποία καθορίζει επίσης το δείκτη χρωματικής απόδοσης του λαμπτήρα. Όλοι οι λαμπτήρες φθορισμού απαιτούν στραγγαλιστική διάταξη για την εξασφάλιση των κατάλληλων συνθηκών έναυσης και ελέγχου της εκκένωσης.

- [1] Γραμμικός λαμπτήρας φθορισμού (ή σωληνοειδής): Λαμπτήρας φθορισμού ευθείας σωληνοειδούς μορφής που φέρει από ένα ζεύγος ακίδων για ηλεκτρική τροφοδοσία σε κάθε άκρο του.
- [2] Συμπαγής Λαμπτήρας Φθορισμού (CFL): Λαμπτήρας φθορισμού ενός άκρου με κυρτό σωλήνα σε σχήμα U εκκένωσης μικρής διαμέτρου, περίπου 10-16 mm, ο οποίος αποτελεί μία πολύ συμπαγή μονάδα.
- [3] Λαμπτήρας επαγωγής: Συμπαγής λαμπτήρας φθορισμού άνευ ηλεκτροδίου, όπου η εκκένωση προκαλείται από υψηλής συχνότητας ενεργειακή ροή.

**Γ) Λαμπτήρας εκκένωσης:** Λαμπτήρας στον οποίο το φως παράγεται από ηλεκτρική εκκένωση μέσω ενός αερίου, ατμού μετάλλων ή μίγματος αερίων και ατμών. Όλοι οι λαμπτήρες εκκένωσης απαιτούν στραγγαλιστική διάταξη στο ηλεκτρικό τους κύκλωμα, για τον έλεγχο του ρεύματος στον λαμπτήρα.

- [1] Λαμπτήρας υδραργύρου υψηλής πίεσης (ονομάζεται επίσης MBF).
- [2] Λαμπτήρας νατρίου υψηλής πίεσης (ονομάζεται επίσης SON).

#### Δ) Κατηγορίες Leds (Light Emitting Diodes):

- [1] LED Ετεροεπαφής Υψηλής Εντάσεως.
- [2] LED Εκπομπής Άκρου
- [3] LED Εκπομπής Επιφάνειας.



Εικόνα 3.24 Μια ποικιλία από λαμπτήρες LED που διατίθενται στο εμπόριο από το 2010 για την αντικατάσταση των βιδωτών λαμπτήρων. Προβολέας-φωτιστικό (αριστερά), φως ανάγνωσης (κέντρο), οικιακοί λαμπτήρες (κέντρο δεξιά και κάτω), και χαμηλής κατανάλωσης λαμπτήρας (δεξιά).

#### Χαρακτηριστικά λαμπτήρων:

- Η εξωτερική απόδοση  $\eta_{εξ}$  ενός LED: είναι ένα μέτρο της απόδοσης της μετατροπής της ηλεκτρικής ενέργειας σε εκπεμπόμενη εξωτερικά φωτεινή ενέργεια. Στο μέγεθος αυτό συνυπολογίζεται η εσωτερική απόδοση της ακτινοβολούσας διαδικασίας επανασύνδεσης και η επακόλουθη απόδοση της εξόδου των φωτονίων από την διάταξη. Η ηλεκτρική ενέργεια στην είσοδο ενός LED ισούται απλά με το γινόμενο του ρεύματος επί την τάση της διόδου ( $I \times V$ ). Αν η φωτεινή ισχύς που εκπέμπεται από την διάταξη είναι  $P_{out}$ , τότε:

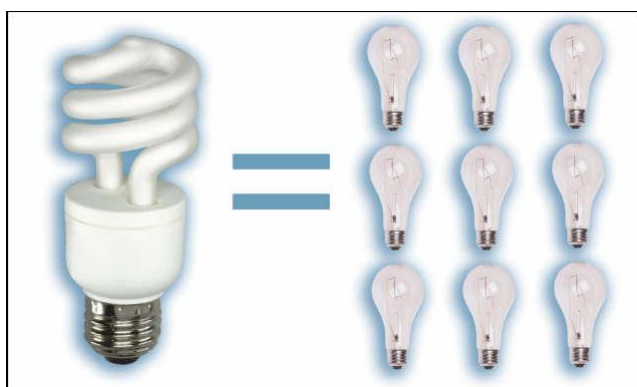
$$\eta_{εξ} = P_{εξ(οπτική)} \times 100\% / I \cdot V. \quad (3.40)$$

- Η διάρκεια ζωής των λαμπτήρων θερμών καθόδων: καθορίζεται από τον ρυθμό της εκπεμπόμενης επικάλυψης στα ηλεκτρόδια. Κάθε φορά που γίνεται η έναυση του λαμπτήρα κάποιες επικαλύψεις διαβρώνονται. Επίσης κατά την διάρκεια λειτουργίας του λαμπτήρα συμβαίνει εξάτμιση του εκπεμπόμενου υλικού. Τα ηλεκτρόδια είναι σχεδιασμένα έτσι ώστε αυτά τα φαινόμενα να είναι ελάχιστα. Το τέλος της διάρκειας της ζωής του λαμπτήρα συμβαίνει όταν είτε η επικάλυψη έχει απομακρυνθεί εξολοκλήρου από το ένα τουλάχιστον ηλεκτρόδιο είτε η απομένουσα επικάλυψη δεν εκπέμπει περαιτέρω. Οι λαμπτήρες ψυχρών καθόδων δεν επηρεάζονται σημαντικά από την συχνότητα εναύσεων εξαιτίας του τύπου των χρησιμοποιούμενων ηλεκτροδίων.
- Φωτεινή ένταση (cd): ο λόγος της στοιχειώδους φωτεινής ροής  $d\Phi$  που εκπέμπει μια σημειακή πηγή μέσα σε μια στοιχειώδη στερεά γωνία  $d\omega$ , προς τη γωνία αυτή:  $d\Phi / d\omega$ .
- Δείκτης Χρωματικής Απόδοσης (CRI) λαμπτήρα: κυμαίνεται από 0 έως 100 και εκφράζει το βαθμό πιστότητας στην απόδοση των πραγματικών χρωμάτων (όταν φωτίζονται από μια πρότυπη φωτεινή πηγή). Όσο μεγαλύτερος είναι ο δείκτης χρωματικής απόδοσης, τόσο μικρότερη είναι η χρωματική απόκλιση των χρωμάτων.
- Θερμοκρασία Χρώματος λαμπτήρα: αναφέρεται στο χρώμα της εκπεμπόμενης φωτεινής δέσμης και εκφράζεται σε βαθμούς KELVIN . Όσο υψηλότερη είναι η θερμοκρασία χρώματος τόσο ψυχρότερη είναι η απόχρωση της φωτεινής πηγής. Θερμοκρασίες χρώματος των 4000 K και άνω αντιστοιχούν σε λευκή και ψυχρή απόχρωση. Θερμοκρασίες χρώματος μικρότερες των 3000 K αντιστοιχούν σε θερμές αποχρώσεις π.χ. λαμπτήρες πυράκτωσης.
- Βαθμός απόδοσης (lm/Watt): η αποδιδόμενη ηλεκτρική ενέργεια είναι η φωτεινή και δίνεται από την σχέση:  $\eta = \Phi / P_{\eta\lambda}$ . ( $\Phi$  : φωτεινή ροή λαμπτήρα,  $P_{\eta\lambda}$  : καταναλισκόμενη ηλεκτρική ισχύς του λαμπτήρα) . Σε μερικά είδη λαμπτήρων δεν καταναλώνεται όλη η ηλεκτρική ισχύς για την παραγωγή φωτός και αυτό γιατί ο λαμπτήρας συνοδεύεται από διάφορα εξαρτήματα όπως είναι το στραγγαλιστικό πηνίο και ο πυκνωτής διόρθωσης συνημίτονου, τα οποία κυρίως ευθύνονται για τις απώλειες του συστήματος. [17]
- Ballast: Οι λαμπτήρες φθορισμού έχουν μία αρνητική χαρακτηριστική τάσης-ρεύματος και απαιτείται η χρήση του ballast για τον περιορισμό του ρεύματος. Επιπρόσθετα το ballast εξασφαλίζει την αναγκαία τάση για την έναυση του τόξου. Αυτή η τάση μπορεί να είναι 1.5 έως 4 φορές πολλαπλάσια της κανονικής τάσης λειτουργίας. Τα ballasts διακρίνονται σε δύο κατηγορίες: **στα ηλεκτρομαγνητικά και στα ηλεκτρονικά**. Τα ηλεκτρομαγνητικά είναι ένα στραγγαλιστικό πηνίο το οποίο αποτελείται από ένα σιδηροπυρήνα στον οποίο είναι περιελιγμένα μονωμένα σύρματα χαλκού ή αλουμινίου. Τα ηλεκτρονικά ballasts χωρίζονται σε υψηλής και χαμηλής συχνότητας και παρά το μεγαλύτερο κόστος αγοράς είναι οικονομικότερα στην λειτουργία τους και αυξάνουν τον χρόνο ζωής του λαμπτήρα.. Τυπικά υπάρχει μείωση 25% στην διάρκεια ζωής με αναφορά σε συχνότητα εναύσεων κάθε τρεις ώρες.[19]

### 3.4.2 Σύγκριση λαμπτήρων:

Πίνακας 3.2 Σύγκριση λαμπτήρων

Χαρακτηριστικά	Leds	Λαμπτήρες Φθορισμού	Λαμπτήρας πυρακτώσεως
Απόδοση	Μεγάλη	40-80 Lm/Watt	9,7-17,4Lm / Watt
Μέγεθος	Μικρότερα από 2mm.	38,1cm -121,9.	15cm- 53,3cm.
Χρόνος ON/OFF:	Γρήγορη απόκριση.	Σε ορισμένα είδη χρειάζονται 5 λεπτά ώσπου να αποδώσουν πλήρως τη φωτεινότητα.	
Χρόνος ζωής	35.000 έως 50.000 ώρες	10.000 έως 15.000 ώρες	1.000 έως 2.000ώρες
Αντίσταση σε κραδασμούς	στοιχεία στερεάς κατάστασης	ζημιιά από κραδασμούς.	ζημιιά από κραδασμούς.
Εστίαση	εστιάζουν το φως σε συγκεκριμένο σημείο/περιοχή.	Απαιτούν εξωτερικό ανακλαστήρα για να συλλέγει το φως και να το κατευθύνει.	
Τοξικότητα	Τα μπλε Leds και τα ψυχρού λευκού προκαλούν μεγάλη φωτορύπανση (μόλυνση από το μπλε).	Περιέχει υδράργυρο.	Καμία.
Κόστος αγοράς	Αποπληρωμή σε 2 χρόνια κατά μέσο όρο.	Χαμηλό	Χαμηλό
Θερμοκρασία χρώματος	Μεγάλη	Πλήρες φάσμα. Από 2700K(ζεστό λευκό) έως 4000K(ψυχρό λευκό).	Ζεστό λευκό. Χαμηλότερο από 3300K.



Εικόνα 3.22 Εξοικονόμηση ενέργειας με χρήση λαμπτήρα φθορισμού



## Κεφάλαιο 4<sup>ο</sup>

### Διαστασιολόγηση και ανάπτυξη του συστήματος.

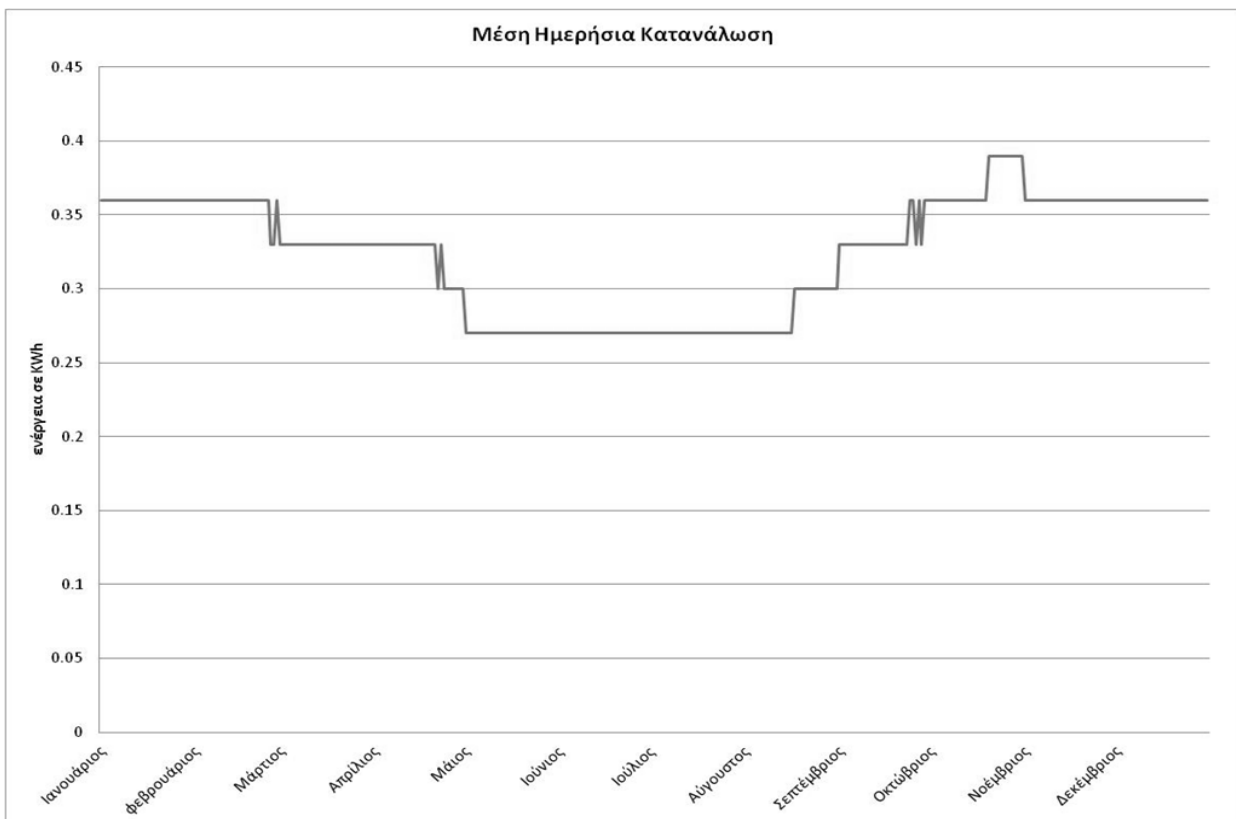
Η μελέτη και ο σχεδιασμός ενός αυτόνομου συστήματος στοχεύει στο βέλτιστο συσχετισμό των προβλέψεων για τα μεγέθη της ηλεκτρικής ζήτησης από το σύστημα και της ηλιακής ακτινοβολίας που θα δέχονται οι συλλέκτες του. Επιδιώκεται έτσι η αποφυγή των υπερβολικών δαπανών που θα συνεπάγονταν ο υπερσχεδιασμός του συστήματος.

### 4.1 Επιλογή των μοντέλων φορτίου και ηλιακής ακτινοβολίας:

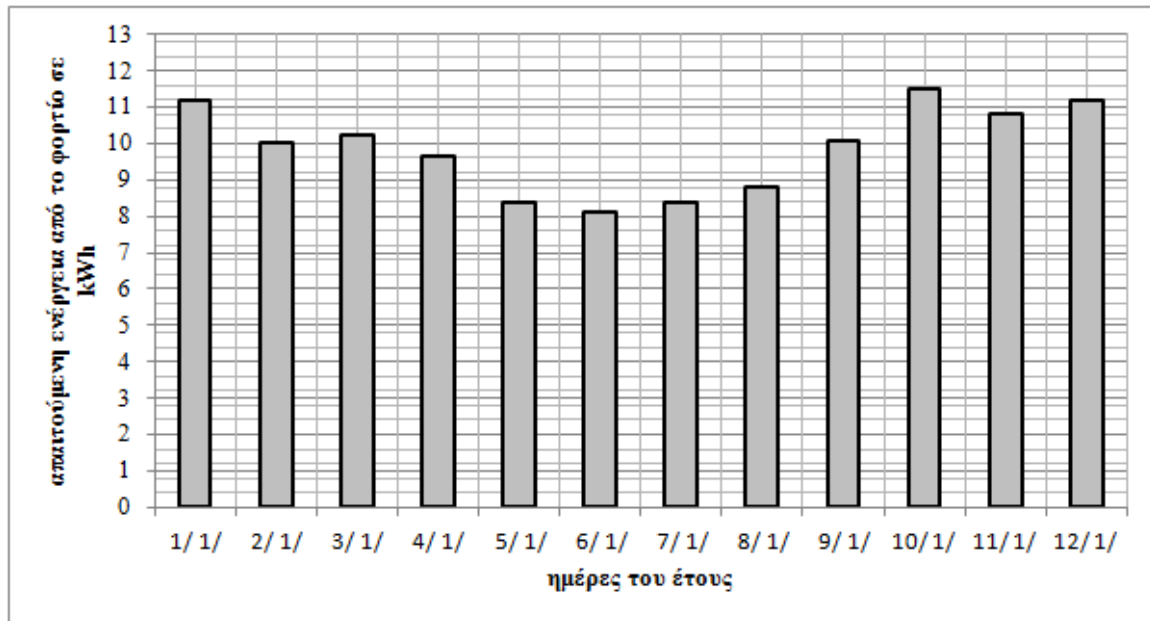
**4.1.1 Προσδιορισμός του φορτίου:** κατά ελάχιστο είναι αναγκαία η μηνιαία κατανάλωση (ή η μέση ημερήσια για κάθε μήνα). Επιπλέον είναι χρήσιμη μια τυπική 24-ωρη καμπύλη φορτίου (ανά ώρα) και οι αντίστοιχες της ετήσιας μέγιστης και ελάχιστης ζήτησης.

Οι λαμπτήρες στο υπό σχεδίαση σύστημα θέλουμε να ανάβουν ορισμένες ώρες ανάλογα με την εποχή και την ώρα ανατολής/δύσης του ηλίου. Για τους θερινούς μήνες θέλουμε να λειτουργεί για 10 ώρες συνεχόμενα ενώ για τους χειμερινούς μήνες 12 ώρες. Για τον λαμπτήρα έχει υπολογιστεί 30W κατανάλωση ανά ώρα. [1]

Συνολικά: 
$$K = \Sigma [ \text{Ισχύς} \times (\text{ώρες λειτουργίας}) ] \quad (4.1)$$



Εικόνα 4.1 Μέση ημερήσια κατανάλωση ανά μήνα

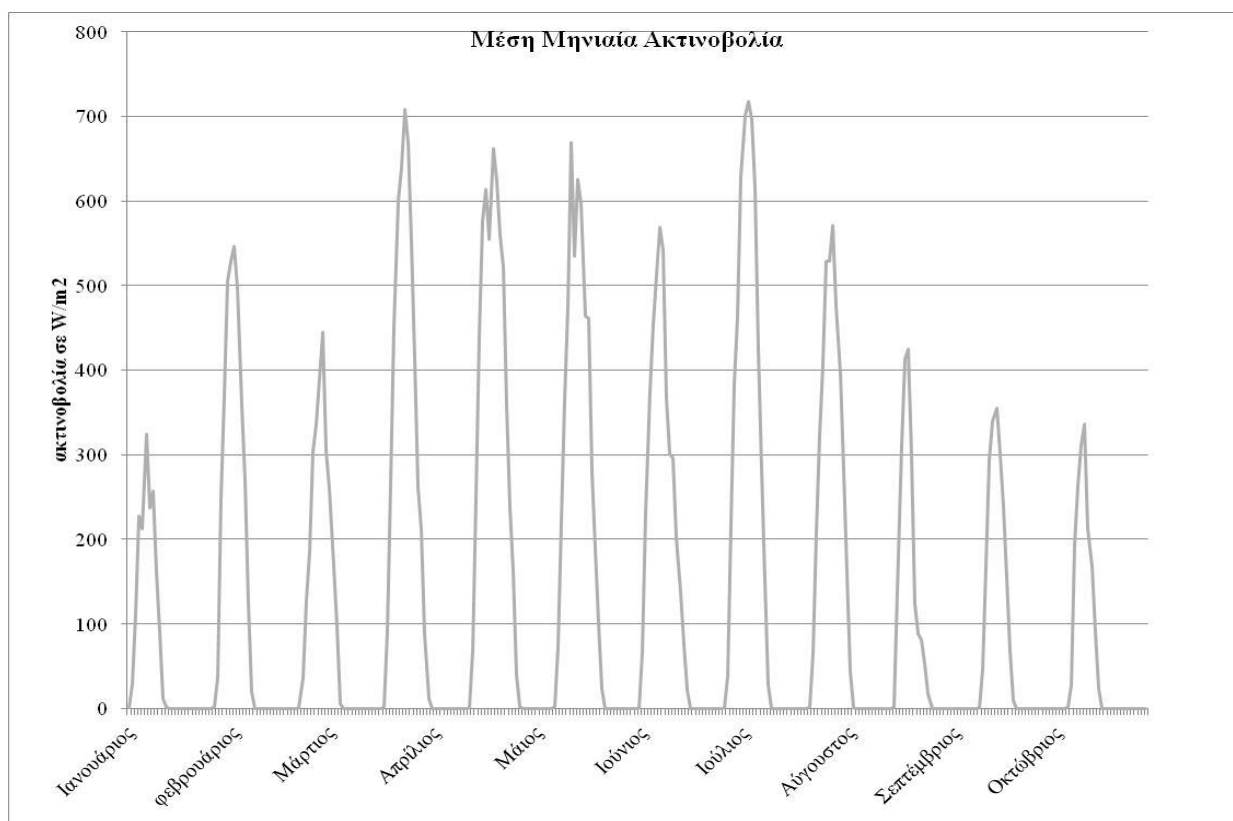


Εικόνα 4.2 Ενέργεια απαιτούμενη από το φορτίο για κάθε μήνα του έτους σε kWh.

#### 4.1.2 Προσδιορισμός του μοντέλου ισχύος της ηλιακής ενέργειας ανά $m^2$ ηλιακού συλλέκτη

Η διαμόρφωση του φάσματος του φωτός που εκπέμπει ο ήλιος προσομοιάζεται συνήθως με την ακτινοβολία ενός μέλανος σώματος θερμοκρασίας περίπου 5800K. Το φάσμα των συχνοτήτων της ηλιακής ακτινοβολίας περιλαμβάνει συχνότητες με μήκος κύματος από 0,3 έως 1,7 $\mu m$ , με μέγιστο ενεργειακό περιεχόμενο στην περιοχή των 0,5 $\mu m$ . Η συνολική ενέργεια στη μονάδα του χρόνου (ισχύς) που προέρχεται από μια πηγή ακτινοβολίας και προσπίπτει σε μια μοναδιαία επιφάνεια αποτελεί την **πυκνότητα ισχύος ή ένταση ηλιακής ακτινοβολίας (Irradiance)** και μετράται σε  $W/m^2$  ενώ συμβολίζεται γενικά με το  $G$ . Η τιμή της σε ορισμένη ώρα και σημείο στην επιφάνεια της γης εξαρτάται έντονα από την θέση του ήλιου στον ουρανό αλλά και τις μετεωρολογικές συνθήκες. Επίσης από την συνολική ηλιακή ακτινοβολία που φθάνει στην επιφάνεια της γης λιγότερο από 60% είναι άμεση σε μορφή δέσμης ακτινών που μπορούν για παράδειγμα να εστιαστούν με κάτοπτρα ή φακούς. Η υπόλοιπη είναι διάχυτη, δηλαδή έχει ανακλαστεί ή σκεδαστεί σε διάφορα σωματίδια, σταγονίδια που αιωρούνται στον αέρα. Για τον λόγο αυτό ο σχεδιασμός των Φ/Β συστημάτων στην πράξη βασίζεται σε στατιστικά δεδομένα μετρήσεων της πυκνότητας της ηλιακής ακτινοβολίας στην περιοχή της θέσης εγκατάστασης.

Για τον προσδιορισμό της πυκνότητας της ηλιακής ακτινοβολίας χρησιμοποιείται η χρονοσειρά ενός προηγούμενου έτους (2010) όπως προέκυψε από τις σχετικές μετρήσεις του μετεωρολογικού σταθμού του Πολυτεχνείου του Ζωγράφου με την παραδοχή ότι και τα επόμενα έτη θα υπάρχει η ίδια χρονική συμπεριφορά της εντάσεως της ακτινοβολίας κάτι που ισχύει βέβαια κατά προσέγγιση και μόνο. (Ο ιστότοπος αυτός αποτελεί κομμάτι ενός ολοκληρωμένου συστήματος καταγραφής της ηλιακής ακτινοβολίας. Μέσω αισθητήρα που βρίσκεται σε ταράτσα της σχολής ΗΜΜΥ της Πολυτεχνειούπολης Ζωγράφου, λαμβάνουμε δεδομένα αναφορικά με την πυκνότητα της ηλιακής ακτινοβολίας, ανά καθορισμένα χρονικά διαστήματα.- <http://eml.ece.ntua.gr/>) [2]



Εικόνα 4.3 Καμπύλη ακτινοβολίας στη διάρκεια του έτους 2010

Πίνακας 4.1 Κλιματολογικά και μετεωρολογικά στοιχεία όπως προέκυψαν από το διάγραμμα του 2010.

	<b>Ι</b>	<b>Φ</b>	<b>Μ</b>	<b>Α</b>	<b>Μ</b>	<b>Ι</b>	<b>Ι</b>	<b>Α</b>	<b>Σ</b>	<b>Ο</b>	<b>Ν</b>	<b>Δ</b>	
<b>Μέση ακτινοβολία (kWh/m<sup>2</sup>).</b>	93,5	95,9	108,43	149,04	186,00	203,51	215,06	200,32	155,35	107,03	92	92,03	
<b>Ηλιοφεγγεΐς μέρες.</b>	3,2	4,3	5,6	7,5	7	11,9	21,3	21,6	15,4	8,9	3,8	3,4	
<b>Ανήλιες μέρες.</b>	5,7	3,1	2,5	1,1	0,5	0,1	0	0	0,2	1	2,5	4,1	
<b>Ηλιοφάνεια σε ώρες.</b>	120	135	180	233	300	335	380	350	277	211	162	127	
<b>Μέση Θερμοκρασία σε °C.</b>	11,08	10,53	11,72	14,43	20,06	24,69	28,20	28,11	23,77	19,92	15,69	12,56	
<b>Ετήσια ακτινοβολία</b>	1585 kWh/m <sup>2</sup> A												
<b>Μέση θερμοκρασία</b>	18,4° C			<b>Μέση θερμοκρασία χειμώνα</b>			13,58° C			<b>Μέση θερμοκρασία καλοκαίρι</b>			23,21° C

## 4.2 Υπολογισμός παραμέτρων φωτοβολταϊκής γεννήτριας (Wp):

**4.2.1** Για τον υπολογισμό της φωτοβολταϊκής γεννήτριας που θα χρειαστεί το σύστημα για να τροφοδοτεί τον λαμπτήρα θα πρέπει να λάβουμε υπόψη τις ώρες μέγιστης ηλιοφάνειας ανά εποχή του χρόνου. Η συνολική κατανάλωση θα διαιρεθεί με τον αντίστοιχο συντελεστή ώστε να δούμε σε πόσες ώρες τα φωτοβολταϊκά πλαίσια θα είναι σε θέση να παρέχουν την ενέργεια στο σύστημα και έτσι θα υπολογίσουμε το μέγεθός τους. [4]

Η μέση θερμοκρασία του αέρα τις φωτεινές ώρες της ημέρας είναι 11,08 ° C για τον Ιανουάριο και 23,77 ° C τον Σεπτέμβριο. Η θερμοκρασία των ηλιακών στοιχείων είναι σχεδόν 30°C περισσότερο και έτσι καταλήγουμε σε 41° C για τον Ιανουάριο και 54 ° C για τον Σεπτέμβριο. Με βάση το σχήμα 3.9 του κεφαλαίου 3 όπου φαίνεται η εξάρτηση της απόδοσης από την θερμοκρασία του φ/β στοιχείου βρίσκω ότι οι τιμές του συντελεστή θερμοκρασιακής διόρθωσης είναι 0,92 και 0,89 αντίστοιχα. Αυτός ο υπολογισμός δεν λαμβάνει υπόψη τους πιθανούς ανέμους που θα εμποδίζουν στη διάρκεια του έτους την υπερθέρμανση των στοιχείων. Για την ρύπανση των φωτοβολταϊκών συλλεκτών θεωρούμε τον συντελεστή καθαρότητας γύρω στο 0,92 για τους χειμερινούς και 0,9 για τους θερινούς μήνες δεχόμενοι ότι θα γίνεται περιοδική συντήρηση και καθαρισμός των συλλεκτών.

### Υπάρχουν δύο τρόποι υπολογισμού της απαιτούμενης φωτοβολταϊκής εγκατάστασης:

A) Με βάση την απαιτούμενη ισχύ, υπολογίζουμε αρχικά την ιδανικά απαιτούμενη ξεχωριστά για τους χειμερινούς και θερινούς μήνες, στη συνέχεια υπολογίζουμε την ισχύ αιχμής και επιλέγουμε την μεγαλύτερη εκ των δύο:

$$P_a \text{ (kWp)} = [E(\text{kWh/ημέρα}) \times 1(\text{KW/m}^2)] / [\Pi(\text{kWh/m}^2 \cdot \text{ημέρα}) \times \sigma_{\theta} \times \sigma_{\rho}] \quad (4.2)$$

$$\text{Χειμώνας : } P_{a\chi} = 0,38 \cdot 1 / 4 \cdot 0,94 \cdot 0,92 = 0,109 \text{ kWp}$$

$$\text{Καλοκαίρι : } P_{a\theta} = 0,38 \cdot 1 / 6,93 \cdot 0,89 \cdot 0,9 = 0,054 \text{ kWp}$$

Επιλέγουμε την μεγαλύτερη εκ των δύο που είναι η πρώτη και παρατηρούμε ότι οι δύο τιμές δεν συμπίπτουν κάτι που θα είναι αρνητικό για την τελική απόδοση του συστήματος καθώς στους θερινούς μήνες δεν θα αξιοποιείται κατά το μέγιστο δυνατό.

Στη συνέχεια, θα πρέπει να συμπεριλάβουμε και τις απώλειες του συστήματος εκτιμώντας τις απώλειες της διάταξης ρύθμισης της ισχύος και τάσης καθώς και των αποθηκευτικών χώρων. Έτσι, για τους συσσωρευτές υπολογίζω 85% συντελεστή απόδοσης, για τον μετατροπέα συνεχούς ρεύματος και την διάταξη MPPT 90% και 5% για τις απώλειες στους αγωγούς. Ο συντελεστής απόδοσης τελικά γίνεται:  $\alpha = 0,85 \cdot 0,9 \cdot 0,95 = 0,72$  και η ελάχιστη ισχύς αιχμής πρέπει να είναι:

$$P' = P_{a\chi} / \alpha = 0,152 \text{ kWp}. \quad (4.3)$$

B) Ο δεύτερος τρόπος υπολογισμού γίνεται μέσω του ρεύματος που πρέπει να παράγουν τα φωτοβολταϊκά πάνελ. Στην περίπτωση αυτή ωστόσο συμπεριλαμβάνονται δίνοντας μεγαλύτερη ακρίβεια οι μέγιστες ώρες ηλιοφάνειας. Έτσι, τα βήματα εδώ είναι ως εξής:

1. Υπολογίζουμε την ισοδύναμη ένταση, δηλαδή την μέση τιμή της έντασης που πρέπει να παράγει η γεννήτρια για την απαιτούμενη από το φορτίο (και τις απώλειες των συσκευών) ενέργεια κατά την διάρκεια του 24-ώρου, όταν λειτουργεί υπό τάση  $V_{pv} = 21,3V$ :

$$I_{pv/μέση} = E_L / 24V_{pv} \text{ (σε A)} = 0,70A \quad (4.4)$$

Όπου  $E_L$  είναι η απαιτούμενη ενέργεια για την κάλυψη του φορτίου σε Wh/ημέρα.

2. Υπολογίζουμε το ονομαστικό ρεύμα της Φ/Β γεννήτριας  $I_{pv}$  ανά  $m^2$  του συλλέκτη, το οποίο ορίζεται ως αυτό που παράγει όταν λειτουργεί με την μέγιστη απόδοσή της (στο MPPT) και τάση  $V_{pv}$  και δέχεται την ονομαστική ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας  $1000W/m^2$  (ISUN). Το ημερήσιο ενεργειακό ισοζύγιο ανά  $m^2$  του συλλέκτη για μια ημέρα δίνεται από τον τύπο:

$$E_L(\text{Wh/ημέρα}) = PSH \cdot I_{pv} \cdot V_{pv} \Leftrightarrow PSH = 3,99 \text{ ώρες} \quad (4.5)$$

Όπου PSH είναι οι ηλιακές ώρες αιχμής (Peak Solar Hours).

Από τις σχέσεις (4.4) και (4.5) προκύπτει:

$$I_{pv} = 24 \cdot I_{pv/μέση} / PSH = 4,22 \text{ A} \quad (4.6)$$

Και η σχέση αυτή εκφράζει ότι η μέση τιμή της έντασης πολλαπλασιαζόμενη επί 24 ώρες πρέπει να ισούται με το ονομαστικό μέγιστο ρεύμα (ρεύμα αιχμής) της Φ/Β γεννήτριας επί τις ηλιακές ώρες αιχμής.

#### 4.2.2 Τρόπος Σύνδεσης Φ/Β πλαισίων:

Τα επιλεγμένα φωτοβολταϊκά πάνελ έχουν ισχύ αιχμής 80Wr και παράγουν τάση 17,3V. Άρα, το πλήθος υπολογίζεται:  $152Wr / 80Wr \approx 2$  πλαίσια.

- Αριθμός Φ/Β πλαισίων σε σειρά: λαμβάνοντας υπόψη το γεγονός ότι ο ρυθμιστής φόρτισης του συστήματος επιλέχθηκε από την εταιρεία Conergy και γνωρίζοντας τα στοιχεία λειτουργίας του όπως θα αναφερθούν στην αμέσως επόμενη παράγραφο, καθώς και το γεγονός ότι περιέχει σύστημα ανίχνευσης μέγιστης ισχύος (MPPT) μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε την παρακάτω σχέση:

$$N_s = V_{pv} / V'_{pv} , \quad (4.7)$$

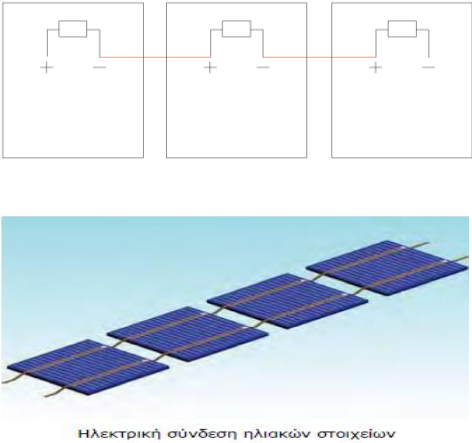
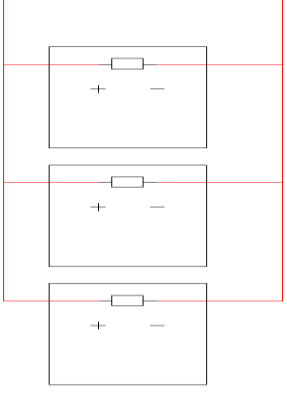
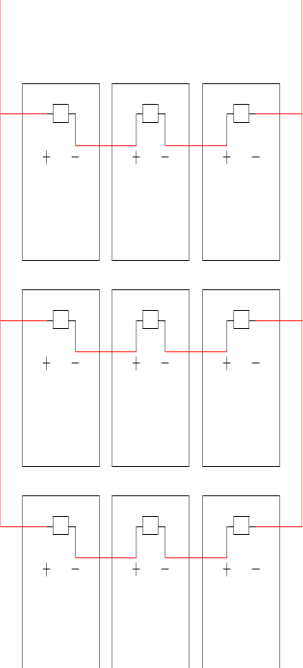
Όπου  $V'_{pv}$  είναι η τάση του μέγιστου σημείου λειτουργίας του πλαισίου.

- Αριθμός Φ/Β πλαισίων παράλληλα: πρέπει να συμπεριλάβουμε τον συντελεστή διαστασιολόγησης (sizing factor) ο οποίος εκφράζει τον βαθμό που πρέπει να αυξηθεί το ρεύμα που παράγει η Φ/Β γεννήτρια. Η επιλογή του SF σχετίζεται με την επιθυμητή αξιοπιστία συνεχούς τροφοδότησης του Φ/Β συστήματος και συνεπώς του συστήματος αποθήκευσης.

$$N_p = SF ( I_{pv} / I'_{pv} ) , \quad (4.8)$$

Όπου  $I'_{pv}$  το ονομαστικό ρεύμα κάθε Φ/Β πλαισίου υπό τις συνθήκες που αναφέρθηκαν παραπάνω και SF ο συντελεστής διαστασιολόγησης. [20]

Πίνακας 4.2 Τρόποι σύνδεσης πλαισίων

Σύνδεση Φ/Β πλαισίων σε σειρά.	Σύνδεση Φ/Β πλαισίων παράλληλα.	Συνδυασμός: Φ/Β πλαίσια συνδεδεμένα σε σειρά και ομάδες πλαισίων (strings) συνδεδεμένες μεταξύ τους παράλληλα.
		
<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ αύξηση τάσης</li> <li>➤ σταθερό ρεύμα</li> <li>➤ Η μέγιστη αναμενόμενη τάση μιας στοιχειοσειράς είναι η συνολική τάση ανοικτού κυκλώματος των εν σειρά συνδεδεμένων πλαισίων για τη μικρότερη αναμενόμενη θερμοκρασία λειτουργίας.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ αύξηση ρεύματος</li> <li>➤ σταθερή τάση</li> <li>➤ Για παράλληλους κλάδους η μέγιστη αναμενόμενη τιμή του συνολικού ρεύματος, προκύπτει από την αντίστοιχη τιμή του ενός κλάδου πολλαπλασιασμένη επί τον αριθμό των παράλληλων κλάδων.</li> </ul>	

**Διαδικασία επιλογής φωτοβολταϊκών πάνελ:**

Το κόστος αγοράς των Φ/Β πλαισίων καθορίζεται από αρκετούς παράγοντες, οι οποίοι με τη σειρά τους καθορίζονται από τα φυσικά και τα δομικά χαρακτηριστικά του πλαισίου. Φυσικά χαρακτηριστικά του πλαισίου είναι η γεωμετρία, το βάρος και τα υλικά που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή του. Ο σχεδιαστής του πλαισίου πρέπει να δώσει ιδιαίτερη σημασία στις διαστάσεις του πλαισίου, ώστε να υπάρχει η βέλτιστη τοποθέτηση (παράγοντας κάλυψης-packing factor) των Φ/Β στοιχείων και εξοικονόμηση της διαθέσιμης επιφάνειας, χωρίς να παρουσιαστεί πρόβλημα υπερθέρμανσης των στοιχείων και ηλεκτρικής επαφής μεταξύ τους. Τα υλικά που θα χρησιμοποιηθούν για την κατασκευή πρέπει να παρουσιάζουν υψηλή αντοχή στις καιρικές συνθήκες, μικρό βάρος και καλή απαγωγή της θερμότητας.

Αναλυτικότερα ο υαλοπίνακας του πλαισίου πρέπει να παρουσιάζει μικρή ανακλαστικότητα, μικρό δείκτη διάθλασης, μεγάλη αντοχή στο χαλάζι, αργή γήρανση και μικρό βάρος. Η πίσω επιφάνεια του πλαισίου κατασκευάζεται από πλαστική ύλη. Πρέπει να έχει την δυνατότητα αποβολής της παραγόμενης θερμότητας και να μην επηρεάζεται από τις καιρικές συνθήκες, την

υπεριώδη ακτινοβολία και να έχει μικρό βάρος. Όλη η κατασκευή συνδέεται με μεταλλικό πλαίσιο (συνήθως από ανοδιωμένο αλουμίνιο). Επιπλέον τα Φ/Β πλαίσια πρέπει να πληρούν τις προδιαγραφές της Ε.Ε, έχοντας υποβληθεί στις παρακάτω δοκιμασίες:

- Θερμικών κύκλων
- Θερμικού σοκ
- Ψύξης-υγρασίας
- Ηλεκτρικής μόνωσης
- Κρούσεων χαλαζόπτωσης
- Μηχανικής αντοχής και στρέψης
- Περιβάλλοντος άλμης
- Ακτινοβολιών και έκθεσης στο νερό
- Πεδίου

Οι παραπάνω παράμετροι καθορίζουν την ποιότητα και τη διάρκεια ζωής του πλαισίου. Έτσι το κόστος παραγωγής του πλαισίου αυξάνεται με την ποιότητα των υλικών που χρησιμοποιούνται. Το μεγαλύτερο ποσοστό του κόστους κατασκευής ενός πλαισίου το καταλαμβάνει ο ημιαγωγός. Η τιμή του εξαρτάται από το τύπο του ημιαγωγικού στοιχείου.

1. Το άμορφο πυρίτιο είναι το πιο φθηνό υλικό που υπάρχει αυτή τη στιγμή σε βιομηχανική παραγωγή. Τα χαρακτηριστικά του όμως δεν επιτρέπουν την εφαρμογή του σε μεγάλες εγκαταστάσεις. Έτσι λοιπόν η χρήση του περιορίζεται εκεί όπου οι ενεργειακές ανάγκες είναι μικρές. Βρίσκει βέβαια πολλές εφαρμογές την ενσωμάτωση των Φ/Β πλαισίων σε κτίρια (κατασκευάζονται έως και κεραμίδια από άμορφο πυρίτιο). Οι τιμές των πλαισίων από άμορφο πυρίτιο κυμαίνονται από 3 €/Wp έως 4,7 €/Wp.
2. Το πολυκρυσταλλικό πυρίτιο καταλαμβάνει αρκετό μέρος της αγοράς καθώς παρουσιάζει σχετικά καλά χαρακτηριστικά. Εφαρμόζεται συνήθως σε οικιακές και εφαρμογές μεσαίου μεγέθους, όπου οι απαιτήσεις σε ενέργεια δεν είναι πολύ μεγάλες και το κόστος παίζει σημαντικό ρόλο. Η τιμή του κυμαίνεται από 4 €/Wp έως 5,5 €/Wp.
3. Το μονοκρυσταλλικό πυρίτιο είναι ότι καλύτερο υπάρχει αυτή τη στιγμή στην αγορά, σε μορφή πλαισίου, από άποψη απόδοσης και απόσβεσης κεφαλαίου. Με την τιμή του να μειώνεται και η απόδοσή του να αυξάνεται φτάνοντας τα επίπεδα του πολυκρυσταλλικού, τείνει να καταλάβει την αγορά. Η τιμή του κυμαίνεται από 4 €/Wp έως 6,5 €/Wp. Τα πολύ καλά χαρακτηριστικά του το κάνουν ιδανικό για εγκαταστάσεις με μεγάλες απαιτήσεις ενέργειας, όπως Φ/Β πάρκα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και οικίες. Προτιμάται σε μεγάλα πάρκα καθώς έχει μεγάλη απόδοση, καταλαμβάνει μικρότερη έκταση και παράγει περισσότερη ενέργεια ανά τ.μ, κάτι που σημαίνει ταχύτερη απόσβεση κεφαλαίου και μείωση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα. Η μείωση του διοξειδίου του άνθρακα συμβάλει όχι μόνο στην αντιμετώπιση του φαινομένου του θερμοκηπίου και τις συνέπειες αυτού, αλλά και στους εθνικούς στόχους που έχουν τεθεί στις χώρες που υπέγραψαν το πρωτόκολλο του Κιότο.

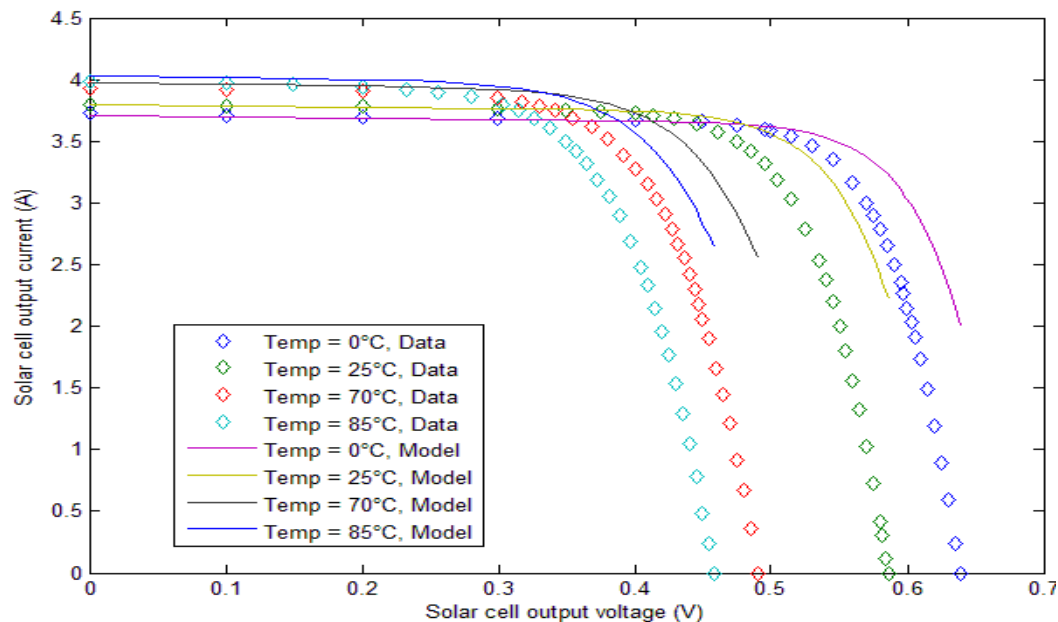
Η φωτοβολταϊκή γεννήτρια του συστήματος πρέπει να αποτελείται από φωτοβολταϊκά στοιχεία πολυκρυσταλλικού πυριτίου συνολικής μέγιστης παραγόμενης ισχύος 160Wp οπότε και επιλέχθηκαν δύο πανέλα από τη σειρά NE Series 80W (36 cells) της εταιρείας SHARP. Για τους

μήνες από Μάρτιο μέχρι Οκτώβριο διαιρούμε με έναν συντελεστή  $PSH = 5$  την συνολική κατανάλωση ενώ από Νοέμβριο μέχρι Φεβρουάριο  $PSH = 3$ . Ο συντελεστής αυτός αντιπροσωπεύει κατά μέσο όρο τις χρήσιμες ώρες ηλιοφάνειας μέσα στην μέρα για το φωτοβολταϊκό πάνελ.

Πίνακας 4.3 Κατασκευαστικά στοιχεία Φ/Β πλαισίου Sharp

Ηλεκτρικά χαρακτηριστικά		NE-80 (E1EJ)
Μέγιστη ισχύς	$P_{max}$	80 $W_p$
Τάση ανοιχτοκύκλωσης	$V_{oc}$	21.6 V
Ρεύμα βραχυκύκλωσης	$I_{sc}$	5.15 A
Απόδοση στοιχείου	$\eta_m$	10 %
Τάση στο μέγιστο σημείο λειτουργίας	$V_{mpp}$	17.3 V
Ρεύμα στο μέγιστο σημείο λειτουργίας	$I_{mpp}$	4.63 A
Ονομαστική θερμοκρασία λειτουργίας κυψέλης	NOCT	47.5 °C
Θερμοκρασιακός συντελεστής τάσης	$\alpha V_{oc}$	-78 mV/°C
Θερμοκρασιακός συντελεστής ρεύματος	$\alpha I_{sc}$	+0.053 %/°C
Θερμοκρασιακός συντελεστής ισχύος	$\alpha P_{max}$	-0.485 %/°C

Στο παρακάτω σχήμα φαίνεται η χαρακτηριστική ενός κελιού για διαφορετικές τιμές της θερμοκρασίας σύμφωνα με τα στοιχεία του κατασκευαστή. Οι συνεχείς γραμμές δείχνουν την προσομοίωση του μοντέλου.



Εικόνα 4.4 Καμπύλη I-V Φ/Β κελιού όπως υπολογίστηκε στο Simulink με βάση τα στοιχεία του κατασκευαστή



### 4.3 Υπολογισμός παραμέτρων συσσωρευτή (Ah):

**4.3.1 Ημερήσιο και εποχιακό έλλειμμα:** Ορίζεται το ποσό της ενέργειας που κατά μέσο όρο πρέπει να καλύπτουν οι συσσωρευτές λόγω της μη παραγωγής της Φ/Β γεννήτριας. Δίνεται ως η διαφορά της μέσης ημερήσιας παραγωγής και της μέσης ημερήσιας κατανάλωσης. Αυτό το στοιχείο είναι απαραίτητο για να προσδιοριστεί ο ημερήσιος κύκλος φόρτισης - εκφόρτισης του συσσωρευτή και τα ποσοστά αυτών. Το άθροισμα των ημερήσιων και μηνιαίων συνεπώς ελλειμμάτων ενέργειας δίνει το ετήσιο έλλειμμα ενέργειας. Το ετήσιο έλλειμμα διαιρούμενο με την τάση εξόδου των φωτοβολταϊκών δίνει το έλλειμμα φόρτισης: [1]

$$Q = \text{έλλειμμα ενέργειας} / V_{pv} \quad (4.9)$$

το οποίο υπολογίζεται σε Ampere – hours.

Στο παράρτημα Β παρουσιάζεται ο πίνακας υπολογισμού για κάθε ημέρα του έτους 2010 της περίσσειας ενέργειας. Στον πίνακα που ακολουθεί παρουσιάζεται η διαφορά μεταξύ παραγόμενης ενέργειας από τα φωτοβολταϊκά και μέσης κατανάλωσης από τους λαμπτήρες. **Οι αρνητικές τιμές συμβολίζουν τις μέρες που υπάρχει έλλειμμα ενέργειας δηλαδή ο συσσωρευτής δεν απέδωσε την απαιτούμενη ενέργεια για να τροφοδοτηθεί το φορτίο για όλες τις ώρες λειτουργίας.** Αυτό πιθανόν να οφείλεται σε:

- 1) Έλλειψη ηλιοφάνειας ή παροδικές σκιάσεις πανέλων.
- 2) Ελλιπής φόρτιση του συσσωρευτή.
- 3) Μεγαλύτερη διάρκεια νύχτας κατά τους χειμερινούς μήνες.

Πίνακας 4.4 Ετήσια περίσσεια ενέργειας

Από	Μέχρι	Μέση μηνιαία παραγωγή (kWh)	Μέση μηνιαία κατανάλωση (kWh)	Περίσσεια ενέργειας (kWh)
1/ 1/	2/ 1/	10,78	11,04	<b>-0,25</b>
2/ 1/	3/ 1/	10,79	9,9	0,89
3/ 1/	4/ 1/	14,40	9,3	5,10
4/ 1/	5/ 1/	18,43	9	9,43
5/ 1/	6/ 1/	20,90	7,44	13,46
6/ 1/	7/ 1/	21,97	7,2	14,77
7/ 1/	8/ 1/	23,64	7,44	16,20
8/ 1/	9/ 1/	23,87	7,89	15,98
9/ 1/	10/ 1/	21,23	10,05	11,18
10/ 1/	11/ 1/	16,16	11,52	4,64
11/ 1/	12/ 1/	11,04	10,65	0,39
12/ 1/	1/ 1/	8,90	11,04	<b>-2,13</b>

**4.3.2 Χωρητικότητα συσσωρευτών:** Το έλλειμμα φόρτισης  $Q$  πρέπει να επαυξηθεί κατά μια ποσότητα  $Q'$  προκειμένου να ληφθούν υπόψη οι μέρες που δε γίνεται καμία παραγωγή ενέργειας από τη Φ/Β γεννήτρια (π.χ. λόγω συντηρήσεων ή λόγω έλλειψης ηλιοφάνειας για μεγάλα χρονικά διαστήματα). Η επαύξηση αυτή καθορίζεται εμπειρικά, ανάλογα με το μέγεθος του συστήματος και τις απαιτήσεις αξιοπιστίας της συνέχειας τροφοδότησης. Εάν τέλος ληφθούν υπόψη τα όρια φορτίσεως και εκφορτίσεως των συσσωρευτών όπως αναφέρθηκαν στο κεφάλαιο 3.3.4, η χωρητικότητα του συστήματος αποθήκευσης καθορίζεται από την σχέση:

$$Q_{\text{bat}} = \frac{Q + Q'}{\Phi_{\text{min\_off\_μπαταρίας}}} = \frac{2380}{30} \text{Ah} = 79,3\text{Ah} \quad (4.10)$$

Το  $\Phi_{\text{min\_off\_μπαταρίας}}$  εκφράζει το κατώτερο όριο φόρτισης του συσσωρευτή.

#### **Διαδικασία επιλογής του συσσωρευτή:**

Για την επιλογή του συσσωρευτή που θα τοποθετηθεί στο σύστημα θα πρέπει να ληφθούν υπόψη και τα παρακάτω:

- Το ρεύμα φόρτισης και εκφόρτισης του συσσωρευτή να είναι 0.1-0.5 φορές το ονομαστικό του.
- Η διάρκεια εκφόρτισης να είναι της τάξης των 15 ωρών.
- Το βάθος εκφόρτισης να είναι στο 80-85%.
- Να έχει πάνω από 1000 κύκλους διάρκεια ζωής.
- Η αυτοεκφόρτιση του συσσωρευτή να μην ξεπερνά το 3% ανά ημέρα. Αυτό το κριτήριο είναι σημαντικό καθώς μια υψηλή αυτοεκφόρτιση της τάξης του 10% το μήνα επηρεάζει την συνολική ενεργειακή ισορροπία του συστήματος.
- Όσο μεγαλύτερη από την απαιτούμενη χωρητικότητα επιλέγουμε, τόσο το καλύτερο για τη διάρκεια ζωής των συσσωρευτών. Μπορούμε να συνδέσουμε μεταξύ τους παράλληλα όσους συσσωρευτές χρειαζόμαστε για πετύχουμε τη χωρητικότητα που θέλουμε.

**Για να προβλέψουμε και για κάποιες - αναπόφευκτες - απώλειες του συστήματος, πρέπει να αυξήσουμε τα παραπάνω μεγέθη φωτοβολταϊκών και συσσωρευτών κατά 20% έως 30%. Άρα, το μέγεθος του συσσωρευτή θα πρέπει να είναι 95,16Ah.**

Τα παραπάνω στοιχεία όπως υπολογίστηκαν παρέχουν μια μόνο ημέρα αυτονομίας. Αυτό σημαίνει ότι το φωτοβολταϊκό μας σύστημα θα παρέχει αρκετή ενέργεια για ένα 24ωρο, αρκεί να υπάρχει ηλιοφάνεια το πρωί. Αυτό μπορεί να είναι σε μερικές περιπτώσεις ικανοποιητικό για το καλοκαίρι, αλλά το χειμώνα που δεν έχουμε ηλιοφάνεια κάθε μέρα δημιουργεί πρόβλημα στην αποδοτικότητα του συστήματος.

Αν χρησιμοποιούμε το φωτοβολταϊκό σύστημα για 2-3 μέρες ανά εβδομάδα, τότε απλά διπλασιάζουμε ή τριπλασιάζουμε τη χωρητικότητα των συσσωρευτών που υπολογίσαμε παραπάνω. Τα πάνελ θα μπορέσουν πιθανότατα να τις γεμίσουν κατά τις ημέρες που δεν χρησιμοποιείται το σύστημα. Η αυξημένη χωρητικότητα των συσσωρευτών θα μπορέσει με τη σειρά της να καλύψει τις 2 ή 3 μέρες που θα χρησιμοποιείται το σύστημα, ακόμη και χωρίς ηλιοφάνεια για αυτές τις ημέρες. Αν χρησιμοποιούμε το σύστημα καθημερινά και το χειμώνα, τότε διπλασιάζουμε ή τριπλασιάζουμε

τα μεγέθη τόσο των φωτοβολταϊκών όσο και των συσσωρευτών για να έχουμε 2 έως 4 ημέρες αντίστοιχα αυτονομίας σε περίπτωση συνεχόμενων ημερών συννεφιάς. [12]

Ο συσσωρευτής που επιλέχθηκε για το σύστημα είναι τύπου μολύβδου-οξέος (lead-acid) τις εταιρείας Sunlight (VRLA Battery SPB 12-100), με ονομαστική τάση λειτουργίας 12V και ικανότητα φόρτισης για 10 ώρες συνεχόμενης λειτουργίας τα 100Ah (1,80V/cell).



Αποτελείται από μια σειρά στοιχείων που το κάθε ένα από αυτά έχει ηλεκτρεγερτική δύναμη (τάση χωρίς φορτίο) όταν είναι τελειώς φορτισμένο 2,2 Volt, έτσι λοιπόν για μια μπαταρία με ονομαστική τάση 12 Volt, θα χρειαστούμε 6 τέτοια στοιχεία  $6 \times 2,2 = 13,2$  Volt. Το κάθε ένα από αυτά τα στοιχεία αποτελείται από ζεύγη μονωμένων πλακών, μια πλάκα ενεργού μολύβδου Pb για την άνοδο, και μια πλάκα διοξειδίου του μολύβδου PbO<sub>2</sub> για την κάθοδο. Τα στοιχεία αυτά είναι βυθισμένα σε ένα ηλεκτρολύτη (διάλυμα θεικού οξέος H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) και αποσταγμένου νερού (H<sub>2</sub>O).

Πίνακας 4.5 Τεχνικά χαρακτηριστικά συσσωρευτή

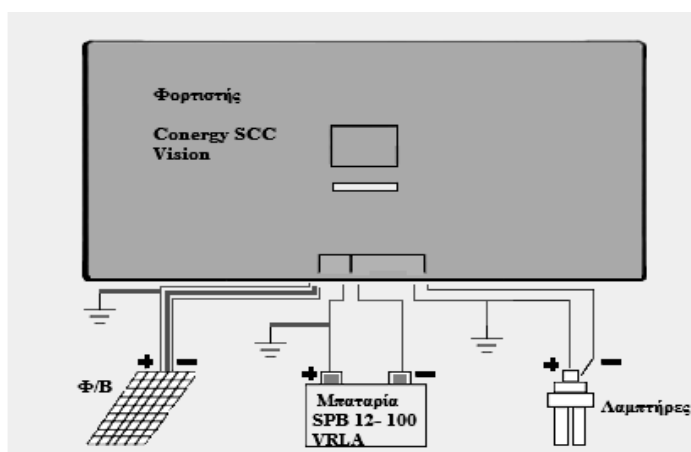
Τεχνικά χαρακτηριστικά	
Διάρκεια ζωής	10 – 12 χρόνια
Ταξινόμηση Eurobat	Υψηλής απόδοσης
Εσωτερική αντίσταση(σε πλήρη φόρτιση - 25°C)	5mΩ
Ρεύμα βραχυκύκλωσης	2100A
Μέγιστο ρεύμα φόρτισης	30A
Ελάχιστη τάση τέλους ασφαλούς αποφόρτισης	1,60V/ κελί
Αυτοεκφόρτιση ανά μήνα	3%
Συνιστώμενη τάση φόρτισης στους 20°C	Stand-by χρήση (V/κελί):2,25~2,30 Χρήση ανά κύκλο (V/κελί):2,40~2,50
Υλικό περιέκτη	ABS - UL94 HB
Τύπος ηλεκτρολύτη	Θεικό οξύ
Τύπος πλακών / κράμα	Επίπεδες πλάκες/μολύβδου-ασβεστίου(Pb-Ca) – κράμα κασσίτερου(Sn)
Τύπος διαχωριστή	Απορροφητική στρώση γυαλιού(AGM)
Τύπος βαλβίδων / πίεση λειτουργίας	Λάστιχο / 1-3 psi (70-200mbar)
Εύρος θερμοκρασίας λειτουργίας	-20°C έως +50°C
Χρόνος αποθήκευσης στους 20°C	9μήνες
Χωρητικότητα C/10 και C/20	100Ah και 106Ah

\* Για τις ημέρες μετά από αυτές που έχουμε αυτονομία, τα περισσότερα αυτόνομα συστήματα διαθέτουν μια ηλεκτρογεννήτρια βενζίνης πάνω στην οποία συνδέουν έναν φορτιστή μπαταριών μολύβδου. Η ηλεκτρογεννήτρια θα λειτουργεί κάθε πρωί για περίπου 5 ώρες ώστε ο φορτιστής να φορτίσει περίπου μέχρι το 80% της χωρητικότητάς τους

συσσωρευτές. Έτσι θα έχουν αρκετή ενέργεια για όλο το 24ωρο. Αυτό θα συνεχίζεται καθημερινά μέχρι να υπάρξει πάλι ημέρα με καλή ηλιοφάνεια, ώστε τα φωτοβολταϊκά πάνελ να φορτίσουν ξανά τους συσσωρευτές. \*

#### 4.4 Επιλογή ρυθμιστή φόρτισης:

Το φωτοβολταϊκό πλαίσιο που επιλέξαμε αποτελείται από 72 στοιχεία συνολικής μέγιστης παραγόμενης τάσης 42V. Κανονικά με 36 σε σειρά φωτοβολταϊκών στοιχείων ο 12V συσσωρευτής μας θα φορτιζόταν επαρκώς. Αντίστοιχα 72 κελιά θα παρήγαγαν τάση ικανή να φορτίσει έναν 24V συσσωρευτή. Προκειμένου να φορτίζεται σωστά είναι απαραίτητο να παρεμβάλλεται ένα σύστημα φόρτισης.



Εικόνα 4.5 Σημείο σύνδεσης Φορτιστή

Στο σχήμα φαίνεται σε ποιο σημείο του κυκλώματος είναι απαραίτητη η τοποθέτηση του φορτιστή. Παρατηρούμε ότι ελέγχει όλες τις εξόδους του συστήματος έτσι ώστε να είναι σε θέση να καθορίζει την ροή της ενέργειας από την φωτοβολταϊκή συστοιχία προς το συσσωρευτή αλλά και από το συσσωρευτή προς τους λαμπτήρες. Ανά πάσα στιγμή μπορεί να αποκλείσει είτε το πρώτο κομμάτι του συστήματος που αφορά στην φόρτιση του συσσωρευτή είτε το δεύτερο όπου γίνεται η αποφόρτισή της αναλόγως με τις τιμές της

τάσης που λαμβάνει από την έξοδο του συσσωρευτή.

Οι ρυθμιστές φόρτισης βαθμολογούνται από το ποσό του ρεύματος που μπορούν να χειρίζονται με ασφάλεια. Οι περισσότεροι ρυθμιστές φόρτισης ενσωματώνουν στοιχεία για την προστασία του κυκλώματος φόρτισης από αντιστροφή της πολικότητας σε εισόδους και από ρεύματα διαρροής.

Η προστασία από ανάστροφα ρεύματα είναι επίσης μια σχεδόν καθολική λειτουργία των ρυθμιστών. Κατά την διάρκεια της νύχτας, όταν η ακτινοβολία είναι σχεδόν μηδενική, ο συσσωρευτής μπορεί να αποφορτιστεί μέσω της ηλιακής συστοιχίας χωρίς την κατάλληλη προστασία. Ο ρυθμιστής φόρτισης που επιλέχθηκε στην παρούσα μελέτη χρησιμοποιεί δύο διαφορετικές μεθόδους που επηρεάζουν τη συνολική απόδοση του. Συγκεκριμένα, χρησιμοποιεί μια δίοδο στο θετικό τερματικό της εισόδου της ηλιακής σειράς. Αυτή η σχεδίαση είναι απλή, αλλά η σχετική πτώση τάσης της διόδου μειώνει την ενεργειακή απόδοση του ελεγκτή και ωθεί την τάση φόρτισης των ηλιακών συστοιχιών πιο κοντά στην ανοικτού κυκλώματος τάση. Η μετατόπιση της τάσης φόρτισης μπορεί να είναι θετική ή αρνητική, ανάλογα από τη θέση του σημείου μέγιστης ισχύος στην καμπύλη I-V. Ο ελεγκτής Conergy αντικαθιστά τη δίοδο αυτή με MOSFET στην αρνητική είσοδο του ηλιακού συστήματος. Το MOSFET αυτό ανοίγει όταν δεν υπάρχει εισερχόμενο ρεύμα φωτοβολταϊκών και πρέπει να λειτουργεί σε συντονισμό με την τεχνική PWM για να αποφευχθεί βραχυκύκλωμα στον συσσωρευτή. Αυτός ο σχεδιασμός εξαλείφει την πτώση τάσης λόγω της διόδου και την αντικαθιστά με μια μικρή πτώση ωμικής τάσης. Σε χαμηλά ρεύματα, η πτώση τάσης θα είναι μικρότερη και κατά συνέπεια πιο αποτελεσματική από μια πτώση τάσης

διόδου. Κάτω από περίπου 30A, ο σχεδιασμός με το MOSFET έχει μια μικρότερη πτώση τάσης από τη διόδο. [24]

Η επιλογή του ελεγκτή φόρτισης εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από το μέγιστο αναμενόμενο ρεύμα της φωτοβολταϊκής γεννήτριας και του φορτίου. Ο ελεγκτής πρέπει να υπολογίζεται τουλάχιστον 125% του ονομαστικού ρεύματος βραχυκύκλωσης της συστοιχίας και θα πρέπει επίσης να υπερβαίνει το μέγιστο αναμενόμενο ρεύμα φορτίου. Στο σύστημα μας το ρεύμα βραχυκύκλωσης της φ/β συστοιχίας ανέρχεται στα 5,15A ( τα δύο πάνελα συνδέονται σε σειρά ). Ο ρυθμιστής φόρτισης θα πρέπει στη συνέχεια να έχει πάνω από  $5,15A \times 1,25 = 6,44A$ . Το μέγιστο φορτίο για το σύστημα με τους 2 συμπαγείς λαμπτήρες φθορισμού των 15W ο καθένας είναι  $30W/12V = 2,5 A$ . Ένας ελάχιστος ρυθμιστής φόρτισης που απαιτείται για αυτό το σύστημα είναι των 10A.

**Έτσι, επιλέχθηκε ρυθμιστής φόρτισης της εταιρείας Conergy, ο SCC vision 10 A, ο οποίος έχει τις ακόλουθες λειτουργίες:**

- Να προστατεύει το συσσωρευτή ώστε να μην υπερφορτίζεται από το φωτοβολταϊκό πλαίσιο και να μην αποφορτίζεται εντελώς από τα φορτία. Η υπερφόρτιση προκαλεί ανεπιθύμητες αντιδράσεις όπως την ηλεκτρόλυση του νερού που οδηγεί σε παραγωγή αερίου υδρογόνου καθώς και ηλεκτρόλυση των άλλων συστατικών στα ηλεκτρόδια και των ηλεκτρολυτών, που μπορεί να δημιουργήσει δηλητηριώδη αέρια. Κατά τη διάρκεια της εκκένωσης ο συσσωρευτής οδηγείται σε «αυλάκωση» και καταστρέφεται.
- Να προσαρμόζεται στα 12V ή στα 24V τάση συστήματος ανάλογα με τις απαιτήσεις.
- Μέσω διακόπτη να συνδέει ή να αποσυνδέει το φορτίο.
- Ο φορτιστής αυτός επίσης υπολογίζει την διάρκεια της ημέρας από την τάση των πανέλων (μετά από 2-3 μέρες αυτοεκπαίδευση). [1]

Πίνακας 4.6 Τιμές σύνδεσης και επανασύνδεσης του φορτιστή

	Συσσωρευτής 12V	Συσσωρευτής 24V
V <sub>max_on_</sub> συσσωρ.	12,5 V	24,5 V
V <sub>max_off_</sub> συσσωρ.	13,7 V	26,3 V
V <sub>min_on_</sub> συσσωρ.	12,1 V	24,0 V
V <sub>min_off_</sub> συσσωρ.	11,0 V	23,5 V

Πίνακας 4.7 Τεχνικά χαρακτηριστικά Φορτιστή Conergy SCC Vision

Ονομαστική τάση	12/24V, αυτόματη αναγνώριση
Τάση απορρόφησης	14,4/28,8V(25°C),0,5-2h
Ρύθμιση τάσης	14,8/29,6V(25°C),2h
Τάση υπερχειλίσσης	13,7/27,4V
Τάση αποσύνδεσης φορτίου	11-12,2/22-24,4V
Τάση επανασύνδεσης φορτίου	12,8/25,6V
Αντιστάθμιση θερμοκρασίας	-4mV/cell*K
Μέγιστο ρεύμα Φ/Β	10/20/40A
Μέγιστο ρεύμα φορτίου	10/20/40A
Εύρος θερμοκρασίας περιβ.	-25 έως 50°C

## 4.5 Φορτίο

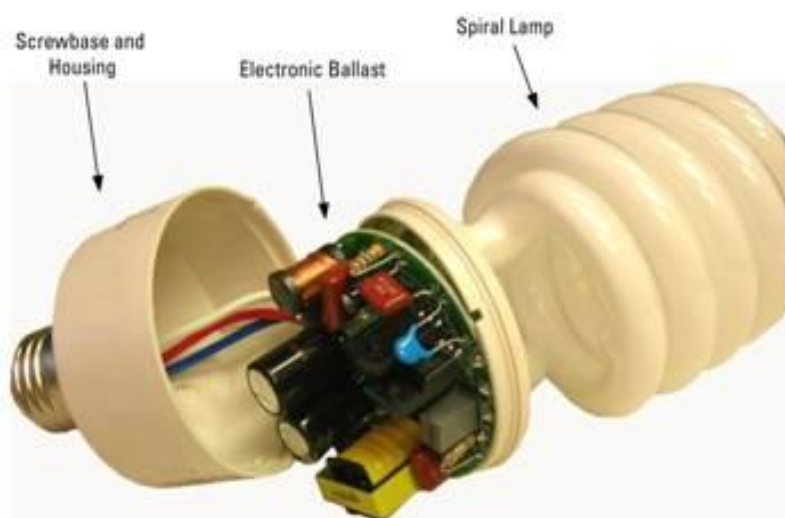
Το φορτίο του συστήματος αποτελείται από δύο συμπαγείς λαμπτήρες φθορισμού με ενσωματωμένο ballast, συνεχούς τάσης (Compact fluorescent lamp, self ballasted, for DC supply - CFL) της εταιρείας MEGAMAN W315DC. Στην ισχύ του φορτίου θα πρέπει να περιλαμβάνεται και η ισχύς που καταναλώνεται στο ballast η οποία είναι για κάθε λάμπα στα 4W.

$$P_{\text{φορτίου}} = 15\text{W} * 2 + 4\text{W} * 2 = 38\text{W}$$

Τεχνικά χαρακτηριστικά λαμπτήρων φθορισμού :

Πίνακας 4.8 Τεχνικά χαρακτηριστικά λαμπτήρων φθορισμού

Στοιχεία /ανά λάμπα	
Ονομαστική τάση λειτουργίας	12V DC
Ρεύμα	1360mA
Θερμοκρασία λειτουργίας	4000°K
Μέγιστη κατανάλωση ισχύος	15Watt
Αντίσταση	9,6Ohms



Εικόνα 4.6 Εσωτερική δομή λαμπτήρα Φθορισμού με ενσωματωμένο Ballast

#### 4.6 Συνολική εποπτεία της σχεδίασης:

Πίνακας 4.9 Τελική Σχεδίαση συστήματος

<b>Διαστασιολόγηση αυτόνομου συστήματος</b>	(καλοκαίρι) / (χειμώνας)	<b>Επιλεγμένα στοιχεία για το σύστημα:</b>										
<b>Μέση ακτινοβολία kWh για κάθε μήνα:</b>	Όπως υπολογίστηκαν στην παράγραφο 4.1.2 για το έτος 2010.	Κλίση συλλέκτη: 30° για την μέγιστη ακτινοβολία σε όλες τις εποχές του χρόνου.										
<b>Συνολική κατανάλωση (K) ανά ημέρα:</b>	300Wh / 360Wh	Ώρες ηλιακής αιχμής : PSH =4h.										
<b>Φ/Β γεννήτρια:</b>	Μέγιστη απαιτούμενη ισχύς: 75Wr / 150Wr ανά ώρα. Προκειμένου να έχουμε ημερήσια παραγωγή 360Wh με PSH = 4h ο συνολικός αριθμός των εν σειρά πλαισίων που απαιτούνται είναι 2.	2 Φ/Β πλαίσια της εταιρείας SHARP NE -80 ,συνδεδεμένα σε σειρά, συνολικής ισχύος 160Wr, με: $V_{pn} = 2 * 17.3V = 34.6V$ $I_{pn\_μέση} = 390 / (24*12) = 1.35A$ (4.2) $I_{pn} = (24*1.35) / 3.5 = 9.257A$ .										
<b>Συσσωρευτής:</b>	Με το ετήσιο έλλειμμα όπως υπολογίστηκε στην παράγραφο 4.3.1, $\Delta E = 11.2kWh$ και αυτονομία του συστήματος για 3 μέρες χρειαζόμαστε τουλάχιστον: $(3*360Wh)/12V = 90Ah$ .	VRLA Battery SPB 12/100) της εταιρείας Sunlight συνολικής χωρητικότητας C/10=100Ah, C/20=105Ah										
<b>Επιλογή φορτιστή:</b>	Από τα φυλλάδια των κατασκευαστών επιλέγουμε: ➤ Τάση λειτουργίας: 12V ➤ Με ενσωματωμένο σύστημα MPPT ➤ Περιοχή ρύθμισης MPPT : 11 – 14.8 V ➤ Μέγιστο ρεύμα εξόδου Φ/Β : 10 A	Conergy SCC Vision έως 10Ap / 12V με την εξής λειτουργία: <table border="1" data-bbox="917 1467 1372 1736"> <tr> <td colspan="2">Οι τιμές σύνδεσης και επανασύνδεσης του φορτιστή:</td> </tr> <tr> <td>Vmax_on_συσσωρ.</td> <td>12.5 V</td> </tr> <tr> <td>Vmax_off_συσσωρ.</td> <td>13.7V</td> </tr> <tr> <td>Vmin_on_συσσωρ.</td> <td>12.1V</td> </tr> <tr> <td>Vmin_off_συσσωρ.</td> <td>11.0V</td> </tr> </table>	Οι τιμές σύνδεσης και επανασύνδεσης του φορτιστή:		Vmax_on_συσσωρ.	12.5 V	Vmax_off_συσσωρ.	13.7V	Vmin_on_συσσωρ.	12.1V	Vmin_off_συσσωρ.	11.0V
Οι τιμές σύνδεσης και επανασύνδεσης του φορτιστή:												
Vmax_on_συσσωρ.	12.5 V											
Vmax_off_συσσωρ.	13.7V											
Vmin_on_συσσωρ.	12.1V											
Vmin_off_συσσωρ.	11.0V											

## Κεφάλαιο 5<sup>ο</sup>

### Αποτελέσματα Προσομοίωσης συστήματος.

Στο κεφάλαιο αυτό περιγράφεται η μεθοδολογία εξαγωγής αποτελεσμάτων και διαγραμμάτων που ακολουθήθηκε μετά την ολοκλήρωση της προσομοίωσης όπως φαίνεται αναλυτικά στο παράρτημα Α και όπως περιγράφηκε στο κεφάλαιο 3 της διπλωματικής.



Εικόνα 5.1 Κολόνα έξω από το παλιό κτίριο της Σ. Η.Μ.Μ.Υ. με το εγκατεστημένο σύστημα

Το σύστημα αυτό θα πρέπει να τροφοδοτεί ένα φορτίο δύο λαμπτήρων των 38Watt (15W/ανά λάμπα και απώλειες στο ballast ) για περίπου 10 ώρες την ημέρα, τροφοδοτούμενο από συσσωρευτή μολύβδου - θεικού οξέος 12V με ονομαστική ικανότητα 100Ah στις 10ώρες και 106Ah σε 20ώρες. Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης αφορούν όλες τις μέρες του έτους 2010. Στα παραρτήματα Α και Β παρουσιάζεται η σχεδίαση της προσομοίωσης και τα αποτελέσματα της καθώς και οι πίνακες υπολογισμών αναλυτικά για κάθε ημέρα του μήνα για όλο το έτος 2010.



## 5.1 Φωτοβολταϊκή γεννήτρια:

### 5.1.1 Παραγόμενη ενέργεια από την φωτοβολταϊκή γεννήτρια:

Υπάρχουν 2 τρόποι υπολογισμού της παραγόμενης ενέργειας:

A) Όταν έχουμε ως δεδομένο την επιφάνεια και τον βαθμό απόδοσης τότε:

$$E = \Pi * S * \eta_{\pi} * \sigma_{\theta} * \sigma_{\rho} \text{ (KWh/d)} \quad (5.1)$$

Όπου: E= η παραγόμενη ενέργεια

$\Pi$ =μέση ηλιακή ακτινοβολία(KWh/m<sup>2</sup>d),

S=επιφάνεια πάνελ(m<sup>2</sup>),

$\eta_{\pi}$  =βαθμός απόδοσης του φ/β κελιού που ισούται στην περίπτωση που εξετάστηκε με 0,1 (10% από το φύλλο του κατασκευαστή)

$\sigma_{\theta}$  =θερμοκρασιακός συντελεστής,

$\sigma_{\rho}$  ο συντελεστής ρύπανσης.

B) Όταν έχουμε ως δεδομένη την ισχύ αιχμής του φ/β τότε:

$$E(\text{KWh/d}) = \Pi * P_{\alpha} (1(\text{KW/m}^2)) * \sigma_{\theta} * \sigma_{\rho} \text{ (KWh/d)} \quad (5.2)$$

Όπου: E= η παραγόμενη ενέργεια

$\Pi$ = μέση ηλιακή ακτινοβολία(KWh/m<sup>2</sup>d),

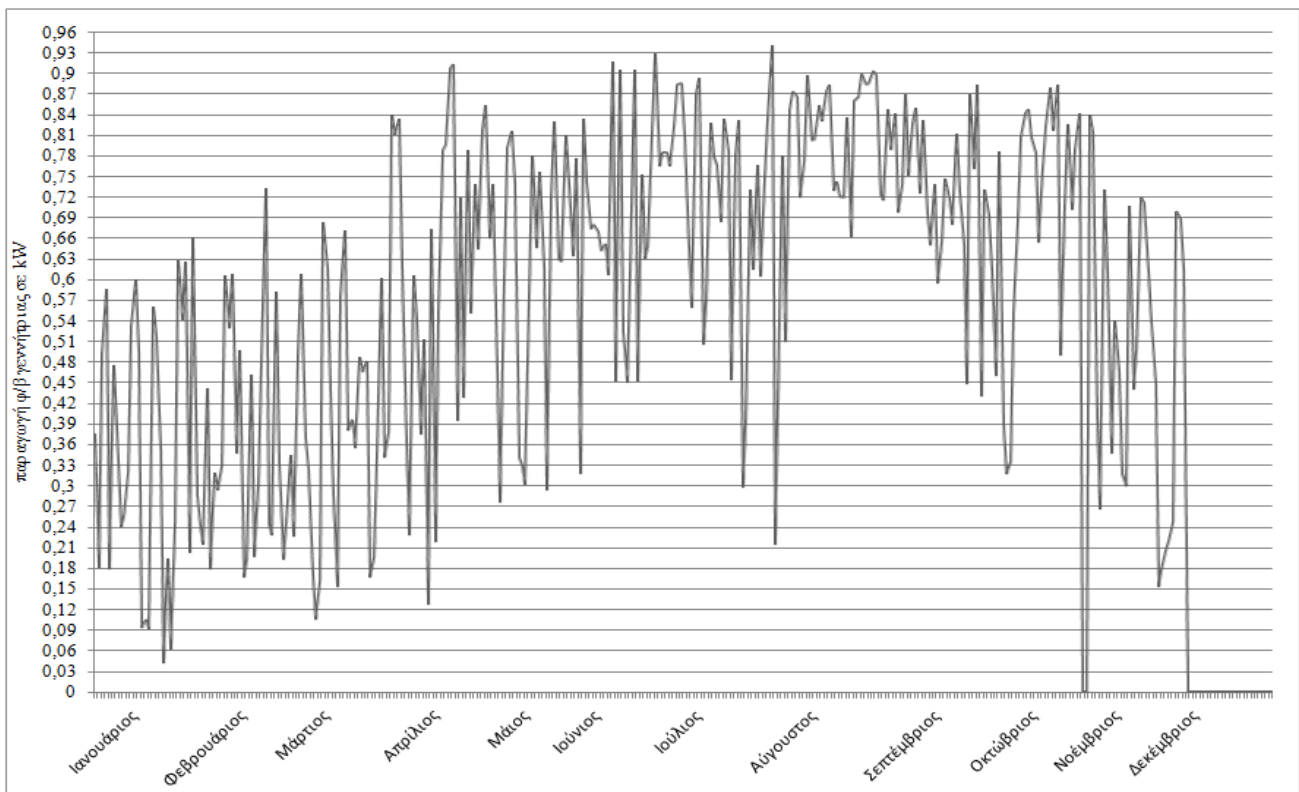
$P_{\alpha}$ = ισχύς αιχμής (kWp),

$\sigma_{\theta}$  =θερμοκρασιακός συντελεστής,

$\sigma_{\rho}$  = συντελεστής ρύπανσης.

Επομένως, η συνολική ενέργεια του μήνα:

$$E(\text{KWh/d}) = \sum_{i=1..31} (\Pi_i * P_{\alpha} * \sigma_{\theta} * \sigma_{\rho}) \quad (5.3)$$



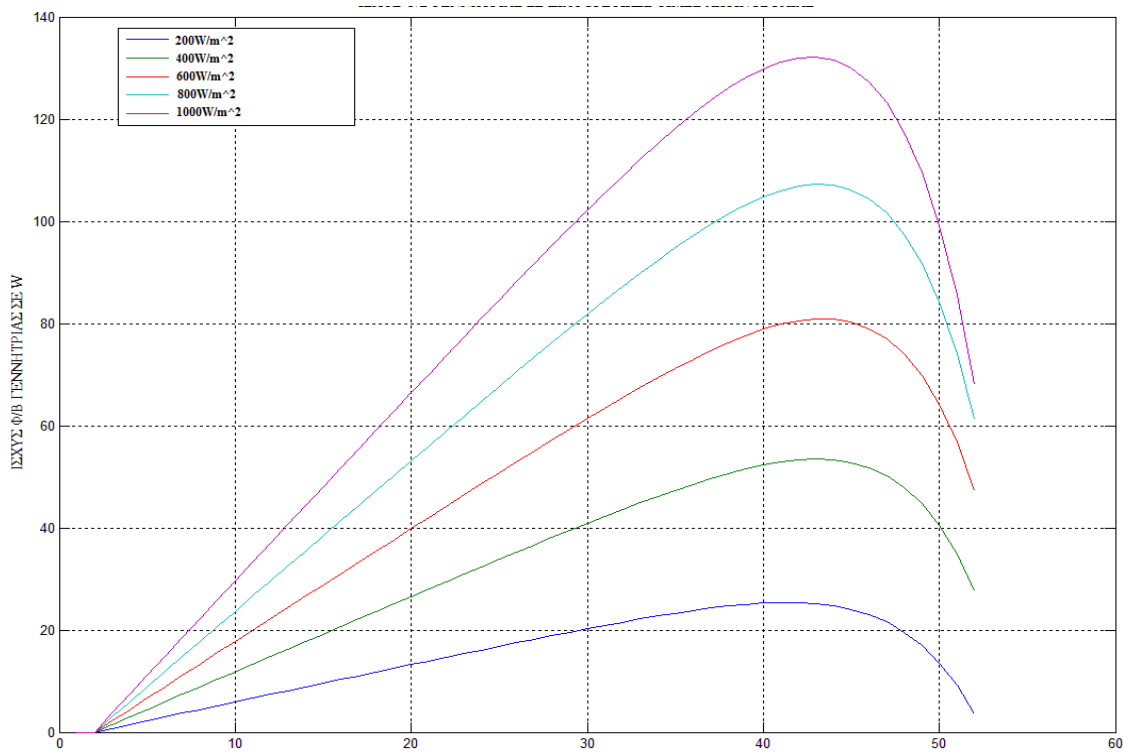
Εικόνα 5.2 Ημερήσια παραγωγή ενέργειας από φωτοβολταϊκή γεννήτρια

Η παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος από τον ήλιο με φωτοβολταϊκά χρειάζεται το φως της ηλιακής ακτινοβολίας, όχι τη θερμότητά της. Ακόμη και μια συννεφιασμένη χειμωνιάτικη ημέρα θα υπάρχει άφθονο διάχυτο φως και τα φωτοβολταϊκά θα συνεχίσουν να παράγουν ηλεκτρισμό, έστω και με μειωμένη απόδοση (π.χ. ακόμη και με απόλυτη συννεφιά το φωτοβολταϊκό θα παράγει ένα 5% - 20% της μέγιστης ισχύος του).

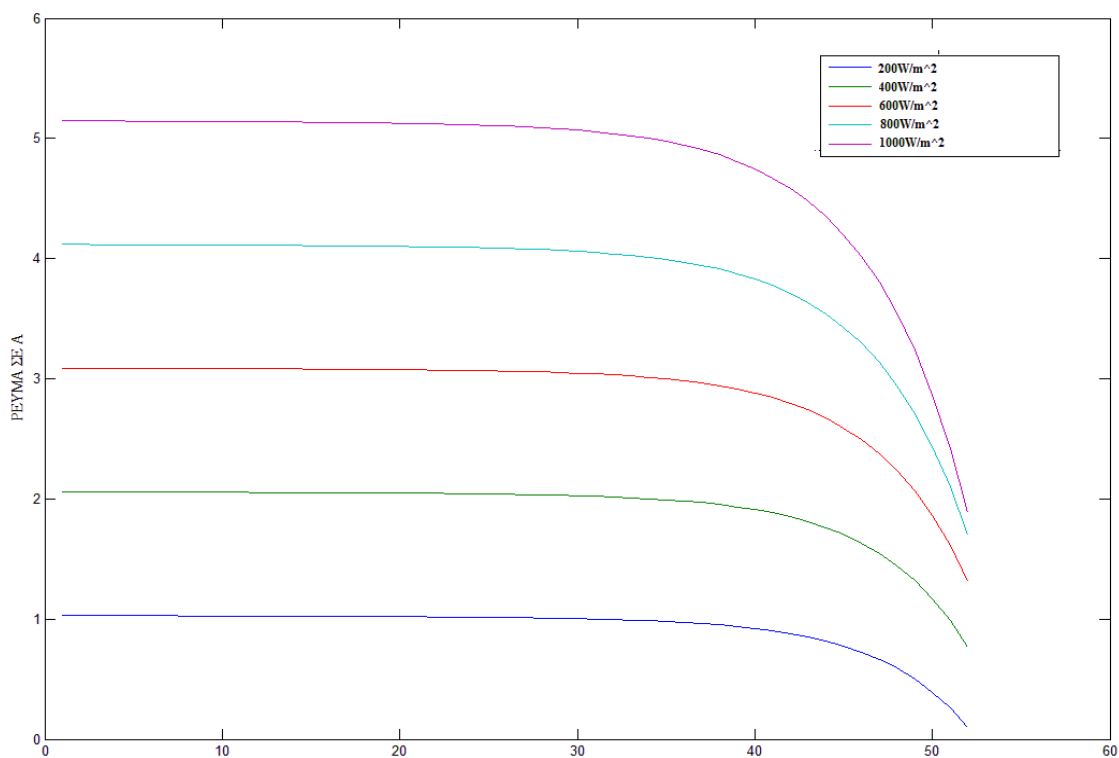
Πίνακας 5.1 Παραγωγή από Φ/Β γεννήτρια

		Μέση ακτινοβολία ανά μήνα	Παραγωγή Ενέργειας από το Φ/Β Σύστημα
Από	Μέχρι	kWh	kWh
1-Ιαν	1-Φεβ	127.93	10.54
1-Φεβ	1-Μαρ	128.16	10.55
1-Μαρ	1-Απρ	162.90	13.62
1-Απρ	1-Μαϊ	206.24	17.87
1-Μαϊ	1-Ιουν	236.10	20.47
1-Ιουν	1-Ιουλ	250.08	21.76
1-Ιουλ	1-Αυγ	269.42	23.32
1-Αυγ	1-Σεπ	270.37	23.66
1-Σεπ	1-Οκτ	239.47	20.91
1-Οκτ	1-Νοε	184.37	15.56
1-Νοε	1-Δεκ	131.37	10.79
1-Δεκ	1-Ιαν	107.52	8.76
Σύνολο		2314	198

Παρακάτω φαίνονται οι χαρακτηριστικές καμπύλες ρεύματος – τάσης και ισχύος – τάσης του φωτοβολταϊκού όπως προσομοιώθηκαν στο Simulink.



Εικόνα 5.3 Ισχύς Φ/Β γεννήτριας σε διαφορετικές τιμές ακτινοβολίας όπως υπολογίστηκε στο Simulink



Εικόνα 5.4 Ρεύμα Φ/Β γεννήτριας σε διαφορετικές τιμές ακτινοβολίας όπως υπολογίστηκε στο Simulink.

### 5.1.2 Συντελεστής απόδοσης – $\eta$ $\Phi/\beta$ :

Ορίζεται ως ο λόγος της μέγιστης αποδιδόμενης ηλεκτρικής ισχύος προς την προσπίπτουσα φωτεινή ισχύ ανά μονάδα επιφάνειας και δίνεται από τον τύπο: [4]

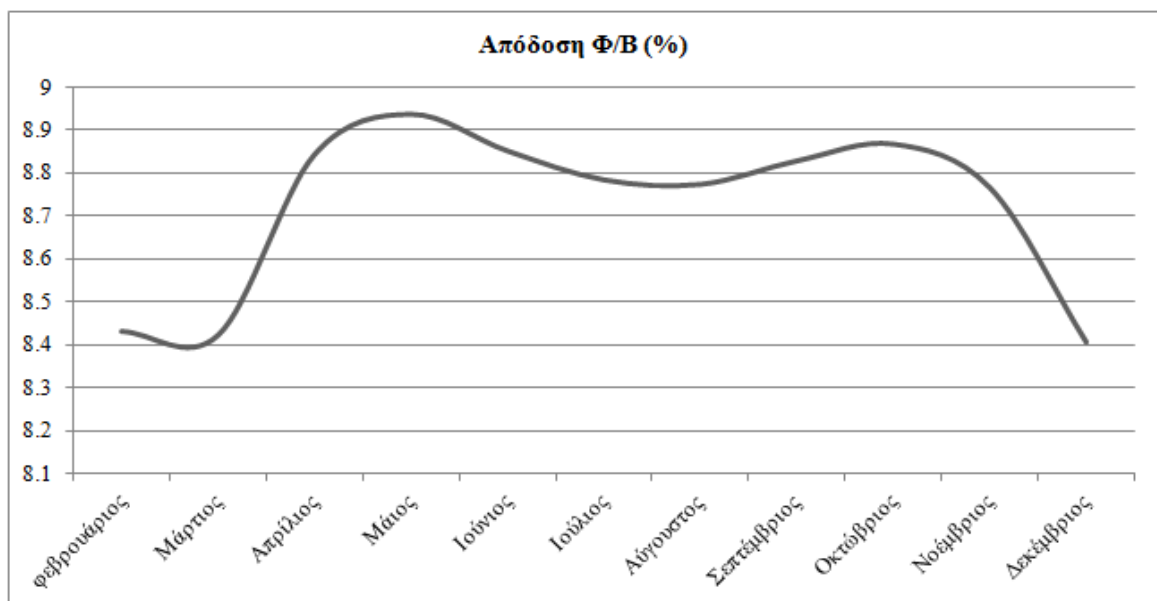
$$\eta = \frac{P_m}{H \times A} = \frac{I_m \times V_m}{H \times A} \quad (5.4)$$

H: ένταση (πυκνότητα ισχύος) της ακτινοβολίας που δέχεται όλη η επιφάνεια του  $\Phi/\beta$  στοιχείου

A: το εμβαδόν της επιφάνειας του ηλιακού στοιχείου

Πίνακας 5.2 Απόδοση  $\Phi/\beta$

		Απόδοση $\Phi/\beta$ (%)
1/ 1/	2/ 1/	8.43
2/ 1/	3/ 1/	8.42
3/ 1/	4/ 1/	8.84
4/ 1/	5/ 1/	8.93
5/ 1/	6/ 1/	8.85
6/ 1/	7/ 1/	8.78
7/ 1/	8/ 1/	8.77
8/ 1/	9/ 1/	8.83
9/ 1/	10/ 1/	8.86
10/ 1/	11/ 1/	8.76
11/ 1/	12/ 1/	8.40
12/ 1/	1/ 1/	8.27

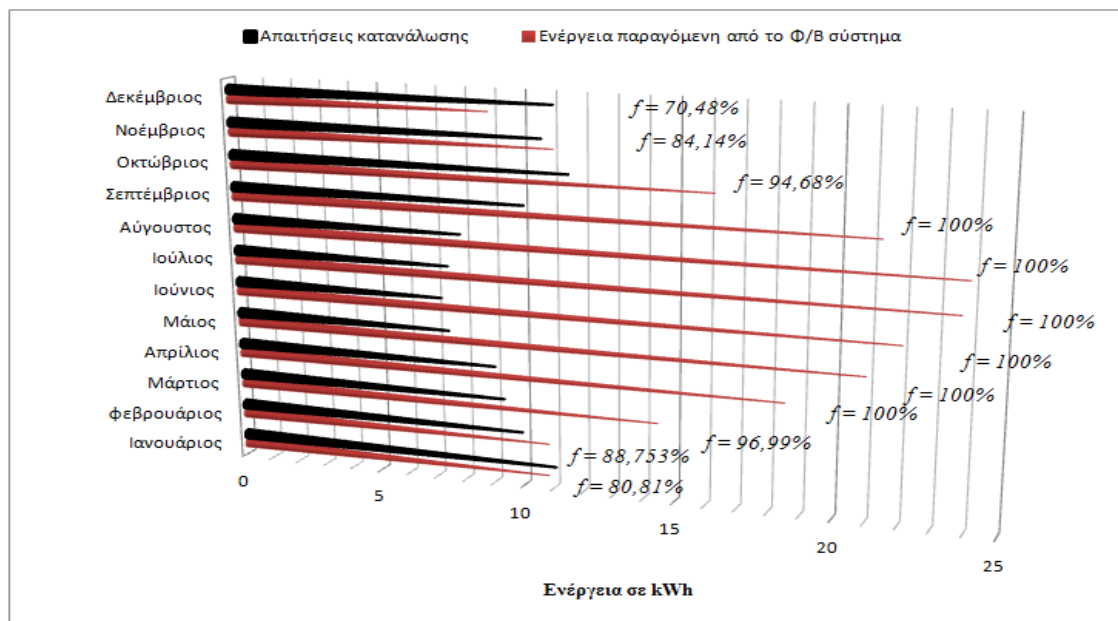


Εικόνα 5.5 Απόδοση  $\Phi/\beta$  - σχέση μετατροπής

### 5.1.3 Ποσοστό χρησιμοποιούμενης ενέργειας:

Αναφέρεται στο μέρος της ενέργειας που παράγει το φωτοβολταϊκό και χρησιμοποιείται για την φόρτιση του συσσωρευτή και τη λειτουργία λαμπτήρων. Δίνεται από τον τύπο: [15]

$$f(\%) = \frac{\text{ενέργεια(kWh) που παρέχει το Φ/Β}}{\text{συνολική απαιτούμενη ενέργεια (kWh)}} \quad (5.5)$$



Εικόνα 5.6 Ποσοστό χρησιμοποίησης στη διάρκεια του έτους

## 5.2 Συσσωρευτής

### 5.2.1 Ενέργεια Φόρτισης σε (Ah – Wh):

$$\text{Ενέργεια φόρτισης(Ah)} = \text{Ιφόρτισης} * (\text{ώρες φόρτισης}) \quad (5.6)$$

### 5.2.2 Απόδοση ενέργειας συσσωρευτή:

Στους συσσωρευτές μολύβδου ο βαθμός απόδοσης κυμαίνεται από 85-92%. Οι απώλειες στο εσωτερικό του προκαλούνται από τις εσωτερικές χημικές αντιδράσεις που γίνονται αλλά και από τα υλικά που χρησιμοποιούνται τα οποία δεν είναι απολύτως καθαρά. Έτσι, ο συσσωρευτής χάνει 1-2% καθημερινά και το ποσοστό αυτό αυξάνεται με την πάροδο του χρόνου. [8]

Μπορούμε να την υπολογίσουμε από τον τύπο:

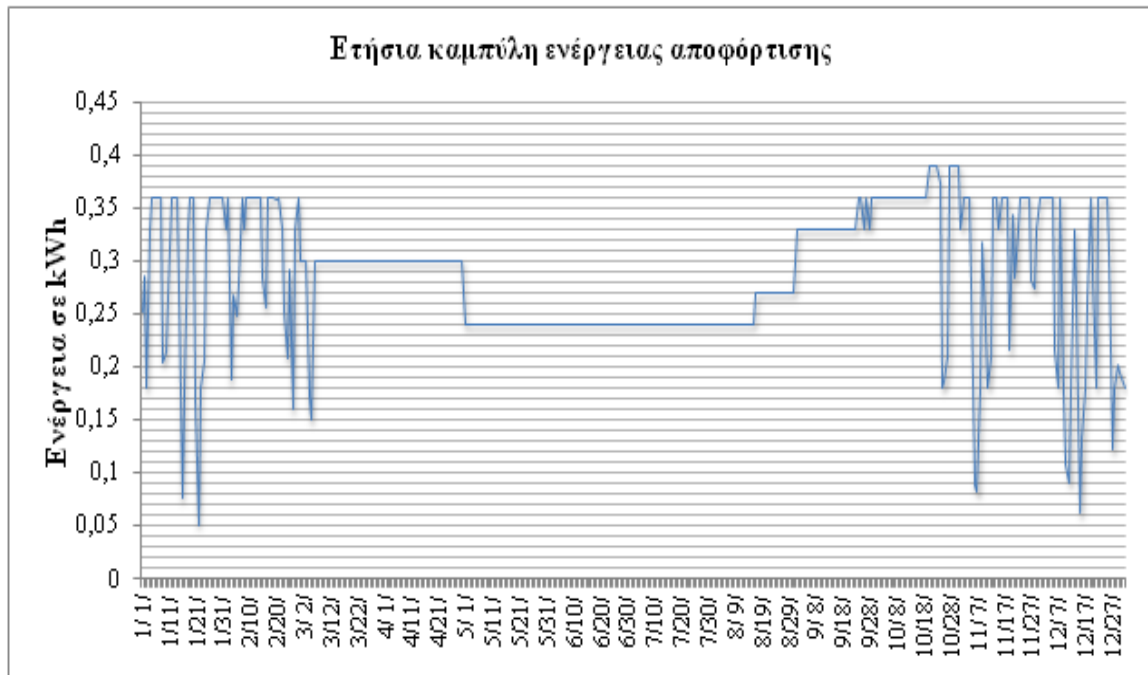
$$\% \text{ απόδοση ενέργειας} = \frac{\text{ενέργεια που αποδίδεται κατά τηνεκφόρτιση}}{\text{ενέργεια απαιτούμενη κατά την φόρτιση}} \quad (5.7)$$

Πίνακας 5.2 Απόδοση συσσωρευτή

		Κατάσταση Φόρτισης	Ενέργεια εκφόρτισης	Ενέργεια φόρτισης	Απόδοση ενέργειας
	Ετήσια τιμή:	75 [%]	103 [kWh]	124 [kWh]	83.00 [%]
1/ 1/	2/ 1/	49.87	8.92	10.78	81.37
2/ 1/	3/ 1/	51.41	8.78	10.79	80.61
3/ 1/	4/ 1/	78.25	9.02	11.19	83.83
4/ 1/	5/ 1/	87.79	9.00	10.73	81.59
5/ 1/	6/ 1/	92.66	7.44	9.12	82.94
6/ 1/	7/ 1/	92.88	7.20	8.68	82.95
7/ 1/	8/ 1/	92.68	7.44	8.97	83.02
8/ 1/	9/ 1/	92.52	7.89	9.50	84.07
9/ 1/	10/ 1/	87.95	10.05	11.95	85.51
10/ 1/	11/ 1/	76.16	10.90	12.76	83.79
11/ 1/	12/ 1/	51.04	8.96	10.69	87.39
12/ 1/	1/ 1/	43.35	7.781	8.90	83.06



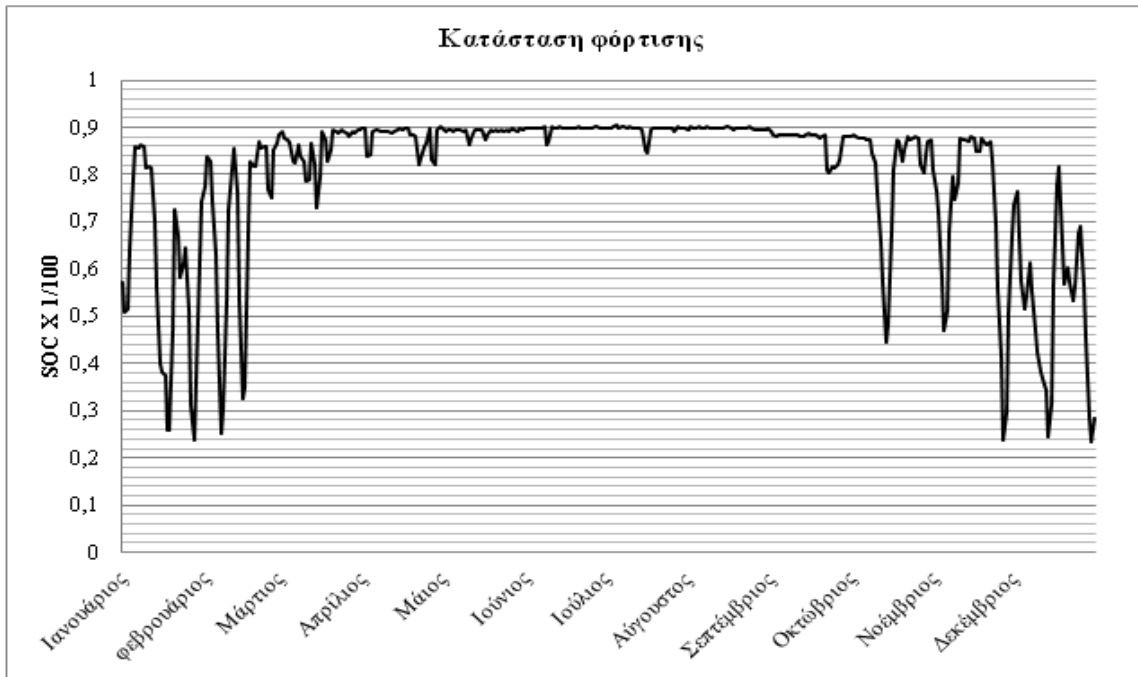
Εικόνα 5.7 Καμπύλη μέσης ενέργειας φόρτισης για κάθε ημέρα του 2010.



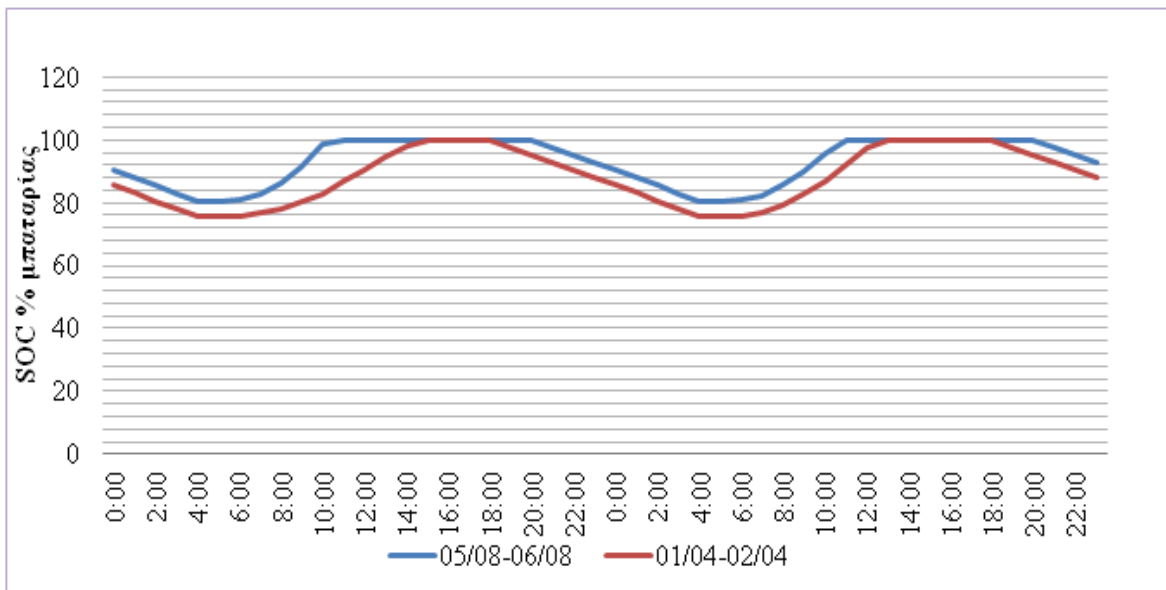
Εικόνα 5.8 Καμπύλη μέσης ενέργειας αποφόρτισης για κάθε ημέρα του 2010.



Εικόνα 5.9 Ετήσια διάρκεια φόρτισης συσσωρευτή σε ώρες

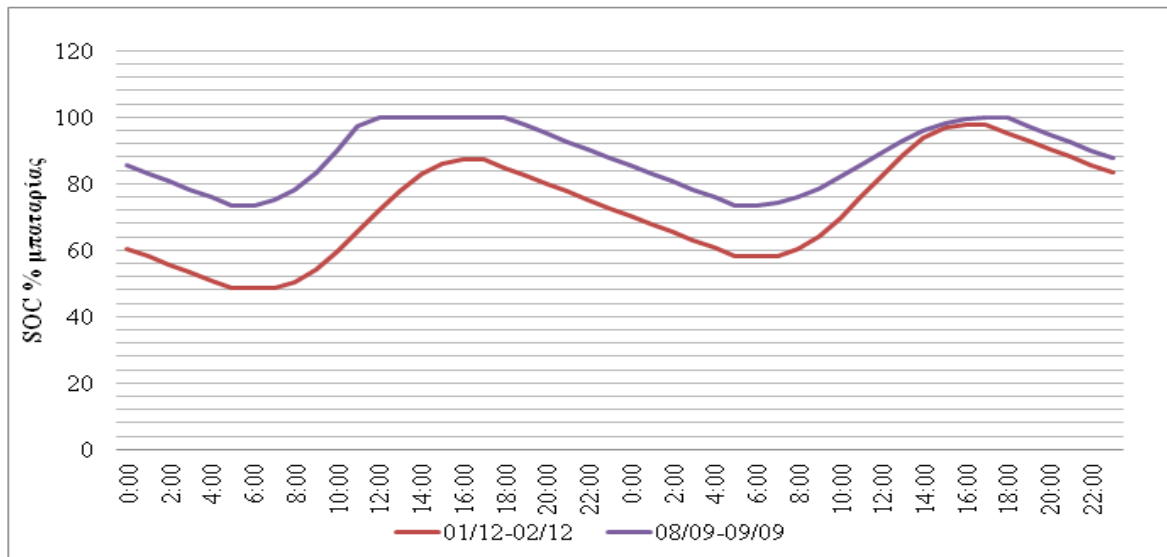


Εικόνα 5.10 Κατάσταση φόρτισης συσσωρευτή στη διάρκεια του έτους (SOC%).



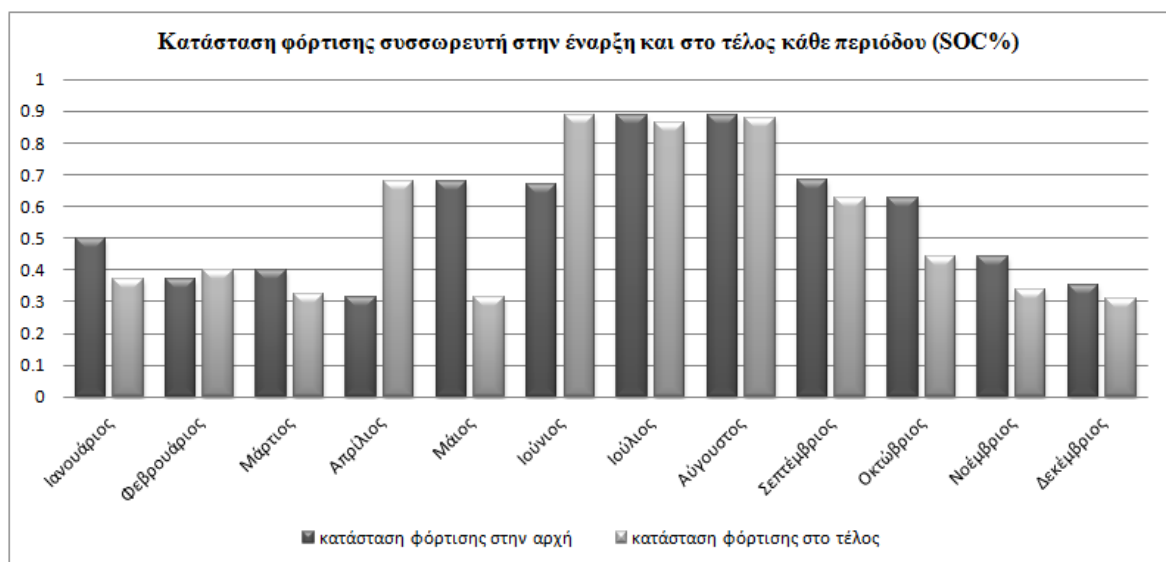
Εικόνα 5.11 Κατάσταση φόρτισης συσσωρευτή ανά ώρα (SOC) –Προσομοίωση για 48 συνεχόμενες ώρες.





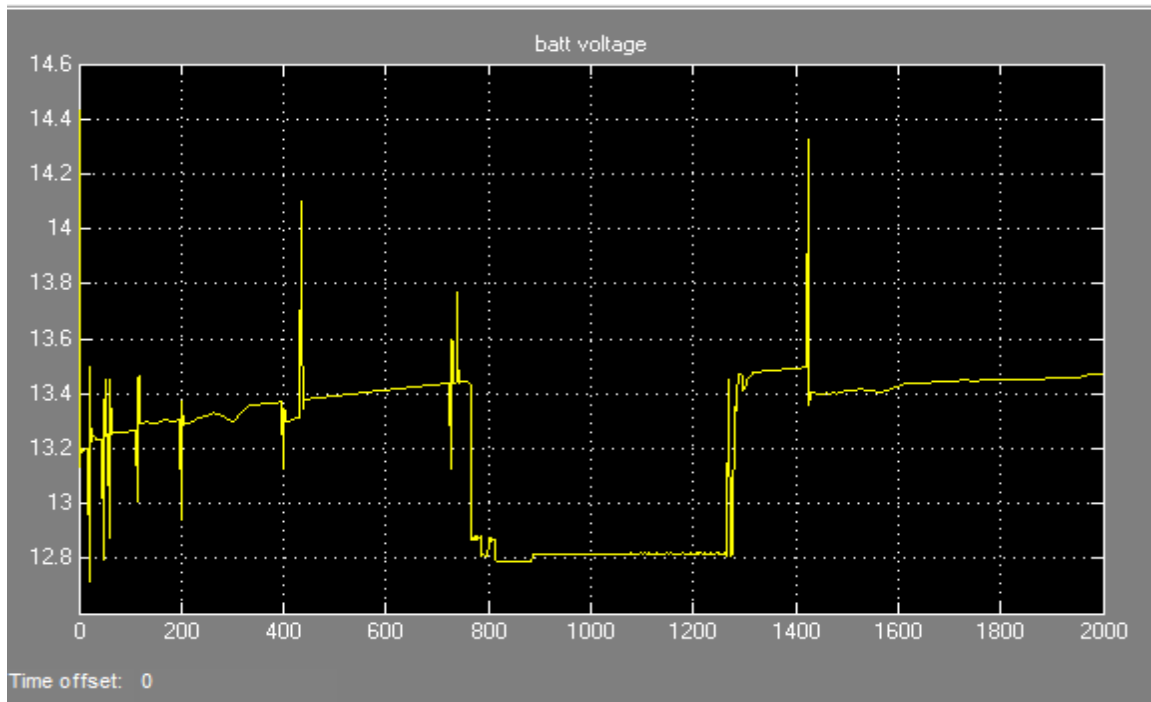
Εικόνα 5.11 Κατάσταση φόρτισης συσσωρευτή ανά ώρα (SOC) –Προσομοίωση για 48 συνεχόμενες ώρες.

Στην επόμενη εικόνα φαίνεται η κατάσταση φόρτισης του συσσωρευτή κατά την έναρξη και στο τελείωμα του κάθε μήνα. Η διαφορά στις τιμές SOC% (που είναι πολύ μικρή) μεταξύ της έναρξης του ενός μηνός και της λήξης του προηγούμενου, που κανονικά θα περιμέναμε να συμπίπτουν οφείλεται στην καθημερινή αυτό – εκφόρτιση του συσσωρευτή (της τάξης του 0,03):

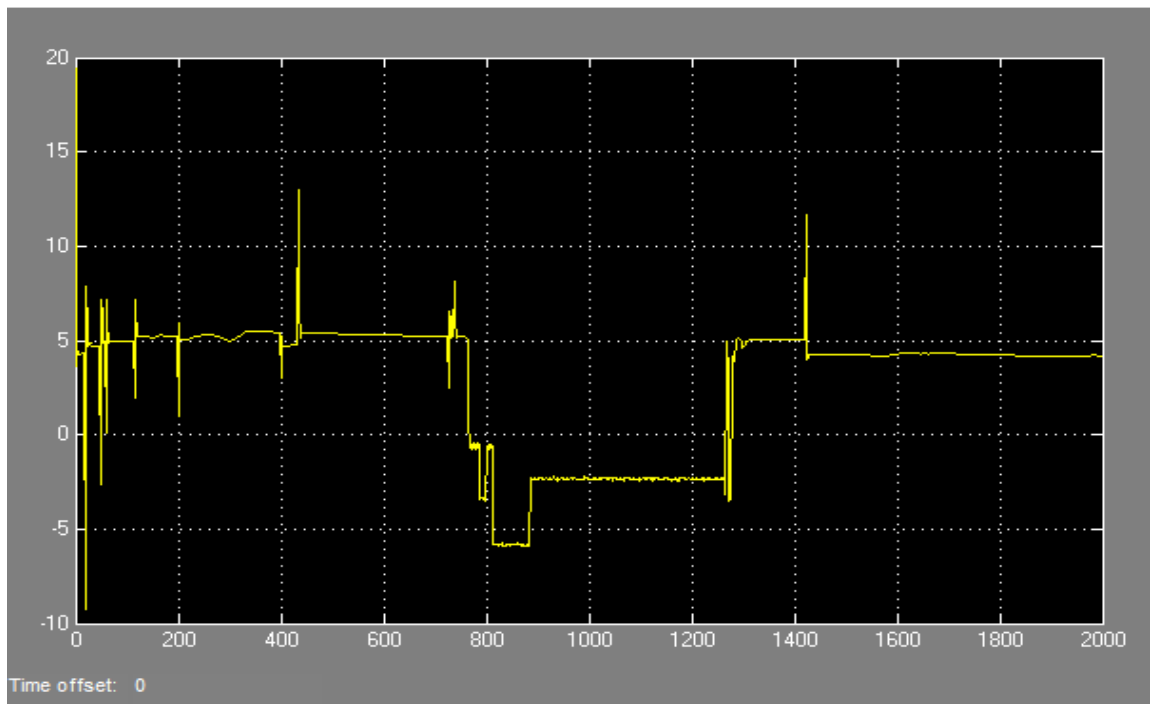


Εικόνα 5.12 Κατάσταση φόρτισης συσσωρευτή

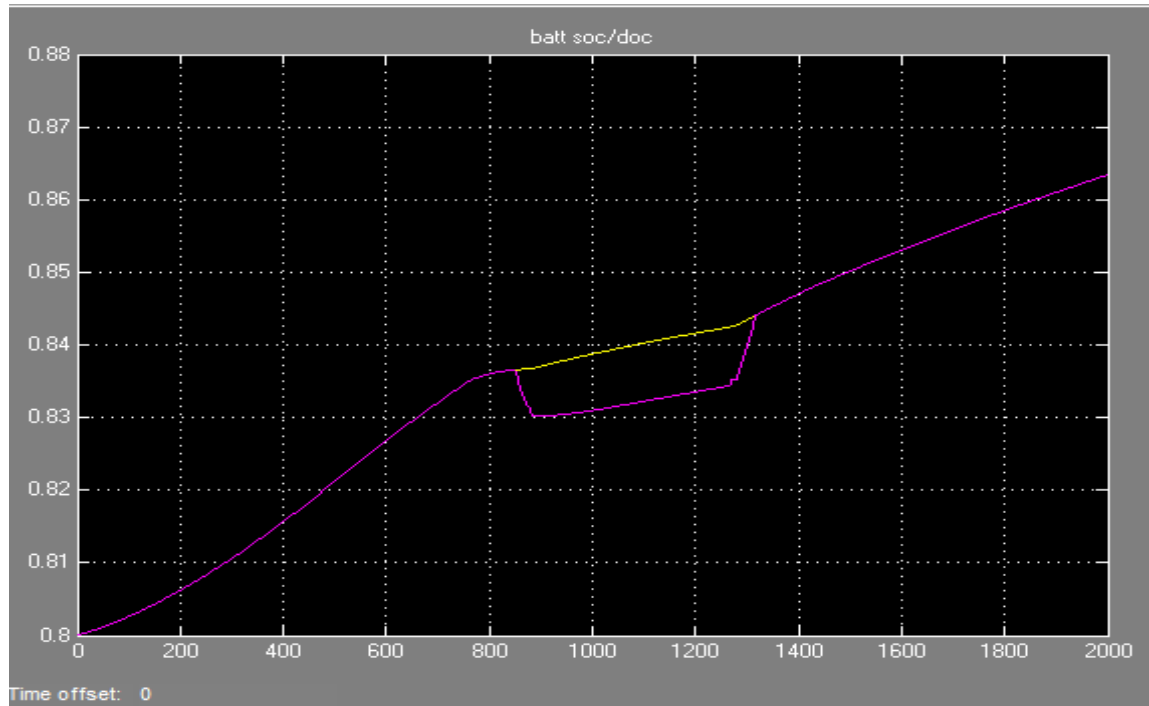
Στις επόμενες εικόνες φαίνεται η τάση και η κατάσταση φόρτισης του συσσωρευτή για προσομοίωση μιας ηλιόλουστης και μιας ανήλιας ημέρας (με ακτινοβολίες για 15/07/2010 και 02/02/2010):



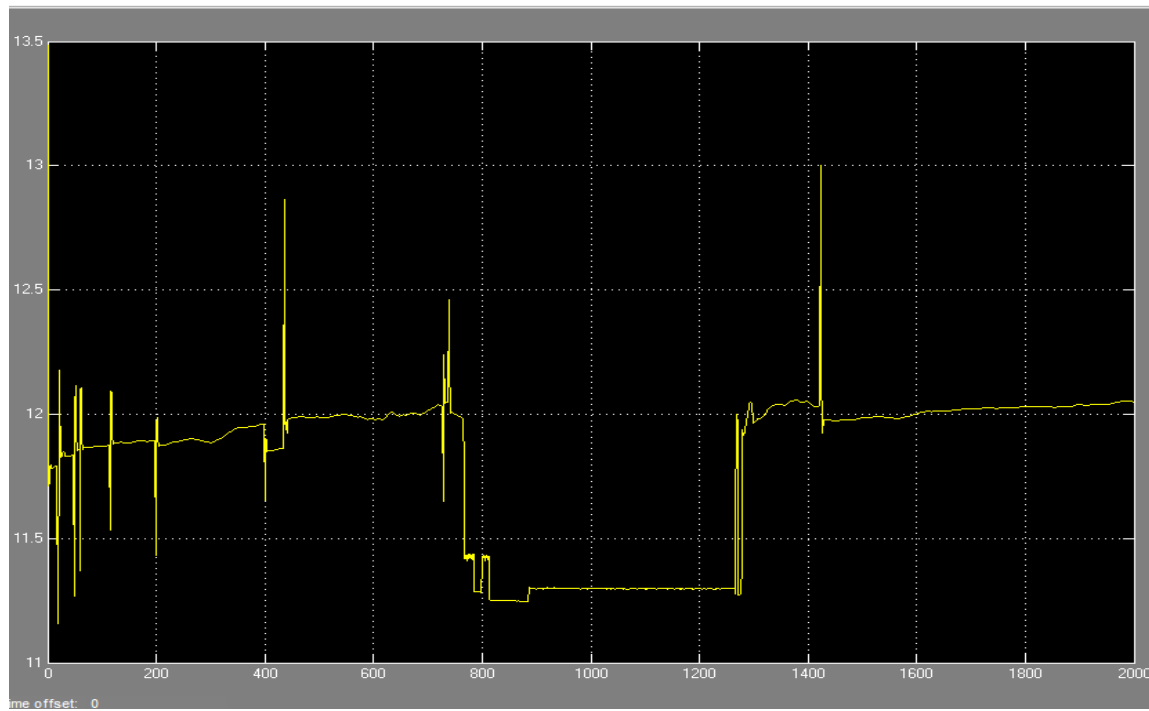
Εικόνα 5.13 Τάση συσσωρευτή με έλεγχο φόρτισης - Προσομοίωση σε Simulink για 15/07/2010.



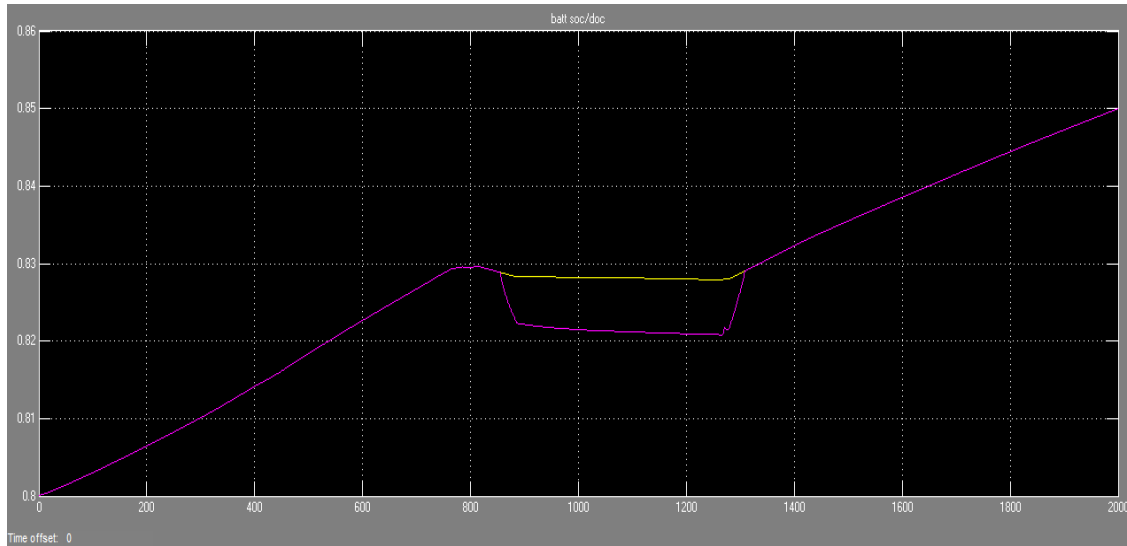
Εικόνα 5.14 Ρεύμα συσσωρευτή κατά τη διάρκεια της φόρτισης - Προσομοίωση σε Simulink για 15/07/2010.



Εικόνα 5.15 Κατάσταση φόρτισης συσσωρευτή - Προσομοίωση σε Simulink για 15/07/2010.

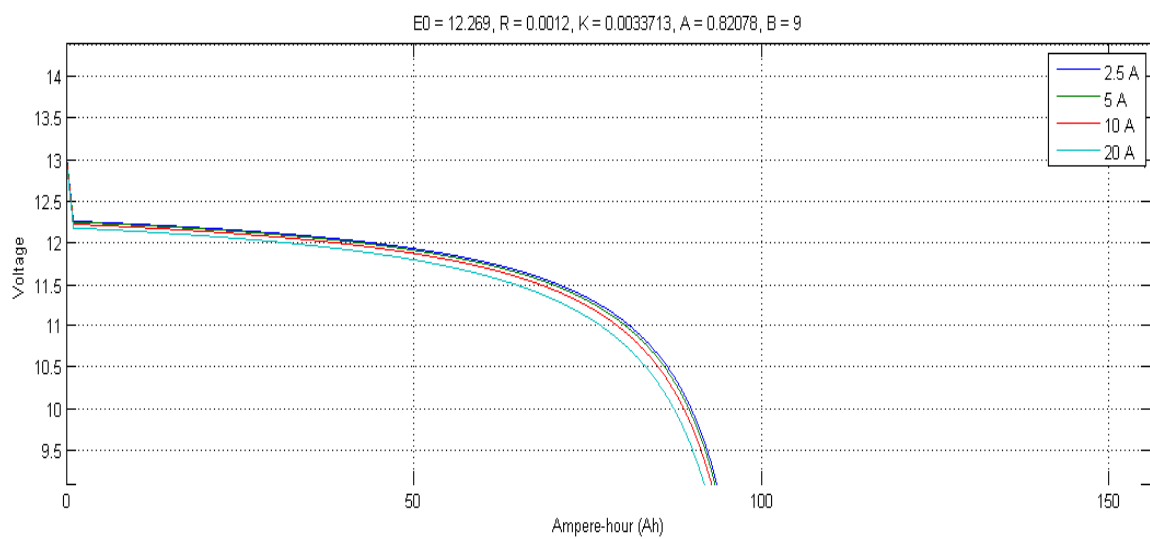


Εικόνα 5.16 Τάση συσσωρευτή - Προσομοίωση σε Simulink για 02/02/2010.

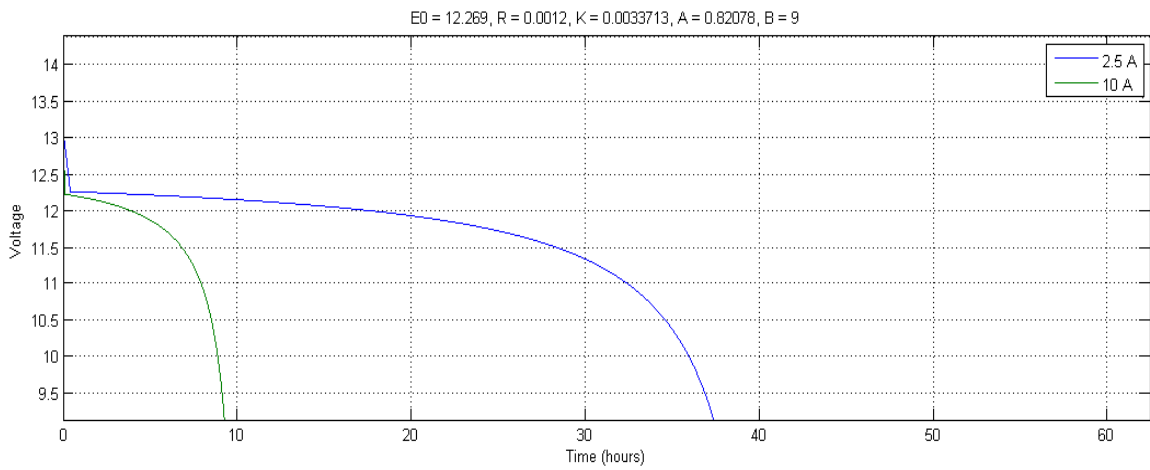
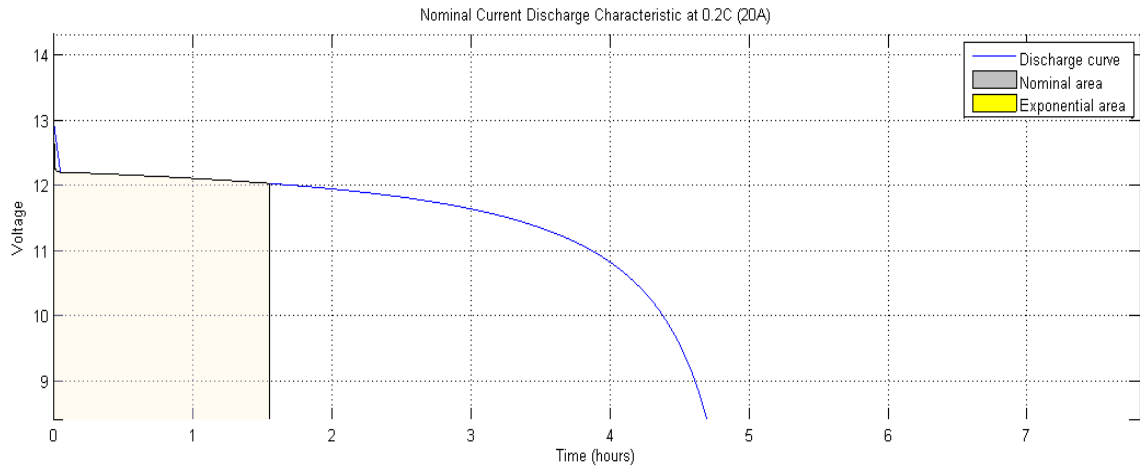


Εικόνα 5.17 Κατάσταση φόρτισης συσσωρευτή - Προσομοίωση σε Simulink για 02/02/2010

Ακολουθούν οι καμπύλες φόρτισης – εκφόρτισης του συσσωρευτή όπως προέκυψαν μέσω της προσομοίωσης σε Simulink, υπολογισμένες για διαφορετικές τιμές του ρεύματος φόρτισης (αποφόρτισης) :



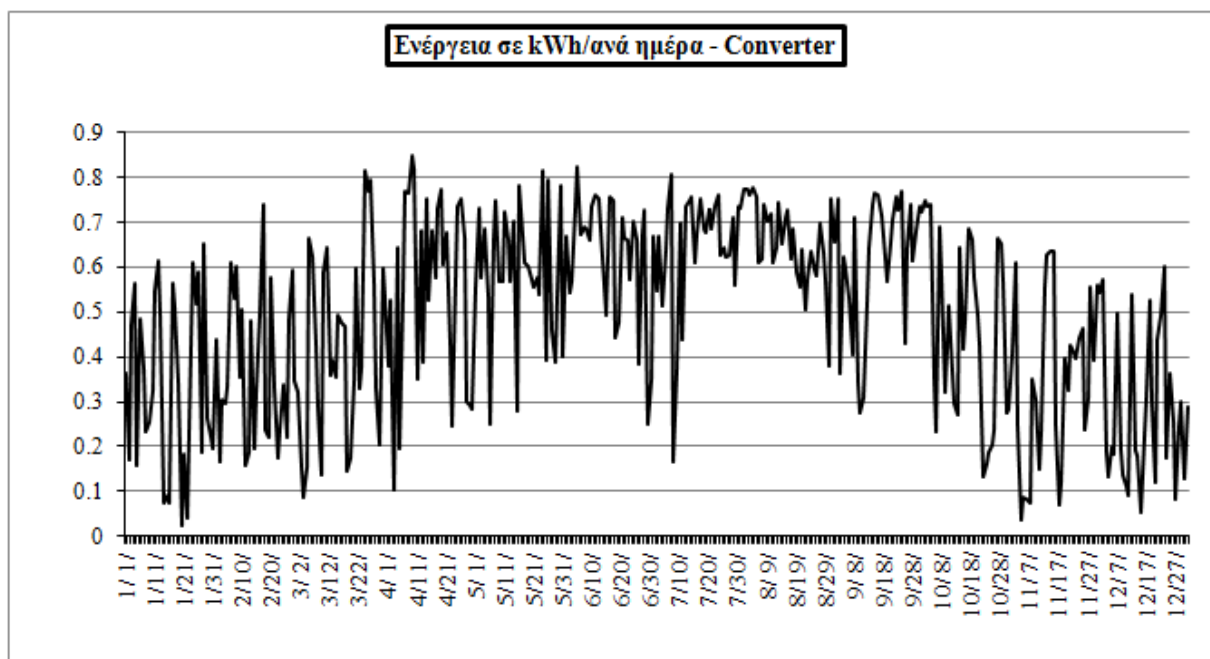
Εικόνα 5.18 Εκφόρτιση συσσωρευτή σε σχέση με τη χωρητικότητα για διαφορετικές τιμές ρεύματος



Εικόνα 5.19 α) Χαρακτηριστική καμπύλη εκφόρτισης συσσωρευτή για C/20 β) Καμπύλη εκφόρτισης συσσωρευτή για διαφορετικούς ρυθμούς εκφόρτισης. Προσομοίωση σε Simulink.

### 5.3 Αποτελέσματα προσομοίωσης φορτιστή:

Η ενέργεια που καταναλώθηκε στη διάρκεια του έτους για την λειτουργία του φορτιστή σημειώνεται ότι αφορά κυρίως στην λειτουργία του μετατροπέα υποβιβασμού και είναι πολύ μικρή συγκριτικά με την ενέργεια που καταναλώνεται για τα υπόλοιπα στοιχεία του κυκλώματος κάτι που θα φανεί και στη συνέχεια από τα ποσοστά απωλειών. Η γραφική παράσταση όπως προέκυψε από την παρατήρηση της παραγωγής της κατανάλωσης και των απωλειών του συστήματος αφορά σε όλες τις μέρες του έτους. Αθροιστικά για κάθε ημέρα του μήνα η καμπύλη προέκυψε ως εξής:

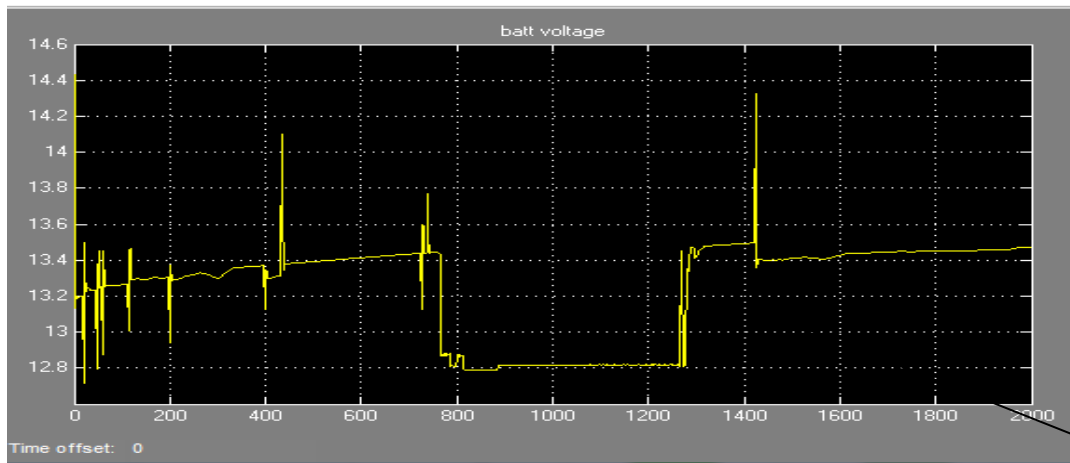


Εικόνα 5.20 Ενέργεια που κατανάλωσε ο φορτιστής για κάθε μέρα του 2010.

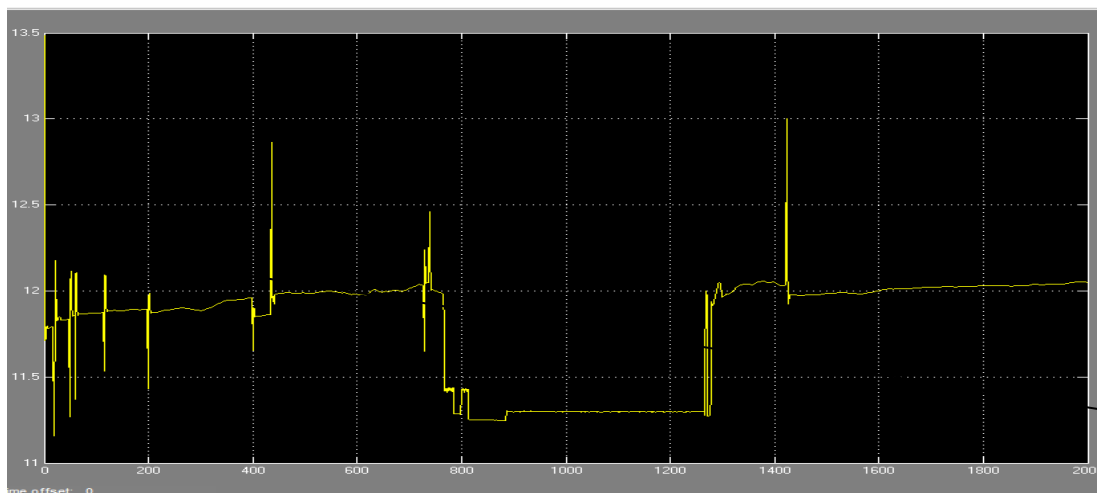
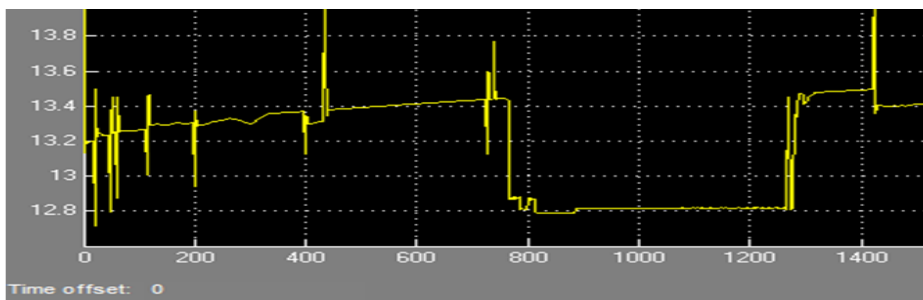
Μέσω της προσομοίωσης σε Simulink ήταν δυνατή η επιβεβαίωση της λειτουργίας του συστήματος φόρτισης και παρατηρήθηκε για όλες τις μέρες του έτους 2010. Στην πραγματικότητα οι φορτιστές παρουσιάζουν και ορισμένες αστοχίες στην διάρκεια της λειτουργίας τους χωρίς ωστόσο αυτό να τους κάνει αναξιόπιστους. Στη συνέχεια, στα παρακάτω σχήματα φαίνεται ο έλεγχος της τάσης του συσσωρευτή μέσω του φορτιστή Conergy με κατώτατο όριο αποκοπής τα 11Volts και ανώτερο τα 14Volts με βάση τον πίνακα όπως υπολογίστηκε για την προστασία του συσσωρευτή από υπερφορτίσεις και υπερβολικές εκφορτίσεις κατά τον σχεδιασμό του συστήματος:

Όρια φορτιστή	Συσσωρευτής 12V
Vmax_on_συσσωρ.	12.5 V
Vmax_off_συσσωρ.	13.7 V
Vmin_on_συσσωρ.	12.1 V
Vmin_off_συσσωρ.	11.0 V

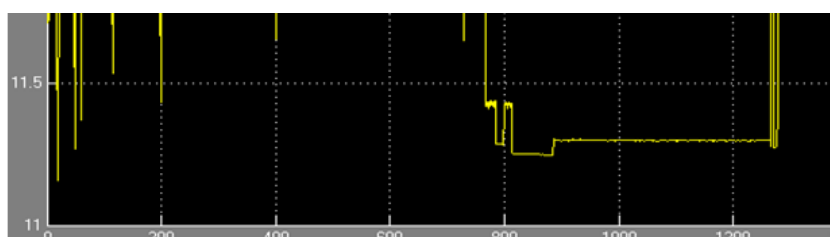
Ακολουθούν οι περιπτώσεις λειτουργίας του φορτιστή σύμφωνα με τον παραπάνω πίνακα όπως παρατηρήθηκαν στην προσομοίωση με τις ακτινοβολίες για τις δύο χαρακτηριστικές μέρες – 15/07 και 02/02/2010:



Εικόνα 5.20 Αποκοπή συσσωρευτή από την Φ/Β γεννήτρια

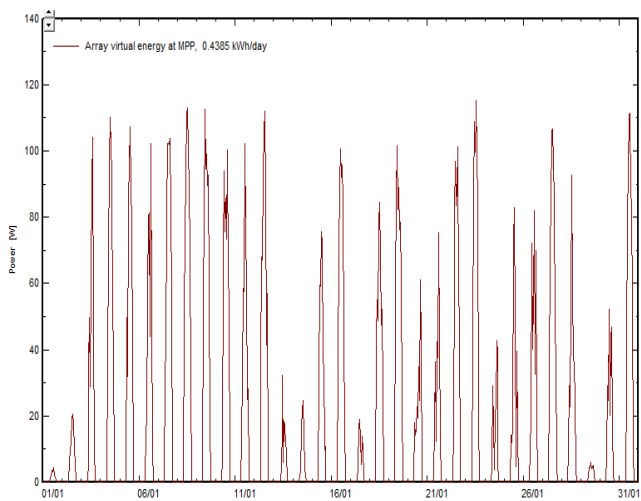


Εικόνα 5.21 Αποκοπή συσσωρευτή από το φορτίο

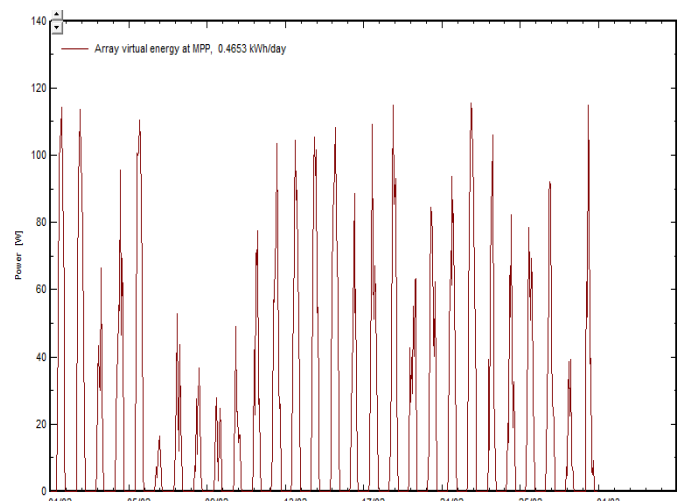


**Προσδιορισμός του MPP:** Η τεχνική που χρησιμοποιήθηκε στηρίζεται στην παραδοχή ότι το σημείο μέγιστης ισχύος τοποθετείται στο 0,7 με 0,8 της τάσης ανοιχτοκύκλωσης της φωτοβολταϊκής γεννήτριας. Ακόμα και με μεταβολή της θερμοκρασίας περιβάλλοντος και της έντασης της ακτινοβολίας διατηρούμε την παραπάνω παραδοχή ( $V_{MPP} = V_{oc} * P(\%)$ ). Η λειτουργία του φορτιστή με το ενσωματωμένο σύστημα εντοπισμού ακολουθεί την εξής διαδικασία: κάθε μισό λεπτό μετρά την  $V_{oc}$  του Φ/Β και στέλνει το κατάλληλο  $V_{ref}$  στην μονάδα ελέγχου που στέλνει με τη σειρά της τους σωστούς παλμούς PWM στον μετατροπέα υποβιβασμού και οδηγεί το σημείο λειτουργίας της Φ/Β γεννήτρια στο καινούργιο σημείο.

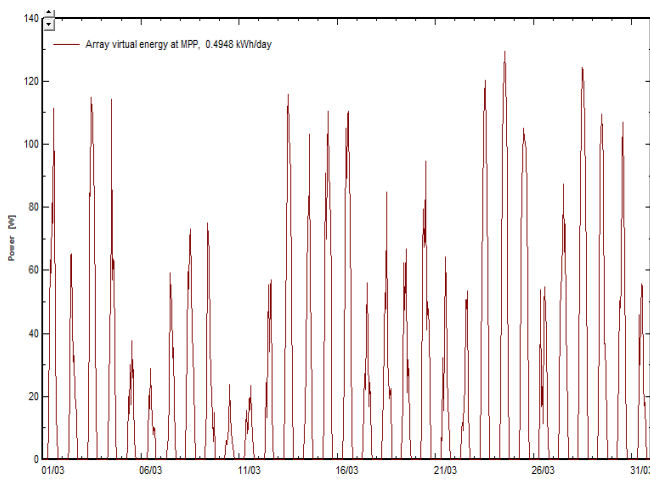
Στη συνέχεια φαίνονται οι καμπύλες της παραγόμενης από τα φωτοβολταϊκά ενέργειας στο μέγιστο σημείο λειτουργίας (MPPT) για κάθε μήνα του 2010 όπως προέκυψαν από την προσομοίωση:



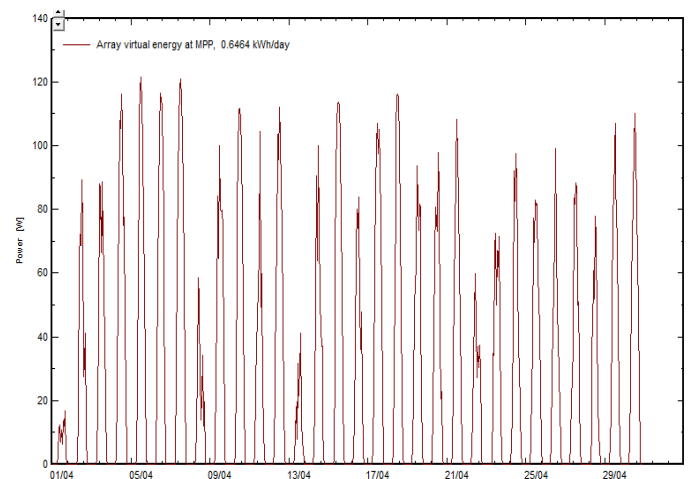
Εικόνα 5.1 Ιανουάριος



Εικόνα 5.2 Φεβρουάριος

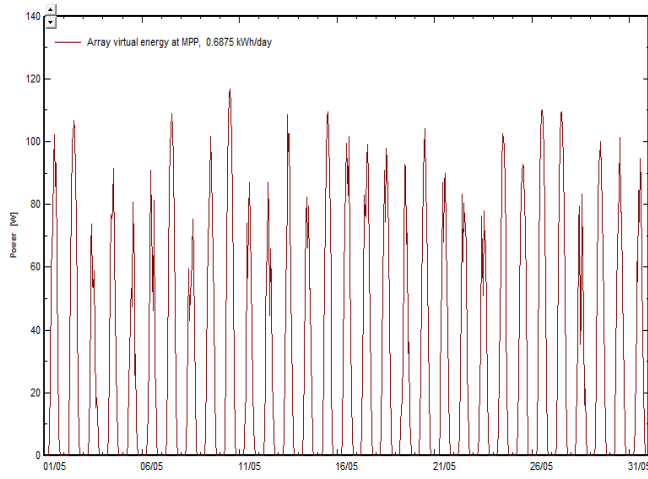


Εικόνα 5.3 Μάρτιος

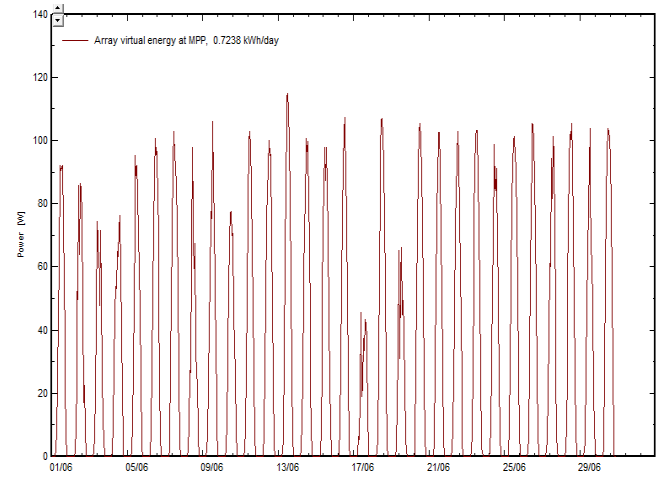


Εικόνα 5.4 Απρίλιος

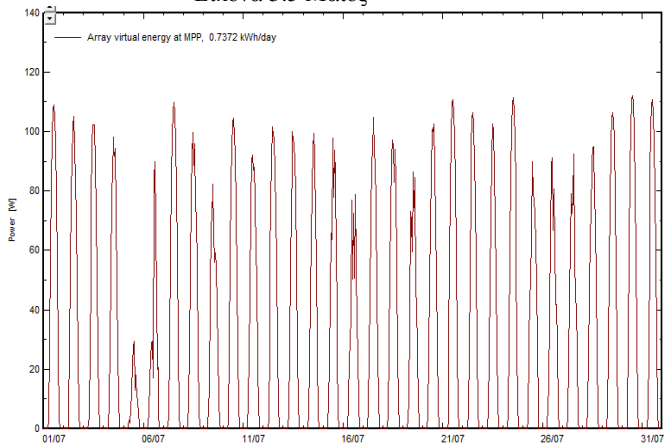




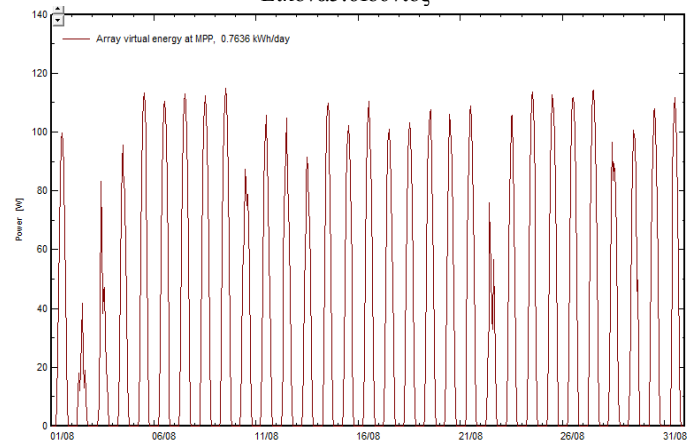
Εικόνα 5.5 Μάιος



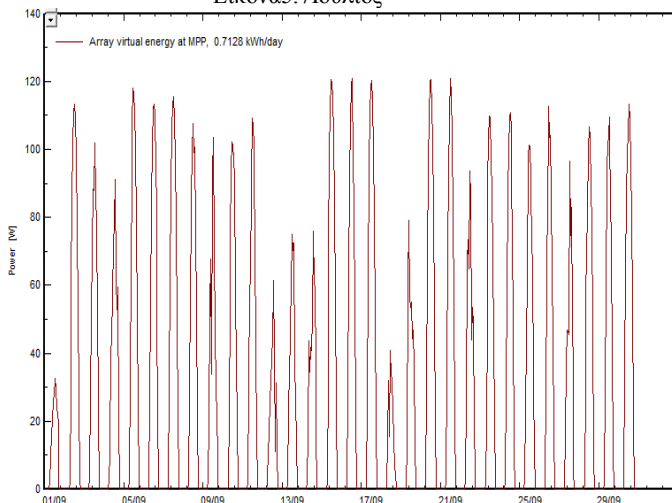
Εικόνα 5.6 Ιούνιος



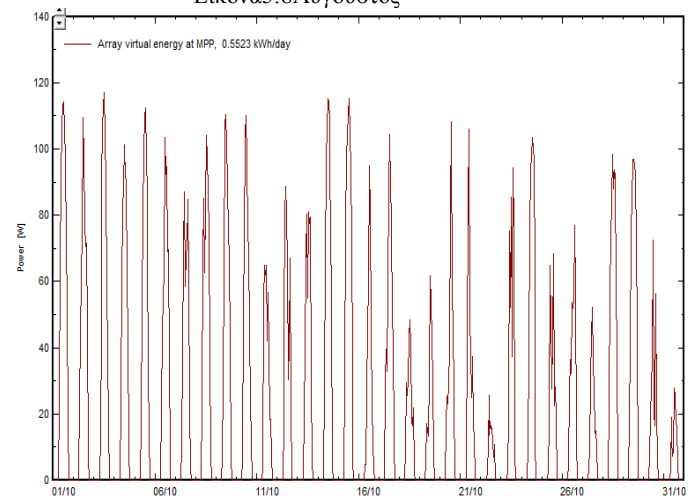
Εικόνα 5.7 Ιούλιος



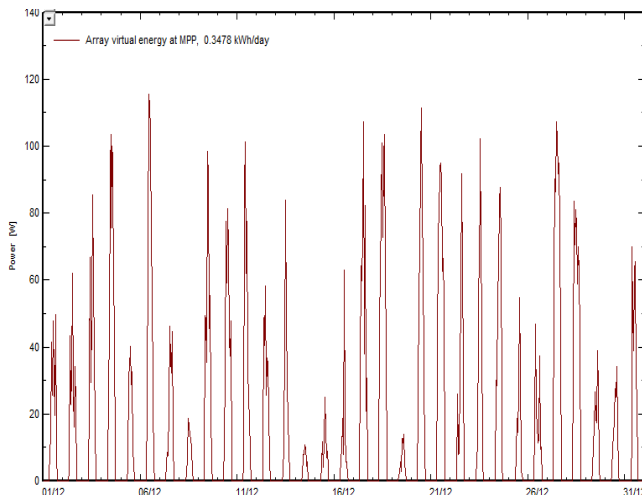
Εικόνα 5.8 Αύγουστος



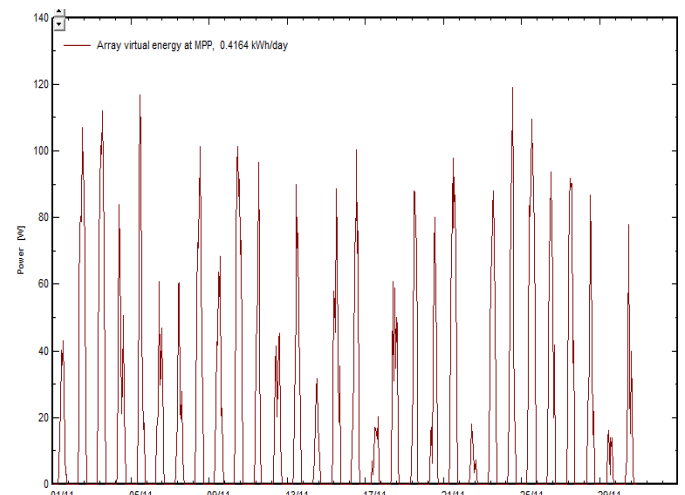
Εικόνα 5.9 Σεπτέμβριος



Εικόνα 5.10 Οκτώβριος



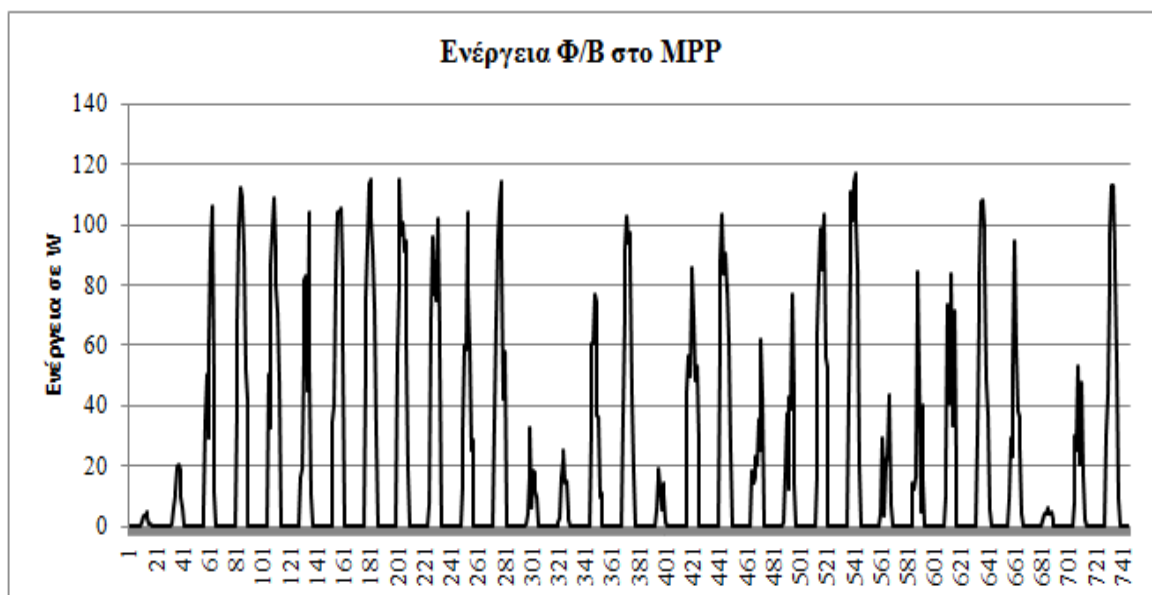
Εικόνα 5.11 Νοέμβριος



Εικόνα 5.12 Δεκέμβριος

**Παρατήρηση:** στην εαρινή και θερινή περίοδο του έτους μέσω του μηχανισμού MPPT παίρνουμε την μέγιστη αναμενόμενη τιμή από την φωτοβολταϊκή γεννήτρια που είναι τα 120Wp συμπεριλαμβανομένων των απωλειών λειτουργίας όλων των επιμέρους στοιχείων καθώς και του βαθμού απόδοσής των φωτοβολταϊκών πλαισίων που είναι αρκετά χαμηλός (όπως διαπιστώθηκε και στο κεφάλαιο 5.1) κατά 97% των ημερών για κάθε μήνα. Αντίθετα την χειμερινή κυρίως και λιγότερο στην φθινοπωρινή περίοδο την τιμή αυτή την συναντάμε μόλις στο 25% των ημερών με μέγιστη παραγόμενη ενέργεια στα 60-70Wp κατά μέσο όρο.

Συνολικά, η παραγόμενη ενέργεια από την φωτοβολταϊκή γεννήτρια σε όλη τη διάρκεια της προσομοίωσης φαίνεται στο παρακάτω διάγραμμα:



Εικόνα 5.13 Ενέργεια Φ/Β γεννήτριας στο μέγιστο σημείο λειτουργίας

#### 5.4 Υπολογισμός Αυτονομίας:

Για τον υπολογισμό της αυτονομίας και συνεπώς αξιοπιστίας του συστήματος που υλοποιείται όπως και της σωστής επιλογής των στοιχείων που τοποθετήθηκαν πρέπει να υπάρχουν στοιχεία της πιθανοτικής διαθεσιμότητας της ανά ημέρα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας ή και κατά την διάρκεια της ημέρας. Συγκεκριμένα για τους χειμερινούς μήνες που υπάρχει έλλειμμα ή είναι οριακοί όπως υπολογίστηκε στη παράγραφο 4.3.1 γίνεται ανάλυση ανά ημέρα με βάση τις αντίστοιχες ημερήσιες καμπύλες παραγόμενης ενέργειας και φορτίου και προσδιορίζεται ο αριθμός των ωρών που δεν είναι δυνατή η κάλυψη της ζήτησης. Στα αυτόνομα συστήματα που λειτουργούν όπως το παρόν υλοποιήσιμο το φορτίο τροφοδοτείται άμεσα από τον συσσωρευτή μόνο τις νυχτερινές ώρες. Ο συσσωρευτής φορτίζεται άμεσα από την φωτοβολταϊκή γεννήτρια κατά την διάρκεια της ημέρας. Επομένως έχει νόημα να διερευνήσουμε το θέμα της πιθανότητας απώλειας φορτίου (LLP – loss of load probability) σε σχέση με την ενέργεια του συσσωρευτή. Το LLP υπολογίζεται γενικά από την σχέση: [1]

$$LLP = \text{ώρες που διακόπτεται η τροφοδότηση του φορτίου/συνολικό αριθμό ωρών που παρέχεται} \quad (5.7)$$

Στο παράρτημα Β, παρατίθεται ο πίνακας για τον υπολογισμό της LLP πιθανότητας για τον μήνα Ιανουάριο. Στο σημείο αυτό θα συμπεριλάβουμε ένα χαρακτηριστικό 48ωρο του μήνα Μαρτίου για τον υπολογισμό του LLP:

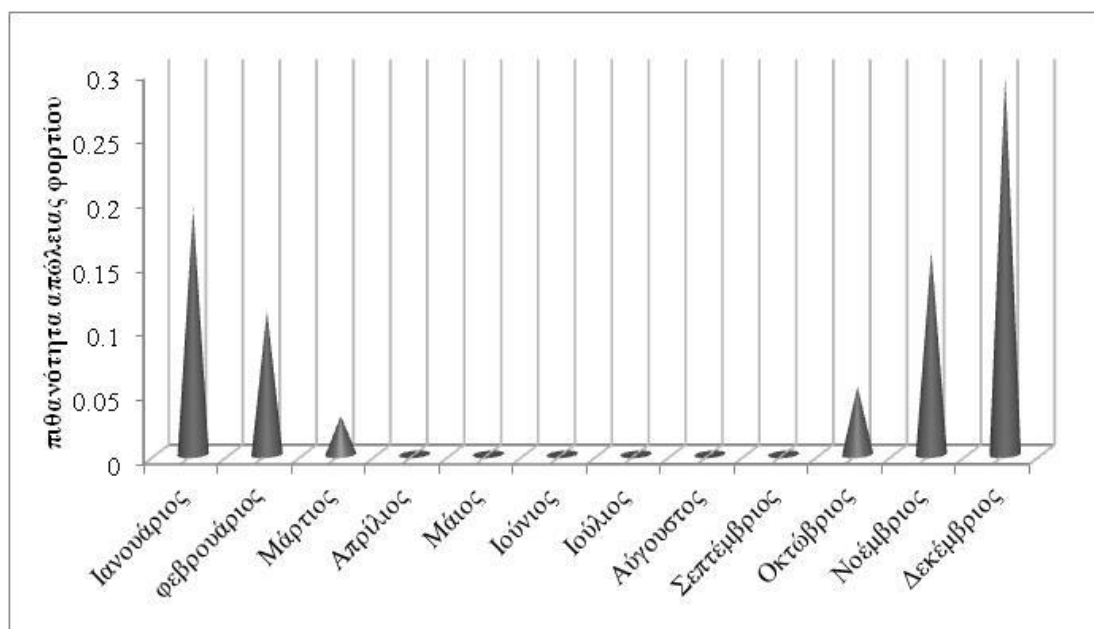
Πίνακας 5.3 LLP Μαρτίου

Μήνας/Ημέρα	Ωρα	Φορτίο	ενέργεια αποφόρτισης	Διαφορά	Αποτυχία;
3/ 3/	0:00	0.03	0.03	0	
3/ 3/	1:00	0.03	0.03	0	
3/ 3/	2:00	0.03	0.03	0	
3/ 3/	3:00	0.03	0.03	0	
3/ 3/	4:00	0.03	0.03	0	
3/ 3/	5:00	0.03	0.03	0	
3/ 3/	6:00	0	0	0	
3/ 3/	7:00	0	0	0	
3/ 3/	8:00	0	0	0	
3/ 3/	9:00	0	0	0	
3/ 3/	10:00	0	0	0	
3/ 3/	11:00	0	0	0	
3/ 3/	12:00	0	0	0	
3/ 3/	13:00	0	0	0	
3/ 3/	14:00	0	0	0	
3/ 3/	15:00	0	0	0	
3/ 3/	16:00	0	0	0	
3/ 3/	17:00	0	0	0	
3/ 3/	18:00	0	0	0	
3/ 3/	19:00	0.03	0.03	0	
3/ 3/	20:00	0.03	0.03	0	
3/ 3/	21:00	0.03	0.03	0	
3/ 3/	22:00	0.03	0.00074	-0.02926	NAI
3/ 3/	23:00	0.03	0	-0.03	NAI
3/ 4/	0:00	0.03	0	-0.03	NAI
3/ 4/	1:00	0.03	0	-0.03	NAI
3/ 4/	2:00	0.03	0	-0.03	NAI

3/ 4/	3:00	0.03	0	-0.03	NAI
3/ 4/	4:00	0.03	0	-0.03	NAI
3/ 4/	5:00	0.03	0	-0.03	NAI
3/ 4/	6:00	0	0	0	
3/ 4/	7:00	0	0	0	
3/ 4/	8:00	0	0	0	
3/ 4/	9:00	0	0	0	
3/ 4/	10:00	0	0	0	
3/ 4/	11:00	0	0	0	
3/ 4/	12:00	0	0	0	
3/ 4/	13:00	0	0	0	
3/ 4/	14:00	0	0	0	
3/ 4/	15:00	0	0	0	
3/ 4/	16:00	0	0	0	
3/ 4/	17:00	0	0	0	
3/ 4/	18:00	0	0	0	
3/ 4/	19:00	0.03	0.03	0	
3/ 4/	20:00	0.03	0.03	0	
3/ 4/	21:00	0.03	0.03	0	
3/ 4/	22:00	0.03	0.03	0	
3/ 4/	23:00	0.03	0.017019	-0.01298	NAI

Παρατηρούμε ότι διακοπή της τροφοδότησης για τις δύο συνεχόμενες ημέρες του Μαρτίου υπήρξε 9 ώρες συνολικά. Επομένως, η πιθανότητα  $LLP = 9 / 48 = 0,1875$  που είναι μια ικανοποιητική τιμή για το σύστημα που σχεδιάζουμε. Με τον ίδιο τρόπο υπολογίστηκαν και οι πιθανότητες για κάθε ημέρα στους 12 μήνες του χρόνου 2010.

Από αυτή την ανάλυση για κάθε μήνα ξεχωριστά προέκυψε το παρακάτω διάγραμμα πιθανοτήτων:



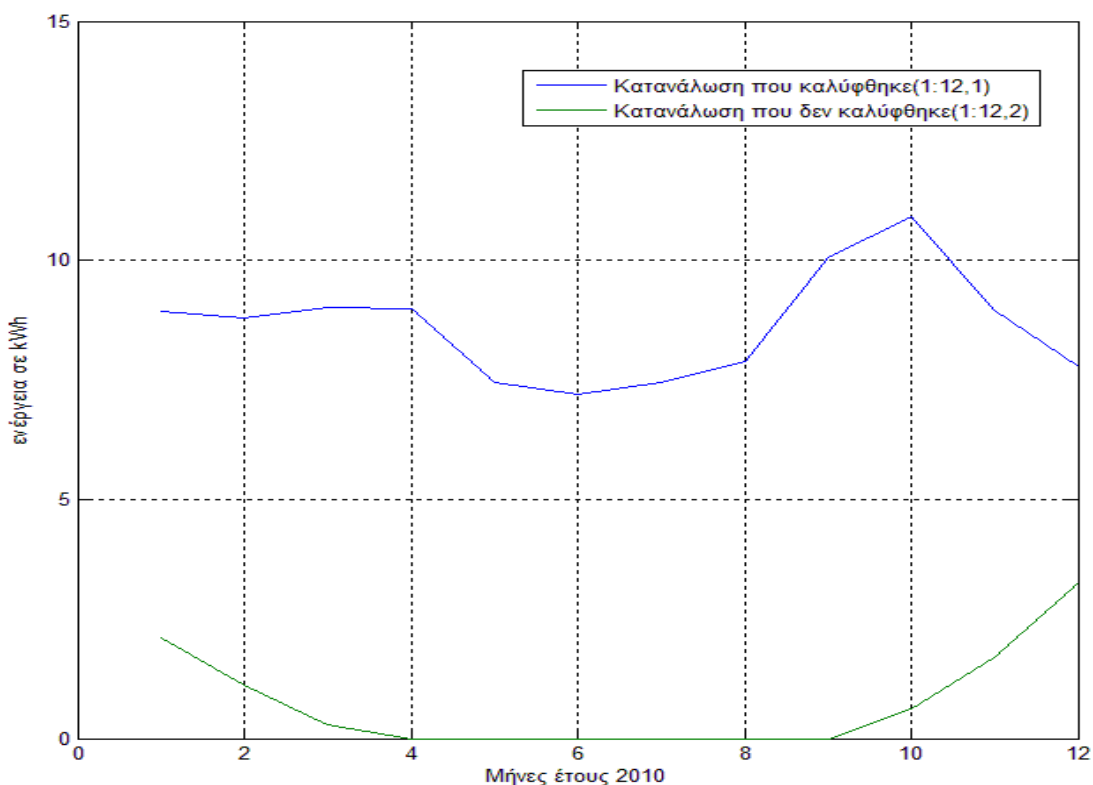
Εικόνα 5.22 Πιθανότητα απώλειας φορτίου για το έτος 2010 (LLP)

Όπως φαίνεται και στο διάγραμμα το σύστημα αποδίδει πάρα πολύ καλά για τους 6 μήνες του χρόνου με πλήρη αξιοπιστία και μηδενική θεωρητικά απώλεια φορτίου. Οι τιμές της

πιθανότητας για τους υπόλοιπους μήνες του χρόνου δεν ξεπερνούν το 0,15 ( 15% ) που επίσης είναι πλήρως αποδεκτές τιμές. Μοναδική εξαίρεση αποτελεί ο Δεκέμβριος και Ιανουάριος όπου υπάρχει 30% και 20% αντίστοιχα πιθανότητα να μην καταφέρει ο συσσωρευτής να τροφοδοτήσει το φορτίο. Αυτό φυσικά είναι αναμενόμενο λόγω του ότι η ηλιοφάνεια τους συγκεκριμένους μήνες είναι περιορισμένη. Θα ήταν λάθος για τόσο μικρές αποκλίσεις να σκεφτόμασταν κάποια βελτιστοποίηση στην επιλογή των μεγεθών των στοιχείων του συστήματος όπως τα επιλέξαμε συγκριτικά πάντα με την αναμενόμενη αύξηση του κόστους.

#### 5.4.1 Λειτουργία αυτόνομου συστήματος για κάθε μήνα ξεχωριστά του έτους 2010 και λειτουργία για χαρακτηριστικές ημέρες:

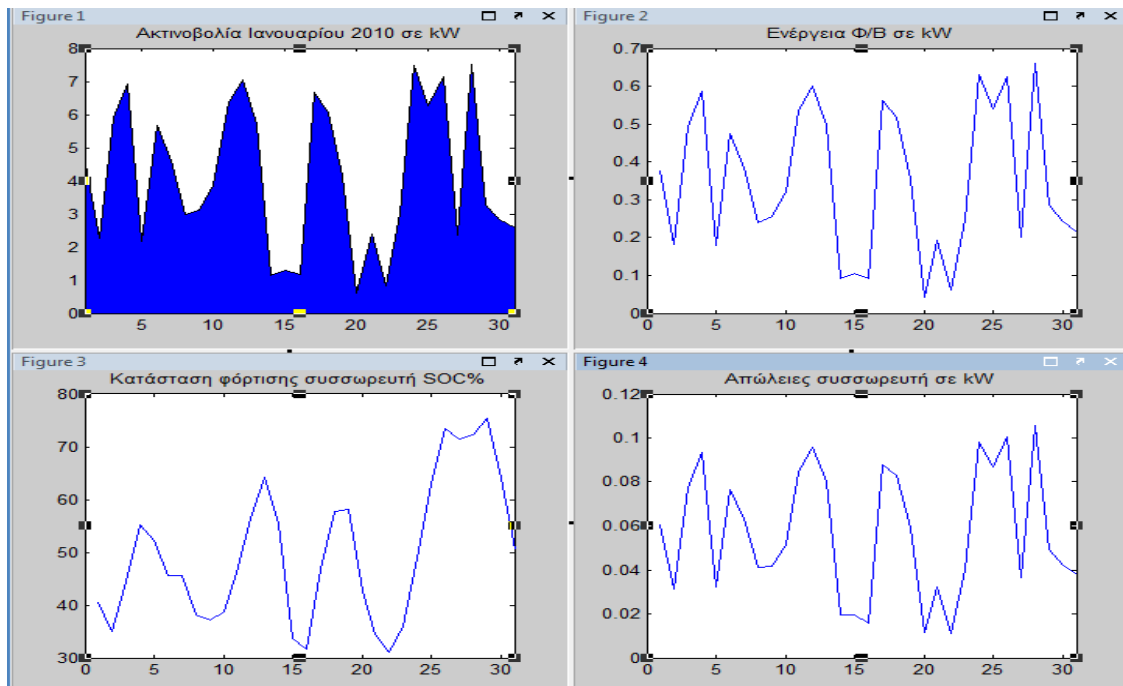
Αυτό το κομμάτι υπολογίστηκε με βάση τις ώρες που υπήρξε έλλειψη της απαιτούμενης ενέργειας από τον συσσωρευτή για να τροφοδοτήσει τους λαμπτήρες. Για κάθε μέρα έχουμε τις τιμές της ενέργειας που καταναλώθηκαν από τους λαμπτήρες και συγκριτικά με τον παραπάνω πίνακα όπου παρουσιάστηκε η ενέργεια φόρτισης της του συσσωρευτή μαζί με τις απώλειες προέκυψαν τα παρακάτω αποτελέσματα:



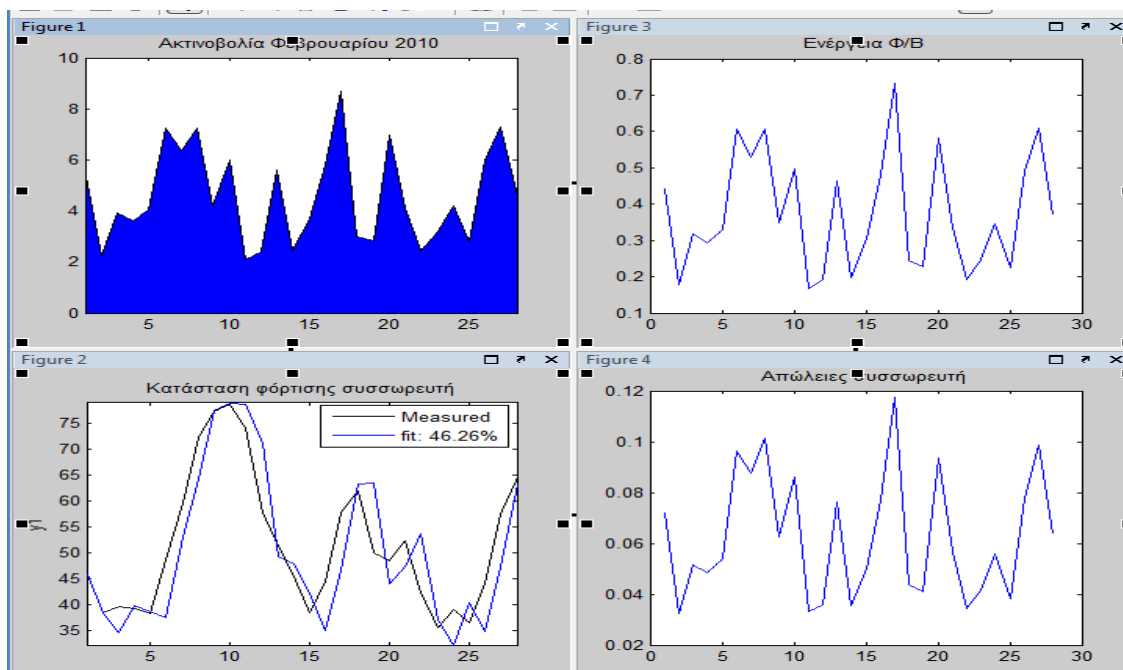
Εικόνα 5.23 Ετήσια κάλυψη φορτίου

Ακολουθούν οι καμπύλες που δείχνουν την ακτινοβολία σε kWh, την παραγόμενη ενέργεια από την φωτοβολταϊκή γεννήτρια, την κατάσταση φόρτισης του συσσωρευτή και τις

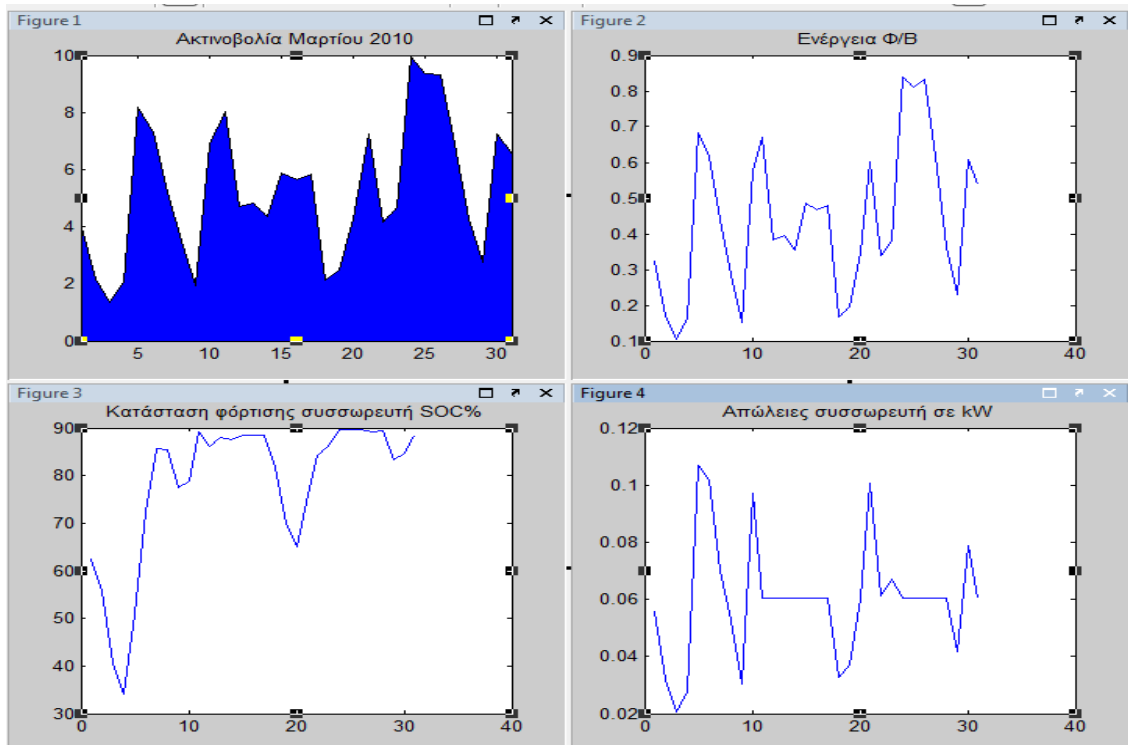
απώλειές του σε kW για κάθε μήνα ξεχωριστά του έτους 2010 όπως προέκυψαν στα θεωρητικά αποτελέσματα μέσω της προσομοίωσης. Αξίζει να σημειωθεί ότι η πιθανότητα απώλειας φορτίου όπως είχε υπολογιστεί στην παράγραφο 5.4 δεν αποτελεί πιθανότητα αλλά την πραγματική μέτρηση της απώλειας του φορτίου. Επιπλέον, επιβεβαιώνεται σε αυτό το σημείο η ορθή επιλογή των επιμέρους στοιχείων έτσι όπως υπολογίστηκαν κατά την σχεδίαση του συστήματος που εγκαταστάθηκε έτσι όπως έγιναν στο κεφάλαιο 4.



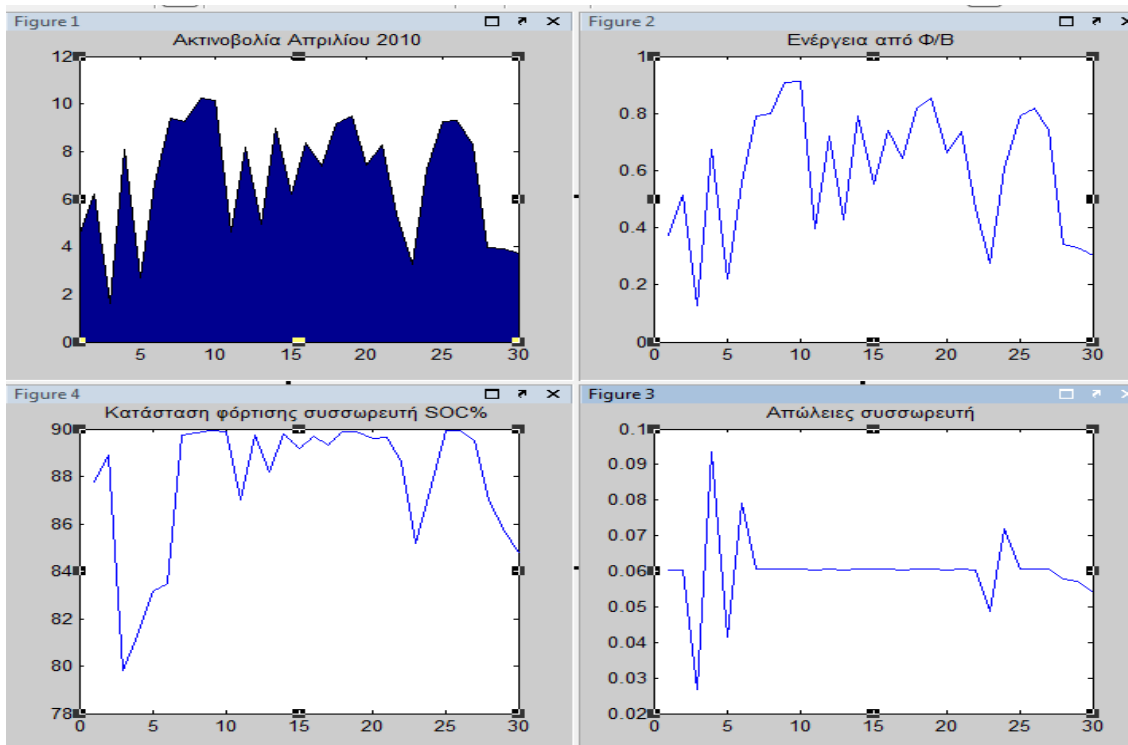
Εικόνα 5.1 Ιανουάριος



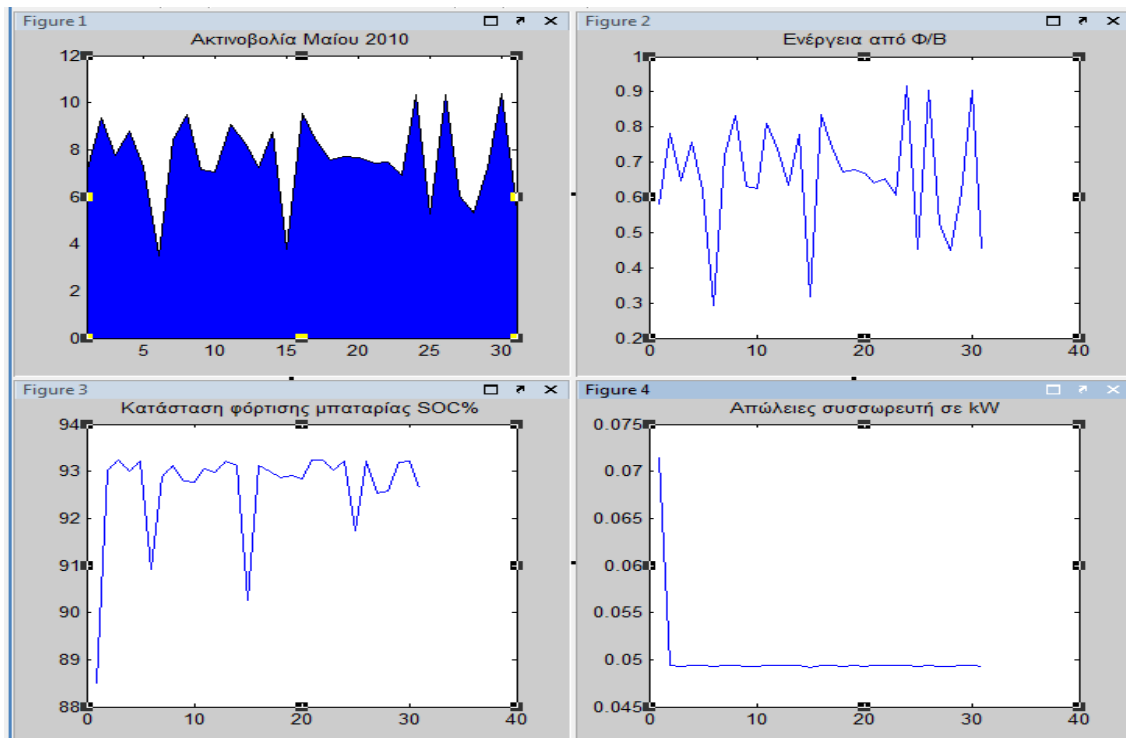
Εικόνα 5.2 Φεβρουάριος



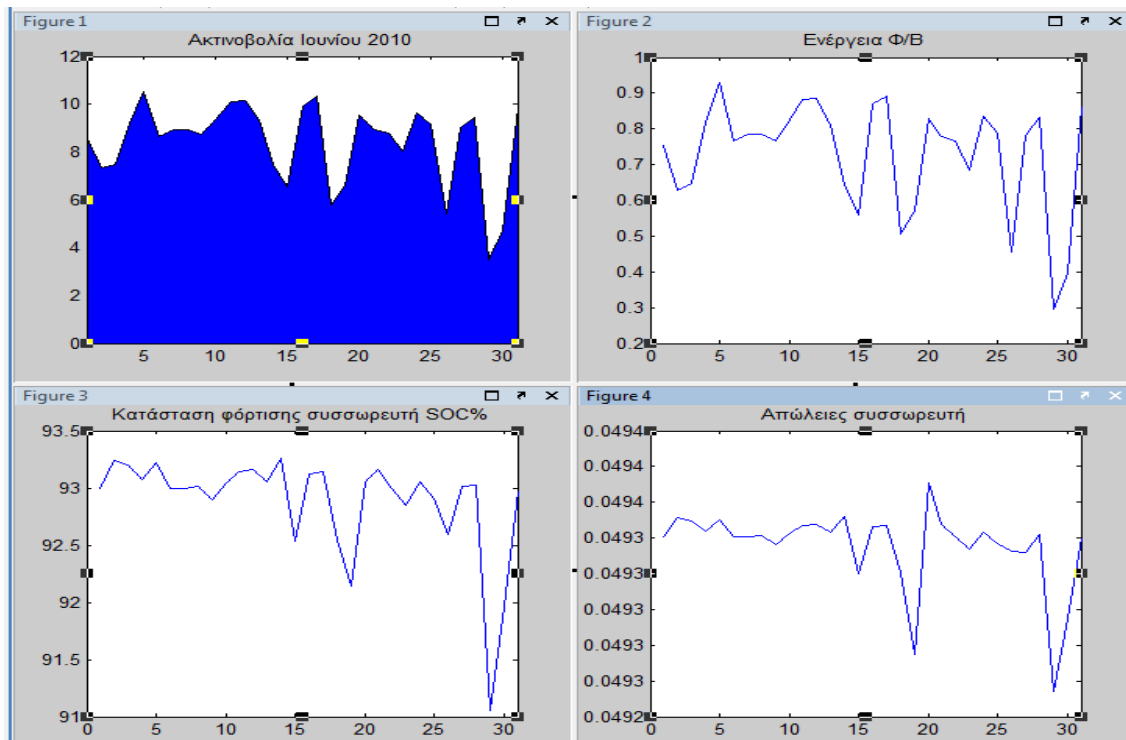
Εικόνα 5.3 Μάρτιος



Εικόνα 5.4 Απρίλιος

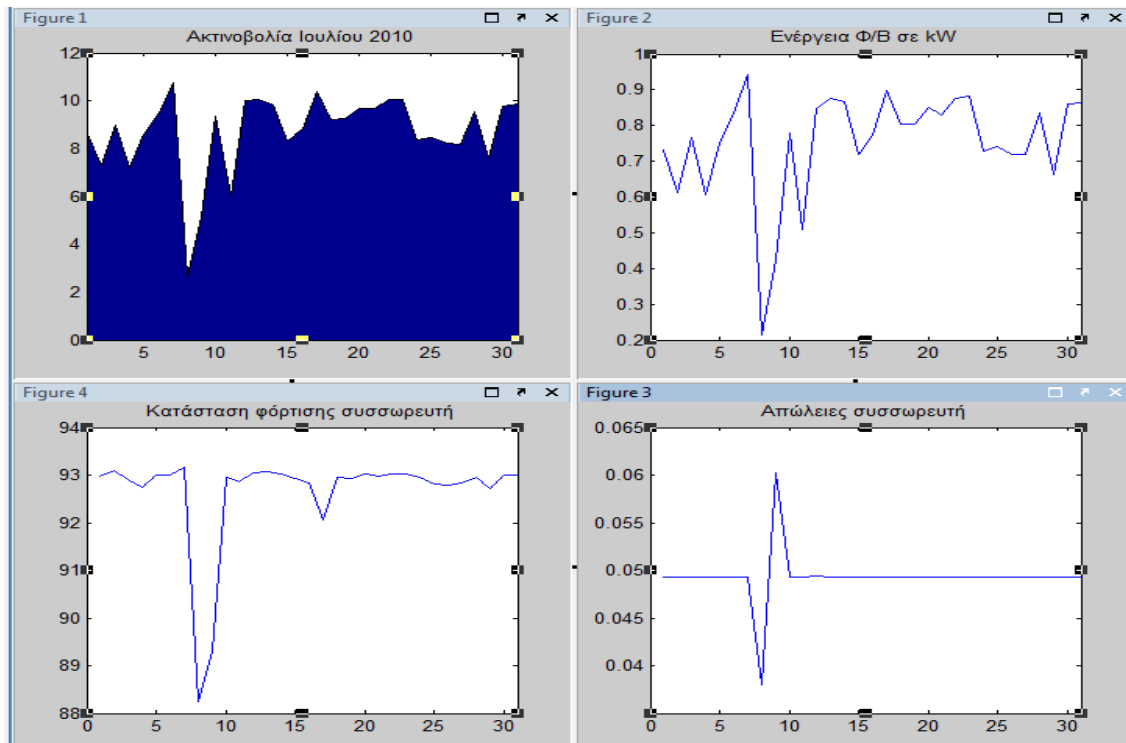


Εικόνα 5.5 Μάιος

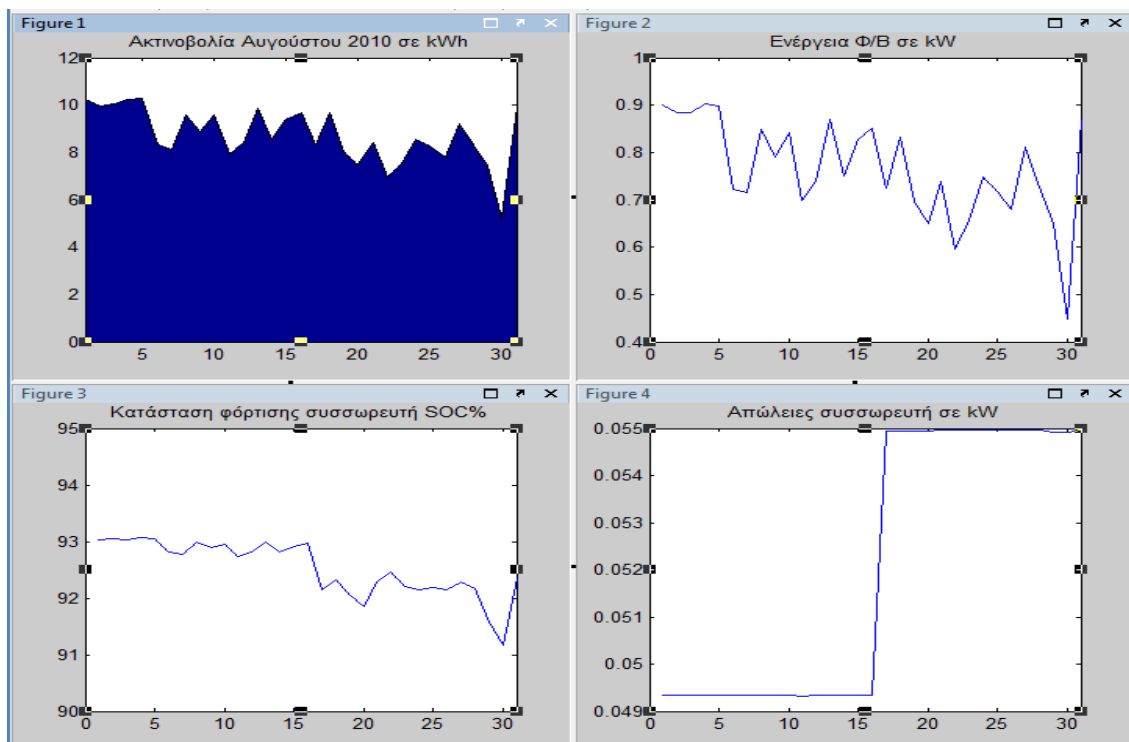


Εικόνα 5.6 Ιούνιος

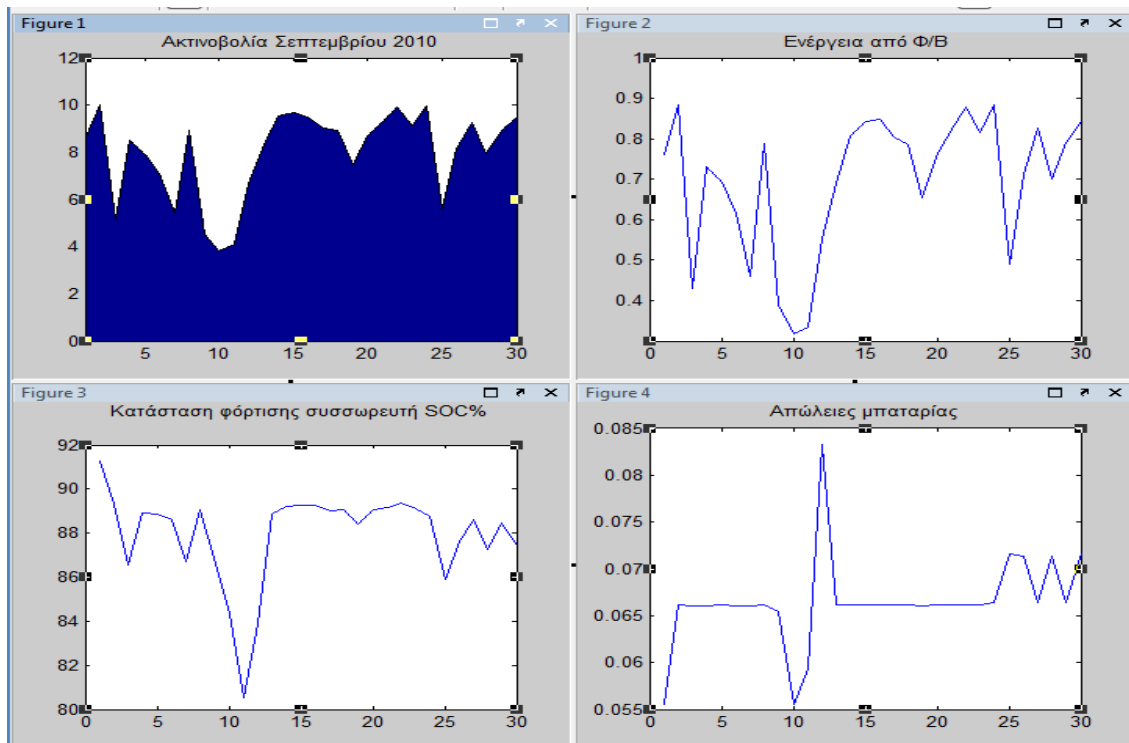




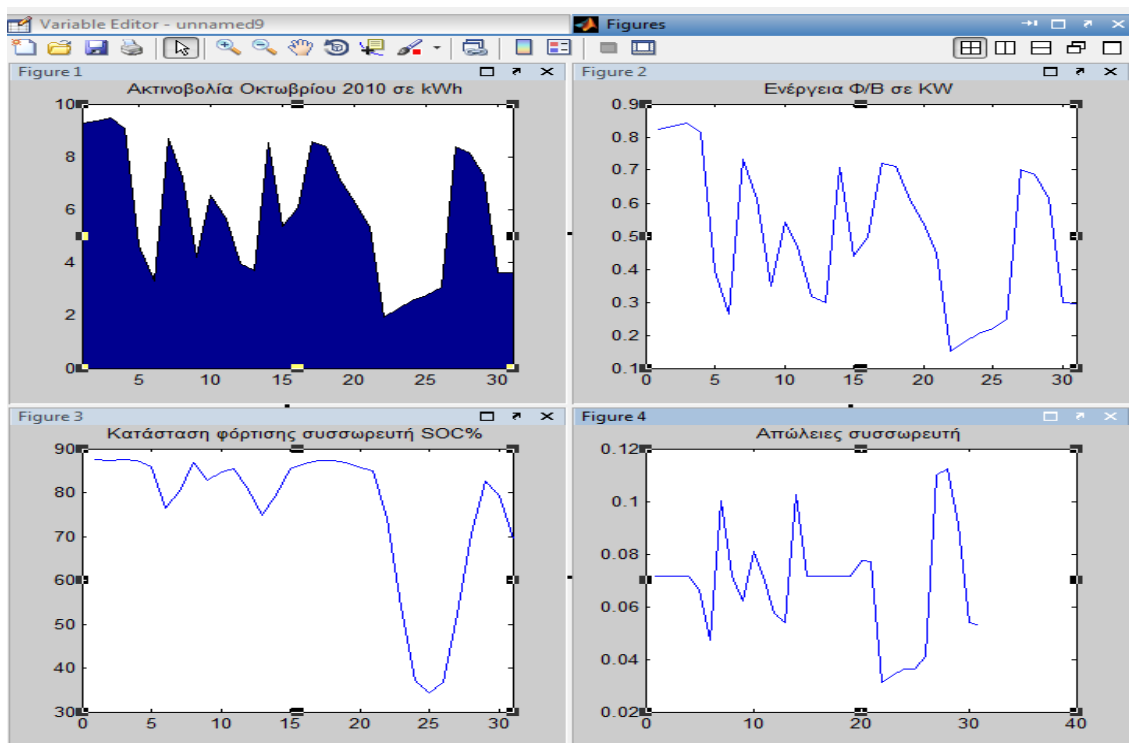
Εικόνα 5.7 Ιούλιος



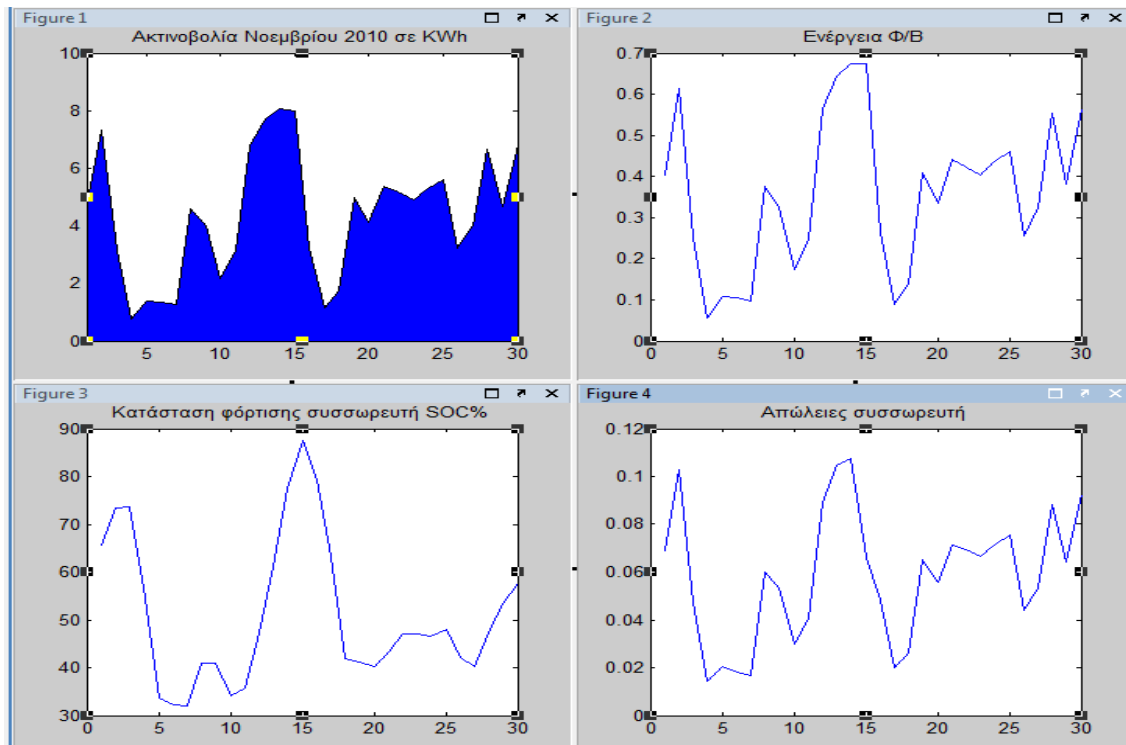
Εικόνα 5.8 Αύγουστος



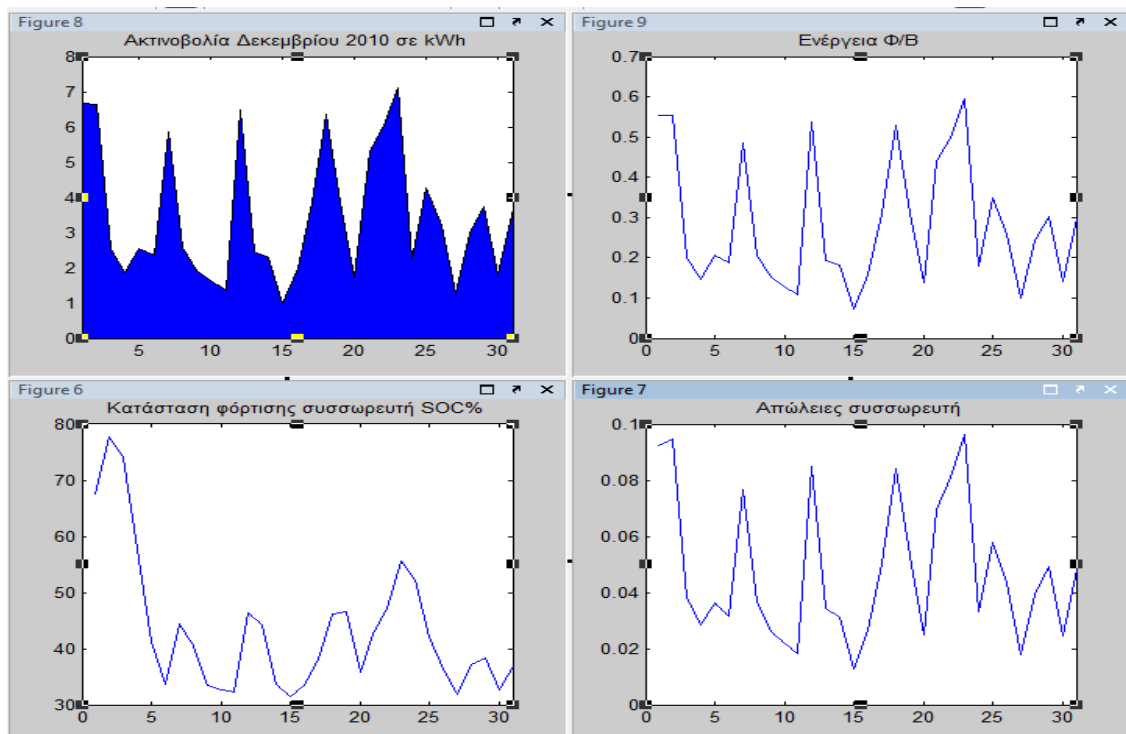
Εικόνα 5.9 Σεπτέμβριος



Εικόνα 5.10 Οκτώβριος

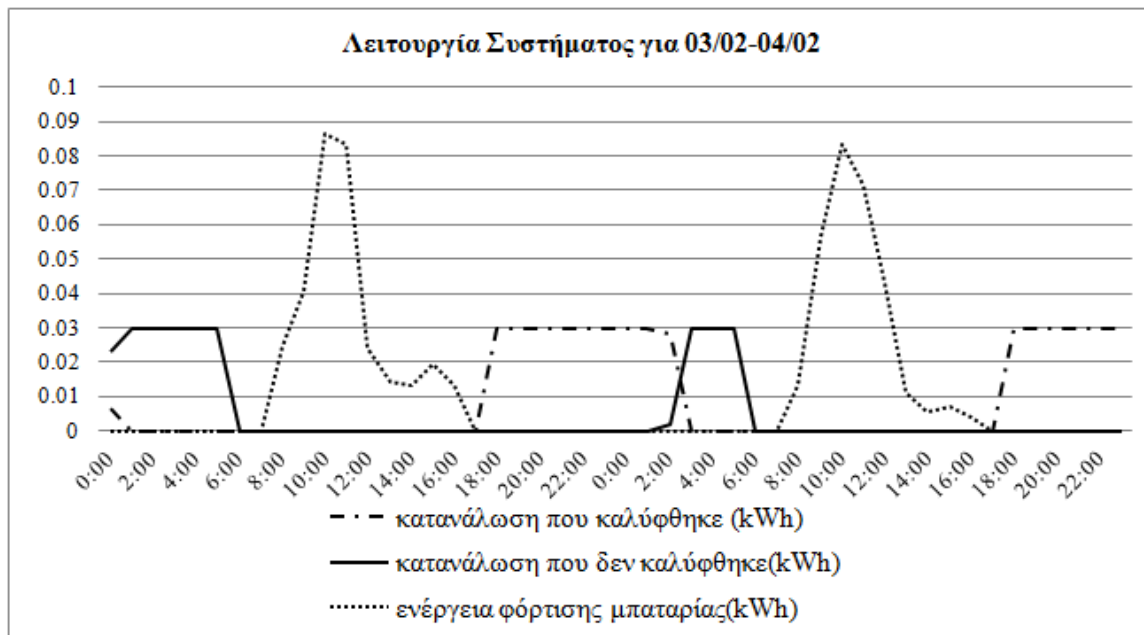


Εικόνα 5.11 Νοέμβριος

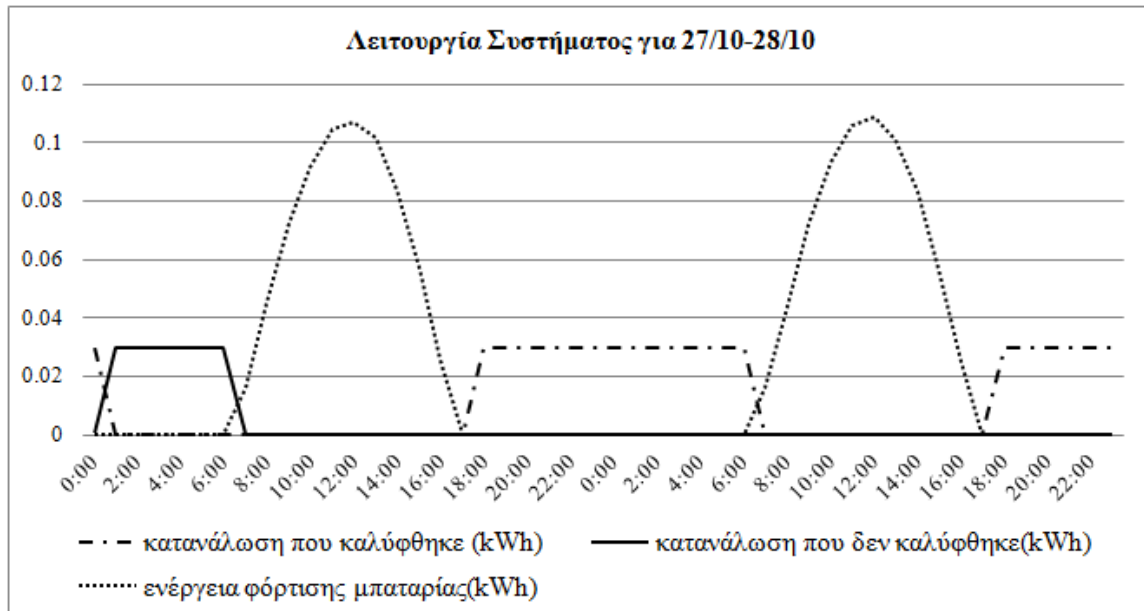


Εικόνα 5.12 Δεκέμβριος

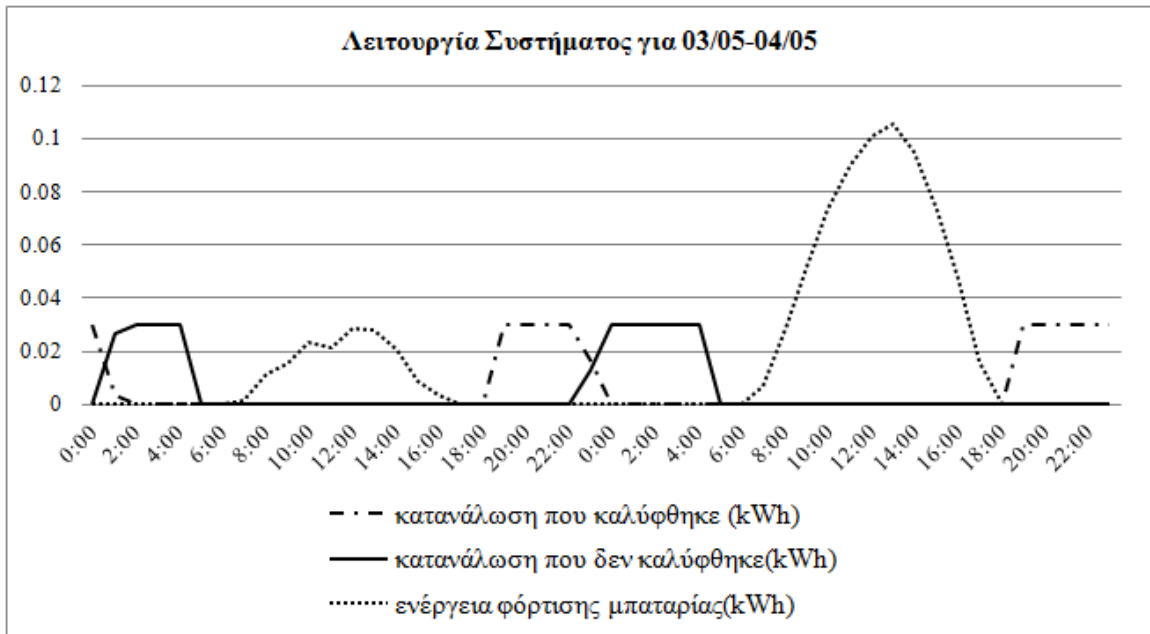
## Χαρακτηριστικές περιπτώσεις λειτουργίας συστήματος στη διάρκεια του έτους:



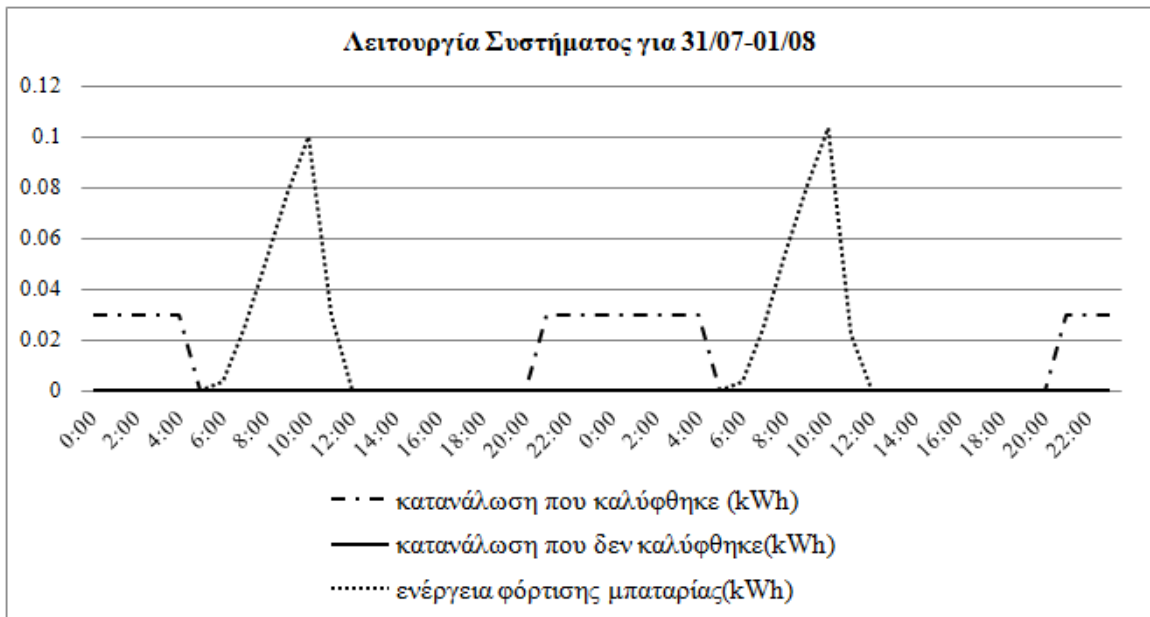
Εικόνα 5.24 Περίπτωση 1η : Απώλεια φορτίου σε ποσοστό 16,6% . Μη πλήρης φόρτιση του συσσωρευτή.



Εικόνα 5.25 Περίπτωση 2η : Πλήρης φόρτιση συσσωρευτή και απόδοση ενέργειας κατανάλωσης.



Εικόνα 5.26 Περίπτωση 3η : Απώλεια Φορτίου για 2 συνεχόμενες μέρες. Έλλειψη αυτονομίας συστήματος.



Εικόνα 5.27 Περίπτωση 4η : Πλήρης κάλυψη Φορτίου - Περίσσεια ενέργειας (αναξιοποίητη).

## 5.5 Απόδοση συστήματος:

Υπολογίζεται βάσει της συνολικής ενέργειας που καταναλώθηκε από τους λαμπτήρες και της συνολικής ενέργειας που παρέχεται στο σύστημα. Δηλαδή:

$$\text{συνολική απόδοση(\%)} = \frac{\text{ενέργεια αποδιδόμενη(kWh)}}{\text{ενέργεια παραγωγής(kWh)}} * 100 \quad (5.7)$$

Για την αποδιδόμενη μηνιαία ηλεκτρική ενέργεια:

Υπολογίζεται με βάση τον τύπο:

$$E_o = P_p \Sigma * n_s * n_\theta * E_a / P_{stc} \quad (5.8)$$

Όπου,  $P_p \Sigma$  : ισχύς αιχμής σε kWp

$n_\theta$ : συντελεστής διόρθωσης λόγω αύξησης της θερμοκρασίας

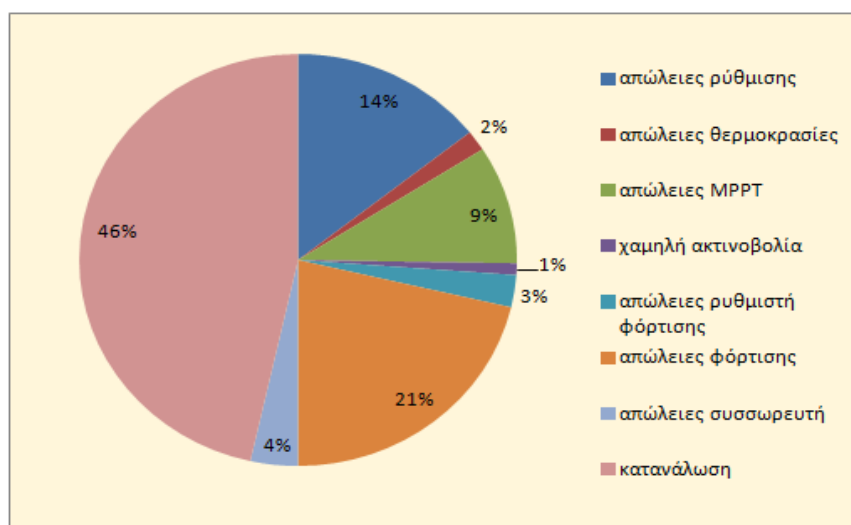
$E_a$ : μέση μηνιαία ενέργεια προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας (kWh/m<sup>2</sup> μήνα)

$P_{stc}$ : ισχύς προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας

$n_s$ : συντελεστής απόδοσης του Φ/Β συστήματος

Ο τελευταίος συντελεστής δίνεται ως:  $n_s = 1 - a_s$ , όπου  $a_s$  είναι οι απώλειες του Φ/Β συστήματος.

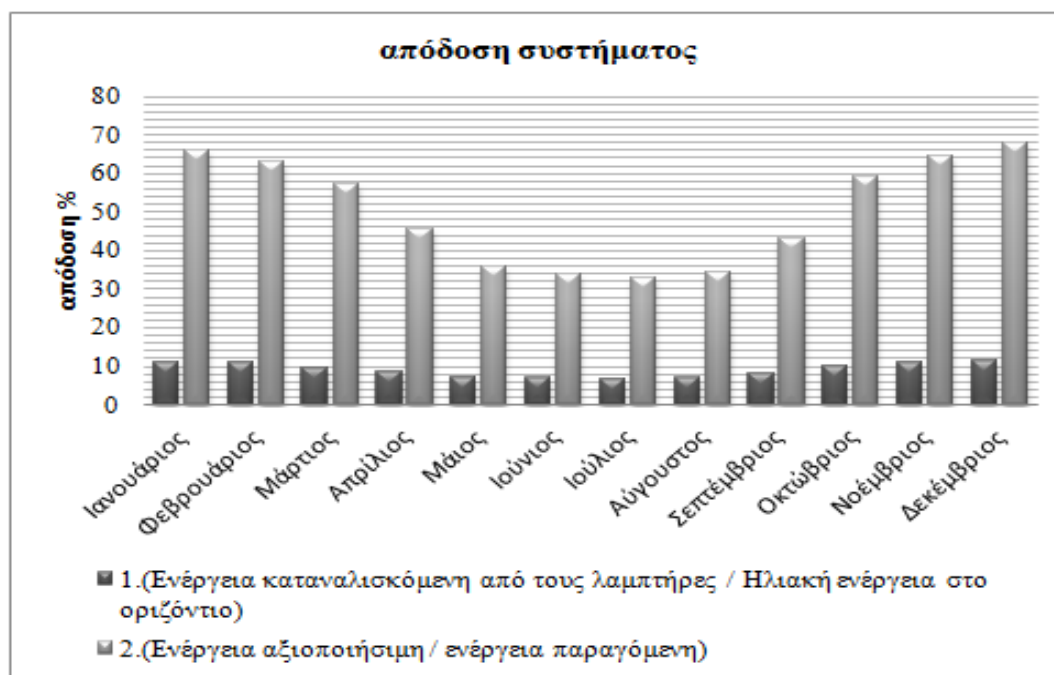
Ο συντελεστής αυτός περιλαμβάνει α) απώλειες λόγω γήρανσης του συστήματος ~ 0,8% / έτος, β)οπτικές απώλειες( ανομοιογένειες στα στοιχεία του κυκλώματος, ανακλαστικότητα φωτός πάνω στο φ/β κύτταρο λόγω ακαθαρσιών) ~ 4,2%, γ)απώλειες από τα ρεύματα που κινούνται μέσω των by-pass διόδων στα άκρα της φωτοβολταϊκής γεννήτριας ~ 1%, δ)απώλειες από τις καλωδιακές συνδέσεις ~ 2%, ε) απώλειες από τα επιμέρους ηλεκτρονικά κυκλώματα ( Φορτιστή, ballast κτλ) ~ 3%. [11] Οι συνολικές απώλειες του συστήματος φαίνονται στο παρακάτω σχήμα και αφορούν σε όλα τα στοιχεία:



Εικόνα 5.28 Απώλειες Συστήματος

Πίνακας 5.4 Απόδοση συστήματος

Ετήσια Απόδοση συστήματος[%]	1.(Ενέργεια καταναλισκόμενη από τους λαμπτήρες / Ηλιακή ενέργεια στο οριζόντιο)	2.(Ενέργεια αξιοποιήσιμη / ενέργεια παραγόμενη)
Ιανουάριος	10.97	65.98
Φεβρουάριος	10.85	62.97
Μάρτιος	9.53	57.41
Απρίλιος	8.36	45.64
Μάιος	7.15	35.96
Ιούνιος	6.87	33.85
Ιούλιος	6.76	32.81
Αύγουστος	6.91	34.17
Σεπτέμβριος	8.19	43.04
Οκτώβριος	9.91	58.91
Νοέμβριος	10.82	64.28
Δεκέμβριος	11.23	67.82



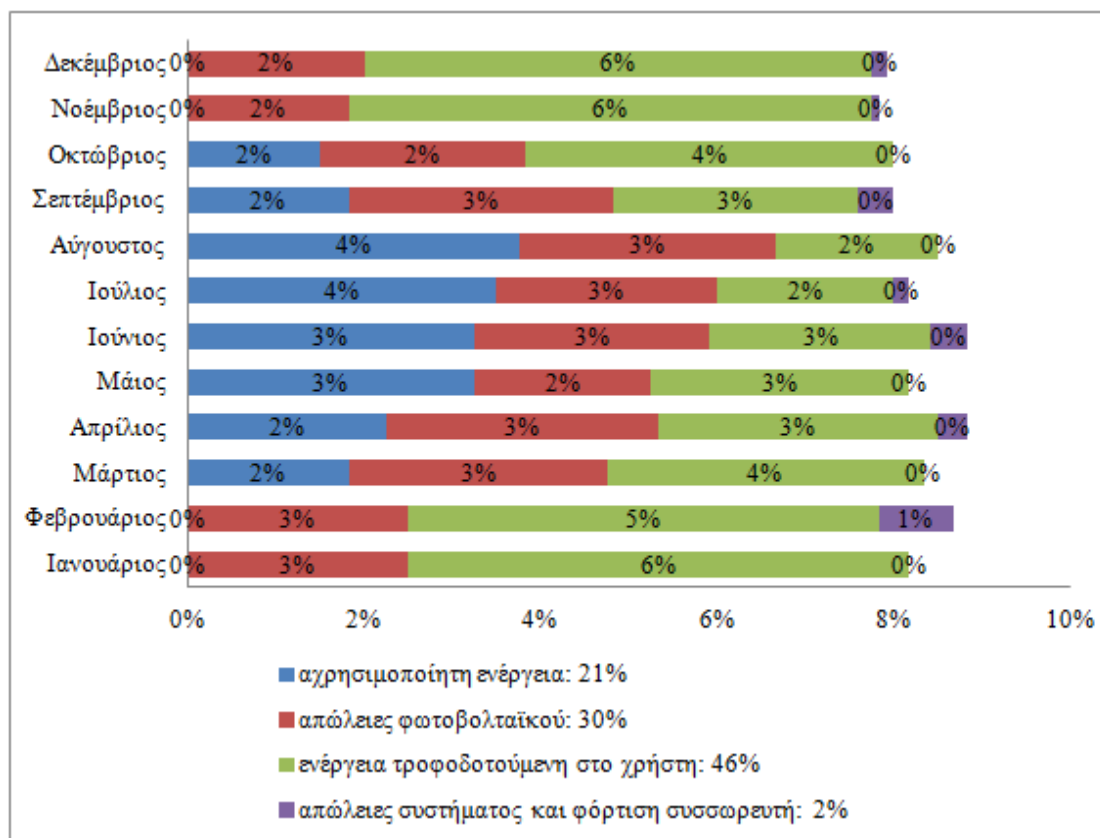
Εικόνα 5.29 Απόδοση Συστήματος

Όπως φαίνεται στο σχήμα, η απόδοση του συστήματος διαφέρει όταν υπολογίζεται μέσω της συνολικής εξερχόμενης (αξιοποιήσιμης) ενέργειας από τους λαμπτήρες ως προς την προσπίπτουσα ακτινοβολία -απόδοση 1. Αν λάβουμε όμως υπόψη την περίσσεια ενέργεια στο συσσωρευτή και τις απώλειες του συστήματος όπως αναφέρθηκαν παραπάνω η απόδοση αυξάνεται κατά 6 φορές. Αυτό συμβαίνει επειδή το φορτίο είναι σταθερής ισχύος και επομένως για την αξιολόγηση των επιμέρους στοιχείων που τοποθετήθηκαν στο αυτόνομο σύστημα πρέπει να συνυπολογίσουμε την αυτονομία που παρέχει ο συσσωρευτής και να συμπεριληφθεί η καθημερινή ενέργεια που αποθηκεύεται μετά την φωτοβολταϊκή μετατροπή. Έτσι, μας δίνεται μια πιο σαφής εικόνα της αποτελεσματικότητας των επιλεγθέντων στοιχείων του συστήματος –απόδοση 2.

Στον επόμενο πίνακα παρουσιάζονται συνοπτικά τα αποτελέσματα που υπολογίστηκαν μέσω της προσομοίωσης και της μεθοδολογίας που περιγράφηκε στα κεφάλαια 4 και 5:

Πίνακας 5.5 Σύνοψη αποτελεσμάτων προσομοίωσης

Φωτοβολταϊκό σύστημα		Συσσωρευτής	
Ενέργεια παραγόμενη από το Φ/Β σύστημα (kWh)	202,2	Ενέργεια αποφόρτισης συσσωρευτή(kWh)	103,4
Ετήσια απαίτηση φορτίου(kWh)	112,5	Ενέργεια φόρτισης συσσωρευτή (kWh)	124,1
Ενέργεια που δεν καλύφθηκε κατά τη διάρκεια του έτους(kWh)	9,1	Απώλειες συσσωρευτή (kWh)	20,7
Πλεόνασμα ενέργειας από τα Φ/Β(kWh)	78,1	Απόδοση συσσωρευτή	83,3%
Ποσοστό χρησιμοποίησης $f$ (%) των Φ/Β	92%	Κατάσταση φόρτισης στην αρχή της προσομοίωσης	50%
Ειδική ετήσια απόδοση	646,2 kWh/kWp	Κατάσταση φόρτισης στο τέλος της προσομοίωσης	35%
Απόδοση 1 συστήματος	10,7%	Μέση κατάσταση φόρτισης στη διάρκεια του έτους	74,7%
Απόδοση 2 συστήματος	50,2%	Μέση τιμή χρόνου φόρτισης σε ώρες	197,7
Πιθανότητα απώλειας φορτίου (LLP)	7,1%		



Εικόνα 5.30 Ποσοστά απωλειών συστήματος και αξιοποιήσιμη ενέργεια



## Κεφάλαιο 6<sup>ο</sup>

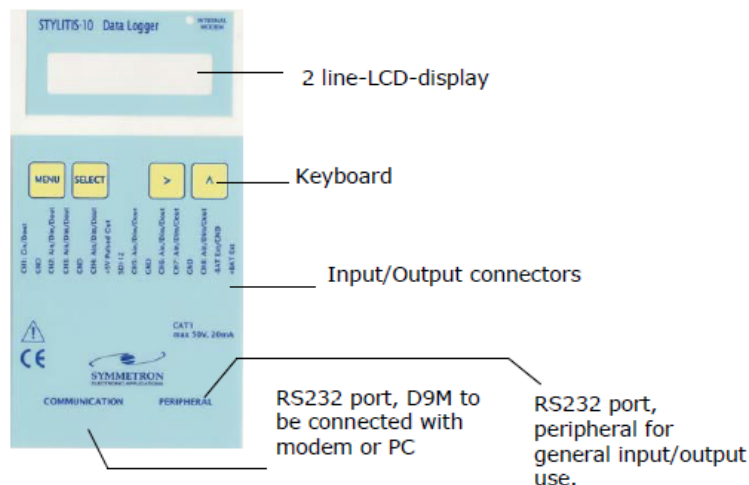
### Σχεδίαση μετρητικού συστήματος – Όργανα μέτρησης και λογισμικό λειτουργίας:

#### 6.1 Καταγραφέας δεδομένων Stylitis-10 (data logger):

Το μοντέλο Stylitis-10 data logger είναι μια ευπροσάρμοστη, χαμηλού κόστους και φιλική προς το χρήστη συσκευή για τεχνικές μετρήσεις, έλεγχο και αποθήκευση στοιχείων. Παρέχει:

- Μια τοπική φόρμα διεργασίας (Interface) για τον χρήστη με δύο τρόπους: παρουσίαση σε οθόνη LCD και πληκτρολόγιο με 4 - κουμπιά.
- Πρότυπη σύνδεση για τους περισσότερο ευρέως χρησιμοποιημένους μετατροπείς, όπως θερμόμετρα, ανεμόμετρα, έλικες κατεύθυνσης αέρα, πυρανόμετρα, διακόπτες, κ.τ.λ.
- Επιλέξιμο από το χρήστη χρονικό διάστημα για μέσους υπολογισμούς.
- Εσωτερική μνήμη 4 MByte για αποθήκευση των ψηφιακών αποτελεσμάτων.
- Ψηφιακές έξοδοι που μπορούν να προγραμματιστούν για να ανοιγοκλείνουν (ON/OFF) εξωτερικούς ηλεκτρονόμους, LEDs, κ.λπ. Οι έξοδοι μπορούν να προγραμματιστούν ώστε να αποκρίνονται σε συνδυασμούς των τιμών εισόδου.
- Προγραμματισμός, έλεγχος και μεταφόρτωση δεδομένων μέσω RS232, μόντεμ, GSM μόντεμ, καλώδιο Ethernet.

Η δειγματοληψία και η αποθήκευση συνεχίζουν ανεπηρέαστα να εκτελούνται κατά την διάρκεια επικοινωνίας της συσκευής με το χρήστη.



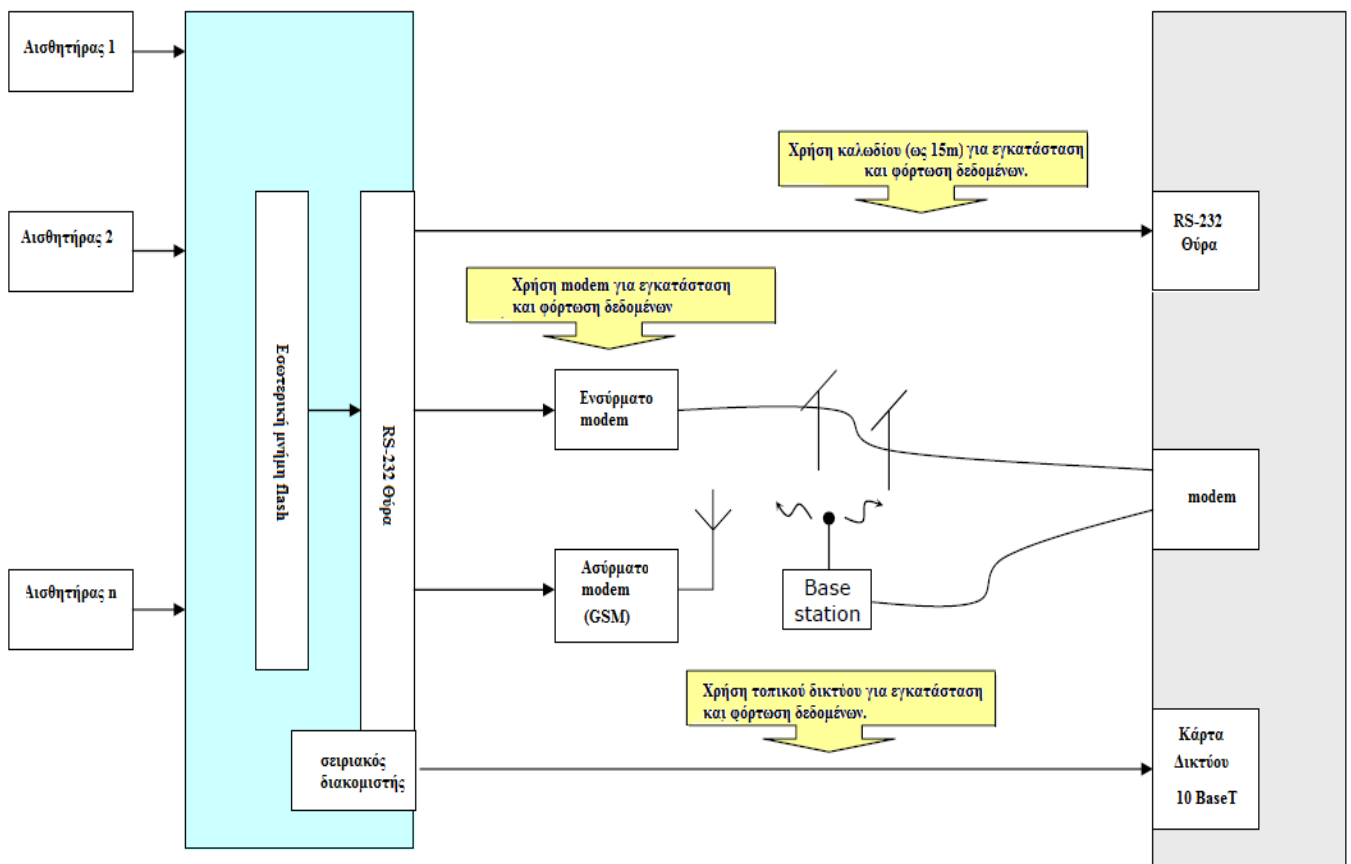
#### Back panel:

1 battery case PP3 (9V). Use of alkaline batteries is advised.

Εικόνα 6.1 Μπροστινή όψη καταγραφέα

Ο καταγραφέας δεδομένων Stylitis λειτουργεί με διαφορετικούς τρόπους αναλόγως της εφαρμογής και του συστήματος που χρησιμοποιείται:

1. **Ως αυτόνομη μονάδα με τη λήψη off-line δεδομένων.** Ο καταγραφέας δεδομένων δειγματοληπτεί τα σήματα εισόδου και κρατά τις μέσες τιμές στην εσωτερική μνήμη flash 2MB για κάθε διάστημα δειγματοληψίας. Τα αποθηκευμένα αρχεία είναι διαθέσιμα για μεταφόρτωση μέσω σειριακής θύρας. Η σύνδεση μεταξύ του καταγραφικού και του υπολογιστή μπορεί να είναι με απευθείας σύνδεση, μέσω ενός modem (PSTN ή GSM) ή μέσω του δικτύου Ethernet (LAN). Η μονάδα δέχεται ένα προαιρετικό εσωτερικό μόντεμ GSM ή Ethernet του διακομιστή (στην περίπτωση αυτή η «επικοινωνία» σειριακή θύρα είναι απενεργοποιημένη). Ο υπολογιστής πρέπει να είναι εξοπλισμένος με θύρα RS232 COM, ένα modem ή μια κάρτα δικτύου αντίστοιχα. Ο καταγραφέας δεδομένων συνοδεύεται από Set-10, το λογισμικό που απαιτείται για τον προγραμματισμό, την επιθεώρηση, τηλεφόρτωση δεδομένων, και αποσυμπίεσης. Τα αρχεία δεδομένων οργανώνονται σε ASCII αρχεία κειμένου.
2. **Για Real time μετρήσεις.** Σε απευθείας σύνδεση για ανάγνωση των δεδομένων με κατάλληλο λογισμικό του χρήστη, για την αποθήκευση και το χειρισμό σε έναν υπολογιστή. Η σύνδεση μεταξύ του καταγραφικού και του υπολογιστή είναι, όπως περιγράφηκε παραπάνω.



Εικόνα 6.2 Λειτουργία

**Interface:** Η οθόνη και το πληκτρολόγιο μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να ελέγχει ο χρήστης:

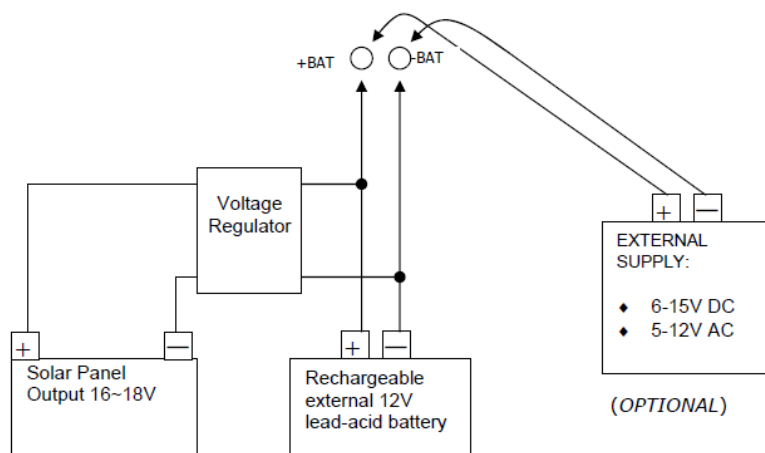
- την τρέχουσα κατάσταση και το χρόνο.
- το συσσωρευτή
- την ποσότητα ελεύθερης μνήμης.
- την τρέχουσα εισαγωγή δεδομένων αξιών.
- το σήμα του μόντεμ.
- τις ρυθμίσεις εισόδου.
- Για να ξεκινήσει ή να σταματήσει την αποθήκευση των δεδομένων (Απόκτηση OFF / ON).

**Μετρήσεις:** ο καταγραφέας μπορεί άμεσα να εκτελέσει τη μέτρηση τάσης, ρεύματος, συχνότητας, παλμών και την RTD (ανιχνευτής θερμοκρασίας αντίστασης) θερμοκρασίας.

Με τους κατάλληλους αισθητήρες μπορεί να μετρήσει:

- Ηλιακή ακτινοβολία, υγρασία, πίεση.
- Ταχύτητα ανέμου, διεύθυνση ανέμου. Συνδέεται με πολλούς τύπους ανεμόμετρα και vane αισθητήρες.
- Ύψος βροχής, ταχύτητα νερού, βάθος νερού, κλπ.

Οι αισθητήρες πρέπει να έχουν τάση εξόδου (από 0 ~ 125mV σε 0 ~ 2.5V σε πλήρη κλίμακα), ρεύμα εξόδου (από 0 ~ 5mA σε 0 ~ 50mA σε πλήρη κλίμακα), και σήμα συχνότητας (0 ~ 5 kHz).



Εικόνα 6.3 Παράδειγμα διασύνδεσης για αυτόνομο φωτοβολταϊκό σύστημα

## 6.2 Σύνδεση στοιχείων και οργάνων μέτρησης – Μέτρηση μεγεθών:

Για το σχεδιασμό του συστήματος παρακολούθησης το πρώτο βήμα είναι να προσδιοριστεί το τι παραμέτρους θα πρέπει να παρακολουθούνται. Στη παρούσα μελέτη είναι απαραίτητο να παρακολουθούμε την ροή της ενέργειας στο σύστημα. Γι' αυτό τον λόγο απαιτείται η μέτρηση των τάσεων και των ρευμάτων στην έξοδο τόσο της φωτοβολταϊκής γεννήτριας όσο και στην έξοδο του συσσωρευτή. Επιπλέον, για την μέτρηση των περιβαλλοντικών παραμέτρων είναι σημαντική η μέτρηση της ηλιακής ακτινοβολίας και της θερμοκρασίας. Τέλος, με φωτόμετρο γίνεται η μέτρηση των αποδιδόμενων lumens από τους λαμπτήρες και με αυτό θα έχουμε την πλήρη εποπτεία της ροής της ενέργειας στο σύστημα.

Στο εγκατεστημένο αυτόνομο φωτοβολταϊκό σύστημα θα πρέπει να τοποθετηθούν ορισμένα αναλογικά όργανα για την λήψη των πραγματικών μετρήσεων και την αξιολόγηση της λειτουργίας του:

### 1. Ένας αισθητήρας – Φωτόμετρο.



Εικόνα 6.4 Λουξόμετρο για μέτρηση φωτεινής έντασης.

### 2. Ένα θερμόμετρο.



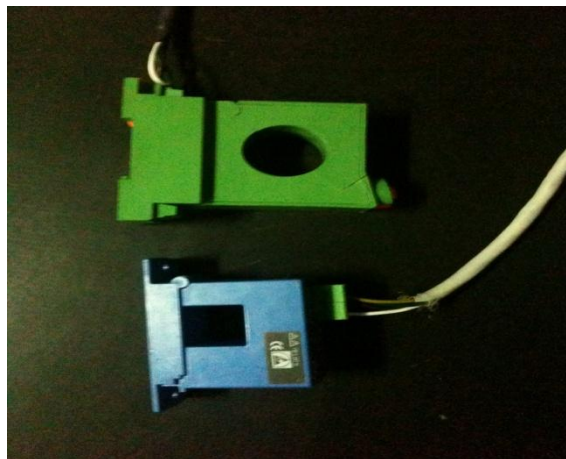
Εικόνα 6.5 Θερμόμετρο

**4. Ένα πυρανόμετρο.**



Εικόνα 6.6 Πυρανόμετρο για μέτρηση ακτινοβολίας

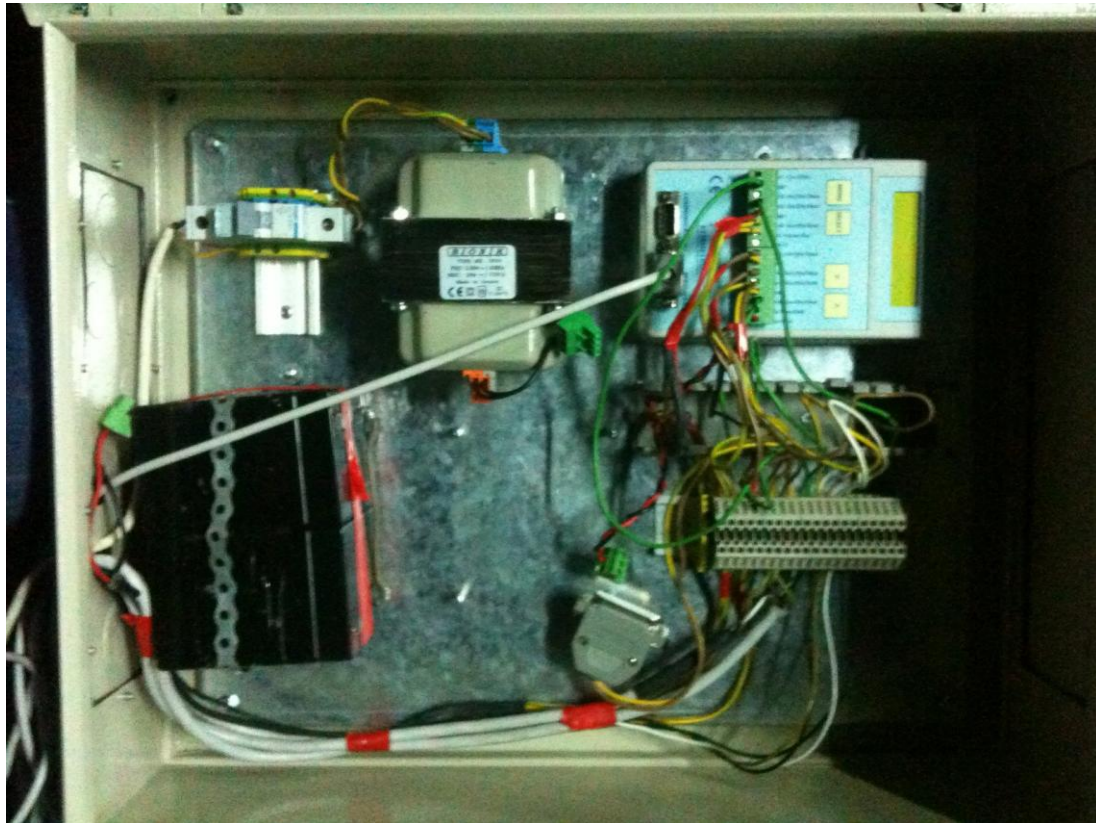
**5. Δύο αμπερόμετρα, ένα στην έξοδο του φωτοβολταϊκού πλαισίου και ένα στην έξοδο της του συσσωρευτή.**



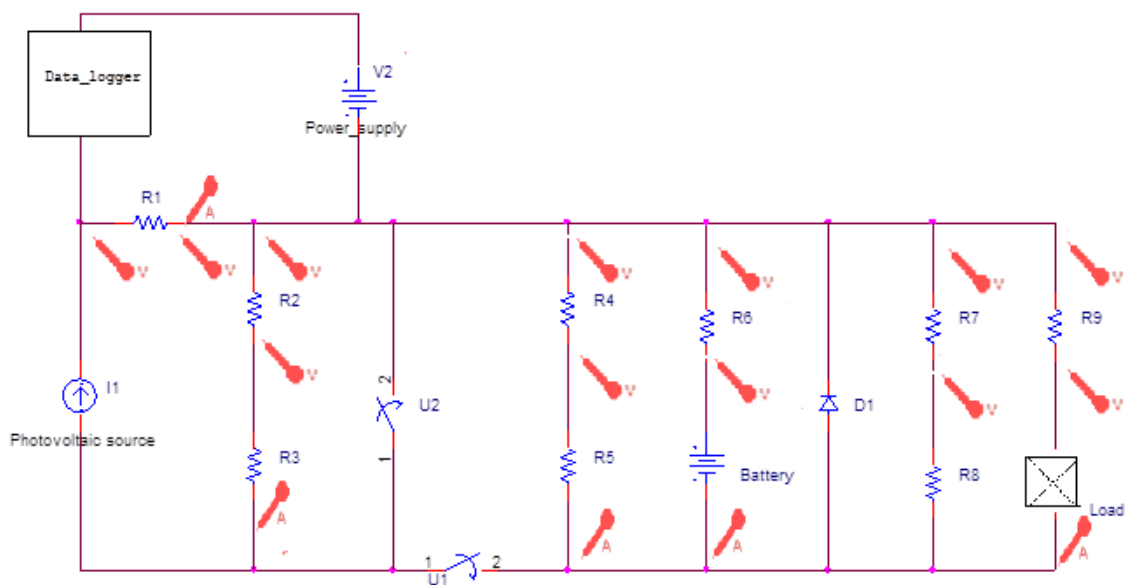
Εικόνα 6.7 Μετρητές ρεύματος

**6. Δύο βολτόμετρα, ένα στην έξοδο του φωτοβολταϊκού πλαισίου και ένα στην έξοδο της συσσωρευτή.**

Η πλακέτα με τα όργανα μέτρησης που θα πρέπει να συνδεθεί πάνω στο σύστημα και περιέχει και το καταγραφικό της εταιρείας Styliotis φαίνεται στην επόμενη εικόνα:



Στη συνέχεια σχεδιάστηκε το ηλεκτρικό κύκλωμα μέτρησης των μεγεθών του συστήματος:



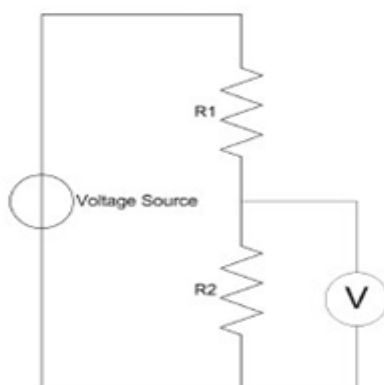
Εικόνα 6.8 Ηλεκτρικό διάγραμμα μεγεθών και μετρητικών οργάνων

**Αισθητήρες:** Για τάση τροφοδοσίας του αισθητήρα, μπορεί να χρησιμοποιηθεί η έξοδος + PULSED OUT. Θα μπορεί να παρέχει 2.5V έως 25mA, με ακρίβεια 0,2%. Για αισθητήρας ρεύματος, η έξοδος AUX + μπορεί να χρησιμοποιηθεί. Θα μπορεί να παρέχει 0.5mA, με ακρίβεια 0,3%.

Το στατιστικό διάστημα επιλέγεται από το χρήστη από 1 δευτερόλεπτο έως 60 λεπτά. Οι εισοδοί μετρούνται ανά δευτερόλεπτο και οι τιμές τους βρίσκονται σε προσωρινή εναπόθεση. Η Επεξεργασία Μαθηματικά είναι επιλέξιμες: Μέσες τιμές μόνο ή Μέση, ελάχιστες και μέγιστες τιμές. Στο τέλος του χρονικού διαστήματος, οι τιμές υπολογίζονται και αποθηκεύονται σε εσωτερική μνήμη flash, μαζί με ένα σήμα που αντιστοιχεί στο χρονικό διάστημα από το τέλος του στατιστικού διαστήματος του χρόνου. Τα αποθηκευμένα δεδομένα σε μνήμη flash είναι οργανωμένα σε αρχεία, τα οποία διατηρούνται ακόμη και χωρίς τροφοδοσία. Για μεγαλύτερη ασφάλεια των δεδομένων κάθε ρεκόρ σημειώνεται με τη δική της σφραγίδα του χρόνου.

**Μέτρηση τάσης:** Η μέτρηση της τάσης μαζί με τα ρεύματα, επιτρέπει τον υπολογισμό της ισχύος και επίσης παρέχει πληροφορίες σχετικά με την κατάσταση του συσσωρευτή και την τάση λειτουργίας της φωτοβολταϊκής μονάδας. Ελέγχοντας τις πτώσεις τάσης στο σύστημα υπολογίζουμε επίσης πηγές απωλειών ενέργειας. Η τάση μπορεί να μετρηθεί πιο άμεσα από το ρεύμα, επειδή τα περισσότερα όργανα μέτρησης έχουν σχεδιαστεί για μέτρηση τάσης. Επειδή τα περισσότερα συστήματα συλλογής δεδομένων, δεν δέχονται τάσεις τόσο υψηλές απαιτείται να μειωθεί η τάση σήματος για τη μέτρηση. Αυτό πιο απλά γίνεται με διαιρέτη τάσης:

$$V_{out} = V_{in} \frac{R_2}{R_1 + R_2} \quad (6.1)$$



Εικόνα 6.9 Διαιρέτης τάσης

Η μέγιστη τάση που θα πρέπει να περιμένουμε πάντα να μετρηθεί σε ένα τέτοιο σύστημα είναι η ανοικτού κυκλώματος της φωτοβολταϊκής μονάδας ( $V_{oc}$ ). Η τάση ανοικτού κυκλώματος των πανέλων Sharp NE series 80W είναι 21.6V και η μέγιστη τάση εισόδου του καταγραφέα δεδομένων είναι 5V. Άρα, η μέγιστη τιμή για το  $R_2 / (R_1 + R_2)$  θα πρέπει τότε να είναι  $5V / 21.6V = 0,23$ . Για να καταστεί δυνατή η ενδεχόμενη μεγαλύτερη τιμή του  $V_{oc}$  σε χαμηλότερες θερμοκρασίες ένας μικρότερος παράγοντας μείωσης πρέπει να επιλέγεται (αν και σε κανονικές συνθήκες με έναν ελεγκτή η μονάδα δεν πρέπει ποτέ να λειτουργεί σε  $V_{oc}$ ). Παράλληλα, για τη διατήρηση της ακρίβειας των μετρήσεων, ο συντελεστής μείωσης θα πρέπει να είναι πολύ μικρός, έτσι ώστε το

σήμα να συμπληρώνει το φάσμα της τάσης εισόδου. Για το εργαστήριο θα μπορούσαν να επιλεγούν διαιρέτες τάσης με  $R1 = 22.1k\Omega$  και  $R2 = 100k\Omega$  δίνοντας παράγοντα μείωσης στο 0,181.

**Μέτρηση ρεύματος:** γίνεται με μέτρηση της πτώσης τάσης σε μια αντίσταση shunt γνωστής τιμής. Με εφαρμογή του νόμου του Ohm:  $I = V \cdot R$ .

Δύο πράγματα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη κατά την επιλογή ενός παραλληλισμού αντιστάσεων στο μετρητικό σύστημα: μια διακλάδωση θα πρέπει να είναι όσο το δυνατόν μικρότερη για την ελαχιστοποίηση της πτώσης τάσης και της απώλειας ενέργειας που σχετίζεται με την αντοχή της και την ανάλυση των μετρήσεων της συσκευής μέτρησης. Η μέγιστη πτώση τάσης σε μια διακλάδωση θα έχει τιμή:

$$V_{\text{dropmax}} = I_{\text{max}} \cdot R_{\text{shunt}} \quad (6.2)$$

Μια αξιοσημείωτη εναλλακτική λύση για τον παραλληλισμό είναι μετατροπείς που δουλεύουν σύμφωνα με το φαινόμενο Hall. Το αισθητήριο Hall μετρά το ρεύμα που διέρχεται από ένα κλειστό κύκλωμα με μικρή επίδραση στο σύστημα που μετριέται. Ωστόσο, αυξάνει πολύ το κόστος του συστήματος και ειδικά στην περίπτωση των κινητών συστημάτων, απαιτεί μια εξωτερική πηγή ισχύος.

**Μέτρηση ενέργειας:** Η ισχύς δεν μετριέται απευθείας αλλά με τη λήψη του γινομένου από τις αντίστοιχες μετρήσεις της τάσης και του ρεύματος. Τα σφάλματα στη μετρούμενη ισχύ είναι κατά συνέπεια εξαρτημένα από την τρέχουσα τάση και σφάλματα μέτρησης για τη μέτρηση της φωτοβολταϊκής ενέργειας στο MPP σε συνθήκες STC από τον τύπο:

$$\partial P = V * \partial I + I * \partial V \quad (6.3)$$

Αυτό μεταφράζεται σε σχετικό σφάλμα της τάξης του 0,4%. Η ενέργεια υπολογίζεται ως το ολοκλήρωμα στο χρόνο του ρεύματος. Το σφάλμα της μέτρησης της ενέργειας θα είναι τότε το ολοκλήρωμα χρόνου του σφάλματος μέτρησης της κατανάλωσης. Τα σφάλματα που συζητήθηκαν εδώ είναι σφάλματα που απορρέουν από την περιορισμένη ακρίβεια των συσκευών μέτρησης.

**Μέτρηση κατάστασης φόρτισης συσσωρευτή:** για το μοντέλο τάσης/έντασης με χρήση μιας γραμμική συσχέτιση μεταξύ του βάθους εκφόρτισης του συσσωρευτή και της τάσης ανοιχτού κυκλώματος που γίνεται σε κύκλους. Δηλαδή, μετά από μια πλήρη φόρτιση και γνωρίζοντας το σημείο ισορροπίας του συσσωρευτή. Με βάση αυτό μπορεί να υπολογιστούν τα αμπερόρια για το πλήρες φορτίο αλλά και για την διάρκεια της νύχτας όπου μικρά ρεύματα εκφόρτισης περνούν από τους συσσωρευτές. Επομένως κρατώντας την τιμή της ελάχιστης τάσης ανοιχτοκύκλωσης μπορούμε να υπολογίσουμε την χωρητικότητα του συσσωρευτή χωρίς να τον καταπονήσουμε με τις δοκιμές που αναφέρθηκαν στο κεφάλαιο 3.



**Πυρανόμετρο:** Η επιλεγμένη μετεωρολογική υπηρεσία είναι μια ολοκληρωμένη υπηρεσία του Μετσόβιου Πολυτεχνείου που με κατάλληλους αισθητήρες καταγράφει όλα τα μετεωρολογικά δεδομένα όλο το 24ωρο για όλη την διάρκεια του έτους. Στον τομέα της ηλιακής ακτινοβολίας η υπηρεσία διαθέτει ένα πυρανόμετρο ακριβείας. Το όργανο αυτό είναι τοποθετημένο στην περιοχή της πολυτεχνειούπολης Ζωγράφου στην Αθήνα. Το EP08 Πυρανόμετρο έχει σχεδιαστεί ως ένα αξιόπιστο και εύχρηστο όργανο. Δίδει αξιόπιστες μετρήσεις της ακτινοβολίας του ήλιου και ικανοποιεί τις προδιαγραφές ενός ISO9060 A τάξης πυρανομέτρου. Επίσης ικανοποιεί τα κριτήρια του WMO A τάξης πυρανόμετρο. Το σώμα του EP08 είναι κατασκευασμένο από ειδικό βαθμονομημένο αλουμίνιο το οποίο έχει επιμελώς ανοδιοθεί με σκοπό την απόκτηση ενός ανθεκτικού στη διάβρωση υλικού. Το ομοιόμορφα καταναμημένο πλαστικό βάθρο του απομονώνει θερμικά τη μονάδα από τη βάση στήριξής της και είναι εύκολα προσβάσιμο για εύκολη οριζόντιωση.

**Μέτρηση θερμοκρασίας:** Για να κατανοήσουμε τη γενική περιβαλλοντική κατάσταση κατά τη διάρκεια της παρακολούθησης, η θερμοκρασία του περιβάλλοντος πρέπει να παρακολουθείται. Το θερμόμετρο του εργαστηριακού συστήματος πρέπει να βρίσκεται πίσω από το φωτοβολταϊκό για να το προστατεύει από τον άνεμο και την άμεση έκθεση στην ηλιακή ακτινοβολία.

Ο καταγραφέας που επιλέχθηκε για την λήψη των μετρήσεων Stylitis-10 έχει τις εξής εισόδους:

Πίνακας 6.1

Τύπος καναλιού	Κανάλι	Σήμα εισόδου	Λειτουργία
C	1	SIN	Μετρά τον αριθμό ημιτονοειδών περιόδων ανά δευτερόλεπτο και εφαρμόζει τον τύπο: $[Slope2 * x2 + Slope * x + Offset]$ . Αποθηκεύει το μέσο όρο για κάθε διάστημα.
C	1,8	TTL	Μετρά τον αριθμό των TTL παλμών ανά δευτερόλεπτο και εφαρμόζει τον τύπο: $[Slope2 * x2 + Slope * x + Offset]$ . Αποθηκεύει το μέσο όρο για κάθε διάστημα.
E	1	SIN	Μετρά και αποθηκεύει τον αριθμό των περιόδων εντός ημιτονοειδών διαστημάτων και εφαρμόζει τον τύπο: $[Slope2 * x2 + Slope * x + Offset]$
E	1,8	TTL	Μετρά τον αριθμό των TTL παλμών εντός των διαστημάτων και εφαρμόζει τον τύπο: $[Slope2 * x2 + Slope * x + Offset]$
A	2,3,4,5,6,7,8	VOLTAGE	Μετρά την αναλογική τάση ανά δευτερόλεπτο. Εφαρμόζει τον τύπο: $[Slope2 * x2 + Slope * x + Offset]$ . Αποθηκεύει το μέσο όρο για κάθε

			διάστημα.
A	2,3,4,5,6,7,8	CURRENT	Μετρά το αναλογικό ρεύματος ανά δευτερόλεπτο. Ισχύει ο τύπος: $[Slope2 * x^2 + Slope * x + Offset]$ .
V	5,6,7		Μετρά την κατεύθυνση του ανέμου (vane). Μετρά τη σχέση: (τάση εισόδου) / (Τάσης Παλμικά Out) ανά δευτερόλεπτο, προσθέτει offset και μετατρέπει σε μοίρες. Υπολογίζει και αποθηκεύει μέση κατεύθυνση φορέα για κάθε διάστημα.
T	2,3,4,5,6,7,8		Θερμοκρασία αισθητήρα PT100 και PT1000. Μετρά αναλογική τάση ανά δευτερόλεπτο και ισχύει για τη μετατροπή τύπου PT100 ή PT1000. Καταστήματα μέσω ορών για κάθε διάστημα.
I	2,3,4,5,6,7,8		Μετρά την ψηφιακή κατάσταση εισόδου (TTL 0/1) ανά δευτερόλεπτο. Αποθηκεύει το άθροισμα των καταστάσεων εισόδου για κάθε διάστημα.
O	1,2,3,4,5,6,7,8		Ψηφιακή έξοδος σύμφωνα με τους όρους που καθορίζει ο χρήστης

### 6.3 Λογισμικό Opton data logger operating software.

Το Opton είναι μια εφαρμογή των Windows που έχει σχεδιαστεί για χρήση με τα καταγραφικά Στυλίτης (Σύμμετρον). Το Opton περιλαμβάνει χαρακτηριστικά όπως η διαχείριση των δεδομένων τύπων logger και εύκολο υπολογισμό των δεδομένων. Επιτρέπει στους χρήστες να εργάζονται με καταγραφείς δεδομένων, όσο το δυνατόν ευκολότερα.

Το λογισμικό Opton χρησιμοποιείται για την επικοινωνία με τον κεντρικό υπολογιστή. Στυλίτης-10 και έρχεται με 2 θύρες RS232. Και οι δύο μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την επικοινωνία.

Η θύρα «COMMUNICATION» είναι μια DTE τύπου θύρα, δηλαδή ο Στυλίτης-10 εμφανίζεται ως ένα PC. Ένα απευθείας καλώδιο (DB9M αρσενικό σε θηλυκό DB9F) απαιτείται για τη σύνδεση με ένα εξωτερικό modem. Απαιτείται επίσης ένα null modem για την σύνδεση με έναν υπολογιστή (Null modem είναι μια μέθοδος επικοινωνίας για να συνδέονται δύο DTEs (ηλεκτρονικών υπολογιστών, τερματικών, εκτυπωτών κ.λπ.) χρησιμοποιώντας ένα RS-232 σειριακό καλώδιο.). Η θύρα «COMMUNICATION» είναι ενεργοποιημένη μόνο όταν ένα εσωτερικό μόντεμ ή Ethernet του διακομιστή δεν χρησιμοποιούνται.

Η θύρα «PERIPHERAL» είναι μια θύρα DCE τύπου, δηλαδή ο Στυλίτης-10 εμφανίζεται ως modem. Απαιτείται επίσης ένα null modem για την σύνδεση με ένα εξωτερικό modem (DB9M αρσενικό σε αρσενικό DB9M). Τέλος, ένα απευθείας καλώδιο (DB9M αρσενικό σε θηλυκό DB9F) απαιτείται για σύνδεση με έναν υπολογιστή.

**Επεξεργασία και αποθήκευση δεδομένων.** : Εγκατάσταση Set-10 από το συνοδευτικό CD ή από την ιστοσελίδα Symmetron. Μετά την πρώτη εγκατάσταση επιλέγουμε Φάκελοι site | Νέα ιστοσελίδα και σε ένα φάκελο των Windows για χρήση ως συσκευής αποθήκευσης δεδομένων για το συγκεκριμένο καταγραφέα δεδομένων.

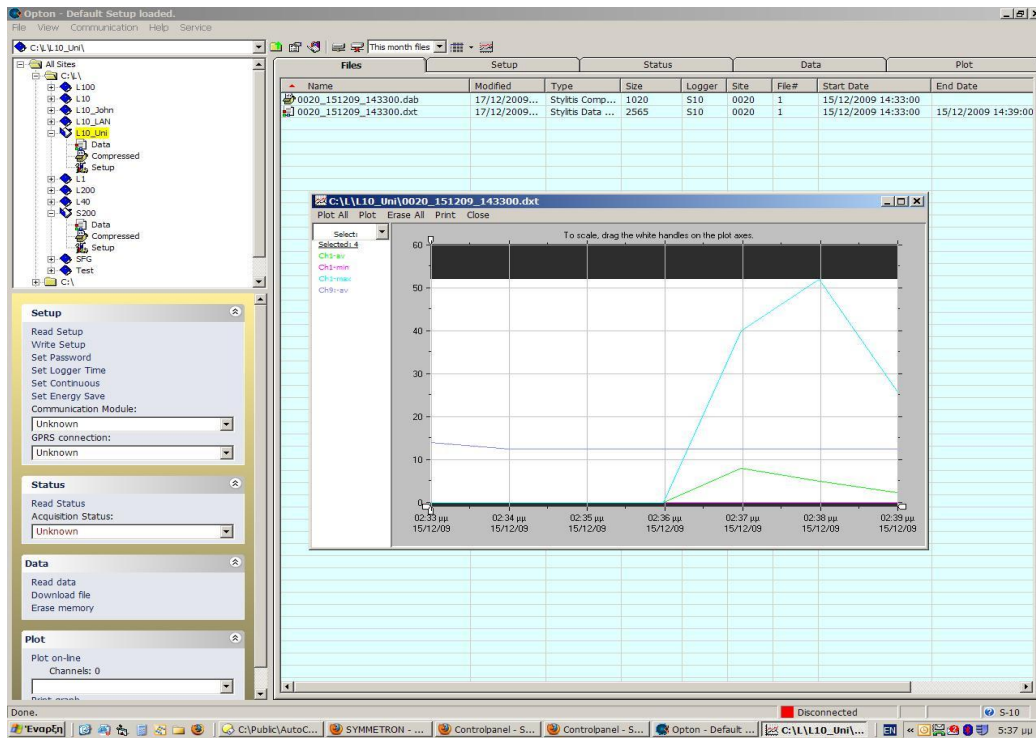
Το στατιστικό διάστημα το επιλέγει ο χρήστης από 1 δευτερόλεπτο έως 60 λεπτά. Οι είσοδοι μετρούνται ανά δευτερόλεπτο και οι τιμές τους βρίσκονται σε προσωρινή εναπόθεση.

Η επεξεργασία Math είναι επιλέξιμη: Υπολογίζει μέσες τιμές μόνο ή μέσο όρο, ελάχιστες και μέγιστες τιμές.

Στο τέλος του χρονικού διαστήματος, οι τιμές υπολογίζονται και αποθηκεύονται στην εσωτερική μνήμη flash, μαζί με μια κλίμακα του χρόνου που αντιστοιχεί στο τέλος του στατιστικού διαστήματος. Τα αποθηκευμένα δεδομένα στη μνήμη flash είναι οργανωμένα σε αρχεία, τα οποία διατηρούνται ακόμη και χωρίς τροφοδοσία. Για την αύξηση της ασφάλειας των δεδομένων σε κάθε μεμονωμένη εγγραφή μετρήσεων επισημαίνεται η δική της κλίμακα του χρόνου απόκτησης.

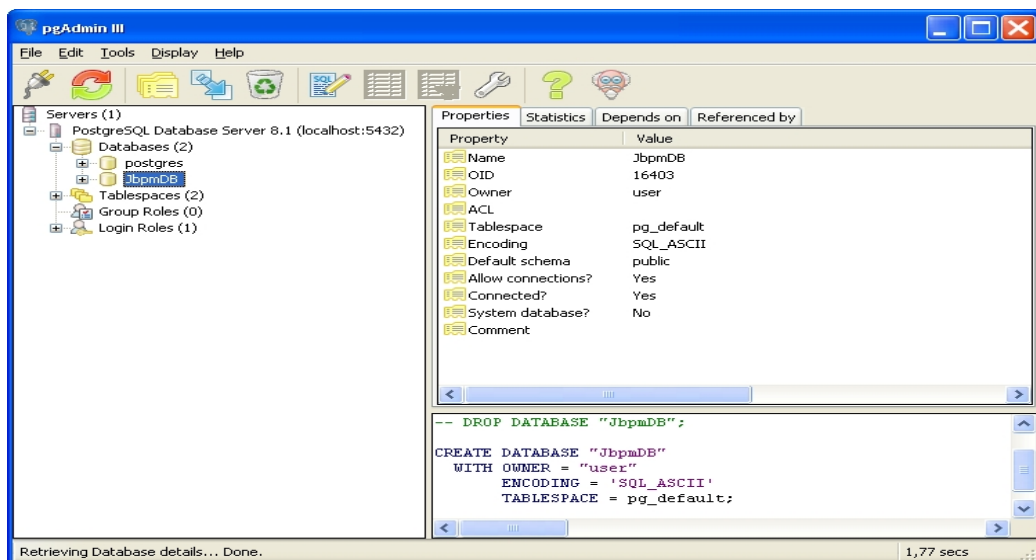
#### Χαρακτηριστικά:

- Single-κλικ επιλογή των περισσότερων εφαρμογών.
- Γραφική εγκατάσταση του καταγραφέα δεδομένων.
- Αυτόματος υπολογισμός της κλίσης και αντιστάθμισης των παραγόντων όπως δίνονται από τις πληροφορίες των φύλλων του κατασκευαστή.
- Επιλογή του αισθητήρα από το ποντίκι όπως έχει ορίσει ο χρήστης στις βιβλιοθήκες αισθητήρα.
- Αποθήκευση των διαμορφώσεων στους αισθητήρα όπως έχουν καθοριστεί από το χρήστη.
- Τα δεδομένα οργανώνονται σε φακέλους των Windows με κάθε φάκελο να εκπροσωπεί μια περιοχή μέτρησης.
- Ενσωματωμένη προβολή αρχείων δεδομένων, γραφικές παραστάσεις και στατιστικά στοιχεία.
- On-line γραφικές παραστάσεις δεδομένων.
- Ανάκτηση των δεδομένων και αποσυμπίεση μέσω RS232/Ethernet σύνδεσης και GSM / GPRS μόντεμ.
- Στατιστικά στοιχεία σύνδεσης.
- Ενσωματωμένος web server που επιτρέπει την πρόσβαση στους υπολογιστές του δικτύου για ανάκτηση on-line δεδομένων από τον Orpton.
- Συμβατό με Windows 2000 / XP / 2003 / Vista / 2008.
- Τα δεδομένα μπορούν να εξαχθούν ως αρχεία ASCII οργανωμένα σε στήλες, αρχεία Excell ή διαγράμματα,



Εικόνα 6.10 Περιβάλλον λογισμικού Opton

Προκειμένου να αποθηκεύονται οι μετρήσεις που λαμβάνουμε από το καταγραφικό και εφόσον η flash μνήμη του είναι πολύ μικρή ( 2MB ) θα πρέπει να δημιουργήσουμε μια βάση δεδομένων. Για παράδειγμα η Access της Microsoft office online προσφέρει αυτή την δυνατότητα.



Εικόνα 6.11 Περιβάλλον Access για δημιουργία βάσης δεδομένων

Κάθε φύλλο εργασίας θα περιέχει ενσωματωμένα γραφήματα που θα γεμίζουν από αντίστοιχες στήλες. Τα γραφήματα που θα παράγονται θα μπορούσαν να είναι τα εξής:

A) Ημερήσια:

- ο Ημερήσια Μεταβολή Θερμοκρασίας Υγρασίας
- ο Ημερήσια Μεταβολή Θερμοκρασίας Φωτοβολταϊκού πλαισίου
- ο Ημερήσια Μεταβολή Έντασης Ηλιακής Ακτινοβολίας
- ο Ημερήσια Μεταβολή Τάσης Εξόδου Φ/Β Πάνελ
- ο Ημερήσια Μεταβολή Έντασης Ηλεκτρικού Ρεύματος Φ/Β Πάνελ
- ο Ημερήσια Μεταβολή Έντασης Εναλλασσόμενου Ρεύματος
- ο Ημερήσια Μεταβολή Χρόνου Συνεχόμενης Ενέργειας από Φ/Β

B) Μηνιαία:

- ο Μηνιαία Μεταβολή Θερμοκρασίας Υγρασίας
- ο Μηνιαία Μεταβολή Θερμοκρασίας Φωτοβολταϊκού πλαισίου
- ο Μηνιαία Μεταβολή Έντασης Ηλιακής Ακτινοβολίας
- ο Μηνιαία Μεταβολή Παραγόμενης και Δαπανώμενης Ενέργειας



## Συμπεράσματα

Η μελέτη και ο σχεδιασμός ενός αυτόνομου συστήματος στοχεύει στο βέλτιστο συσχετισμό των προβλέψεων για τα μεγέθη της ηλεκτρικής ζήτησης από το σύστημα και της ηλιακής ακτινοβολίας που θα δέχονται οι συλλέκτες του. Επιδιώκεται έτσι η αποφυγή των υπερβολικών δαπανών που θα συνεπάγονταν ο υπερσχεδιασμός του συστήματος.

Τα αποτελέσματα αυτής της μελέτης δείχνουν τη σημασία του ορθού σχεδιασμού και της επιλογής των επιμέρους στοιχείων όταν πρόκειται να τοποθετηθεί ένα φωτοβολταϊκό σύστημα. Αν και μερικές φορές είναι δύσκολο να αποκτηθούν, η ακριβής γνώση των φορτίων του συστήματος είναι υψίστης σημασίας κατά τον σχεδιασμό ενός αυτόνομου φωτοβολταϊκού συστήματος. Μια λεπτή ισορροπία πρέπει να κρατηθεί μεταξύ της ελαχιστοποίησης του μεγέθους της φωτοβολταϊκής γεννήτριας και του συσσωρευτή λαμβάνοντας πάντα υπόψη την μέγιστη απόδοση τους και τη διασφάλιση της επαρκούς παραγωγής ενέργειας για να καλύψουν τη ζήτηση ενέργειας όλο το χρόνο. Εάν είναι δυνατόν, η πραγματική ισχύς του σημείου μέγιστης ισχύος φωτοβολταϊκών μονάδων θα πρέπει να ελεγχθεί πριν από την εγκατάσταση για να διασφαλιστεί η σωστή λειτουργία. Τα φυσικά ελαττώματα των φωτοβολταϊκών και των επιμέρους ηλεκτρολογικών στοιχείων μπορεί να μειώσουν σημαντικά την απόδοση του συστήματος.

Τέλος, έχει διαπιστωθεί ότι η χρήση ενός ελεγκτή φόρτισης MPPT θα μπορούσε σημαντικά να ενισχύσει τη φωτοβολταϊκή ισχύ και να μειώσει το απαιτούμενο μέγεθος της γεννήτριας. Σε μεγαλύτερα συστήματα, ιδίως μπορούμε να λάβουμε μεγάλη μείωση στο κόστος με τη χρήση του MPPT ελεγκτή. Οι απώλειες του συσσωρευτή ήταν επίσης σημαντική ένδειξη για την επιλογή του μοντέλου καθώς ήταν ιδιαίτερα μικρές. Οι DC απώλειες του συστήματος, συμπεριλαμβανομένων των απωλειών του ρυθμιστή φόρτισης, είναι μικρές σε σύγκριση με τη φωτοβολταϊκή συστοιχία. Άλλες απώλειες, όπως η θερμοκρασία και η χαμηλή ακτινοβολία κυρίως τους χειμερινούς μήνες βρέθηκαν επίσης να είναι σχετικά μικρές.

Συνολικά αυτή η μελέτη διαπίστωσε ότι οι πιο σημαντικές βελτιώσεις σε ένα τέτοιο σύστημα παρακολούθησης μπορούν να προέλθουν από τη βελτιστοποίηση των φωτοβολταϊκών αν ξαναμελετηθεί το μέγεθος της φωτοβολταϊκής απόδοσης της συστοιχίας. Αυτό απαιτεί ακριβή γνώση του φορτίου του συστήματος, τη σωστή εξισορρόπηση στο μέγεθος της συστοιχίας και του συσσωρευτή, τη μελέτη των τεχνικών MPPT και την επαλήθευση της απόδοσης του συστήματος σε σχέση με τις προδιαγραφές του κατασκευαστή πριν από την εγκατάσταση με κάποια προσομοίωση. Επιπλέον, θα μπορούσε να μελετηθεί κάποια αλλαγή στη πηγή φωτισμού και των απαραίτητων ηλεκτρονικών κυκλωμάτων που την συνοδεύουν προκειμένου να υπάρχει δυνατότητα επέκτασης του φωτισμού του δρόμου με ακόμα μικρότερο κόστος και λιγότερες απώλειες συνολικά στο σύστημα. Τέλος, δεδομένης της αυξημένης περίσσειας ενέργειας κατά τους θερινούς μήνες θα μπορούσε να σχεδιαστεί μια ενδεχόμενη σύνδεση με το δίκτυο της Δ.Ε.Η.

Μετά την διεξαγωγή της λεπτομερούς ανάλυσης των αποτελεσμάτων που λάβαμε από την προσομοίωση στη περίπτωση του συστήματος που μελετήθηκε διαπιστώθηκε ότι έχουμε πολύ καλές αποδόσεις θεωρητικά και για τους περισσότερους μήνες του έτους. Μελλοντικά, με την τοποθέτηση του μετρητικού συστήματος θα γίνει η ακριβής επαλήθευση αυτής της διαπίστωσης σε βάθος χρόνου.





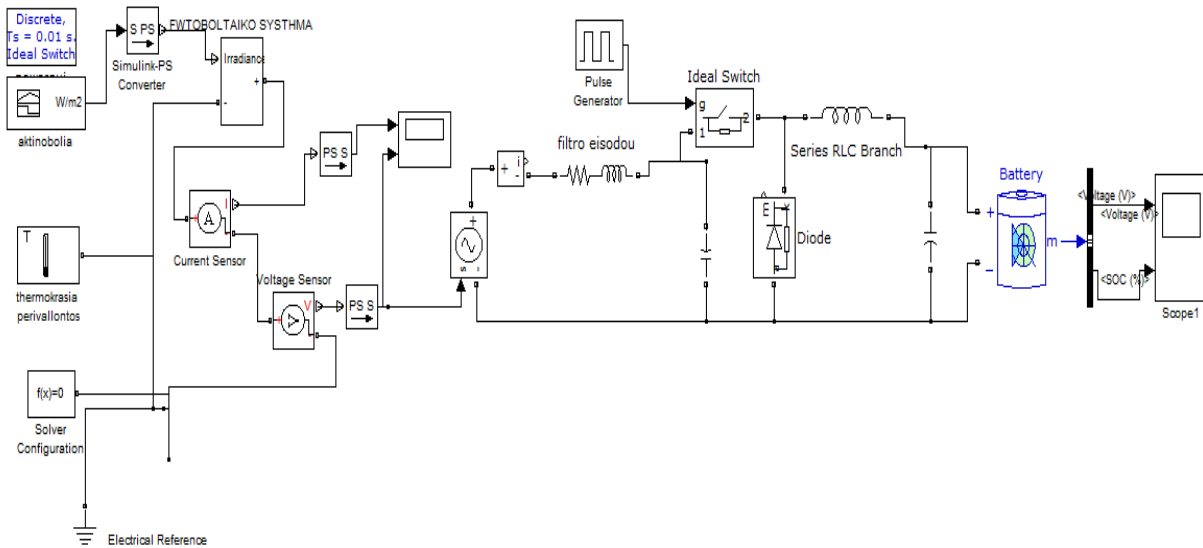
## Βιβλιογραφία

- [1] Ηλιακή Ενέργεια –Φωτοβολταϊκά συστήματα, Μ.Π. Παπαδόπουλος, Ομότ. Καθ. ΕΜΠ
- [2] Λάλας Δ. Π., Πισιμάνης Δ.Κ., Νοταρίδου Β. Α., Μέθοδοι υπολογισμού εντάσεως ηλιακής ακτινοβολίας σε αυθαίρετης κλίσεως επίπεδο και Πίνακες στον ελληνικό χώρο, Τεχνικά Χρονικά-Β Τομ.2, Τευχ. 3-4, 1982 - <http://eml.ece.ntua.gr/>
- [3] Εισαγωγή στα ημιαγώγιμα υλικά και φωτοβολταϊκές διατάξεις, Κ.Θ.Δέρβος, Αθήνα 2009
- [4] Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές, Μιχ. Π. Παπαδόπουλος, Αθήνα 1997
- [5] Φωτοτεχνία, Φ. Β. Τοπαλής, Εκδόσεις ΕΜΠ, Αθήνα 1994
- [6] MATHEMATICAL MODELS OF DC-DC CONVERTERS -YI CAO
- [7] Models for stand alone PV system – Anca D.Hansen, Poul Sorensen, Riso National Laboratory, Roskilde December 2000.
- [8] Modeling and Simulation of lead acid batteries for photovoltaic systems. In proceedings of the 18<sup>th</sup> IECEC Facinelli, W.A. (1983).
- [9] Optimized Photovoltaic Solar Charger With Voltage Maximum Power Point Tracking – Carlos Manuel Ferreira Santos (IST , 5-2122) – September 2008.
- [10] Theoretical assessment of the maximum power point tracking efficiency of photovoltaic facilities with different converter topologies- J.M. Enrique, E. Duran, M.Sidrach-de-Cardona, J.M Andujar Science Direct, University of Malaga, Spain.
- [11] <http://www.lrc.rpi.edu/programs/NLPIP/index.asp> (Lighting research center).
- [12] <http://www.solardirect.com/pv/batteries/batteries.htm>
- [13] Dunlop, James, Stand-Alone Photovoltaic Lighting Systems. A decision-Maker’s Guide, Volume 1: Photovoltaic Lighting applications.2008.
- [14] [http://www.windsun.com/Batteries/Battery\\_FAQ.htm](http://www.windsun.com/Batteries/Battery_FAQ.htm)
- [15] <http://www.renewableenergyworld.com/rea/partner/valentin-software/news/article/2010/06/pvsol-4-0-press-release>
- [16] [http://en.wikipedia.org/wiki/File:LED\\_bulbs.jpg](http://en.wikipedia.org/wiki/File:LED_bulbs.jpg)
- [17] <http://www.mpoweruk.com/soc.htm>
- [18] [http://en.wikipedia.org/wiki/Electrical\\_ballast](http://en.wikipedia.org/wiki/Electrical_ballast)
- [19] <http://www.sunairpower.gr>
- [20] [http://www.selasenergy.gr/odigos\\_mikron\\_sustimaton.php#bookmark4](http://www.selasenergy.gr/odigos_mikron_sustimaton.php#bookmark4)
- [21] T.R. Crompton, Battery Reference Book, Oxford: Newnes., 3rd ed., 2000
- [22] <http://talkingelectronics.com/projects/BatteryCharger-12vSLA/BatteryCharger-12vSLA.html>
- [23] ELECTRONIC CONTROL CIRCUIT FOR SOLAR BATTERY CHARGING A.A. AZOOZ, J.M. SULAYMAN - *Department of Physics, College of Science, Mosul University, Mosul – Iraq* (Received March 4, 2005)
- [24] On the design and monitoring of photovoltaic systems for rural homes- MSc Nathaniel John Williams. Nelson Mandela Metropolitan University.

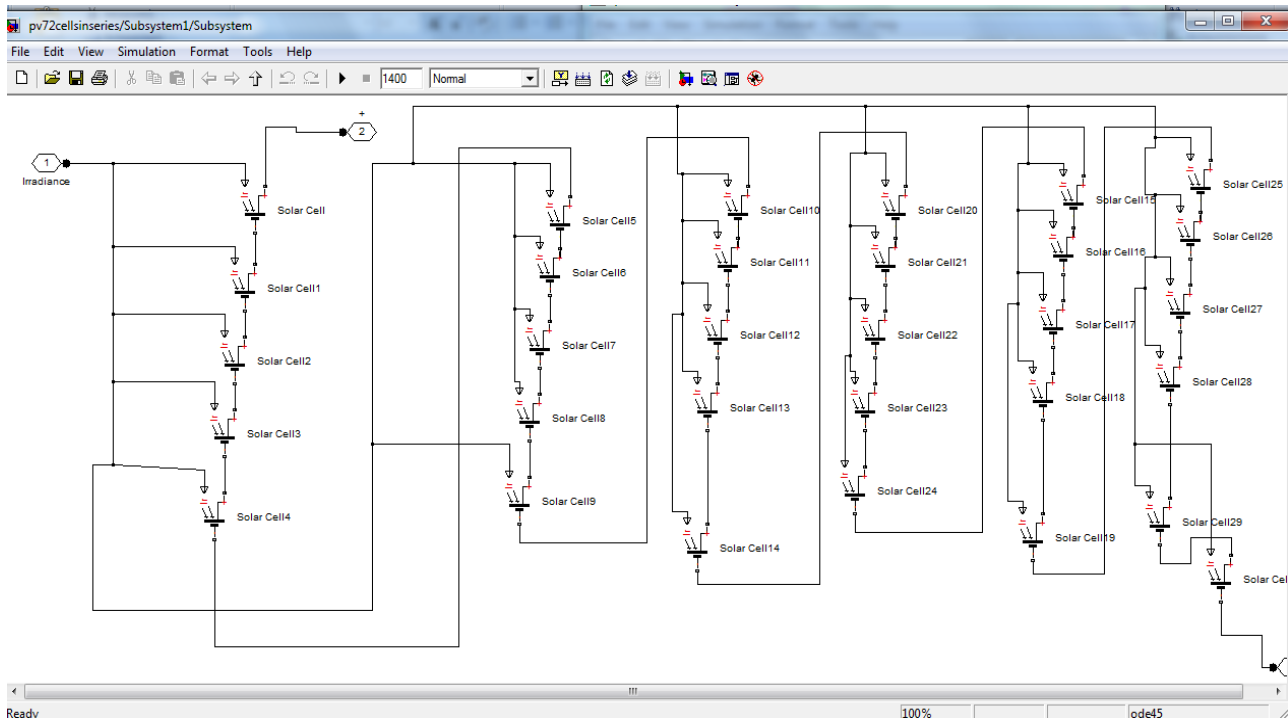


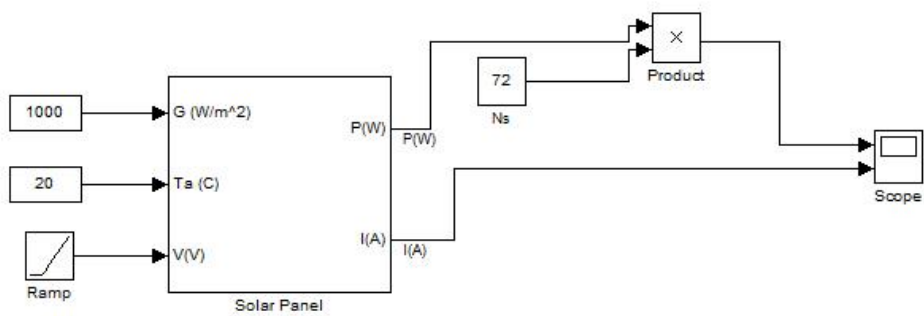
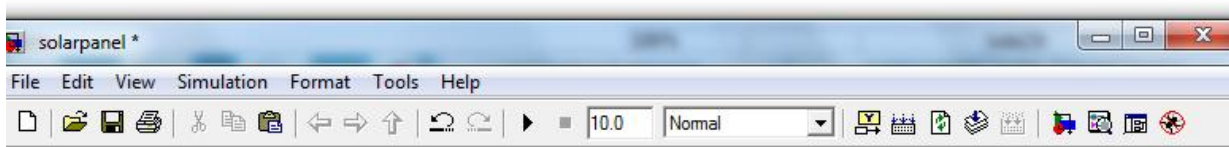
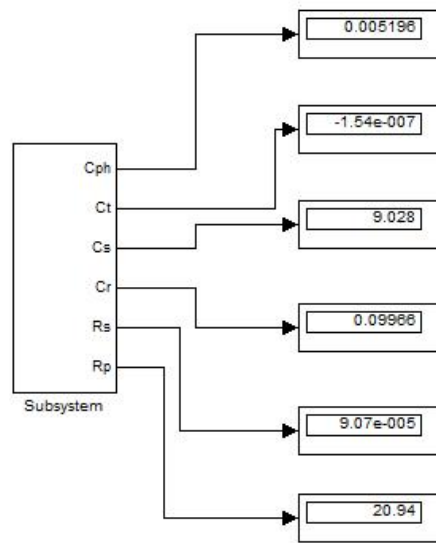
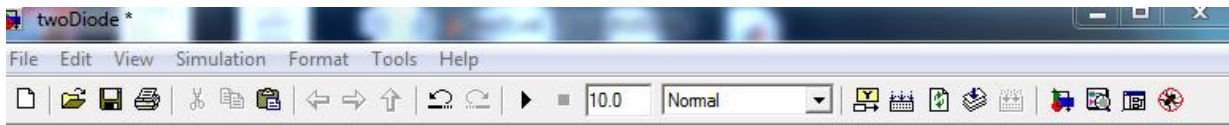
# ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α

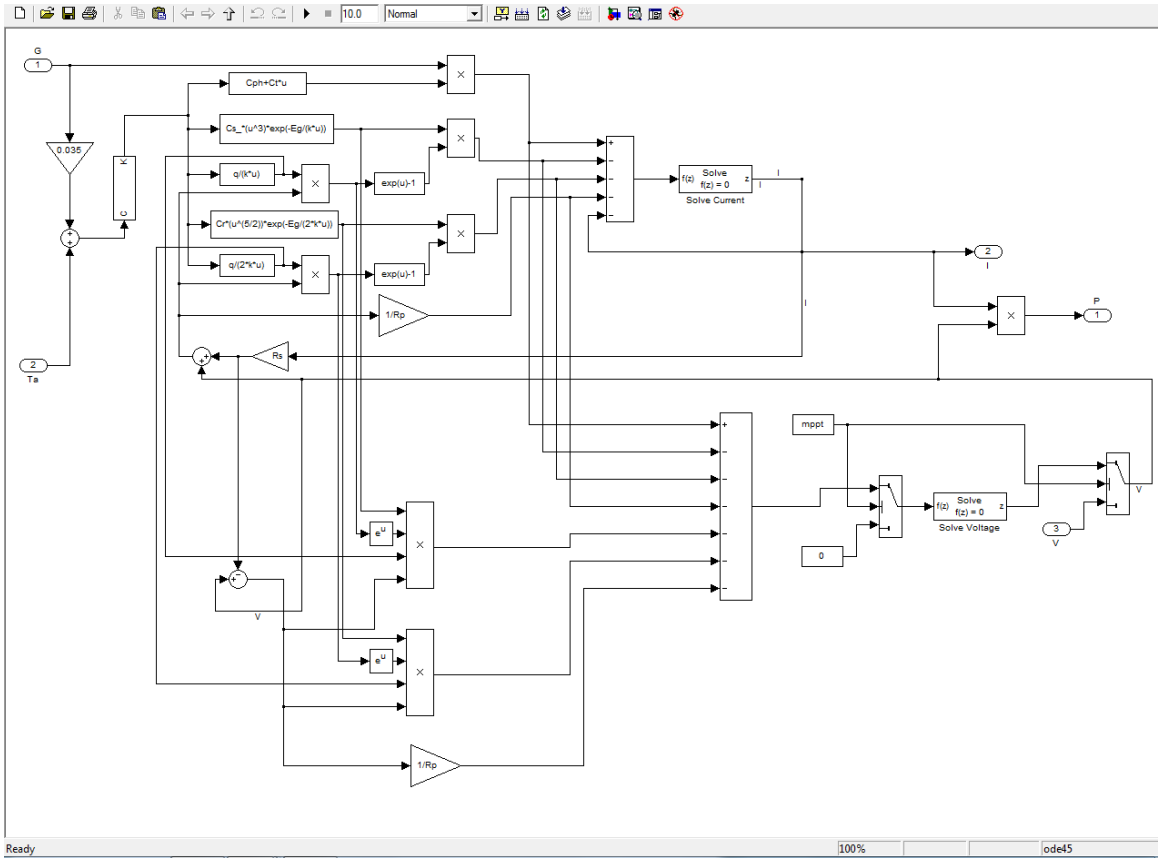
Προσομοίωση σε simulink:



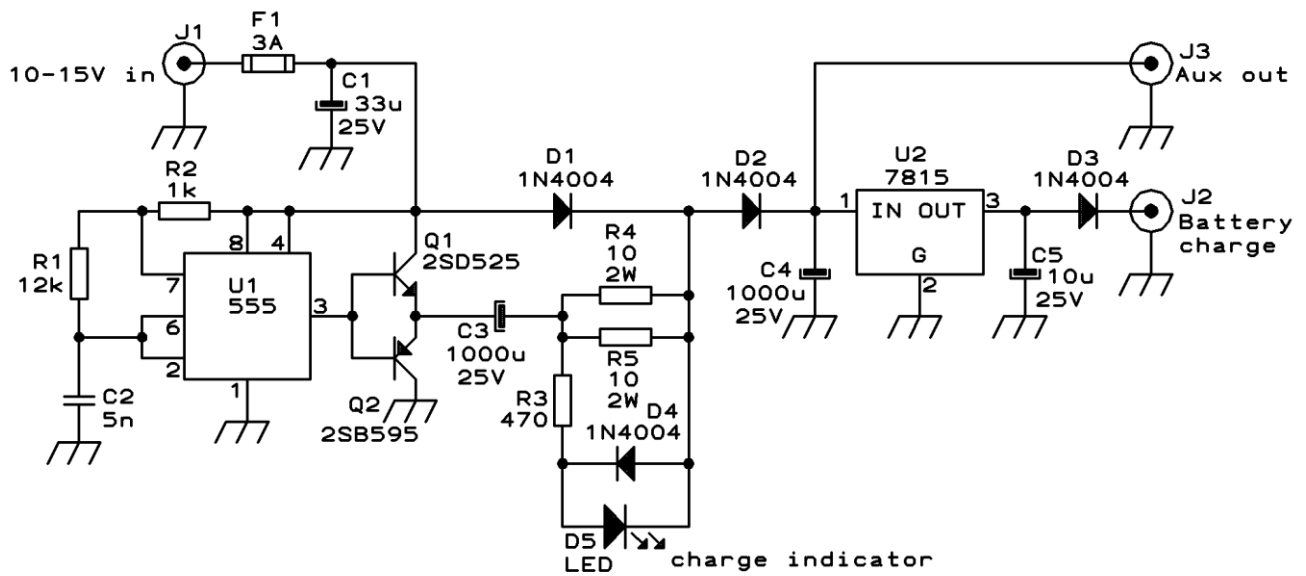
## 1. Προσομοίωση Φ/Β:

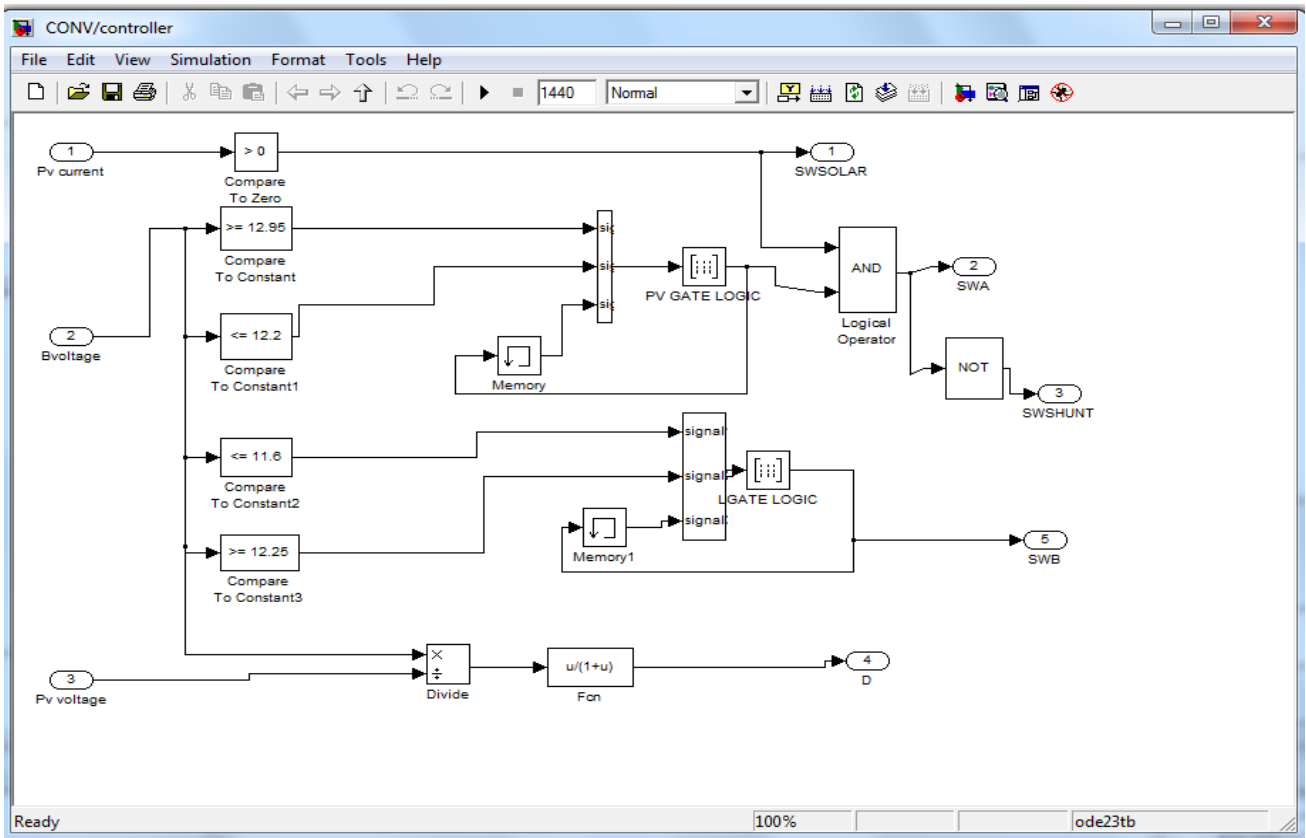




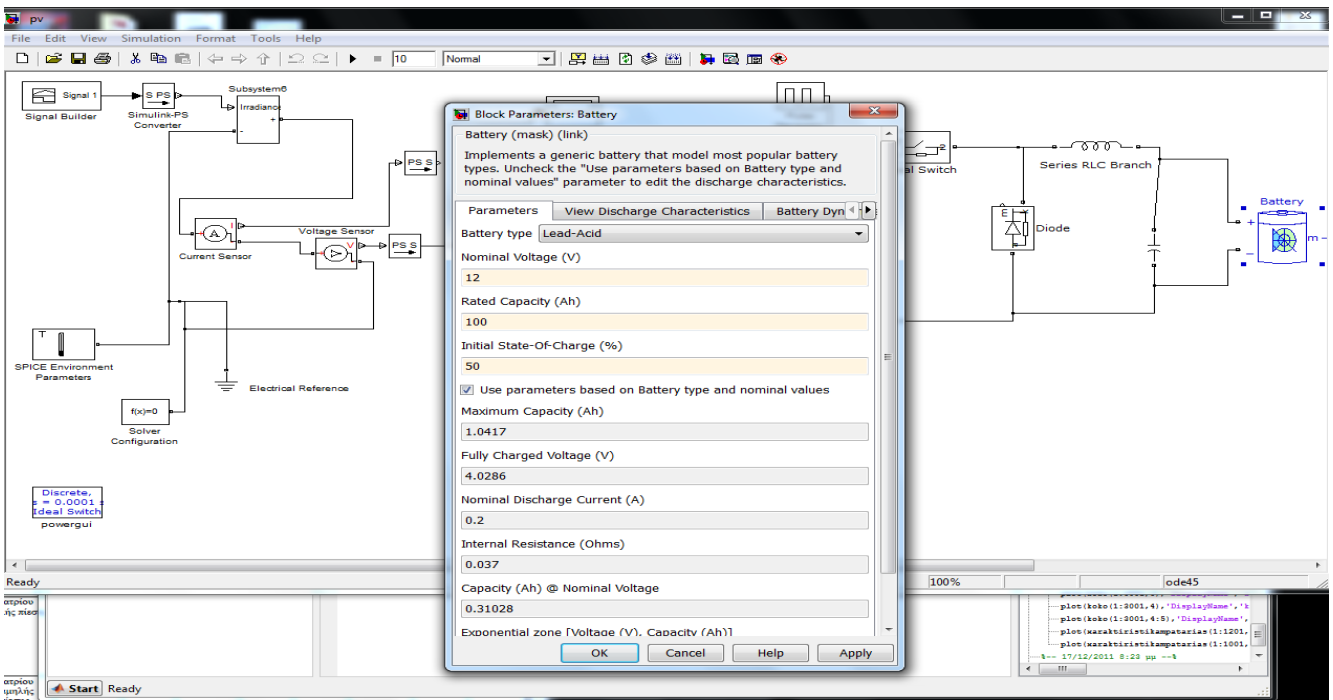


## 2. Ελεγκτής φόρτισης:





### 3. Προσομοίωση συσσωρευτή με regulator:



%% Battery Model Parameters - 100Ah

NominalCap = 80; %(Ah)

%% Battery Block Initial Conditions

% Initial State of Charge (% of full charge)

% Initial Electrolyte Temperature (°C, typically same as ambient temp)

SOC\_init = 0.8;

theta\_init = 25;

%% Battery Block Thermal Parameters

Ctheta = 400; %(J/°C) Thermal Capacitance

Area = 0.01; % (m^2) Surface area of battery exposed to air

Rtheta = 20; %(W/m^2/K) Convective heat transfer coefficient

%% Battery Block Capacity Parameters

% Charge/discharge cycles at ranges of current/temp

Kc = 1.2; %()

Costar = 1.8e+005\*80/50; %(As)

Kt\_Temps = [25 40 60 75]; % Temperature breakpoints for Kt LUT

Kt = [0.80,1.10,1.20,1.12;]; %() LUT output values

delta = 0.73; %()

Istar = 15; %(A) Nominal Current (=cap/disch\_t)

theta\_f = -40; %(°C) Electrolyte Freezing Temp

%% Battery Block Parasitic Branch Parameters

% End of charge cycle at ranges of current/temp

Ep = 1.95; %(V) Parasitic emf

Gpo = 2.0e-011; %(s)

Vpo = 0.12; %(V)

Ap = 2.0; %()

Taup = 3; % (s)

%% Battery Block Main Branch Parameters

Emo = 2.18; % (V) [max o.c. volts per cell]

Ke = 0.0006; %(V/°C)

Ao = -0.6; % ()

Roo = 0.0030; % (Ohm)

R10 = 0.0010; %(Ohm)

A21 = -10.0; %()

A22 = -8.75; %()

R20 = 0.08; %(Ohm)

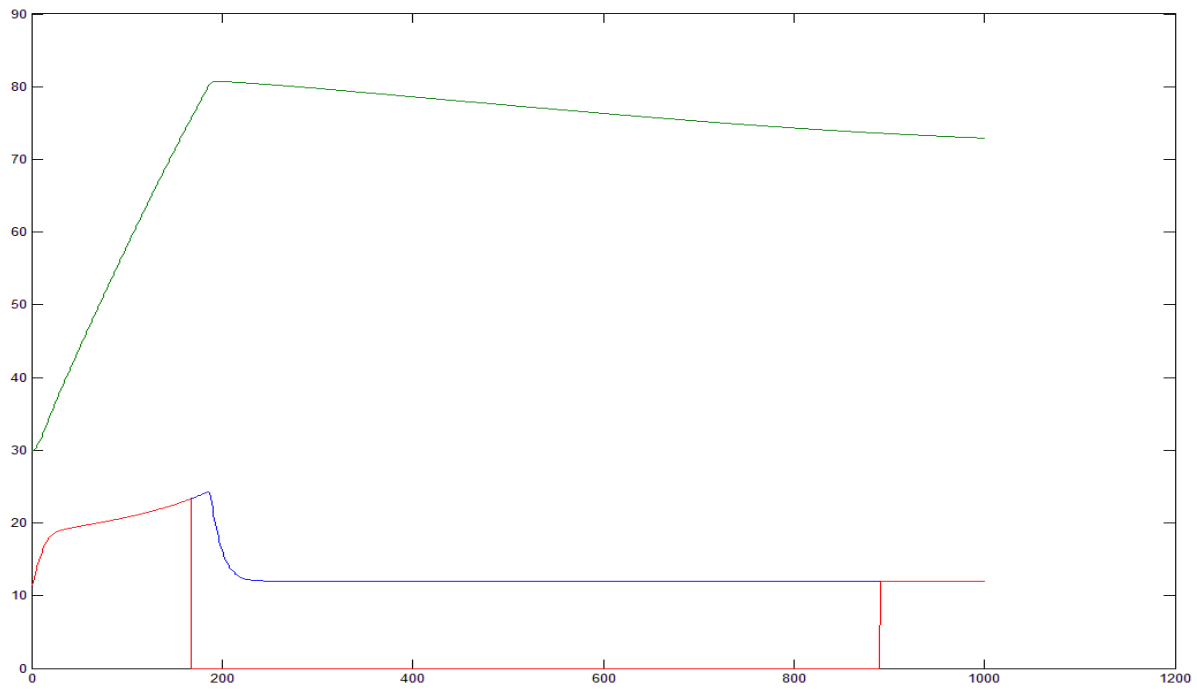
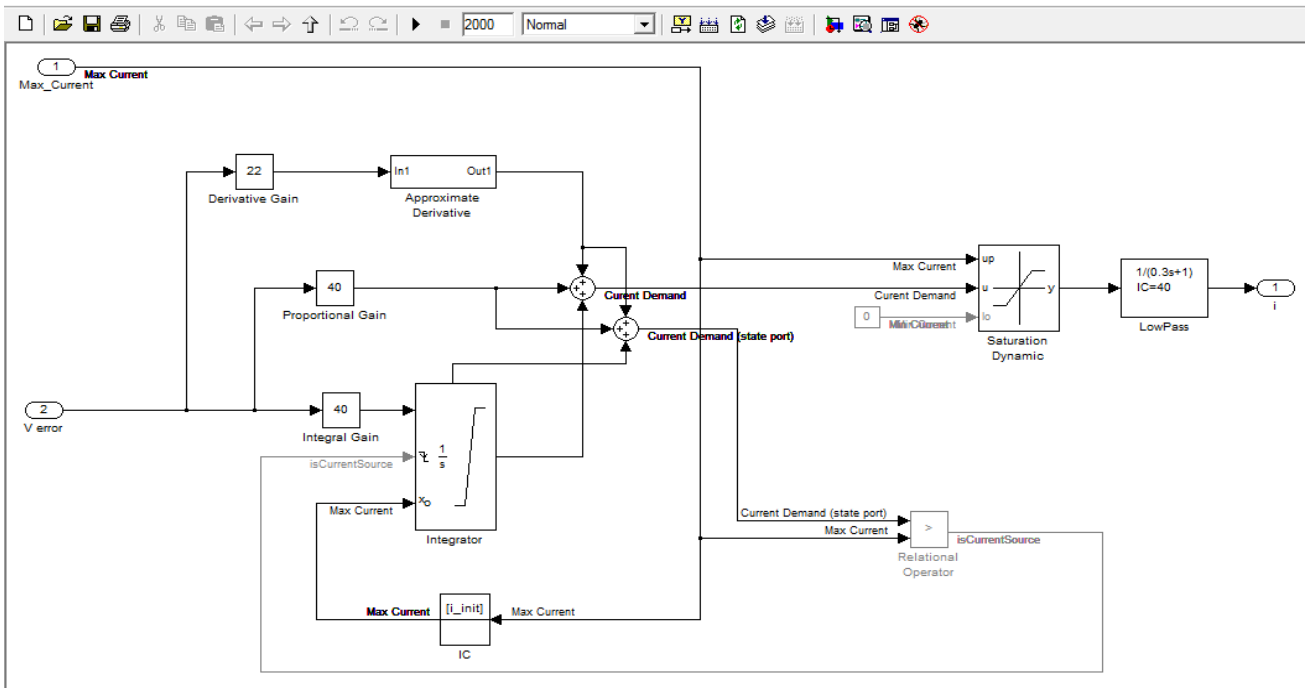
Tau1 = 100; %(s)

%% Battery Block Number Of Cells Parameters

ns = 6; %() Number of cells in series in each parallel branch

%% Compute initial extracted charge

Qe\_init = (1-SOC\_init)\*Kc\*Costar\*interp1([theta\_f Kt\_Temps],[0 Kt],theta\_init,'spline');





## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β

### 1) Πίνακας υπολογισμού περίσσειας για κάθε ημέρα του έτους 2010:

Πίνακας 4.4 Ημερήσια περίσσεια Ενέργειας όπως υπολογίστηκε για το έτος 2010

Μέση ημερήσια παραγωγή(kWh)	Μέση ημερήσια κατανάλωση(kWh)	Μέση ημερήσια περίσσεια ενέργειας (kWh)
0.374845	0.251805	0.12304
0.181548	0.285525	<b>-0.103977</b>
0.493136	0.18	0.313136
0.587504	0.33	0.257504
0.17867	0.36	<b>-0.18133</b>
0.475303	0.36	0.115303
0.384773	0.36	0.024773
0.239058	0.36	<b>-0.120942</b>
0.255863	0.204056	0.051807
0.320521	0.21387	0.106651
0.533648	0.268215	0.265433
0.601099	0.36	0.241099
0.495427	0.36	0.135427
0.092804	0.36	<b>-0.267196</b>
0.104533	0.268562	<b>-0.164029</b>
0.092131	0.076339	0.015792
0.561474	0.18	0.381474
0.517754	0.33	0.187754
0.353445	0.36	<b>-0.006555</b>
0.042892	0.36	<b>-0.317108</b>
0.19413	0.165934	0.028196
0.062273	0.051429	0.010844
0.246434	0.18	0.066434
0.629186	0.205796	0.42339
0.540195	0.33	0.210195
0.625757	0.36	0.265757
0.202256	0.36	<b>-0.157744</b>
0.661521	0.36	0.301521
0.285646	0.36	<b>-0.074354</b>
0.24114	0.36	<b>-0.11886</b>
0.214192	0.36	<b>-0.145808</b>
0.446578	0.33	0.116578
0.181334	0.36	<b>-0.178666</b>
0.320351	0.186832	0.133519
0.295693	0.267993	0.0277
0.332519	0.247361	0.085158
0.61198	0.278328	0.333652
0.544556	0.36	0.184556
0.636383	0.33	0.306383
0.372563	0.36	0.012563
0.529867	0.36	0.169867
0.179087	0.36	<b>-0.180913</b>

0.200715	0.36	<b>-0.159285</b>
0.472021	0.36	0.112021
0.201853	0.36	<b>-0.158147</b>
0.3057	0.283649	0.022051
0.485149	0.255863	0.229286
0.744244	0.36	0.384244
0.25225	0.36	<b>-0.10775</b>
0.235744	0.36	<b>-0.124256</b>
0.586779	0.356981	0.229798
0.341119	0.36	<b>-0.018881</b>
0.196451	0.33	<b>-0.133549</b>
0.24866	0.250972	<b>-0.002312</b>
0.347884	0.208016	0.139868
0.226542	0.291121	<b>-0.064579</b>
0.496264	0.159429	0.336835
0.621455	0.33	0.291455
0.383248	0.36	0.023248
0.336951	0.3	0.036951
0.177536	0.3	<b>-0.122464</b>
0.106392	0.3	<b>-0.193608</b>
0.164403	0.170486	<b>-0.006083</b>
0.690239	0.15	0.540239
0.640728	0.3	0.340728
0.467131	0.3	0.167131
0.309936	0.3	0.009936
0.16237	0.3	<b>-0.13763</b>
0.612157	0.3	0.312157
0.72429	0.3	0.42429
0.41073	0.3	0.11073
0.430826	0.3	0.130826
0.387309	0.3	0.087309
0.530555	0.3	0.230555
0.508457	0.3	0.208457
0.521768	0.3	0.221768
0.178233	0.3	<b>-0.121767</b>
0.20791	0.3	<b>-0.09209</b>
0.367364	0.3	0.067364
0.6336	0.3	0.3336
0.36725	0.3	0.06725
0.408755	0.3	0.108755
0.90302	0.3	0.60302
0.848236	0.3	0.548236
0.851847	0.3	0.551847
0.622857	0.3	0.322857
0.367074	0.3	0.067074
0.237565	0.3	<b>-0.062435</b>
0.649009	0.3	0.349009
0.584563	0.3	0.284563
0.409485	0.3	0.109485
0.559326	0.3	0.259326
0.137197	0.3	<b>-0.162803</b>
0.714255	0.3	0.414255
0.234329	0.3	<b>-0.065671</b>
0.596934	0.3	0.296934
0.849759	0.3	0.549759
0.839228	0.3	0.539228

0.930255	0.3	0.630255
0.918679	0.3	0.618679
0.401671	0.3	0.101671
0.739448	0.3	0.439448
0.437276	0.3	0.137276
0.812479	0.3	0.512479
0.559702	0.3	0.259702
0.749056	0.3	0.449056
0.650358	0.3	0.350358
0.823748	0.3	0.523748
0.858354	0.3	0.558354
0.665615	0.3	0.365615
0.744631	0.3	0.444631
0.470923	0.3	0.170923
0.283443	0.3	<b>-0.016557</b>
0.637111	0.3	0.337111
0.829079	0.3	0.529079
0.836048	0.3	0.536048
0.744417	0.3	0.444417
0.344253	0.3	0.044253
0.340047	0.3	0.040047
0.318915	0.3	0.018915
0.623462	0.24	0.383462
0.838062	0.24	0.598062
0.679042	0.24	0.439042
0.787343	0.24	0.547343
0.63298	0.24	0.39298
0.30071	0.24	0.06071
0.753354	0.24	0.513354
0.852625	0.24	0.612625
0.638009	0.24	0.398009
0.634593	0.24	0.394593
0.816518	0.24	0.576518
0.744879	0.24	0.504879
0.64024	0.24	0.40024
0.783868	0.24	0.543868
0.323015	0.24	0.083015
0.85972	0.24	0.61972
0.747429	0.24	0.507429
0.679877	0.24	0.439877
0.685494	0.24	0.445494
0.675455	0.24	0.435455
0.647689	0.24	0.407689
0.657848	0.24	0.417848
0.612988	0.24	0.372988
0.924642	0.24	0.684642
0.458002	0.24	0.218002
0.917509	0.24	0.677509
0.530168	0.24	0.290168
0.456672	0.24	0.216672
0.625826	0.24	0.385826
0.91598	0.24	0.67598
0.458812	0.24	0.218812
0.765471	0.24	0.525471
0.635002	0.24	0.395002
0.653539	0.24	0.413539

0.822762	0.24	0.582762
0.936011	0.24	0.696011
0.771905	0.24	0.531905
0.790448	0.24	0.550448
0.791644	0.24	0.551644
0.771759	0.24	0.531759
0.831272	0.24	0.591272
0.889464	0.24	0.649464
0.890533	0.24	0.650533
0.816837	0.24	0.576837
0.650547	0.24	0.410547
0.566033	0.24	0.326033
0.876287	0.24	0.636287
0.898708	0.24	0.658708
0.51276	0.24	0.27276
0.579203	0.24	0.339203
0.837103	0.24	0.597103
0.783674	0.24	0.543674
0.773316	0.24	0.533316
0.689779	0.24	0.449779
0.839768	0.24	0.599768
0.792489	0.24	0.552489
0.459732	0.24	0.219732
0.79501	0.24	0.55501
0.838908	0.24	0.598908
0.300514	0.24	0.060514
0.412107	0.24	0.172107
0.767776	0.24	0.527776
0.634297	0.24	0.394297
0.785804	0.24	0.545804
0.610891	0.24	0.370891
0.755901	0.24	0.515901
0.842068	0.24	0.602068
0.947851	0.24	0.707851
0.215145	0.24	<b>-0.024855</b>
0.439122	0.24	0.199122
0.821205	0.24	0.581205
0.523688	0.24	0.283688
0.875749	0.24	0.635749
0.882188	0.24	0.642188
0.872397	0.24	0.632397
0.724909	0.24	0.484909
0.778406	0.24	0.538406
0.903879	0.24	0.663879
0.808701	0.24	0.568701
0.809365	0.24	0.569365
0.857263	0.24	0.617263
0.834291	0.24	0.594291
0.879994	0.24	0.639994
0.889176	0.24	0.649176
0.736205	0.24	0.496205
0.748608	0.24	0.508608
0.726748	0.24	0.486748
0.726489	0.24	0.486489
0.841176	0.24	0.601176
0.667388	0.24	0.427388

0.865386	0.24	0.625386
0.870642	0.24	0.630642
0.906701	0.24	0.666701
0.889701	0.24	0.649701
0.891202	0.24	0.651202
0.910062	0.24	0.670062
0.904201	0.24	0.664201
0.728354	0.24	0.488354
0.720899	0.24	0.480899
0.854102	0.24	0.614102
0.796342	0.24	0.556342
0.84771	0.24	0.60771
0.704528	0.24	0.464528
0.745185	0.24	0.505185
0.876474	0.24	0.636474
0.757887	0.24	0.517887
0.834506	0.24	0.594506
0.856255	0.24	0.616255
0.731588	0.24	0.491588
0.836808	0.24	0.596808
0.70224	0.27	0.43224
0.656796	0.27	0.386796
0.745867	0.27	0.475867
0.601163	0.27	0.331163
0.66319	0.27	0.39319
0.753241	0.27	0.483241
0.722657	0.27	0.452657
0.686248	0.27	0.416248
0.819386	0.27	0.549386
0.735377	0.27	0.465377
0.657658	0.27	0.387658
0.453919	0.27	0.183919
0.884206	0.27	0.614206
0.768842	0.27	0.498842
0.887481	0.27	0.617481
0.434794	0.27	0.164794
0.744025	0.33	0.414025
0.699005	0.33	0.369005
0.619093	0.33	0.289093
0.46506	0.33	0.13506
0.7997	0.33	0.4697
0.39232	0.33	0.06232
0.326376	0.33	<b>-0.003624</b>
0.353036	0.33	0.023036
0.589112	0.33	0.259112
0.740336	0.33	0.410336
0.852733	0.33	0.522733
0.869174	0.33	0.539174
0.855514	0.33	0.525514
0.810376	0.33	0.480376
0.789249	0.33	0.459249
0.658471	0.33	0.328471
0.76761	0.33	0.43761
0.826962	0.33	0.496962
0.883848	0.33	0.553848
0.820697	0.33	0.490697

0.88802	0.33	0.55802
0.492794	0.33	0.162794
0.724321	0.33	0.394321
0.833264	0.33	0.503264
0.704188	0.33	0.374188
0.795794	0.36	0.435794
0.847184	0.36	0.487184
0.827833	0.33	0.497833
0.838911	0.36	0.478911
0.845194	0.33	0.515194
0.817706	0.36	0.457706
0.397409	0.36	0.037409
0.272071	0.36	<b>-0.087929</b>
0.769153	0.36	0.409153
0.644564	0.36	0.284564
0.367992	0.36	0.007992
0.578945	0.36	0.218945
0.500732	0.36	0.140732
0.337606	0.36	<b>-0.022394</b>
0.317108	0.36	<b>-0.042892</b>
0.744073	0.36	0.384073
0.468969	0.36	0.108969
0.537552	0.36	0.177552
0.771874	0.36	0.411874
0.751849	0.36	0.391849
0.640139	0.36	0.280139
0.559988	0.36	0.199988
0.471801	0.36	0.111801
0.162071	0.36	<b>-0.197929</b>
0.185775	0.36	<b>-0.174225</b>
0.207489	0.36	<b>-0.152511</b>
0.221783	0.36	<b>-0.138217</b>
0.250644	0.39	<b>-0.139356</b>
0.705991	0.39	0.315991
0.70531	0.39	0.31531
0.642285	0.39	0.252285
0.313704	0.373086	<b>-0.059382</b>
0.308851	0.18	0.128851
0.422208	0.185294	0.236914
0.64218	0.20955	0.43263
0.271627	0.39	<b>-0.118373</b>
0.057404	0.39	<b>-0.332596</b>
0.108124	0.39	<b>-0.281876</b>
0.105411	0.39	<b>-0.284589</b>
0.097916	0.33	<b>-0.232084</b>
0.378453	0.36	0.018453
0.32549	0.36	<b>-0.03451</b>
0.174028	0.36	<b>-0.185972</b>
0.250568	0.272561	<b>-0.021993</b>
0.567579	0.087551	0.480028
0.658676	0.081199	0.577477
0.705932	0.18	0.525932
0.715568	0.316532	0.399036
0.278666	0.237847	0.040819
0.092391	0.18	<b>-0.087609</b>
0.14018	0.20942	<b>-0.06924</b>

0.410883	0.36	0.050883
0.337183	0.36	<b>-0.022817</b>
0.44568	0.33	0.11568
0.429018	0.36	0.069018
0.408188	0.36	0.048188
0.440524	0.36	0.080524
0.467574	0.215156	0.252418
0.258871	0.343982	<b>-0.085111</b>
0.326377	0.28236	0.044017
0.558279	0.33	0.228279
0.392972	0.36	0.032972
0.578144	0.36	0.218144
0.575259	0.36	0.215259
0.587223	0.36	0.227223
0.211439	0.281294	<b>-0.069855</b>
0.151057	0.27314	<b>-0.122083</b>
0.208284	0.33	<b>-0.121716</b>
0.188054	0.36	<b>-0.171946</b>
0.488883	0.36	0.128883
0.209747	0.36	<b>-0.150253</b>
0.153532	0.36	<b>-0.206468</b>
0.128979	0.36	<b>-0.231021</b>
0.108178	0.36	<b>-0.251822</b>
0.541631	0.214882	0.326749
0.196307	0.18	0.016307
0.182316	0.36	<b>-0.177684</b>
0.073955	0.172718	<b>-0.098763</b>
0.159008	0.107362	0.051646
0.313293	0.089875	0.223418
0.5328	0.18	0.3528
0.317976	0.33	<b>-0.012024</b>
0.137962	0.2596	<b>-0.121638</b>
0.44112	0.061198	0.379922
0.504553	0.132462	0.372091
0.604595	0.18	0.424595
0.184406	0.262015	<b>-0.077609</b>
0.351257	0.36	<b>-0.008743</b>
0.259178	0.306029	<b>-0.046851</b>
0.10142	0.121288	<b>-0.019868</b>
0.242121	0.18	0.062121
0.304953	0.202171	0.102782
0.142672	0.194163	<b>-0.051491</b>
0.30117	0.18	0.12117

2) Πίνακας υπολογισμού πιθανότητας απώλειας φορτίου για μήνα Ιανουάριο:

**Υπολογισμός LLP για Ιανουάριο:**

Μήνας/Ημέρα	Ώρα	Φορτίο	Ενέργεια αποφόρτισης	Διαφορά	Αποτυχία;
1/ 1/	0:00	0.03	0.03	0	OXI
1/ 1/	1:00	0.03	0.03	0	OXI
1/ 1/	2:00	0.03	0.0118053	-0.01819	NAI
1/ 1/	3:00	0.03	0	-0.03	NAI
1/ 1/	4:00	0.03	0	-0.03	NAI
1/ 1/	5:00	0.03	0	-0.03	NAI
1/ 1/	6:00	0	0	0	
1/ 1/	7:00	0	0	0	
1/ 1/	8:00	0	0	0	
1/ 1/	9:00	0	0	0	
1/ 1/	10:00	0	0	0	
1/ 1/	11:00	0	0	0	
1/ 1/	12:00	0	0	0	
1/ 1/	13:00	0	0	0	
1/ 1/	14:00	0	0	0	
1/ 1/	15:00	0	0	0	
1/ 1/	16:00	0	0	0	
1/ 1/	17:00	0	0	0	
1/ 1/	18:00	0.03	0.03	0	
1/ 1/	19:00	0.03	0.03	0	
1/ 1/	20:00	0.03	0.03	0	
1/ 1/	21:00	0.03	0.03	0	
1/ 1/	22:00	0.03	0.03	0	
1/ 1/	23:00	0.03	0.03	0	
1/ 2/	0:00	0.03	0.03	0	
1/ 2/	1:00	0.03	0.03	0	
1/ 2/	2:00	0.03	0.03	0	
1/ 2/	3:00	0.03	0.03	0	
1/ 2/	4:00	0.03	0.0137979	-0.0162	NAI
1/ 2/	5:00	0.03	0	-0.03	NAI
1/ 2/	6:00	0	0	0	
1/ 2/	7:00	0	0	0	
1/ 2/	8:00	0	0	0	
1/ 2/	9:00	0	0	0	
1/ 2/	10:00	0	0	0	
1/ 2/	11:00	0	0	0	
1/ 2/	12:00	0	0	0	
1/ 2/	13:00	0	0	0	
1/ 2/	14:00	0	0	0	
1/ 2/	15:00	0	0	0	
1/ 2/	16:00	0	0	0	
1/ 2/	17:00	0	0	0	
1/ 2/	18:00	0.03	0.03	0	
1/ 2/	19:00	0.03	0.03	0	
1/ 2/	20:00	0.03	0.03	0	
1/ 2/	21:00	0.03	0.03	0	
1/ 2/	22:00	0.03	0.03	0	
1/ 2/	23:00	0.03	0.0017266	-0.02827	NAI
1/ 3/	0:00	0.03	0	-0.03	NAI
1/ 3/	1:00	0.03	0	-0.03	NAI
1/ 3/	2:00	0.03	0	-0.03	NAI
1/ 3/	3:00	0.03	0	-0.03	NAI

1/3/	4:00	0.03	0	-0.03	NAI
1/3/	5:00	0.03	0	-0.03	NAI
1/3/	6:00	0	0	0	
1/3/	7:00	0	0	0	
1/3/	8:00	0	0	0	
1/3/	9:00	0	0	0	
1/3/	10:00	0	0	0	
1/3/	11:00	0	0	0	
1/3/	12:00	0	0	0	
1/3/	13:00	0	0	0	
1/3/	14:00	0	0	0	
1/3/	15:00	0	0	0	
1/3/	16:00	0	0	0	
1/3/	17:00	0	0	0	
1/3/	18:00	0.03	0.03	0	
1/3/	19:00	0.03	0.03	0	
1/3/	20:00	0.03	0.03	0	
1/3/	21:00	0.03	0.03	0	
1/3/	22:00	0.03	0.03	0	
1/3/	23:00	0.03	0.03	0	
1/4/	0:00	0.03	0.03	0	
1/4/	1:00	0.03	0.03	0	
1/4/	2:00	0.03	0.03	0	
1/4/	3:00	0.03	0.03	0	
1/4/	4:00	0.03	0.03	0	
1/4/	5:00	0.03	0.03	0	
1/4/	6:00	0	0	0	
1/4/	7:00	0	0	0	
1/4/	8:00	0	0	0	
1/4/	9:00	0	0	0	
1/4/	10:00	0	0	0	
1/4/	11:00	0	0	0	
1/4/	12:00	0	0	0	
1/4/	13:00	0	0	0	
1/4/	14:00	0	0	0	
1/4/	15:00	0	0	0	
1/4/	16:00	0	0	0	
1/4/	17:00	0	0	0	
1/4/	18:00	0.03	0.03	0	
1/4/	19:00	0.03	0.03	0	
1/4/	20:00	0.03	0.03	0	
1/4/	21:00	0.03	0.03	0	
1/4/	22:00	0.03	0.03	0	
1/4/	23:00	0.03	0.03	0	
1/5/	0:00	0.03	0.03	0	
1/5/	1:00	0.03	0.03	0	
1/5/	2:00	0.03	0.03	0	
1/5/	3:00	0.03	0.03	0	
1/5/	4:00	0.03	0.03	0	
1/5/	5:00	0.03	0.03	0	
1/5/	6:00	0	0	0	
1/5/	7:00	0	0	0	
1/5/	8:00	0	0	0	
1/5/	9:00	0	0	0	
1/5/	10:00	0	0	0	
1/5/	11:00	0	0	0	
1/5/	12:00	0	0	0	
1/5/	13:00	0	0	0	
1/5/	14:00	0	0	0	
1/5/	15:00	0	0	0	
1/5/	16:00	0	0	0	
1/5/	17:00	0	0	0	

1/ 5/	18:00	0.03	0.03	0	
1/ 5/	19:00	0.03	0.03	0	
1/ 5/	20:00	0.03	0.03	0	
1/ 5/	21:00	0.03	0.03	0	
1/ 5/	22:00	0.03	0.03	0	
1/ 5/	23:00	0.03	0.03	0	
1/ 6/	0:00	0.03	0.03	0	
1/ 6/	1:00	0.03	0.03	0	
1/ 6/	2:00	0.03	0.03	0	
1/ 6/	3:00	0.03	0.03	0	
1/ 6/	4:00	0.03	0.03	0	
1/ 6/	5:00	0.03	0.0011384	-0.02886	NAI
1/ 6/	6:00	0	0	0	
1/ 6/	7:00	0	0	0	
1/ 6/	8:00	0	0	0	
1/ 6/	9:00	0	0	0	
1/ 6/	10:00	0	0	0	
1/ 6/	11:00	0	0	0	
1/ 6/	12:00	0	0	0	
1/ 6/	13:00	0	0	0	
1/ 6/	14:00	0	0	0	
1/ 6/	15:00	0	0	0	
1/ 6/	16:00	0	0	0	
1/ 6/	17:00	0	0	0	
1/ 6/	18:00	0.03	0.03	0	
1/ 6/	19:00	0.03	0.03	0	
1/ 6/	20:00	0.03	0.03	0	
1/ 6/	21:00	0.03	0.03	0	
1/ 6/	22:00	0.03	0.03	0	
1/ 6/	23:00	0.03	0.03	0	
1/ 7/	0:00	0.03	0.03	0	
1/ 7/	1:00	0.03	0.03	0	
1/ 7/	2:00	0.03	0.03	0	
1/ 7/	3:00	0.03	0.03	0	
1/ 7/	4:00	0.03	0.03	0	
1/ 7/	5:00	0.03	0.03	0	
1/ 7/	6:00	0	0	0	
1/ 7/	7:00	0	0	0	
1/ 7/	8:00	0	0	0	
1/ 7/	9:00	0	0	0	
1/ 7/	10:00	0	0	0	
1/ 7/	11:00	0	0	0	
1/ 7/	12:00	0	0	0	
1/ 7/	13:00	0	0	0	
1/ 7/	14:00	0	0	0	
1/ 7/	15:00	0	0	0	
1/ 7/	16:00	0	0	0	
1/ 7/	17:00	0	0	0	
1/ 7/	18:00	0.03	0.03	0	
1/ 7/	19:00	0.03	0.03	0	
1/ 7/	20:00	0.03	0.03	0	
1/ 7/	21:00	0.03	0.03	0	
1/ 7/	22:00	0.03	0.03	0	
1/ 7/	23:00	0.03	0.03	0	
1/ 8/	0:00	0.03	0.03	0	
1/ 8/	1:00	0.03	0.03	0	
1/ 8/	2:00	0.03	0.03	0	
1/ 8/	3:00	0.03	0.03	0	
1/ 8/	4:00	0.03	0.03	0	
1/ 8/	5:00	0.03	0.0299656	-3.4E-05	NAI
1/ 8/	6:00	0	0	0	
1/ 8/	7:00	0	0	0	

1/ 8/	8:00	0	0	0	
1/ 8/	9:00	0	0	0	
1/ 8/	10:00	0	0	0	
1/ 8/	11:00	0	0	0	
1/ 8/	12:00	0	0	0	
1/ 8/	13:00	0	0	0	
1/ 8/	14:00	0	0	0	
1/ 8/	15:00	0	0	0	
1/ 8/	16:00	0	0	0	
1/ 8/	17:00	0	0	0	
1/ 8/	18:00	0.03	0.03	0	
1/ 8/	19:00	0.03	0.03	0	
1/ 8/	20:00	0.03	0.03	0	
1/ 8/	21:00	0.03	0.03	0	
1/ 8/	22:00	0.03	0.03	0	
1/ 8/	23:00	0.03	0.03	0	
1/ 9/	0:00	0.03	0.0199299	-0.01007	NAI
1/ 9/	1:00	0.03	0	-0.03	NAI
1/ 9/	2:00	0.03	0	-0.03	NAI
1/ 9/	3:00	0.03	0	-0.03	NAI
1/ 9/	4:00	0.03	0	-0.03	NAI
1/ 9/	5:00	0.03	0	-0.03	NAI
1/ 9/	6:00	0	0	0	
1/ 9/	7:00	0	0	0	
1/ 9/	8:00	0	0	0	
1/ 9/	9:00	0	0	0	
1/ 9/	10:00	0	0	0	
1/ 9/	11:00	0	0	0	
1/ 9/	12:00	0	0	0	
1/ 9/	13:00	0	0	0	
1/ 9/	14:00	0	0	0	
1/ 9/	15:00	0	0	0	
1/ 9/	16:00	0	0	0	
1/ 9/	17:00	0	0	0	
1/ 9/	18:00	0.03	0.03	0	
1/ 9/	19:00	0.03	0.03	0	
1/ 9/	20:00	0.03	0.03	0	
1/ 9/	21:00	0.03	0.03	0	
1/ 9/	22:00	0.03	0.03	0	
1/ 9/	23:00	0.03	0.03	0	
1/10/	0:00	0.03	0.03	0	
1/10/	1:00	0.03	0.0038706	-0.02613	NAI
1/10/	2:00	0.03	0	-0.03	NAI
1/10/	3:00	0.03	0	-0.03	NAI
1/10/	4:00	0.03	0	-0.03	NAI
1/10/	5:00	0.03	0	-0.03	NAI
1/10/	6:00	0	0	0	
1/10/	7:00	0	0	0	
1/10/	8:00	0	0	0	
1/10/	9:00	0	0	0	
1/10/	10:00	0	0	0	
1/10/	11:00	0	0	0	
1/10/	12:00	0	0	0	
1/10/	13:00	0	0	0	
1/10/	14:00	0	0	0	
1/10/	15:00	0	0	0	
1/10/	16:00	0	0	0	
1/10/	17:00	0	0	0	
1/10/	18:00	0.03	0.03	0	
1/10/	19:00	0.03	0.03	0	
1/10/	20:00	0.03	0.03	0	
1/10/	21:00	0.03	0.03	0	



1/10/	22:00	0.03	0.03	0	
1/10/	23:00	0.03	0.03	0	
1/11/	0:00	0.03	0.03	0	
1/11/	1:00	0.03	0.03	0	
1/11/	2:00	0.03	0.0282154	-0.00178	NAI
1/11/	3:00	0.03	0	-0.03	NAI
1/11/	4:00	0.03	0	-0.03	NAI
1/11/	5:00	0.03	0	-0.03	NAI
1/11/	6:00	0	0	0	
1/11/	7:00	0	0	0	
1/11/	8:00	0	0	0	
1/11/	9:00	0	0	0	
1/11/	10:00	0	0	0	
1/11/	11:00	0	0	0	
1/11/	12:00	0	0	0	
1/11/	13:00	0	0	0	
1/11/	14:00	0	0	0	
1/11/	15:00	0	0	0	
1/11/	16:00	0	0	0	
1/11/	17:00	0	0	0	
1/11/	18:00	0.03	0.03	0	
1/11/	19:00	0.03	0.03	0	
1/11/	20:00	0.03	0.03	0	
1/11/	21:00	0.03	0.03	0	
1/11/	22:00	0.03	0.03	0	
1/11/	23:00	0.03	0.03	0	
1/12/	0:00	0.03	0.03	0	
1/12/	1:00	0.03	0.03	0	
1/12/	2:00	0.03	0.03	0	
1/12/	3:00	0.03	0.03	0	
1/12/	4:00	0.03	0.03	0	
1/12/	5:00	0.03	0.03	0	
1/12/	6:00	0	0	0	
1/12/	7:00	0	0	0	
1/12/	8:00	0	0	0	
1/12/	9:00	0	0	0	
1/12/	10:00	0	0	0	
1/12/	11:00	0	0	0	
1/12/	12:00	0	0	0	
1/12/	13:00	0	0	0	
1/12/	14:00	0	0	0	
1/12/	15:00	0	0	0	
1/12/	16:00	0	0	0	
1/12/	17:00	0	0	0	
1/12/	18:00	0.03	0.03	0	
1/12/	19:00	0.03	0.03	0	
1/12/	20:00	0.03	0.03	0	
1/12/	21:00	0.03	0.03	0	
1/12/	22:00	0.03	0.03	0	
1/12/	23:00	0.03	0.03	0	
1/13/	0:00	0.03	0.03	0	
1/13/	1:00	0.03	0.03	0	
1/13/	2:00	0.03	0.03	0	
1/13/	3:00	0.03	0.03	0	
1/13/	4:00	0.03	0.03	0	
1/13/	5:00	0.03	0.03	0	
1/13/	6:00	0	0	0	
1/13/	7:00	0	0	0	
1/13/	8:00	0	0	0	
1/13/	9:00	0	0	0	
1/13/	10:00	0	0	0	
1/13/	11:00	0	0	0	

1/13/	12:00	0	0	0	
1/13/	13:00	0	0	0	
1/13/	14:00	0	0	0	
1/13/	15:00	0	0	0	
1/13/	16:00	0	0	0	
1/13/	17:00	0	0	0	
1/13/	18:00	0.03	0.03	0	
1/13/	19:00	0.03	0.03	0	
1/13/	20:00	0.03	0.03	0	
1/13/	21:00	0.03	0.03	0	
1/13/	22:00	0.03	0.03	0	
1/13/	23:00	0.03	0.03	0	
1/14/	0:00	0.03	0.03	0	
1/14/	1:00	0.03	0.03	0	
1/14/	2:00	0.03	0.03	0	
1/14/	3:00	0.03	0.03	0	
1/14/	4:00	0.03	0.03	0	
1/14/	5:00	0.03	0.03	0	
1/14/	6:00	0	0	0	
1/14/	7:00	0	0	0	
1/14/	8:00	0	0	0	
1/14/	9:00	0	0	0	
1/14/	10:00	0	0	0	
1/14/	11:00	0	0	0	
1/14/	12:00	0	0	0	
1/14/	13:00	0	0	0	
1/14/	14:00	0	0	0	
1/14/	15:00	0	0	0	
1/14/	16:00	0	0	0	
1/14/	17:00	0	0	0	
1/14/	18:00	0.03	0.03	0	
1/14/	19:00	0.03	0.03	0	
1/14/	20:00	0.03	0.03	0	
1/14/	21:00	0.03	0.03	0	
1/14/	22:00	0.03	0.03	0	
1/14/	23:00	0.03	0.03	0	
1/15/	0:00	0.03	0.03	0	
1/15/	1:00	0.03	0.03	0	
1/15/	2:00	0.03	0.03	0	
1/15/	3:00	0.03	0.03	0	
1/15/	4:00	0.03	0.03	0	
1/15/	5:00	0.03	0.03	0	
1/15/	6:00	0	0	0	
1/15/	7:00	0	0	0	
1/15/	8:00	0	0	0	
1/15/	9:00	0	0	0	
1/15/	10:00	0	0	0	
1/15/	11:00	0	0	0	
1/15/	12:00	0	0	0	
1/15/	13:00	0	0	0	
1/15/	14:00	0	0	0	
1/15/	15:00	0	0	0	
1/15/	16:00	0	0	0	
1/15/	17:00	0	0	0	
1/15/	18:00	0.03	0.03	0	
1/15/	19:00	0.03	0.03	0	
1/15/	20:00	0.03	0.028562	-0.00144	NAI
1/15/	21:00	0.03	0	-0.03	NAI
1/15/	22:00	0.03	0	-0.03	NAI
1/15/	23:00	0.03	0	-0.03	NAI
1/16/	0:00	0.03	0	-0.03	NAI
1/16/	1:00	0.03	0	-0.03	NAI

1/16/	2:00	0.03	0	-0.03	NAI
1/16/	3:00	0.03	0	-0.03	NAI
1/16/	4:00	0.03	0	-0.03	NAI
1/16/	5:00	0.03	0	-0.03	NAI
1/16/	6:00	0	0	0	
1/16/	7:00	0	0	0	
1/16/	8:00	0	0	0	
1/16/	9:00	0	0	0	
1/16/	10:00	0	0	0	
1/16/	11:00	0	0	0	
1/16/	12:00	0	0	0	
1/16/	13:00	0	0	0	
1/16/	14:00	0	0	0	
1/16/	15:00	0	0	0	
1/16/	16:00	0	0	0	
1/16/	17:00	0	0	0	
1/16/	18:00	0.03	0.03	0	
1/16/	19:00	0.03	0.03	0	
1/16/	20:00	0.03	0.0163393	-0.01366	NAI
1/16/	21:00	0.03	0	-0.03	NAI
1/16/	22:00	0.03	0	-0.03	NAI
1/16/	23:00	0.03	0	-0.03	NAI
1/17/	0:00	0.03	0	-0.03	NAI
1/17/	1:00	0.03	0	-0.03	NAI
1/17/	2:00	0.03	0	-0.03	NAI
1/17/	3:00	0.03	0	-0.03	NAI
1/17/	4:00	0.03	0	-0.03	NAI
1/17/	5:00	0.03	0	-0.03	NAI
1/17/	6:00	0	0	0	
1/17/	7:00	0	0	0	
1/17/	8:00	0	0	0	
1/17/	9:00	0	0	0	
1/17/	10:00	0	0	0	
1/17/	11:00	0	0	0	
1/17/	12:00	0	0	0	
1/17/	13:00	0	0	0	
1/17/	14:00	0	0	0	
1/17/	15:00	0	0	0	
1/17/	16:00	0	0	0	
1/17/	17:00	0	0	0	
1/17/	18:00	0.03	0.03	0	
1/17/	19:00	0.03	0.03	0	
1/17/	20:00	0.03	0.03	0	
1/17/	21:00	0.03	0.03	0	
1/17/	22:00	0.03	0.03	0	
1/17/	23:00	0.03	0.03	0	
1/18/	0:00	0.03	0.03	0	
1/18/	1:00	0.03	0.03	0	
1/18/	2:00	0.03	0.03	0	
1/18/	3:00	0.03	0.03	0	
1/18/	4:00	0.03	0.03	0	
1/18/	5:00	0.03	0.03	0	
1/18/	6:00	0	0	0	
1/18/	7:00	0	0	0	
1/18/	8:00	0	0	0	
1/18/	9:00	0	0	0	
1/18/	10:00	0	0	0	
1/18/	11:00	0	0	0	
1/18/	12:00	0	0	0	
1/18/	13:00	0	0	0	
1/18/	14:00	0	0	0	
1/18/	15:00	0	0	0	

1/18/	16:00	0	0	0	
1/18/	17:00	0	0	0	
1/18/	18:00	0.03	0.03	0	
1/18/	19:00	0.03	0.03	0	
1/18/	20:00	0.03	0.03	0	
1/18/	21:00	0.03	0.03	0	
1/18/	22:00	0.03	0.03	0	
1/18/	23:00	0.03	0.03	0	
1/19/	0:00	0.03	0.03	0	
1/19/	1:00	0.03	0.03	0	
1/19/	2:00	0.03	0.03	0	
1/19/	3:00	0.03	0.03	0	
1/19/	4:00	0.03	0.03	0	
1/19/	5:00	0.03	0.03	0	
1/19/	6:00	0	0	0	
1/19/	7:00	0	0	0	
1/19/	8:00	0	0	0	
1/19/	9:00	0	0	0	
1/19/	10:00	0	0	0	
1/19/	11:00	0	0	0	
1/19/	12:00	0	0	0	
1/19/	13:00	0	0	0	
1/19/	14:00	0	0	0	
1/19/	15:00	0	0	0	
1/19/	16:00	0	0	0	
1/19/	17:00	0	0	0	
1/19/	18:00	0.03	0.03	0	
1/19/	19:00	0.03	0.03	0	
1/19/	20:00	0.03	0.03	0	
1/19/	21:00	0.03	0.03	0	
1/19/	22:00	0.03	0.03	0	
1/19/	23:00	0.03	0.03	0	
1/20/	0:00	0.03	0.03	0	
1/20/	1:00	0.03	0.03	0	
1/20/	2:00	0.03	0.03	0	
1/20/	3:00	0.03	0.03	0	
1/20/	4:00	0.03	0.03	0	
1/20/	5:00	0.03	0.03	0	
1/20/	6:00	0	0	0	
1/20/	7:00	0	0	0	
1/20/	8:00	0	0	0	
1/20/	9:00	0	0	0	
1/20/	10:00	0	0	0	
1/20/	11:00	0	0	0	
1/20/	12:00	0	0	0	
1/20/	13:00	0	0	0	
1/20/	14:00	0	0	0	
1/20/	15:00	0	0	0	
1/20/	16:00	0	0	0	
1/20/	17:00	0	0	0	
1/20/	18:00	0.03	0.03	0	
1/20/	19:00	0.03	0.03	0	
1/20/	20:00	0.03	0.03	0	
1/20/	21:00	0.03	0.03	0	
1/20/	22:00	0.03	0.03	0	
1/20/	23:00	0.03	0.0009043	-0.0291	NAI
1/21/	0:00	0.03	0	-0.03	NAI
1/21/	1:00	0.03	0	-0.03	NAI
1/21/	2:00	0.03	0	-0.03	NAI
1/21/	3:00	0.03	0	-0.03	NAI
1/21/	4:00	0.03	0	-0.03	NAI
1/21/	5:00	0.03	0	-0.03	NAI

1/21/	6:00	0	0	0	
1/21/	7:00	0	0	0	
1/21/	8:00	0	0	0	
1/21/	9:00	0	0	0	
1/21/	10:00	0	0	0	
1/21/	11:00	0	0	0	
1/21/	12:00	0	0	0	
1/21/	13:00	0	0	0	
1/21/	14:00	0	0	0	
1/21/	15:00	0	0	0	
1/21/	16:00	0	0	0	
1/21/	17:00	0	0	0	
1/21/	18:00	0.03	0.03	0	
1/21/	19:00	0.03	0.03	0	
1/21/	20:00	0.03	0.03	0	
1/21/	21:00	0.03	0.03	0	
1/21/	22:00	0.03	0.03	0	
1/21/	23:00	0.03	0.0120732	-0.01793	NAI
1/22/	0:00	0.03	0	-0.03	NAI
1/22/	1:00	0.03	0	-0.03	NAI
1/22/	2:00	0.03	0	-0.03	NAI
1/22/	3:00	0.03	0	-0.03	NAI
1/22/	4:00	0.03	0	-0.03	NAI
1/22/	5:00	0.03	0	-0.03	NAI
1/22/	6:00	0	0	0	
1/22/	7:00	0	0	0	
1/22/	8:00	0	0	0	
1/22/	9:00	0	0	0	
1/22/	10:00	0	0	0	
1/22/	11:00	0	0	0	
1/22/	12:00	0	0	0	
1/22/	13:00	0	0	0	
1/22/	14:00	0	0	0	
1/22/	15:00	0	0	0	
1/22/	16:00	0	0	0	
1/22/	17:00	0	0	0	
1/22/	18:00	0.03	0.03	0	
1/22/	19:00	0.03	0.0214292	-0.00857	NAI
1/22/	20:00	0.03	0	-0.03	NAI
1/22/	21:00	0.03	0	-0.03	NAI
1/22/	22:00	0.03	0	-0.03	NAI
1/22/	23:00	0.03	0	-0.03	NAI
1/23/	0:00	0.03	0	-0.03	NAI
1/23/	1:00	0.03	0	-0.03	NAI
1/23/	2:00	0.03	0	-0.03	NAI
1/23/	3:00	0.03	0	-0.03	NAI
1/23/	4:00	0.03	0	-0.03	NAI
1/23/	5:00	0.03	0	-0.03	NAI
1/23/	6:00	0	0	0	
1/23/	7:00	0	0	0	
1/23/	8:00	0	0	0	
1/23/	9:00	0	0	0	
1/23/	10:00	0	0	0	
1/23/	11:00	0	0	0	
1/23/	12:00	0	0	0	
1/23/	13:00	0	0	0	
1/23/	14:00	0	0	0	
1/23/	15:00	0	0	0	
1/23/	16:00	0	0	0	
1/23/	17:00	0	0	0	
1/23/	18:00	0.03	0.03	0	
1/23/	19:00	0.03	0.03	0	

1/23/	20:00	0.03	0.03	0	
1/23/	21:00	0.03	0.03	0	
1/23/	22:00	0.03	0.03	0	
1/23/	23:00	0.03	0.03	0	
1/24/	0:00	0.03	0.0257958	-0.0042	NAI
1/24/	1:00	0.03	0	-0.03	NAI
1/24/	2:00	0.03	0	-0.03	NAI
1/24/	3:00	0.03	0	-0.03	NAI
1/24/	4:00	0.03	0	-0.03	NAI
1/24/	5:00	0.03	0	-0.03	NAI
1/24/	6:00	0	0	0	
1/24/	7:00	0	0	0	
1/24/	8:00	0	0	0	
1/24/	9:00	0	0	0	
1/24/	10:00	0	0	0	
1/24/	11:00	0	0	0	
1/24/	12:00	0	0	0	
1/24/	13:00	0	0	0	
1/24/	14:00	0	0	0	
1/24/	15:00	0	0	0	
1/24/	16:00	0	0	0	
1/24/	17:00	0	0	0	
1/24/	18:00	0.03	0.03	0	
1/24/	19:00	0.03	0.03	0	
1/24/	20:00	0.03	0.03	0	
1/24/	21:00	0.03	0.03	0	
1/24/	22:00	0.03	0.03	0	
1/24/	23:00	0.03	0.03	0	
1/25/	0:00	0.03	0.03	0	
1/25/	1:00	0.03	0.03	0	
1/25/	2:00	0.03	0.03	0	
1/25/	3:00	0.03	0.03	0	
1/25/	4:00	0.03	0.03	0	
1/25/	5:00	0.03	0.03	0	
1/25/	6:00	0	0	0	
1/25/	7:00	0	0	0	
1/25/	8:00	0	0	0	
1/25/	9:00	0	0	0	
1/25/	10:00	0	0	0	
1/25/	11:00	0	0	0	
1/25/	12:00	0	0	0	
1/25/	13:00	0	0	0	
1/25/	14:00	0	0	0	
1/25/	15:00	0	0	0	
1/25/	16:00	0	0	0	
1/25/	17:00	0	0	0	
1/25/	18:00	0.03	0.03	0	
1/25/	19:00	0.03	0.03	0	
1/25/	20:00	0.03	0.03	0	
1/25/	21:00	0.03	0.03	0	
1/25/	22:00	0.03	0.03	0	
1/25/	23:00	0.03	0.03	0	
1/26/	0:00	0.03	0.03	0	
1/26/	1:00	0.03	0.03	0	
1/26/	2:00	0.03	0.03	0	
1/26/	3:00	0.03	0.03	0	
1/26/	4:00	0.03	0.03	0	
1/26/	5:00	0.03	0.03	0	
1/26/	6:00	0	0	0	
1/26/	7:00	0	0	0	
1/26/	8:00	0	0	0	
1/26/	9:00	0	0	0	

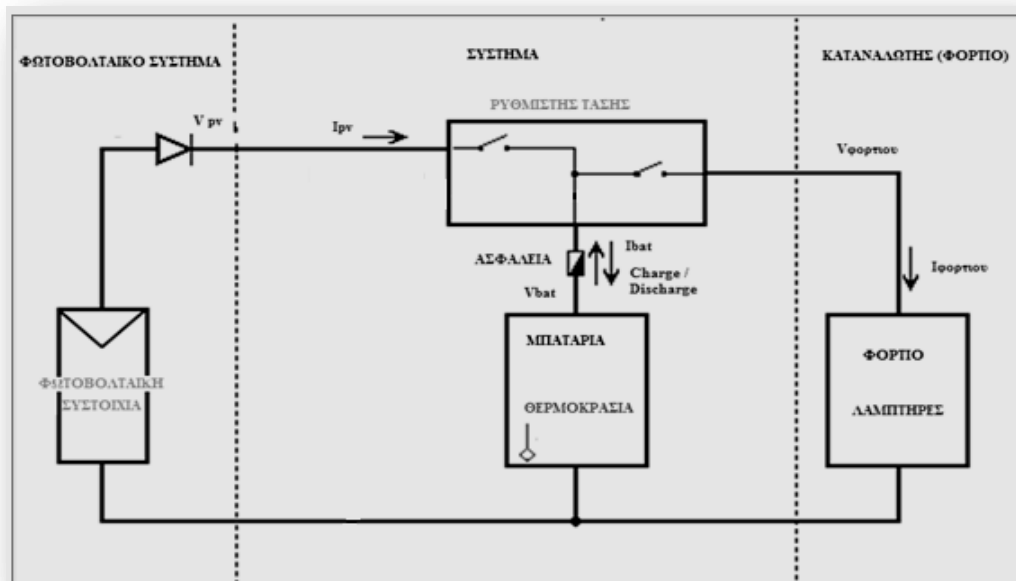
1/26/	10:00	0	0	0	
1/26/	11:00	0	0	0	
1/26/	12:00	0	0	0	
1/26/	13:00	0	0	0	
1/26/	14:00	0	0	0	
1/26/	15:00	0	0	0	
1/26/	16:00	0	0	0	
1/26/	17:00	0	0	0	
1/26/	18:00	0.03	0.03	0	
1/26/	19:00	0.03	0.03	0	
1/26/	20:00	0.03	0.03	0	
1/26/	21:00	0.03	0.03	0	
1/26/	22:00	0.03	0.03	0	
1/26/	23:00	0.03	0.03	0	
1/27/	0:00	0.03	0.03	0	
1/27/	1:00	0.03	0.03	0	
1/27/	2:00	0.03	0.03	0	
1/27/	3:00	0.03	0.03	0	
1/27/	4:00	0.03	0.03	0	
1/27/	5:00	0.03	0.03	0	
1/27/	6:00	0	0	0	
1/27/	7:00	0	0	0	
1/27/	8:00	0	0	0	
1/27/	9:00	0	0	0	
1/27/	10:00	0	0	0	
1/27/	11:00	0	0	0	
1/27/	12:00	0	0	0	
1/27/	13:00	0	0	0	
1/27/	14:00	0	0	0	
1/27/	15:00	0	0	0	
1/27/	16:00	0	0	0	
1/27/	17:00	0	0	0	
1/27/	18:00	0.03	0.03	0	
1/27/	19:00	0.03	0.03	0	
1/27/	20:00	0.03	0.03	0	
1/27/	21:00	0.03	0.03	0	
1/27/	22:00	0.03	0.03	0	
1/27/	23:00	0.03	0.03	0	
1/28/	0:00	0.03	0.03	0	
1/28/	1:00	0.03	0.03	0	
1/28/	2:00	0.03	0.03	0	
1/28/	3:00	0.03	0.03	0	
1/28/	4:00	0.03	0.03	0	
1/28/	5:00	0.03	0.03	0	
1/28/	6:00	0	0	0	
1/28/	7:00	0	0	0	
1/28/	8:00	0	0	0	
1/28/	9:00	0	0	0	
1/28/	10:00	0	0	0	
1/28/	11:00	0	0	0	
1/28/	12:00	0	0	0	
1/28/	13:00	0	0	0	
1/28/	14:00	0	0	0	
1/28/	15:00	0	0	0	
1/28/	16:00	0	0	0	
1/28/	17:00	0	0	0	
1/28/	18:00	0.03	0.03	0	
1/28/	19:00	0.03	0.03	0	
1/28/	20:00	0.03	0.03	0	
1/28/	21:00	0.03	0.03	0	
1/28/	22:00	0.03	0.03	0	
1/28/	23:00	0.03	0.03	0	

1/29/	0:00	0.03	0.03	0	
1/29/	1:00	0.03	0.03	0	
1/29/	2:00	0.03	0.03	0	
1/29/	3:00	0.03	0.03	0	
1/29/	4:00	0.03	0.03	0	
1/29/	5:00	0.03	0.03	0	
1/29/	6:00	0	0	0	
1/29/	7:00	0	0	0	
1/29/	8:00	0	0	0	
1/29/	9:00	0	0	0	
1/29/	10:00	0	0	0	
1/29/	11:00	0	0	0	
1/29/	12:00	0	0	0	
1/29/	13:00	0	0	0	
1/29/	14:00	0	0	0	
1/29/	15:00	0	0	0	
1/29/	16:00	0	0	0	
1/29/	17:00	0	0	0	
1/29/	18:00	0.03	0.03	0	
1/29/	19:00	0.03	0.03	0	
1/29/	20:00	0.03	0.03	0	
1/29/	21:00	0.03	0.03	0	
1/29/	22:00	0.03	0.03	0	
1/29/	23:00	0.03	0.03	0	
1/30/	0:00	0.03	0.03	0	
1/30/	1:00	0.03	0.03	0	
1/30/	2:00	0.03	0.03	0	
1/30/	3:00	0.03	0.03	0	
1/30/	4:00	0.03	0.03	0	
1/30/	5:00	0.03	0.03	0	
1/30/	6:00	0	0	0	
1/30/	7:00	0	0	0	
1/30/	8:00	0	0	0	
1/30/	9:00	0	0	0	
1/30/	10:00	0	0	0	
1/30/	11:00	0	0	0	
1/30/	12:00	0	0	0	
1/30/	13:00	0	0	0	
1/30/	14:00	0	0	0	
1/30/	15:00	0	0	0	
1/30/	16:00	0	0	0	
1/30/	17:00	0	0	0	
1/30/	18:00	0.03	0.03	0	
1/30/	19:00	0.03	0.03	0	
1/30/	20:00	0.03	0.03	0	
1/30/	21:00	0.03	0.03	0	
1/30/	22:00	0.03	0.03	0	
1/30/	23:00	0.03	0.03	0	
1/31/	0:00	0.03	0.03	0	
1/31/	1:00	0.03	0.03	0	
1/31/	2:00	0.03	0.03	0	
1/31/	3:00	0.03	0.03	0	
1/31/	4:00	0.03	0.03	0	
1/31/	5:00	0.03	0.03	0	
1/31/	6:00	0	0	0	
1/31/	7:00	0	0	0	
1/31/	8:00	0	0	0	
1/31/	9:00	0	0	0	
1/31/	10:00	0	0	0	
1/31/	11:00	0	0	0	
1/31/	12:00	0	0	0	
1/31/	13:00	0	0	0	



1/31/	14:00	0	0	0	
1/31/	15:00	0	0	0	
1/31/	16:00	0	0	0	
1/31/	17:00	0	0	0	
1/31/	18:00	0.03	0.03	0	
1/31/	19:00	0.03	0.03	0	
1/31/	20:00	0.03	0.03	0	
1/31/	21:00	0.03	0.03	0	
1/31/	22:00	0.03	0.03	0	
1/31/	23:00	0.03	0.03	0	

3) Οι πίνακες με τα αποτελέσματα της προσομοίωσης του συστήματος από το πρόγραμμα PVSOL για κάθε μήνα ξεχωριστά.



**Πίνακες αποτελεσμάτων προσομοίωσης για κάθε μήνα:**

Ιανουάριος:

		Ακτινοβολία (kWh)	Ενέργεια από φωτοβολταϊκά (kWh)	Κατάσταση φόρτισης μπαταρίας (SOC%)	Απώλειες μπαταρίας (kWh)
1/ 1/	1/ 2/	4.52604	0.37485	40.5745	0.0602962
1/ 2/	1/ 3/	2.25988	0.18155	34.9451	0.0314541
1/ 3/	1/ 4/	5.92755	0.49314	44.4298	0.0774385
1/ 4/	1/ 5/	6.92919	0.58750	55.2641	0.0935275
1/ 5/	1/ 6/	2.16536	0.17867	52.2912	0.0324402
1/ 6/	1/ 7/	5.67404	0.47530	45.6158	0.0766512
1/ 7/	1/ 8/	4.61678	0.38477	45.6474	0.0630826
1/ 8/	1/ 9/	2.99667	0.23906	38.1596	0.0409577
1/ 9/	1/10/	3.11574	0.25586	37.1235	0.0418427
1/10/	1/11/	3.86400	0.32052	38.7087	0.0516947
1/11/	1/12/	6.34926	0.53365	46.1261	0.0844775
1/12/	1/13/	7.03227	0.60110	56.4489	0.0959168
1/13/	1/14/	5.71762	0.49543	64.2959	0.0803739
1/14/	1/15/	1.14946	0.09280	55.4426	0.0196885
1/15/	1/16/	1.30933	0.10453	33.6812	0.0196888

1/16/	1/17/	1.17188	0.09213	31.7237	0.0157899
1/17/	1/18/	6.67481	0.56147	46.7065	0.0877681
1/18/	1/19/	6.05079	0.51775	57.7001	0.0831644
1/19/	1/20/	4.15278	0.35344	58.2348	0.0588625
1/20/	1/21/	0.60103	0.04289	42.7298	0.0117264
1/21/	1/22/	2.38154	0.19413	34.4100	0.0320968
1/22/	1/23/	0.82930	0.06227	31.0546	0.0110344
1/23/	1/24/	3.01332	0.24643	35.9557	0.0401392
1/24/	1/25/	7.48593	0.62919	48.9039	0.0982646
1/25/	1/26/	6.26687	0.54020	62.7512	0.0867192
1/26/	1/27/	7.14295	0.62576	73.4808	0.1002568
1/27/	1/28/	2.36990	0.20226	71.5463	0.0367035
1/28/	1/29/	7.52390	0.66152	72.2860	0.1055724
1/29/	1/30/	3.25490	0.28565	75.4001	0.0493488
1/30/	1/31/	2.81452	0.24114	64.0414	0.0422483
1/31/	2/ 1/	2.57188	0.21419	50.4363	0.0376946
συνολικά		128 [kWh]	10.8 [kWh]	50 [%]	1.77 [kWh]

Φεβρουάριος:

		Ακτινοβολία (kWh)	Ενέργεια από φωτοβολταικά (kWh)	Κατάσταση φόρτισης μπαταρίας (SOC%)	Απώλειες μπαταρίας (kWh)
2/ 1/	2/ 2/	5.35007	0.44200	45.7291	0.0720430
2/ 2/	2/ 3/	2.22756	0.17931	38.3675	0.0323132
2/ 3/	2/ 4/	3.92599	0.31865	39.5556	0.0514248
2/ 4/	2/ 5/	3.59678	0.29448	39.2287	0.0485465
2/ 5/	2/ 6/	4.05133	0.32989	38.2454	0.0538181
2/ 6/	2/ 7/	7.25460	0.60741	48.6916	0.0964193
2/ 7/	2/ 8/	6.33813	0.52862	59.6645	0.0875630
2/ 8/	2/ 9/	7.26254	0.60753	72.2915	0.1014978
2/ 9/	2/10/	4.19835	0.34772	77.3687	0.0624515
2/10/	2/11/	5.98417	0.49672	78.8060	0.0860848
2/11/	2/12/	2.08555	0.16677	74.1272	0.0333282
2/12/	2/13/	2.38783	0.19182	57.6664	0.0359478
2/13/	2/14/	5.61377	0.46281	51.3649	0.0763767
2/14/	2/15/	2.45301	0.19726	45.3132	0.0356514
2/15/	2/16/	3.69716	0.30355	38.4783	0.0501782
2/16/	2/17/	5.81186	0.48156	44.3405	0.0770139
2/17/	2/18/	8.69543	0.73358	57.6568	0.1174190
2/18/	2/19/	2.97452	0.24316	62.0566	0.0438385
2/19/	2/20/	2.82978	0.22877	50.0885	0.0409119
2/20/	2/21/	6.97292	0.58226	48.5046	0.0934392
2/21/	2/22/	4.11022	0.33347	52.3644	0.0567931
2/22/	2/23/	2.42684	0.19311	42.2172	0.0344177
2/23/	2/24/	3.09762	0.24706	35.6328	0.0411864
2/24/	2/25/	4.19912	0.34509	39.0842	0.0557506
2/25/	2/26/	2.80982	0.22538	36.4517	0.0383127
2/26/	2/27/	5.98598	0.49196	44.0539	0.0776828
2/27/	2/28/	7.29374	0.60943	57.4620	0.0986995
2/28/	3/ 1/	4.53251	0.36906	64.7544	0.0635764
συνολικά		128 [kWh]	10.6 [kWh]	51 [%]	1.76 [kWh]

Μάρτιος:

		Ακτινοβολία (kWh)	Ενέργεια από φωτοβολταϊκά (kWh)	Κατάσταση φόρτισης μπαταρίας (SOC%)	Απώλειες μπαταρίας (kWh)
3/ 1/	3/ 2/	3.94755	0.32279	62.4633	0.0559364
3/ 2/	3/ 3/	2.17300	0.17120	55.6148	0.0317822
3/ 3/	3/ 4/	1.33895	0.10468	40.5931	0.0205503
3/ 4/	3/ 5/	2.06410	0.16348	34.2089	0.0276799
3/ 5/	3/ 6/	8.17449	0.68436	51.0442	0.1069264
3/ 6/	3/ 7/	7.28180	0.61657	72.3123	0.1018431
3/ 7/	3/ 8/	5.22321	0.43897	85.6669	0.0703853
3/ 8/	3/ 9/	3.49138	0.28498	85.5317	0.0527592
3/ 9/	3/10/	1.92405	0.15203	77.4880	0.0303358
3/10/	3/11/	6.89814	0.57624	78.9087	0.0972115
3/11/	3/12/	8.02756	0.67115	89.2715	0.0604760
3/12/	3/13/	4.68922	0.38142	86.1023	0.0603353
3/13/	3/14/	4.81540	0.39587	88.0066	0.0604199
3/14/	3/15/	4.34223	0.35572	87.5826	0.0604011
3/15/	3/16/	5.86492	0.48708	88.3998	0.0604374
3/16/	3/17/	5.64738	0.46641	88.4733	0.0604407
3/17/	3/18/	5.82273	0.48069	88.5747	0.0604452
3/18/	3/19/	2.11625	0.16708	81.5631	0.0328677
3/19/	3/20/	2.46812	0.19650	70.0031	0.0368791
3/20/	3/21/	4.28449	0.34972	65.1290	0.0605959
3/21/	3/22/	7.22706	0.60231	74.4760	0.1008564
3/22/	3/23/	4.16308	0.34026	84.2004	0.0612999
3/23/	3/24/	4.66446	0.37818	86.0639	0.0670588
3/24/	3/25/	9.93966	0.84013	89.7408	0.0604971
3/25/	3/26/	9.33729	0.81062	89.6359	0.0604924
3/26/	3/27/	9.32365	0.83358	89.6888	0.0604948
3/27/	3/28/	6.89552	0.61579	89.1360	0.0604702
3/28/	3/29/	4.25868	0.36373	89.3655	0.0604804
3/29/	3/30/	2.73461	0.22892	83.2647	0.0418255
3/30/	3/31/	7.23668	0.60630	84.8406	0.0786627
3/31/	4/ 1/	6.53274	0.54027	88.4089	0.0604378
Συνολικά		163 [kWh]	13.6 [kWh]	78 [%]	1.86[kWh]

Απρίλιος:

		Ακτινοβολία (kWh)	Ενέργεια από φωτοβολταϊκά (kWh)	Κατάσταση φόρτισης μπαταρίας (SOC%)	Απώλειες μπαταρίας (kWh)
4/ 1/	4/ 2/	4.58704	0.37475	87.7708	0.0604095
4/ 2/	4/ 3/	6.19096	0.51331	88.9037	0.0604598
4/ 3/	4/ 4/	1.62134	0.12789	79.8252	0.0266509
4/ 4/	4/ 5/	8.08441	0.67306	81.2940	0.0935266
4/ 5/	4/ 6/	2.71531	0.21897	83.1449	0.0413360
4/ 6/	4/ 7/	6.67821	0.55620	83.4662	0.0790858
4/ 7/	4/ 8/	9.38436	0.78930	89.7645	0.0604981
4/ 8/	4/ 9/	9.26170	0.79748	89.8161	0.0605004
4/ 9/	4/10/	10.25305	0.90742	89.9150	0.0605048

4/10/	4/11/	10.16966	0.91263	89.9041	0.0605043
4/11/	4/12/	4.61902	0.39528	86.9941	0.0603749
4/12/	4/13/	8.16275	0.71903	89.7525	0.0604976
4/13/	4/14/	4.95616	0.42886	88.1941	0.0604283
4/14/	4/15/	8.98761	0.78918	89.8028	0.0604998
4/15/	4/16/	6.22062	0.55142	89.1617	0.0604713
4/16/	4/17/	8.36977	0.73839	89.7047	0.0605232
4/17/	4/18/	7.38041	0.64382	89.2951	0.0604626
4/18/	4/19/	9.14734	0.81754	89.8639	0.0604894
4/19/	4/20/	9.50555	0.85323	89.8996	0.0605319
4/20/	4/21/	7.41386	0.66021	89.5782	0.0604621
4/21/	4/22/	8.26634	0.73819	89.6626	0.0605213
4/22/	4/23/	5.34790	0.46534	88.5898	0.0604459
4/23/	4/24/	3.27944	0.27611	85.1688	0.0487743
4/24/	4/25/	7.22507	0.60667	87.3663	0.0719109
4/25/	4/26/	9.25841	0.79213	89.9086	0.0605045
4/26/	4/27/	9.28999	0.81714	89.9194	0.0605050
4/27/	4/28/	8.26609	0.74019	89.5081	0.0604867
4/28/	4/29/	3.94219	0.34008	87.0002	0.0579586
4/29/	4/30/	3.92991	0.32889	85.8049	0.0572829
4/30/	5/ 1/	3.73336	0.30227	84.7527	0.0540756
Συνολικά		206 [kWh]	17.9 [kWh]	88 [%]	1.81[kWh]

Μάιος:

		Ακτινοβολία (kWh)	Ενέργεια από φωτοβολταικά (kWh)	Κατάσταση φόρτισης μπαταρίας (SOC%)	Απώλειες μπαταρίας (kWh)
5/ 1/	5/ 2/	7.16231	0.58145	88,5043	0,0714778
5/ 2/	5/ 3/	9.36573	0.78150	93,0280	0,0493420
5/ 3/	5/ 4/	7.74502	0.64680	93,2385	0,0493236
5/ 4/	5/ 5/	8.78549	0.75687	93,0127	0,0493691
5/ 5/	5/ 6/	7.27334	0.61908	93,2241	0,0493507
5/ 6/	5/ 7/	3.50856	0.29392	90,9171	0,0492481
5/ 7/	5/ 8/	8.43696	0.71916	92,8924	0,0493360
5/ 8/	5/ 9/	9.50836	0.83118	93,1178	0,0493460
5/ 9/	5/10/	7.12526	0.63002	92,7921	0,0493315
5/10/	5/11/	7.05769	0.62662	92,7673	0,0493304
5/11/	5/12/	9.08495	0.81011	93,0513	0,0493430
5/12/	5/13/	8.31462	0.73842	92,9877	0,0493402
5/13/	5/14/	7.26282	0.63418	93,2239	0,0493507
5/14/	5/15/	8.73316	0.77741	93,1180	0,0493460
5/15/	5/16/	3.77435	0.31748	90,2557	0,0492187
5/16/	5/17/	9.52320	0.83484	93,1299	0,0493465
5/17/	5/18/	8.35546	0.74085	93,0058	0,0493410
5/18/	5/19/	7.58799	0.67317	92,8623	0,0493346
5/19/	5/20/	7.69469	0.67912	92,9078	0,0493367

5/20/	5/21/	7.66738	0.66943	92,8321	0,0493333
5/21/	5/22/	7.43823	0.64217	93,2330	0,0493511
5/22/	5/23/	7.49688	0.65189	93,2373	0,0493513
5/23/	5/24/	6.93316	0.60661	93,0177	0,0493415
5/24/	5/25/	10.35240	0.91809	93,2176	0,0493504
5/25/	5/26/	5.26324	0.45114	91,7452	0,0492850
5/26/	5/27/	10.33969	0.90483	93,2062	0,0493499
5/27/	5/28/	6.00579	0.52340	92,5364	0,0493201
5/28/	5/29/	5.33016	0.45006	92,5905	0,0493225
5/29/	5/30/	7.23033	0.61181	93,1939	0,0493494
5/30/	5/31/	10.36050	0.90470	93,2127	0,0493502
5/31/	6/ 1/	5.38386	0.45256	92,6476	0,0493251
Συνολικά		236 [kWh]	20.5 [kWh]	93 [%]	1,55 [kWh]

Ιούνιος:

		Ακτινοβολία (kWh)	Ενέργεια από φωτοβολταικά (kWh)	Κατάσταση φόρτισης μπαταρίας (SOC%)	Απώλειες μπαταρίας (kWh)
6/ 1/	6/ 2/	8.56787	0.75251	92,9927	0,0493404
6/ 2/	6/ 3/	7.32799	0.62964	93,2386	0,0493514
6/ 3/	6/ 4/	7.48105	0.64780	93,1977	0,0493495
6/ 4/	6/ 5/	9.19063	0.81640	93,0732	0,0493440
6/ 5/	6/ 6/	10.50671	0.92961	93,2178	0,0493504
6/ 6/	6/ 7/	8.66511	0.76560	92,9995	0,0493407
6/ 7/	6/ 8/	8.91330	0.78424	92,9925	0,0493404
6/ 8/	6/ 9/	8.92493	0.78545	93,0157	0,0493415
6/ 9/	6/10/	8.74570	0.76570	92,8955	0,0493361
6/10/	6/11/	9.34099	0.82487	93,0395	0,0493425
6/11/	6/12/	10.07961	0.88353	93,1427	0,0493471
6/12/	6/13/	10.16011	0.88477	93,1587	0,0493478
6/13/	6/14/	9.33255	0.81123	93,0541	0,0493432
6/14/	6/15/	7.47845	0.64519	93,2580	0,0493522
6/15/	6/16/	6.52427	0.55923	92,5326	0,0493200
6/16/	6/17/	9.91033	0.86995	93,1230	0,0493462
6/17/	6/18/	10.32973	0.89321	93,1446	0,0493472
6/18/	6/19/	5.81233	0.50620	92,5430	0,0493204
6/19/	6/20/	6.59763	0.57066	92,1441	0,0492749
6/20/	6/21/	9.53870	0.82895	93,0553	0,0493710
6/21/	6/22/	8.91936	0.77796	93,1581	0,0493478
6/22/	6/23/	8.78376	0.76748	92,9910	0,0493404
6/23/	6/24/	8.04846	0.68434	92,8481	0,0493340
6/24/	6/25/	9.62145	0.83431	93,0531	0,0493431
6/25/	6/26/	9.15598	0.78702	92,9108	0,0493368
6/26/	6/27/	5.40403	0.45433	92,5962	0,0493325
6/27/	6/28/	9.02511	0.78320	93,0151	0,0493318
6/28/	6/29/	9.46582	0.83288	93,0293	0,0493421
6/29/	6/30/	3.50142	0.29672	91,0498	0,0492540
6/30/	7/ 1/	4.73302	0.39641	91,9702	0,0492950

Συνολικά		250 [kWh]	21.8 [kWh]	93 [%]	1.48 [kWh]
----------	--	-----------	------------	--------	------------

Ιούλιος:

		Ακτινοβολία (kWh)	Ενέργεια από φωτοβολταικά (kWh)	Κατάσταση φόρτισης μπαταρίας (SOC%)	Απώλειες μπαταρίας (kWh)
7/ 1/	7/ 2/	8.61186	0.73067	92,9777	0,0493398
7/ 2/	7/ 3/	7.26651	0.61342	93,0857	0,0493446
7/ 3/	7/ 4/	8.96907	0.76752	92,9036	0,0493365
7/ 4/	7/ 5/	7.19887	0.60486	92,7529	0,0493298
7/ 5/	7/ 6/	8.59040	0.74998	93,0096	0,0493412
7/ 6/	7/ 7/	9.49024	0.83609	93,0036	0,0493409
7/ 7/	7/ 8/	10.77460	0.94167	93,1621	0,0493480
7/ 8/	7/ 9/	2.64755	0.21416	88,2511	0,0380397
7/ 9/	7/10/	5.11589	0.42331	89,2944	0,0602659
7/10/	7/11/	9.35151	0.78028	92,9568	0,0493388
7/11/	7/12/	6.03922	0.50842	92,8576	0,0493067
7/12/	7/13/	9.99713	0.84854	93,0402	0,0493703
7/13/	7/14/	10.03152	0.87481	93,0747	0,0493441
7/14/	7/15/	9.82505	0.86615	93,0252	0,0493419
7/15/	7/16/	8.29977	0.71921	92,9253	0,0493374
7/16/	7/17/	8.83757	0.77209	92,8390	0,0493336
7/17/	7/18/	10.35983	0.89849	93,0660	0,0493437
7/18/	7/19/	9.21227	0.80281	92,9423	0,0493382
7/19/	7/20/	9.24755	0.80378	92,9331	0,0493378
7/20/	7/21/	9.67532	0.85142	93,0182	0,0493416
7/21/	7/22/	9.66441	0.82938	92,9808	0,0493399
7/22/	7/23/	10.07538	0.87457	93,0209	0,0493417
7/23/	7/24/	10.05642	0.88298	93,0142	0,0493414
7/24/	7/25/	8.37943	0.73013	92,9489	0,0493385
7/25/	7/26/	8.44346	0.74242	92,8110	0,0493324
7/26/	7/27/	8.21356	0.72061	92,7959	0,0493317
7/27/	7/28/	8.18382	0.72034	92,8333	0,0493333
7/28/	7/29/	9.54851	0.83549	92,9624	0,0493391
7/29/	7/30/	7.63608	0.66154	92,7198	0,0493283
7/30/	7/31/	9.79638	0.85969	92,9998	0,0493407
7/31/	8/ 1/	9.88188	0.86497	92,9897	0,0493403
Συνολικά		269 [kWh]	23.3 [kWh]	93 [%]	1,93[kWh]

Αύγουστος:

		Ακτινοβολία (kWh)	Ενέργεια από φωτοβολταικά (kWh)	Κατάσταση φόρτισης μπαταρίας (SOC%)	Απώλειες μπαταρίας (kWh)
8/ 1/	8/ 2/	10.24009	0.90054	93,0278	0,0493420

8/ 2/	8/ 3/	9.96650	0.88331	93,0416	0,0493426
8/ 3/	8/ 4/	10.05073	0.88515	93,0231	0,0493418
8/ 4/	8/ 5/	10.23828	0.90382	93,0657	0,0493437
8/ 5/	8/ 6/	10.28023	0.89855	93,0423	0,0493426
8/ 6/	8/ 7/	8.31041	0.72263	92,8043	0,0493321
8/ 7/	8/ 8/	8.13329	0.71471	92,7727	0,0493306
8/ 8/	8/ 9/	9.58150	0.84799	92,9806	0,0493399
8/ 9/	8/10/	8.88936	0.78968	92,8891	0,0493358
8/10/	8/11/	9.57294	0.84182	92,9419	0,0493382
8/11/	8/12/	7.93518	0.69799	92,7313	0,0493288
8/12/	8/13/	8.41107	0.73883	92,8052	0,0493321
8/13/	8/14/	9.88119	0.86943	92,9923	0,0493404
8/14/	8/15/	8.55713	0.75067	92,8147	0,0493325
8/15/	8/16/	9.41624	0.82747	92,9089	0,0493367
8/16/	8/17/	9.67672	0.85030	92,9744	0,0493396
8/17/	8/18/	8.34325	0.72561	92,1491	0,0549363
8/18/	8/19/	9.65973	0.83130	92,3219	0,0549507
8/19/	8/20/	8.05343	0.69570	92,0428	0,0549488
8/20/	8/21/	7.49971	0.64974	91,8607	0,0549407
8/21/	8/22/	8.43411	0.73893	92,2827	0,0549595
8/22/	8/23/	6.94836	0.59496	92,4573	0,0549672
8/23/	8/24/	7.51509	0.65635	92,2121	0,0549563
8/24/	8/25/	8.54354	0.74690	92,1562	0,0549539
8/25/	8/26/	8.29077	0.71699	92,1877	0,0549553
8/26/	8/27/	7.78489	0.67918	92,1408	0,0549532
8/27/	8/28/	9.22587	0.81229	92,2785	0,0549593
8/28/	8/29/	8.32682	0.72804	92,1649	0,0549542
8/29/	8/30/	7.43592	0.64969	91,5785	0,0549282
8/30/	8/31/	5.22885	0.44841	91,1709	0,0549100
8/31/	9/ 1/	9.94284	0.87020	92,3711	0,0549634
Συνολικά		270 [kWh]	23.7 [kWh]	93 [%]	2.65[kWh]

Σεπτέμβριος:

		Ακτινοβολία (kWh)	Ενέργεια από φωτοβολταικά (kWh)	Κατάσταση φόρτισης μπαταρίας(SOC%)	Απώλειες μπαταρίας (kWh)
9/ 1/	9/ 2/	8.66741	0.76176	91,2764	0,0555344
9/ 2/	9/ 3/	10.02004	0.88333	89,3043	0,0661283
9/ 3/	9/ 4/	5.11984	0.43106	86,5632	0,0660341
9/ 4/	9/ 5/	8.49463	0.73030	88,8981	0,0660825
9/ 5/	9/ 6/	7.91775	0.69277	88,8777	0,0661093
9/ 6/	9/ 7/	7.10645	0.61522	88,6274	0,0660982
9/ 7/	9/ 8/	5.39150	0.46044	86,7112	0,0660130
9/ 8/	9/ 9/	8.91920	0.78706	89,0777	0,0661182
9/ 9/	9/10/	4.50829	0.38865	86,8635	0,0654652
9/10/	9/11/	3.80236	0.31719	84,3345	0,0554849
9/11/	9/12/	4.08496	0.33417	80,5241	0,0593371
9/12/	9/13/	6.70111	0.55228	83,9105	0,0832659
9/13/	9/14/	8.33784	0.68972	88,8524	0,0661082
9/14/	9/15/	9.53564	0.80806	89,2183	0,0661245

9/15/	9/16/	9.67134	0.84234	89,2475	0,0661258
9/16/	9/17/	9.50366	0.84840	89,2396	0,0661254
9/17/	9/18/	9.01223	0.80559	89,0134	0,0661153
9/18/	9/19/	8.91537	0.78501	89,0702	0,0661179
9/19/	9/20/	7.45734	0.65338	88,4207	0,0660890
9/20/	9/21/	8.67423	0.76435	89,0762	0,0661181
9/21/	9/22/	9.30727	0.82345	89,1617	0,0661219
9/22/	9/23/	9.90804	0.87947	89,3696	0,0661312
9/23/	9/24/	9.12876	0.81572	89,1038	0,0661194
9/24/	9/25/	9.93995	0.88355	88,7551	0,0664147
9/25/	9/26/	5.59843	0.48876	85,9222	0,0716285
9/26/	9/27/	8.12185	0.71040	87,5892	0,0713918
9/27/	9/28/	9.26000	0.82726	88,5988	0,0664077
9/28/	9/29/	7.92489	0.70163	87,2699	0,0713776
9/29/	9/30/	8.94159	0.79115	88,4606	0,0664016
9/30/	10/ 1/	9.49971	0.84293	87,4567	0,0716967
Συνολικά		239 [kWh]	20.9 [kWh]	88 [%]	1,99 [kWh]

### Οκτώβριος:

		Ακτινοβολία (kWh)	Ενέργεια από φωτοβολταικά (kWh)	Κατάσταση φόρτισης μπαταρίας (SOC%)	Απώλειες μπαταρίας (kWh)
10/ 1/	10/ 2/	9.28179	0,82352	87,4276	0,0716954
10/ 2/	10/ 3/	9.33722	0,83435	87,3973	0,0716941
10/ 3/	10/ 4/	9.48460	0.84099	87,4694	0,0716973
10/ 4/	10/ 5/	9.09072	0.81419	87,3490	0,0716919
10/ 5/	10/ 6/	4.61349	0.39622	85,9730	0,0665011
10/ 6/	10/ 7/	3.28210	0.26540	76,3773	0,0473510
10/ 7/	10/ 8/	8.70817	0.73170	80,2622	0,1003318
10/ 8/	10/ 9/	7.18988	0.60947	86,7067	0,0716634
10/ 9/	10/10/	4.21200	0.34736	82,9217	0,0619763
10/10/	10/11/	6.54732	0.54092	84,6203	0,0810893
10/11/	10/12/	5.64614	0.46582	85,3617	0,0716036
10/12/	10/13/	3.98071	0.31667	80,6101	0,0573343
10/13/	10/14/	3.70926	0.29868	74,8414	0,0540437
10/14/	10/15/	8.53002	0.70818	79,4752	0,1024918
10/15/	10/16/	5.37051	0.44004	85,3209	0,0716018
10/16/	10/17/	6.06117	0.49869	86,6327	0,0716601
10/17/	10/18/	8.58437	0.71972	87,3251	0,0716909
10/18/	10/19/	8.38988	0.71132	87,2326	0,0716868
10/19/	10/20/	7.11950	0.61234	86,9392	0,0716737
10/20/	10/21/	6.31615	0.53717	85,5783	0,0772638
10/21/	10/22/	5.32016	0.44803	84,9748	0,0772371



10/22/	10/23/	1.93336	0.15284	74,1261	0,0310843
10/23/	10/24/	2.24491	0.17932	53,8839	0,0338722
10/24/	10/25/	2.57264	0.20622	37,1609	0,0363218
10/25/	10/26/	2.76420	0.22064	34,3871	0,0363848
10/26/	10/27/	3.07126	0.24894	36,6088	0,0408490
10/27/	10/28/	8.38878	0.70030	52,2744	0,1099429
10/28/	10/29/	8.13696	0.68712	70,5311	0,1123766
10/29/	10/30/	7.27479	0.61562	82,5617	0,0911826
10/30/	10/31/	3.61471	0.29850	79,3428	0,0540105
10/31/	11/ 1/	3.59625	0.29394	69,3245	0,0529042
Συνολικά		184 [kWh]	15.6 [kWh]	76 [%]	2,11[kWh]

Νοέμβριος:

		Ακτινοβολία (kWh)	Ενέργεια από φωτοβολταικά (kWh)	Κατάσταση φόρτισης μπαταρίας (SOC%)	Απώλειες μπαταρίας (kWh)
11/ 1/	11/ 2/	4,85012	0,40260	65,6503	0,0691432
11/ 2/	11/ 3/	7,32135	0,61306	73,4515	0,1027174
11/ 3/	11/ 4/	3,14510	0,25399	73,7103	0,0471836
11/ 4/	11/ 5/	0,77162	0,05657	56,6602	0,0144284
11/ 5/	11/ 6/	1,37962	0,10758	33,7418	0,0202703
11/ 6/	11/ 7/	1,35298	0,10497	32,1259	0,0179103
11/ 7/	11/ 8/	1,25825	0,09758	31,9707	0,0167161
11/ 8/	11/ 9/	4,57176	0,37616	40,9012	0,0601149
11/ 9/	11/10/	3,99792	0,32415	40,9115	0,0535728
11/10/	11/11/	2,17716	0,17306	34,1905	0,0298109
11/11/	11/12/	3,13430	0,24857	35,7990	0,0407528
11/12/	11/13/	6,77323	0,56372	47,3767	0,0890094
11/13/	11/14/	7,69809	0,64361	61,2450	0,1047286
11/14/	11/15/	8,07991	0,67534	77,4721	0,1076045
11/15/	11/16/	7,98713	0,67391	87,5537	0,0660504
11/16/	11/17/	3,21215	0,26499	79,3717	0,0484527
11/17/	11/18/	1,15498	0,08901	63,1972	0,0199198
11/18/	11/19/	1,73309	0,13767	41,9747	0,0262808
11/19/	11/20/	4,97342	0,40775	41,2828	0,0653500
11/20/	11/21/	4,11206	0,33473	40,1744	0,0555784
11/21/	11/22/	5,36380	0,44256	43,3575	0,0713315
11/22/	11/23/	5,19196	0,42346	46,9815	0,0694582
11/23/	11/24/	4,90046	0,40343	47,1632	0,0666497
11/24/	11/25/	5,28649	0,43607	46,6356	0,0714766
11/25/	11/26/	5,60085	0,46208	47,9970	0,0755828

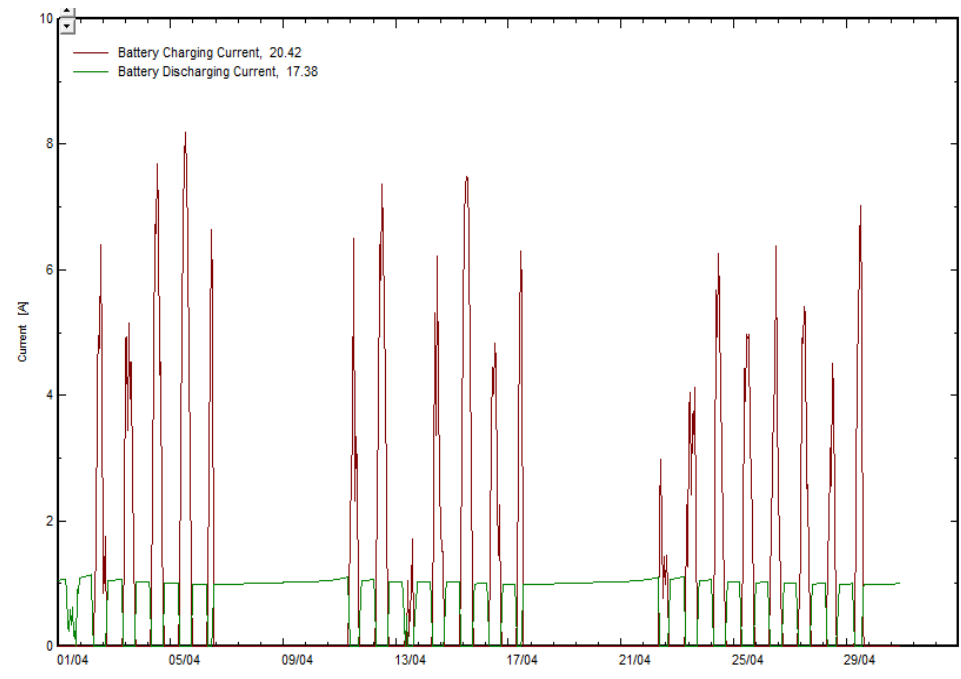
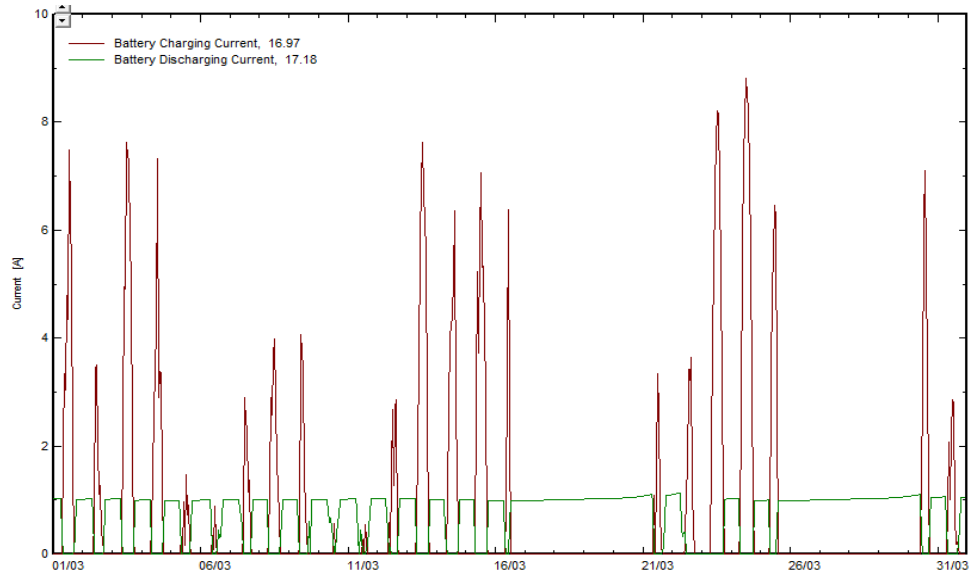
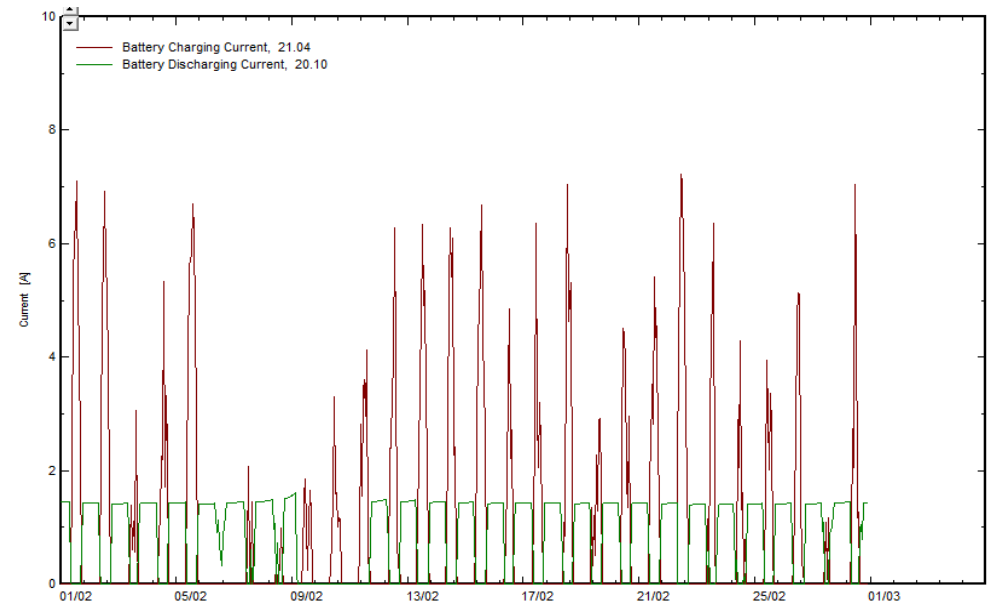
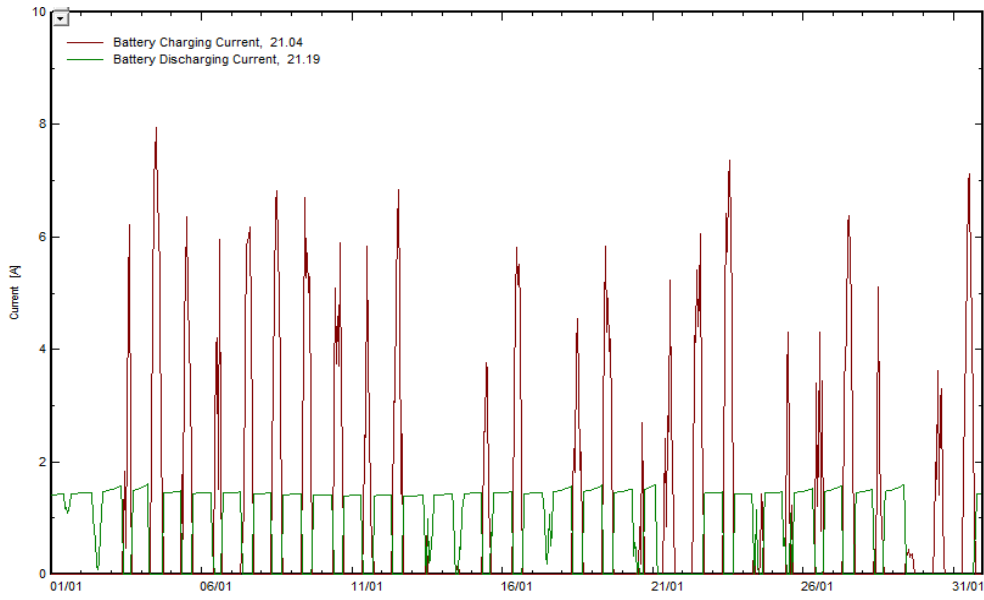
11/26/	11/27/	3,21659	0,25556	42,0123	0,0440732
11/27/	11/28/	3,99170	0,32494	40,3038	0,0533224
11/28/	11/29/	6,66429	0,55436	47,2334	0,0882616
11/29/	11/30/	4,66843	0,38240	53,3615	0,0642964
11/30/	12/ 1/	6,80699	0,56549	57,6380	0,0925209
Συνολικά		<b>131 [kWh]</b>	<b>10,8 [kWh]</b>	<b>51 [%]</b>	<b>1.75 [kWh]</b>

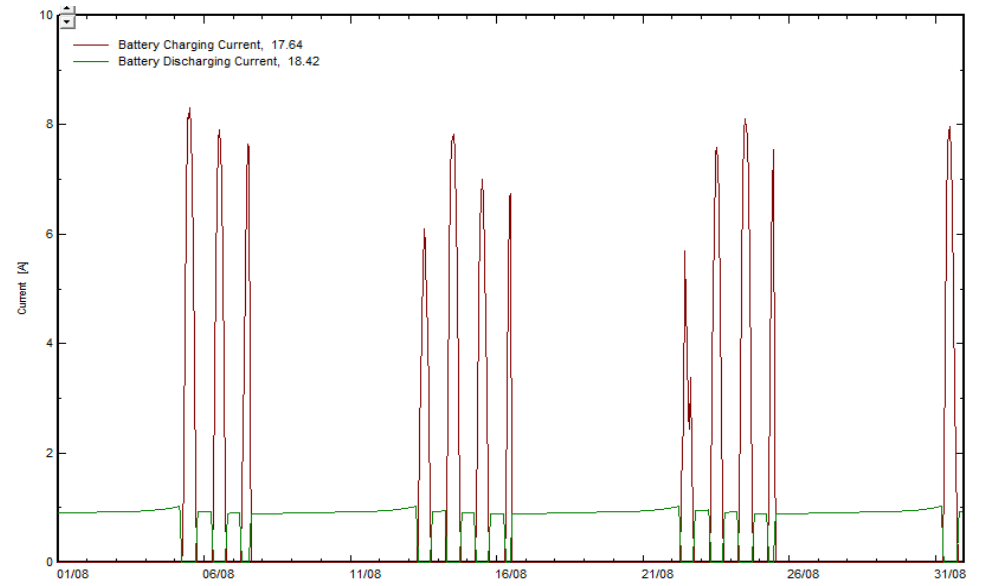
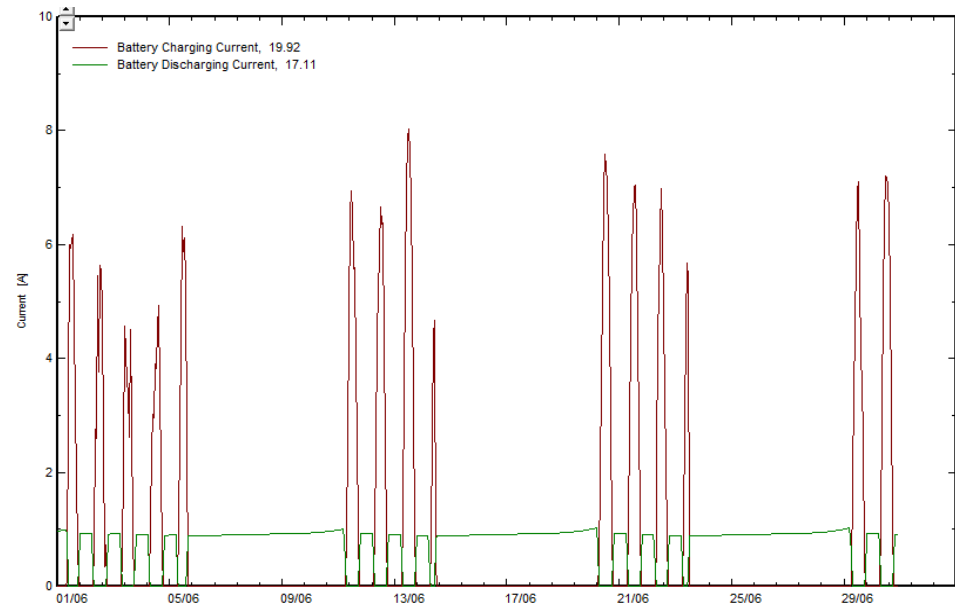
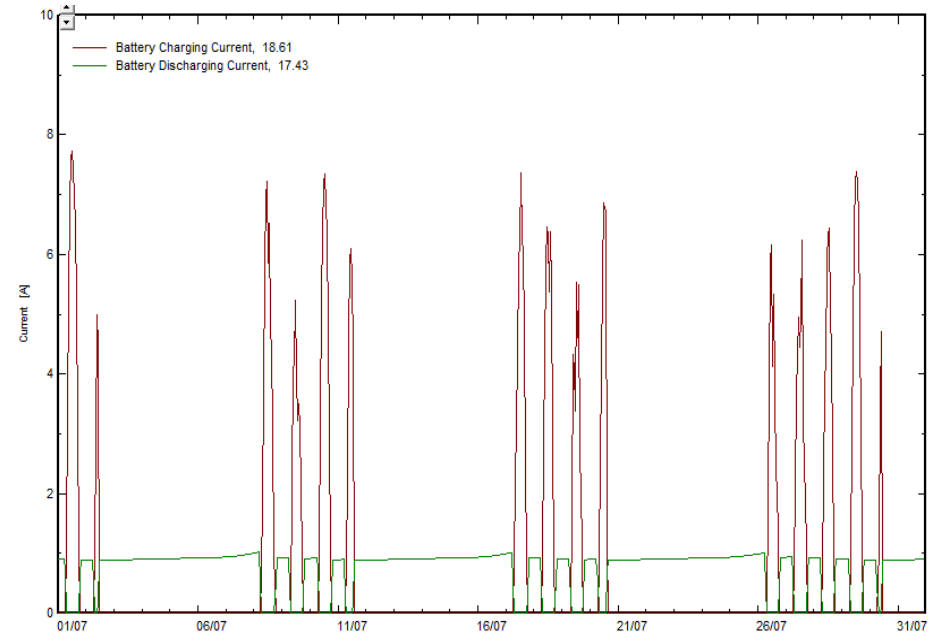
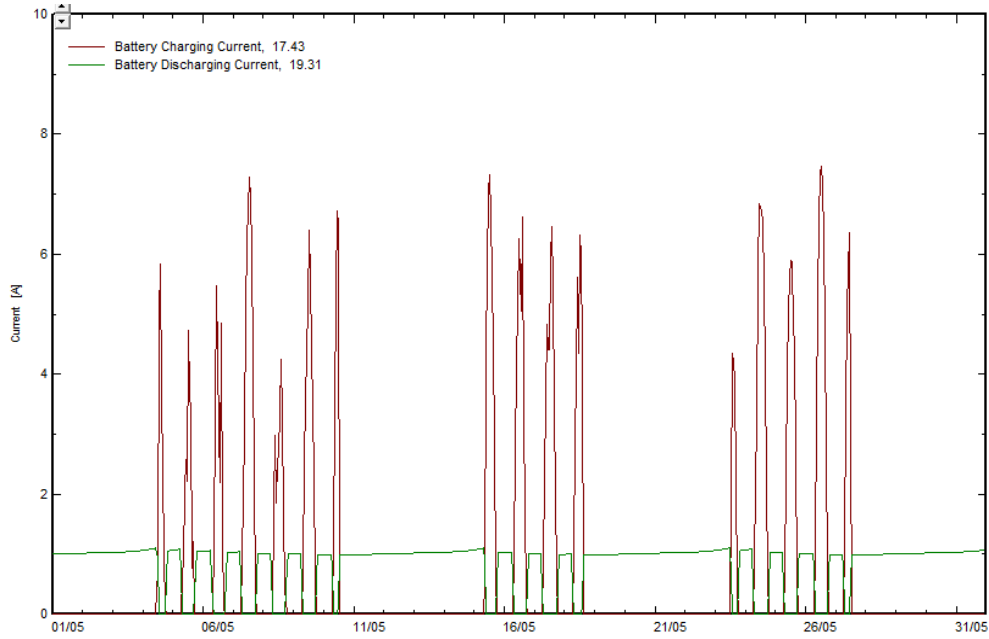
Δεκέμβριος:

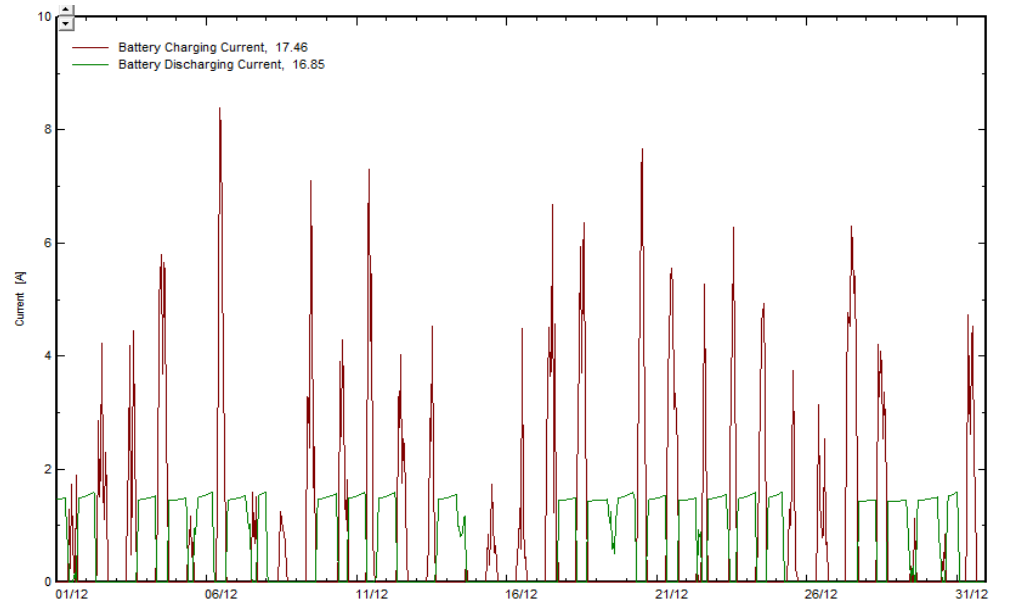
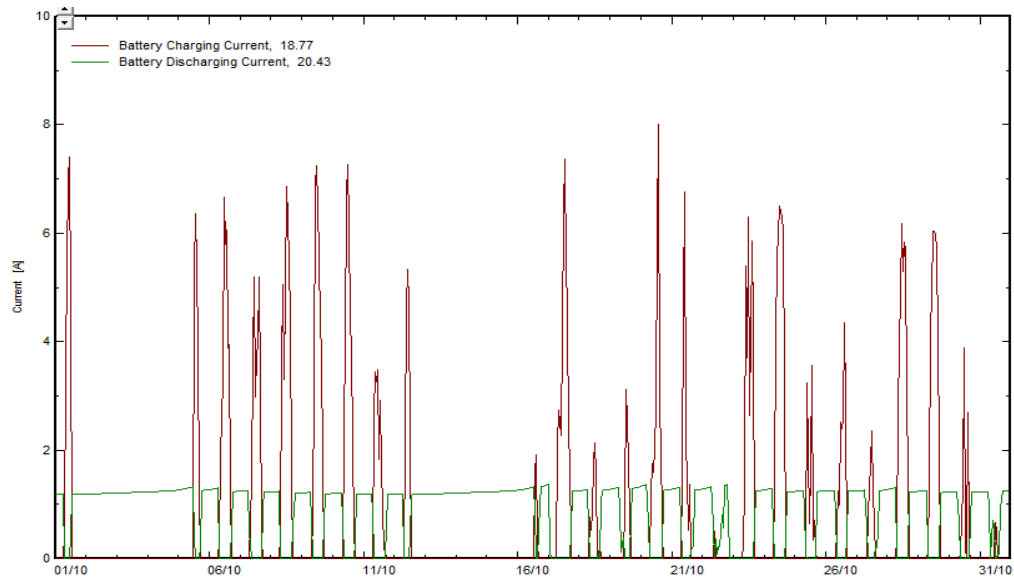
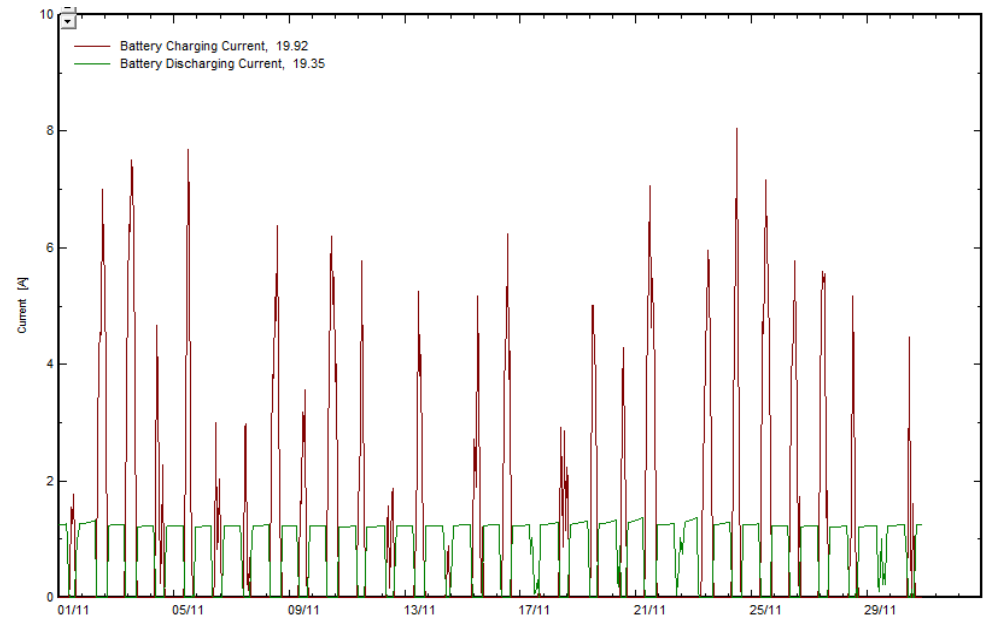
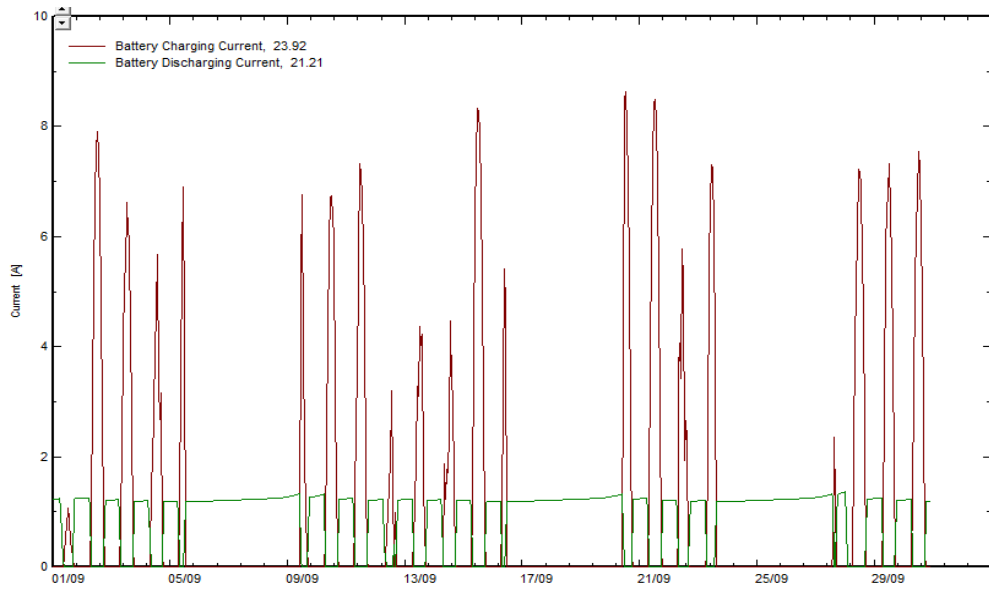
		Ακτινοβολία (kWh)	Ενέργεια από φωτοβολταικά (kWh)	Κατάσταση φόρτισης μπαταρίας (SOC%)	Απώλειες μπαταρίας (kWh)
12/ 1/	12/ 2/	6,66286	0,55306	67,5007	0,0924614
12/ 2/	12/ 3/	6,64436	0,55445	77,7055	0,0946405
12/ 3/	12/ 4/	2,55161	0,20005	74,1013	0,0381766
12/ 4/	12/ 5/	1,87241	0,14635	57,7146	0,0285061
12/ 5/	12/ 6/	2,54178	0,20531	41,3188	0,0364643
12/ 6/	12/ 7/	2,34514	0,18734	33,5616	0,0316545
12/ 7/	12/ 8/	5,84530	0,48533	44,3811	0,0767993
12/ 8/	12/ 9/	2,56445	0,20712	40,4330	0,0366501
12/ 9/	12/10/	1,91105	0,15276	33,3866	0,0260421
12/10/	12/11/	1,62665	0,12840	32,6464	0,0216653
12/11/	12/12/	1,37303	0,10773	32,1996	0,0183516
12/12/	12/13/	6,47048	0,53785	46,3122	0,0847789
12/13/	12/14/	2,45231	0,19270	44,2737	0,0344740
12/14/	12/15/	2,30034	0,18173	33,6710	0,0312560
12/15/	12/16/	0,97200	0,07380	31,3901	0,0128979
12/16/	12/17/	1,98815	0,15818	33,4330	0,0264529
12/17/	12/18/	3,85454	0,31119	38,1120	0,0502424
12/18/	12/19/	6,36236	0,52909	46,2608	0,0842920
12/19/	12/20/	3,84778	0,31151	46,5145	0,0531029
12/20/	12/21/	1,72844	0,13698	35,8176	0,0249732
12/21/	12/22/	5,30137	0,43791	42,6870	0,0695758
12/22/	12/23/	6,04347	0,50033	47,2049	0,0810957
12/23/	12/24/	7,11926	0,59394	55,5682	0,0964076
12/24/	12/25/	2,23128	0,17834	52,2475	0,0332983
12/25/	12/26/	4,25100	0,34796	42,1203	0,0579255
12/26/	12/27/	3,19596	0,25746	36,3910	0,0433548
12/27/	12/28/	1,28006	0,10100	31,9461	0,0176504
12/28/	12/29/	2,99927	0,24114	37,0626	0,0395345

12/29/	12/30/	3,72787	0,30287	38,3569	0,0492283
12/30/	12/31/	1,79844	0,14187	32,5779	0,0246030
12/31/	1/ 1/	3,66606	0,29905	37,0534	0,0483852
Συνολικά		<b>108 [kWh]</b>	<b>8,8 [kWh]</b>	<b>43 [%]</b>	<b>1,43[kWh]</b>

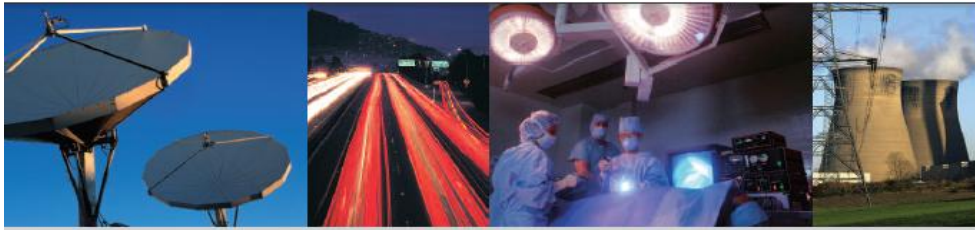
Ακολουθούν οι καμπύλες με τα ρεύματα φόρτισης – εκφόρτισης του συσσωρευτή για κάθε μήνα του έτους 2010:







# ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Γ



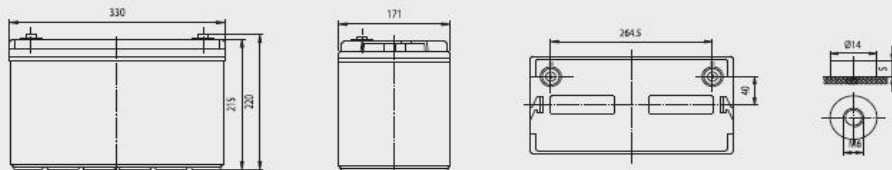
## VRLA Battery **SPB 12-100**

Specifications

<b>Nominal Voltage</b>	12 V				
<b>Rated Capacity (25 °C)</b>	<b>20hr Rate (1,80V/cell)</b>	<b>10hr Rate (1,80V/cell)</b>	<b>5hr Rate (1,70V/cell)</b>	<b>1hr Rate (1,60V/cell)</b>	
	106 Ah	100 Ah	89 Ah	63 Ah	
<b>Dimensions (mm) &amp; Weight (kg)</b>	<b>Length</b>	<b>Width</b>	<b>Height</b>	<b>Overall Height</b>	<b>Weight</b>
	330mm	171mm	215mm	220mm	32 kg
<b>Number / Type of Terminals</b>	2 / M6				

### Technical Characteristics

<b>Design Life at 20°C</b>	10-12 years
<b>Eurobat Classification</b>	High Performance
<b>Internal Resistance (Fully charged - 25°C)</b>	5 mΩ
<b>Short-circuit current</b>	2100 A
<b>Max Charging Current</b>	30 A
<b>Min safe end Discharge Voltage</b>	1,60 V/cell
<b>Self discharge per month at 20°C</b>	3%
<b>Recommended Charging Voltage at 20°C</b>	Stand-by use (V/cell): 2,25 to 2,30 Cycle use (V/cell): 2,40 to 2,50
<b>Container Material</b>	ABS-UL94 HB
<b>Electrolyte Type</b>	Sulfuric Acid
<b>Type of plates / Alloy</b>	Flat plates / Lead-Calcium-Tin alloy
<b>Type of Separator</b>	Absorbant Glass Mat
<b>Valve Type / Operational Pressure</b>	Rubber / 1-3 psi (70-200 mbar)
<b>Operating Temperature Range</b>	-20 to + 50°C
<b>Storage time at 20°C</b>	9 months



#### SYSTEMS SUNLIGHT S.A.

**Headquarters**  
23rd Km. N.R. Athens - Lamia,  
145 65 Agios Stefanos - Attica, Greece  
Tel.: +30 210 624 5400,  
Fax: +30 210 624 5409

#### Manufacturing Plant

Neo Olio  
67 200 Xanthi, Greece  
Tel.: +30 25410 48100,  
Fax: +30 25410 95446

**SUNLIGHT**  
creating energy  
www.sunlight.gr

### Mechanical data

Cell	Polycrystalline (126 mm) <sup>2</sup> Sharp silicon solar cells
Quantity and wiring of cells	36 in series
Dimensions	1,214 x 545 x 36 mm (0,66 m <sup>2</sup> )
Weight	9 kg
Connection type	Cable with plug connector (MC-3)

### Limit values

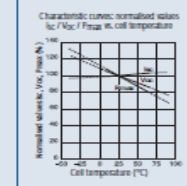
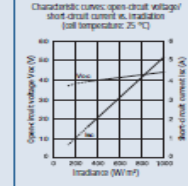
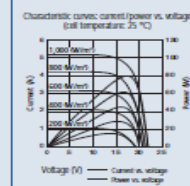
Operating temperature (cell)	-40 to +90	°C
Storage temperature	-40 to +90	°C
Maximum system voltage	600	VDC
Maximum mechanical load	2,400	N/m <sup>2</sup>
Over-current Protection	10	A

### Electrical data

Made In Japan	NE-80 (E1E)	
Maximum power	P <sub>max</sub>	80 W <sub>p</sub>
Open-circuit voltage	V <sub>oc</sub>	21.6 V
Short-circuit current	I <sub>sc</sub>	5.15 A
Voltage at point of maximum power	V <sub>mpp</sub>	17.3 V
Current at point of maximum power	I <sub>mpp</sub>	4.63 A
Module efficiency	η <sub>m</sub>	10.0 %
NOCT		47.5 °C
Temperature coefficient – open-circuit voltage	α <sub>Voc</sub>	-78 mV / °C
Temperature coefficient – short-circuit voltage	α <sub>Isc</sub>	+0.053 % / °C
Temperature coefficient – power	α <sub>Pmax</sub>	-0.485 % / °C

The electrical data applies under standard test conditions (STC): irradiation 1,000 W/m<sup>2</sup> with light spectrum AM 1.5 and a cell temperature of 25 °C. The power specifications are subject to a manufacturing tolerance of -5 % and +10 %. NOCT conditions: irradiation of 800 W/m<sup>2</sup>, ambient temperature of 20 °C and wind speed of 1 m/s.

### Characteristic curves NE-80 (E1E)



### Applications

- On-Grid PV systems
- Off-grid PV systems
- Rooftop PV systems (roof-parallel)
- Rooftop PV systems (on stilts)
- Ground-mounted PV systems

Please read our detailed installation manual carefully before installing the photovoltaic modules.

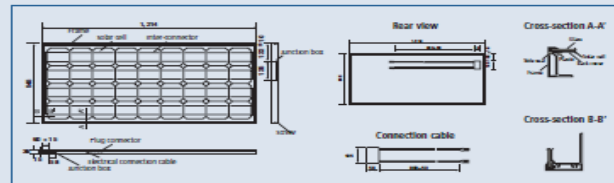
### Note

Technical data is subject to change without prior notice. Before using Sharp products, please request the latest data sheets from Sharp. Sharp accepts no responsibility for damage to devices which have been equipped with Sharp products on the basis of unverified information.

The specifications may deviate slightly and are not guaranteed. Installation and operating instructions are to be found in the corresponding handbooks, or can be downloaded from [www.sharp-world.com/solar](http://www.sharp-world.com/solar).

This module should not be directly connected to a load.

### Exterior dimensions



# SHARP

**Central & Eastern Europe**  
Tel.: +43-(0)1-72 71 90 - Fax: +43-(0)1-72 71 92 39  
[www.sharp-cee.com](http://www.sharp-cee.com)

**France**  
Tel.: +33-(0)1-49 90 34 00 - Fax: +33-(0)1-48 63 26 21  
[www.sharp.fr](http://www.sharp.fr)

**Germany & Austria**

**Italy**  
Tel.: +39-02-89 59 51 - Fax: +39-02-89 51 59 00  
[www.sharp.it](http://www.sharp.it)

**Spain & Portugal**  
Tel.: +34-(0)93-5 81 97 00 - Fax: +34-(0)93-6 75 46 11  
[www.sharp.es](http://www.sharp.es)

**Nordic Countries**

**Switzerland**  
Tel.: +41-(0)44-8 46 62 30 - Fax: +41-(0)44-8 46 62 50  
[www.sharp.ch](http://www.sharp.ch)

**Benelux**  
Tel.: +31-(0)30-6 35 96 05 - Fax: +31-(0)30-6 35 95 95  
[www.sharp.nl](http://www.sharp.nl) / [www.sharp.be](http://www.sharp.be)

**United Kingdom**

# Stylitis-10

PORTABLE, LOW-COST DATA ACQUISITION AND CONTROL

STYLITIS-10 offers low-cost, high performance data acquisition and control.

### FEATURES

- Versatile networking capabilities.
- 8 multi-function channels, which can be used as measurement inputs or control outputs.
- 4-button keyboard and 2-line LCD display.
- 2 serial communication ports.

### APPLICATIONS

- Data acquisition networks.
- Weather stations.
- Solar park monitoring.
- Tank level monitoring.
- Water pressure and flow.

### INTEGRATED SYSTEM

Part of a complete system, Stylitis-10 collaborates with other Symmetron products:

- **Opton** – data and data logger management software.
- **AutoConnect** – automatic connection and download software.
- **Diameson** – Tunnel Server that allows on-line connections in GPRS networks.
- **Emmetron** – Software that consolidates measurement data, resources and events in a central database.

For detailed specs please refer to individual product data sheets.



Symmetron® is a registered trademark. Stylitis, Opton, Captum, Diameson, VeriView and Emmetron, are trademarks of the Symmetron Company. All other trademarks belong to their respective owners.

### MEASUREMENTS

It is capable of directly measuring voltage, current, frequency and events. With suitable sensors it is also capable of measuring:

- Temperature, humidity, pressure.
- Wind speed and direction.
- Solar radiation, rain height, water speed, electrical energy, etc.

### CONTROL

Supports user-programmable control outputs according to input values. Outputs are capable of driving small relays, LEDs, etc.

### COMMUNICATION OPTIONS

- Local communication via the RS232 serial ports.
- RS232 to USB adaptor.
- Modem to modem (CSD data) calls.
- On-line GPRS connections via Diameson.
- Connection to LAN.
- Connection to WIFI network.
- Daily data file emailing to your mail account.
- SMS alarms.
- SMS messages with daily data.
- SMS messages with interval data. Setup dynamic web sites with frequently changing information (i.e. weather, etc).
- Advantage of SMS messages is that they can be transmitted from locations with minimal GSM signal.

### DATA

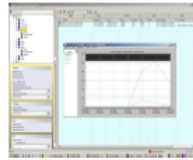
Data are compressed and stored in the internal 4MB flash memory. Data retrieval is done via any port or modem.

The free Opton software manages data logger operation. It also downloads and manages data files. These can be exported as:

- Text files (ASCII) organized in columns.
- Graphs.
- Excel files.

The optional Emmetron software imports Opton files into an Access or MySQL database. Emmetron presents:

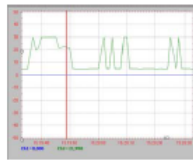
- Statistics
- Reports
- Queries
- Graphs
- Station comparisons



File trends



Graphical setup



Real-time plot



Emmetron

# Opton

DATA LOGGER OPERATING SOFTWARE

Opton is a Windows application designed for use with Symmetron's Stylitis data loggers.

Opton includes features such as management of data logger sites and easy sensor factor calculation. It allows users work with data loggers as simply as possible.

### DATA LOGGER COMPATIBILITY

- Stylitis-10 (all versions).
- Stylitis-Power.
- Stylitis-50

### INTEGRATED SYSTEM

Part of a complete system, Opton collaborates with other Symmetron products:

- **AutoConnect** – automatic connection and download software.
- **Diameson** – Server gateway software that allows on-line connections in GPRS networks.
- **Emmetron** – Software that consolidates measurement data, resources and events in a central database.

For detailed specs please refer to individual product data sheets.

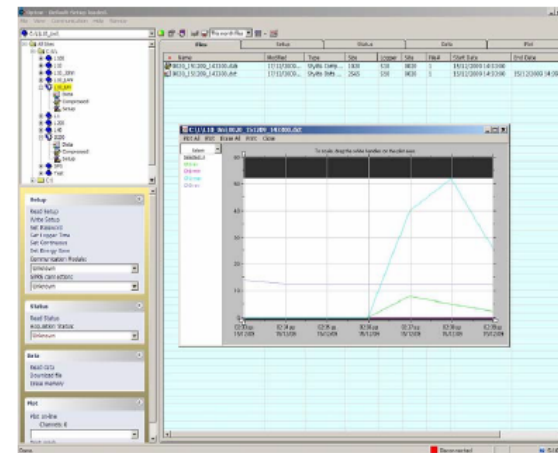
### FEATURES

- Single-click selection of most operations.
- Graphical setup of data logger.
- Automatic calculation of Slope and Offset factors from sensor datasheet information.
- Mouse sensor selection from user-defined sensor libraries.
- Stored user-definable sensor configurations.
- Data organized in Windows folders with each folder representing a measurement site.
- Built-in data file viewer, graphs and statistics.
- On-line plot.
- Data retrieval and decompression via RS232/Ethernet connections and GSM/GPRS modems.
- Connection statistics.
- Built-in web server allows network computers access on-line data from Opton.
- Compatible with Windows 2000/ XP/ 2003/ Vista/ 2008.

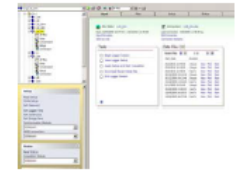
### DATA

Opton data can be exported as:

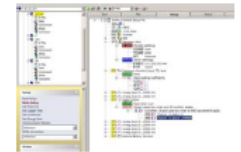
- Text files (ASCII) organized in columns.
- Graphs.
- Excel files.



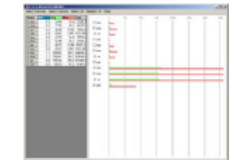
Symmetron® is a registered trademark. Stylitis, Opton, Captum, Diameson and Emmetron, are trademarks of the Symmetron Company.



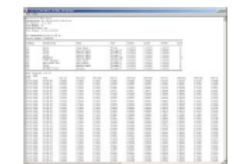
Quick Start page



Settings Tree



File Statistics



Data View



Tel: +30-2106034002  
Fax: +30-2106034003  
<http://www.symmetron.gr>



