



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

Ηλεκτρολογική εγκατάσταση και μετρητικό σύστημα φωτοβολταϊκού σταθμού μικρής ισχύος

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Γεώργιος Α. Γιαννακόπουλος

Αθήνα , Μάρτιος 2012



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

Ηλεκτρολογική εγκατάσταση και μετρητικό σύστημα φωτοβολταϊκού σταθμού μικρής ισχύος

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Γεώργιος Α. Γιαννακόπουλος

Επιβλέπων: Σταύρος Παπαθανασίου

Επ. Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την 19^η Μαρτίου 2012

.....

Σταύρος Παπαθανασίου

Επ. Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....

Αντώνιος Κλαδάς

Καθηγητής Ε.Μ.Π

.....

Στέφανος Μανιάς

Καθηγητής Ε.Μ.Π

Αθήνα, Μάρτιος 2012

.....
Γεώργιος Α.Γιαννακόπουλος
Διπλωματούχος Ηλεκτρολόγος Μηχανικός και Μηχανικός Υπολογιστών
Ε.Μ.Π.

Copyright © Γεώργιος Α. Γιαννακόπουλος, 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 την 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.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην παρούσα διπλωματική εργασία παρουσιάζεται η ανάπτυξη και η μέτρηση ενός φωτοβολταϊκού συστήματος ισχύος 10KWp , το οποίο είναι εγκατεστημένο στην Πολυτεχνειούπολη Ζωγράφου. Αρχικά δίνεται μία εικόνα της επικρατούσας κατάστασης στην αγορά των φωτοβολταϊκών και των τεχνολογιών που έχουν εμφανιστεί μέχρι σήμερα. Εν συνεχεία μελετώνται τα απαραίτητα μέσα προστασίας σε μία τέτοια εγκατάσταση, σύμφωνα με ευρωπαϊκά και διεθνή πρότυπα καθώς και η ενσωμάτωσή τους στο σύστημα που εγκαταστάθηκε. Για το σύστημα αυτό γίνεται εκτενής παρουσίαση των στοιχείων του, και ιδιαίτερα των πλαισίων, των αντιστροφών και των συσκευών της μετρητικής διάταξης. Στον τομέα των μετρήσεων δόθηκε ιδιαίτερη έμφαση λόγω του ερευνητικού χαρακτήρα του έργου και της ανάγκης υψηλής ακρίβειας στις ληφθήσες μετρήσεις. Μέσω των μετρήσεων αυτών γίνεται μία εκτίμηση της απόδοσης του συστήματος ενώ εκτιμάται και η επίδραση της επικάλυψης ρύπων στην παραγωγή. Τέλος πραγματοποιείται σύγκριση του όλου συστήματος με φωτοβολταϊκό σταθμό εγκατεστημένο στο κτίριο διοίκησης του Ε.Μ.Π. Η όλη εργασία θα μπορούσαμε να πούμε πως δύναται να αποτελέσει χρήσιμο οδηγό σε οποιαδήποτε προσπάθεια εγκατάστασης φωτοβολταϊκών συστημάτων χαμηλής ισχύος.

Γεώργιος Γιαννακόπουλος,

Αθήνα, Μάρτιος 2012.

Λέξεις Κλειδιά

Φωτοβολταϊκά πλαίσια, Μέτρηση φωτοβολταϊκού συστήματος, Δείκτης Απόδοσης, Επίδραση ρύπων στην παραγωγή, Σχεδιασμός συστήματος, Προστασία εγκατάστασης, Υπερτάσεις, Πλακέτες μέτρησης, Αποθήκευση δεδομένων.

ABSTRACT

In this paper is presented the development and the measurement of a ,10KWp, photovoltaic system, which is installed at N.T.U.A campus .Initially is given a picture of the situation in the PV market and the technologies that have emerged until now.Afterwards are presented the means of protection in such a facility in accordance with European and international standards and their integration into the new system we designed.For this system is given a detailed presentation of the elements, especially pv panels, inverters and metering devices.In the field of measurements were given special attention because of the research nature of the project and the need for high precision measurements.Using these measurements we estimate the system performance and the effect of pollutants in system's energy yield.Finally is made a comparison of this system with another photovoltaic station located at the NTUA's administration building.This paper could be said to be a useful guide in any attempt to install low power photovoltaic systems.

Georgios Giannakopoulos,

Athens ,March 2012.

KEYWORDS

Photovoltaic modules, photovoltaic measurement system, performance indicators, Effect of pollutants in the production system design, installation protection, Surges, measuring boards, data storage.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον καθηγητή Κύριο Σταύρο Παπαθανασίου, για την ευκαιρία που μου έδωσε να συμμετάσχω στην κατασκευή και το σχεδιασμό του φωτοβολταϊκού συστήματος το οποίο αποτέλεσε τη βάση αυτής της διπλωματικής εργασίας. Με βοήθησε έτσι να έρθω σε επαφή με πραγματικά ζητήματα που ανακύπτουν σε ένα τέτοιο έργο και να διδαχθώ από τον τρόπο αντιμετώπισής τους. Επίσης θα ήθελα να τον ευχαριστήσω για την άμεση ανταπόκρισή του σε οποιαδήποτε απορία ή προβληματισμό μου, την ειλικρινή κατανόησή του, καθώς και για το ότι πολλές απαντήσεις του γεννούσαν νέους δημιουργικούς προβληματισμούς.

Επιπλέον θέλω να εκφράσω θερμές ευχαριστίες στην υποψήφια διδάκτορα Κυρία Εύα Παρασκευαδάκη, για την αμέριστη συμπαράστασή της και τη βοήθειά της στα πολλά στάδια από τα οποία πέρασε αυτή η διπλωματική εργασία. Την ευχαριστώ για την υπομονή της και τη διάθεσή της να μοιραστεί μαζί μου τις γνώσεις της σε πολλά τεχνικά ζητήματα καθώς και για το χρόνο που αφιέρωσε στη διπλωματική αυτή.

Θα ήταν παράλειψη να μην ευχαριστήσω τον υπεύθυνο του εργαστηρίου ηλεκτρικών μηχανών Κύριο Παναγιώτη Ζάννη, ο οποίος, όντας η ψυχή του χώρου, ήταν πάντα πρόθυμος με την εμπειρία του και τις γνώσεις του να βοηθήσει .

Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω τους φίλους και συναδέλφους, Ανδρέα Καμαρινόπουλο και Ευθύμιο Χριστάκη. Τον πρώτο γιατί η καθοδήγησή του στα πρώτα μου βήματα ήταν καταλυτική και τον δεύτερο γιατί αποτελεί απόδειξη πως σε ένα ανταγωνιστικό περιβάλλον μπορείς να βρεις ανθρώπους πρόθυμους να μοιραστούν, να συνεργαστούν και να σε κάνουν καλύτερο.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ	4
ABSTRACT	5
ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ	6
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 – ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ : ΙΣΤΟΡΙΑ, ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ ΚΑΙ ΤΑΣΕΙΣ	9
1.1 – Παγκόσμια και Ελληνική παραγωγικότητα	9
1.2- ΕΙΔΗ ΠΛΑΙΣΙΩΝ	12
1.2.1- ΚΡΥΣΤΑΛΛΙΚΑ Φ/Β ΠΛΑΙΣΙΑ	13
1.2.2 – ΠΛΑΙΣΙΑ ΛΕΠΤΗΣ ΕΠΙΣΤΡΩΣΗΣ (THIN FILM PANELS).....	16
1.3 - ΑΛΛΕΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ.....	25
1.3.1 - Κελιά «πολλαπλής συνένωσης» (multi-junction)	25
1.3.2 -ΥΒΡΙΔΙΚΑ ΚΕΛΙΑ	27
1.3.3 - Φ/Β ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΑΙΝΙΑΣ ΠΥΡΙΤΙΟΥ (RIBBON SILICON)	27
1.3.4 - ΟΡΓΑΝΙΚΑ ΚΕΛΙΑ (Dye-Sensitized Solar Cells)	28
1.3.5 - BACK CONTACT CELLS	29
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 – ΜΕΣΑ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ Φ/Β ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ	33
2.1- Μέσα προστασίας στη DC Πλευρά	33
2.1.1 - Καλώδια	33
2.1.2 -Προστασία των καλωδιώσεων από υπερρεύματα (overload protection)	33
2.1.3 - Προστασία έναντι ρευμάτων ανάστροφης φοράς	34
2.1.4 - Προστασία έναντι ρευμάτων διαρροής.....	35
2.1.5 - Προστασία έναντι υπερτάσεων	36
2.1.6 - Ηλεκτρική απομόνωση εγκατάστασης.....	38
2.1.7- Γείωση αγωγού και αντιστροφέα.	39
2.1.8- Ισοδυναμική σύνδεση (equipotential bonding).....	40
Ενότητα 2.2 - AC Πλευρά.....	41
2.2.1 - Χρήση διακόπτη προστασίας από ρεύματα διαφυγής ή διάταξης προστασίας διαφορικού ρεύματος	41
2.2.2 - Προστασία από υπερρεύματα	45
2.2.4 – Απαγωγείς υπερτάσεων AC-(AC SPD).	46
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 – ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΤΗΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ	47
3.1 -Τόπος εγκατάστασης.....	47
3.2- Πλαίσια.....	48
3.3-Αντιστροφείς.....	48

3.4- Δομή του συστήματος παραγωγής.....	50
3.4.1- Συστοιχία A1.....	51
3.4.2 – Συστοιχία A2-1.....	53
3.4.3 – Συστοιχίες A2-2 και A2-3	54
3.5 - Μέσα προστασίας.....	56
3.5.2 - AC ΠΛΕΥΡΑ.....	57
3.6 – Μετρητικό σύστημα	58
3.6.1-Ηλεκτρικές μετρήσεις	59
3.6.2 – Μετεωρολογικές μετρήσεις	66
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 - ΜΕΛΕΤΗ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΚΑΙ ΕΞΑΓΩΓΗ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΩΝ	70
4.1 – Γενική εκτίμηση του συστήματος.....	72
4.2 – Μελέτη των μεγίστων	76
4.3 – Μελέτη της επίδρασης των ρύπων στην παραγωγή.....	78
4.3 - Μελέτη της σχέσεως απόδοσης και θερμοκρασίας,	80
4.4 – Σχέση μεταξύ της θερμοκρασίας περιβάλλοντος και της θερμοκρασίας των φωτοβολταϊκών στοιχείων.....	81
4.5 – Σύγκριση λειτουργίας συστήματος με το σύστημα της πρυτανείας.	83
4.5.1 – Σύγκριση ισοδυνάμων ωρών.....	83
4.5.2 – Σύγκριση των μεγίστων τιμών της ισχύος στα δύο συστήματα.....	85
4.5.3 – Διερεύνηση των τιμών της τάσης V	86
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α – ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΕΣ ΓΙΑ ΠΛΑΙΣΙΑ ΚΑΙ ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΕΙΣ.....	88
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β – ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΕΣ ΜΕΤΡΗΤΙΚΩΝ ΣΥΣΚΕΥΩΝ	94
Μετρητική συσκευή PM 750.....	94
Datalogger Keithley 2701	97
EGX 300 GATEWAY SERVER.....	101
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	103

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 – ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ : ΙΣΤΟΡΙΑ,ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ ΚΑΙ ΤΑΣΕΙΣ

Στο πρώτο κεφάλαιο του παρόντος τεύχους θα εξετάσουμε την εξέλιξη της αγοράς φωτοβολταϊκών σε παγκόσμιο αλλά και εγχώριο επίπεδο, αλλά και τις τάσεις που διαφαίνονται για το άμεσο μέλλον. Έχει ιδιαίτερο ενδιαφέρον να δούμε με ποιο τρόπο η ανησυχία για την περιβαλλοντική υποβάθμιση, η μείωση των αποθεμάτων ορυκτών καυσίμων αλλά και η άνοδος της τιμής τους επηρεάζει την αγορά των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.

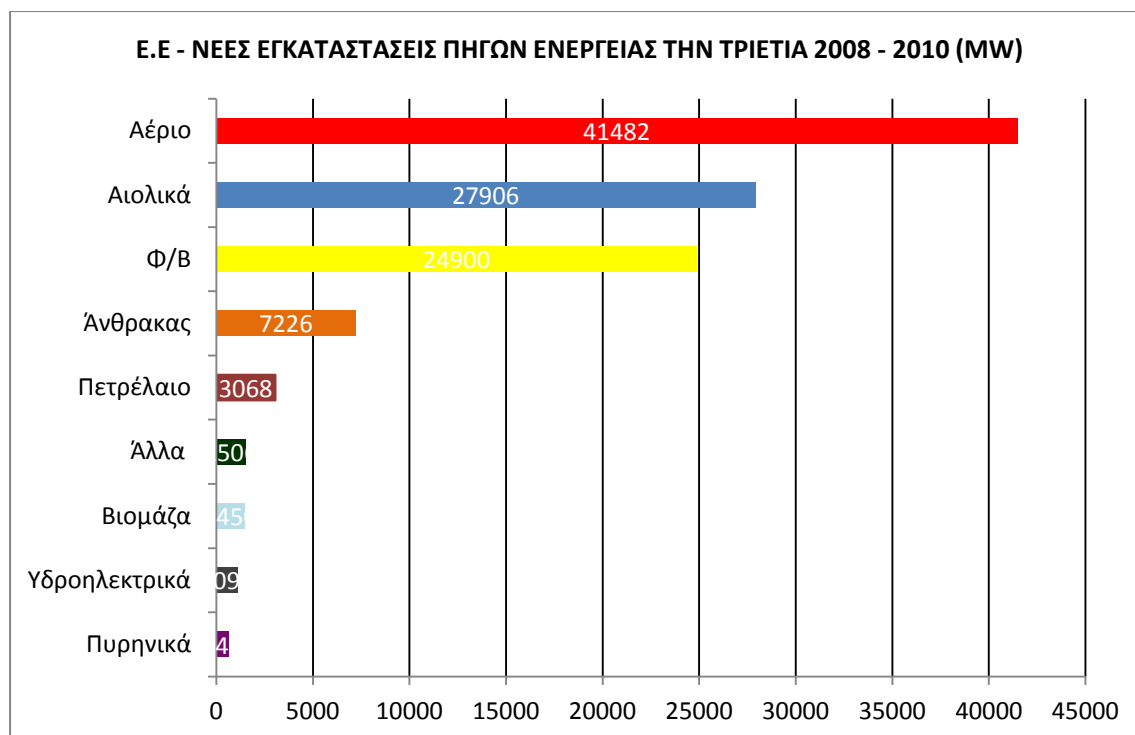
1.1 – Παγκόσμια και Ελληνική παραγωγικότητα

Όπως φαίνεται παρακάτω, η ετήσια εγκατεστημένη ισχύς από το 1996 έως και σήμερα αυξάνεται με γοργό ρυθμό, αλλά μόλις το 2000 αγγίξαμε το όριο των 1000 MWp (συσσωρευμένη εγκατεστημένη ισχύς), ενώ έκτοτε η αύξηση ήταν αλματώδης.

Η μέση ετήσια αύξηση από το 2001 έως το 2006 ήταν της τάξης του 38% ενώ το 2008 παρατηρήθηκε αύξηση 110% ,([18]), σε σχέση με το προηγούμενο έτος.

Οι νέες εγκαταστάσεις πηγών ενέργειας από το 2008 έως και το 2010 παρουσιάζονται στο παρακάτω διάγραμμα ([19]) .

Είναι σαφές πως οι συμβατικές μορφές ενέργειας παρουσιάζουν πολύ χαμηλό ρυθμό ανάπτυξης σε αντίθεση με τις ανανεώσιμες. Αυτό εξηγείται όχι μόνο από τις διεθνείς αποφάσεις για την προώθηση φιλικών προς το περιβάλλον τεχνολογιών αλλά και από την αβεβαιότητα σχετικά με την επάρκεια των συμβατικών πόρων για μεγάλο χρονικό διάστημα. Επιπλέον αντικίνητρα προστίθενται από πλευράς κράτους (κυρίως φορολογικού χαρακτήρα), αλλά και από τις αντιδράσεις των τοπικών πληθυσμών στην προοπτική της υποβάθμισης της ποιότητας ζωής τους μέσω τέτοιων παραγωγικών μονάδων.



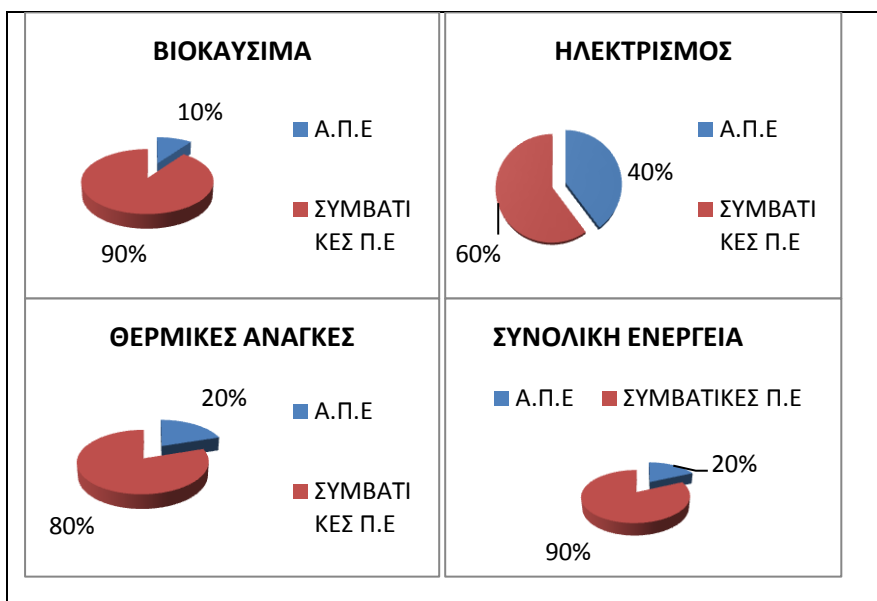
Διάγραμμα 1.1 – Εγκαταστάσεις πηγών ενέργειας

Σε ότι έχει να κάνει με την Ελλάδα, έχουν περάσει περισσότερα από δύο χρόνια, από την πρώτη υπουργική απόφαση η οποία απλοποιούσε τις διαδικασίες για την κατασκευή φωτοβολταϊκών συστημάτων σε οικήματα αλλά και σε γήπεδα. Ο τομέας έκτοτε γνώρισε αξιοσημείωτη ανάπτυξη, η οποία επιβεβαιώνεται από τους αριθμούς. Την περίοδο λοιπόν από το Μάιο του 2009 έως τον Μάρτιο του 2010 οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας κάλυπταν τον 17% των αναγκών της χώρας, όμως η απόσταση έως το στόχο του 40% μέχρι το 2020 φαντάζει μεγάλη.

Πρόσφατα (Ιανουάριος του 2011) η Επιτροπή Ενέργειας της Ακαδημίας Αθηνών έδωσε στην δημοσιότητα τα πορίσματα της Ομάδας Εργασίας (την οποία η ίδια σύστησε πριν ενάμιση περίπου χρόνο) με θέμα την ηλεκτροπαραγωγή στην Ελλάδα ([10]).

Διαπιστώνεται πως οι επίδοσεις της χώρας στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας είναι φτωχές και τονίζεται η ανάγκη περαιτέρω ανάπτυξης. Η ανάγκη γίνεται επιτακτικότερη καθώς το κόστος παραγωγής ηλεκτρισμού από λιγνίτη (ο οποίος καλύπτει σήμερα το 50% των αναγκών) αναμένεται να αυξηθεί από το 2013, λόγω της επιβολής κόστους ρύπων CO₂, σύμφωνα με τις δεσμεύσεις της Ελλάδας για μείωση των εκπομπών αερίων ρύπων.

Παρακάτω φαίνονται οι στόχοι που έχει θέσει η χώρα μας σχετικά με τις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας έως το 2020, συνολικά και ανά τομέα.



Διάγραμμα 1.2 – Στόχοι ανανεώσιμων πηγών

Οι ανωτέρω στόχοι σε σχέση με την ηλεκτρική παραγωγή, μπορούν να επιτευχθούν μόνο μέσα στα πλαίσια ενός οργανωμένου συστήματος μελέτης και εγκατάστασης α.π.ε , κυρίως μέσω της ιδιωτικής πρωτοβουλίας αλλά με ισχυρά κίνητρα από την πλευρά του κράτους. Οσον αφορά τα φ/β συστήματα, με τα οποία θα ασχοληθούμε στο παρόν τεύχος, ο προαναφερθέντας νόμος έχει διευκολύνει σημαντικά τις οικιακές εγκαταστάσεις μικρής ισχύος (έως 10 KW) οι οποίες θα μπορούσαν να παίξουν σημαντικό ρόλο στην διαμόρφωση των «ισορροπιών» ανάμεσα στις πηγές ενέργειας.

Πράγματι, όπως φαίνεται και στις εικόνες που ακολουθούν, η δυναμική του τομέα των φ/β είναι μεγάλη και θα πρέπει να σκεφτούμε πως η ιδιωτική πρωτοβουλία σκοντάφτει σε δύο κυρίως εμπόδια :

1. Την έλλειψη ιδίων κεφαλαίων, η οποία διαμορφώνει μία αγορά ανανεώσιμων πηγών την οποία θα χαρακτηρίζαμε «δανειοκίνητη».
2. Την δυσπιστία των ιδιωτών απέναντι σε μία τεχνολογία σχετικά νέα για το κοινό, και «ξένη» σε σχέση με την έως τώρα λογική των Ελλήνων.
3. Την αβεβαιότητα για την αξιοπιστία των συμβάσεων που υπογράφονται με τις εταιρείες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας.

Επιπλέον ο μικρός βαθμός περιβαλλοντικής ευαισθητοποίησης, δε μας επιτρέπει να προσθέσουμε το περιβάλλον στην «φαρέτρα» με τα όπλα μας στην μάχη προσέλκυσης επενδύσεων.

Η τελευταία ενημέρωση από το υπουργείο περιβάλλοντος δείχνει πως οι στόχοι για τις Α.Π.Ε έως τα έτη 2014 και 2020 μπορούν να υπερκαλυφθούν, καθώς το πρώτο εξάμηνο του Ιουνίου του 2011 η συνολική εγκατεστημένη ισχύς τους αυξήθηκε κατά 283 MW.

Πρωταθλητές στην ανάπτυξη νέας ισχύος είναι τα αιολικά (τα οποία παραμένουν η κυρίαρχη μορφή Ανανεώσιμης Ενέργειας με συνολική ισχύ 1432MW) και τα φωτοβολταϊκά (341MW). Ακολουθούν τα μικρά υδροηλεκτρικά με 206MW και η βιομάζα με 43,5MW. Οι

υπόλοιπες μορφές ΑΠΕ (γεωθερμία, ηλιοθερμικά, υβριδικά) βρίσκονται σε προγενέστερα στάδια.

Πιο συγκεκριμένα για τα φωτοβολταϊκά, τα στοιχεία παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα.

ΕΙΔΟΣ	Πλήθος / Ισχύς	Αιτήσεις για σύνδεση		Με προσφορά σύνδεσης		Σε λειτουργία	
		Έως τέλος 2010	Έως 30/6/2011	Έως τέλος 2010	Έως 30/6/2011	Έως τέλος 2010	Έως 30/6/2011
Οικιακά Φ/β	Πλήθος	3752	4732,00	2911	7998	585	3351
	Ισχύς (MW)	34,2	27,80	24,9	69,7	5,2	28,1
Αγροτικά	Πλήθος	6197	2086,00	373	4476		
	Ισχύς (MW)	611,9	201,20	36,4	440,2		
Λοιπά	Πλήθος	20429	14125,00	4587	8529	2041	3653
	Ισχύς (MW)	4536	3172,90	463,6	2047,3	193,1	313,1
ΣΥΝΟΛΟ		30378	20943,00	7871	21003	2626	7004
		5182,2	3401,90	524,9	2557,2	198,3	341,1

Πίνακας 1.1 – Στοιχεία Φ/β εγκαταστάσεων

Μπορούμε γενικά να πούμε πως η χώρα μας, έστω και με καθυστέρηση μιας δεκαετίας περίπου, αρχίζει να προσαρμόζεται στα ευρωπαϊκά δεδομένα και να αξιοποιεί τις δυνατότητες που της προσφέρει η γεωγραφική θέση της. Πλέον δεν υπάρχει η ανάγκη να χαρακτηί κάποια εντελώς νέα στρατηγική, αλλά να ακολουθηθεί ο δρόμος που δείχνουν προηγμένα ευρωπαϊκά κράτη, προσαρμοσμένος ασφαλώς στα ελληνικά δεδομένα.

1.2- ΕΙΔΗ ΠΛΑΙΣΙΩΝ

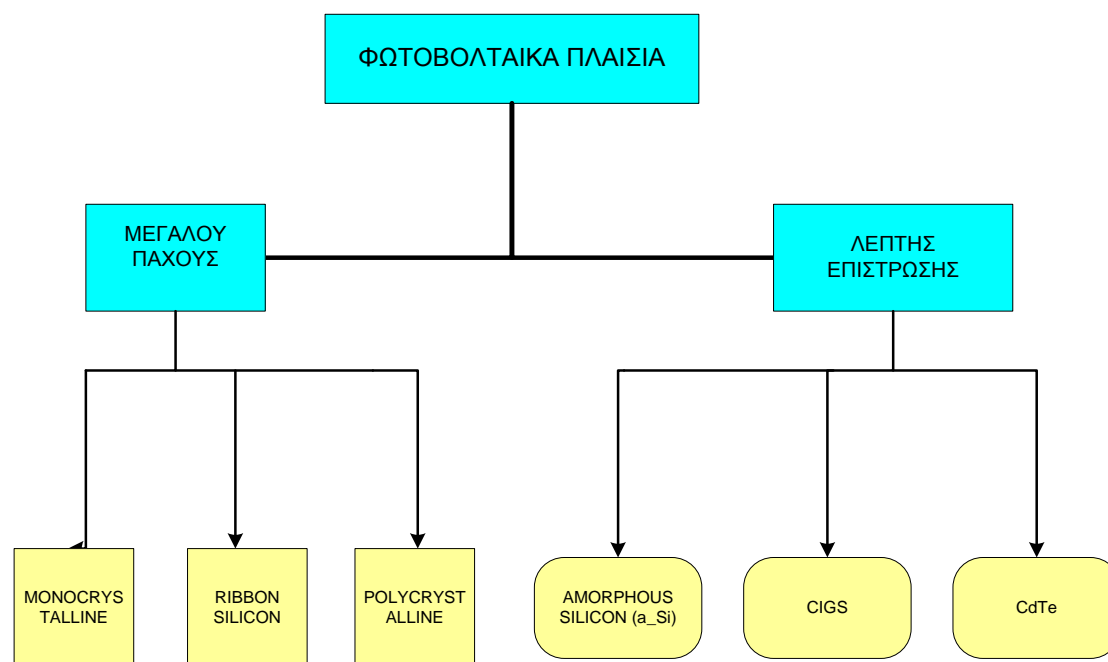
Ένας αρχικός διαχωρισμός των Φ/β πλαισίων μπορεί να γίνει με βάση το υλικό που χρησιμοποιούν για την απορρόφηση της ηλιακής ακτινοβολίας και πιο συγκεκριμένα με το πάχος του στρώματος απορρόφησης. Έτσι έχουμε καταρχήν:

- Πλαίσια μεγάλου πάχους (wafer panels)
- Πλαίσια λεπτής επίστρωσης (thin-film panels)

Στην πρώτη κατηγορία ανήκουν κατά βάση κρυσταλλικά υλικά, τα οποία μπορούν, δευτερευόντως, να διακριθούν σε πολυκρυσταλλικά και μονοκρυσταλλικά. Από την άλλη, κατασκευάζονται πλαίσια thin-film τόσο με κρυσταλλική δομή όσο και

πλαίσια από άμορφο πυρίτιο(a-Si).Παρακάτω φαίνεται ένα διάγραμμα με την βασική κατηγοριοποίηση των φ/β στοιχείων.

Να σημειωθεί πως υπάρχουν ακόμα κάποιες τεχνολογίες ,οι οποίες θα αναφερθούν παρακάτω,οι οποίες βρίσκονται ακόμα σε εμβρυικό στάδιο παραγωγής και θα αργήσουμε να δούμε εμπορικές εφαρμογές.

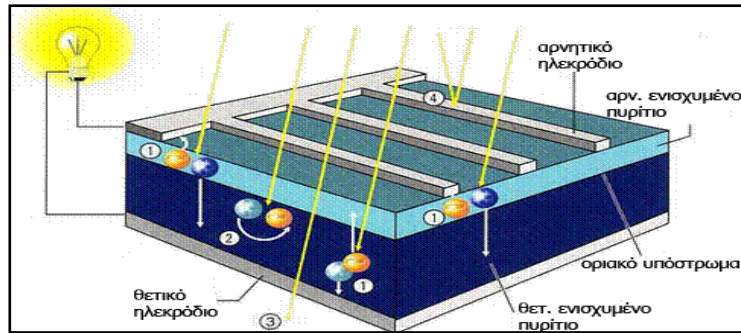


Διάγραμμα 1.3 – Κύρια εμπορικά είδη πλαισίων

1.2.1- ΚΡΥΣΤΑΛΛΙΚΑ Φ/Β ΠΛΑΙΣΙΑ

Πρίν προχωρήσουμε στη μελέτη των κρυσταλλικών πλαισίων θα ήταν καλό να δούμε την δομή μιάς τέτοιας κατασκευής η οποία σε γενικές γραμμές δεν διαφοροποιείται ιδιαίτερα από τεχνολογία σε τεχνολογία.

Σε ένα φ/β κελί (το οποίο αποτελεί την δομική μονάδα του πλαισίου) μπορούμε να διακρίνουμε στην κορυφή του, την μπροστά επαφή (front contact) η οποία αποτελεί το ένα ηλεκτρόδιο της διάταξης και μαζί την πίσω επαφή (back contact) εμφανίζουν την διαφορά δυναμικού στα άκρα του κελιού.Ενδιάμεσα υπάρχει ένα στρώμα ημιαγωγού (κατά κύριο λόγο πυριτίου) το οποίο είναι νοθευμένο με θετικούς φορείς (p τύπου) ,ενώ στη συνέχεια ενσωματώνεται κομμάτι ημιαγωγού αρνητικά νοθευμένο (n τύπου).Δημιουργείται έτσι η επαφή p-n η οποία αποτελεί την «καρδιά» του φ/β στοιχείου.



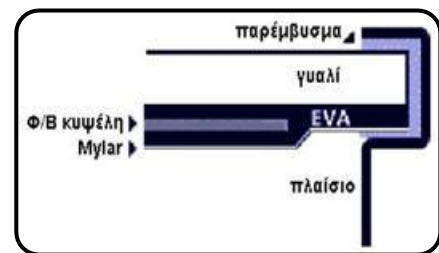
Εικόνα 1.1 – Τυπική δομή φ/β πλαισίου

Να σημειωθεί πως το πάχος του πυριτίου είναι περίπου 0,3 χιλιοστά, αλλά ασφαλώς το πάχος ενός πλαισίου είναι πολύ μεγαλύτερο αφού για να φτάσουμε σε ένα πάνελ πρέπει να γίνουν πολλά βήματα ακόμα. Έτσι το ηλιακό κελί ενθυλακώνεται σε ένα πολυμερές υλικό το οποίο με την σειρά του καλύπτεται στο πάνω μέρος από ένα στρώμα γυαλιού και στο κάτω από Mylar ή Tedlar (πολυμερή με χαμηλό συντελεστή διάβασης του φωτός, δηλαδή υψηλή ανακλαστικότητα για την προστασία και στεγανοποίηση της διάταξης).

Η απαραίτητη μόνωση στις ακμές της κατασκευής επιτυγχάνεται με ένα στεγανωτικό παρέμβυσμα ενώ η μηχανική υποστήριξη εξασφαλίζεται από ένα μεταλλικό πλαίσιο. Πολλές φορές το γυαλί της εμπρόσθιας επιφάνειας καλύπτεται από στρώμα αντιανακλαστικού υλικού (antireflecting coating), για καλύτερη απορρόφηση της προσπίπτουσας ακτινοβολίας.

Η βασική διαφοροποίηση για το είδος του κελιού είναι, όπως είναι προφανές, το ημιαγωγικό υλικό.

Στα **μονοκρυσταλλικά υλικά** η ποιότητα του κρυστάλλου πυριτίου είναι η καλύτερη που μπορεί να επιτευχθεί. Κατασκευάζονται ύστερα από ψύξη λιωμένου Si και πριονισμό του σε λεπτές πλάκες, οι οποίες είναι γνωστές ως «κύτταρα». Η ανάγκη χρησιμοποίησης ιδιαίτερα καθαρού Si (ακριβή «πρώτη» ύλη), η χρήση εξειδικευμένων μεθόδων τήξης και κοπής για την επίτευξη του μονοκρυσταλλικού πλέγματος αυξάνει το κόστος παραγωγής. Σε αντιστάθμισμα όμως παίρνουμε τον υψηλότερο βαθμό απόδοσης από όλες τις κατηγορίες που χρησιμοποιούνται σήμερα, ο οποίος φτάνει το 18% στα πλαίσια του εμπορίου. Θεωρητικά, το ιδανικό κελί που θα διαθέτει εγγενές υλικό ώστε να αποφεύγεται η επανασύνδεση των φορέων ή η απορρόφησή τους, και θα έχει πάχος περίπου 80 μm (ως αποτέλεσμα του συμβιβασμού μεταξύ απορρόφησης φωτός και επανασύνδεσης), μπορεί να μας προσφέρει μία απόδοση της τάξης του 29%.

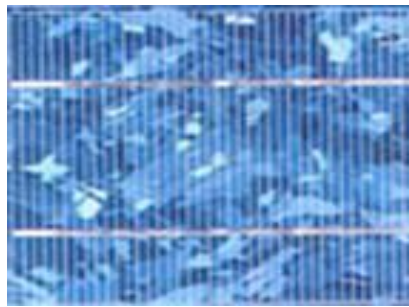


Εικόνα 2.2 – Τομή Φ/Β πλαισίου

Όταν λοιπόν υπάρχει απαίτηση για μεγιστοποίηση της απόδοσης, ακόμα και με σχετικά μεγάλο αρχικό κόστος η επιλογή αυτού του είδους πλαισίων είναι η ενδεικνύμενη.



Εικόνα 1.2 – Μονοκρυσταλλικό ηλιακό κελί.



Εικόνα 1.3 – Πολυκρυσταλλικό κελί

.Από την άλλη πλευρά, στα **πολυκρυσταλλικά κελιά** δεν υπάρχει απαίτηση για «τέλεια» ποιότητα κρυστάλλου και έτσι το πλέγμα τους περιλαμβάνει πολλούς κρυσταλλικούς προσανατολισμούς, οι οποίοι αποτελούν τροχοπέδη στην ποιότητα του στοιχείου καθώς παρουσιάζεται ηλεκτρική αντίσταση στα σημεία σύνδεσής τους εντός του κελιού. Η μορφή της διαδικασίας παραγωγής είναι παρόμοια με παραπάνω, με το τηγμένο πυρίτιο να υφίσταται ψύξη και τεμαχισμό σε φέτες.

Όπως εύκολα γίνεται αντιληπτό, το κόστος παραγωγής εδώ είναι ασφαλώς μικρότερο και αυτή είναι η θετική πλευρά της τεχνολογίας αυτής. Στον αντίποδα, η απόδοση αυτών των πλαισίων αγγίζει το 15%, υπολείπεται σαφώς δηλαδή του 18% των μονοκρυσταλλικών.

Αξίζει εδώ να σημειωθεί πως τα κρυσταλλικά πλαίσια έχουν την μερίδα του λέοντος στην παγκόσμια αγορά, καθώς καλύπτουν το 95% περίπου της εγκατεστημένης ισχύος.

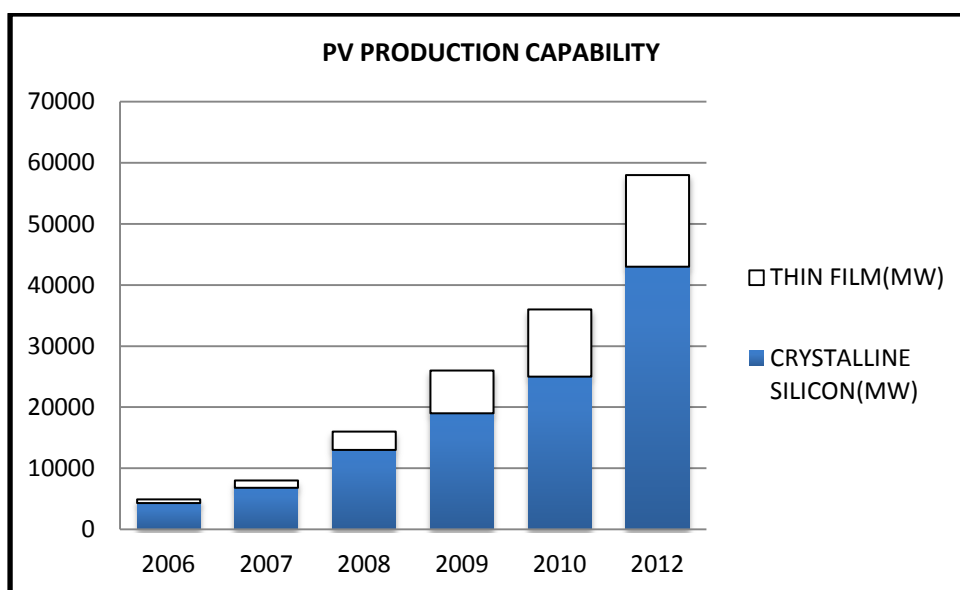
Το γεγονός δεν πρέπει να μας παραξενεύει, καθώς για την ώρα διαθέτουν καλύτερη σχέση κόστους-απόδοσης σε σύγκριση με τα αντίστοιχα λεπτής επίστρωσης.

Επίσης έχουν μελετηθεί αρκετά με αποτέλεσμα μία γραμμή παραγωγής να μπορεί να σχεδιαστεί, εγκατασταθεί και τεθεί σε λειτουργία μέσα σε σύντομο χρονικό διάστημα.

Μια επένδυση λοιπόν σε αυτή την τεχνολογία είναι ελκυστική καθώς προσφέρει γρήγορη απόσβεση με χαμηλό επίπεδο ρίσκου από την πλευρά της εταιρίας ενώ και από την πλευρά των καταναλωτών υπάρχει αποδοχή και σχέση εμπιστοσύνης στα κρυσταλλικά στοιχεία. Βέβαια δεν είναι όλα τόσο ρόδινα. Τα τελευταία χρόνια παρατηρείται μείωση των αποθεμάτων πυρίτιου το οποίο μάλλον «σπαταλάται» στα κρυσταλλικά υλικά, ενώ επιτυγχάνεται αυτοματοποίηση και καλή τεχνογνωσία στην παραγωγή των πλαισίων λεπτού υμενίου τα οποία χρησιμοποιούν λιγότερο πυρίτιο ή και καθόλου.

Ως αποτέλεσμα εντείνονται οι προσπάθειες ελαχιστοποίησης των απωλειών υλικού κατά την παραγωγή, ενώ νέες εταιρίες παροχής πυρίτιου εισέρχονται στην αγορά.

Η δυνατότητα παραγωγής παγκοσμίως αυξάνεται και προβλέπεται να συνεχίσει έτσι, τόσο για τα κρυσταλλικά όσο και για τα thin film πλαίσια.



Διάγραμμα 1.4 – Δυναμικότητα παραγωγής

1.2.2 – ΠΛΑΙΣΙΑ ΛΕΠΤΗΣ ΕΠΙΣΤΡΩΣΗΣ (THIN FILM PANELS)

Όπως κάθε άλλη καινοτομία, η ανάπτυξη φωτοβολταϊκών πλαισίων λεπτής επίστρωσης (thin film panels) ήταν αποτέλεσμα μίας ανάγκης. Αυτή δεν ήταν άλλη από την πρωτογενή ανάγκη της παραγωγής που ακούει στο όνομα «μείωση του κόστους». Το κρυσταλλικό πυρίτιο, λόγω του έμμεσου ενεργειακού διακένου του, έχει την μικρότερη ικανότητα απορρόφησης φωτός από όλα σχεδόν τα υλικά που χρησιμοποιούνται στην κατασκευή φωτοβολταϊκών πλαισίων και έχουν (κυρίως) άμεσο ενεργειακό διάκενο. Έτσι, απαιτεί μεγαλύτερο πάχος υλικού ώστε να απορροφά συγκρίσιμο, με τα άλλα υλικά, κλάσμα της προσπίπτουσας ακτινοβολίας. Ταυτόχρονα, λόγω αυτού του πάχους, είναι αναγκαία υψηλής ποιότητας κρυσταλλική δομή ώστε να κινηθούν τα ιοντισμένα ηλεκτρόνια μέσω του υλικού και να φτάσουν στο εξωτερικό κύκλωμα. Επιπρόσθετα, η χρήση κρυσταλλικού πυριτίου επιβαρύνει το κόστος παραγωγής καθώς η δημιουργία του είναι δαπανηρή σε χρόνο και χρήμα.

Στις μέρες μας μπορούμε να ξεχωρίσουμε τρεις τεχνολογίες παραγωγής πλαισίων thin-film.

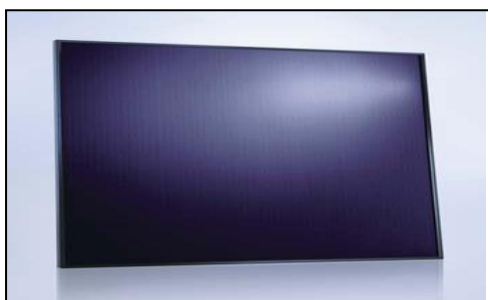
- Πλαίσια άμορφου πυριτίου (a-Si)
- Πλαίσια καδμίου τελλουρίου (CdTe)
- Πλαίσια χαλκού-ίνδιου-γάλλιου-σεληνίου (CIGS)

Αυτού του είδους τα κελιά έχουν αρχίσει να διεισδύουν στην αγορά με προοπτική να αποκτήσουν σημαντικό μερίδιό της. Η γενική μέθοδος παραγωγής τους, έγκειται στην ύπαρξη ενός υποστρώματος και την εναπόθεση σε αυτό, των διαφόρων υλικών που αποτελούν το «ενεργό» κομμάτι της κατασκευής (a-Si, CdTe, CIGS).

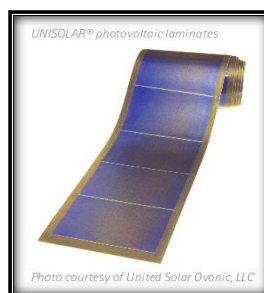
Τα υλικά αυτά, εναποτίθενται στο υπόστρωμα σε μορφή ατμών, μέσα από μία καλά σχεδιασμένη και αυτοματοποιημένη διεργασία η οποία, ανάλογα με την τεχνολογία του πλαισίου, έχει συγκεκριμένες ιδιαιτερότητες και απαιτήσεις.

Είναι σαφές βέβαια πως κάθε τέτοια τεχνολογία παρουσιάζει σαφή προτερήματα αλλά και βασικά μειονεκτήματα, τα οποία θα εξετάσουμε πιο κάτω.

Πλαίσια Άμορφου Πυριτίου (a-Si)



Εικόνα 1.4 – Πλαίσιο άμορφου πυριτίου



Εικόνα 1.5 – Ελαστικό φύλλο φ/β κυψελών

Το υπόστρωμα είναι κατασκευασμένο από γυαλί, ανοξείδωτο χάλυβα ή μεταλλικό έλασμα. Τα δύο τελευταία υλικά, ευνοούν την αυτοματοποίηση της παραγωγής καθώς είναι ευέλικτα και επιτρέπουν την συνεχή εναπόθεση του άμορφου πυριτίου καθώς τα κομμάτια του υποστρώματος «κυλούν» στην γραμμή παραγωγής (roll to roll manufacturing). Η ιδιότητα αυτή είναι, όπως θα δούμε παρακάτω, πολύ σημαντική καθώς δύναται να οδηγήσει σε μείωση του κόστους.

Το άμορφο πυρίτιο προστίθεται στο υπόστρωμα μέσω υδριδίων του πυριτίου (κυρίως SiH_4) και με την χρήση πλάσματος ώστε να γίνει ο διαχωρισμός των αερίων με μία μέθοδο που ονομάζεται plasma-enhanced CVD.

Οι προσμίξεις υδρογόνου στο υλικό επίστρωσης προσθέτουν σημαντικές ατέλειες στην δομή του πυριτίου, επιπλέον αυτών που έτσι και αλλιώς υπάρχουν ως επακόλουθο της ανάπτυξης του υλικού σε τέτοιες, χαμηλές, θερμοκρασίες (150 -300 °C) και δεν ευνοούν την δημιουργία τέλειων κρυσταλλικών δεσμών στο πυρίτιο.

Ως αποτέλεσμα αυτής της παραγωγικής διαδικασίας, έχουμε ηλιακά στοιχεία με πάχος, εκτός του υποστρώματος, της τάξης του ενός μm.

Τα πλαίσια a-Si, έχουν την πιο ευρεία χρήση μεταξύ των thin-film, και αυτό αρχικά φαντάζει παράδοξο καθώς έχουν και την πιο μικρή απόδοση (φτάνει το 8%). Μάλλον όμως δεν είναι. Αρκεί να σκεφτούμε πως το πυρίτιο είναι το υλικό που έχει μελετηθεί περισσότερο από όλα τα υλικά στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από τον ήλιο. Η ανάπτυξή του είναι συνεχής τα τελευταία 20 χρόνια και η γνώση των ιδιοτήτων και της «συμπεριφοράς» ενός υλικού είναι προαπαιτούμενο για την τεχνολογική του εξέλιξη και προώθησή του στην αγορά.



Εικόνες 1.6 και 1.7 – Εφαρμογές ελαστικών φωτοβολταϊκών

Έτσι, έχει επιτευχθεί αυτοματοποίηση στην γραμμή παραγωγής με αποτέλεσμα μεγάλες ποσότητες πλαισίων και συνακόλουθη μείωση του κόστους. Η μελέτη του πυριτίου συνεχίζεται καθώς αφορά και το κρυσταλλικό «κομμάτι» του υλικού και αναμένεται μεγαλύτερη βελτίωση (όπως άλλωστε και σε όλα τα υλικά φωτοβολταϊκής τεχνολογίας).

Μία εξαιρετική ιδιότητα των a-Si thin-film είναι πως έχουν πολύ χαμηλό θερμοκρασιακό συντελεστή ισχύος. Αυτό σημαίνει πως αυξανόμενης της θερμοκρασίας του πλαισίου η απόδοσή του δεν μειώνεται σημαντικά ή τουλάχιστον, μειώνεται σε πολύ μικρότερο βαθμό από τις υπόλοιπες τεχνολογίες. Σε περιοχές λοιπόν με έντονη ηλιοφάνεια και υψηλή μέση θερμοκρασία (όπως οι μεσογειακές χώρες) η επιλογή τέτοιας τεχνολογίας βρίσκει στον συντελεστή θερμοκρασίας ένα ισχυρό επιχειρήμα.

Πρέπει να τονιστεί πως το υλικό αυτό είναι ιδιαίτερα βολικό στην χρήση του και στις εφαρμογές του καθώς επιτρέπει την κατασκευή διατάξεων με μικρό βάρος αλλά και μεγάλη ελαστικότητα.

Έτσι παράγονται, εκτός των γνωστών μας πλαισίων, και ελαστικά φύλλα φ/β κυψελών με εφαρμογές σε ιδιόμορφες περιπτώσεις, όπως πανιά ιστιοφόρων, επιφάνειες με πολλές γωνίες, ταρατσες σπιτιών για ηλεκτροπαραγωγικούς και μονωτικούς σκοπούς, ακόμη και σε δορυφόρους.

Οι κατασκευές αυτές έχουν μεγάλη αντοχή σε μηχανικές καταπονήσεις (οι κατασκευαστές τις αποκαλούν bullet proof) και επιπλέον, είναι πιο εύκολη η μεταφορά τους σε μεγάλες ποσότητες πράγμα που την καθιστά φθηνότερη. Η χρήση τους και για μονωτικούς σκοπούς, αποτελεί μία πολύ έξυπνη εφαρμογή, η οποία δείχνει ένα δρόμο πολλαπλής αξιοποίησης υλικού με προοπτικές εμπορικής εκμετάλλευσης.

Έτσι, αντί για την κλασική μόνωση, μπορούμε να καλύψουμε τις επιφάνειες με μονωτικά φύλλα τα οποία θα έχουν ενσωματωμένα φ/β στοιχεία άμορφου πυριτίου που θα συμβάλλουν στις ενεργειακές ανάγκες του κτιρίου.

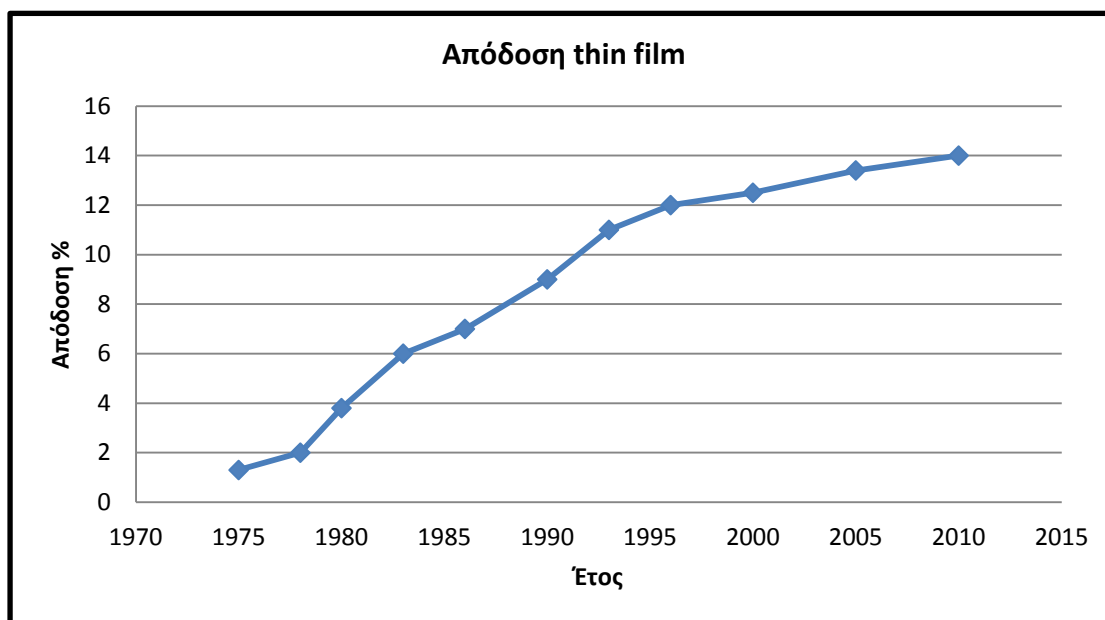
Τέτοιες εφαρμογές είναι υπαρκτές και μία εξ αυτών φαίνεται στις πιο κάτω εικόνες. Ένα ακόμη θετικό στοιχείο του άμορφου πυριτίου είναι πως δεν τίθεται θέμα επικίνδυνων υλικών-αποβλήτων (όπως με το CdTe) αλλά ούτε και υψηλού κόστους υλικού (όπως συμβαίνει με το Ίνδιο στα πλαίσια CIGS) και υποστρώματος το οποίο όπως είπαμε, αντίθετα με τις άλλες τεχνολογίες, αναπτύσσεται σε χαμηλή θερμοκρασία.

Στα μειονεκτήματα τώρα δεν γίνεται να παραβλέψουμε την χαμηλή του απόδοση σε σχέση,όχι μόνο με τους πολυ- και μονο-κρυσταλλικούς ανταγωνιστές του,αλλά και σε σχέση με πλαίσια λεπτής επίστρωσης άλλων υλικών.Μία απόδοση της τάξης του 7% δεν ικανοποιεί ακόμα και αν έχουν σήμερα επιτευχθεί,εργαστηριακές,αποδόσεις της τάξης του 15%.

Προς την κατεύθυνση της βελτίωσης της ενεργειακής απόδοσης κινείται η ανάπτυξη των multi-junction κελιών στα οποία θα αναφερθούμε πιο αναλυτικά παρακάτω.

Εν συνεχεία έχουμε άλλη μία «ανοιχτή πληγή» καθώς έχει παρατηρηθεί μία μείωση της απόδοσης κατά 20% περίπου,κατά της πρώτη έκθεση στον ήλιο του υλικού,([26]),δηλαδή κατά τους πρώτους μήνες χρήσης των πλαισίων.Συγκεκριμένα στα single junction κελιά έχουμε μείωση 30% τις πρώτες 1000 ώρες έκθεσης στον ήλιο ενώ η αντίστοιχη μείωση στα triple junction είναι 15%. Η πτώση αυτή οφείλεται στο φαινόμενο Staebler–Wronski το οποίο έχει να κάνει με το υλικό κατασκευής και συγκεκριμένα με το υδρογονωμένο πυρίτιο.Να σημειωθεί πως το φαινόμενο είναι δυνατό να αναστραφεί σε σχετικά υψηλές θερμοκρασίες πλαισίου (της τάξης των 160 °C) και ως ένα σημείο να αποκατασταθεί η αρχική απόδοση.Οι κατασκευαστές ,πάντως, οφείλουν να επισημαίνουν κατά πόσο οι αναφερόμενες αποδόσεις των εμπορικών πλαισίων αφορούν την αρχική (initial) ή την σταθεροποιημένη (stabilized) κατάσταση.

Παρακάτω φαίνεται η εξέλιξη της απόδοσης των κελιών άμορφου πυριτίου έως το 2000 σε μορφή διαγράμματος.Η αποδόσεις αναφέρονται σε συνθήκες εργαστηρίου,και στην σταθεροποιημένη κατάσταση.



Διάγραμμα 1.6 – Απόδοση πλαισίων λεπτής επίστρωσης

Πλαίσια Καδμίου Τελλουρίου (CdTe).

Τα πλαίσια Καδμίου -Τελλουρίου είναι λεπτής επίστρωσης αλλά,σε αντίθεση με αυτά του πυριτίου,είναι κρυσταλλικά.Εξωτερικά δεν διαφέρουν ουσιαστικά από τα άμορφα,έχοντας το χαρακτηριστικό μαύρο χρώμα.

Σαν υλικό, το CdTe παρουσιάζει ασυνήθιστα καλές ιδιότητες απορρόφησης του ηλιακού φωτός και έτσι η χρήση του σε φωτοβολταϊκά πλαίσια δεν προκαλεί έκπληξη.

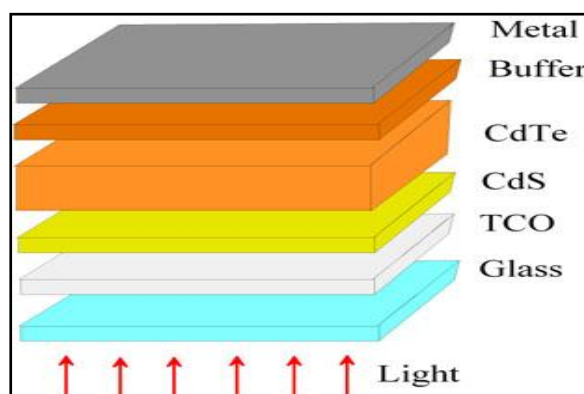
Συγκεκριμένα,λόγω του άμεσου ενεργειακού διακένου του, $E_g=1.5$ eV ,αλλά και του υψηλού συντελεστή απορρόφησης ακτινοβολίας υπολογίζεται πως μπορεί να αξιοποιηθεί το 99% των απορροφήσιμων φωτονίων σε ένταση AM1,5,από κομμάτι πάχους 2 μ m!Έχουμε αυτό που λέμε 'τέλειο ταίριασμα' (perfect match), μεταξύ του υλικού και του ηλιακού φάσματος που φτάνει στη γή.



Εικόνα 1. 8– Πλαίσιο CdTe

Αλλά ας δούμε καταρχήν με ποιό τρόπο κατασκευάζεται σε γενικές γραμμές ένα ηλιακό κελί CdTe.

Οι δομές που χρησιμοποιούνται είναι δύο.Αυτή του υποστρώματος (substrate) και αυτή του υπερστρώματος(superstrate).



Εικόνα 1.9 – Τυπική δομή υπερστρώματος

Πιο συνηθισμένη είναι αυτή του υπερστρώματος.Εν ολίγοις, η μορφή της είναι η εξής. Το μη αγώγιμο υλικό είναι γυαλί,και βρίσκεται στην 'πρόσοψη' του κελιού.Αμέσως μετά, συναντάμε ένα στρώμα διαφανούς αγώγιμου οξειδίου(transparent conductive oxide-TCO). Για την κατασκευή του παραθύρου φωτός γίνεται χρήση σεληνιούχου καδμίου (CdS).Υπάρχει η απαίτηση εδώ,το στρώμα του CdS να είναι λεπτό για να επιτευχθεί υψηλή πυκνότητα ρεύματος στο φωτοβολταϊκό στοιχείο. Λόγω όμως της κρυσταλλικής δομής του υπάρχει ο κίνδυνος υπερβολικού ρεύματος ορθής πόλωσης.Για να αντιμετωπιστεί αυτή η κατάσταση προσθέτουμε ένα στρώμα διαφανούς οξειδίου,γνωστό ως HRT, με υψηλή αντίσταση και έτσι επιτυγχάνεται βελτίωση της ποιότητας του κελιού και συγκεκριμένα των σημείων ηλεκτρικής ένωσης.

Στη δομή υποστρώματος, ένα στρώμα CdTe εναποτίθεται σε κατάλληλο υπόστρωμα (πχ γυαλί) και ύστερα προστίθενται διαδοχικά στρώματα CdS και TCO. Η δομή αυτή συνδέεται με προβλήματα που αφορούν κυρίως την κακή ποιότητα της ένωσης CdTe/CdS, την κακή ωμική σύνδεση του CdTe αλλά και προβλήματα που αφορούν την διαδικασία ανάπτυξης του υλικού επάνω στο υπόστρωμα και τις χημικές του ιδιότητες. Έτσι η χρήση της δομής είναι περιορισμένη.

Τα πλαίσια CdTe παρουσιάζουν σταθερά υψηλή απόδοση, μεγαλύτερη του 10% η οποία αγγίζει το 11% ([14]), και ασφαλώς δίχως την ανεπιθύμητη αρχική μείωση που έχουμε στα πλαίσια αμόρφου πυριτίου. Από πλευράς κόστους έχουμε μάλλον ικανοποιητικά αποτελέσματα.

Μία γενική εκτίμηση μας δίνει 30% χαμηλότερο κόστος από τα κρυσταλλικά υλικά, ποσοστό ιδιαίτερα σημαντικό.

Περιβαλλοντικές Επιπτώσεις

Είναι σαφές πως, πέρα από την αναπόφευκτη μείωση των αποθεμάτων ορυκτών καυσίμων, καθοριστικός παράγοντας προώθησης της φ/β τεχνολογίας είναι η περιβαλλοντικές επιπτώσεις της παραγωγής ενέργειας με τους συμβατικούς τρόπους. Θα πρέπει λοιπόν κάθε καινοτομία που εισάγουμε στην αγορά να εξυπηρετεί, σε κάποιο βαθμό αυτό το σκοπό.

Εν προκειμένω, η προϋπόθεση αυτή τίθεται υπό αμφισβήτηση. Αιτία η τοξικότητα του καδμίου, η οποία, όπως υποστηρίζουν κάποιοι, δύναται να δημιουργήσει περισσότερα προβλήματα από όσα επιδιώκει να λύσει. Η αλήθεια είναι πως το κάδμιο σαν υλικό, έχει αποδειχθεί πως μπορεί υπό συνθήκες να είναι καρκινογόνο, αλλά και να προκαλέσει βλάβες στα οστά και στους ιστούς. Για αυτό το λόγο οι αρμόδιες ιατρικές υπηρεσίες δίνουν ως όριο για την συγκέντρωση του καδμίου την τιμή $0,005 \text{ mg/m}^3$.

Το μίγμα καδμίου τελλουρίου αποδεικνύεται πως είναι λιγότερο επικίνδυνο και πιο ευσταθές αλλά αυτό δεν ικανοποιεί τους ειδικούς. Στο στάδιο της παραγωγής το κάδμιο χρησιμοποιείται σε υγρή μορφή ή ως σκόνη, και ως εκ τούτου είναι πιθανό να εισπνευστεί προκαλώντας σοβαρές βλάβες στους εργαζόμενους.

Οι εταιρείες παραγωγής είναι υποχρεωμένες να λαμβάνουν αυστηρά μέτρα για την αποφυγή τέτοιων φαινομένων.

Παρόλα αυτά, υπάρχουν έντονες αντιδράσεις από την πλευρά περιβαλλοντικών οργανώσεων (με κύριο εκφραστή την Greenpeace) για την παραγωγή και χρήση πανέλων αυτής της τεχνολογίας. Πέρα από αυτό, δύο είναι οι συνιστώσες που πρέπει να εξεταστούν. Η πρώτη αφορά τις, πιθανές, βλαβερές εκπομπές κατά την διάρκεια ζωής των φ/β πανέλων και η δεύτερη την ασφαλή διαχείριση των 'αποβλήτων' με το πέρας της χρήσης τους.

Σχετικά με τις εκπομπές, οι ανησυχίες που διατυπώνονται είναι μάλλον αβάσιμες, όσο μιλάμε για τις συνηθισμένες συνθήκες λειτουργίας.

Για να μιλήσουμε για κίνδυνο, θα πρέπει με κάποιο τρόπο να έχουμε εισπνοή σωματιδίων ή σκόνης από το εσωτερικό των πλαισίων, πράγμα μάλλον απίθανο καθώς αυτά είναι σφραγισμένα και προστατευμένα από φύλλα γυαλιού ή πλαστικού.

Αυτό που μάλλον πρέπει να εξεταστεί είναι η περίπτωση να βρεθεί μια τέτοια συστοιχία εν τω μέσω πυρκαγιάς, πράγμα όχι απίθανο στην χώρα μας.

Σε υψηλές θερμοκρασίες ίσως απελευθερωθούν ατμοί καδμίου με απρόβλεπτες συνέπειες.

Πάντως το σημείο τήξης του CdTe είναι οι 1041 °C και η εξάτμιση συμβαίνει στους 1050 °C. Οι θερμοκρασίες που αναπτύσσονται σε περιπτώσεις πυρκαγιάς είναι χαμηλότερες αν και παραπλήσιες (περίπου 1000 °C). Εδώ μάλλον υπάρχει ένα ερωτηματικό. Και θα πρέπει να καταφέρουμε να το άρουμε αν θέλουμε να έχουμε απρόσκοπτη ανάπτυξη της τεχνολογίας αυτής.

Σε σχέση με τα απόβλητα, δηλαδή τα πλαίσια μετά το πέρας της χρήσης τους, έχει εγκριθεί η απόθεσή τους σε ειδικούς χώρους καθώς πληρούν τα σημερινά κριτήρια διασφάλισης της δημόσιας υγείας αλλά μάλλον θα πρέπει να στραφούμε στην λύση της ανακύκλωσής τους ώστε να έχουμε μία ευρέως αποδεκτή λύση και να περιοριστούν οι αντιδράσεις. Συμπερασματικά, θα μπορούσαμε να πούμε πως οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις φαίνονται ακόμα αδιευκρίνιστες.

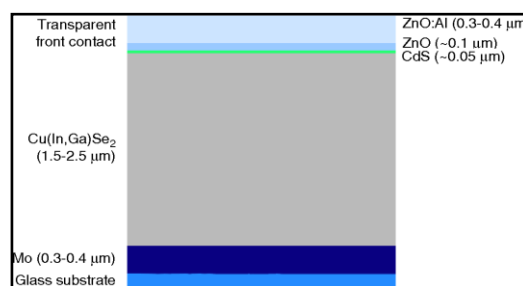
Πλαίσια CIGS [Cu(InGa)Se₂]

Τα συγκεκριμένα πλαίσια είναι thin-film κρυσταλλικού τύπου, και η απορρόφηση της ακτινοβολίας συντελείται από στρώμα χαλκού, ινδίου, γαλλίου και σεληνίου.

Στην βιβλιογραφία αναφέρονται και ως πλαίσια Cu(InGa)Se₂.

Ο συνδυασμός των στοιχείων έχει εξ αρχής θετικά σημεία:

- 1) άμεσο ενεργειακό διάκενο
- 2) καλό συντελεστή απορρόφησης της ακτινοβολίας
- 3) εγγενή αγωγιμότητα p-τύπου



Εικόνα 1.10 – Δομή πλαισίου CIGS

Αν σε αυτά προστεθεί η 'ανοχή' του υλικού σε κρυσταλλικές ατέλειες ή/και μεταβολές στην ακριβή του σύσταση (η οποία επιτρέπει την αποτελεσματική διέλευση των φορέων ακόμα και σε πολύ λεπτά στρώματα ημιαγωγού) αλλά και στις ανωμαλίες που δημιουργούνται λόγω σύνδεσης CIGS / CdS (που όπως θα δούμε πιο κάτω παίζει το ρόλο του παραθύρου φωτός) αντιλαμβανόμαστε για ποιο λόγο έχει επενδυθεί χρήμα και κόπος στην έρευνα και την παραγωγή των συγκεκριμένων φ/β στοιχείων.

Αξίζει να σημειωθεί πως η τεχνολογία αυτή άρχισε να αναπτύσσεται από τις αρχές της δεκαετίας του 1970 και μάλιστα χωρίς την συμμετοχή του Γαλλίου (είχαμε δηλαδή διάταξη CIS).



Με το πέρασμα του χρόνου εισήχθησαν διάφορες αλλαγές προς την κατεύθυνση της αύξησης της απόδοσης και της μείωσης του κόστους. Έτσι το γυαλί αντικατέστησε το αρχικό υπόστρωμα που ήταν κεραμικό ή μίγμα πυριτίου με βόριο με σημαντική μείωση του κόστους αλλά και ευεργετικές συνέπειες για την απόδοση.

Εικόνες 1.11 – 1.12 –Ελαστικά φύλλα CIGS

Σε γενικές γραμμές η δομή ενός φωτοβολταϊκού στοιχείου σήμερα, ανεξάρτητα από τις όποιες παραλλαγές μπορεί να υπάρχουν, έχει ως εξής. Στην βάση του κελιού έχουμε υπόστρωμα από γυαλί του οποίου το κόστος είναι ιδιαίτερα χαμηλό. Αμέσως μετά συναντάται το στρώμα οξειδίου μετάλλου (Mo), το οποίο παίζει το ρόλο ηλεκτροδίου.

Ακολουθεί το στρώμα $Cu(InGa)Se_2$ το οποίο είναι p- τύπου και όπως αναφέρθηκε αποτελεί το μέσο ενεργειακής απορρόφησης. Έχουμε ύστερα την διεπαφή με το window layer κατασκευασμένο από CdS n-τύπου και τέλος δύο είδη διοξειδίου του υδραργύρου (ZnO), ένα με υψηλή αντίσταση και ένα με υψηλή αγωγιμότητα (με τις κατάλληλες προσμίξεις). Στην κορυφή βέβαια της διάταξης έχουμε είτε κάποιο δίκτυο συλλογής ρεύματος (current collecting grid) ή κάποια μονολιθική χάραξη που να εξυπηρετεί αυτό το σκοπό. ([14]).

Η συγκεκριμένη τεχνολογία είναι αυτή που έχει δώσει, μέχρι σήμερα, τα πιο ικανοποιητικά αποτελέσματα στα πλαίσια λεπτής επίστρωσης. Ήδη παράγονται και έχουν εγκατασταθεί πλαίσια απόδοσης 12% ενώ έχει ανακοινωθεί από την εταιρεία Shell η επίτευξη απόδοσης 13,4%. Εργαστηριακά ο στόχος του 20% σχεδόν επετεύχθηκε καθώς το NREL ανακοίνωσε απόδοση 19.9% σε μικρής έκτασης εφαρμογές.

Καθώς η απόδοση δεν είναι το μοναδικό κριτήριο αξιολόγησης μιας ηλεκτροπαραγωγού διάταξης, καλά νέα έχουμε και από την πλευρά της σταθερότητας σε μεγάλο χρονικό διάστημα (long term stability). Τα συμπεράσματα εξάγονται τόσο από εγκατεστημένες διατάξεις, όσο και από tests που πραγματοποιούνται από ερευνητικές ομάδες.

Να σημειωθεί πως τα πλαίσια CIGS έχουν, όπως και αυτά του άμορφου πυριτίου, την ικανότητα να αποτίθενται επί εύκαμπτων υποστρωμάτων και έτσι παράγονται ελαστικά φύλλα με πολλές εφαρμογές (μεταξύ των οποίων και διαστημικές).



Εικόνες 1.13 – 1.14 –Εγκαταστάσεις με πλαίσια CIGS

Ας περάσουμε τώρα στο δυσάρεστο τμήμα της ανάλυσής μας και να δούμε τα μειονεκτήματα και τα προβλήματα με τα οποία συνδέονται τα πλαίσια CIGS.

Αν η απόδοση και η σταθερότητα μας ικανοποιούν, η τρίτη συνιστώσα αξιολόγησης, το κόστος, δεν κινείται στα χαμηλά επίπεδα που θα έπρεπε.

Αυτό έχει να κάνει κυρίως με το (ακριβό) στοιχείο Ίνδιο και –δευτερευόντως- με τους μηχανισμούς παραγωγής οι οποίοι μάλλον δεν έχουν την ανάπτυξη που θα έπρεπε. Συγκεκριμένα χρειάζεται έρευνα και ανάπτυξη στους τομείς του εξοπλισμού, των διαδικασιών κατασκευής (π.χ την ανάπτυξη του μίγματος Cu(InGa)Se_2) και στον έλεγχο της γραμμής παραγωγής. Κάπου εδώ φαίνεται και η έλλειψη τεχνογνωσίας σε σχέση με την συγκεκριμένη διάταξη καθώς δεν υπάρχουν άλλες εφαρμογές, πέραν των φωτοβολταϊκών, οι οποίες θα μπορούσαν να βοηθήσουν στην καλύτερη κατανόηση των ιδιοτήτων και της συμπεριφοράς του υλικού.

Με αυτό τον τρόπο θα μπορούμε να προβλέψουμε τα αποτελέσματα της προσπάθειας μας, και να προλάβουμε δυσάρεστες εκπλήξεις, που θα έφερναν πίσω την εξέλιξη του προϊόντος. Επί του παρόντος πάντως δεν είναι λίγες οι εφαρμογές σε σχετικά μεγάλη κλίμακα.

Τον Μάρτιο του 2009 ολοκληρώθηκε η εγκατάσταση 132 KWp πλαισίων CIGS της εταιρείας Solyndra, σε οροφή συγκροτήματος κινηματογράφου στο Livermore της California ενώ πρόσφατα (Μάρτιος 08) είχαμε μία από τις πρώτες μεγάλες εμπορικές εφαρμογές στην Αριζόνα των Ηνωμένων Πολιτειών, όπου εγκαταστάθηκαν 750 KWp στις εγκαταστάσεις παραγωγής φωτοβολταϊκών πλαισίων, της εταιρείας Global Solar. Η διάταξη θα καλύπτει το 25% των ενεργειακών αναγκών του εργοστασίου.

1.3 - ΑΛΛΕΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ

1.3.1 - Κελιά «πολλαπλής συνένωσης» (multi-junction)

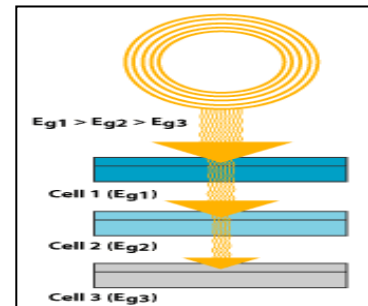
Κάπου εδώ πρέπει να γίνει αναφορά στην προσπάθεια που καταβάλλεται για την επίτευξη αυξημένης απόδοσης στα κελιά της συγκεκριμένης τεχνολογίας. Οι έρευνες έχουν κυρίως εστιάσει στο ενεργειακό διάκενο του άμορφου πυριτίου και πως θα καταστεί εφικτό να απορροφά το πλαίσιο μεγαλύτερο μέρος της προσπίπτουσας ακτινοβολίας.

Η λογική που ακολουθείται είναι η εξής:

Η φωτοδίοδος pin σε ένα ηλιακό κελί, απορροφά εκείνο το μέρος του φάσματος, με ενέργεια ίση με το ενεργειακό διάκενο του ημιαγωγού. Η υπόλοιπη προσπίπτουσα ενέργεια, δεν αξιοποιείται. Αν λοιπόν, αντί για μία δίοδο χρησιμοποιούσαμε δύο ή τρεις, η μία επάνω στην άλλη, από τις οποίες η καθεμία θα είχε διαφορετικό ενεργειακό διάκενο η βελτίωση θα ήταν προφανής. Η «επόμενη» δίοδος, εκμεταλλεύεται τα «διαφυγόντα ενεργειακά κέρδη» της προηγούμενης και η αξιοποίηση του ηλιακού φάσματος είναι αποτελεσματικότερη.

Με χρήση δύο στρωμάτων παράγονται τα γνωστά ως tandem cells («δίδυμα» κελιά), ενώ με χρήση τριών φωτοδίοδων τα triple-junction cells (κελιά τριπλής συνένωσης). Τα ανώτερα στρώματα θα λέγαμε πως παίζουν τον ρόλο φίλτρων για τα κατώτερα, και μάλιστα βαθυπερατών.

Έτσι σε ένα διπλό κελί, η πρώτη δίοδος θα μπορούσε να έχει ενεργειακό διάκενο 1,8 eV ενώ η δεύτερη λίγο μικρότερο, ας πούμε 1,4 eV. Τα φωτόνια με ενέργεια $h\nu = 1.8$ eV ή μεγαλύτερη, θα απορροφηθούν από το πρώτο στρώμα, ενώ αυτά με ενέργεια μεγαλύτερη 1.4 eV από το δεύτερο. Εκμεταλλευόμαστε έτσι τα 0.4 eV από το 1.4 ως το 1.8. Συμβαίνει έτσι αύξηση της απόδοσης η οποία μπορεί να φτάσει και το 20%.



Εικόνα 1.15 – Triple junction cell

Τα διαφορετικά ενεργειακά διακείνα, προκύπτουν με την χρήση, εκτός του καθαρού άμορφου πυριτίου, μιγμάτων του και κυρίως κράμα πυριτίου –(υδρογονομένου) γερμανίου (a-Si, Ge:H).

Θεωρητικά, ο ιδανικός συνδυασμός για ένα tandem cell, θα ήταν το άνω μέρος του να έχει ενεργειακό διάκενο περί το 1,75 eV ενώ το κάτω περί τα 1,1 eV. Σε αυτή την περίπτωση θα μπορούσαμε να επιτύχουμε σε συνθήκες εργαστηρίου, την (εξωπραγματική στα αλήθεια) απόδοση του 30%. Βέβαια για να εμφανίσουμε στην πράξη τέτοια αποτελέσματα, χρειαζόμαστε πλήρη αξιοποίηση και προσπίπτωντων φωτονίων, και σχετικά μεγάλα πάχη υλικού. Για το πάνω μέρος της διάταξης το πάχος δεν μπορεί να ξεπεράσει τα 0,3 μm, καθώς κάτι τέτοιο θα ενέτεινε το φαινόμενο Staebler-Wronski και την 'κατάρρα' του degradation. Το

αντίστοιχο όριο για το κάτω κελί, είναι τα 2μm, καθώς ο χρόνος εναπόθεσης αυτού του στρώματος είναι μεγάλος και επιβαρύνει σημαντικά το συνολικό κόστος. Λόγω λοιπόν τεχνικών και (κυρίως) οικονομικών περιορισμών απέχουμε πολύ από τα θεωρητικά δεδομένα.

Αξίζει να σημειωθεί, πως υπάρχει η απαίτηση το εξωτερικό στοιχείο να είναι λεπτότερο από το εσωτερικό, ούτως ώστε να προκύπτει ταίριασμα στα παραγόμενα ρεύματα (current matching) και αυτή η απαίτηση ικανοποιείται, όπως φαίνεται και από τα παραπάνω στοιχεία.

Για να υπάρχει μία εικόνα του τι πετυχαίνουμε τελικά με τα multi-junction cells να αναφέρω εδώ, πως η ιαπωνική εταιρεία Kaneka έχει ήδη διοχετεύσει στην αγορά 'δίδυμα' κελιά υβριδικής τεχνολογίας τα οποία έχουν, σταθεροποιημένη απόδοση, πάνω από 8%. Σε επίπεδο δοκιμών έχουν από την ίδια εταιρεία παραχθεί πλαίσια με (αρχική) απόδοση που φτάνει το 12,5%. Θα αναρωτιόταν κάποιος γιατί δεν εφαρμόζεται αποκλειστικά η τεχνολογία αυτή και υπάρχουν ακόμα single junction κελιά. Δυστυχώς τρία είναι τα βασικά προβλήματα στην παραγωγή τέτοιων πλαισίων.

Το πρώτο αφορά το κόστος του γερμανίου, το οποίο είναι σχετικά υψηλό και καθιστά το προϊόν λιγότερο εμπορικά ανταγωνιστικό. Το δεύτερο έχει να κάνει με την αστάθεια που παρουσιάζει στη ενεργειακή του συμπεριφορά το κράμα πυριτίου-γερμανίου. Τέλος το ενεργειακό διάκενο του κράματος είναι προς το παρόν δύσκολο να μειωθεί σε τιμές μικρότερες του 1.5 eV (πόσο μάλλον στην ιδανική τιμή του 1.1eV), ώστε να έχουμε μεγαλύτερο "κέρδος απορρόφησης".

Εδώ να σημειώσουμε πως κελιά πολλαπλών στρωμάτων έχουμε με το συνδυασμό και άλλων υλικών.

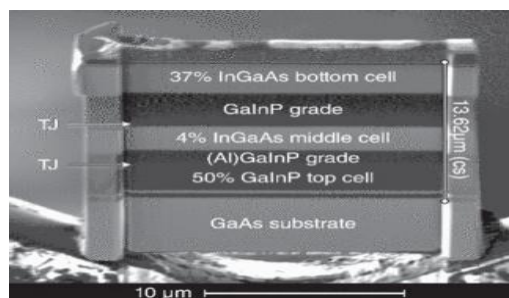
Πρόσφατα επιστήμονες στο Φράμπουργκ της Γερμανίας ανακοίνωσαν την επίτευξη απόδοσης 39,7 % σε στοιχεία triple-junction, ενώ σε παρόμοια κελιά στις Ηνωμένες Πολιτείες (εργαστήρια NREL) επετεύχθη απόδοση ρεκόρ 40,8%. Πρέπει εδώ να σημειωθεί πως και στις δύο περιπτώσεις τα φωτοβολταϊκά στοιχεία δοκιμάστηκαν σε συνδυασμό με στοιχεία συγκεντρωτικής οπτικής (concentrator optics) τα οποία συνιστούν ουσιαστικά καθρέπτες οι οποίοι εστιάζουν την ηλιακή ακτινοβολία σε συγκεκριμένη επιφάνεια, η οποία καλύπτεται από φ/β στοιχεία. Με αυτό τον τρόπο, ακόμα και με χαμηλή απόδοση η παραγόμενη ενέργεια είναι υψηλή, καθώς έχουμε υψηλή προσπίπτουσα.

Είναι φανερό ότι ο συνδυασμός εξελιγμένης τεχνολογίας πλαισίων και ηλιακών κατόπτρων δίνει τα βέλτιστα αποτελέσματα που αναφέραμε παραπάνω.

Τα κελιά αυτά αποτελούνται από περίπου 30 στρώματα υλικού, κυρίως από φωσφορίδιο και αρσενίδιο γαλλίου και ινδίου (GaInP- GaInAs) αλλά και γερμάνιο (Ge), τοποθετημένα σε υπόστρωμα γερμανίου. Γενικά αυτού του είδους τα στοιχεία μπορούμε να τα θεωρούμε στοιχεία GaAs (αρσενικούχο γάλλιο) σε μορφή multi-junction και με τις διάφορες προσμίξεις.

Να σημειωθεί πως οι αποδόσεις αυτές αφορούν συνθήκες εργαστηρίου και μάλλον είμαστε πολύ μακριά από την δημιουργία εμπορικών πλαισίων με τέτοιες αποδόσεις ,αλλά είναι σαφής η προοπτική βελτίωσης της απόδοσης και της δημιουργίας καλύτερης σχέσης κόστους-παραγόμενης ενέργειας.Από την άλλη το Γάλλιο είναι ένα πολύ σπάνιο υλικό ενώ το Αρσενικό θεωρείται δηλητηριώδες.

Ένα ακόμη μειονέκτημα αποτελεί το υψηλό κόστος του υποστρώματος GaAs.



Εικόνα 1.16 – Κελί με ίνδιο-γάλλιο και αρσενικό.

1.3.2 -ΥΒΡΙΔΙΚΑ ΚΕΛΙΑ

Πολύ συχνά αναφέρονται και ως HIT (Heterojunction with Intrinsic Thin-layer). Τα πιο γνωστά εμπορικά υβριδικά φωτοβολταϊκά στοιχεία αποτελούνται από δύο στρώσεις άμορφου πυριτίου (πάνω και κάτω) ενώ ενδιάμεσα υπάρχει μια στρώση μονοκρυσταλλικού πυριτίου.

Μέχρι σήμερα μόνο η Sharp έχει κυκλοφορήσει στην αγορά υβριδικά πάνελ, τα οποία μάλιστα έχουν απόδοση 17,2 %.Η απόδοσή τους μάλιστα διατηρήεται σε υψηλές θερμοκρασίες καθώς ο θερμοκρασιακός συντελεστής τους είναι 0,3 %/°C ενώ ο αντίστοιχος των κρυσταλλικών



Εικόνα 1.17 – Υβριδικό πλαίσιο

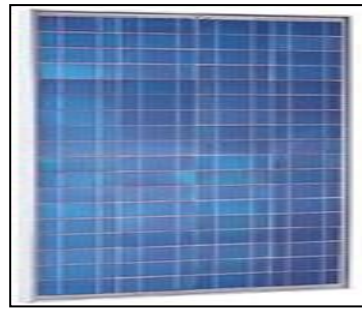
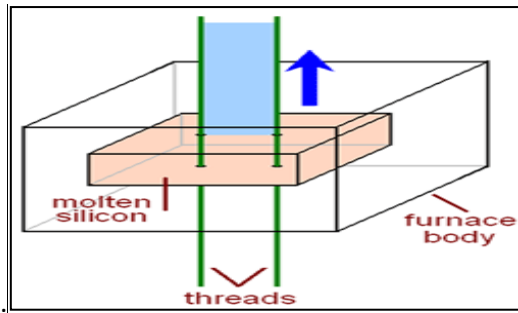
κελιών φτάνει το 0,5 % / °C.Επιπρόσθετα παρουσιάζουν καλή εκμετάλλευση της διάχυτης ακτινοβολίας.

Τα πλαίσια αυτά είναι κάπως ακριβότερα σε σχέση με τα συμβατικά φωτοβολταϊκά.

1.3.3 - Φ/Β ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΑΙΝΙΑΣ ΠΥΡΙΤΙΟΥ (RIBBON SILICON)

Πρόκειται για μια σχετικά νέα τεχνολογία που αναπτύσσεται από την εταιρεία Ever Green Solar.Προσφέρει μέχρι και 50% μείωση στην χρήση του πυριτίου σε σχέση με τις γνωστές τεχνικές παραγωγής πολυκρυσταλλικών και μονοκρυσταλλικών κελιών.Η απόδοση στα κελιά του εμπορίου φτάνει το 13% ενώ στο εργαστήριο αγγίζει το 18% ([30]).

Για την κατασκευή των στοιχείων αυτών, δύο λεπτά «σύρματα» βυθίζονται συνεχώς σε ένα σωλήνα με τηγμένο πυρίτιο.Καθώς τα σύρματα συνεχώς κινούνται εντός του σωλήνα,σχηματίζεται ανάμεσά τους ένα λεπτό στρώμα πυριτίου το οποίο και αποτελεί την πρώτη ύλη των φωτοβολταϊκών κελιών



Εικόνες 1.18 και 1.19 – Μέθοδος κατασκευής και πλαίσιο ταινίας πυριτίου

Το πυρίτιο που παίρνουμε από την διαδικασία αυτή είναι πολυκρυσταλλικό. Η μέθοδος αυτή είναι αποτελεσματική όχι μόνο σε σχέση με την οικονομία σε υλικό αλλά και σε σχέση με την ενεργειακή κατανάλωση κατά την διαδικασία παραγωγής.

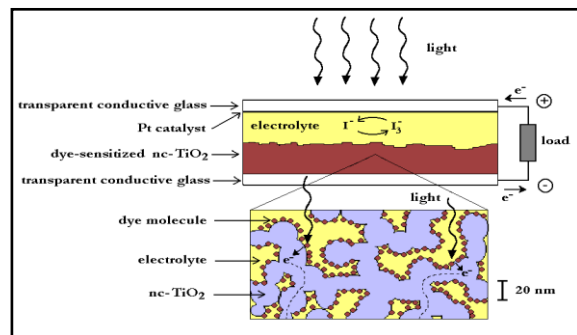
1.3.4 - ΟΡΓΑΝΙΚΑ ΚΕΛΙΑ (Dye-Sensitized Solar Cells)

Τα συγκεκριμένα φ/β στοιχεία θεωρούνται «επόμενης γενιάς», αν και η μελέτη τους έχει ξεκινήσει από τις αρχές τις δεκαετίας του 1990. Κατά κάποιο τρόπο αντιγράφουν την διαδικασία της φωτοσύνθεσης, διαχωρίζοντας εξαρχής τους ηλεκτρικούς φορείς που δημιουργούνται μέσω της απορρόφησης του ηλιακού φωτός.

Η δομή μιάς τέτοιας κατασκευής, από κάτω προς τα πάνω, έχει ως εξής, ([28]):

- Κάτω ηλεκτρόδιο (διαφανές αγώγιμο γυαλί)
- Ημιαγωγός τύπου n
- Λεπτό στρώμα μοριακού φωτοευαίσθητου υλικού επί της ταινίας ναοκρυσταλλικού οξειδίου του πυριτίου (nc-TiO₂).
- Ημιαγωγός τύπου p ή ηλεκτρολύτης περιέχων οξειδοαναγωγικό ζεύγος (συνήθως I⁻/I₃⁻)
- Άνω ηλεκτρόδιο καλυμμένο με καταλύτη (συνήθως πλατίνα, Pt). Ομοίως με το έταίρο ηλεκτρόδιο, ουσιαστικά πρόκειται για αγώγιμο διαφανές γυαλί.

Με την απορρόφηση του φωτός έχουμε δημιουργία ηλεκτρονίων και οπών στο στρώμα της βαφής, που το φωτοευαίσθητο υλικό εκπέμπει στην n και p περιοχή της διάταξης αντίστοιχα, εμποδίζοντας την επανασύνδεσή τους, η οποία θα επιτευχθεί πλέον μόνο μέσω εξωτερικού κυκλώματος.



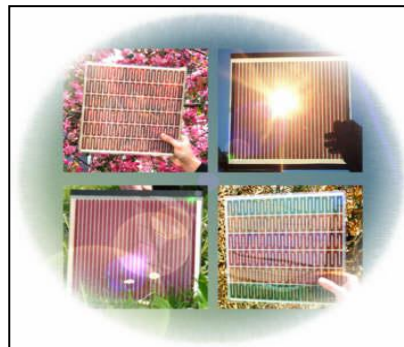
Οι φορείς μεταφέρονται μέσω των ημιαγωγών Εικόνα 1.20 – Τρόπος λειτουργίας οργανικού κελιού

ή ηλεκτρολυτών στα ηλεκτρόδια με αποτέλεσμα την δημιουργία τάσης.

Επειδή η εκμετάλλευση της προσπίπτουσας ακτινοβολίας από το ενδιάμεσο στρώμα είναι αρκετά μικρή, εισάγεται επιπλέον λεπτό φιλμ νανοκρυσταλλικού τιτανίου (TiO_2) το οποίο αυξάνει την ενεργειακή απόδοση του στοιχείου. Έχουν δε, αναπτυχθεί και στοιχεία με χρήση CuInS_2 προς την κατεύθυνση αυτή.

Κατά την κατασκευή, το οξείδιο του πυριτίου ή ο δισεληνιούχος χαλκός «βάφονται» με το φωτοευαίσθητο υλικό για αυτό τα κελιά χαρακτηρίζονται ως Dye Sensitized pn cells.

Η συνήθης «βαφή» ονομάζεται N719, έχει ως βάση το στοιχείο ρουθίνιο (Ru) και παρουσιάζει κάποια προβλήματα σταθερότητας που οδηγούν στην έρευνα για αντικατάστασή της.



Εικόνα 1.21 – Dye sensitized panels

Οι αποδόσεις που έχουν επιτευχθεί ως τώρα φθάνουν το 5 με 6% και οι προσπάθειες στρέφονται κυρίως στην αύξηση αυτού του ποσοστού, το οποίο πάντως δεν είναι υπερβολικά χαμηλό για ηλιακή ηλεκτροπαραγωγό διάταξη.

Η αντοχή τους κρίνεται ικανοποιητική, ενώ παρουσιάζουν πολύ καλή εκμετάλλευση της διάχυτης ακτινοβολίας αποκτώντας αυτόματα πλεονέκτημα έναντι του πυριτίου. Τα πλαίσια που παράγονται είναι διαφανή ή ημιδιαφανή και ενδείκνυται η χρήση τους σε συστήματα BIPV (Building Integrated Photovoltaics).

Ήδη έχουμε κάποιες εγκαταστάσεις τέτοιων πλαισίων κυρίως ενσωματωμένων σε κτίρια, ενώ εταιρείες όπως η Dyesol στην Αυστραλία και η βρετανική G24i έχουν προχωρήσει στην πιλοτική παραγωγή τους.

1.3.5 - BACK CONTACT CELLS

Παρά την σημαντική διείσδυση διαφόρων υλικών στην κατασκευή φ/β κελιών, το σημαντικότερο μερίδιο στην αγορά κατέχουν, όπως είδαμε και παραπάνω, τα κρυσταλλικά κελιά πυριτίου τα οποία έχουν, μέχρι σήμερα, επιτύχει τις υψηλότερες αποδόσεις. Στα κελιά αυτά οι αγώγιμες μεταλλικές συνδέσεις (metal gridlines) χαράσσονται στην μπροστά όψη τους.

Για την μεταφορά των ηλεκτρικών φορέων ενσωματώνονται στην όψη του στοιχείου, κοντά στον πομπό (emitter), λεπτές μεταλλικές παράλληλες γραμμές γνωστές και ως fingers, οι οποίες μεταφέρουν τα ηλεκτρόνια σε κεντρικό αγωγό (busbar) σχετικά πλατύ που μπορεί να συνδεθεί με το εξωτερικό, του κελιού, κύκλωμα.

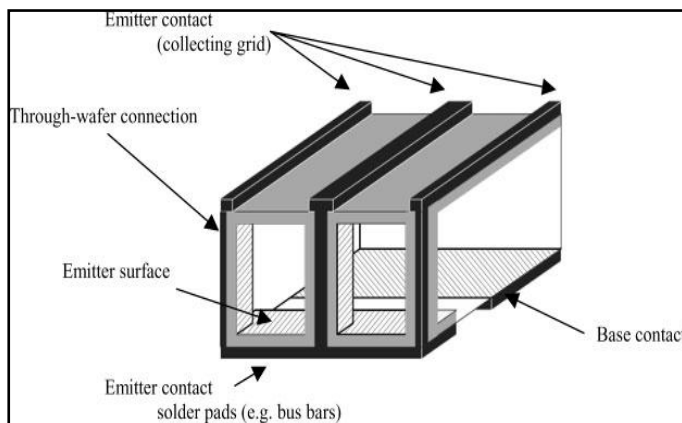
Το μεταλλικό αυτό «δίκτυο» πρέπει να είναι υψηλής αγωγιμότητας καθώς απαιτούμε όσο το δυνατόν μικρότερες απώλειες. Η αντίστασή του μειώνεται όσο το μέγεθος των αγωγών μεγαλώνει. Από την άλλη όμως μεγάλο πλάτος μετάλλου σημαίνει υψηλό ποσοστό σκίασης

της ενεργού περιοχής απορρόφησης του φωτός, με συνακόλουθη μείωση της απόδοσης. Ακόμη, αυξημένη μεταλλική επιφάνεια συνδέσεων θα οδηγήσει σε μηχανική ανισοροπία της διάταξης και συγκεκριμένα των συγκολήσεων με κασσίτερο (καλά), λόγω του διαφορετικού **συντελεστή θερμικής διαστολής** μεταξύ μετάλλου και του πυριτίου. Επιπλέον, για την κατασκευή ενός πάνελ απαιτείται η σύνδεση του εμπρόσθιου τμήματος του ενός κελιού με το οπίσθιο τμήμα του άλλου με μια διαδικασία πολλαπλών βημάτων, δύσκολης αυτοματοποίησης και σημαντικού κόστους

Σαν απάντηση σε αυτά τα προβλήματα γεννήθηκαν τα **back contact cells**, στα οποία οι αγώγιμοι δρόμοι εντοπίζονται στην πίσω όψη τους.

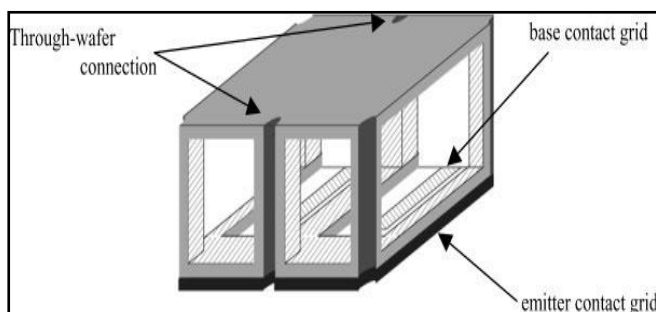
Υπάρχουν τρεις παραλλαγές της τεχνολογίας αυτής ανάλογα με το τμήμα των συνδέσεων που έχει μεταφερθεί στην πίσω πλευρά του πάνελ. Διακρίνουμε τις παρακάτω δομές:

- metallisation wrap-through (MWT)



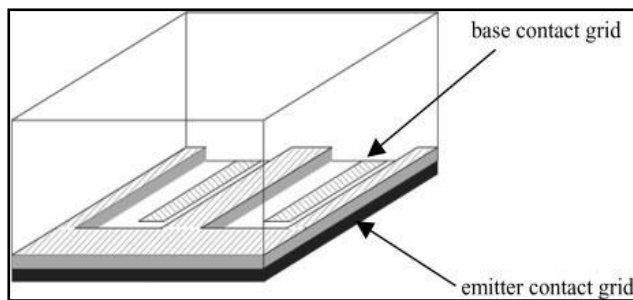
Εικόνα 1.22 – Δομή MWT

- emitter wrap-through (EWT)



Εικόνα 1.23- Δομή EWT

- back-junction (BJ)



Εικόνα 1.24 - Δομή BJ

Μέσα και από τα παραπάνω σχήματα φαίνεται η προσπάθεια σταδιακής μεταφοράς όλων των μεταλλικών μερών στο οπίσθια όψη του κελιού, κάτι που έχουμε εξ'ολοκλήρου στα **base contact cells**.



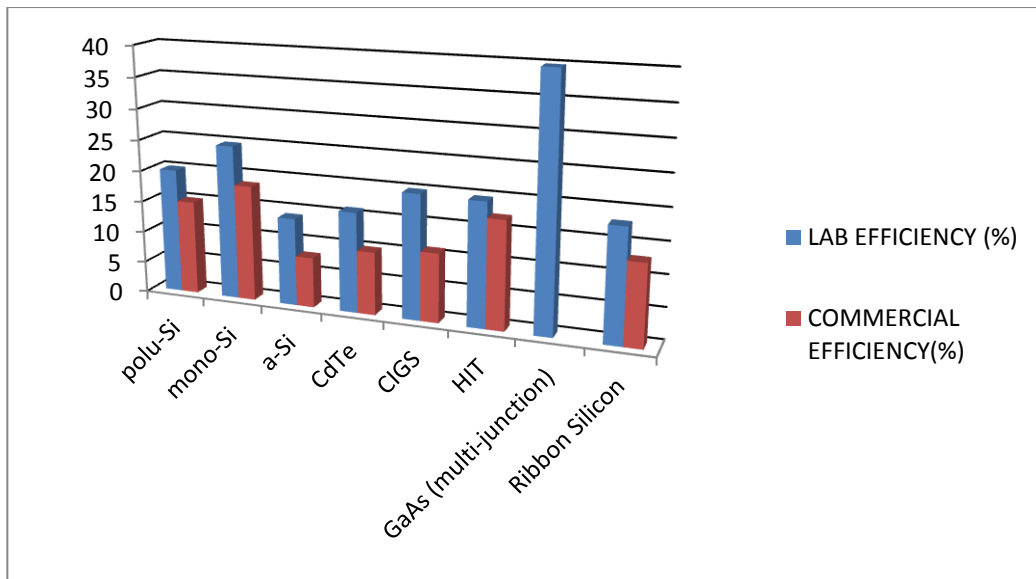
Εικόνες 1.25 και 1.26 – Σύγκριση κρυσταλλικού πλαισίου με πλαίσιο back contact

Αξίζει όμως αυτή η διαδικασία;

Σύμφωνα με ερευνητές και κατασκευαστές ναι. Παρατηρείται αύξηση της απόδοσης μέχρι και 50% ενώ αναφέρονται μειωμένα κόστη παραγωγής, ([29]), χωρίς πάντως να δίνονται ποσοτικά στοιχεία. Επιπλέον επιτυγχάνεται ομοιόμορφη εμφάνιση, κατάλληλη για εφαρμογές φωτοβολταϊκών ενσωματωμένων σε κτίρια (building integrated photovoltaics, BIPV).

Η αμερικάνικη εταιρία **Sunpower** έχει παρουσιάσει ήδη πάνελς με απόδοση 18% και έχει στο ενεργητικό της σημαντικές εγκαταστάσεις όπως τα 2,2 MW στην Mungyeong της Κορέας, τα 15 MW στη Νεβάδα των Η.Π.Α (που αποτελούν την μεγαλύτερη φ/β εγκατάσταση στη χώρα) αλλά και τα συνολικά 61 MW που έχει εγκαταστήσει στην Ισπανία. Άλλη εταιρία σε αυτό τον τομέα είναι η ολλανδική **Solland Solar**, η οποία έχει προχωρήσει στην μαζική παραγωγή πολυκρυσταλλικών πλαισίων back contact, απόδοσης 16,4 % , τα οποία κατασκευάστηκαν , με την υποστήριξη της εταιρείας, στο Κέντρο Ενεργειακής Έρευνας της Ολλανδίας (Energy research Centre of the Netherlands ,ECN).

Τέλος η **Kyocera** έχει παρουσιάσει ένα πρωτότυπο του μοντέλου της με απόδοση 18,5 % αλλά ως τώρα δεν υπήρξε παραγωγή του σε μεγάλη κλίμακα, ενώ σε εμβρυικό στάδιο σε αυτό το είδος πάνελ βρίσκεται και η **Entech Solar**.



Διάγραμμα 1.7 – Συνοπτικές αποδόσεις φ/β πλαισίων

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 – ΜΕΣΑ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ Φ/Β ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ

Στο παρόν κεφάλαιο θα μελετηθούν τα μέσα προστασίας που είναι απαραίτητο να χρησιμοποιούμε σε μία φωτοβολταϊκή εγκατάσταση, τόσο στην dc όσο και στην ac πλευρά. Τα μέσα αυτά πρέπει να εγγυώνται την ασφάλεια του εξοπλισμού αλλά, κυρίως, των ανθρώπων που για οποιοδήποτε λόγο θα έρθουν σε επαφή με τον εξοπλισμό, έναντι υψηλών ρευμάτων ή τάσεων που ίσως προκύψουν.

2.1- Μέσα προστασίας στη DC Πλευρά

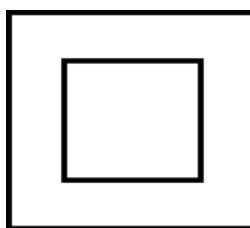
Ο εξοπλισμός του συνεχούς, θα πρέπει να είναι δοκιμασμένος και εγκεκριμένος για συνεχές ρεύμα και συνεχή τάση.

2.1.1 - Καλώδια

Τα καλώδια μόνωσης που χρησιμοποιούνται στο συνεχές τμήμα της διάταξης, πρέπει να είναι τύπου II. Τα καλώδια αυτά σχεδιάζονται με τέτοιο τρόπο ώστε να μην είναι απαραίτητη η σύνδεση ασφαλείας με την ηλεκτρική γη. Αυτό επιτυγχάνεται είτε με την χρήση δύο στρωμάτων μονωτικού υλικού, είτε με χρήση ενισχυμένης μόνωσης σε ένα όμως στρώμα.



Εικόνα 3.1 – Καλώδιο τύπου 2



Εικόνα 2.2 – Συμβολισμός καλωδίου τύπου 2

Τα καλώδια αυτά στην διεθνή βιβλιογραφία αναφέρονται ως “class 2” ή “double insulated cables”. Τέλος να σημειωθεί πως οι καλωδιώσεις πρέπει να έχουν επιλεγεί ώστε να αντέχουν αναμενόμενες εξωτερικές επιδράσεις όπως σχηματισμός πάγου, δυνατός άνεμος ή υψηλές θερμοκρασίες.

2.1.2 - Προστασία των καλωδιώσεων από υπερρεύματα (overload protection)

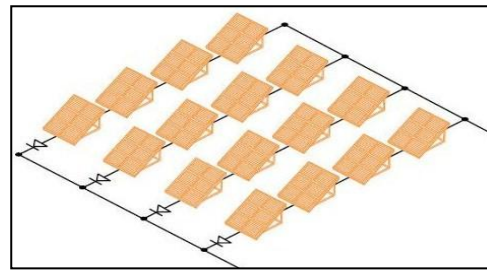
Εάν η αντοχή του καλωδίου, στα strings και στα arrays, σε συνεχή διαρροή ρεύματος είναι μεγαλύτερη ή ίση του 125% του ρεύματος βραχυκύκλωσης υπό κανονικές συνθήκες δοκιμών ($1,25 \times I_{sc\ stc}$), τότε επιπλέον προστασία των αγωγών (χρήση ασφαλειών) μπορεί να παραλειφθεί. Το αυτό ισχύει και για το κύριο καλώδιο της φωτοβολταϊκής γεννήτριας. Φυσικά, σε κάθε περίπτωση πρέπει να λαμβάνεται το ρεύμα βραχυκύκλωσης του υπό εξέταση σημείου του κυκλώματος. Για παράδειγμα στην περίπτωση του κυρίου καλωδίου (main cable) πρέπει να χρησιμοποιηθεί το I_{sc_stc} ολόκληρης της συστοιχίας που καταλήγει στον αντιστροφέα.

Σε περίπτωση που η παραπάνω προϋπόθεση δεν πληρείται, θα πρέπει να χρησιμοποιηθούν ασφάλειες για την προστασία των καλωδιώσεων, οι οποίες θα διαστασιοποιηθούν με βάση το 125 % του ρεύματος βραχυκύκλωσης.

2.1.3 - Προστασία έναντι ρευμάτων ανάστροφης φοράς

Εάν η φ/β γεννήτρια αποτελείται από πολλούς παράλληλους κλάδους (περισσότερους από δύο), σε περίπτωση ανάστροφης τάσης στα άκρα κάποιου string, ένα διόλου αμελητέο ανάστροφο ρεύμα θα διαρρεύσει τα πλαίσια. Αιτία για κάτι τέτοιο είναι συνήθως η παροδική σκίαση τμήματος της φ/β εγκατάστασης, πράγμα όχι σπάνιο ιδιαίτερα για οικιακά φ/β. Για να αποτρέψουμε αυτό το φαινόμενο μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε διάφορες μεθόδους οι οποίες θα «κόβουν» το ανάστροφο ρεύμα.

Εάν χρησιμοποιούνται δίοδοι για τον αποκλεισμό ανάστροφων ρευμάτων σε κάθε string, η αντοχή τους σε ανάστροφη τάση πρέπει να φτάνει την τιμή $2 \times U_{oc} \text{ stc}$, και η αντοχή τους σε ρεύμα ορθής φοράς ίση με το ρεύμα βραχυκύκλωσης κάθε πλαισίου προσαυξημένο κατά τουλάχιστον 25% ([24],[2]).



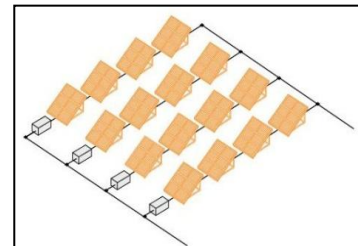
Εικόνα 2.3 – Προστασία με δίοδους

Η σύνδεσή τους πρέπει να γίνει σε σειρά με το string που προστατεύουν. Πάντως η χρήση δίοδων δεν θεωρείται ικανοποιητική προστασία καθώς οι δίοδοι δεν είναι, εν γένει, συσκευές προστασίας. Επιπλέον προκαλούν απώλειες στο κύκλωμα. Καλό θα ήταν λοιπόν να αποφεύγονται.

Μία απλή και οικονομική λύση είναι η χρήση ασφαλειών (fuses).

Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, πρέπει το ονομαστικό τους ρεύμα να είναι σίγουρα μεγαλύτερο από το $1,25 \times I_{sc}$ και μικρότερο από την τιμή που έχει θέσει ο κατασκευαστής για την προστασία των πλαισίων. Αν δεν υπάρχει σαφής οδηγία από τον κατασκευαστή, η τιμή αυτή δεν πρέπει να ξεπερνά το $2 \times I_{sc}$. Είναι βασικό οι ασφάλειες να είναι τοποθετημένες σε ασφαλειοθήκες ικανές να αντέξουν την καταπόνηση από υπερρεύματα στις θεωρητικά χειρότερες συνθήκες λειτουργίας (worst case scenario). Επιπλέον, επιδιώκεται να φέρουν το χαρακτηριστικό gR ([24]), δηλαδή να είναι κατάλληλες για χρήση σε κύκλωμα με ημιαγωγούς. Και εδώ πάντως δεν θεωρούμε πως έχουμε απόλυτη ασφάλεια από ανάστροφα ρεύματα εκτός και αν τα strings είναι λίγα στον αριθμό, ενώ σε σχέση με τους μικροαυτόματους που θα δούμε παρακάτω, δεν παρέχεται απόζηυση.

Οι μικροαυτόματοι (miniature circuit breakers- MCB) και οι αυτόματοι διακόπτες ισχύος, προστατεύουν την ηλεκτρική εγκατάσταση από βραχυκύκλωμα ή υπερφόρτιση. Στο κύκλωμα συνεχούς τάσης του φωτοβολταϊκού συστήματος οι μικροαυτόματοι προστατεύουν κάθε φ/β στοιχειοσειρά (string) από ρεύματα ανάστροφης φοράς, από ρεύματα βραχυκύκλωσης καθώς επίσης και



Εικόνα 2.4 – Προστασία με MCB

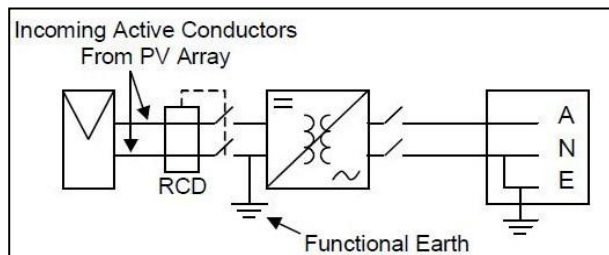
από την έγχυση εναλλασσόμενου ρεύματος στο κύκλωμα συνεχούς,σε πιθανή βλάβη του αντιστροφέα.Κάθε στοιχειοσειρά πρέπει να προστατεύεται ξεχωριστά,ώστε να εξασφαλίζεται ο περιορισμός του σφάλματος μόνο σε εκείνο το string που αντιμετωπίζει πρόβλημα.Με αυτό τον τρόπο η υπόλοιπη εγκατάσταση μένει ανεπηρέαστη και παράγει κανονικά,ενώ είναι αποδοτικότερη η συντήρηση των strings καθώς μπορεί να πραγματοποιηθεί ανεξάρτητα.Είναι σαφές πως η προστασία μέσω MCB είναι τεχνικά ανώτερη από την προστασία με απλές ασφάλειες καθώς παρέχει «υπηρεσίες» απόζευξης,αλλά και εγγυημένη προστασία από ανάστροφα ρεύματα. Το βασικό μειονέκτημά τους είναι το μεγαλύτερο κόστος.Ένα άλλο φαινόμενο σχετικό με την χρήση τους είναι η πιθανή ενεργοποίησή τους λόγω κάποια παροδικής υπέρτασης (π.χ ατμοσφαιρικής προέλευσης) η οποία όμως δε τα αποτρέπει από το να λειτουργήσουν και πάλι με ασφάλεια χωρίς αντικατάσταση κάποιου εξαρτήματος.

Οι μέγιστες τιμές αντοχής τέτοιων συσκευών φτάνουν έως 5kA, ενώ οι ονομαστικές τιμές λειτουργίας τους πρέπει να επιλεγθούν βάσει της ονομαστικής τιμής έντασης της συστοιχίας που προστατεύουν.

2.1.4 - Προστασία έναντι ρευμάτων διαρροής

Το ζήτημα των ρευμάτων διαρροής απαιτεί προσεκτική μελέτη ακόμα και αν έχουμε πάρει κάποια μέτρα προς αυτή την κατεύθυνση,όπως η χρήση καλωδίων διπλής μόνωσης. Η πρώτη λύση που προτείνεται από διεθνή πρότυπα (όπως το **VDE V 0126-1-1**) είναι η χρήση **μονάδας παρακολούθησης διαφορικού ρεύματος (RCMU)** σε περίπτωση χρήσης μετατροπέα χωρίς μετασχηματιστή.Η διάταξη αυτή εντοπίζει «άλματα» στο ρεύμα διαρροής (συνεχές και εναλλασσόμενο) ύψους τουλάχιστον 30mA,([5]), και αυτό σημαίνει πως σε αργά μεταβαλλόμενα ρεύματα δεν ανταποκρίνεται,παρά μόνο αν φτάσουν σε τιμή 300mA. Αν δε χρησιμοποιήσουμε RCMU τότε η χρήση RCD τύπου B στην AC πλευρά προσφέρει τη ζητούμενη προστασία.Γενικά μπορούμε να πούμε πως το RCMU είναι μία πρόσθετη προστασία ,([5]), για τις διαρροές,η οποία ενίοτε είναι ενσωματωμένη στους αντιστροφείς.

Αν υπάρχει γαλβανική απομόνωση μεταξύ DC και AC πλευράς ,πρέπει να χρησιμοποιήσουμε RCD τύπου B για προστασία στην DC πλευρά . Όπως φαίνεται και στο δίπλα σχήμα([24]),είναι απαραίτητο



Εικόνα 2.5 – Χρήση RCD στην DC πλευρά

να υπάρχει λειτουργική γείωση,δηλαδή σύνδεση του ουδετέρου με τη γη και το RCD

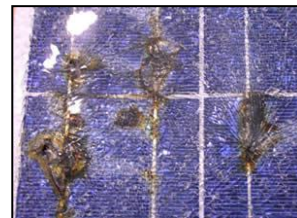
να είναι συνδεδεμένο στην πλευρά της συστοιχίας,πριν το σημείο σύνδεσης με γη.

Εξαιτίας των χωρητικών ρευμάτων που υπάρχουν λόγω των παρασιτικών χωρητικοτήτων των πλαισίων,χρειάζεται να επιλεγθεί RCD με ονομαστική τιμή ρεύματος όχι μικρότερη από 30mA.Περισσότερα για τα RCD θα συζητηθούν στην επόμενη ενότητα.

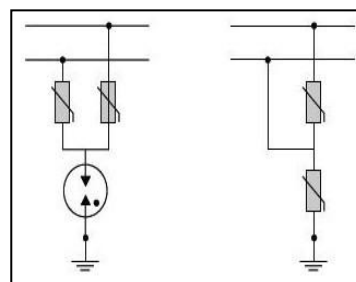
2.1.5 - Προστασία έναντι υπερτάσεων

Όπως και σε κάθε άλλη ηλεκτρική εγκατάσταση είναι απαραίτητη η προστασία του εξοπλισμού έναντι υπερτάσεων.

Οι υπερτάσεις αυτές μπορεί να προκληθούν λόγω εξωτερικών αιτιών (συνήθως κεραυνικά πλήγματα) αλλά και λόγω χειρισμών ενώ είναι πιθανό να καταστρέψουν τμήματα του εξοπλισμού, όπως φαίνεται στη δίπλα εικόνα. Η εξωτερική κεραυνική προστασία (με χρήση κλωβών ή απλών ηλεκτροδίων που συλλαμβάνουν το κεραυνικό πλήγμα και το διοχετεύουν στη γη) είναι εκτός του σκοπού αυτής της ενότητας. Θα δούμε πως μπορεί να επιτευχθεί εσωτερική προστασία, δηλαδή να εντοπίζονται υπερτάσεις ικανές να βλάψουν στοιχεία του κυκλώματος και να διοχετεύεται το ρεύμα εκφόρτισής τους στη γη. Για να επιτευχθεί αυτό είναι απαραίτητη η χρήση συσκευών απαγωγής υπερτάσεων ή, όπως είναι πιο γνωστές, surge arresters (συνήθως αναφέρονται με το γενικό όρο SPD- surge protective devices). Οι διατάξεις αυτές έχουν μεταβλητή αντίσταση προς γη. Σε συνθήκες κανονικής λειτουργίας (λέμε ότι το SPD είναι σε αναμονή – on hold) η αντίσταση προς γη είναι πολύ μεγάλη, ενώ αν η τάση γίνει πολύ μεγάλη (περίπτωση υπέρτασης) η αντίσταση γίνεται πολύ μικρή και διοχετεύει το αντίστοιχο υπέρρευμα στη γη, ([24]).



Εικόνα 2.6 – Κατεστραμμένο πλαίσιο λόνω υπέρτασης



Εικόνα 2.7 – Συμβολισμοί SPD

Διακρίνουμε τρία είδη SPD, ([26]), ανάλογα με το επίπεδο προστασίας που παρέχουν:

➤ SPD type I

Έχουν τη μεγαλύτερη αντοχή σε υπερτάσεις (και τα συνακόλουθα ρεύματα) καθώς σχεδιάζονται για να αντέχουν απευθείας κεραυνικό πλήγμα, με την έννοια της εκφόρτισης μεγάλου μέρους κεραυνικού ρεύματος το οποίο θεωρητικά πρέπει να μεταφέρουν στη γη οι αγωγοί της εξωτερικής κεραυνικής προστασίας. Εάν οι αποστάσεις μεταξύ των καλωδίων και των αγωγών αυτών δεν είναι οι πρόπουσες, το κεραυνικό ρεύμα σχηματίζει τόξα και μοιράζεται ανάμεσα στα ηλεκτρόδια γείωσης και τους αγωγούς της φ/β εγκατάστασης.

Επειδή τα SPD I για την DC πλευρά έχουν σημαντικό κόστος, η καλύτερη λύση είναι η εξασφάλιση αποστάσεων ασφαλείας μεταξύ φ/β και εξωτερικής προστασίας ώστε να αποφευχθούν ιδιαίτερα μεγάλα ρεύματα στις γραμμές των πλαισίων.

➤ SPD type II

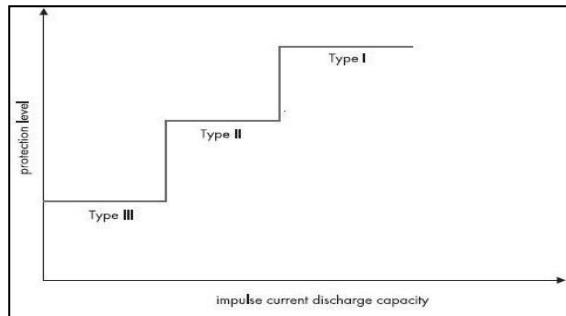
Θεωρούνται μέση λύση και χρησιμοποιούνται ευρύτατα καθώς έχουν την ικανότητα χειρισμού υπερρευμάτων προερχόμενων από επαγόμενες τάσεις λόγω κεραυνικού πλήγματος. Στην περίπτωση αυτή η ισχύς που διαχειρίζονται είναι σαφώς μικρότερη από αυτήν άμεσου χτυπήματος και το κόστος τους είναι αρκετά μικρότερο από του τύπου I.

➤ SPD type III

Χρησιμοποιούνται ως προστασία έναντι επαγόμενων υπερτάσεων μικρής τιμής (για παράδειγμα όταν το κεραυνικό πλήγμα βρίσκεται πολύ μακριά) και προστατεύουν πολύ ευαίσθητα ηλεκτρονικά κυκλώματα, όπως αυτά που βρίσκονται εντός των αντιστροφών.

Είναι ικανά να χειριστούν μικρά ρεύματα (σε σχέση με τους άλλους τύπους SPD).

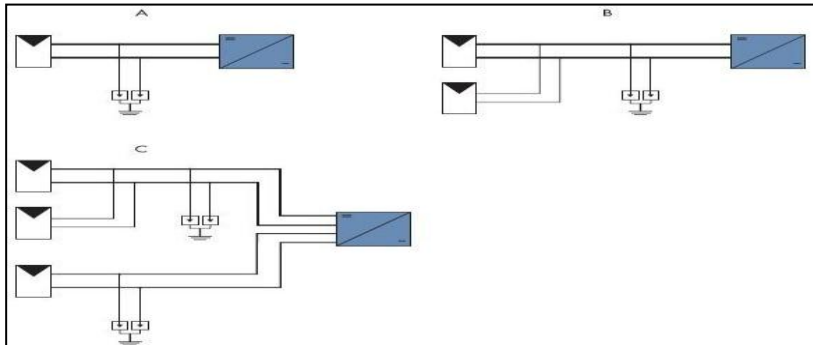
Ανάλογα με την ικανότητα σε ρεύμα εκφόρτισης ορίζεται το παρεχόμενο επίπεδο προστασίας. Όπως φαίνεται παραστατικά στο ακόλουθο σχήμα, το υψηλότερο επίπεδο προστασίας παρέχει το SPD τύπου I ενώ το χαμηλότερο αυτό του τύπου III. Στο σημείο αυτό είναι απαραίτητη μια διευκρίνηση. Ένα SPD τύπου I δε σημαίνει πως παρέχει προστασία πάντα και για όλες τις συσκευές.



Εικόνα 2.8 – Επίπεδο προστασίας

Αν προστατεύουμε μία ευαίσθητη διάταξη δεν είναι κατάλληλο για χρήση, καθώς η παραμένουσα τάση του είναι μεγάλη και μπορεί να διοχετεύσει εντάσεις ικανές να καταστρέψουν τη συσκευή. Αν και δεν είναι απόλυτος δόκιμος όρος, θα μπορούσαμε να πούμε πως παρέχει «χονδροειδή» προστασία στο συνολικό κύκλωμα. Στην ανωτέρω περίπτωση πρέπει, ([26]), μαζί με το SPD τύπου I να εγκατασταθεί και ένα τύπου II ή τύπου III εγγύτερα στην υπό προστασία συσκευή (downstream installation).

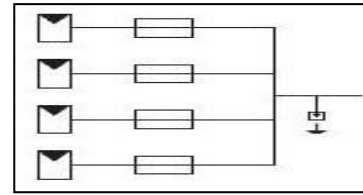
Είναι σημαντικό να εξεταστεί η θέση εγκατάστασης των SPD στην DC πλευρά. Εάν ο inverter διαθέτει ένα MPPT για όλα τα string που εξυπηρετεί (όπως συμβαίνει για δύο από τους αντιστροφείς που εγκαταστήσαμε), τότε ένα μόνο SPD είναι αρκετό αρκεί να τοποθετηθεί μετά το σημείο σύνδεσης των διαφόρων strings (αν υπάρχουν πολλαπλές συστοιχίες-περιπτώσεις A και B). Εάν ο αντιστροφέας πραγματοποιεί ξεχωριστό MPPT για κάθε ξεχωριστή είσοδο που δέχεται (όπως ο τρίτος αντιστροφέας) τότε κάθε string πρέπει να προστατευθεί με ξεχωριστό surge arrester (περίπτωση C).



Εικόνα 2.9 – Διασύνδεση PSD κατά περίπτωση

Ένα ακόμη σημείο που χρειάζεται προσοχή είναι η περίπτωση που χρησιμοποιούνται μέσα προστασίας των γραμμών (πχ ασφάλειες). Τότε πρέπει το SPD να τοποθετηθεί μετά τις ασφάλειες (προς την πλευρά του inverter) και μετά το σημείο σύνδεσης των επιμέρους strings που προστατεύει.

Μία γενική απαίτηση σύμφωνα με το πρότυπο IEC 62305-4 είναι η αντοχή του εξοπλισμού σε υπέρταση (U_w) να είναι μεγαλύτερη ή τουλάχιστον ίση με την τιμή ενεργοποίησης της συσκευής προστασίας (effective protection level - U_p) είτε όπως αυτή δίνεται από τον κατασκευαστή είτε προσαυξημένη κατά κάποιο ποσοστό (συνήθως 20%) για να συμπεριλάβει την πτώση τάσης στους αγωγούς σύνδεσης, ([7]).



Εικόνα 2.10 – Χρήση SPD μαζί με ασφάλειες

Πρέπει να σημειωθεί πως συσκευές τέτοιου τύπου μπορούν να χρησιμοποιηθούν, όχι μόνο στην dc πλευρά αλλά και στην ac. Ανάλογα με την θέση τους στο DC τμήμα μπορεί να προστατεύουν, ([7],[16]):

- Την φωτοβολταϊκή γεννήτρια, αν τοποθετηθούν στην έξοδο των ηλιακών πάνελ.
- Την dc είσοδο του αντιστροφέα, αν τοποθετηθούν μπροστά από αυτόν στην συνεχή πλευρά του συστήματος.

Τέλος ,για την ελαχιστοποίηση της τιμής των επαγόμενων τάσεων, εξαιτίας κεραυνικού πλήγματος, πρέπει να ληφθεί μέριμνα ώστε οι αγωγίμοι βρόγχοι που δημιουργούν οι καλωδιώσεις να είναι όσο το δυνατόν μικρότεροι.

2.1.6 - Ηλεκτρική απομόνωση εγκατάστασης

Είναι απαραίτητη η παρουσία ενός αποζεύκτη DC (switch disconnecter), για την απομόνωση της συνεχούς πλευράς σε περιπτώσεις συντήρησης ή κάποιας βλάβης που απαιτεί άμεση απομόνωση ενός ή περισσότερων συστοιχιών. Να σημειωθεί ότι η πλευρά αυτή θεωρείται ενεργή ακόμα και όταν η παροχή του inverter στο δίκτυο έχει διακοπεί. Γενικά η απόζευξη συνεχούς κυκλώματος είναι πιο δύσκολη από το εναλλασσόμενο, καθώς στο συνεχές δεν υπάρχουν μηδενισμοί της έντασης του ρεύματος και πρέπει από μία σταθερή τιμή να οδηγηθεί απευθείας στο μηδέν.

Σε κάθε string είναι σωστό να τοποθετείται ένας αποζεύκτης ώστε να μπορούμε ανεξάρτητα να χειριστούμε κάθε συστοιχία. Τα χαρακτηριστικά με βάση τα οποία θα επιλέξουμε ένα switch disconnecter είναι τα παρακάτω:

- Ονομαστική τάση μόνωσης – Rated Insulation Voltage (U_i). Η U_i εκφράζει τη μέγιστη τάση υπό την οποία μπορεί να λειτουργήσει ο αποζεύκτης διακόπτοντας το κύκλωμα
- Ονομαστική τάση λειτουργίας - Rated Operational Voltage (U_e)
Η U_e είναι η τυπική τιμή τάσης στην οποία λειτουργεί η συσκευή.
- Ονομαστικό ρεύμα λειτουργίας – Rated Operational Current (I_e). Το I_e είναι η ονομαστική ένταση του διακόπτη

Είναι σαφές πως η τάση μόνωσης U_i πρέπει να είναι μεγαλύτερη ή ίση της τάσης ανοιχτού κυκλώματος του string που εξυπηρετεί, ([15]), δηλαδή του αθροίσματος των Voc των πλαισίων του string. Η τάση λειτουργίας επίσης θα πρέπει να αντέχει το επίπεδο τάσης στο οποίο επιτυγχάνεται η διακοπή ροής ρεύματος κατά την απόζευξη (η τάση αυτή είναι πάντα μεγαλύτερη της ονομαστικής τάσης του string). Συνήθως επιλέγουμε οι τιμές U_i και U_e να είναι ίσες, ([24]). Το ρεύμα I_e υπολογίζεται ως το άθροισμα των ρευμάτων βραχυκύκλωσης (I_{sc}) των παράλληλων κλάδων που συνδέονται σε αυτό, παρά το γεγονός ότι η συστοιχία λειτουργεί σε χαμηλότερο ρεύμα (I_{mp}).

Να σημειωθεί πως η διαστασιολόγηση των αποζευκτών δεν είναι τυποποιημένη διαδικασία καθώς η τάση μίας φωτοβολταϊκής γεννήτριας δεν έχει καθορισμένο όριο προς τα πάνω στις ευρωπαϊκές χώρες (εκτός από τον γενικό περιορισμό για DC τάσεις έως 1500V). Υπάρχει μία τακτική να πηγαίνουμε σε όλο και πιο υψηλές τάσεις που φτάνουν και το 1KV. Αντίθετα στη Βόρεια Αμερική ο NEC θέτει ως άνω όριο τάσης για φ/β συστήματα τα 600V, ([15]). Επίσης ο NEC απαγορεύει την απόζευξη αγωγού που είναι γειωμένος. Έτσι, αν έχουμε γειώσει για παράδειγμα τον αγωγό επιστροφής, ο αποζεύκτης πρέπει να είναι μονοπολικός.

2.1.7- Γείωση αγωγού και αντιστροφέα.

Στο θέμα της γείωσης θα πρέπει να υπάρξει προσεκτική μελέτη, και να ληφθεί υπόψη τόσο το είδος των φωτοβολταϊκών πλαισίων όσο και ο αντιστροφέας.

Συγκεκριμένα δεν επιτρέπεται η γείωση οποιουδήποτε αγωγού (θετικού ή αρνητικού) σε περίπτωση που δεν υπάρχει γαλβανική απομόνωση μεταξύ της ac και της dc πλευράς του συστήματος, καθώς σε αυτήν την περίπτωση θα σχηματιζόταν βρόχος μεταξύ του αγωγού της γείωσης και του φορτίου.

Κατ'επέκταση, δεν πρέπει να γειώνουμε αγωγό σε περίπτωση που ο αντιστροφέας που χρησιμοποιείται δε διαθέτει μετασχηματιστή (transformerless inverter).

Πότε όμως είναι απαραίτητη η γείωση αγωγού.

Κάποιες φορές το είδος των πλαισίων επιβάλλει την ύπαρξη γείωσης.

Συγκεκριμένα, στα back contact cells παρατηρήθηκε πως λόγω της διαρροής ρεύματος από τα κελιά στο μεταλλικό πλαίσιο (διαρροή που παρατηρείται σε όλες σχεδόν τις τεχνολογίες πλαισίων) προκαλείται συσσώρευση φορτίου στην εμπρόσθια όψη με συνακόλουθη πτώση της απόδοσής του έως και 30%. Πιο αναλυτικά, αν ο θετικός ακροδέκτης έχει υψηλή (θετική) τάση προς το έδαφος θα έχουμε συγκέντρωση αρνητικών φορτίων στην αντανάκλαστική επιφάνεια (antireflecting coating-ARC). Τα φορτία αυτά έλκουν στην επιφάνεια της οπές οι οποίες επανασυνδέονται με ηλεκτρόνια στην περιοχή του n-τύπου πυριτίου αντί να καταλήγουν στον θετικό ακροδέκτη.

Ως αποτέλεσμα έρχεται η προαναφερθείσα πτώση της απόδοσης.

Μία λύση για το πρόβλημα αυτό είναι να αποφεύγεται η θέση του θετικού ακροδέκτη σε πολύ υψηλό δυναμικό σε σχέση με το έδαφος. Αυτό μπορεί να γίνει με γείωση του θετικού ακροδέκτη των πλαισίων οπότε θα έχουμε συγκέντρωση θετικών φορτίων στην επιφάνεια και δεν θα έλκονται οι «οπές».

Μια άλλη ιδέα είναι να τεθεί η φωτοβολταϊκή διάταξη υπό υψηλή αρνητική τάση κατά τη διάρκεια της νύχτας έτσι ώστε να αντιστραφεί το φαινόμενο, καθώς η συγκέντρωση αυτή τη φορά θετικών φορτίων στην επιφάνεια θα απωθήσει τα, κατά την ημέρα, ελκόμενα θετικά φορτία που δεν πρόλαβαν να επανασυνδεθούν, προς τον θετικό ακροδέκτη.

Αυτό σημαίνει βέβαια πως δεν μπορούμε να συνδυάσουμε back contact πλαίσια με transformerless inverters αν θέλουμε να αντιμετωπίσουμε το πρόβλημα της μειωμένης απόδοσης.

Παρόμοιο θέμα με συγκέντρωση επιφανειακών φορτίων παρατηρήθηκε και σε κάποια πλαίσια ταινίας πυριτίου, μόνο που εδώ εμφανίζεται όταν έχουμε αρνητική τάση προς το έδαφος.

Η λύση σε αυτή την περίπτωση είναι η γείωση του αρνητικού ακροδέκτη της διάταξης των πλαισίων ή η χρήση αντιστροφέα με γειωμένο τον αρνητικό του πόλο από κατασκευής. Αναφέρεται ακόμα η γείωση του αρνητικού ακροδέκτη κατά τη διάρκεια της νύχτας ώστε να αναστρέφεται η, δημιουργηθήσα την ημέρα, επιφανειακή πόλωση.

Αν θελήσουμε να αποφύγουμε την διαδικασία επιλογής της κατάλληλης γείωσης επιλέγοντας κάποια άλλη τεχνολογία, τα πλαίσια thin film δεν θα είναι σοφή επιλογή. Αυτό γιατί εδώ έχει παρατηρηθεί διάβρωση του στρώματος διαφανούς αγωγίμου οξειδίου (transparent conductive oxide-TCO) με συνέπεια την έντονη μείωση της απόδοσης (intense degradation). Αιτία, πιθανότατα, είναι η «εισβολή» στο στρώμα αυτό ιόντων νατρίου (Na^+) προερχόμενων από το γυάλινο κάλυμμα, ([14]).

Πιο ευάλωτα είναι τα πάνελ με δομή υπερστρώματος δηλαδή κάποια πλαίσια άμορφου πυριτίου (a-Si) και αυτά του καδμίου τελλουρίου (CdTe). Η δομή υποστρώματος (στα υπόλοιπα πλαίσια a-Si και τα CIGS) φαίνεται να επηρεάζεται λιγότερο. Ως λύση προτείνεται η γείωση του αρνητικού ακροδέκτη της γεννήτριας σε συνδυασμό βέβαια με transformerless inverter ή η χρήση αντιστροφέα με μετασχηματιστή αλλά με γειωμένο τον αρνητικό του ακροδέκτη.

2.1.8- Ισοδυναμική σύνδεση (equipotential bonding)

Σε κάποιες περιπτώσεις εγκαταστάσεων, για την προστασία των ανθρώπων από ηλεκτρικό σοκ χρησιμοποιείται ισοδυναμική σύνδεση των μεταλλικών τμημάτων της κατασκευής. Συνδέονται δηλαδή τα τμήματα αυτά με αγωγίμο υλικό χαμηλής αντίστασης, έτσι ώστε οι διαφορές δυναμικού μεταξύ τους να είναι όσο το δυνατόν μικρότερες. Με τον τρόπο αυτό ο κίνδυνος ηλεκτρικού σοκ γίνεται μικρότερος.

Υπάρχει η δυνατότητα το δημιουργηθέν «κύκλωμα» να συνδεθεί με το σύστημα γείωσης αλλά υπάρχουν και περιπτώσεις που αυτό δε γίνεται. Σε μία φωτοβολταϊκή εγκατάσταση δεν επιτρέπεται η ισοδυναμική σύνδεση απουσία γης (earth free equipotential bonding) στην dc πλευρά του συστήματος. Σε περίπτωση που πραγματοποιηθεί και η σύνδεση με τη γή, οι αγωγοί σύνδεσης (bonding contactors) πρέπει να τοποθετούνται παράλληλα και όσο το δυνατόν πιο κοντά, στα καλώδια dc αλλά και ac (αν εφαρμοστεί η μέθοδος στην εναλλασσόμενη πλευρά).

Ενότητα 2.2 - AC Πλευρά

2.2.1 - Χρήση διακόπτη προστασίας από ρεύματα διαφυγής ή διάταξης προστασίας διαφορικού ρεύματος

Ο ευρωπαϊκός όρος για τις συγκεκριμένες διατάξεις είναι RCD (Residual Current Devices-RCD), ενώ στις Η.Π.Α και τον Καναδά, ([11]), είναι γνωστά ως GFCI (ground fault circuit interrupter) ή ως ALCI (appliance leakage current interrupter).

Εντοπίζουν την διαφορά του ρεύματος ανάμεσα στην φάση και τον ουδέτερο και έτσι «αντιλαμβάνονται» την ύπαρξη διαρροής στο υπό προστασία κύκλωμα το οποίο και διακόπτουν. Παρέχουν προστασία από άμεση ή έμμεση επαφή ανθρώπου με το κύκλωμα. Ως άμεση ορίζουμε την επαφή με ένα αγωγό φάσης ή τον ουδέτερο όταν το κύκλωμα βρίσκεται υπό κανονική λειτουργία.

Έμμεση επαφή έχουμε όταν κάποιος αγγίζει ένα αγωγίμο σημείο του κυκλώματος στο οποίο υπάρχει διαρροή ρεύματος προς της γείωσης προστασίας.

Τονίζεται πως δεν παρέχουν προστασία έναντι βραχυκυκλώματος ή ενδεχόμενης υπερφότωσης της γραμμής.

Επίσης σε κάποιες χώρες η χρήση τέτοιων συσκευών αποτελεί νομική απαίτηση όχι μόνο για την προστασία ανθρώπων από ηλεκτρικό σοκ αλλά και την αποτροπή πυρκαγιών (κυρίως σε υπαίθριες ή δασικές εκτάσεις).

Το βασικό χαρακτηριστικό ενός RCD είναι είναι το παραμένον ρεύμα μέτρησης ή ονομαστικό διαφορικό ρεύμα το οποίο συμβολίζεται συνήθως με $I_{\Delta n}$ και είναι η τιμή εκείνη του ρεύματος διαφυγής προς γή, πάνω από την οποία ενεργοποιείται η συσκευή και πραγματοποιεί απόζευξη. Αυτόματα η τιμή αυτή μας δείχνει την «ανοχή» του RCD σε κάποια μόνιμα ρεύματα διαφυγής τα οποία, όπως θα δούμε και παρακάτω υπάρχουν σε πολλά συστήματα και δεν πρέπει να προκαλούν διακοπή.

Τυπικές τιμές που χρησιμοποιούνται σε όλο τον κόσμο 6mA, 10mA, 30mA, 100mA, 300mA και 500mA ([11]).

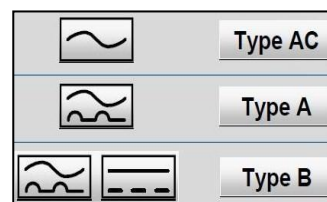
Για την επίτευξη προστασίας από άμεση επαφή το ονομαστικό ρεύμα του RCD πρέπει να κυμαίνεται από 5 έως 30 mA. Στις Η.Π.Α ο εθνικός ηλεκτρικός κώδικας (**NEC**) απαιτεί άμεση απόζευξη για ρεύμα από 4mA και πάνω, ενώ στην Ευρώπη η αντίστοιχη τιμή είναι 30mA. Για προστασία από έμμεση επαφή επιλέγονται RCD με $I_{\Delta n}$ από 100 έως 500mA. Τις ίδιες περίπου τιμές ονομαστικού ρεύματος επιλέγουμε και για προστασία από πυρκαγιά, ([5]), σε ευαίθετες περιοχές όπως δασικές ή αγροτικές και σε φωτοβολταϊκά πάρκα, εγκατεστημένα σε τέτοιες τοποθεσίες και γενικά σε μέρη με έντονη ξηρασία. Ο γερμανικός κανονισμός **VDE 0100-705** απαιτεί την παρουσία RCD με $I_{\Delta n} = 300\text{mA}$ σε τέτοιες περιπτώσεις.

Ξεχωρίζουμε τρία είδη στην αγορά, ([25], [5]),:

- RCD type AC, τα οποία αποτελούν τον πιο παλιό τύπο και εντοπίζουν μόνο εναλλασσόμενα ρεύματα διαρροής. Χρησιμοποιούνται ελάχιστα πλέον.
- RCD type A, τα οποία μπορούν να εντοπίσουν εναλλασσόμενα αλλά συνεχή ρεύματα διαρροής με κυμάτωση. Είναι τα πιο ευρέως χρησιμοποιούμενα σήμερα.
- RCD type B, με δυνατότητα εντοπισμού εναλλασσόμενων, συνεχών με κυμάτωση αλλά και ομαλών (smooth) συνεχών ρευμάτων. Αποτελούν την πιο ολοκληρωμένη πρόταση για αυτού του είδους την προστασία αλλά είναι και σημαντικά πιο ακριβά από τους άλλους τύπους.

Οι τιμές έως 30mA προστατεύουν από άμεση επαφή, ενώ πάνω από 30mA χρησιμοποιούνται για την έμμεση επαφή σε περίπτωση διαρροής μέσω της γείωσης προστασίας, ([5]).

Είναι απαραίτητο να σημειωθεί πως το ελληνικό πρότυπο για ηλεκτρολογικές εγκαταστάσεις αναφέρει σαφώς πως η χρήση διατάξεων προστασίας διαφορικού ρεύματος με ονομαστικό διαφορικό ρεύμα λειτουργίας $I_{\Delta F}$ ίσο ή μικρότερο από 30mA αναγνωρίζεται ως πρόσθετο μέτρο προστασίας έναντι ηλεκτροπληξίας από άμεση επαφή ([1]), σε περίπτωση αστοχίας των άλλων μέτρων προστασίας ή απεισκευής των ατόμων. Επομένως δεν αναγνωρίζεται ότι αποτελεί από μόνη της μέτρο προστασίας έναντι άμεσης επαφής και δεν απαλλάσσει από την υποχρέωση εφαρμογής των άλλων μέτρων προστασίας.



Εικόνα 2.11 – Παρεχόμενη προστασία από RCD

Πρέπει εδώ να τονίσουμε πως η χρήση των RCD εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την τοπολογία του δικτύου και συγκεκριμένα το σύστημα σύνδεσης των γειώσεων.

- Τύπος δικτύου TT

Το RCD θεωρείται κύριος τρόπος προστασίας από ρεύματα σφάλματος εφόσον ικανοποιείται ο ακόλουθος περιορισμός:

$$Z_s \times I_a \leq U_0 \quad \text{όπου:}$$

Zs είναι η σύνθετη αντίσταση του βρόχου του σφάλματος, ο οποίος περιλαμβάνει την πηγή, τον ενεργό αγωγό μέχρι το σημείο του σφάλματος και τον αγωγό προστασίας μεταξύ του σφάλματος και της πηγής.

Ia είναι το ονομαστικό διαφορικό ρεύμα λειτουργίας της διάταξης.

Uo είναι η ονομαστική τάση, μεταξύ φάσης και γης(ενδεικνύμενη τιμή εναλλασσόμενου ρεύματος)

Ο ανωτέρω τύπος μας εξασφαλίζει, ([25]), πως σε περίπτωση σφάλματος προς γη, ο χρόνος απόκρισης της συσκευής (δηλαδή ο χρόνος διακοπής) θα είναι ,για το σύστημα χαμηλής τάσης, το πολύ 0,4 δευτερόλεπτα.

Επιπλέον πρέπει :

$$R_A < \frac{50 V}{I(\Delta f)} , \quad \text{όπου}$$

R_A είναι το άθροισμα αντιστάσεων της γείωσης και του αγωγού προστασίας του (προστατευόμενου) σώματος

I_(Δf) είναι το ονομαστικό διαφορικό ρεύμα του RCD

Η πιο πάνω συνθήκη ,([25]), εξασφαλίζει πως το παραμένον ρεύμα δεν είναι ποτέ μεγαλύτερο από ένα εμφανιζόμενο ρεύμα σφάλματος και ως εκ τούτου ,σε περίπτωση διαρροής, το RCD θα ενεργοποιηθεί. Η τιμή της τάσης 50V είναι αυτή που ,σύμφωνα με το πρότυπο, θεωρείται επικίνδυνη σε περίπτωση επαφής.

- Τύπος δικτύου TN

Η χρήση RCD επιτρέπεται εν γένει στην τοπολογία αυτή και μάλιστα μόνο με την απαίτηση **Zs x Ia ≤ Uo**, καθώς σε τέτοιες τοπολογίες τα ρεύματα σφάλματος είναι αρκετά μεγάλα και σαφώς μεγαλύτερα από το παραμένον ρεύμα μέτρησης της συσκευής.

Εξαιρεση αποτελούν τα δίκτυα TN-C,(δηλαδή δίκτυα που ο ουδέτερος και η γείωση είναι ο ίδιος αγωγός) ,στα οποία απαγορεύεται ρητά η χρήση διατάξεων διαφορικού ρεύματος,([25]).

- Τύπος δικτύου IT

Στο σύστημα σύνδεσης των γειώσεων IT οι ενεργοί αγωγοί είτε δεν έχουν καμία σύνδεση προς τη γη, είτε συνδέονται προς αυτήν μέσω μιας σύνθετης αντίστασης μεγάλης τιμής, ώστε, σε περίπτωση σφάλματος προς τη γη, το ρεύμα σφάλματος να είναι πολύ μικρό.

Ορίζεται πως εάν ισχύει η παρακάτω συνθήκη μπορεί να παραλειφθεί η χρήση RCD :

$$R_A \times I_d \leq 50 V$$

R_A είναι το άθροισμα των αντιστάσεων γείωσης των εκτεθειμένων αγώγιμων μερών (αντιστάσεις του ηλεκτροδίου και των αγωγών προστασίας)

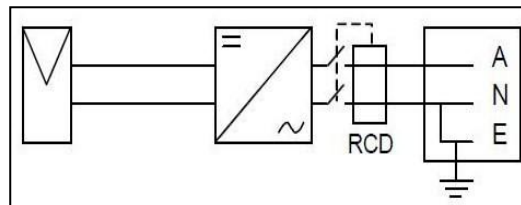
I_d είναι το ρεύμα σφάλματος αμελητέας σύνθετης αντίστασης μεταξύ ενός αγωγού φάσης και ενός εκτεθειμένου αγώγιμου μέρους ή ενός αγωγού προστασίας. Η τιμή του I_d ορίζεται

από τα ρεύματα διαρροής (εξαιτίας της χωρητικής ζεύξης προς τη γη) και, στην περίπτωση που το σύστημα είναι συνδεδεμένο προς τη γη, από τη συνολική αντίσταση γείωσής του.

Στις φωτοβολταϊκές εγκαταστάσεις το βασικό κριτήριο επιλογής του κατάλληλου RCD είναι το είδος του μετατροπέα.

2.2.1.1 - Μετατροπέας χωρίς μετασχηματιστή

Στην περίπτωση αυτή δεν υπάρχει βασική μόνωση μεταξύ της συνεχούς και της εναλλασσόμενης πλευράς του συστήματος. Έτσι αντιμετωπίζουμε το ενδεχόμενο εμφάνισης ρεύματος διαρροής με συνεχή συνιστώσα. Σύμφωνα με το γερμανικό πρότυπο **VDE 0100-712**, ([5]), η χρήση RCD τύπου B είναι επιβεβλημένη. Αυτή η απαίτηση ισχύει επίσης για μετατροπείς με μετασχηματιστή υψηλής συχνότητας, διότι δεν υπάρχει γαλβανική απομόνωση ανάμεσα στην πλευρά του



Εικόνα 2.12 – Προστασία με RCD σε χρήση TL inverter

εναλλασσόμενου ρεύματος και στην πλευρά της συνεχούς τάσης. Κατά τη λειτουργία ενός transformerless inverter υπάρχουν, ανάλογα με τη λειτουργία, συνεχή παραμένοντα ρεύματα (βάσει της αντίστασης μόνωσης και των χωρητικοτήτων της φωτοβολταϊκής γεννήτριας). Για κάθε συνδεδεμένο μετατροπέα πρέπει να προβλέπεται ένα παραμένον ρεύμα μέτρησης 100 mA. Το παραμένον ρεύμα μέτρησης του RCD πρέπει να αντιστοιχεί τουλάχιστον στο άθροισμα των παραμένων ρευμάτων μέτρησης των συνδεδεμένων μετατροπέων. Όταν για παράδειγμα είναι συνδεδεμένοι 3 μετατροπείς χωρίς μετασχηματιστή, το παραμένον ρεύμα πρέπει να είναι τουλάχιστον 300 mA ([25]), διαφορετικά ρισκάρουμε την εμφάνιση φαινομένου nuisance tripping, δηλαδή ενεργοποίησης του RCD χωρίς να υπάρχει ουσιαστικός κίνδυνος για πρόσωπα ή την εγκατάσταση. Εξαιτίας των πρόσθετων αυτών συνεχών ρευμάτων, το ρεύμα απελευθέρωσης σε περίπτωση σφάλματος υπολογίζεται αυξημένο κατά (το πολύ) 30% του $I_{\Delta n}$ του RCD, ([25]), και η (γενική) συνθήκη για τη χρήση του που είδαμε παραπάνω εξειδικεύεται ως εξής:

$$R_A < \frac{50 V}{1,3 I(\Delta f)}$$

Πληρουμένης της συνθήκης αυτής το RCD παρέχει ασφάλεια από ρεύματα διαρροής. Αξίζει να σημειωθεί πως κάποιος κατασκευαστής μπορούν να εγγυηθούν πως δεν υπάρχει περίπτωση διαρροής συνεχών συνιστωσών έντασης στην εναλλασσόμενη πλευρά και σε αυτή την περίπτωση θα μπορούσαμε να χρησιμοποιήσουμε τα (οικονομικότερα) RCD τύπου A. Όλα αυτά βέβαια εάν η χρήση RCD τύπου B δεν επιβάλλεται από τον ηλεκτρικό κανονισμό της εκάστοτε χώρας. Για παράδειγμα, και πάλι στη Γερμανία, ο κανονισμός αναφέρει πως σε περίπτωση που δεν αναμένονται συνεχή ρεύματα διαρροής στην AC

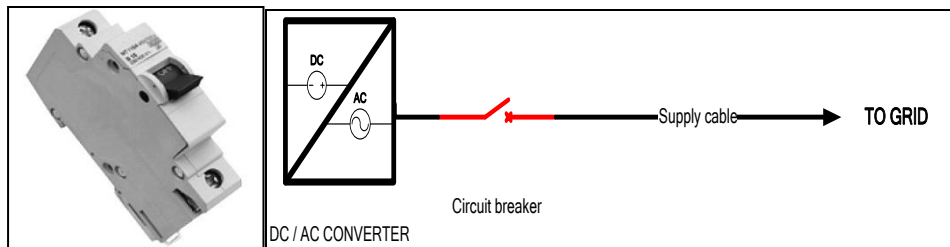
πλευρά μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε RCD τύπου A. Παρά ταύτα, σύμφωνα με τα μέχρι τώρα ερευνητικά ευρήματα, η ανωτέρω προϋπόθεση πληρείται μόνο για TL inverters.

2.2.1.1 - Μετατροπές με μετασχηματιστή

Στην περίπτωση αυτή υπάρχει γαλβανική απομόνωση μεταξύ συνεχούς και εναλλασσόμενης πλευράς και έτσι δεν αντιμετωπίζουμε πρόβλημα διαρροής συνεχών συνιστωσών στην AC πλευρά. Μπορούμε συνεπώς να χρησιμοποιήσουμε RCD τύπου A, ([11]), ονομαστικής τιμής έντασης η οποία θα καθορίζεται από το είδος της προστασίας που παρέχεται. Στη γερμανία η χρήση τους είναι δεκτή σύμφωνα με το πρότυπο **VDE 0100-712** και για την περίπτωση που προαναφέραμε. Καθώς η ύπαρξη μετασχηματιστή σημαίνει μεγαλύτερες απώλειες στο σύστημα, θα ήταν προτιμότερο να αποφεύγεται αυτή η λύση καθώς το οικονομικό όφελος από τη χρήση RCD τύπου A θα υπερσκελιστεί εν καιρώ από την απώλεια ισχύος στο μετασχηματιστή.

2.2.2 - Προστασία από υπερρεύματα

Για την περίπτωση διαρροής των αγωγών από ρεύμα υψηλής έντασης κρίνεται αναγκαία η χρήση συσκευής προστασίας έναντι υπερρευματών. Τέτοιες συσκευές είναι οι μικροαυτόματοι (circuit breakers στη διεθνή βιβλιογραφία).



Εικόνα 2.13 και 2.14 – Μικροαυτόματος και σύνδεσή του στην εγκατάσταση

Σύμφωνα με το πρότυπο IEC 60364-7-712 απαιτείται η τοποθέτηση μικροαυτόματου διακόπτη στην ac πλευρά και συγκεκριμένα στην έξοδο του αντιστροφέα ώστε να προστατεύεται το καλώδιο παροχής της παραγόμενης ισχύος προς το δίκτυο (supply cable).

2.2.3 – Απόζευξη κυλώματος εναλλασσόμενου ρεύματος.

Για τον εύκολο χειρισμό στις εργασίες συντήρησης ή επέκτασης του κυκλώματος και κυρίως για τη συντήρηση του inverter ,κάθε φ/β σύστημα οφείλει να διαθέτει διακόπτες φορτίου οι οποίοι



Εικόνα 2.15 – AC αποζεύκτης

χρησιμοποιούνται για την ζεύξη ή απόζευξη του κυκλώματος υπό φορτίο σύμφωνα με την οδηγία **IEC 60364-7-712**.

Να σημειωθεί πως το ρόλο αποζεύκτη μπορεί να αποτελέσει και το RCD, σε περίπτωση που έχει εγκατασταθεί τέτοιο, στην AC πλευρά, ή ακόμα και ένας μικροαυτόματος αλλά σε μικρές μόνο εγκαταστάσεις όπως οι οικιακές.

Στην AC πλευρά η επιλογή αποζεύκτη είναι πιο εύκολη καθώς δε χρειάζεται να υπολογιστούν ρεύματα βραχυκύκλωσης και τάσεις ανοιχτοκύκλωσης όπως στο DC κομμάτι. Ουσιαστικά, η παραγόμενη ισχύς καθορίζει τα χαρακτηριστικά που θα επιλεγούν, τα οποία είναι :

- Το ονομαστικό ρεύμα λειτουργίας (I_e), οι τιμές του οποίου κυμαίνονται από 10 έως και 100A.
- Η τάση μόνωσης (U_i), τυπικές τιμές της οποίας είναι 600 με 800V.

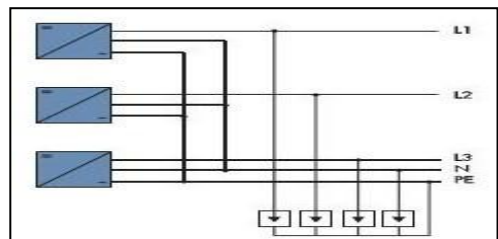
2.2.4 – Απαγωγείς υπερτάσεων AC-(AC SPD).

Όπως και στην πλευρά συνεχούς, έτσι και εδώ είναι απαραίτητη η προστασία από υπερτάσεις, προερχόμενες είτε από χειρισμούς υπό τάση του συστήματος, είτε σε εξωτερικά αίτια (κεραυνικό πλήγμα). Οι συσκευές αυτές θα πρέπει να ικανοποιούν τα ευρωπαϊκά πρότυπα IEC 61643-1 και IEC 61643-1. Ταυτόχρονα πρέπει να εξεταστεί η αντικεραυνική προστασία του χώρου εγκατάστασης κυρίως εάν έχουμε τοποθέτηση φ/β στο κέλυφος κάποιου κτιρίου.

Πιο συγκεκριμένα είναι βασικό να γνωρίζουμε τι ακριβώς επιζητούμε να προστατέψουμε.

- ✓ Αν θέλουμε να προστατέψουμε την ac έξοδο του αντιστροφέα πρέπει να τοποθετηθεί surge arrester ακριβώς μετά την έξοδο του inverter, ενώ η σύνδεση με τη γείωση πρέπει να είναι όσο πιο σύντομη και ευθύγραμμη γίνεται.
- ✓ Αν επιδιώκουμε να προστατέψουμε όλη την εγκατάσταση από υπερτάσεις (ac head protection) η συσκευή πρέπει να εγκατασταθεί στον πίνακα του συστήματος.

Σε αντίθεση με όσα είδαμε στην DC πλευρά, εδώ η χρήση ενός μόνο SPD (με εισόδους ανάλογα με το πλήθος των inverter) είναι αρκετή, ([26]), καθώς οι έξοδοι όλων των αντιστροφέων συνδέονται από κοινού σε μία παροχή (αυτή του δικτύου).



Εικόνα 2.16 – Χρήση ενός SPD στην AC πλευρά

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 – ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΤΗΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ

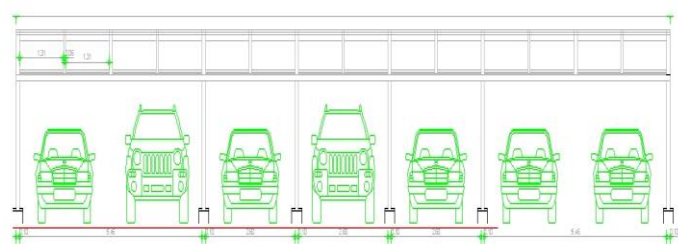
3.1 -Τόπος εγκατάστασης

Η εν λόγω φωτοβολταϊκή εγκατάσταση,συνολικής ονομαστικής ισχύος 10740 Wp, πραγματοποιήθηκε στον χώρο της πολυτεχνειούπολης Ζωγράφου στην Αθήνα.Πιο συγκεκριμένα, στην νοτιοανατολική πλευρά των παλαιών κτιρίων της σχολής Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών, στον χώρο στάθμευσης του κτιρίου.

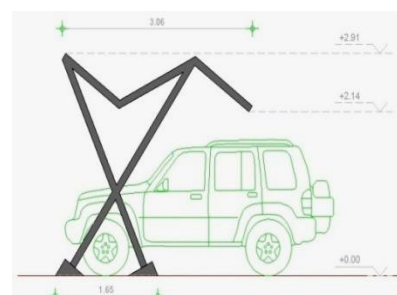


Εικόνα 4.1 - Αποψη του χώρου εγκατάστασης

Η ηλεκτροπαραγωγός διάταξη τοποθετήθηκε επί δύο στεγάστρων που κατασκευάστηκαν στο σημείο, τα σχέδια των οποίων φαίνονται πιο κάτω σε πρόσοψη και πλάγια όψη. Η τοποθέτηση των πλαισίων έγινε ώστε ο προσανατολισμός τους να είναι νότιος και σε γωνία 29°. Η παραγόμενη ισχύς διοχετεύεται, μέσω του πίνακα του εργαστηρίου ηλεκτρικών μηχανών, στο δίκτυο της Δ.Ε.Η, έχουμε δηλαδή μία “on grid” εγκατάσταση.



Κ/ΜΜΑΚΑ 1:100



Εικόνες 3.2 – 3.3 Πρόσοψη και πλάγια όψη των στεγάστρων

3.2- Πλαίσια

Τα πλαίσια που χρησιμοποιήθηκαν είναι πολυκρυσταλλικά, της κινέζικης εταιρίας Yingli Solar.

Εξωτερικά δεν υπάρχει διαφορά στην εμφάνισή τους καθώς έχουν το χαρακτηριστικό μπλέ χρώμα. Διαφέρουν στις διαστάσεις αλλά και στην απόδοση που επιτυγχάνεται, όπως θα δούμε και παρακάτω. Ο επόμενος πίνακας περιέχει τα χαρακτηριστικά των πλαισίων όπως αυτά δίνονται από τον κατασκευαστή.



Εικόνα 3.4 – Πλαίσιο πολυκρυσταλλικού πυριτίου

Pnom(W)	ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΑΝΑ ΠΛΑΙΣΙΟ	Vnom (V)	Inom (A)	Vnom (V)	Isc (A)	ΑΠΟΔΟΣΗ (%)	ΘΕΡΜ. ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΕΣ (% / °C)		
							ΙΣΧΥΣ	ΤΑΣΗ	ΕΝΤΑΣΗ
165	48	23	7,2	29	7,9	12,5	-0,45	0,37	0,06
170	48	23	7,4	29,5	8	12,9	-0,45	0,37	0,06
210	60	29,5	7,2	36	7,8	12,9	-0,45	0,37	0,1

Πίνακας 3.1

Παρατηρούμε, πως τα πλαίσια των 165 και 170 watt αποτελούνται από τον ίδιο αριθμό στοιχείων. Η διαφορά έγκειται στην απόδοση που έχει επιτευχθεί η οποία οφείλεται στην ποιότητα κατασκευής κάθε πλαισίου και κυρίως στον τρόπο διασύνδεσης και των επιμέρους στοιχείων μεταξύ τους.

3.3-Αντιστροφείς

Χρησιμοποιήθηκαν δύο διαφορετικοί αντιστροφείς για να εξυπηρετηθούν οι ερευνητικοί σκοποί του έργου.

- **SolarStar a6000**, της γερμανικής εταιρείας Würth.
- **Aurora PVI-3.6-OUTD-DE**, της γερμανικής εταιρείας Power One.

✓ **SolarStar a6000**

Πρόκειται για ένα αντιστροφέα ο οποίος διαθέτει δεν διαθέτει μετασχηματιστή(TL).



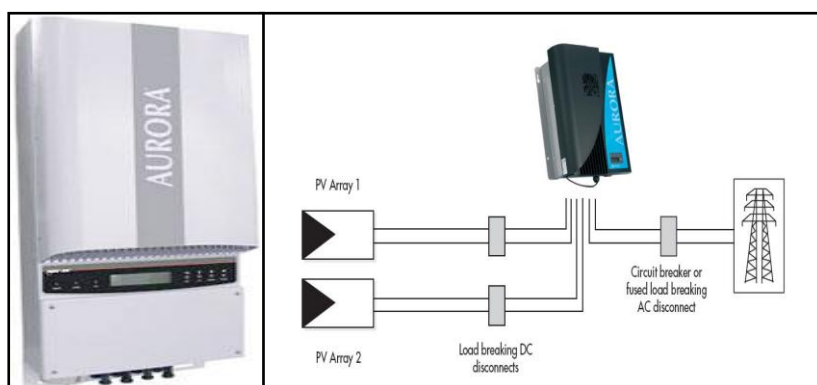
Εικόνα 3.5 - Αντιστροφέας SolarStar

Οι τιμές των κύριων παραμέτρων της συσκευής έχουν ως εξής:

- Ονομαστική ισχύς, P_{nom} : 4600 Wp
- Μέγιστη ισχύς, P_{max} : 6600 Wp
- Μέγιστη dc τάση, V_{max} : 600 V
- Μέγιστο dc ρεύμα, I_{max} : 22 A
- «Παράθυρο τάσης»,για την επίτευξη αποτελεσματικού MPPT: 100 - 550 Volt
- Απόδοση: 96,2 %
- Εύρος συχνοτήτων για την σωστή λειτουργία του αντιστροφέα : 45 έως 55 Hz
- Θερμοκρασία λειτουργίας : -20°C έως 60 °C.

Για την επικοινωνία με το υπόλοιπο σύστημα η συσκευή διαθέτει θύρα Ethernet για σύνδεση στο διαδίκτυο αλλά και θύρα RS485.

✓ **Aurora PVI-3.0-OUTD-D**



Εικόνες 3.6 και 3.7 -Αντιστροφέας Aurora και διάγραμμα εισόδων/εξόδων

Ο αντιστροφέας αυτός δεν διαθέτει μετασχηματιστή (transformerless). Το ξεχωριστό χαρακτηριστικό του είναι πως μπορεί να δέχεται δύο εισόδους στην dc πλευρά του και έτσι μπορεί να εξυπηρετεί ταυτόχρονα δύο arrays, πραγματοποιώντας χωριστά τον εντοπισμού του σημείου μέγιστης ισχύος (MPPT) για κάθε είσοδο.

Η ιδιότητα αυτή μπορεί να φανεί εξαιρετικά χρήσιμη σε οικιακές εγκαταστάσεις, στις οποίες η τοποθέτηση των πάνελ ακολουθεί την κλίση και τον προσανατολισμό των πλευρών της στέγης και ως εκ τούτου κάθε συστοιχία απαιτεί διαφορετικό MPPT.

Κύρια χαρακτηριστικά του είναι τα εξής:

- Μέγιστη ισχύς, $P_{max} = P_{nom}$: 3600 Wp
- Ονομαστική τάση, V_{nom} : 360 V
- Μέγιστη dc τάση, V_{max} : 600 V
- Μέγιστο dc ρεύμα, I_{max} : 10 A σε κάθε είσοδο
- «Παράθυρο τάσης» για την επίτευξη αποτελεσματικού MPPT: 90 - 580 Volt με ονομαστική τιμή τα 390 V
- Ευρωπαϊκή Απόδοση: 95 %.
- Επιτρεπόμενη θερμοκρασία περιβάλλοντος: -25 έως 60 °C.

Οι διασυνδέσεις επικοινωνίας γίνονται μέσω θυρών RS485, RS232 ενώ έχει ενσωματωθεί και θύρα usb. Αξίζει να σημειώσουμε πως ο inverter διαθέτει σύστημα αποτροπής νησιδοποίησης. Έτσι, σε περίπτωση που το δίκτυο «πέσει» λόγω σφάλματος ή απλώς διακοπεί η λειτουργία για άλλη αιτία, αυτόματα και ο αντιστροφέας διακόπτει την παροχή του για την προστασία ανθρώπων σε περίπτωση επαφής. Ο κατασκευαστής αναφέρει το σύστημα αυτό ως "anti-islanding". Ο αντιστροφέας δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί με πλαίσια τα οποία έχουν γειωμένο κάποιο ακροδέκτη τους. Διαθέτει ο ίδιος σύστημα παρακολούθησης της δικής του γείωσης, και σε περίπτωση σφάλματος προς γη διακόπτει το κύκλωμα και ειδοποιεί τον χειριστή ανάβοντας ένα κόκκινο led. Επίσης υπάρχει η δυνατότητα συνεχούς παρακολούθησης της τάσης και της συχνότητας ώστε να μην ξεφεύγουν από τα προκαθορισμένα όρια. Ακόμη διατίθεται σύστημα αυτόματου περιορισμού της ισχύος μέσω παρατήρησης της εσωτερικής θερμοκρασίας της συσκευής, για να αποφευχθούν φαινόμενα υπερθέρμανσης.

Τέλος να σημειωθεί πως ο αντιστροφέας συμμορφώνεται με τα παρακάτω πρότυπα: VDE0126, IEC 62683, IEC 61727, EN50081, EN50082, EN61000 ενώ φέρει το σήμα CE.

3.4- Δομή του συστήματος παραγωγής

Όπως προαναφέρθηκε, η τοποθέτηση των πλαισίων έχει γίνει επί δύο ειδικά κατασκευασμένων στεγάστρων. Μπορούμε να διαχωρίσουμε την ηλεκτροπαραγωγή διάταξη σε τέσσερις συστοιχίες.

Η πρώτη (A1) καταλαμβάνει το πρώτο στέγαστρο. Οι άλλες τρεις (A2-1,A2-2,A2-3) βρίσκονται επί του δεύτερου στεγάστρου.Στις επόμενες σελίδες παρουσιάζονται οι ηλεκτρικές παράμετροι κάθε σειράς πλαισίων και ένα σχέδιο της διάταξης τους, ενώ ελέγχεται αν υπάρχει σωστό «ταίριασμα» (matching) μεταξύ συστοιχιών και αντιστροφών, αν δηλαδή η διαστασιολόγηση των inverter είναι σωστή.

Ο έλεγχος αυτός είναι απαραίτητος σε κάθε φ/β εγκατάσταση καθώς η σωστή επιλογή του είδους αλλά και του μεγέθους του αντιστροφέα καθορίζει σε μεγάλο βαθμό την συνεχή και αποδοτική λειτουργία του συστήματος.Υπάρχουν πολλά παραδείγματα κακής επιλογής αντιστροφέα,η οποία οδήγησε σε μακρές,χρονικά,περιόδους υπολειτουργίας (ή και μη λειτουργίας) με το συνακόλουθο οικονομικό κόστος.Ελέγχονται λοιπόν οι αναμενόμενες ακραίες τιμές της θερμοκρασίες ανάλογα με τα δεδομένα της περιοχής εγκατάστασης και με βάση αυτές υπολογίζονται οι οριακές τιμές της τάσης που αναμένουμε να «δώσει» κάθε array.Για τον υπολογισμό των μέγιστων και των ελάχιστων τιμών της τάσης θα χρησιμοποιήσουμε το δοσμένο θερμοκρασιακό συντελεστή $T_k (V_{oc})$, όχι μόνο για την τάση ανοιχτοκύκλωσης αλλά και για την ονομαστική τάση.

Για την εύρεση του μέγιστου ρεύματος πολλαπλασιάστηκε η τιμή του ρεύματος βραχυκύκλωσης (I_{sc}) με το συντελεστή 1,25 όπως υποδεικνύεται από τα διεθνή standards.

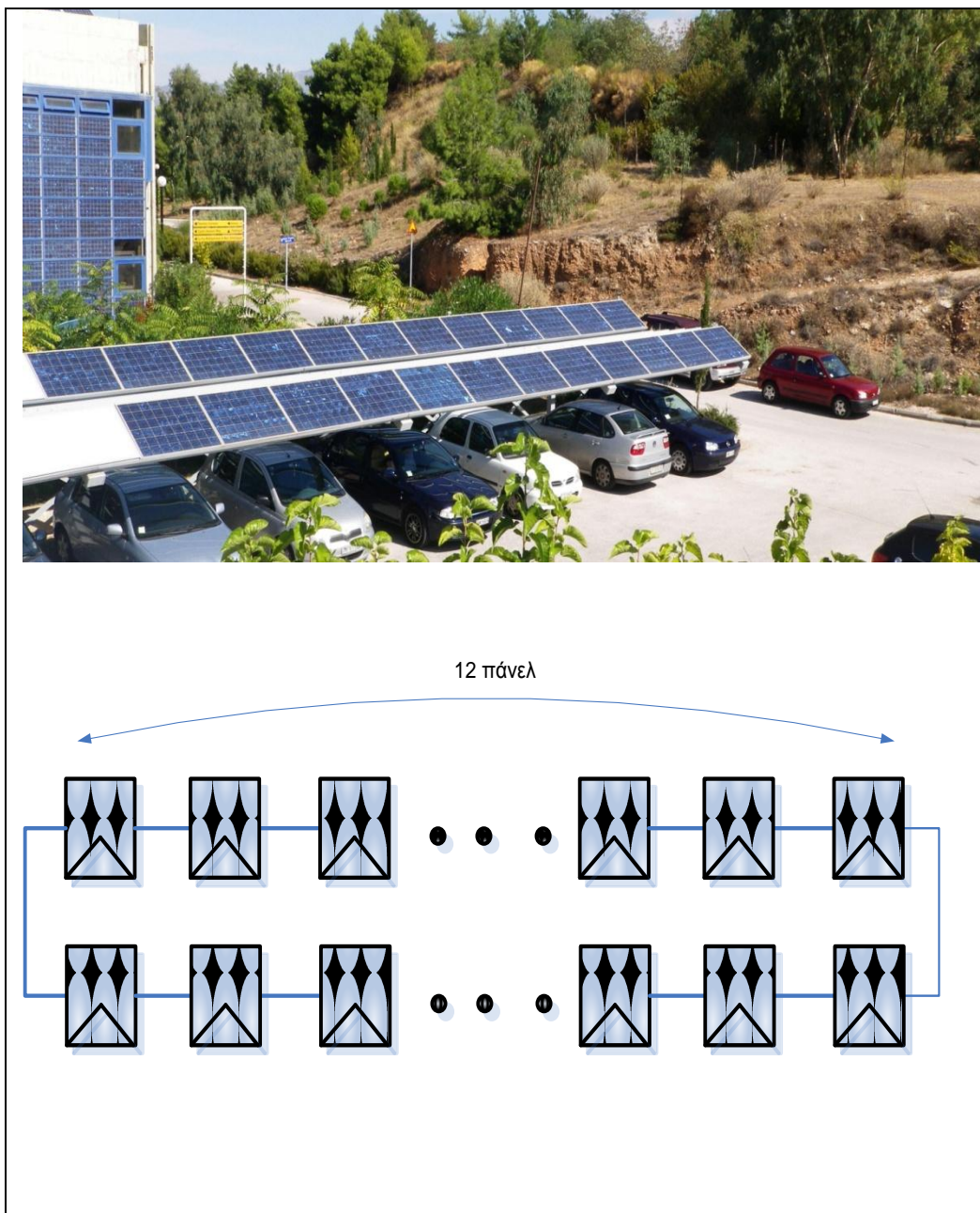
Ως άνω όριο τάσης του inverter έχει ληφθεί η τιμή μέχρι την οποία εξασφαλίζεται το MPPT,και όχι το όριο αντοχής του. Αυτό γιατί η λειτουργία των στοιχείων σε κάποιο σημείο διαφορετικό αυτού της μέγιστης ισχύος (maximum power point-MPP) δεν πρέπει να θεωρείται αποδεκτή καθώς το ζητούμενο δεν είναι να λειτουργεί το σύστημά μας, αλλά να λειτουργεί με τρόπο αποδοτικό.

Οι ακραίες θερμοκρασίες που θα λάβουμε υπόψη μας θα είναι:

- **Tmin= - 10°C**
- **Tmax= 70°C**

3.4.1- Συστοιχία A1

Συστοιχία A1	
Δύο strings των 12 πάνελ παράλληλα	
Συνολική Ισχύς	24*165Wp= 3960 Wp
Ονομαστική Τάση Εξόδου	276 Volt
Ονομαστικό Ρεύμα Εξόδου	14,3 A
Μέγιστη τάση	348 Volt
Ελάχιστη τάση 200 V	200 Volt
Μέγιστο ρεύμα	19,76 A



Εικόνα 3.8 – Στέγαστρο της συστοιχίας Α1

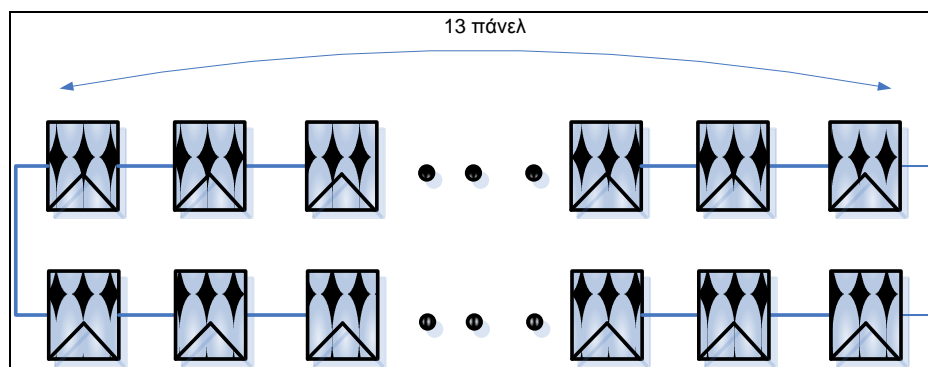
Η έξοδος της συστοιχίας Α1 συνδέεται σε ένα από τους δύο SolarStar a6000. Ο αντιστροφέας διαθέτει ξεχωριστή είσοδο για κάθε string και ο παραλληλισμός τους γίνεται εντός της συσκευής. Έτσι πρέπει να υπολογιστεί και η μέγιστη ένταση του ρεύματος κάθε string, πράγμα που θα μας χρησιμεύσει και στον υπολογισμό των αναγκαίων ασφαλειών. Παρατηρούμε πως η έξοδος των φωτοβολταϊκών «ταιριάζει» με τα όρια που θέτει στην είσοδό του ο αντιστροφέας.

A-1	Voc-max (V)	Voc-min (V)	Vmp-max (V)	Vmp-min(V)	I_{max} (A)	P_{nom} (W)
ARRAY	393,066	290,058	311,742	230,046	17,88	3960
SolarStar a6000	560	90	550	100	22	4600

Πίνακας 3.1-Συμβατότητα συστοιχίας Α1 με τον αντιστροφέα solarstar

3.4.2 - Συστοιχία A2-1

Συστοιχία A2-1	
Δύο strings των 13 πάνελ παράλληλα	
Συνολική Ισχύς	26*165Wp= 4290 Wp
Ονομαστική Τάση Εξόδου	299 Volt
Ονομαστικό Ρεύμα Εξόδου	14,4 A
Μέγιστη τάση	377 Volt
Ελάχιστη τάση	217
Μέγιστο ρεύμα	19,76 A



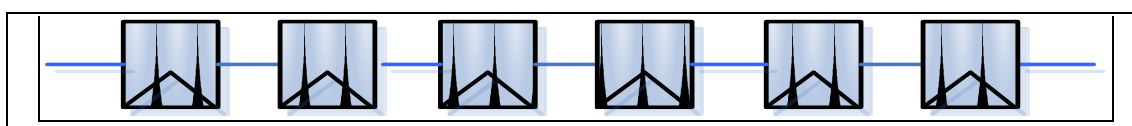
Η έξοδος της A2-1 συνδέεται σε ένα αντιστροφέα όμοιο με τον παραπάνω (**Würth SolarStar a6000**). Ομοίως με πριν, δεν αναμένεται πρόβλημα στην συνεργασία των πλαισίων με τον αντιστροφέα όπως φαίνεται και από τον παρακάτω πίνακα.

A2-1	Voc-max (V)	Voc-min (V)	Vmp-max (V)	Vmp-min(V)	I _{max} (A)	P _{nom} (W)
ARRAY	425,8215	314,2295	337,7205	249,2165	18	4290
SolarStar a6000	560	90	550	100	22	4600

ΠΙΝΑΚΑΣ 3.2- ΣΥΜΒΑΤΟΤΗΤΑ ΣΥΣΤΟΙΧΙΑΣ A2-1 ΜΕ ΤΟΝ ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΕΑ SOLARSTAR

3.4.3 – Συστοιχίες A2-2 και A2-3

Συστοιχία A2-2		Συστοιχία A2-3	
Έξι πλαίσια των 170 Wp σε σειρά		Έξι πλαίσια των 210 Wp σε σειρά	
Συνολική Ισχύς	6*170Wp= 1020 Wp	Συνολική Ισχύς	7*210Wp= 1470 Wp
Ονομαστική Τάση Εξόδου	138 Volt	Ονομαστική Τάση Εξόδου	196 Volt
Ονομαστικό Ρεύμα Εξόδου	7,4 A	Ονομαστικό Ρεύμα Εξόδου	7,2 A
Μέγιστη τάση	177 Volt	Μέγιστη τάση	252 Volt
Ελάχιστη τάση	102 Volt	Ελάχιστη τάση	151 Volt
Μέγιστο ρεύμα	10 A	Μέγιστο ρεύμα	9,75 A



ARRAYS	Voc-max (V)	Voc-min (V)	Vmp-max (V)	Vmp-min(V)	I _{max} (A)	V _{nom} (V)	P _{nom} arrays(W)/ P _{max} -
A2-2	199,9215	319,64725	155,871	115,023	9,25	138	1020
A2-3	284,634	210,042	233,24175	134,1935	18	196	1470
Aurora	580	90	580	90	18	360	3000

ΠΙΝΑΚΑΣ 3.4- ΣΥΜΒΑΤΟΤΗΤΑ ΣΥΣΤΟΙΧΙΩΝ A2-2 ΚΑΙ A2-3 ΜΕ ΤΟΝ ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΕΑ AURORA

Οι δύο παραπάνω συστοιχίες συνδέονται με τον αντιστροφέα Power One της Aurora. Το μέγιστο ρεύμα του αντιστροφέα που αναφέρεται πιο πάνω, όπως και οι τιμές της τάσης, αφορούν κάθε είσοδο χωριστά.

Κεφάλαιο 3 • Παρουσίαση της εγκατάστασης

Οι συστοιχίες A2-1, A2-2 και A2-3 είναι τοποθετημένες επί του νότιου στεγάστρου, το οποίο φαίνεται στην παρακάτω εικόνα.



Εικόνα 3.9 -Στέγαστρο 2

Οι αντιστροφείς ,τα μέσα προστασίας αλλά και τα όργανα καταμέτρησης είναι τοποθετημένα εντός πίνακα που έχουμε εγκαταστήσει έξω από το εργαστήριο ηλεκτρικών μηχανών.



Εικόνες 3.10 και 3.11 – Ηλεκτρολογικός πίνακας

3.5 - Μέσα προστασίας

3.5.1 - DC ΠΛΕΥΡΑ

• Προστασία έναντι υπερτάσεων

Εγκαταστάθηκε συσκευή προστασίας έναντι υπερτάσεων (surge arrester) της εταιρείας ABB. Συγκεκριμένα η συσκευή ABB OVR PV 70 600 (s) P TS και είναι διακοπτικού τύπου (switching type). Αποτελείται από δύο θυρίστορ και ένα σπινθηριστή ο οποίος διασπάται όταν εφαρμοστεί η ονομαστική τάση στα άκρα του. Το εν λόγω SPD (surge protective device) ενεργοποιείται στα 600 V και έχει αντοχή σε ρεύμα έως και 70 kA (ονομαστική τιμή τα 32 A). Ο χρόνος ενεργοποίησης του είναι 25 ns.



Εικόνα 3.13 – OVR PV

• Ασφάλειες

Τοποθετήθηκαν 2 ασφαλειοποζεύκτες σε κάθε string (φάση – ουδέτερος). Οι ασφάλειες είναι σχεδιασμένες για χρήση σε σύστημα συνεχούς ρεύματος, τύπου φυσιγγίου με ασφαλειοθήκη ράγας για χρήση σε πίνακα. Η ασφαλειοθήκη που χρησιμοποιήσαμε είναι η ABB E932/32. Υπολογισμός των μέγιστων ρευμάτων σε κάθε σειρά, ώστε να διαστασιολογηθούν οι ασφάλειες:

1 string / 6x170Wp: $1.25 \cdot 8A$ (I_{sc_stc}) = 10A
1 string / 7x210Wp: $1.25 \cdot 7.8A$ (I_{sc_stc}) = 9.75A (10A)

2 strings / 24x165Wp: $1.25 \cdot 7.9$ (I_{sc_stc}) = 10A ανά string
2 strings / 26x165Wp: $1.25 \cdot 7.9A$ (I_{sc_stc}) = 10A ανά string



Εικόνα 3.14 – Ασφαλειοθήκη Ράγας ABB

Συνολικά έχουμε 12 ασφάλειες ονομαστικής τιμής 10 A και διηλεκτρικής αντοχής 500 V.

Επιλέχθηκαν αυτές τις εταιρείας Cooper Bussmann, ταχείας τήξεως. Οι ασφάλειες αυτές τοποθετήθηκαν μέσα σε ασφαλειοθήκες της εταιρείας ABB.



Εικόνα 3.15 – Ασφάλεια τήξεως

• Απόζευξη

Για την ασφαλή απόζευξη κάθε string ακόμα και όταν αυτό βρίσκεται υπό φορτίο εξασφαλίζεται με την χρήση ενός dc διακόπτη (dc switch) της εταιρείας ABB, τον S800 PV-S. Πρόκειται για διπολικό αποζεύκτη με



Εικόνα 3.16- SP800 PV

δυνατότητα χειρισμού υπό τάση έως και 800 V και ρεύμα μέχρι 32 A. Έχει αντοχή σε ρεύμα έντασης έως και 1,5 kA.

3.5.2 - AC ΠΛΕΥΡΑ

- **Προστασία από υπερτάσεις**

Εγκαταστάθηκαν τέσσερις απαγωγείς υπερτάσεων τύπου III, της εταιρείας ABB. Πρόκειται για τις συσκευές **ABB OVR T2 1N 15 275 P / 2CTB803952R1200**.



Εικόνα 3.17 – ABB OVR T2

Είναι διπολικοί αποζεύκτες και η ονομαστική τάση λειτουργίας είναι 230 V. Η μέγιστη τάση συνεχούς λειτουργίας είναι 275 V (φάση-ουδέτερος) και 440 V (φάση-γή), ενώ η μέγιστη ένταση που μπορεί να αντέξει είναι 15 kA. Ο χρόνος απόκρισης της συσκευής είναι μικρότερος από 25 ns.

- **Προστασία από υπερρεύματα**

Οι τρεις έξοδοι των αντιστροφών περνούν από ένα ασφαλειοαποζεύκτη (μικροαυτόματος), τον **ABB SP253**. Έτσι εξασφαλίζουμε και την προστασία των καλωδιώσεων και του εξοπλισμού από μεγάλα ρεύματα. Το ονομαστικό ρεύμα του αποζεύκτη είναι 25 A.



Εικόνα 3.18

- **Απομόνωση AC πλευράς**

Τοποθετήσαμε ένα τετραπολικό αποζεύκτη της εταιρείας ABB, τον ABB E204, για να μπορούμε να χειριστούμε την εναλλασσόμενη πλευρά υπό τάση και να την απομονώνουμε όποτε αυτό κρίνεται αναγκαίο.



Εικόνα 3.19 – ABB E204

- **Προστασία των μετρητικών συσκευών PM750**

Τα πολυμηχανήματα PM750 παίρνουν την τροφοδοσία τους από την έξοδο ενός από τους αντιστροφείς. Ανάμεσα στον inverter και τα PM, παρεμβάλλεται ένας τριπολικός διακόπτης της εταιρείας Siemens. Πρόκειται για το MCB (Miniature Circuit Breaker) 5SJ61 που φαίνεται στην διπλανή εικόνα.



Εικόνα 3.20 – Siemens MCB

• Προστασία από ρεύματα διαρροής

Εγκαταστάθηκε ρελαί διαφυγής (RCD τύπου B) σε κάθε συστοιχία, καθώς οι εν χρήσει αντιστροφείς δε διαθέτουν μετασχηματιστή και ως εκ τούτου δεν επιτυγχάνεται ηλεκτρική απομόνωση μεταξύ dc και ac πλευράς. Έτσι αντιμετωπίζεται η περίπτωση διαρροής εναλλασσόμενου ρεύματος αλλά και συνεχούς (απλού ή παλμικού). Συγκεκριμένα πρόκειται για το RC223 της εταιρείας ABB. Ενεργοποιείται για ρεύμα διαρροής από 0,03 έως 1 A ενώ ο ελάχιστος χρόνος απόκρισής του είναι τα 30 ms. Η ικανότητα διακοπής σε ρεύμα είναι ίση με την απόλυτη ικανότητα διακοπής της συσκευής, δηλαδή $I_{CS} = 100\% I_{CU}$. Με άλλα λόγια αν βρεθεί «αντιμέτωπη» με το μέγιστο ρεύμα που θεωρητικά μπορεί να αντέξει (I_{CU}) καθίσταται ικανή να επαναλειτουργήσει με απόλυτη ασφάλεια.



Εικόνα 3.21 – RCD 223

3.6 – Μετρητικό σύστημα

Σε οποιαδήποτε παραγωγική μονάδα η ανάγκη μέτρησης όλων των δεδομένων που σχετίζονται με το παραγόμενο προϊόν αλλά και τον εξοπλισμό, είναι πρωταρχική.

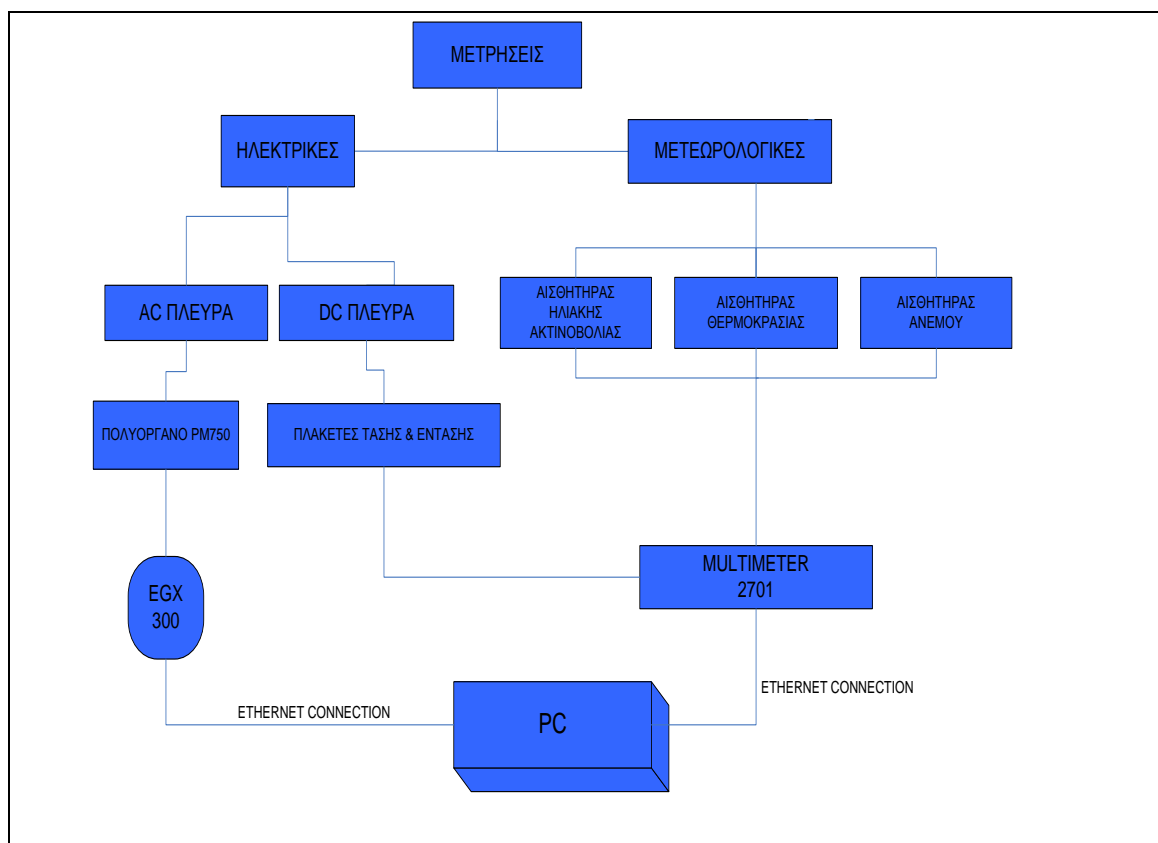
Στην περίπτωση μας μπορούμε να διακρίνουμε δύο είδη μετρήσεων:

- * Ηλεκτρικές
- * Μετεωρολογικές

Να σημειωθεί πως ηλεκτρικές μετρήσεις παρέχουν σήμερα οι περισσότεροι αντιστροφείς, αλλά λόγω του ερευνητικού χαρακτήρα του έργου αποφασίστηκε να εγκατασταθεί ένα ανεξάρτητο μετρητικό σύστημα.

Είναι έτσι δυνατό να εξασφαλιστεί καλύτερο επίπεδο ακρίβειας αλλά και να υπάρχουν περισσότερες επιλογές σε σχέση με:

- το είδος τους (ποιες ακριβώς μετρήσεις χρειαζόμαστε σε κάθε πλευρά του συστήματος),
- τον τρόπο λήψης και μετάδοσής τους (παράδειγμα η συχνότητα λήψης τους και το πρωτόκολλο με το οποίο θα γίνεται η αποστολή τους)
- την συσκευή επεξεργασίας και απεικόνισης τους (οι αντιστροφείς συνεργάζονται μόνο με συγκεκριμένες συσκευές και προκαθορισμένα πρωτόκολλα).



Εικόνα 3.22 – Σχηματική απεικόνιση του συνόλου των μετρήσεων

3.6.1-Ηλεκτρικές μετρήσεις

Μετρήσεις DC πλευράς.

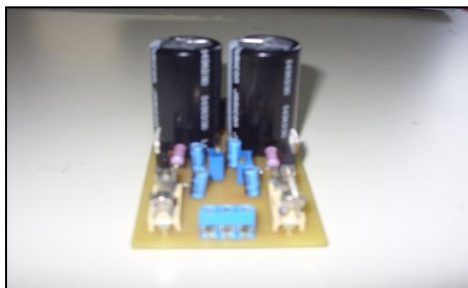
Για το συνεχές ρεύμα οι αναγκαίες μετρήσεις είναι αυτές του ρεύματος και της τάσης. Μέσω αυτών, με ένα απλό πολλαπλασιασμό μπορούμε να υπολογίσουμε και την παραγόμενη ισχύ.

Τα όργανα που χρησιμοποιήθηκαν για την μέτρηση της έντασης I είναι της ιταλικής εταιρείας LEM και λειτουργούν με απλή εφαρμογή του φαινομένου Hall. Η τάση μετράται με χρήση πλακετών κατασκευασμένων στα εργαστήρια του πολυτεχνείου.

- Μέτρηση της έντασης συνεχούς ρεύματος

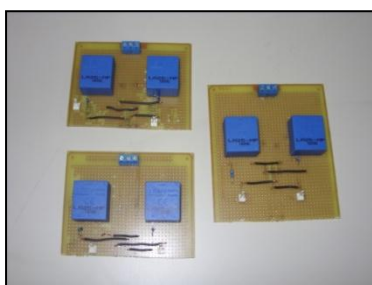
Τα LEM έντασης που χρησιμοποιήθηκαν απαιτούν τροφοδοσία με συνεχή τάση ± 15 Volt. Για το σκοπό αυτό κατασκευάσαμε στο εργαστήριο ηλεκτρικών μηχανών του Ε.Μ.Π το τροφοδοτικό που φαίνεται παρακάτω, το οποίο αποτελείται από ένα μετασχηματιστή εναλλασσόμενου ρεύματος 230/15 Volt, και ένα κύκλωμα ανόρθωσης και σταθεροποίησης της τάσης το οποίο αποτελείται από μία ανορθωτική γέφυρα, έξι ηλεκτρολυτικούς (δύο χωρητικότητας 4700 μ F και τέσσερις 10 μ F) και δύο απλούς (χωρητικότητας 4,7nF) πυκνωτές, δύο ολοκληρωμένα κυκλώματα (LM 317 και LM 337) και ένα συνδυασμό

σταθερών αλλά και μεταβλητών (trimmer) γραμμικών αντιστάσεων. Τέλος, στην πλακέτα ενσωματώθηκαν δύο ασφάλειες τήξεως για την προστασία του κυκλώματος από υπερεντάσεις.



Εικόνα 3.23 – Ανορθωτής/ Σταθεροποιητής τάσης

Καθώς επιθυμούσαμε την λήψη μιας τάσης στην έξοδο του LEM, ήταν αναγκαία η σύνδεση μιας γραμμικής (ωμικής) αντίστασης στους ακροδέκτες του. Λαμβάνοντας υπόψιν την ένταση του ρεύματος που αναμένουμε σε κάθε συστοιχία αλλά και την μέγιστη τάση σήματος την οποία μπορεί να δεχθεί το πολύμετρό μας υπολογίσαμε την αντίσταση αυτή στα 160 Ohm. Δεδομένου ότι ο παραλληλισμός των strings (σε όποια συστοιχία υφίσταται τέτοιος) γίνεται εντός των αντιστροφών, χρειαζόμαστε έξι LEM ρεύματος τα οποία χωροθετήσαμε σε τρεις πλάκες με δύο LEM έκαστη.



Εικόνα 3.24 – Πλακέτες με LEM έντασης

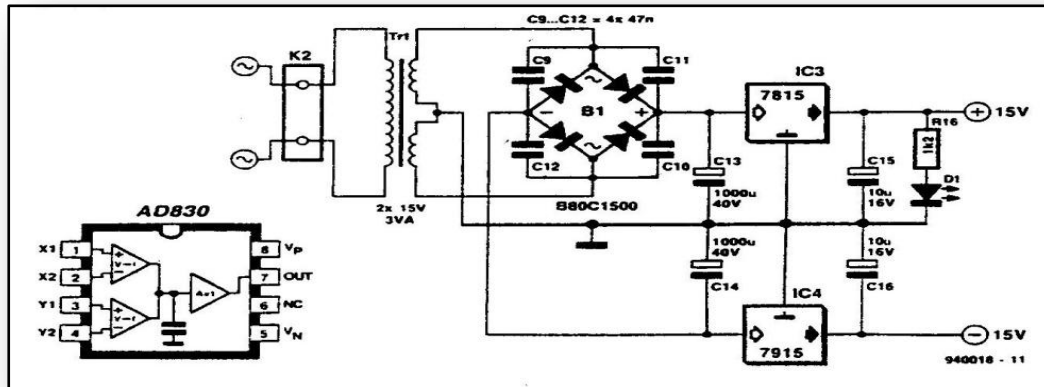
➤ Μέτρηση συνεχούς τάσης

Για την συνεχή τάση κατασκευάστηκαν στο εργαστήριο ηλεκτρικών μηχανών τέσσερις πλακέτες μέτρησης, η τροφοδοσία των οποίων είναι ενσωματωμένη μέσω ενός μετασχηματιστή εναλλασσόμενης τάσης 230 V / 9 V και ενός κυκλώματος ανόρθωσης και σταθεροποίησης της τάσης.

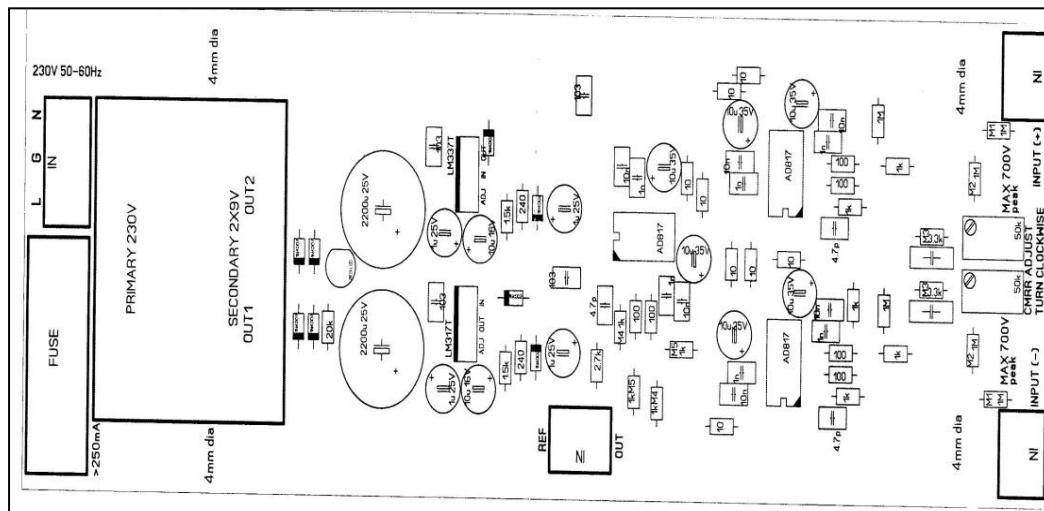
Η μέτρηση, καθ'αυτή, επιτυγχάνεται με την χρήση ολοκληρωμένων στοιχείων πλαισιωμένων από ένα αριθμό πυκνωτών και αντιστάσεων (σταθερών και μεταβλητών). Το τροφοδοτικό είναι ίδιο με εκείνο που περιγράψαμε πιο πάνω και χρησιμοποιήθηκε και στις πλακέτες μέτρησης της έντασης του ρεύματος. Δεν έχει κάποια ιδιαιτερότητα εκτός από τους τέσσερις πυκνωτές που συνδέονται παράλληλα με τις διόδους ανόρθωσης. Οι πυκνωτές καταπνίγουν τα παράσιτα που δημιουργούνται, καθώς οι διόδους μεταγόνται από την αγωγιμότητα στην αποκοπή και αντίστροφα. Οι λεπτομέρειες του κυκλώματος φαίνονται στο πιο κάτω σχήμα.

Κεφάλαιο 3 • Παρουσίαση της εγκατάστασης

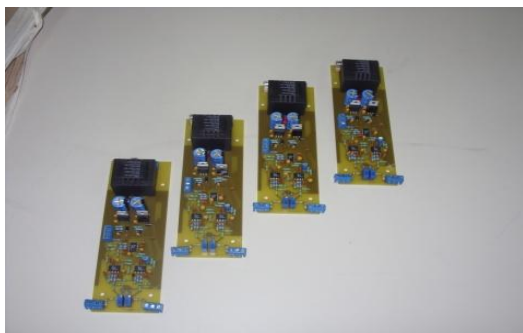
Η πλακέτα είναι διπλής όψης χωρίς επιμεταλλωμένες οπές. Πολλά εξαρτήματα έπρεπε να κολληθούν και από τις δύο πλευρές και σε αυτά τα σημεία υπάρχουν χαλκονησίδες και στις δύο πλευρές.



Εικόνα 3.26 – Σχέδιο τροφοδοτικού



Εικόνα 3.27 – Σχέδιο πλακέτας μέτρησης της τάσης



Εικόνα 3.28 – Πλακέτες μέτρησης τάσης

Κεφάλαιο 3 • Παρουσίαση της εγκατάστασης

➤ Συλλογή αναλογικών δεδομένων

Για την συλλογή των δεδομένων της συνεχούς πλευράς (αλλά και των μετεωρολογικών μετρήσεων) εγκαταστήσαμε ένα datalogger της εταιρείας Keithley. Το βασικό πρόβλημα που αντιμετωπίσαμε στην αναζήτηση της κατάλληλης συσκευής, ήταν η απαίτηση της ύπαρξης μεγάλου αποθηκευτικού χώρου (εσωτερικής μνήμης). Κάτι τέτοιο μας αποδεσμεύει από την υποχρέωση να διατηρούμε συνεχώς ένα υπολογιστή συνδεδεμένο στο σύστημα ώστε να μη χάνουμε μετρήσεις. Ο datalogger Keithley 2701, διαθέτει buffer χωρητικότητας 450.000 μετρήσεων, κάτι που σημαίνει ότι είναι αναγκαία η λήψη τους από την συσκευή κάθε, περίπου, 25 μέρες.

Δύναται να δεχθεί έως 80 αναλογικές εισόδους .

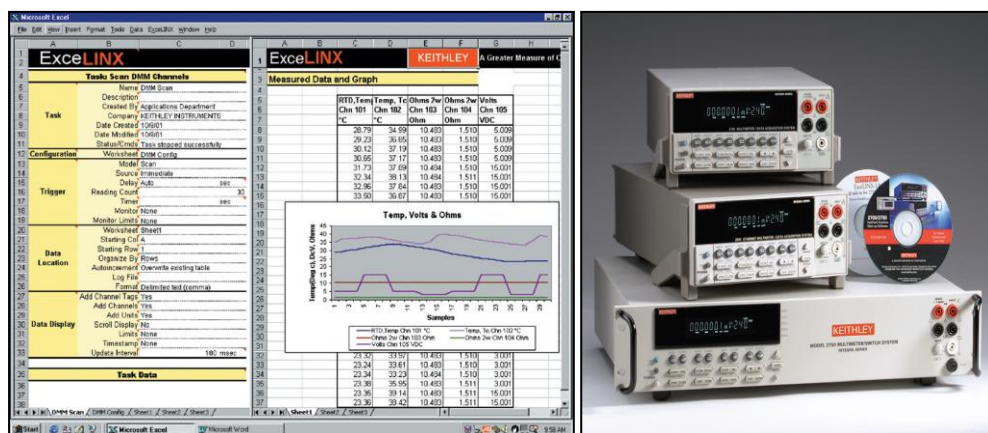
Η είσοδος συνεχούς τάσης έχει όρια:

- $V_{min}=100nV$
- $V_{max}=1000V$

Η είσοδος συνεχούς έντασης έχει όρια:

- $I_{min}=10nA$
- $I_{max}=750V$

Η παρουσίαση και επεξεργασία των δεδομένων, γίνεται μέσω του προγράμματος ExcelInx, το οποίο παρουσιάζει τα δεδομένα σε μορφή πινάκων αλλά και διαγραμμάτων.



Εικόνες 3.29 και 3.30 – Το πρόγραμμα ExcelInx και το όργανο 2701.

Μετρήσεις AC πλευράς.

Για την μέτρηση στην εναλλασσόμενη πλευρά, οι απαιτήσεις είναι περισσότερες. Χρειαζόμαστε πληροφορίες για το ρεύμα, την τάση, την ισχύ (ενεργό και άεργο) αλλά και τα ποιοτικά χαρακτηριστικά τους, όπως η ολική αρμονική παραμόρφωση (THD), ο συντελεστής ισχύος κ.α.

Επιλέχθηκαν τα πολυόργανα PM 750, της εταιρείας Schneider Electric. Μεταξύ αυτών των οργάνων και του υπολογιστή, παρεμβάλλεται ένα monitoring system, επίσης της εταιρείας Schneider, το EGX 300, το οποίο έχει την δυνατότητα να αποθηκεύει μεγάλο όγκο δεδομένων (προερχόμενα από τα πολυόργανα) και να τα «περνά» στον υπολογιστή μας την στιγμή που θα συνδεθούν. Λεπτομέρειες για το EGX 300 θα δούμε παρακάτω.

➤ Πολυόργανο PM750

Όπως προαναφέρθηκε, η εν λόγω συσκευή καλύπτει τις απαιτήσεις μας για ποσοτική και ποιοτική μέτρηση της παραγωγής του φωτοβολταϊκού συστήματος.



Εικόνα 3.31- Πολυόργανο PM750.

Μας παρέχει μέσω των δύο ψηφιακών εισόδων και της μίας ψηφιακής εξόδου, μέτρηση για την παραγόμενη ενέργεια και ισχύ (ενεργό, άεργο και φαινόμενη) καθώς και για τον συντελεστή ισχύος.

Επίσης, παρέχει στιγμιαίες μετρήσεις για την ενεργό τιμή της έντασης του ρεύματος σε κάθε φάση (σε περίπτωση τριφασικής σύνδεσης) αλλά και στον ουδέτερο, όπως και για την τιμή της φασικής (Ph-Ph) και πολικής (Ph-N) τάσης αλλά και της συχνότητας. Η συνολική αρμονική παραμόρφωση (Total Harmonic Distortion-THD) μετράται για την τάση και το ρεύμα με χρήση μέχρι και της 15^{ης} αρμονικής.

Στον τομέα της ακρίβειας των μετρήσεων έχουμε :

- για το ρεύμα 0,4 % από 1 έως 6 A
- για την τάση 0,3 % από 50 έως 227 V
- για τον συντελεστή ισχύος 0,5 %
- για την ισχύ 0,5 %

- για την συχνότητα +/- 0,02 %
- για την πραγματική ενέργεια (real energy) η συσκευή κατατάσσεται στην κλάση **0,5S** σύμφωνα με το πρότυπο **IEC 62053-22**
- για την φαινόμενη ισχύ η συσκευή είναι **κλάσης 2** (class 2) σύμφωνα με το πρότυπο **IEC 62053-23**

Οι μετρούμενες τιμές της τάσης πρέπει να κυμαίνονται από 10 έως 480 V για την πολική τάση και από 10 έως 227 V για την φασική. Για την ένταση το αντίστοιχο εύρος είναι από 0,5 mA έως 6 A, ενώ μπορούν να μετρηθούν συχνότητες από 45 έως 65 Hz. Να σημειωθεί ότι όσο αφορά το ρεύμα η επιτρεπτή υπερφόρτωση είναι :

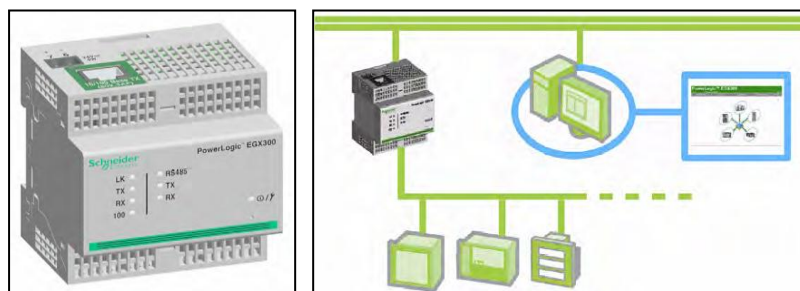
- 10 A για συνεχή διαρροή
- 50 A για διάστημα δέκα δευτερολέπτων ανά ώρα
- 120 A για διάστημα ενός δευτερολέπτου ανά ώρα.

Για την επικοινωνία του οργάνου υπάρχει θύρα RS485, ενώ υποστηρίζεται το πρωτόκολλο modbus το οποίο χρησιμοποιήθηκε και στην συγκεκριμένη εφαρμογή.

➤ EGX 300

Το EGX 300 είναι μία συσκευή συλλογής, αποθήκευσης και μετάδοσης δεδομένων της γερμανικής εταιρείας Schneider.

Η σύνδεσή του με τα PM750 είναι σειριακή, (μέσω πρωτοκόλλου RS485) ενώ με τον υπολογιστή μας συνδέεται μέσω καλωδίου Ethernet.



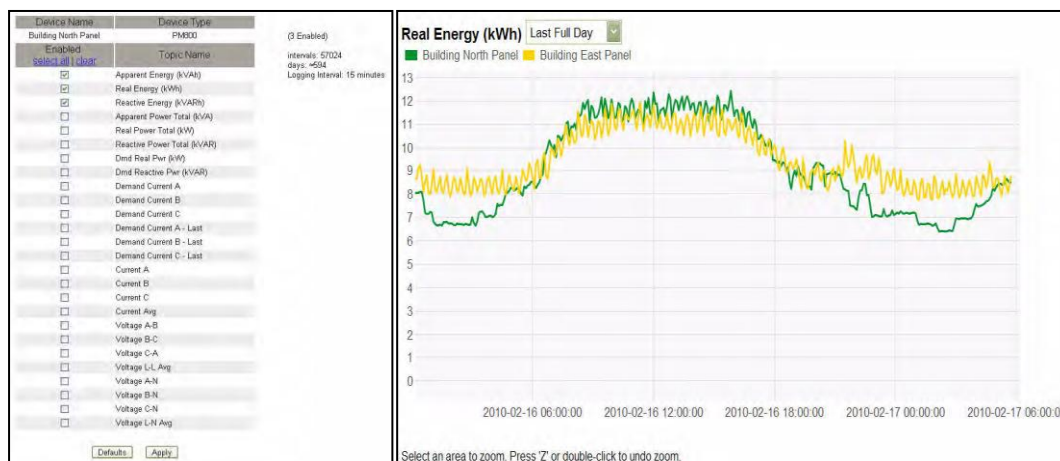
Εικόνες 3.32 και 3.33 – Το EGX300 και η διασύνδεσή του με τα στοιχεία της εγκατάστασης.

Το συγκεκριμένο όργανο επιλέχθηκε κυρίως για την δυνατότητα αποθήκευσης μεγάλου όγκου δεδομένων η οποία καθιστά μη αναγκαία την συνεχή παρακολούθηση του συστήματος, καθώς αρκεί η τακτική λήψη των μετρήσεων πρώτου χαθούν τα αποθηκευμένα δεδομένα. Πιο συγκεκριμένα, η χωρητικότητα είναι 171071 μετρήσεις. Έτσι η «αυτονομία» του εξαρτάται από την συχνότητα δειγματοληψίας (η οποία καθορίζεται από τον χρήστη) αλλά και από το πλήθος των προς μέτρηση μεγεθών.

Αριθμός μεγεθών	Αυτονομία σε μέρες-Συχνότητα Δειγματοληψίας		
	5 min	10 min	15 min
1	594	1188	1782
2	297	594	891
3	198	396	594
4	148	297	445
5	118	237	356
6	99	198	297

Πίνακας 3.3 – Ενδεικτική δυνατότητα αποθήκευσης

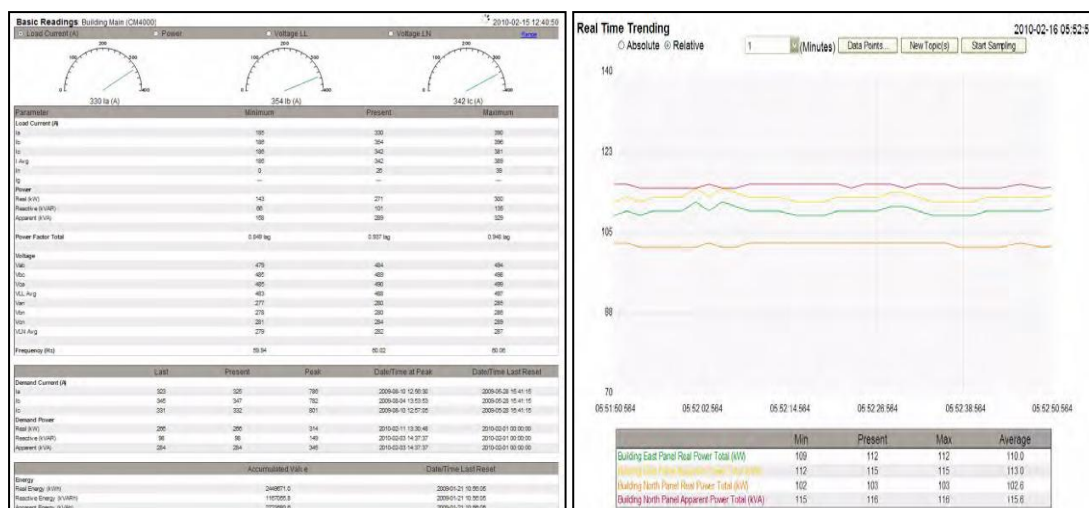
Στην δική μας περίπτωση, έχει επιλεγεί λήψη μετρήσεων κάθε 10 λεπτά. Η αυτονομία αποθήκευσης υπολογίζεται περίπου στους τρεις μήνες με βάση τις μετρήσεις που καταγράφονται. Οι παράμετροι αυτές μπορούν εύκολα να μεταβληθούν και μάλιστα σε κάθε πολυόργανο PM750 γίνεται ξεχωριστή επιλογή των μεγεθών που καταγράφονται. Το όργανο προχωρά και σε επεξεργασία των δεδομένων και δημιουργία γραφικών παραστάσεων για κάθε μέγεθος χωριστά, σε χρονικό διάστημα της επιλογής μας. Μπορούμε ακόμη να συγκρίνουμε το ίδιο μέγεθος σε διαφορετικές slave devices. Για παράδειγμα να συγκρίνουμε την παραγωγή πραγματικής ενέργειας δύο διαφορετικών συστοιχιών στη διάρκεια μιάς ημέρας. Μπορούμε έτσι να κάνουμε μια πρόχειρη αξιολόγηση της εγκατάστασης και να εντοπίσουμε τα σημεία που χρήζουν επιπλέον διερεύνησης.



Εικόνες 3.35 και 3.36 – Επιλογή μεγεθών και συγκριτικά διαγράμματα

Εκτός από τα παραπάνω, υπάρχει η δυνατότητα παρακολούθησης του συστήματος σε πραγματικό χρόνο (real time trending) μέσω της οποίας παρατηρούνται στιγμιαίες διακυμάνσεις των μεγεθών. Μπορούμε επίσης να παίρνουμε διαγράμματα σε πραγματικό χρόνο. Με αυτό τον τρόπο καθίσταται δυνατή η διεξαγωγή πειραμάτων, όπως η τεχνητή σκίαση τμημάτων της ηλεκτροπαραγωγού επιφάνειας και παρατήρηση των επιπτώσεων στην παραγωγή και στην ποιότητα ισχύος.

Κεφάλαιο 3 • Παρουσίαση της εγκατάστασης



Εικόνες 3.37 και 3.38 – Real time καταγραφή μεγεθών και διαγράμματα

3.6.2 – Μετεωρολογικές μετρήσεις

Εκτός από τον αντιστροφέα Aurora, από την εταιρεία Power One προμηθευτήκαμε την συσκευή απεικόνισης και διαχείρισης της εγκατάστασης Aurora Easy Control καθώς και τους απαραίτητους αισθητήρες για την πραγματοποίηση των μετεωρολογικών μετρήσεων. Οι αισθητήρες αυτοί συνδέθηκαν με την συσκευή ελέγχου για την λήψη των δεδομένων μέσω των τεσσάρων αναλογικών εισόδων που διαθέτει το easy control καθώς και για την (απαραίτητη για την λειτουργία) τροφοδοσία τους με συνεχή τάση 24 Volt.



Εικόνα 3.39 – Aurora Easy Control

Επειδή η συσκευή αυτή δεν διαθέτει εσωτερική μνήμη για τα δεδομένα που λαμβάνει,την χρησιμοποιήσαμε μόνο για την τροφοδοσία των μετεωρολογικών οργάνων και τα δεδομένα τα διοχετεύσαμε στον datalogger της Keithley που περιγράψαμε παραπάνω.

- Αισθητήρας ανέμου **Aurora PVI-AEC-WIND-COMPACT**

Το εύρος των μετρούμενων ταχυτήτων είναι 0 – 50 m/s με ανάλυση 0,1 m/s, ενώ «επιβιώνει» μέχρι την ταχύτητα ανέμου 80 m/s (για χρόνο 30 λεπτών). Το σφάλμα της μέτρησης είναι 0,5 m/s.Για την λειτουργία του απαιτεί τροφοδοσία 9 έως 30 V DC.Η ηλεκτρική έξοδος του οργάνου συνίσταται σε τάση από 0 έως 10 Volt, με ακρίβεια 0,05 %.Να σημειωθεί πως το όργανο διαθέτει



Εικόνα 3.40- Αισθητήρας ανέμου

σύστημα θέρμανσης ισχύος έως 20 W ώστε να εμποδίζεται η επικάθιση πάγου που θα δυσχαίρνε την κίνησή του.

Η τροφοδοσία του συστήματος αυτού (24 V DC) γίνεται ξεχωριστά από την βασική του τροφοδοσία και έτσι επιλέγεται αν η θέρμανση θα λειτουργεί.

Χρειάστηκε,κατά την εγκατάσταση να αρχικοποιήσουμε το ανεμόμετρο,δηλαδή να αντιστοιχίσουμε την τιμή 0 m/s στην κατάσταση ακινησιάς του.Με αυτό τον τρόπο εξασφαλίζουμε πως οι ενδείξεις του θα αντιστοιχούν στην πραγματικότητα.

- Αισθητήρας θερμοκρασίας και μετατροπέας σήματος **Aurora PVI-AEC-CONV-T100-24V**.

Για την μέτρηση της θερμοκρασίας περιβάλλοντος και πλαισίου είναι απαραίτητος ο αισθητήρας Pt100 ο οποίος ενσωματώνεται στον μετατροπέα (converter) για την επικοινωνία με το Aurora Easy Control.Ο converter απαιτεί τροφοδοσία 24 V DC ενώ ανάλογα με την συνδεσμολογία που θα πραγματοποιήσουμε έχει εύρος μετρούμενων θερμοκρασιών -50 έως 300 °C ή -50 έως 100°C.



Εικόνα 3.41 – Μετατροπέας σήματος

Η έξοδος του επίσης καθορίζεται από την σύνδεση των ακροδεκτών εξόδου και οι επιλογές είναι οι ακόλουθες :

- a. 4 – 20 mA DC
- b. 0 – 20 mA DC
- c. 0 – 10 V DC

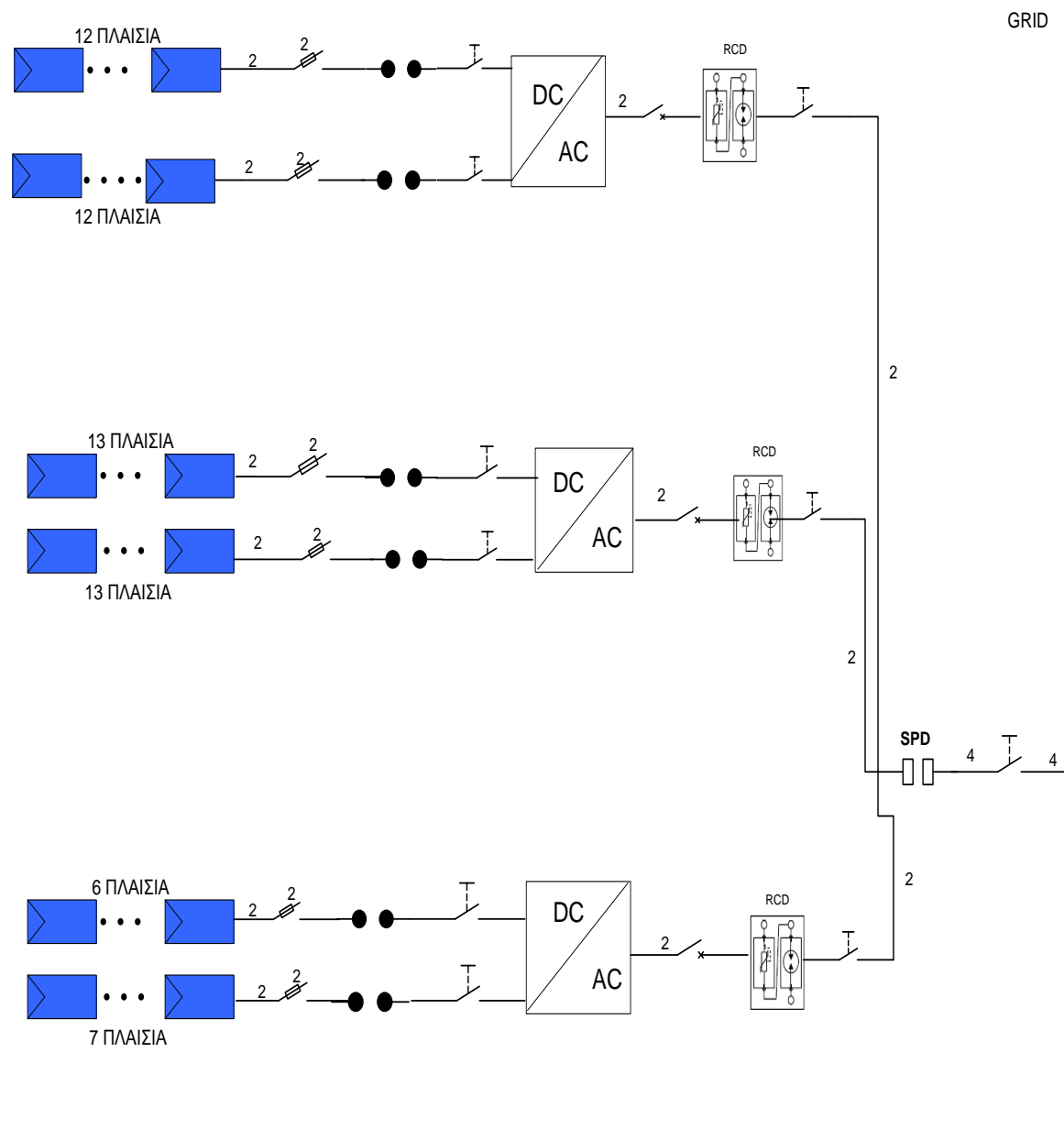
Εγκαταστήσαμε δύο τέτοιους αισθητήρες για να μετρήσουμε την θερμοκρασία περιβάλλοντος αλλά και αυτή των πλαισίων.

- Αισθητήρας ηλιακής ακτινοβολίας **Aurora PVI-AEC-IRR**, με αναλογική έξοδο 0-10 Volt.

Όμοια με το ανεμόμετρο,πραγματοποιήθηκε και εδώ μία αρχικοποίηση.

Σκιάσαμε τον αισθητήρα (πλαίσιο αναφοράς) και σημειώσαμε την ένδειξη του οργάνου στον υπολογιστή.Έπειτα καθορίσαμε τον συντελεστή διόρθωσης των μετρήσεων για να εξασφαλίσουμε μέγιστη ακρίβεια.

Κεφάλαιο 3 • Παρουσίαση της εγκατάστασης



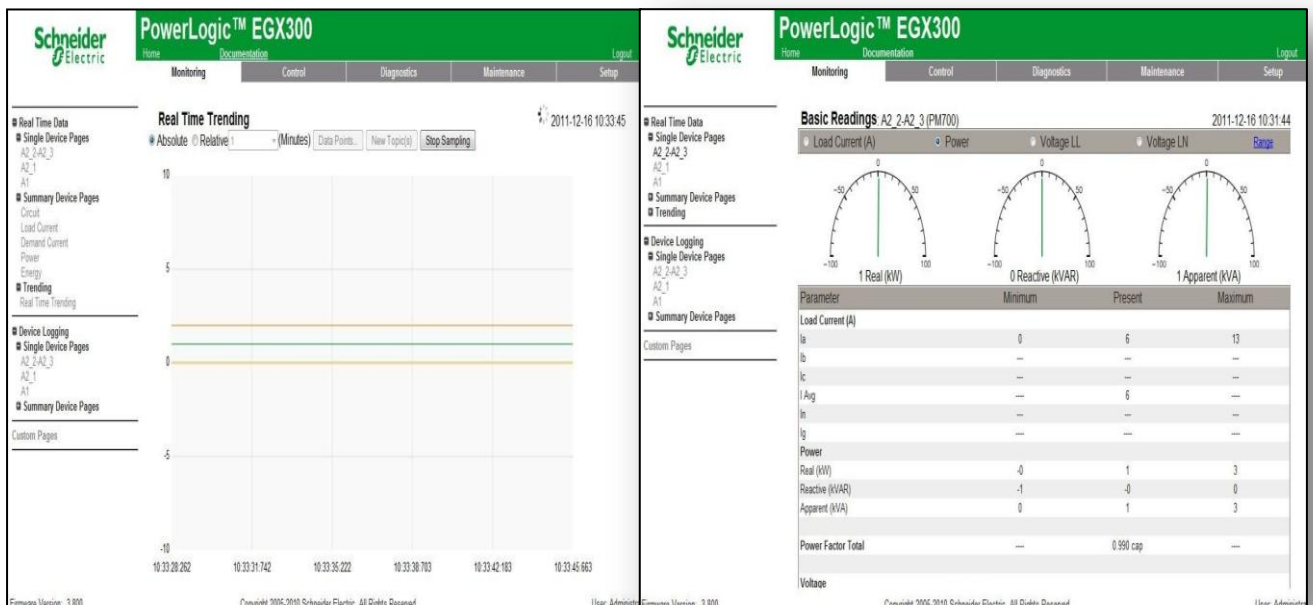
Εικόνα 3.42 – Μονογραμμικό σχέδιο της εγκατάστασης

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 - ΜΕΛΕΤΗ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΚΑΙ ΕΞΑΓΩΓΗ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΩΝ

Μετά την εγκατάσταση του εξοπλισμού μέτρησης, πραγματοποιήθηκε τακτική λήψη των μετρήσεων κυρίως από τις συσκευές καταγραφής της εναλλασσόμενης πλευράς, με σκοπό να διαπιστωθεί η απόδοση της εγκατάστασης, αλλά και να εκτιμηθεί η επίδραση διαφόρων παραγόντων στην λειτουργία του συστήματος. Τέτοιοι παράγοντες είναι η θερμοκρασία, η επικάλυψη ρύπων αλλά και ο προσανατολισμός και ενδεχόμενες σκιάσεις.

Για να γίνει πιο κατανοητός ο τρόπος των επεξεργασίας των μετρήσεων θα δούμε καταρχήν τον τρόπο με τον οποίο παρουσιάζονται αυτές μέσα από το πρόγραμμα Power Logic του EGX300. Στην παρακάτω εικόνα φαίνεται η real time παρακολούθηση των κρίσιμων μεγεθών του συστήματος. Στην πρώτη περίπτωση έχουμε την απεικόνιση της ισχύος για την έξοδο του αντιστροφέα Αυτοα. Στην επόμενη εικόνα γίνεται μία δειγματοληψία πραγματικού χρόνου και για τις τρεις συστοιχίες με θέμα και πάλι την ισχύ που παράγεται. Παρατηρούμε πως η ισχύς της A2_1 είναι μηδέν καθώς εκείνη την στιγμή την είχαμε απομονώσει από το δίκτυο. Οποτεδήποτε το θελήσουμε μπορούμε να σταματήσουμε την δειγματοληψία και να επιλέξουμε ένα διαφορετικό θέμα.

Αυτό που μας ενδιαφέρει ακόμα περισσότερο όμως είναι η δυνατότητα αποθήκευσης των μετρήσεων και η εξαγωγή συμπερασμάτων για την πορεία της παραγωγής στην διάρκεια του χρόνου. Αυτά τα στοιχεία δίνονται ως διαγράμματα αλλά και ως χρονοσειρές.

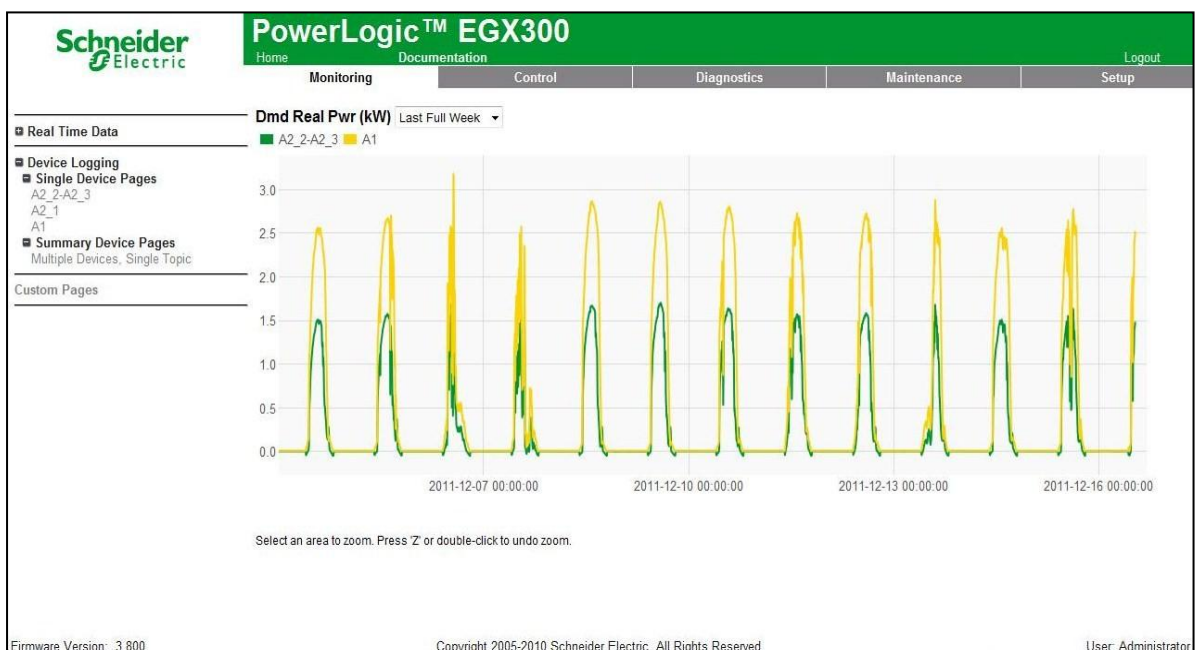
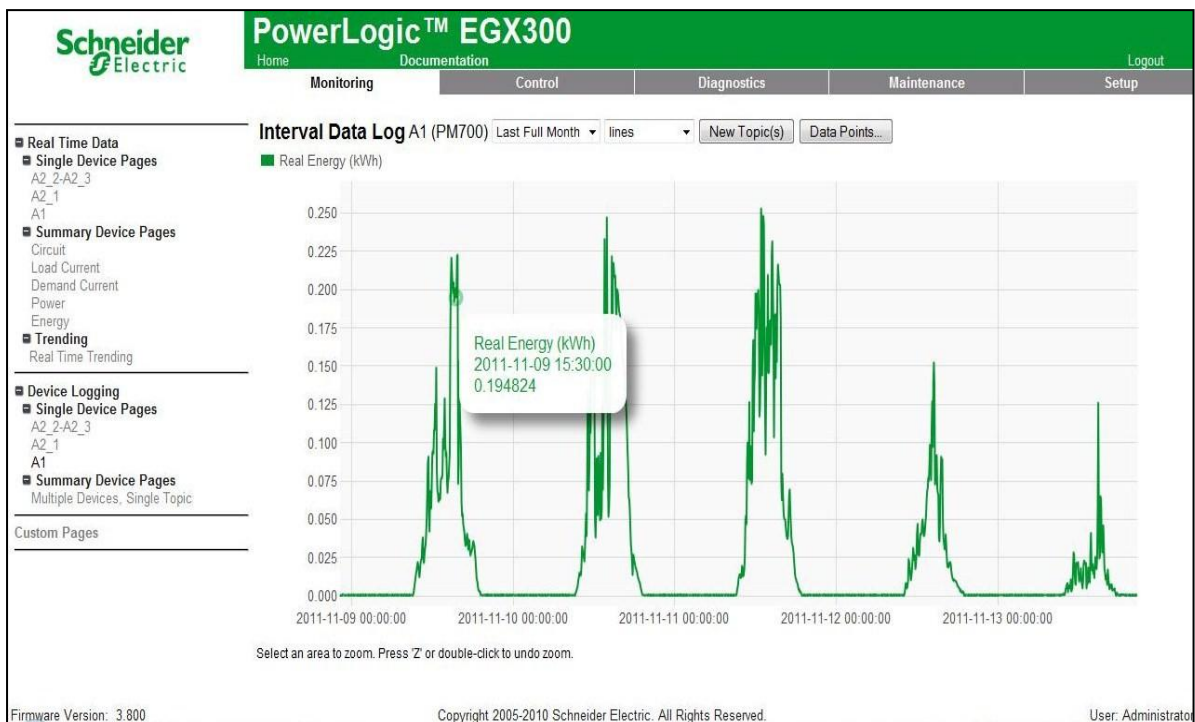


Εικόνα 4.1 – 4.2 – Απεικόνιση δεδομένων σε πραγματικό χρόνο

Στην πιο κάτω εικόνα βλέπουμε την συνολική ενέργεια για την συστοιχία A1 μέσα στο Νοέμβριο του 2011. Υπάρχει η δυνατότητα επιλογής του διαστήματος παρατήρησης καθώς

Κεφάλαιο 4 • Μελέτη μετρήσεων και εξαγωγή συμπερασμάτων

και της παρουσίασης περισσότερων εισόδων στο ίδιο διάγραμμα, όπως φαίνεται και παρακάτω.



Εικόνα 5.3 και 5.4 – Διαγραμματική απεικόνιση χρονοσειρών και πολλαπλές εισοδοι

Κεφάλαιο 4 • Μελέτη μετρήσεων και εξαγωγή συμπερασμάτων

Για την εύρεση των δεικτών παραγωγής της εγκατάστασης και την περαιτέρω ανάλυση των δεδομένων είναι αναγκαίες οι χρονοσειρές των μεγεθών που μετρούν τα διάφορα όργανα. Οι χρονοσειρές αυτές λαμβάνονται από το σύστημα σε μορφή αρχείου CSV και για την επεξεργασία τους γίνεται μετατροπή σε αρχείο τύπου EXCEL.

Error	Timestamp	Apparent Energy (kVAh)	Real Energy (kWh)	Reactive Energy (kVARh)	Real Power Total (kW)	Dmd Real Pwr (kW)	Dmd Reactive Pwr (kVAR)	Demand
0	2011-10-17 23:55:00	3109.530	2813.820	-296.896	0.002	0.002	0.017	
0	2011-10-18 00:00:00	3109.531	2813.820	-296.896	0.003	0.002	0.017	
0	2011-10-18 00:05:00	3109.532	2813.820	-296.896	-0.000	0.002	0.018	
0	2011-10-18 00:10:00	3109.534	2813.821	-296.896	0.004	0.002	0.017	
0	2011-10-18 00:15:00	3109.535	2813.821	-296.896	0.001	0.002	0.017	
0	2011-10-18 00:20:00	3109.537	2813.821	-296.896	0.003	0.002	0.017	
0	2011-10-18 00:25:00	3109.538	2813.821	-296.896	0.002	0.002	0.017	
0	2011-10-18 00:30:00	3109.540	2813.821	-296.896	0.002	0.002	0.017	
0	2011-10-18 00:35:00	3109.541	2813.822	-296.896	0.001	0.002	0.018	
0	2011-10-18 00:40:00	3109.543	2813.822	-296.896	0.003	0.002	0.017	
0	2011-10-18 00:45:00	3109.544	2813.822	-296.896	0	0.002	0.017	
0	2011-10-18 00:50:00	3109.546	2813.822	-296.896	0.003	0.001	0.018	
0	2011-10-18 00:55:00	3109.547	2813.822	-296.896	0.004	0.002	0.017	
0	2011-10-18 01:00:00	3109.549	2813.822	-296.896	-0.001	0.002	0.017	
0	2011-10-18 01:05:00	3109.551	2813.823	-296.896	0.002	0.001	0.018	
0	2011-10-18 01:10:00	3109.552	2813.823	-296.896	0.001	0.002	0.017	
0	2011-10-18 01:15:00	3109.553	2813.823	-296.896	0.003	0.002	0.017	
0	2011-10-18 01:20:00	3109.555	2813.823	-296.896	0.002	0.002	0.017	
0	2011-10-18 01:25:00	3109.556	2813.823	-296.896	0.003	0.002	0.017	
0	2011-10-18 01:30:00	3109.558	2813.824	-296.896	0.002	0.002	0.017	
0	2011-10-18 01:35:00	3109.559	2813.824	-296.896	0.003	0.002	0.017	
0	2011-10-18 01:40:00	3109.561	2813.824	-296.896	0.003	0.002	0.017	
0	2011-10-18 01:45:00	3109.562	2813.824	-296.896	0.002	0.002	0.017	
0	2011-10-18 01:50:00	3109.564	2813.824	-296.896	0.001	0.001	0.018	
0	2011-10-18 01:55:00	3109.565	2813.825	-296.896	0.002	0.002	0.018	
0	2011-10-18 02:00:00	3109.567	2813.825	-296.896	0.001	0.001	0.018	
0	2011-10-18 02:05:00	3109.568	2813.825	-296.896	0.001	0.001	0.018	
0	2011-10-18 02:10:00	3109.570	2813.825	-296.896	0.000	0.001	0.018	
0	2011-10-18 02:15:00	3109.572	2813.825	-296.896	0.002	0.001	0.019	
0	2011-10-18 02:20:00	3109.573	2813.825	-296.896	0.003	0.001	0.018	
0	2011-10-18 02:25:00	3109.574	2813.826	-296.896	-0.000	0.002	0.017	
0	2011-10-18 02:30:00	3109.576	2813.826	-296.896	0.003	0.002	0.017	
0	2011-10-18 02:35:00	3109.577	2813.826	-296.896	0.001	0.001	0.018	

Εικόνα 4.5 – Χρονοσειρά δεδομένων

4.1 – Γενική εκτίμηση του συστήματος.

4.1.1 - Ο δείκτης «ισοδύναμων ορών» (final yield) – Y_f

Ο δείκτης αυτός ορίζεται ως εξής : $Y_f = \frac{E_{pv}}{P_{nom}}$,

όπου E_{pv} : η παραγωγή του συστήματος εντός μίας ημέρας (Kwh / μέρα).

P_{nom} : η ονομαστική ισχύς του συστήματος (Kw).

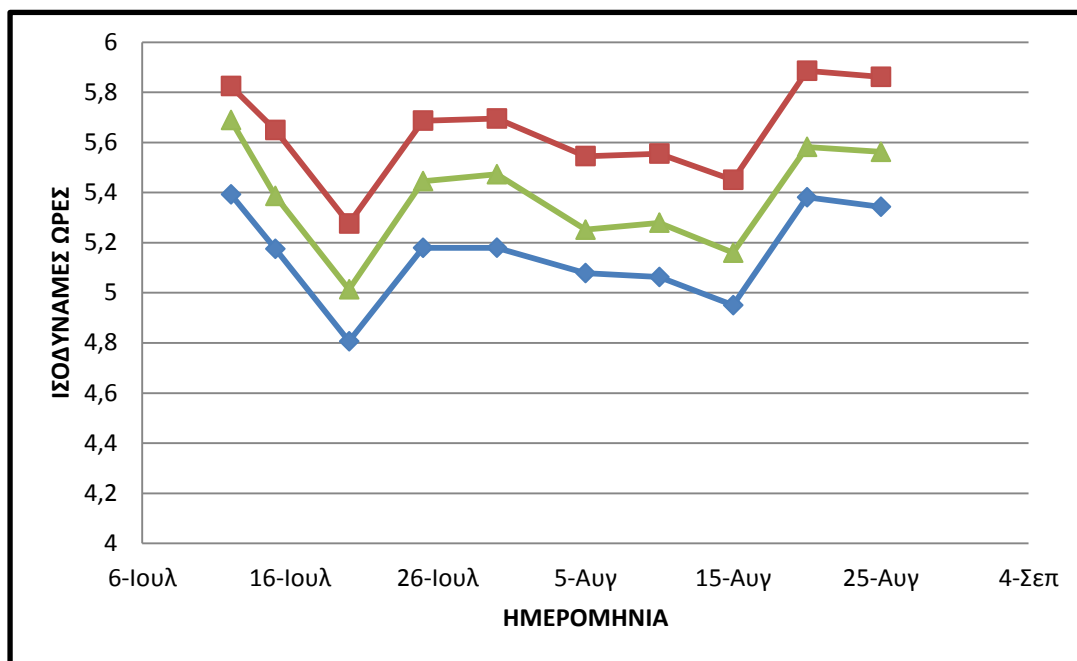
Είναι προφανές πως οι μονάδες του δείκτη είναι ώρες (h). Συγκεκριμένα υποδεικνύει το χρονικό διάστημα στο οποίο η συστοιχία θα παρήγαγε την ενέργεια μιας ημέρας στην, υποθετική, περίπτωση που η ισχύς ήταν συνεχώς η ονομαστική. Η χρησιμότητα του δείκτη έγκειται στο ότι κανονικοποιεί την παραγωγή ως προς το μέγεθος της διάταξης και έτσι μας παρέχει ένα μέτρο σύγκρισης ανάμεσα σε φωτοβολταϊκές εγκαταστάσεις διαφορετικής ισχύος. Στη δική μας περίπτωση θα μπορέσουμε να συγκρίνουμε τις παραγωγές των διαφορετικών αντιστροφών στα δύο στέγαστρα.

Κεφάλαιο 4 • Μελέτη μετρήσεων και εξαγωγή συμπερασμάτων

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζεται η τιμή του δείκτη παραγωγής για τις συστοιχίες στους τρεις αντιστροφείς, ενώ δίνεται και το αντίστοιχο διάγραμμα. Εξετάστηκε μια περίοδος από τις αρχές του Ιουλίου μέχρι και το τέλος Αυγούστου για να εστιάσουμε στην περίοδο με την καλύτερη παραγωγή μέσα στο έτος. Παρακάτω θα επεκτείνουμε το χρονικό διάστημα παρατήρησης των δεδομένων.

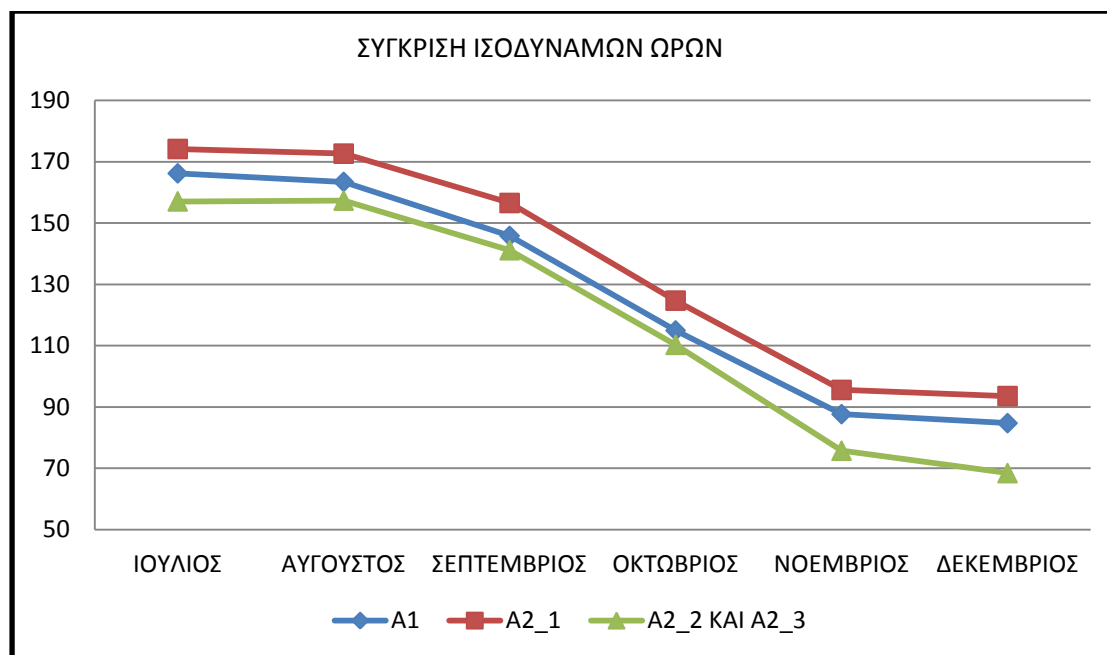
ΗΜΕΡΑ	Final Yield A1	Final Yield A2_1 (h)	Final Yield A2_2 - A2_3
12-Ιουλ	6,31010101	5,251515152	5,392369478
15-Ιουλ	6,119949495	4,971794872	5,175100402
20-Ιουλ	5,715656566	4,627972028	4,806024096
25-Ιουλ	6,160606061	5,026340326	5,179116466
30-Ιουλ	6,16969697	5,051748252	5,179518072
5-Αυγ	6,007323232	4,847552448	5,078313253
10-Αυγ	6,018181818	4,873426573	5,062650602
15-Αυγ	5,90479798	4,762703963	4,950200803
20-Αυγ	6,376010101	5,152680653	5,380722892
25-Αυγ	6,349747475	5,134265734	5,342971888

Πίνακας 4.1



Διάγραμμα 4.1 – Ισοδύναμες ώρες

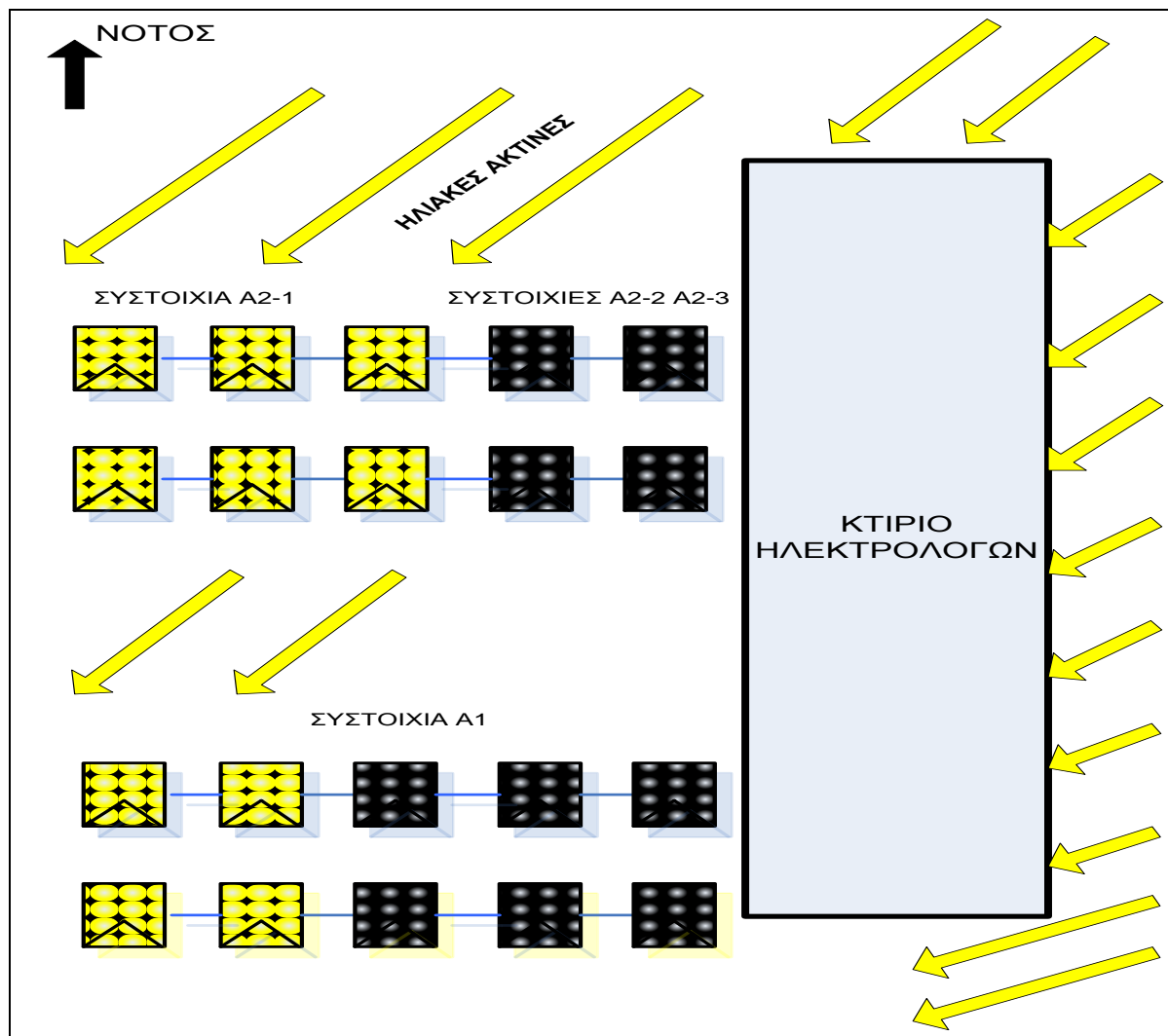
Παρατηρούμε πως η διακύμανση της τιμής του δείκτη είναι πανομοιότυπη και για τους τρεις αντιστροφείς μιας και οι αντίστοιχες συστοιχίες είναι εγκατεστημένες στον ίδιο τόπο, με τον ίδιο ακριβώς προσανατολισμό και δέχονται σχεδόν την ίδια ακτινοβολία. Έτσι οι εναλλαγές σε θερμοκρασία και ακτινοβολία στην πορεία του χρόνου, σε επίπεδο ημερών και μηνών, έχουν ίδιο αντίκτυπο σε όλες τις διατάξεις. Για να έχουμε μία πιο καλή εικόνα της απόδοσης των στοιχείων της εγκατάστασης παρουσιάζεται παρακάτω ο δείκτης ισοδυνάμων ωρών για τους μήνες από Ιούλιο έως και Δεκέμβριο.



Διάγραμμα 4.2 – Ισοδύναμες ώρες

Παρατηρούμε το ίδιο φαινόμενο που είχαμε και στην ημερήσια προσέγγιση. Η συστοιχία A2_1 παράγει περισσότερο από τις άλλες δύο σε όλες τις μετρήσεις που πήραμε. Επιπλέον η παραγωγή σε ισοδύναμες ώρες στις τρεις συστοιχίες ακολουθεί πιστά την κατανομή τους με βάση το μέγεθος. Δηλαδή η μεγαλύτερη παράγει περισσότερο ενώ η μικρότερη λιγότερο από όλες σε κάθε μία μέτρηση. Αυτό βέβαια δεν είναι τόσο προφανές όσο φαίνεται εκ πρώτης όψης, διότι ο δείκτης που χρησιμοποιούμε κανονικοποιεί τα δεδομένα ως προς το μέγεθος του συστήματος. Μας δείχνει δηλαδή την καθαρή απόδοση κάθε τμήματος πανέλων και θα πρέπει να διερευνηθεί περαιτέρω το φαινόμενο που περιγράψαμε.

Η καλύτερη απόδοση της A2-1 σε σχέση με τις υπόλοιπες, έχει την εξήγησή της στην σκίαση. Ο μοναδικός αξιοσημείωτος παράγοντας σκίασης είναι το κτίριο των ηλεκτρολόγων στα δυτικά της ηλεκτροπαραγωγού διάταξης. Η A2-1 είναι η συστοιχία που επηρεάζεται λιγότερο (έως καθόλου) από αυτόν τον παράγοντα καθώς βρίσκεται βορειότερα σε σχέση με τις άλλες. Έτσι κατά τις απογευματινές ώρες ενώ οι υπόλοιπες έχουν σκιά (η A1 τμηματικά και οι άλλες δύο εξ'ολοκλήρου), η A2-1 συνεχίζει να παράγει. Αυτό φαίνεται και στο παρακάτω σχέδιο, το οποίο δείχνει την πορεία των ακτίνων του ήλιου μετά το μεσημέρι.



Εικόνα 4.3 – Σκίαση συστοιχιών από δυτικά

Για τις συστοιχίες A1 και A2-1, θα μπορούσαμε να εξετάσουμε λεπτομερέστερα την συνεργασία με τον αντιστροφέα τους. Συνδέονται και οι δύο με τον SolarStar a600.

Το παράθυρο τάσης του είναι 100 έως 550 Volt.

Αυτό όμως δε σημαίνει πως ο inverter αποδίδει το ίδιο καλά σε όλες τις εισόδους τάσης μέσα στο εύρος αυτό. Ένας εμπειρικός κανόνας μας λέει πως η βέλτιστη περιοχή του παραθύρου αντιστοιχεί σε τάσεις από το 1/2 έως τα 2/3 του δοσμένου εύρους. Στην προκειμένη περίπτωση έχουμε βέλτιστη περιοχή από 325 έως 400 Volt.

Η ονομαστική έξοδος της A1 είναι 276 Volt ενώ της A2-1 είναι 299 Volt, ασφαλώς εγγύτερα στην βέλτιστη περιοχή εισόδων του αντιστροφέα.

Σε ότι έχει να κάνει με την σύγκριση των A1 και A2-2 και A2-3 η διαφορά εντοπίζεται και πάλι στην ηλιοφάνεια καθώς, όπως τονίσαμε και παραπάνω, η A1 σκιάζεται τμηματικά τα απογεύματα ενώ οι A2-2 και A2-3 εξ' ολοκλήρου.

4.2 – Μελέτη των μεγίστων

Για να βγάλουμε καλύτερα συμπεράσματα για την απόδοση των δομικών στοιχείων του συστήματος, μελετήσαμε τα μέγιστα της ισχύος για κάθε ένα μήνα, από τον Ιούλιο έως τον Οκτώβριο. Παρατηρήσαμε ορισμένα στοιχεία μη συμβατά με τη δυναμική της εγκατάστασης. Τα μέγιστα του μηνός Οκτωβρίου υπερβαίνουν την ονομαστική ισχύ των δομοστοιχείων και για τις τρεις συστοιχίες!

Αρχικά ερευνήθηκε η υπόθεση λάθους ένδειξης στο PM750, αλλά κάτι τέτοιο πρέπει να αποκλειστεί για δύο κυρίως λόγους.

Ο πρώτος είναι ότι και οι τρεις συσκευές παρουσίασαν υπερμεγέθη δεδομένα και θα πρέπει να δεχθούμε πως και οι τρεις παρουσίασαν το ίδιο ακριβώς πρόβλημα. Επιπλέον, με δεδομένο ότι σχεδόν όλα τα μέγιστα εμφανίστηκαν ταυτόχρονα θα πρέπει να υποθέσουμε και ταυτοχρονισμό σφαλμάτων των συσκευών.

Ο δεύτερος είναι πως δεν εμφανίστηκε μόνο μία φορά υπέρμετρη ισχύς σε κάθε συστοιχία αλλά περισσότερες από δύο.

ΜΗΝΑΣ	ΜΕΓΙΣΤΟ			ΜΕΓΙΣΤΟ ΩΣ ΠΟΣΟΣΤΟ (%)		
	A1	A2_1	A2_2 ΚΑΙ A2_3	A1	A2_1	A2_2 ΚΑΙ A2_3
ΙΟΥΛΙΟΣ	3,343	3,364	1,946	84,41919	78,41492	78,15261044
ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ	3,414	3,878	2,117	86,21212	90,39627	85,02008032
ΣΕΠΤΕΜΒΡΗΣ	3,781	4,238	2,267	95,4798	98,78788	91,04417671
ΟΚΤΩΒΡΗΣ	4,154	4,819	2,581	<u>104,899</u>	<u>112,331</u>	<u>103,6546185</u>

Πίνακας 4.2 – Μέγιστα συστοιχιών

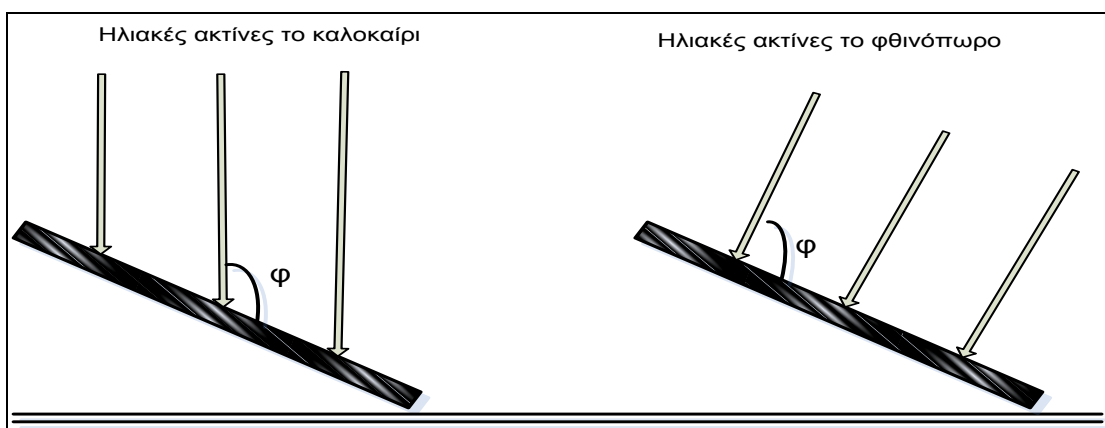
Η εξήγηση σε αυτό το παράδοξο βρίσκεται στην ακτινοβολία που δέχονται τα πάνελ. Η ονομαστική ισχύς κάθε πλαισίου ορίζεται με βάση ακτινοβολία 1000 W/m². Υπάρχουν όμως στιγμές στις οποίες η ακτινοβολία αυτή ξεπερνιέται και αυτό έχει ως αποτέλεσμα να έχουμε (στιγμιαία μόνο) αποδόσεις άνω του 100%.

Τέτοιες υψηλές τιμές παρατηρούνται σποραδικά τους μήνες «γύρω» και μέσα στο καλοκαίρι. Παρατηρούμε πως υπάρχει, σε μεγάλο ποσοστό, ταυτοχρονισμός των μεγίστων. Τα μέγιστα στους μήνες Αύγουστο και Σεπτέμβρη εμφανίζονται ταυτόχρονα, την ίδια μέρα και ώρα. Στους μήνες Ιούλιο και Οκτώβριο, οι A1 και A2_2—A2_3 ταυτοχρονίζονται (μέγιστα στις 4/7 και στις 17/10) ενώ η A1 μεγιστοποιεί την ισχύ της λίγο αργότερα (12/7 και 30/10). Τα παραπάνω επιβεβαιώνουν την σκέψη πως η υπέρμετρη απόδοση οφείλεται στην μεγάλη ακτινοβολία η οποία είναι κοινή για όλες τις συστοιχίες. Είναι ενδιαφέρον και το γεγονός, πως τα εμφανιζόμενα μέγιστα από τον Ιούλιο έως και τον Οκτώβριο, παρουσιάζουν

αύξουσα τάση. Το γεγονός των χαμηλότερων ισοδύναμων ωρών (και συνακόλουθα της χαμηλότερης παραγωγής) κατά τα διαστήματα αυτά, οφείλεται αποκλειστικά στην μεγαλύτερη μέση ηλιοφάνεια τους καλοκαιρινούς μήνες.

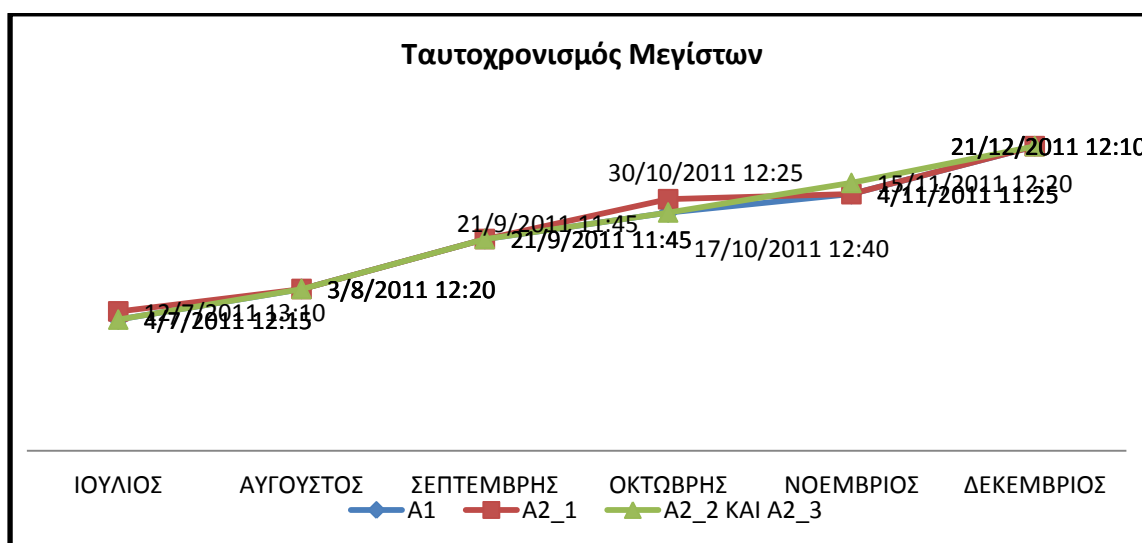
Τους καλοκαιρινούς μήνες μαζί με την υψηλή ακτινοβολία έχουμε και πολύ υψηλές θερμοκρασίες πλαισίου, οι οποίες οδηγούν στο αντίθετο αποτέλεσμα και αναιρούν την αύξηση λόγω ακτινοβολίας.

Επιπλέον, τα πλαίσια (λόγω της κλίσης με την οποία έχουν τοποθετηθεί) το καλοκαίρι δέχονται τις ηλιακές ακτίνες υπό γωνία ϕ σαφώς μικρότερη των 90° ενώ καθώς ο ήλιος «χαμηλώνει» την κίνησή του (πλησιάζοντας το χειμώνα) οι ακτίνες προσεγγίζουν περισσότερο κάθετα την επιφάνεια του πλαισίου και η γωνία ϕ τείνει να γίνει ορθή, για κάποιο διάστημα της ημέρας. Όλα αυτά φαίνονται σχηματικά στο παρακάτω σχήμα.



Εικόνα 4.4 – Πρόσπτωση ηλιακών ακτίνων

Στην πιο κάτω εικόνα φαίνεται ο ταυτοχρονισμός των μεγίστων στις τρεις συστοιχίες.



Διάγραμμα 4.3 – Χρονική κατανομή μεγίστων

4.3 – Μελέτη της επίδρασης των ρύπων στην παραγωγή.

Στις 15/7/2011 πραγματοποιήθηκε καθαρισμός των συστοιχιών A2_2 και A2_3 οι οποίες συνδέονται στον αντιστροφέα Aurora , ενώ τα υπόλοιπα πάνελ έμειναν ως είχαν.Ακολούθησε μία επεξεργασία των μετρήσεων για ένα μικρό χρονικό διάστημα πριν και μετά τις 15 Ιουλίου,όχι μόνο για την καθαρισμένη συστοιχία αλλά για όλες, ώστε να μπορούμε να πραγματοποιήσουμε συγκρίσεις.

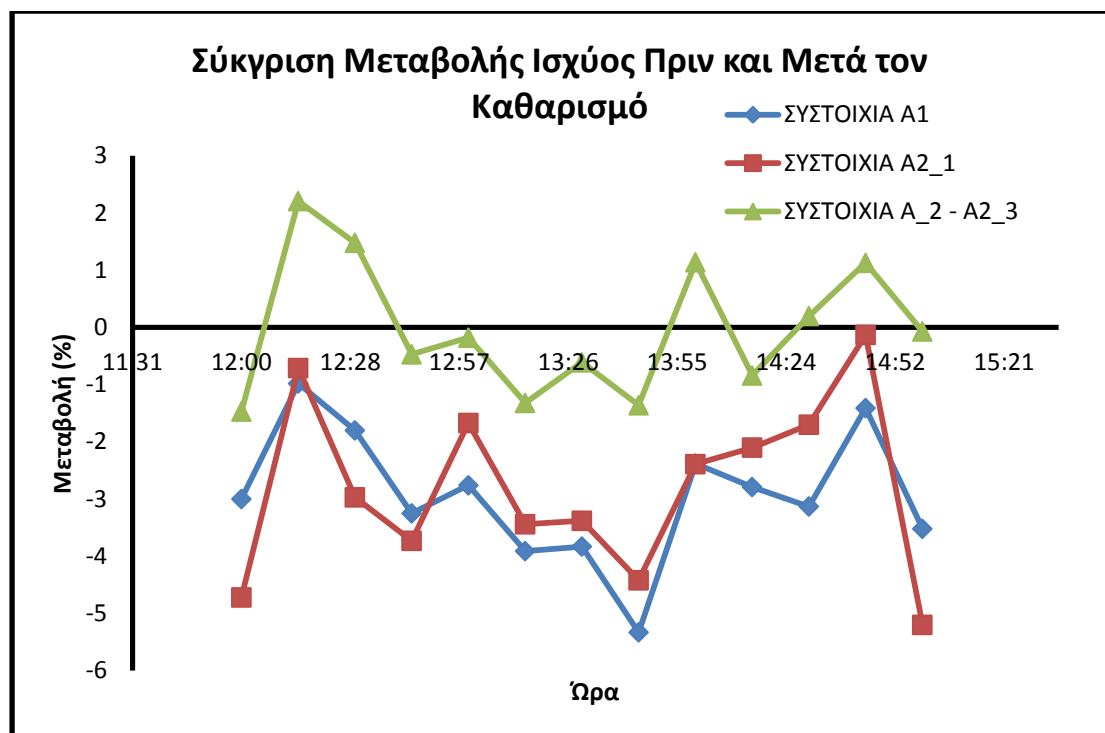
Αρχικά εξετάστηκε η ισχύς κάθε συστοιχίας σε συγκεκριμένες (μεσημεριανές) ώρες στις 14/7 και στις 15/7.Για κάθε inverter βρέθηκε η διαφορά ισχύος ανάμεσα στις δύο μέρες για κάθε επιλεγμένη χρονική στιγμή , την οποία αναγάγαμε σε ποσοστό επί τοίς εκατό της ισχύος στις 14 Ιουλίου, ώστε να μπορούμε να κάνουμε συγκρίσεις.Τα αποτελέσματα φαίνονται στον παρακάτω πίνακα.

ΣΥΣΤΟΙΧΙΑ	ΧΡΟΝΟΣ												
	12:00	12:15	12:30	12:45	13:00	13:15	13:30	13:45	14:00	14:15	14:30	14:45	15:00
A1	ΙΣΧΥΣ ΣΕ WATT												
14-Ιουλ	3165	3178	3182	3231	3151	3139	3108	3096	2947	2902	2811	2692	2581
15-Ιουλ	3070	3147	3125	3126	3064	3016	2989	2931	2877	2821	2723	2654	2490
ΜΕΤΑΒΟΛΗ(%)	-3,00	-0,98	-1,79	-3,25	-2,76	-3,92	-3,83	-5,33	-2,38	-2,79	-3,13	-1,41	-3,53
A2_1													
14-Ιουλ	2816	2808	2832	2861	2808	2787	2755	2735	2637	2567	2477	2361	2327
15-Ιουλ	2683	2788	2748	2754	2761	2691	2662	2614	2574	2513	2435	2358	2206
ΜΕΤΑΒΟΛΗ(%)	-4,72	-0,71	-2,97	-3,74	-1,67	-3,44	-3,38	-4,42	-2,39	-2,10	-1,70	-0,13	-5,20
A2_2 - A2_3													
14-Ιουλ	1697,0	1670,0	1682,0	1700,0	1678,0	1662,0	1650,0	1620,0	1568,0	1544,0	1491,0	1419,0	1362,0
15-Ιουλ	1672,0	1707,0	1707,0	1692,0	1675,0	1640,0	1640,0	1598,0	1586,0	1531,0	1494,0	1435,0	1361,0
ΜΕΤΑΒΟΛΗ(%)	-1,47	2,22	1,49	-0,47	-0,18	-1,32	-0,61	-1,36	1,15	-0,84	0,20	1,13	-0,07

Πίνακας 4.3

Είναι φανερό πως η μείωση της ισχύος στις καθαρισμένες συστοιχίες είναι σταθερά μικρότερη από τις άλλες δύο, ενώ σε κάποιες στιγμές έχουμε και αύξηση σε σχέση με τις 14/7, πράγμα το οποίο συμβαίνει μόνο στα strings που αφαιρέσαμε τους ρύπους.

Μπορούμε να δούμε αυτά τα συμπεράσματα και πιο εποπτικά στο παρακάτω διάγραμμα



Διάγραμμα 4.4 – Μεταβολή παραγωγής λόγω καθαρισμού

Για να κάνουμε μία ποιοτική εκτίμηση της διαφοράς, στον επόμενο πίνακα παρουσιάζονται οι διαφορές της μεταβολής της ισχύος ανάμεσα στην «καθαρή» συστοιχία και τις άλλες δύο.

ΧΡΟΝΟΣ	ΣΥΣΤΟΙΧΙΑ			ΣΥΓΚΡΙΣΕΙΣ (ΠΟΣΟΣΤΩΝ %)	
	A1	A2_1	A_2 - A2_3	ΜΕ A1	ΜΕ A2_1
12:00	-3	-4,72	-1,47	1,53	3,25
12:15	-0,98	-0,71	2,21	3,19	2,92
12:30	-1,8	-2,97	1,48	3,28	4,45
12:45	-3,25	-3,73	-0,47	2,78	3,26
13:00	-2,76	-1,67	-0,178	2,582	1,492
13:15	-3,91	-3,44	-1,32	2,59	2,12
13:30	-3,83	-3,38	-0,61	3,22	2,77
13:45	-5,33	-4,42	-1,36	3,97	3,06
14:00	-2,38	-2,39	1,14	3,52	3,53
14:15	-2,79	-2,1	-0,84	1,95	1,26
14:30	-3,13	-1,7	0,2	3,33	1,9
14:45	-1,41	-0,13	1,13	2,54	1,26
15:00	-3,52	-5,2	-0,07	3,45	5,13
			Μ.Ο	+2,91784615	+2,80015385

Πίνακας 4.4

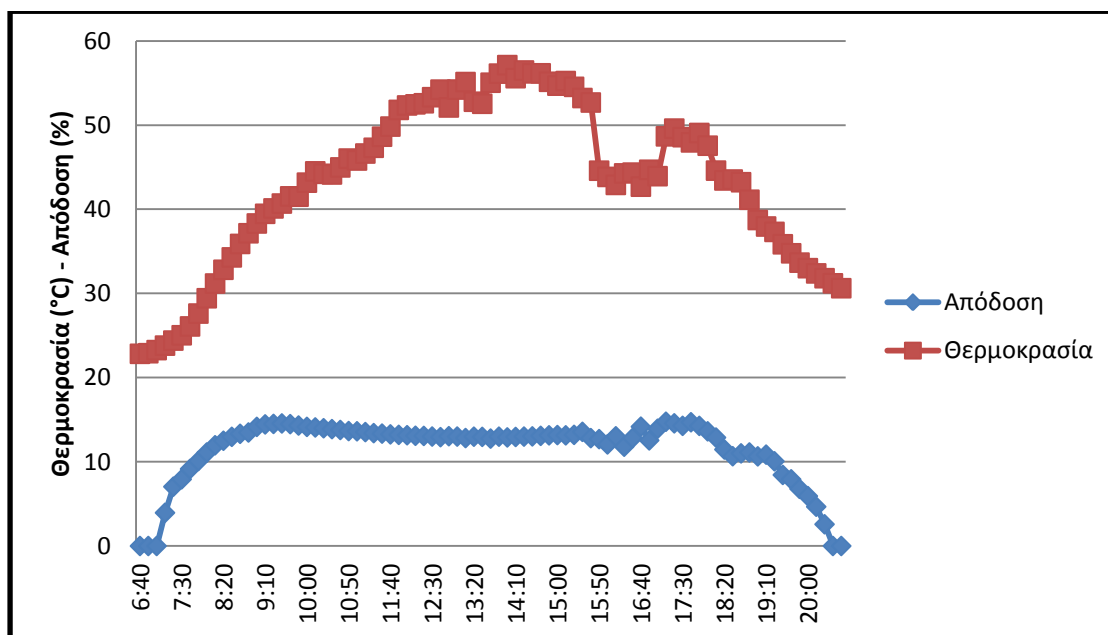
Βλέπουμε πως η αύξηση της απόδοσης σε σχέση με την ισχύ αγγίζει το 3 % και στις δύο περιπτώσεις. Θέλοντας να μελετήσουμε την επίδραση των ρύπων στην παραγόμενη ενέργεια χρησιμοποιήσαμε τον δείκτη Final Yield (Y_f) τον οποίο είδαμε στην προηγούμενη ενότητα. Καταγράφοντας τις μετρήσεις στο νότιο στέγαστρο σε δείγμα δέκα ημερών πριν τον καθαρισμό των πανέλων του αντιστροφέα της Aurora, βλέπουμε πως ο δείκτης είναι

σχεδόν ίδιος για τις συστοιχίες των δύο inverter, ενώ από τις 15 Ιουλίου και έπειτα ο Aurora παράγει σαφώς καλύτερα, αποκτώντας διαφορά κατά μέσο όρο 0,2 περίπου μονάδων από τις συστοιχίες οι οποίες συνδέονται στον inverter της Würth.

4.3 - Μελέτη της σχέσεως απόδοσης και θερμοκρασίας.

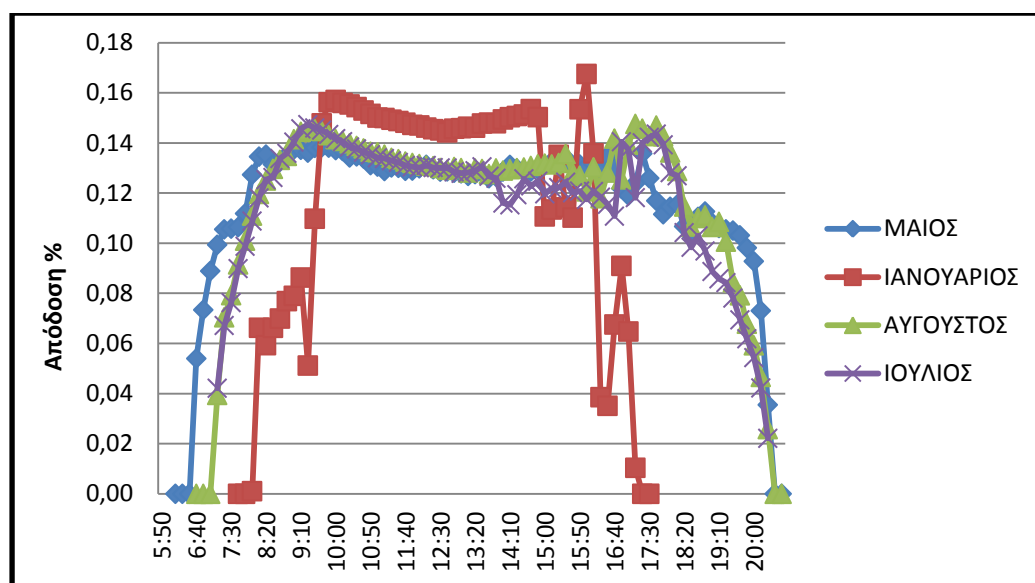
Είναι γνωστό πως τα φωτοβολταϊκά στοιχεία όλων των τεχνολογιών, έχουν αρνητικό θερμοκρασιακό συντελεστή. Αυτό σημαίνει πως για κάθε βαθμό κελσίου πάνω από τους 25 επέρχεται μείωση της απόδοσης του πλαισίου. Στη δική μας περίπτωση παρακολουθήσαμε αρχικά την πορεία της απόδοσης του συστήματος στην διάρκεια της μέρας. Έγινε φανερό πως οι πρωινές ώρες είναι πιο αποδοτικές σε σχέση με την θερμοκρασία.

Για την απόδοση, πήραμε τις χρονοσειρές της ακτινοβολίας (Kw/m^2), ενώ από τις χρονοσειρές της ισχύος κάναμε αναγωγή της παραγωγής ανά μονάδα επιφάνειας (Kw/m^2). Διαιρώντας την παραγόμενη με την προσπίπτουσα, καταλήξαμε σε ένα συντελεστή απόδοσης, την πορεία του οποίου, κατά την διάρκεια της μέρας, καταγράψαμε.



Διάγραμμα 4.5 – Απόδοση και θερμοκρασία στη διάρκεια της μέρας.

Φαίνεται ξεκάθαρα η αντίστροφη σχέση μεταξύ της θερμοκρασίας και του χρόνου. Σε όλη την διάρκεια της ημέρας όσο η θερμοκρασία ανεβαίνει η απόδοση πέφτει, ενώ στα χρονικά διαστήματα που αυτή σταθεροποιείται, έχουμε και πιο σταθερή απόδοση. Παρακάτω φαίνεται η απόδοση του συστήματος μέσα σε διάφορους μήνες του έτους. Επιβεβαιώνεται πως η καλύτερη απόδοση επιτυγχάνεται κατά τους χειμερινούς μήνες όπου λόγω χαμηλών θερμοκρασιών αξιοποιείται μεγαλύτερο ποσοστό της προσπίπτουσας ακτινοβολίας.



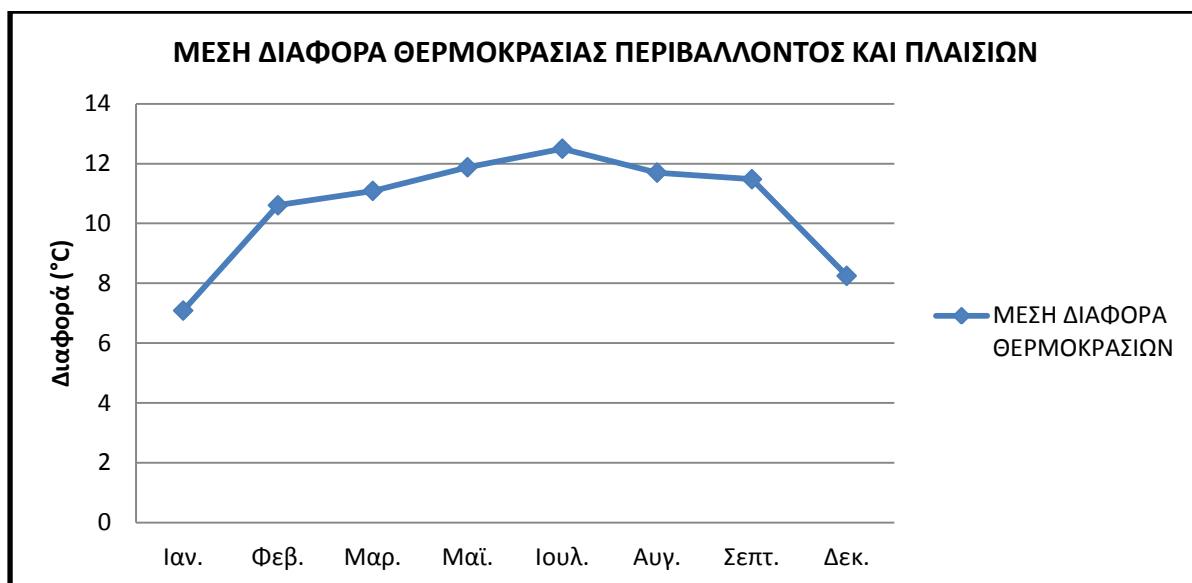
Διάγραμμα 4.6 – Απόδοση ανά μήνα.

4.4 – Σχέση μεταξύ της θερμοκρασίας περιβάλλοντος και της θερμοκρασίας των φωτοβολταϊκών στοιχείων.

Σε μία φωτοβολταϊκή εγκατάσταση, η θερμοκρασία που μας αφορά πρωτίστως είναι αυτή των πλαισίων και όχι αυτή του περιβάλλοντος. Κατά την διάρκεια της ημέρας, τα πλαίσια λόγω της ηλιακής ακτινοβολίας που δέχονται, είναι θερμότερα από το περιβάλλον και θα ήταν χρήσιμο να ποσοτικοποιήσουμε το φαινόμενο. Για το σκοπό αυτό και για όσους μήνες του έτους είχαμε διαθέσιμα δεδομένα, βρήκαμε το μέσο όρο των θερμοκρασιών για τις ώρες στις οποίες επικρατούσε ηλιοφάνεια. Ακολούθως χρησιμοποιήσαμε την διαφορά τους για να βγάλουμε τα συμπεράσματά μας.

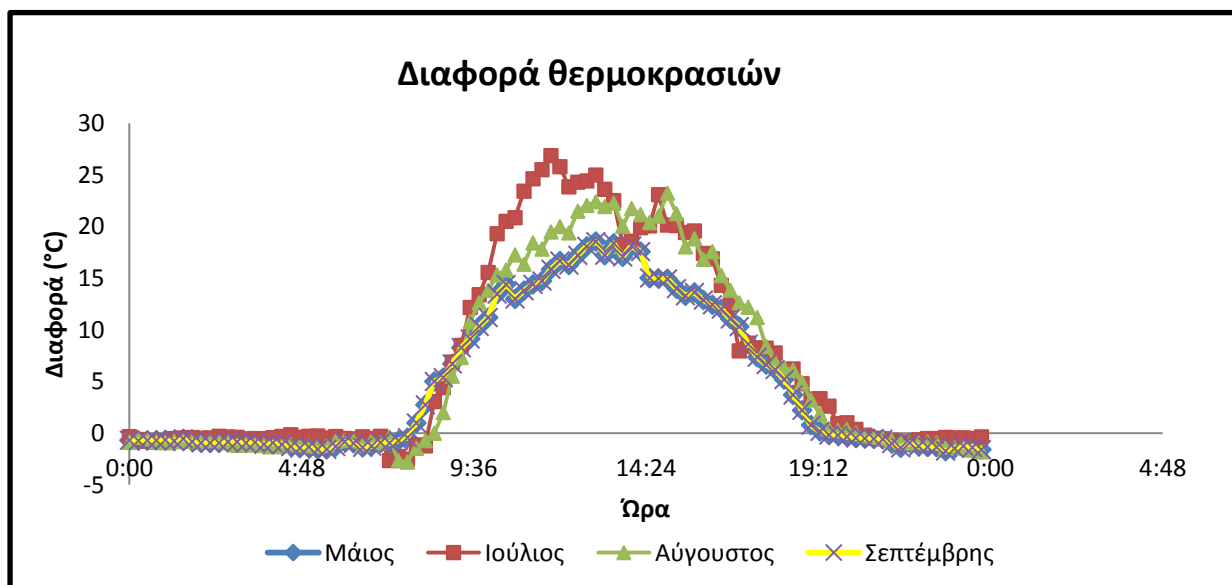
ΜΗΝΑΣ	ΜΕΣΗ ΔΙΑΦΟΡΑ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΩΝ (°C)
Ιαν.	7,09
Φεβ.	10,61
Μαρ.	11,09
Μαϊ.	11,88
Ιουλ.	12,5
Αυγ.	11,7
Σεπτ.	11,48
Δεκ.	8,25

Πίνακας 4.5 – Διαφορά θερμοκρασιών



Διάγραμμα 4.7 – Μέση διαφορά θερμοκρασιών

Είναι σαφές η ανύψωση της θερμοκρασίας των πλαισίων σε σχέση με το περιβάλλον είναι μεγαλύτερη τους καλοκαιρινούς μήνες καθώς επικρατεί έντονη ηλιοφάνεια. Πρέπει να τονιστεί πως για την επιλογή των τιμών από τις οποίες προήλθαν οι μέσοι όροι, χρησιμοποιήθηκαν οι ληφθείσες μετρήσεις ηλιακής ακτινοβολίας ώστε να γνωρίζουμε ποιές ώρες της μέρας υπάρχει αξιόλογη ηλιοφάνεια. Αυτές είναι το χρονικό διάστημα που αποδίδει το φωτοβολταϊκό σύστημα και εκεί εστιάσαμε. Για τους χειμερινούς μήνες για παράδειγμα το χρονικό διάστημα ήταν μεταξύ 8 το πρωί και 6 το απόγευμα ενώ καθώς προχωρούσαμε προς το καλοκαίρι το «παράθυρο» των παρατηρήσεων άνοιγε περισσότερο. Λαμβάνοντας υπόψη πως η μεγαλύτερη παραγωγή στην διάρκεια του έτους επιτυγχάνεται το καλοκαίρι, αλλά και πως αυτή την περίοδο η άνοδος της θερμοκρασίας είναι πιο μεγάλη, είναι χρήσιμο να εστιάσουμε λίγο παραπάνω εκεί. Στα παρακάτω διαγράμματα παρουσιάζεται η διακύμανση της διαφοράς των θερμοκρασιών για τους μήνες από Μάιο έως Σεπτέμβρη. Είναι σαφές πως το μοτίβο της μεταβολής είναι ίδιο για όλους τους μήνες. Αυτό που αλλάζει κυρίως είναι το ύψος της διαφοράς η οποία παίρνει την μεγαλύτερη τιμή της για το μήνα Ιούλιο όπως ήταν αναμενόμενο. Η τιμή αυτή είναι σχεδόν 27 °C και εμφανίζεται περίπου στις 12 το μεσημέρι.



Διάγραμμα 4.8 – Διαφορά θερμοκρασιών τους θερινούς μήνες

Γενικότερα μία αναλυτική μελέτη των χρονοσειρών θερμοκρασίας μπορεί να μας οδηγήσει σε προβλέψεις σχετικά με την μελλοντική συμπεριφορά του συστήματος, αν λάβουμε υπόψη μας τους θερμοκρασιακούς συντελεστές μείωσης της απόδοσης, των φωτοβολταϊκών στοιχείων.

4.5 – Σύγκριση λειτουργίας συστήματος με το σύστημα της πρυτανείας.

Για να έχουμε μια καλύτερη εικόνα της λειτουργίας του σταθμού και ένα μέτρο σύγκρισης, μελετήσαμε παράλληλα την απόδοση της εγκατάστασης στην ταράτσα του κτιρίου διοίκησης στην πολυτεχνειούπολη του Ζωγράφου.

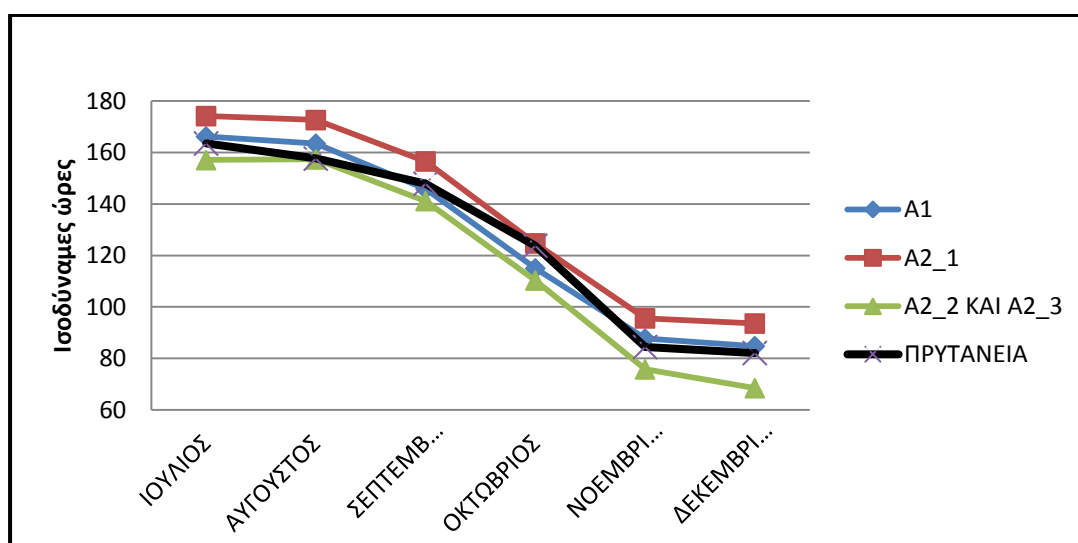
Η συγκεκριμένη εγκατάσταση έχει ισχύ 1,7 Kw δηλαδή το 1/10 της ονομαστικής ισχύος του υπό μελέτη συστήματος, και πραγματοποιήθηκε το 2008. Αποτελείται από μία στοιχειοσειρά 10 πλαισίων με ισχύ 170 KWp έκαστο, της βρετανικής εταιρείας BP Solar. Ο αντιστροφείας είναι της εταιρείας SMA και συγκεκριμένα ο Sunny Boy 1700. Η ενέργεια που παράγεται εγχέεται στο δίκτυο χαμηλής τάσης της πολυτεχνειούπολης.

Η σύγκριση θα γίνει σε σχέση με τις ισοδύναμες ώρες, τα εμφανιζόμενα μέγιστα αλλά και την τάση εξόδου στα δύο συστήματα.

4.5.1 – Σύγκριση ισοδυνάμων ωρών.

Μελετήθηκαν οι μετρήσεις από το web box του συστήματος της πρυτανείας. Σε κάποιες περιπτώσεις οι μετρήσεις αυτές δεν κάλυπταν όλο το χρονικό διάστημα του ενός μηνός και για την εύρεση των ισοδυνάμων ωρών έγινε επέκταση του μέσου όρου των υπάρχουσών μετρήσεων για όσες μέρες μας «έλειπαν».

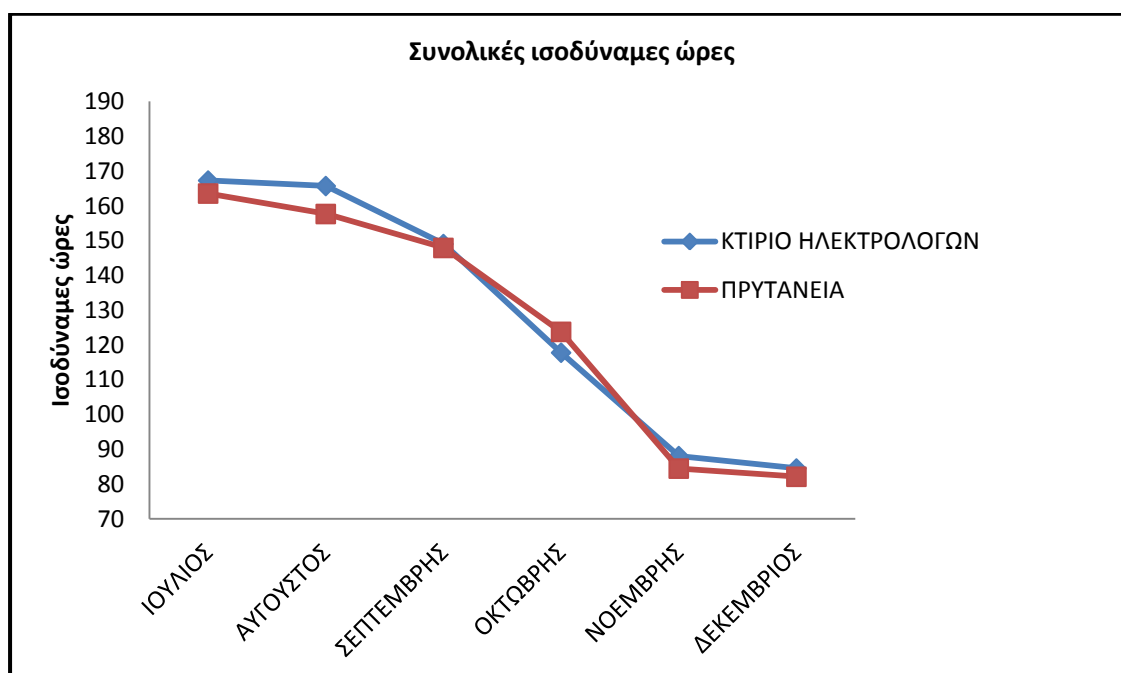
Παρατηρήθηκε πως τα δύο συστήματα αποδίδουν με παρόμοιο τρόπο σε σχέση με την συνολικά παραγόμενη ενέργεια και αυτό φαίνεται στο παρακάτω διάγραμμα.



Διάγραμμα 4.9 – Σύγκριση συστοιχιών με πρυτανεία

Παρατηρείται σαφώς η μείωση της παραγωγής σε όλες τις περιπτώσεις καθώς «βαδίζουμε» χρονικά προς την 21^η Δεκεμβρίου και την μικρότερη μέρα του έτους. Παρακάτω παρουσιάζονται οι ισοδύναμες ώρες για την συνολική εγκατάσταση στα κτίρια ηλεκτρολόγων και στην πρυτανεία.

Βλέπουμε πως υπάρχει και εδώ ταύτιση του τρόπου μεταβολής τους ενώ δεν μπορούμε να θεωρήσουμε πως κάποιο από τα δύο συστήματα υπερέχει έναντι του άλλου. Οι ισοδύναμες ώρες είναι σε γενικές γραμμές ίδιες και για τα δύο συστήματα.



Διάγραμμα 4.10 – Σύγκριση συνολικής παραγωγής με πρυτανεία

Στο πιο πάνω διάγραμμα παρατηρούμε πως το σύστημα του πάρκινγκ παράγει καλύτερα από αυτό της πρυτανείας τον Ιούλιο και τον Αύγουστο ενώ από εκεί και έπειτα οι αποδόσεις εξισορροπούνται.

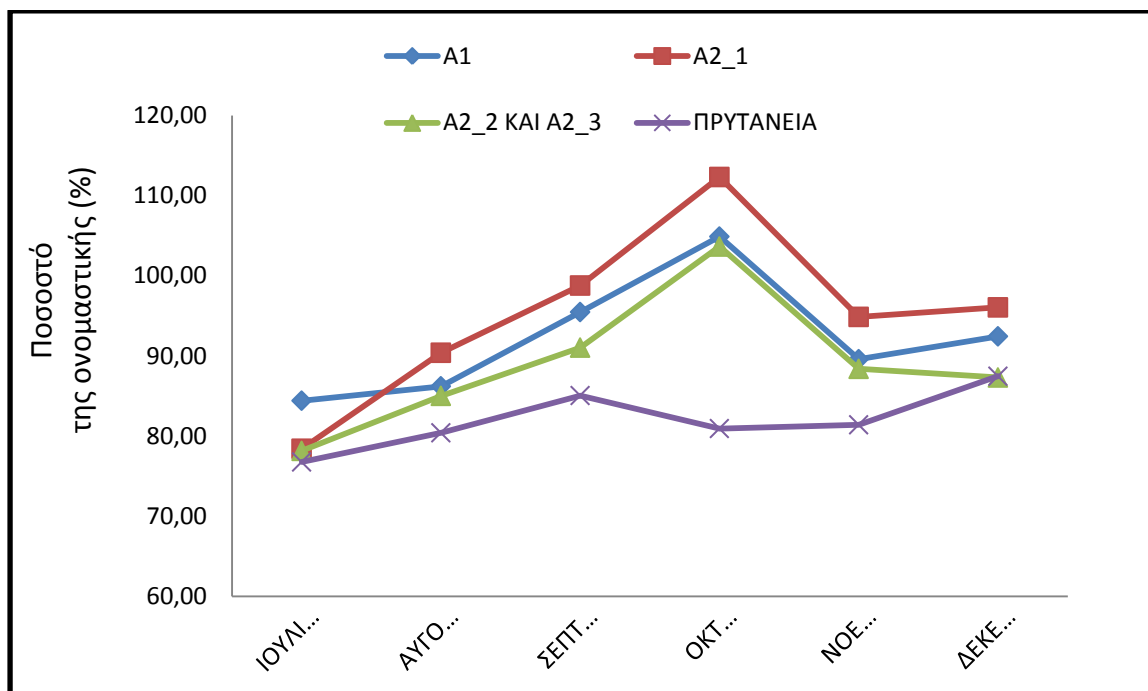
Το φαινόμενο αυτό εξηγείται μέσα από τους θερμοκρασιακούς συντελεστές των πλαισίων και από την τοποθέτησή τους στα δύο συστήματα.

Τα πλαίσια της Yingli έχουν $T_k (Wp) = -0,45\% / ^\circ C$, ενώ αυτά της BP έχουν $T_k (Wp) = -0,5\% / ^\circ C$. Το καλοκαίρι λοιπόν που τα πλαίσια φτάνουν μέχρι και $40^\circ C$ πάνω από τους $25^\circ C$, μπορούμε να δούμε μια διαφορά της τάξης του 2% στην μείωση της απόδοσης. Επιπλέον η άνοδος της θερμοκρασίας δεν είναι ταυτόσημη στα δύο συστήματα. Τα πλαίσια της Yingli αερίζονται περισσότερο από αυτά της BP, καθώς το κάτω μέρος τους απέχει περισσότερο από δύο μέτρα από το έδαφος, ενώ στην πρυτανεία τα πλαίσια βρίσκονται επί της ταράτσας με σαφώς λιγότερο αερισμό και συνακόλουθα λιγότερη ψύξη.

Περιμένουμε λοιπόν πιο υψηλές θερμοκρασίες στα πλαίσια της πρυτανείας και πράγματι αυτό απεικονίζεται στην απόδοση.

4.5.2 - Σύγκριση των μεγίστων τιμών της ισχύος στα δύο συστήματα.

Συνεχίζοντας την σύγκριση των δύο συστημάτων μελετήσαμε τα δεδομένα και από το σύστημα της πρυτανείας και καταγράψαμε τις μέγιστες τιμές της ισχύος στην εκεί εγκατάσταση. Παρατηρήσαμε πως το κτίριο της πρυτανείας οι τιμές αυτές μόλις που ξεπερνούν το 85%, ενώ στο κτίριο ηλεκτρολόγων φτάνουν έως και 105%. Όλα αυτά φαίνονται στο παρακάτω διάγραμμα.



Διάγραμμα 4.11 – Σύγκριση μεγίστων τιμών ισχύος

Βλέπουμε πως η γραμμή της πρυτανείας είναι σταθερά πιο κάτω από τις αντίστοιχες των στεγάστρων.

Μία πιθανή εξήγηση είναι το γεγονός πως τα πάνελ της πρυτανείας λειτουργούν εν γένει σε υψηλότερες θερμοκρασίες, έχοντας ταυτόχρονα μεγαλύτερο θερμοκρασιακό συντελεστή. Επιπλέον ο αντιστροφείας του κτιρίου της πρυτανείας διαθέτει μετασχηματιστή, κάτι που σημαίνει πρόσθετες απώλειες.

Είδαμε όμως παραπάνω πως σε σχέση με την παραγωγή ενέργειας (ισοδύναμες ώρες) μάλλον δεν υπάρχει νικητής. Αυτό πιθανότατα οφείλεται στις έντονες σκιάσεις που παρουσιάζονται στα στέγαστρα από δυτικά..

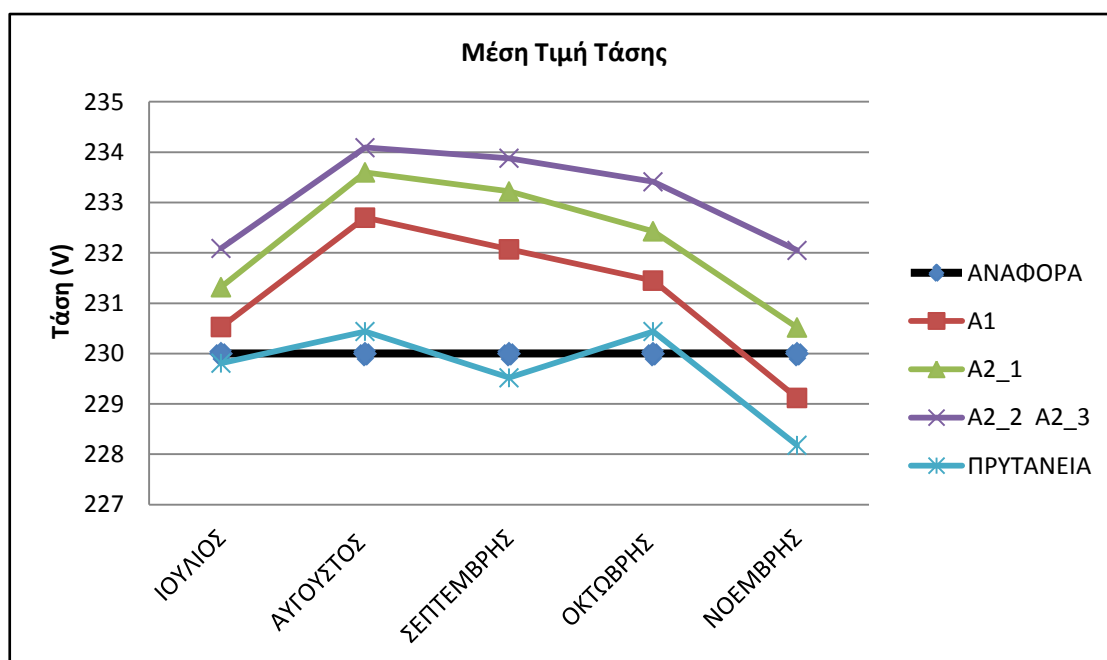
Τα πάνελα στην ταράτσα δεν σκιάζονται τα απογεύματα και έτσι καθημερινά λειτουργούν περισσότερες ώρες.

4.5.3 - Διερεύνηση των τιμών της τάσης V

Τόσο το σύστημα στο κτίριο ηλεκτρολόγων όσο και αυτό της πρυτανείας συνδέονται στο δίκτυο της Δ.Ε.Η. Ως εκ τούτου είναι προφανές πως η τιμή της τάσης που λαμβάνουν οι συσκευές αντιπροσωπεύει την τάση του δικτύου στο σημείο σύνδεσης και αναπόφευκτα κινείται στο επίπεδο των 230V.

Καθώς είχαμε τα δεδομένα για τους μήνες από Ιούλιο έως Νοέμβριο βρήκαμε την μέση τιμή της τάσης των συστοιχιών. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στον πίνακα και τα διαγράμματα που ακολουθούν.

ΤΑΣΗ	ΣΥΣΤΟΙΧΙΑ			
	A1	A2_1	A2_2 A2_3	ΠΡΥΤΑΝΕΙΑ
	230,529	231,32	232,089	229,81
	232,7	233,6	234,09	230,44
	232,071	233,22	233,88	229,52
	231,45	232,43	233,413	230,44
	229,12	230,52	232,05	228,18



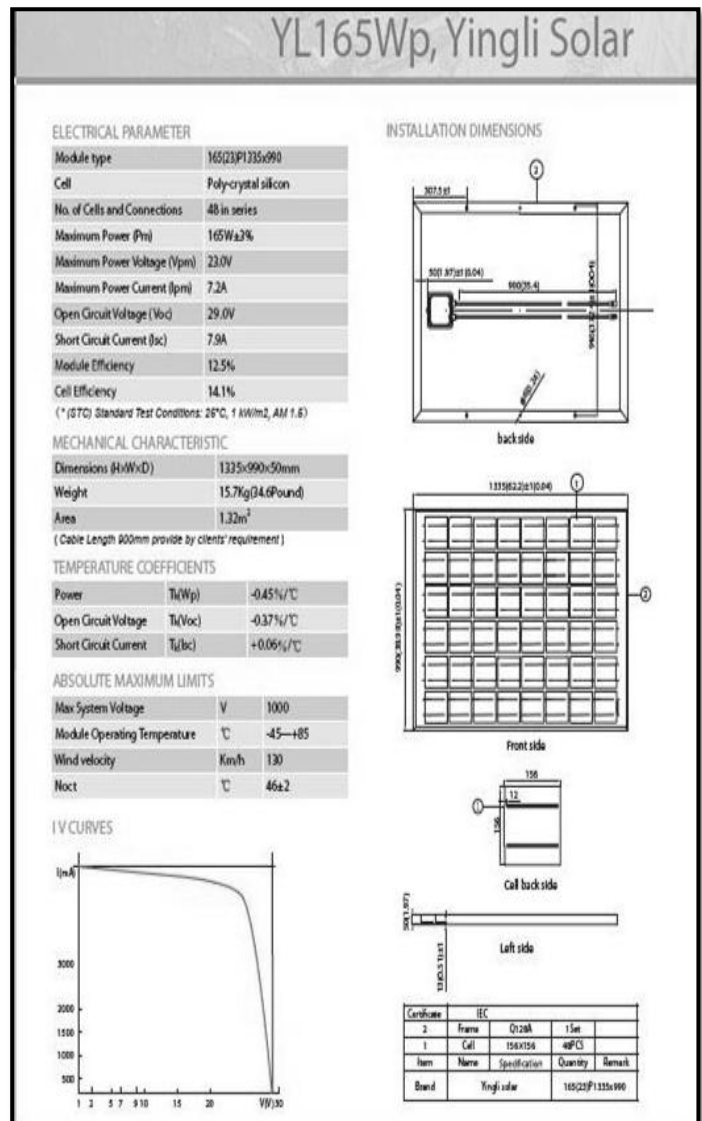
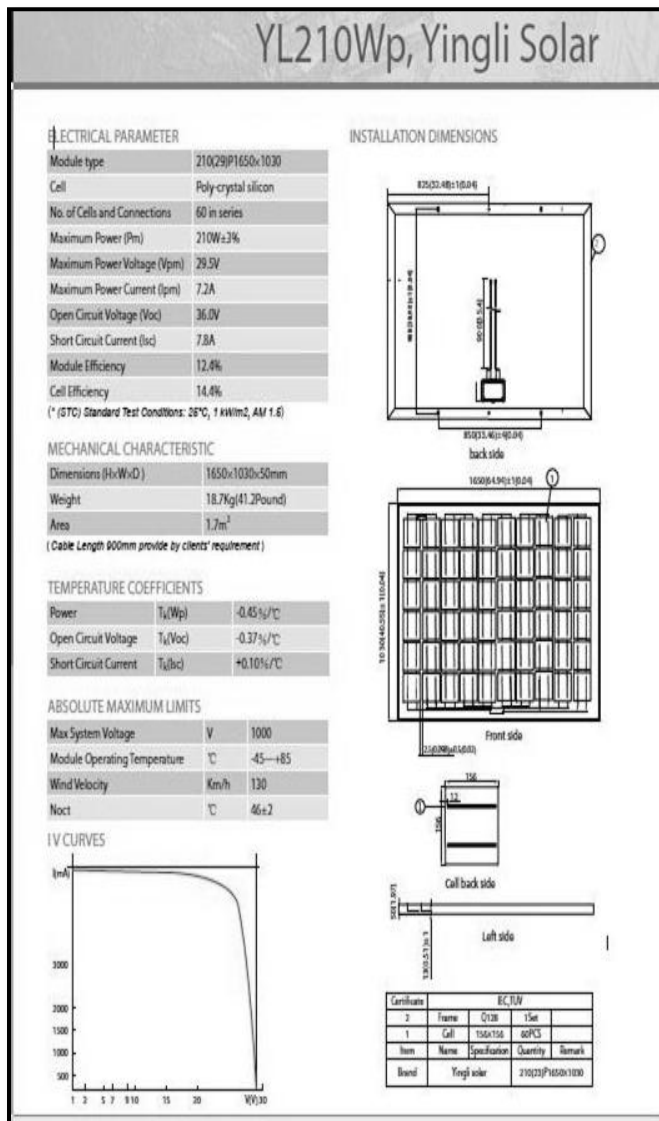
Διάγραμμα 4.12 – Μέση τιμή τάσης εξόδου

Κεφάλαιο 4 • Μελέτη μετρήσεων και εξαγωγή συμπερασμάτων

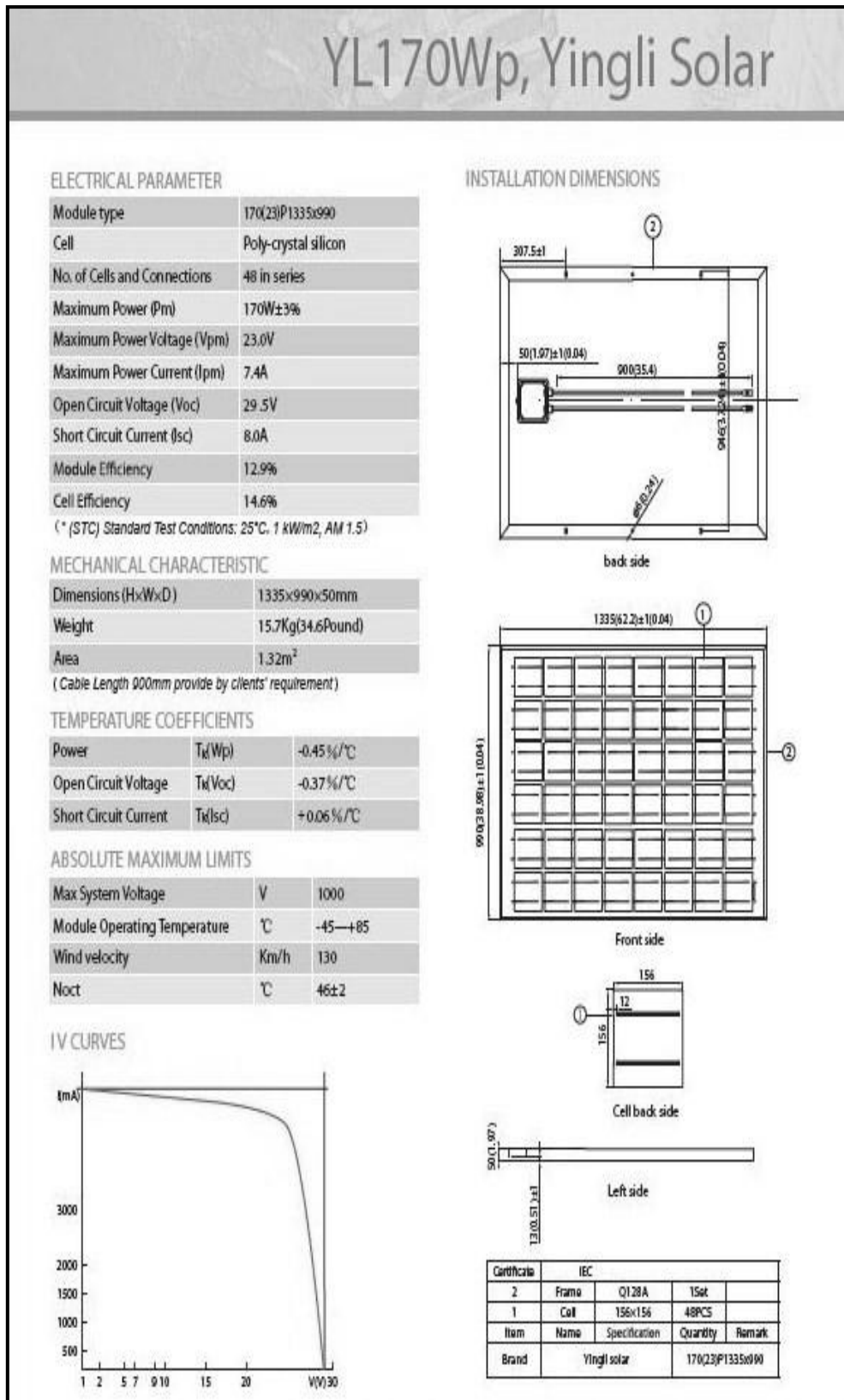
Όπως φαίνεται το σύστημα της πρυτανείας συνδέεται σε χαμηλότερη τάση δικτύου για όλο το διάστημα που μελετήσαμε και αυτό αφορά αποκλειστικά το δίκτυο και όχι το σύστημά μας. Απο την άλλη φαίνεται πως η τάση στο σημείο σύνδεσης της εγκατάστασης του κτιρίου ηλεκτρολόγων είναι σαφώς υψηλότερη.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α – ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΕΣ ΓΙΑ ΠΛΑΙΣΙΑ ΚΑΙ ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΕΙΣ

Παρακάτω παρουσιάζονται τα datasheets των πλαισίων και των αντιστροφών που χρησιμοποιήσαμε για το σύστημα του κτιρίου ηλεκτρολόγων. Παραθέτουμε και τα αντίστοιχα στοιχεία για το κτίριο της πρυτανείας καθώς στηριχθήκαμε στα χαρακτηριστικά του εξοπλισμού για να εξάγουμε συμπεράσματα σχετικά με την σύγκριση της απόδοσης στα δύο συστήματα.



Εικόνες A1 και A2 – Τεχνικά χαρακτηριστικά πλαισίων



Εικόνα Α3 – Τεχνικά χαρακτηριστικά πλαισίου 170 W

PVI-3.0-3.6-4.2-OUTD-W


AURORA[®]

Wind Inverter

GENERAL SPECIFICATIONS
OUTDOOR MODELS
PVI-3.0-OUTD-XX-W
PVI-3.6-OUTD-XX-W
PVI-4.2-OUTD-XX-W

AURORA BENEFITS

- Transformerless operation for highest efficiency: up to 96.9% (90% Euro, 90% CEC)
- IP65 (NEMA 4), completely sealed unit to withstand the harshest environmental conditions
- Compact size and high power density: up to 4.2kW of output power in a box just 547mm x 205mm x 200mm and 17kg weight.
- optimized real time power curve tracking algorithm and improved energy harvesting
- Heatlink keeps the unit cleaner and more efficient over time
- Reverse polarity protection minimizes chance of damage due to incorrect wiring, when used in conjunction with Aurora PV-WIND-INTERFACE BOX.
- High overload capability: works up the power max limits under most ambient conditions
- True Sine Wave Output
- Anti-Islanding Protection
- Certified grid connected operation according to the international standards
- LCD Display on the front to monitor the main parameters
- Integrated RS-485 serial communication
- WIND INTERFACE BOX is optional

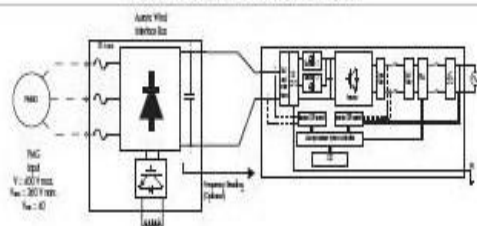


Wind Interface Box optional

HIGH PERFORMANCE REDEEMED

The revolutionary switching technology utilized in the Aurora inverter includes state-of-the-art silicon Power devices such as CoolMOS[™] and Insulated Gate Bi-polar Transistors (IGBTs) to reduce switching losses. Aurora has been designed with substantial de-rating of all critical components, achieving an extremely robust and reliable inverter, designed to last for 25 years and to deliver rated maximum output power on a continuous basis. With this design concept we achieve peak efficiencies of over 96.9%. Best in class with an outstanding input voltage range (50V to 500V) and ambient temperature range (-25°C to +40°C). Dedicated software to upload the wind generator power curve (16 points interpolation). WIND INTERFACE BOX is optional

Block Diagram and typical efficiency



Output Power (kW)	Efficiency (%)
0.5	96.5
1.0	96.8
1.5	96.9
2.0	96.9
2.5	96.9
3.0	96.9

Output Power (kW)	Efficiency (%)
0.5	96.5
1.0	96.8
1.5	96.9
2.0	96.9
2.5	96.9
3.0	96.9

Output Power (kW)	Efficiency (%)
0.5	96.5
1.0	96.8
1.5	96.9
2.0	96.9
2.5	96.9
3.0	96.9

POWER-ONE
Changing the Shape of Power

35

Εικόνες A4 και A5 – Τεχνικά χαρακτηριστικά αντιστροφέα AURORA

CHARACTERISTICS	PVI-3.0-OUTD-XX-W	PVI-3.6-OUTD-XX-W	PVI-4.2-OUTD-XX-W
Input Power Rating (kW)	3000	3000	4200
Max. Power Input Voltage (Vdc)	500	500	500
Max. Power Tracking Window range (Vdc)	50 to 48 (96 control)	50 to 500 (96 control)	50 to 48 (96 control)
Max. Input current (A)	33	33	33
Max. Power Voltage Range	100V to 500Vdc	100V to 500Vdc	100V to 500Vdc
Input Configuration	No shunt possible with common power cable	No shunt possible with common power cable	No shunt possible with common power cable
Max. AC Voltage (Single Phase)	Single phase 230-240 Vac (10/10kVA)	Single phase 230-240 Vac (10/10kVA)	Single phase 230-240 Vac (10/10kVA)
Max. AC Frequency (Hz)	50	50	50
Grid Power Factor	1	1	1
Max. AC Line Current (Amps)	143	172	23
AC Current (Amps) (V)	<5% THD at any power with brown voltage	<5% THD at any power with brown voltage	<5% THD at any power with brown voltage
Max. THF (V%)	96.9% (96.9% Euro, 96.9% CEC)	96.9% (96.9% Euro, 96.9% CEC)	96.9% (96.9% Euro, 96.9% CEC)
Operating Ambient Temperature (°C)	5 to 40 (depending on form-factor)	5 to 40 (depending on form-factor)	5 to 40 (depending on form-factor)
Humidity (%)	4	4	4
Sealant Environmental Rating	IP65	IP65	IP65
Isolation	1-100% conductivity	1-100% conductivity	1-100% conductivity
Surge	surge class 1000 in IEC61000	surge class 1000 in IEC61000	surge class 1000 in IEC61000
AC Input Voltage (Vdc)	50V to 500V	50V to 500V	50V to 500V
Size height (with depth) (mm)	547 x 205 x 200	547 x 205 x 200	547 x 205 x 200
Weight (kg)	17	17	17

SMART CONTROL S

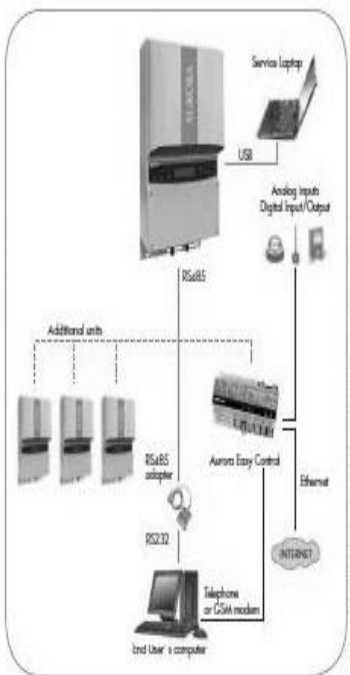
Aurora controls are DSP (Digital Signal Processor) based with sophisticated control and self-diagnostics algorithms. An LCD shows the main operational parameters. Three LEDs indicate the operating status.

BEST IN CLASS COMMUNICATION CAPABILITIES

Aurora features an integrated RS485 Communication link and a USB port. An RS485 to RS232 converter (optional) is available to monitor the unit. AURORA Easy-Communicator (optional) allows remote monitoring via internet, GSM or analog modem.

STANDARDS AND CODES

Aurora inverters comply with standards set for grid-tied operation, safety and electromagnetic compatibility including: CSA- C22.2 N 107.1-01, UL1741, GB21, CEI 11-20 IV ed, DKS940, IEC61682, IEC61727, EN50081, EN50082, EN61000, Certification CE, El Real decreto RD 1663/200 De España, EN50438, GB21, AS477.2 & 3 : 2006, AS/NZS 3100 : 2002 A-3, AS/NZS 63960 : 2003 A-1.



POWER-ONE
Changing the Shape of Power

37

SolarSTAR a6000

String inverter for grid feeding

FEATURES

- Transformerless connection concept
- Maximum efficiency
- Wide input voltage range
- Single-phase grid feeding
- Optimum protection for system and persons (DIN VDE 0126)
- Integrated STARcheck interface for system monitoring
- Integrated DC insulation switch according to VDE 0100-712
- TÜV type-tested
- 5 year warranty
- Warranty extension to 10 years possible



TECHNICAL DATA

DC Input	
Maximum input voltage	600 Vdc
MPP range	100 ... 550 Vdc
Max. installable capacity	6,000 W
Max. current rating	22 Adc
AC Output	
Rated output	4,600 W
Maximum power	5,060 VA
Operating grid voltage	196 ... 300 Vac
Supply frequency	45 ... 55 Hz
Power factor	> 0.98
Distortion factor	< 3 %
Systems	
European efficiency	96.2 %
Tare losses	0 W
Ambient operating temperature	-20 ... +60 °C
Rel. humidity	0 ... 98 %
Heat dissipation	Convection
Protection type	IP 54
Topology	Digital sine wave controller, transformerless, two-stage (no galvanic isolation)
Grid monitoring	Frequency / phase shift process
Data communication	LAN (Ethernet) and RS 485
Type of DC connection	MC4 plug connector
Fault current monitoring	VDE 0126-1-1
Weight	14 kg
Dimensions (W x L x D)	545 x 290 x 185 mm

We reserve the right to make technical and product changes.
Illustrations may differ from actual product.

Εικόνα Α6 – Τεχνικά χαρακτηριστικά αντιστροφέα SolarStar

170W Φωτοβολταϊκό Πλαίσιο BP 3170

4400011 9488

Το φωτοβολταϊκό πλαίσιο BP 3170N είναι μια εξελιγμένη πολυκρυσταλλική ηλιακή γεννήτρια 170W, που παρέχει κυψέλες με αντανάκλαση επιστροφή και γυαλί για την παραγωγή περισσότερης ενέργειας (περισσότερες kWh ανά kWh) από την εγκατάστασή σας. Το πλαίσιο αυτό έχει περάσει με επιτυχία τα πιο αυστηρά τεστ ώστε να διασφαλίσει την αξιόπιστα μακροχρόνια απόδοσή του και είναι πιστοποιημένο ως προς τη συμμόρφωσή του με τα πρόσφατα πρότυπα ασφαλείας (IEC 61730 & UL 1703). Τρεις ενσωματωμένες παρακατασκευασμένες διαδοί τοποθετημένες πάνω στο σύστημα IntegraBus™ του πλαισίου παρέχουν αποτελεσματική προστασία των ηλιακών κυψελών έναντι υπερθέρμανσης σε περίπτωση σκίασης και διασφαλίζουν την μακροχρόνια αξιοπιστία του. Όλες οι διασυνδέσεις έγιναν χρησιμοποιώντας συγκόλληση χωρίς χρήση μολύβδου καθιστώντας το πλαίσιο αυτό ακόμα πιο φιλικό προς το περιβάλλον.

Απόδοση

Ισχύς	170W
Ανοχή	-2/+5%
Αποδοτικότητα	12,5%
Ονομαστική τάση	24V
Εγγύηση*	90% απόδοση μετά από 12 έτη 80% απόδοση μετά από 25 έτη Εγγύηση κατασκευής για 5 έτη

*Όλες οι διασυνδέσεις γίνονται σύμφωνα με τα κριτήρια εγκατάστασης της BP Solar.

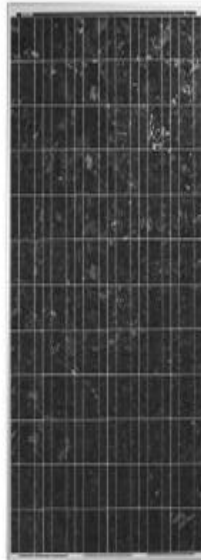
Παραμείτρι δοκιμών πιστοποίησης

Εύρος θερμοκρασίας	Από -40°C έως +85°C για 200 κύκλους.
Damp heat test	85°C και 85% σχετική υγρασία για 1000h.
Front & rear load test (η.μ.σ. αέρας)	2400Pa (αντίστοιχα με 24kg/m ² φορτίο).
Front load test (η.μ.σ. βότα και άνεμος)	2400Pa ² (αντίστοιχα με 52kg/m ² φορτίο).
Hailstone impact test	25mm γυαλάκι με ταχύτητα 22m/s από 1m ύψος.
Impulse voltage test	8000V κυματοεξέλιξη τάσης σύμφωνα με τα τεστ υψηλής τάσης κατά IEC 60060-1.
Reverse current overload test	122% προστασία υπερφόρτωσης για δύο ώρες.

*Όλες οι διασυνδέσεις γίνονται σύμφωνα με τα κριτήρια εγκατάστασης της BP Solar.

Ποιότητα και Ασφάλεια

- Συμμόρφωση με τις ευρωπαϊκές οδηγίες.
- Πιστοποίηση κατά IEC 61215/2005 (Επίπεδο Φωτοβολταϊκό Πλαίσιο Κρυσταλλικού πυριτίου - Στεθασμός Πιστοποίηση ή Έγκριση Τύπου).
- Πιστοποίηση κατά IEC 61730-1 και IEC 61730-2 (Πιστοποίηση ασφαλείας φωτοβολταϊκών πλαισίων, απαιτήσεις κατασκευής και δοκιμών).
- Περιλαμβάνεται στη λίστα των Underwriters Laboratories για ηλεκτροπροστασία και πυρασφάλεια (UL 1703 - Class C fire rating).
- Οι ηλεκτρολογικές μετρήσεις είναι σύμφωνα με τις παγιωμένες διαδικαστικές διαδικασίες και πιστοποιημένες μέσω ανεξάρτητων εργαστηρίων.
- Κατασκευάζει σε εργοστάσια πιστοποιημένα κατά ISO 9001.
- Αυτό το φύλλο προδιαγραφών είναι σύμφωνα με τις απαιτήσεις κατά EN 50288.

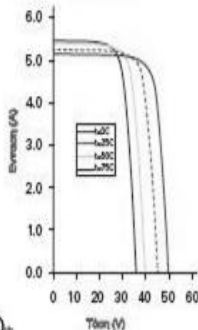


BP 3170N scale 1:14

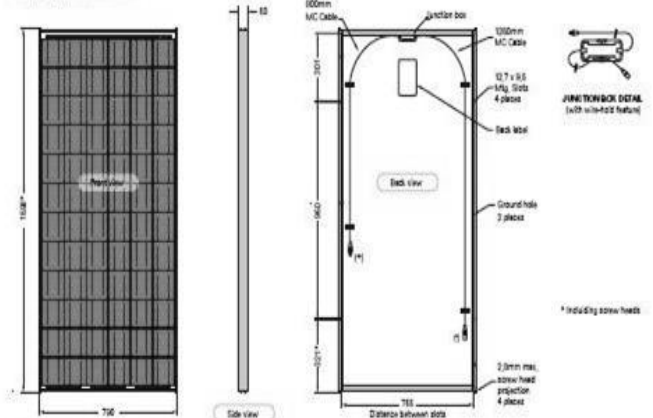
Αποδοτικότητα (%)

9 - 11	11 - 12	12 - 13	13 - 14	14 - 15
--------	---------	---------	---------	---------

BP 3170N I-V Curves



Διάγραμμα Πλαισίου



Ηλεκτρικά Χαρακτηριστικά

	100W/m ² (STC) ¹	800W/m ² (NOCT) ²
Μέγιστη Ισχύς (P _{max})	170W	122W
Τάση στο σημείο μέγιστης ισχύος (V _{MPP})	35,6V	31,7V
Εύταση στο σημείο μέγιστης ισχύος (L _{MPP})	4,8A	3,8A
Ρεύμα διαρροής/κύσεως (I _{sc})	5,2A	4,2A
Τάση ανοικτού κυκλώματος (V _{oc})	44,3V	40,3V

Αποδοτικότητα στο 200 W/m ²	< 5% reduction (efficiency 12,6%)
Limiting reverse current	5,2A
Συντελεστής θερμοκρασίας I _{sc}	0,085±0,015%/K
Συντελεστής θερμοκρασίας V _{oc}	-0,36±0,05%/K
Συντελεστής θερμοκρασίας P	-0,56±0,05%/K
NOCT ³	47±2°C
Maximum series fuse rating	15A
Application class (Κατά IEC 61730:2007)	Class A (1000V)

STC: Standard test conditions - irradiance of 1000W/m² at an AM1,5G solar spectrum and a temperature of 25°C.
 1000W/m², NOCT: AM 1,5G solar spectrum,
 NOCT: Nominal Operating Cell Temperature Sun 800W/m² Air 25°C, wind speed 1m/s.

Μηχανικά Χαρακτηριστικά

Κυψέλες	72 πολυκρυσταλλικές κυψέλες (125mm x 125mm) σύνδεση σε αερά.
Πρόσβαση Επίκάλυψη	Υψηλή διαπερατότητα 3,2mm ενσωματωμένη αντανάκλαστική γυαλί.
Υλικό ενσωμάτωσης	EVA
Οπίσθια Επίκάλυψη	Λευκός πολυεστέρας.
Πλαίσιο	Αλουμίνιο.
Διαδοί	Τεχνολογία IntegraBus™ περιλαμβάνει 3 Schottky διόδους παράλληλα - μία για κάθε 24 κυψέλες -
Καύσι συνδέσεις	Διαστάσεις (mm) 59,80 x 100,80 x 13,20. Κλειστά (IP67), πιστοποιημένα κατά UL1703 flammability test.
Καλώδια	3,2mm ² καλώδιο με στεγανωτικό Multi-Contact II συνδέσμων.
Διαστάσεις (mm)	Ασύμμετρο μήκος καλωδίων 1250mm (-) και 800mm (+).
Βάρος (kg)	15,4

Η αντανάκλαση είναι περίπου 4% με 1000W/m² αέρας.

Βραβεία



www.bpsolar.com



Η παρούσα προδιαγραφή αφορά πληροφορίες που μπορεί να χρησιμοποιηθούν μόνο για ενημέρωση. Όλες οι πληροφορίες είναι αμετάβλητες εκτός από τις απαιτήσεις της. Η μείωση απόδοσης που οφείλεται κυρίως από τη διασυνδεδεμένη (L2D) είναι, έτσι, σύμφωνα με IEC 61730-1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 48, 49, 50, 51, 52, 53, 54, 55, 56, 57, 58, 59, 60, 61, 62, 63, 64, 65, 66, 67, 68, 69, 70, 71, 72, 73, 74, 75, 76, 77, 78, 79, 80, 81, 82, 83, 84, 85, 86, 87, 88, 89, 90, 91, 92, 93, 94, 95, 96, 97, 98, 99, 100.

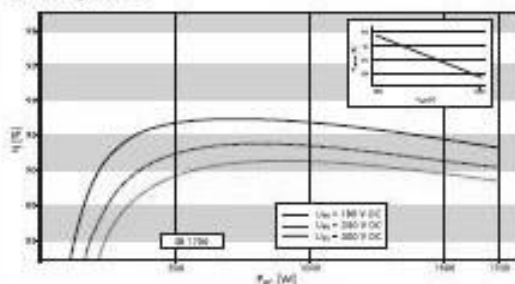
Εικόνες A7 και A8- Τεχνικές πληροφορίες πλαισίου BP

Technical Data Sunny Boy 1100 / 1700

	SB 1100	SB 1700
Input (DC)		
Max. DC Power	1210 W	1850 W
Max. DC voltage	400 V	400 V
PV voltage range, MPPT	139 V - 320 V	139 V - 320 V
Max. input current	30 A	12.6 A
Number of MPPT trackers	1	1
Max. number of strings (parallel)	2	2
Output (AC)		
Nominal AC output	1000 W	1550 W
Max. AC output	1100 W	1700 W
Max. output current	5.6 A	8.6 A
Nominal AC voltage / range	220 V - 240 V / 180 V - 260 V	220 V - 240 V / 180 V - 260 V
AC grid frequency (self-adjusting) / range	50 Hz / 60 Hz / ± 4.5 Hz	50 Hz / 60 Hz / ± 4.5 Hz
Power factor (cos φ)	1	1
AC connection	single-phase	single-phase
Efficiency		
Max. efficiency	93.0 %	93.5 %
Euro-eta	91.6 %	91.8 %
Protective equipment		
DC reverse polarity protection	●	●
DC load disconnecting switch ESS	●	●
AC short-circuit proof	●	●
Ground fault monitoring	●	●
Grid monitoring (SMA grid guard 2)	●	●
Electrically separation	●	●
General data		
Dimensions (W / H / D) in mm	434 / 295 / 214	434 / 295 / 214
Weight	22 kg	25 kg
Operating temperature range	-25 °C ... +60 °C	-25 °C ... +60 °C
Consumption: operating (standby) / night	< 4 W / 0.1 W	< 5 W / 0.1 W
Topology	low frequency transformer conversion	low frequency transformer conversion
Cooling concept	convection	convection
Installation location: indoor / outdoor (IP65)	● / ●	● / ●
Features		
DC connection: MC3 / MC4 / Tyco	● / ○ / ○	● / ○ / ○
AC connection: plug connector	●	●
LCD display	●	●
Cover color: red / blue / yellow	● / ○ / ○	● / ○ / ○
Interfaces: Powerline / RS232 / RS485 / radio	○ / ○ / ○ / ○	○ / ○ / ○ / ○
Warranty: 5 years / 10 years	● / ○	● / ○
Certificates and approvals	www.SMA.de	www.SMA.de

Values apply for nominal conditions

Efficiency curve



Accessories



Εικόνα Α9 – Τεχνικές πληροφορίες αντιστροφέα Sunny Boy.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β – ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΕΣ ΜΕΤΡΗΤΙΚΩΝ ΣΥΣΚΕΥΩΝ

Μετρητική συσκευή PM 750.

POWER METER CHARACTERISTICS	
The power meter measures currents and voltages and reports in real time the rms values for all three phases and neutral. In addition, the power meter calculates power factor, real power, reactive power, and more.	
Table 4- 1 lists metering characteristics of the PM750.	
Table 4- 1: Power Meter Characteristics	
Instantaneous rms Values	
Current	Per phase, neutral, average of 3 phases
Voltage	Average of 3 phases, L-L and L-N
Frequency	45 to 65 Hz
Active power	Total and per phase (signed)*
Reactive power	Total and per phase (signed)*
Apparent power	Total and per phase
Power factor	Total 0.000 to 1 (signed)
Energy Values	
Active energy (total)	0 to 1.84 x 10 ¹⁹ Wh (signed)*
Reactive energy (total)	0 to 1.84 x 10 ¹⁹ VAHh (signed)*
Apparent energy (total)	0 to 1.84 x 10 ¹⁹ VAh
Operating times	Up to 32,767 hours and 59 minutes
Demand Values	
Current	Per phase (Thermal)
Active, reactive, apparent power	Total (sliding block, rolling block, or block)
Maximum Demand Values	
Maximum current	Phase
Maximum active power	Total
Maximum reactive power	Total
Maximum apparent power	Total
Power-quality Values	
Total harmonic distortion (THD)	Current and voltage (L-L and L-N)
Reset (password protected)	
Maximum demand current and power	
Energy values and operating time	
Minimum and maximum values	
Operational timer	
VO Counters (only upon meter reset)	
Visualization Modes (password protected)	
IEC and IEEE	Display (All calculations are the same under both visualization modes.)
Minimum and Maximum Values (unsigned)	
Total real power	
Total apparent power	
Total reactive power	
Total PF (power factor)	
Current per phase	
Voltage (L-L and L-N)	
THD current per phase	
THD voltage (L-L and L-N)	
NOTE: * kW, kVAh, MWh, kVAHh are signed and not consumption values.	

Εικόνα Β1 – Power meter characteristics (1/3)

Table 4- 1: Power Meter Characteristics (continued)		
	Local or Remote Setup	
	Type of distribution system	3-phase 3- or 4-wire with 1, 2, or 3 CTs, two- or single-phase
	Rating of current transformers	Primary 5 to 32,767 A Secondary 5 or 1 A
	Voltage	Primary 9,276,700 V max Secondary 100, 110, 115, 120
	Calculation interval for demand currents	1 to 60 minutes
	Calculation interval for demand power	1 to 60 minutes
MODBUS RS485	Functions	
	RS485 link	2-wire
	Communication protocol	MODBUS RTU
	Settings	
	Communication address	1 to 247
	Baud rate (communication speed)	2400, 4800, 9600, 19200 baud
Parity	none, even, odd	
Pulse Output	Pulse Output	
	Three Modes: External Control, Alarm Mode, Active Energy Pulse	Solid state relay
Digital Inputs	Digital Inputs	
	Two Modes: Normal, Demand Sync	2 digital outputs
MIN/MAX VALUES FOR REAL-TIME READINGS	When certain readings reach their highest or lowest value, the Power Meter saves the values in its nonvolatile memory. These values are called the minimum and maximum (min/max) values. The min/max values stored since the last min/max reset can be viewed using the Power Meter display. See Table 4- 1 for a list of the minimum and maximum values stored in the PM750. The min/max value for power is based on the unsigned value of power.	
POWER FACTOR MIN/MAX CONVENTIONS	The min/max value for power factor is based on the unsigned value of power factor. See "How Signed Power Factor is Stored in the Register" on page 48 for more information on power factor.	
DEMAND READINGS	The power meter provides a variety of demand readings. Table 4- 2 lists the available demand readings and their reportable ranges.	
Table 4- 2: Demand Readings		
Demand Readings	Reportable Range	
Demand Current, Per-Phase		
Last Complete Interval	0 to 32,767 A	
Peak	0 to 32,767 A	
Demand Real Power, 3Ø Total		
Last Complete Interval	0 to 3276.70 MW	
Peak	0 to 3276.70 MW	

Εικόνα Β2 – Power meter characteristics (2/3)

Table 4- 2: Demand Readings (continued)	
Demand Reactive Power, 30 Total	
Last Complete Interval	0 to 3276.70 MVAR
Peak	0 to 3276.70 MVAR
Demand Apparent Power, 30 Total	
Last Complete Interval	0 to 3276.70 MVA
Peak	0 to 3276.70 MVA

Demand Power Calculation Methods	<p>Demand power is the energy accumulated during a specified period divided by the length of that period. How the power meter performs this calculation depends on the method you select. To be compatible with electric utility billing practices, the power meter provides the following types of demand power calculations:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Block Interval Demand • Synchronized Demand • Thermal Demand <p>The default demand calculation is set to sliding block with a 15 minute interval. (You can set up the other demand power calculation methods only through communications.)</p>
Block Interval Demand	<p>In the block interval demand method, you select a "block" of time that the power meter uses for the demand calculation. You choose how the power meter handles that block of time (interval). Three different modes are possible:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Sliding Block. In the sliding block interval, you select an interval from 1 to 60 minutes (in 1-minute increments). The power meter displays the demand value for the last completed interval. • Fixed Block. In the fixed block interval, you select an interval from 1 to 60 minutes (in 1-minute increments). The power meter calculates and updates the demand at the end of each interval. • Rolling Block. In the rolling block interval, you select an interval and a subinterval. The subinterval must divide evenly into the interval. For example, you might set three 5-minute subintervals for a 15-minute interval. Demand is updated at each subinterval. The power meter displays the demand value for the last completed interval. <p>Figure 4- 1 illustrates the three ways to calculate demand power using the block method. For illustration purposes, the interval is set to 15 minutes.</p>

Εικόνα Β3 – Power meter characteristics (3/3)

Datalogger Keithley 2701

2701 Ethernet Multimeter/Data Acquisition System

DC CHARACTERISTICS¹

CONDITIONS: MED (1 PLC) or 10 PLC or MED (1 PLC) with Digital Filter of 10

FUNCTION	RANGE	RESOLUTION	TEST CURRENT ±5% OR BURDEN VOLTAGE	INPUT RESISTANCE OR OPEN CKT. VOLTAGE ³	ACCURACY: ±(ppm of reading + ppm of range) (ppm = parts per million) e.g., 10ppm = 0.001%)			TEMPERATURE COEFFICIENT 0°-18°C & 28°-50°C
					24 Hour ⁴ 23°C±1°	90 Day 23°C±5°	1 Year 23°C±5°	
Voltage ¹¹	100.0000 mV	0.1 µV		>10 GΩ	15 + 30	25 + 35	30 + 35	(1 + 5)°C
	1.000000 V	1.0 µV		>10 GΩ	15 + 6	25 + 7	30 + 7	(1 + 1)°C
	10.0000 V	10 µV		>10 GΩ	10 + 4	20 + 5	30 + 5	(1 + 1)°C
	100.0000 V	100 µV		10 MΩ ± 1%	15 + 6	35 + 9	45 + 9	(5 + 1)°C
	1000.000 V ⁵	1 mV		10 MΩ ± 1%	20 + 6	35 + 9	50 + 9	(5 + 1)°C
Resistance ^{6,8}	100.0000 Ω	100 µΩ	1 mA	6.9 V	20 + 20	80 + 20	100 + 20	(8 + 1)°C
	1.000000 kΩ	1 mΩ	1 mA	6.9 V	20 + 6	80 + 6	100 + 6	(8 + 1)°C
	10.00000 kΩ	10 mΩ	100 µA	6.9 V	20 + 6	80 + 6	100 + 6	(8 + 1)°C
	100.0000 kΩ	100 mΩ	10 µA	12.8 V	20 + 6	80 + 10	100 + 10	(8 + 1)°C
	1.000000 MΩ	1.0 Ω	10 µA	12.8 V	20 + 6	80 + 10	100 + 10	(8 + 1)°C
	10.00000 MΩ ⁷	10 Ω	0.7 µA // 10MΩ	7.0 V	150 + 6	200 + 10	400 + 10	(70 + 1)°C
	100.0000 MΩ ⁷	100 Ω	0.7 µA // 10MΩ	7.0 V	800 + 30	2000 + 30	2000 + 30	(385 + 1)°C
Continuity (2W) ²¹	1.000 kΩ	100 mΩ	1 mA	6.9 V	40 + 100	100 + 100	100 + 100	(8 + 1)°C
Current	20.00000 mA	10 nA	<0.2 V		60 + 30	300 + 80	500 + 80	(50 + 5)°C
	100.0000 mA	100 nA	<0.1 V		100 + 300	300 + 800	500 + 800	(50 + 50)°C
	1.000000 A	1.0 µA	<0.5 V ⁹		200 + 30	500 + 80	800 + 80	(50 + 5)°C
	3.000000 A	10 µA	<1.5 V ⁹		1000 + 15	1200 + 40	1200 + 40	(50 + 5)°C

Channel (Ratio)¹⁰ Ratio Accuracy = Accuracy of selected Channel Range + Accuracy of Paired Channel RangeChannel (Average)¹⁰ Average Accuracy = Accuracy of selected Channel Range + Accuracy of Paired Channel RangeTEMPERATURE¹⁹

(Display in °C, °F, or K. Exclusive of probe errors.)

Thermocouples (Accuracy based on ITS-90.)

Type	Range	Resolution	90 Day/1 Year (23°C ± 5°C)			Temperature Coefficient 0°-18°C & 28°-50°C
			Relative to Simulated Reference Junction	Using 77XX Module		
J	-200 to +760°C	0.001°C	0.2°C	1.0°C	0.03°C/°C	
K	-200 to +1372°C	0.001°C	0.2°C	1.0°C	0.03°C/°C	
N	-200 to +1300°C	0.001°C	0.2°C	1.0°C	0.03°C/°C	
T	-200 to +400°C	0.001°C	0.2°C	1.0°C	0.03°C/°C	
E	-200 to +1000°C	0.001°C	0.2°C	1.0°C	0.03°C/°C	
R	0 to +1768°C	0.1°C	0.6°C	1.8°C	0.03°C/°C	
S	0 to +1768°C	0.1°C	0.6°C	1.8°C	0.03°C/°C	
B	+350 to +1820°C	0.1°C	0.6°C	1.8°C	0.03°C/°C	

4-Wire RTD:

(100Ω platinum [PT100], D100, F100, PT385, PT3916, or user type, Offset compensation On)

-200° to 630°C 0.01°C 0.06°C 0.003°C/°C

Thermistor: (2.2kΩ, 5kΩ, and 10kΩ)²⁰

-80° to 150°C 0.01°C 0.08°C 0.002°C/°C

DC SYSTEM SPEEDS^{15,18}RANGE CHANGES¹⁴: 50/s (42/s) (excludes 4 Wire Ohms).FUNCTION CHANGES¹⁴: 50/s (42/s).AUTORANGE TIME¹⁴: <30ms.

ASCII READINGS TO RS-232 (115.2k BAUD): 300/s.

MAX. INTERNAL TRIGGER RATE: 2800/s.

MAX. EXTERNAL TRIGGER RATE: 2000/s.

DC MEASUREMENT SPEEDS¹⁵

Single Channel, 60Hz (50Hz) Operation

FUNCTION	DIGITS	READINGS/s	PLCs
DCV, DCI, Ω (<10M), Thermocouple, Thermistor	6.5 ^{12,16}	5 (4)	10
	6.5 ¹⁶	35 (24)	1
	6.5 ^{12,16}	50 (48)	1
	5.5 ^{12,16}	150 (120)	0.1
	5.5 ^{16,17}	300 (240)	0.1
4W Ω (<10M)	5.5 ¹⁷	500 (400)	0.1
	4.5 ¹⁷	3000 (3000)	0.006
	3.5 ¹⁷	3500 (3500)	0.002
4W Ω 0Comp. RTD	6.5 ¹⁶	1.4 (1.1)	10
	6.5 ¹⁶	15 (12)	1
	5.5 ^{16,17}	33 (25)	0.1
Channel (Ratio), Channel (AVG)	6.5 ^{16,17}	0.9 (0.7)	10
	6.5 ^{16,17}	8 (6.4)	1
	5.5 ^{16,17}	18 (14.4)	0.1
Multiple Channels Into Memory ^{15,18}	7710 Scanning DCV		500/s
	7710 Scanning with Limits or Time Stamp On		500/s
	7710 Scanning DCV alternating 2W Ω		115/s
Multiple Channels Into and Out of Memory ^{15,16,17,18}	7710 Scanning Temperature (T/C)		500/s
	7700 and 7708 Scanning Temperature (T/C)		80/s
	7710 Scanning DCV		440/s
7710 Scanning with Limits or Time Stamp On		440/s	
7710 Scanning DCV alternating 2W Ω		110/s	
7710 Scanning Temperature (T/C)		440/s	
7700 and 7708 Scanning Temperature (T/C)		80/s	
7702 Scanning DCV		75/s	

Εικόνα Β4 – DC characteristics (1/3)

DC SPEED vs. NOISE REJECTION

Rate	Filter	Readings/s ¹²	Digits	RMS Noise		
				10V Range	NMRR	CMRR ¹⁴
10	50	0.1 (0.08)	6.5	<2.5 μ V	110 dB ¹³	140 dB
1	Off	15 (12)	6.5	<6 μ V	90 dB ¹³	140 dB
0.1	Off	500 (400)	5.5	<40 μ V	-	80 dB
0.006	Off	3000 (3000)	4.5	<300 μ V	-	80 dB
0.002	Off	3500 (3500)	3.5	<1 mV	-	60 dB

DC MEASUREMENT CHARACTERISTICS**DC Volts**

A-D LINEARITY: 2.0 ppm of reading + 1.0 ppm of range.

INPUT IMPEDANCE:

100mV-10V Ranges: Selectable >10G Ω // with <400pF or 10M Ω \pm 1%.

100V, 1000V Ranges: 10M Ω \pm 1%.

EARTH ISOLATION: 500V peak, >10G Ω and <300pF any terminal to chassis.

INPUT BIAS CURRENT: <75pA at 23°C.

COMMON MODE CURRENT: <500nA at 50Hz or 60Hz.

AUTOZERO ERROR: Add \pm (2ppm of range error +5 μ V) for <10 minutes and \pm 1°C.

INPUT PROTECTION: 1000V, all ranges, 300V with plug-in modules.

Resistance

MAX 4W Ω LEAD RESISTANCE: 10% of range per lead for 100 Ω and 1k Ω ranges; 1k Ω per lead for all other ranges.

OFFSET COMPENSATION: Selectable on 4W Ω 100 Ω , 1k Ω , and 10k Ω ranges.

CONTINUITY THRESHOLD: Adjustable 1 to 1000 Ω .

INPUT PROTECTION: 1000V, all Source Inputs, 350V Sense Inputs, 300V with plug-in modules.

DC Current

SHUNT RESISTORS: 100mA-3A, 0.1 Ω , 20mA, 5 Ω .

INPUT PROTECTION: 3A, 250V fuse.

Thermocouples

CONVERSION: ITS-90.

REFERENCE JUNCTION: Internal, External, or Simulated (Fixed).

OPEN CIRCUIT CHECK: Selectable per channel. Open >11.4k \pm 200 Ω .

DC Notes

- 20% overrange except on 1000V and 3A.
- Add the following to "ppm of range" uncertainty; 100mV 15ppm, 1V and 100V 2ppm, 100 Ω 30ppm, 1k Ω <1M Ω 2ppm, 10mA and 1A 10ppm, 100mA 40ppm.
- \pm 2% (measured with 10M Ω input resistance DMM, >10G Ω DMM on 10M Ω and 100M Ω ranges).
- Relative to calibration accuracy.
- For signal levels >500V, add 0.02ppm/V uncertainty for portion exceeding 500V.
- Specifications are for 4-wire Ω , 100 Ω with offset compensation on, 77xx plug-in module with LSYNC and offset compensation on. With offset compensation on OPEN CKT. VOLTAGE is 12.8V. For 2-wire Ω add 1.0 Ω to "ppm of range" uncertainty.
- Must have 10% matching of lead resistance in Input HI and LO.
- Add the following to "ppm of reading" uncertainty when using plug in modules:

	10 k Ω	100 k Ω	1 M Ω	10 M Ω	100 M Ω
All Modules:				220 ppm	2200 ppm
7701, 7703, 7707, and 7709 Modules:	10 ppm	100 ppm	1000 ppm	1%	10%
7706, 7708 Modules:	5 ppm	50 ppm	500 ppm	5000 ppm	5%
7710 Model 23°C \pm 5°C:	11 ppm	110 ppm	1100 ppm	1.1%	11%
7710 Model Temp Coeff. >28°C -<50°C:	0.3 ppm/°C	3 ppm/°C	30 ppm/°C	0.03%/°C	0.3%/°C

- Add 1.0V when used with plug-in modules.
- For RATIO, DCV only. For AVERAGE, DCV and Thermocouples only. Available with plug-in modules only.
- Add 6 μ V to "of range" uncertainty when using Models 7701, 7703, and 7707, 3 μ V for Models 7706, 7709, and 7710.
- Auto zero off.
- For LSYNC On, line frequency \pm 0.1%. For LSYNC Off, use 60dB for \geq 1PLC.
- For 1k Ω unbalance in LO lead.
- Speeds are for 60Hz (50Hz) operation using factory defaults operating conditions (*RST). Autorange off, Display off, Limits off, Trigger delay = 0.
- Speeds include measurements and data transfer out the ethernet (reading elements only). (100BaseT Ethernet, 3 meter RJ-45 crossover cable, PIII-800, Windows version 98 SE, VB version 6.0, direct Wmsoclet interface).
- Sample count = 1000 (into memory buffer), auto zero off.
- Auto zero off, NPLC = 0.002.
- Additional Uncertainty

Type	Range	7710 Module Using CJC
J	0 to +760°C	1.5°C
K	0 to +1372°C	—
N	0 to +1300°C	0.5°C
T	0 to +400°C	0.5°C
E	0 to +1000°C	0.5°C
R	+400 to +1768°C	0.9°C
S	+400 to +1768°C	0.9°C
B	+1100 to +1820°C	0.9°C

Εικόνα Β5 και Β6 - DC characteristics (2/3 και 3/3)

AC SPECIFICATIONS¹

Function	Range	Resolution	Calibration Cycle	Accuracy: $\pm(\% \text{ of reading} + \% \text{ of range})$, 23°C $\pm 5^\circ\text{C}$				
				3 Hz-10 Hz ¹⁴	10 Hz-20 kHz ⁸	20 kHz-50 kHz	50 kHz-100 kHz	100 kHz-300 kHz
Voltage ²	100.0000 mV	0.1 μV	90 Days	0.35 + 0.03	0.05 + 0.03	0.11 + 0.05	0.6 + 0.08	4.0 + 0.5
	1.000000 V	1.0 μV	(all ranges)					
	10.00000 V	10 μV	1 Year	0.35 + 0.03	0.06 + 0.03	0.12 + 0.05	0.6 + 0.08	4.0 + 0.5
	100.0000 V	100 μV	(all ranges)					
	750.000 V	1.0 mV						
			(Temp. Coeff.) ³ *C ²	0.035 + 0.003	0.005 + 0.003	0.006 + 0.005	0.01 + 0.006	0.03 + 0.01
Current ²	1.000000 A	1.0 μA	90 Day/1 Yr.	0.30 + 0.04	0.10 + 0.04	0.14 + 0.04		
	3.00000 ³ A	10 μA		0.35 + 0.06	0.15 + 0.06	0.18 + 0.06		
			(Temp. Coeff.) ³ *C ²	0.035 + 0.006	0.015 + 0.006	0.015 + 0.006		
			Accuracy $\pm(\text{ppm of reading} + \text{offset ppm})$ (3 Hz-500 kHz) (333 ms-2 μs)					
Frequency ⁴ and Period	100 mV	0.333 ppm	90 Day/1 Yr.	80 ppm + 0.333 ppm (SLOW, 1s gate)				
	to	3.33 ppm		80 ppm + 3.33 ppm (MED, 100ms gate)				
	750 V	33.3 ppm		80 ppm + 33.3 ppm (FAST, 10ms gate)				

Additional Uncertainty $\pm(\% \text{ of reading})$

Low Frequency Uncertainty	MED	FAST
20Hz - 30Hz	0.3	—
30Hz - 50Hz	0	—
50Hz - 100Hz	0	1.0
100Hz - 200Hz	0	0.18
200Hz - 300Hz	0	0.10
> 300Hz	0	0

CREST FACTOR ⁵ :	1-2	2-3	3-4	4-5
Additional Uncertainty:	0.05	0.15	0.30	0.40
Maximum Crest Factor:	5 at full-scale.			

AC MEASUREMENT CHARACTERISTICS

AC Volts

MEASUREMENT METHOD: AC-coupled, True RMS.
 INPUT IMPEDANCE: 1M Ω $\pm 2\%$ // by $< 100\text{pF}$.
 INPUT PROTECTION: 1000Vp or 400VDC, 300Vrms with plug-in modules.

AC Current

MEASUREMENT METHOD: AC-coupled, True RMS.
 SHUNT RESISTANCE: 0.1 Ω .
 BURDEN VOLTAGE: 1A $< 0.5\text{Vrms}$, 3A $< 1.5\text{Vrms}$. Add 1.5Vrms when used with plug-in modules.
 INPUT PROTECTION: 3A, 250V fuse.

Frequency and Period

MEASUREMENT METHOD: Reciprocal Counting technique.
 GATE TIME: SLOW 1s, MED 100ms, and FAST 10ms.

AC General

AC CMRR⁶: 70dB.
 VOLT HERTZ PRODUCT¹⁶: $\leq 8 \times 10^7$ Volt-Hz.

AC MEASUREMENT SPEEDS^{7,13}

Single Channel, 60Hz (50Hz) Operation

Function	Digits	Readings/s	Rate	Bandwidth
ACV, ACI	6.5	2s/Reading	SLOW	3 Hz-300 kHz
	6.5	4.8 (4)	MED	30 Hz-300 kHz
	6.5 ⁹	40 (32)	FAST	300 Hz-300 kHz
Frequency, Period	6.5	1 (1)	SLOW	3 Hz-300 kHz
	5.5	9 (9)	MED	30 Hz-300 kHz
	4.5	35 (35)	FAST	300 Hz-300 kHz
	4.5 ¹⁰	65 (65)	FAST	300 Hz-300 kHz

Multiple Channel Into Memory^{10,11}

7710 SCANNING ACV: 440/s.
 7710 Scanning ACV with Auto Delay On: 2s/reading.

AC SYSTEM SPEEDS^{7,9,11}

RANGE CHANGES¹²: 4/s (3/s).
 FUNCTION CHANGES¹²: 4/s (3/s).
 AUTORANGE TIME: $< 3\text{s}$.
 ASCII READINGS TO RS-232 (115.2k baud): 300/s.
 MAX INTERNAL TRIGGER RATE: 2800/s.
 MAX EXTERNAL TRIGGER RATE: 2000/s.

AC Notes

- 20% overrange except on 750V and 3A.
- Specifications are for SLOW mode and sine wave inputs $> 5\%$ of range. SLOW and MED are multi-sample A/D conversions. FAST is DETECTOR BANDwidth 300 with nPLC = 1.0.
- Applies to 0°-18°C and 28°-50°C.
- Specifications are for square wave inputs only. Input signal must be $> 10\%$ of ACV range. If input is $< 20\text{mV}$ on the 100mV range then the frequency must be $> 10\text{Hz}$. For sine wave inputs, frequency must be $> 100\text{Hz}$.
- Applies to non-sine waves $> 5\text{Hz}$ and $< 500\text{Hz}$. Crest factor greater than 4.3 is guaranteed by design only.
- For 1k Ω imbalance in LO lead.
- Speeds are for 60Hz (50Hz) operation using factory defaults operating conditions (*RST). Autorange off, Display off, Limits off, Trigger delay=0.
- For ACV inputs at frequencies of 50 or 60Hz ($\pm 10\%$) add the following to "% of Range" uncertainty: 100mV 0.25%, 1V 0.05%, 10V 0.13%, 100V 0.03%, 750V 0.01%.
- Auto Zero off.
- Sample count = 1000 (into memory buffer).
- DETECTOR BANDwidth 300 with nPLC = 0.006.
- Maximum useful limit with trigger delay = 175ms.
- Includes measurement and data transfer out Ethernet (Reading Element only). (100bT_x Ethernet, 3 meter RJ-45 crossover cable, PIII-800, Windows version 98 SE, VB version 6.0, direct WinSocket interface).
- Typical uncertainties. Typical represents two sigma or 95% of manufactured units measure $< 0.35\%$ of reading and three sigma or 99.7% $< 1.06\%$ of reading.
- For signal levels $> 2.2\text{A}$, add additional 0.4% to "of reading" uncertainty.
- 750V ac range limited to 707Vrms and 85kHz (sine wave input) or 8×10^7 Volt-Hz.

Εικόνα Β7 – AC specifications

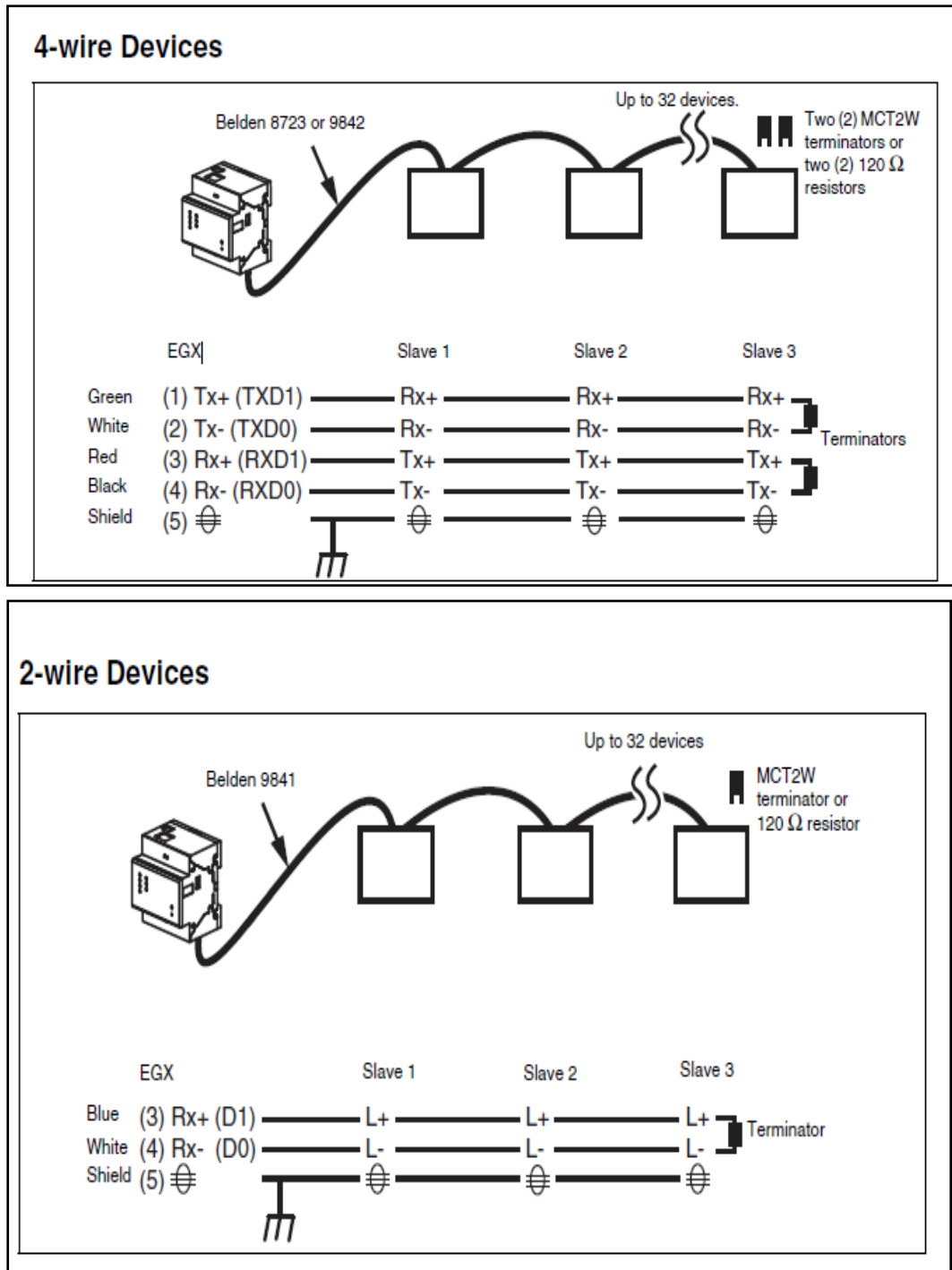
GENERAL SPECIFICATIONS
EXPANSION SLOTS: 2.
POWER SUPPLY: 100V / 120V / 220V / 240V.
LINE FREQUENCY: 50Hz to 60Hz and 400Hz, automatically sensed at power-up.
POWER CONSUMPTION: 80VA.
OPERATING ENVIRONMENT: Specified for 0°C to 50°C. Specified to 80% RH at 35°C. Altitude up to 2000 meters.
STORAGE ENVIRONMENT: -40°C to 70°C.
BATTERY: Lithium Ion battery-backed memory, 30 days of buffer storage @ 23°C and >4 hours charge time. Battery lifetime: 3 years @ 23°C, 1.5 years @ 50°C.
WARRANTY: 3 years, excludes battery.
EMC: Conforms to European Union Directive 89/336/EEC EN61326-1.
SAFETY: Conforms to European Union Directive 73/23/EEC EN61010-1, CAT I.
VIBRATION: MIL-PRF-28800F Class 3, Random.
WARM-UP: 2 hours to rated accuracy.
DIMENSIONS:
Rack Mounting: 89mm high × 213mm wide × 370mm deep (3.5 in. × 8.375 in. × 14.563 in.).
Bench Configuration (with handle and feet): 104mm high × 238mm wide × 370mm deep (4.125 in. × 9.375 in. × 14.563 in.).
SHIPPING WEIGHT: 4.75kg (10 lbs).
DIGITAL I/O: 2 inputs, 1 for triggering and 1 for hardware interlock. 5 outputs, 4 for Reading Limits and 1 for Master Limit. Outputs are TTL compatible or can sink 250mA, diode clamped to 40V.
TRIGGERING AND MEMORY:
Window Filter Sensitivity: 0.01%, 0.1%, 1%, 10%, or Full-scale of range (none).
Reading Hold Sensitivity: 0.01%, 0.1%, 1%, or 10% of reading.
Trigger Delay: 0 to 99 hrs (1ms step size).
External Trigger Delay: <1ms.
Memory Size: 450,000 readings.
MATH FUNCTIONS: Rel, Min/Max/Average/Std Dev/Peak-to-Peak (of stored reading), Limit Test, %, 1/x, and mX + b with user defined units displayed.
REMOTE INTERFACE:
Ethernet: RJ-45 connector, TCP/IP (Auto sensed 10bT or 100bTx) and RS-232C.
SCPI (Standard Commands for Programmable Instruments)
ACCESSORIES SUPPLIED: Model 1751 Safety Test Leads, Product Information CD-ROM, Model 2701 Networking Manual, Model 2701 Getting Started Foldout, 3m crossover Ethernet cable. Software CD-ROM with IVI/VISA drivers for VB, VC/C++, LabVIEW, TestPoint, and LabWindows/CVI, and free runtime startup software.
ACCESSORIES AVAILABLE:
77XX Modules
Extended Warranty
ExcelLIX-1A (Excel add-in datalogger software)
TestPoint™ Software Development Package
IP CONFIGURATION: Static or DHCP
PASSWORD PROTECTION: 11 characters
SOFTWARE: Windows 98, NT, 2000, ME and XP compatible, Internet Explorer 5.0 or higher required. Web pages served by 2701.

Εικόνα Β8 – General characteristics

EGX 300 GATEWAY SERVER**SPECIFICATIONS**

Control Power Input	
Power-over-Ethernet	Class 3
Operating Input Range	24 Vdc ($\pm 10\%$) sourced by Class 2 rated power supply
Burden, maximum	4 W
Isolation	1.5 kV
Environmental	
Ambient Operating Temperature	-25°C to +70°C
Storage Temperature	-40°C to +85°C
Humidity Rating	5-95% Relative Humidity (non-condensing) at +55°C
Pollution Degree	Class 2
Physical	
Weight	6 oz. / 170 g
Dimensions	Height (3.18 in. / 80.8 mm), Width (2.83 in. / 72 mm), Depth (2.59 in. / 65.8 mm)
Enclosure	IP30
Regulatory/Standards Compliance for Electromagnetic Interference	
Emissions (radiated and conducted)	EN 55022 / EN 55011 / FCC Class A
Immunity for Industrial Environments:	EN 61000-6-2
Electrostatic Discharge	EN 61000-4-2
Radiated RF	EN 61000-4-3
Electrical Fast Transients	EN 61000-4-4
Surge	EN 61000-4-5
Conducted RF	EN 61000-4-6
Power Frequency Magnetic Field	EN 61000-4-8
Regulatory / Standards Compliance for Safety	
International (CB Scheme)	IEC 60950
USA	UL 508 / UL 60950
Canada	cUL (complies with CSA C22.2, #60950)
Europe	EN 60950
Australia / New Zealand	AS/NZS 60950
Other Regulatory / Standards Compliance	
Europe	CE
Transparent Ready	C15
Australia	C-Tick

Εικόνα Β9 –Βασικά Χαρακτηριστικά του EGX 300



Εικόνα Β10 – Διασύνδεση του EGX με τις “slave devices”

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Ελληνικό Πρότυπο ΕΛΟΤ HD 384:2004 Απαιτήσεις για ηλεκτρικές εγκαταστάσεις.
- [2] R.Messeneger, J. Ventre, *“Photovoltaic Systems Engineering”*, 2nd edn, CRC press, Florida, 2004.
- [3] <http://homewiringguide.com/page9.htm>
- [4] J.A Duffy, W.A Beckman, *“Solar Engineering of Thermal Processes”*, 2nd edn, John Wiley and Sons, Madison , 1980.
- [5] S.D Davids, G. Grunebast, *“Residual Currents in Photovoltaic Installations and appropriate protective measures”*, version 1.1 , Doepke Institute, U.K.
- [6] T. Markvaart, *“Practical Handbook of Photovoltaics - Fundamentals and Applications”*, Elsevier, 2003.
- [7] IEC 62305-4:2006 Protection against lightning-Part 4: Electrical and electronic systems within structures.
- [8] <http://www.iea-pvps-task2.org/>
- [9] P. Bicheno, (2009), *“Protection against Electric Shock”*, [Online], Wiring Matters (<http://electrical.theiet.org/wiring-matters/index.cfm>)
- [10] <http://www.iene.gr/page.asp?pid=1036&lng=1>
- [11] P. Ward, (2011), *“Demystifying RCDs”*, [Online], Western Union Automation, (www.westernautomation.com).
- [12] S. Hegedus, A. Luque, *“Handbook of Photovoltaic Science and Engineering”*, Wiley, England, 2002.
- [13] V. Quaschnig, *“Understanding Renewable Energy Systems”* , Earthscan, UK, 2005.
- [14] H.S Ullal, B. Roedern, *“Thin Film CIGS and CdTe Photovoltaic Technologies: Commercialization, Critical Issues, and Applications”*, Proceedings of 22nd European Photovoltaic Solar Energy Conference (PVSEC) and Exhibition, Milan, Italy, 2007.

- [15] Switch-disconnectors in photovoltaic applications, (2011), “*Switches applications in photovoltaic systems*”, [Online], ABB (<http://www.abb.com/search.aspx?q=photovoltaic&abbcontext=products>)
- [16] Lightning and overvoltage protection,(2011),”*Overvoltage protection in photovoltaic systems*”, [Online],ABB, (<http://www.abb.com/search.aspx?q=photovoltaic&abbcontext=products>)
- [17] <http://www.solarbuzz.com/our-research/reports/european-pv-markets-quarterly>
- [18] <http://www.solarbuzz.com/facts-and-figures/markets-growth/market-growth>
- [19] Photovoltaic barometer, (2010), “*Photovoltaic barometer-15861,2 MWp in EU*”, [Online], EurObserv’ER, <http://www.eurobserv-er.org/pdf/baro196.pdf>
- [20] Data Highlights, (2010),” *Plan B 4.0 by the Numbers – Solar Energy*”, [Online], Earth Policy Institute, (http://www.earth-policy.org/data_highlights/2010/highlights9)
- [21] <http://www.photon-magazine.com/archiv/search.aspx?f=101>
- [22]http://www.nmsu.edu/~tdi/PV=NEC_HTML/pv-nec/pv-nec.html#PHOTOVOLTAIC_ARRAY_DISCONNECTS
- [23] “*Solar energy-Protecting and isolating pv systems*”, (2011), [Online], ABB (<http://www.abb.com/search.aspx?q=photovoltaic&abbcontext=products>)
- [24] http://ee.unsw.edu.au/~std_mon/Assets/Papers/Earthing_requirements_discussion.pdf
- [25] “Κριτήρια για την επιλογή μιας διάταξης προστασίας από ρεύματα διαφυγής”,(2011), [Online] , SMA, (<http://files.sma.de/dl/7418/RCD-UGR110430.pdf>)
- [26] http://files.sma.de/dl/7418/U_Schutz-UEN101610.pdf
- [27] C. Radue, E. E. Van Dyk , “*Degradation analysis of thin film photovoltaic modules*” , Proceedings of the Third South African Conference on Photonic Materials , Port Elizabeth , South Africa , 2009
- [28]http://www.sony.net/SonyInfo/technology/technology/theme/solar_01.html

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [29] P. Mulligan and others, “*Manufacture of solar cells with 21% efficiency*”, (2005), [Online], Sunpower, (<http://www.tayloredge.com/reference/Electronics/Photonics/HighEfficiencySolarCells.pdf>)
- [30] <http://www.allwin21.com/upload/File/renew15-18.pdf>