



ΤΕΙ ΚΡΗΤΗΣ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΦΥΣΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ ΚΑΙ
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**«ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΕΝΤΟΠΙΣΜΟΥ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟΥ P.I.D ΣΕ
ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΟΥΣ ΣΥΛΛΕΚΤΕΣ ΚΑΙ ΤΡΟΠΟΙ ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗΣ ΤΟΥ»**



ΚΟΥΚΑΚΗ ΓΕΩΡΓΙΑ

A.M: 1789

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΚΑΤΣΙΓΙΑΝΝΗΣ ΙΩΑΝΝΗΣ

Χανιά, Μάιος 2019

Περίληψη

Ο βασικός σκοπός της εν λόγω εργασίας σχετίζεται με τη συλλογή, αξιολόγηση και περιγραφή των δεδομένων που απαιτούνται στο πλαίσιο της ανάλυσης για τη μεθοδολογία εντοπισμού του φαινομένου PID (Potential Induced Degradation) σε φωτοβολταϊκούς συλλέκτες, καθώς και τους τρόπους αντιμετώπισής του.

Η εργασία αποτελείται από έξι κεφάλαια. Το Κεφάλαιο 1 να αναφέρεται στις βλάβες και τις μη κανονικές υποβαθμίσεις σε φωτοβολταϊκά συστήματα, το Κεφάλαιο 2 οριοθετείται στην φωτοβολταϊκή τεχνολογία, το Κεφάλαιο 3 περιγράφει τα φωτοβολταϊκά συστήματα, το Κεφάλαιο 4 να αναφέρεται στο φαινόμενο PID, το Κεφάλαιο 5 αναφέρεται στη διάγνωση του Φαινομένου PID και το Κεφάλαιο 6 αναφέρεται στους τρόπους αντιμετώπισης του φαινομένου.

Abstract

The main purpose of this thesis is to describe the collection, evaluation and discussion of data that are placed in the context of the analysis of PID (Potential Induced Degradation) phenomenon in photovoltaic collectors, and the ways of tackling it.

This thesis is divided into six chapters. Chapter 1 refers to faults and abnormal degradation in photovoltaic systems, Chapter 2 delimits in photovoltaic technology, Chapter 3 describes photovoltaic systems, Chapter 4 refers to the PID phenomenon, Chapter 5 refers to the diagnosis of PID phenomenon, and Chapter 6 deals with ways to address this phenomenon.

Περιεχόμενα

Κεφάλαιο 1 ^ο - Εισαγωγή.....	4
1.1 Βλάβες σε Φ/Β Συστήματα	4
1.2 Διάρθρωση της Εργασίας	5
1.3 Σκοπός της Εργασίας.....	5
Κεφάλαιο 2 ^ο - Φωτοβολταϊκή Τεχνολογία.....	6
2.1 Φωτοβολταϊκό Φαινόμενο.....	6
2.2 Χαρακτηριστική Καμπύλη I-V	12
2.3 Βαθμός Απόδοσης Ηλιακού Κυττάρου	17
Κεφάλαιο 3 ^ο – Φωτοβολταϊκό Σύστημα	18
3.1 Τμήματα Φ/Β Συστήματος	19
3.2 Inverters.....	21
3.3 Φ/Β Συστοιχίες	23
Κεφάλαιο 4 ^ο – Φαινόμενο PID	34
4.1 Ποιοτική Ανάλυση Φαινομένου σε Επίπεδο Συστήματος.....	34
4.1.1 Οι Αιτίες του PID	38
4.1.2 Περιβαλλοντικοί Παράγοντες	39
4.1.3 Παράγοντες Συστήματος.....	40
4.1.4 Συντελεστές Μονάδας	41
4.2 Διάβρωση TCO.....	49
4.3 Αντίσταση Μόνωσης R-iso	50
Κεφάλαιο 5 ^ο – Διάγνωση Φαινομένου	52
5.1 Θερμογράφηση.....	52
5.2 Τεχνικά Χαρακτηριστικά.....	53
5.3 Πρότυπο IEC 62804 για Έλεγχο Φωτοβολταϊκών Πλαισίων	54
Κεφάλαιο 6 ^ο – Τρόποι Αντιμετώπισης του Φαινομένου PID	55
Επίλογος – Συμπεράσματα	66
Βιβλιογραφία	71

Κεφάλαιο 1^ο - Εισαγωγή

1.1 Βλάβες σε Φ/Β Συστήματα

Λαμβάνοντας υπόψη την σχετικώς νέα ενημέρωση και χρήση των φωτοβολταϊκών συστημάτων, είναι προφανές ότι μπορεί να υπάρξει σημαντικός αριθμός σφαλμάτων σε περίπτωση ανεπαρκούς εκπαίδευσης των εγκαταστάσεων αυτών, σχετικά με τη διαθεσιμότητα και τις τεχνικές παραμέτρους των διαφόρων φωτοβολταϊκών στοιχείων καθώς και σχετικά με τις εθνικές απαιτήσεις, όταν πρόκειται σε διοικητικές διαδικασίες, απαιτήσεις σύνδεσης δικτύου και κανονισμούς οικοδόμησης.

Υπάρχουν διάφορα στάδια στην ανάπτυξη φωτοβολταϊκού συστήματος στα οποία μπορεί να προκύψουν σφάλματα ως εξής:

- Επιλογή τόπου εγκατάστασης
- Σχεδιασμός του φωτοβολταϊκού συστήματος
- Επιλογή των εξαρτημάτων του φωτοβολταϊκού συστήματος
- Μηχανικές βλάβες του φωτοβολταϊκού συστήματος
- Ηλεκτρικές βλάβες του φωτοβολταϊκού συστήματος
- Φυσική εγκατάσταση των εξαρτημάτων του φωτοβολταϊκού συστήματος
- Ασφάλεια (ασφάλεια του προσωπικού καθώς και ασφάλεια της εγκατάστασης π.χ. από εξωτερικές εκθέσεις)
- Υπηρεσία, συμπεριλαμβανομένης της επιθεώρησης και της ανεπαρκούς συντήρησης του φωτοβολταϊκού συστήματος

Επίσης σημειώνεται πως οι χαλαρές ή διακεκομμένες συνδέσεις μπορεί να προκληθούν από κακή κατασκευή κατά την εγκατάσταση και σε μερικές περιπτώσεις αναφέρθηκαν σπασμένες πλακέτες τυπωμένων κυκλωμάτων (PCB) στα κιβώτια διακλάδωσης, οι οποίες προκαλούν το σχηματισμό αψίδων κατά μήκος των σχισμών στα φωτοβολταϊκά πάνελ. Ενδεχομένως, οι ρωγμές προκαλούνται από υπερβολική ροπή ή πίεση λόγω κακής σχεδίασης του συστήματος. Ανάλογα κυρίως με την τάση λειτουργίας,

αυτά τα σφάλματα μπορούν να οδηγήσουν σε ένα ηλεκτρικό τόξο και στη συνέχεια στην καταστροφή του κιβωτίου διασταύρωσης της μονάδας.

Οι πιο συχνές αποτυχίες δεν συναντώνται βέβαια λόγω κακών πρακτικών σε ένα συγκεκριμένο βήμα, αλλά είναι ένας συνδυασμός ή συσσώρευση υποβέλτιστων ενεργειών σε διαφορετικά στάδια ή απλά λόγω εσφαλμένης ή ανεπαρκούς επικοινωνίας μεταξύ των σχεδιαστών και των εγκαταστατών. Για να αποφευχθεί αυτό το είδος σφάλματος, ο τομέας των φωτοβολταϊκών χρειάζεται ένα διαφορετικό και εξειδικευμένο εργατικό δυναμικό. Η εξειδικευμένη εργασία απαιτεί ένα κατάλληλο σύστημα εκπαίδευσης και πιστοποίησης.

1.2 Διάρθρωση της Εργασίας

Η συγκεκριμένη εργασία αποτελείται από έξι κεφάλαια. Το Κεφάλαιο 1 να αναφέρεται στις βλάβες και τις μη κανονικές υποβαθμίσεις σε φωτοβολταϊκά συστήματα, το Κεφάλαιο 2 οριοθετείται στην φωτοβολταϊκή τεχνολογία, το Κεφάλαιο 3 περιγράφει τα φωτοβολταϊκά συστήματα, το Κεφάλαιο 4 να αναφέρεται στο φαινόμενο PID, το Κεφάλαιο 5 αναφέρεται στη διάγνωση του Φαινομένου PID και το Κεφάλαιο 6 αναφέρεται στους τρόπους αντιμετώπισης του φαινομένου.

1.3 Σκοπός της Εργασίας

Ο βασικός σκοπός της εν λόγω εργασίας σχετίζεται με τη συλλογή, αξιολόγηση και περιγραφή των δεδομένων που απαιτούνται στο πλαίσιο της ανάλυσης για τη μεθοδολογία εντοπισμού του φαινομένου PID (Potential Induced Degradation) σε φωτοβολταϊκούς συλλέκτες, καθώς και τους τρόπους αντιμετώπισής του.

Κεφάλαιο 2° - Φωτοβολταϊκή Τεχνολογία

2.1 Φωτοβολταϊκό Φαινόμενο

Τα φωτοβολταϊκά συστήματα, εκτός από καθαρή ενέργεια, παρέχουν ακόμη προσέλευση πελατών και αξιοπιστία σε ένα απελευθερωμένο περιβάλλον. Σε ένα υψηλά ανταγωνιστικό περιβάλλον, οι επιχειρήσεις παραγωγής ηλεκτρισμού χρειάζονται κίνητρα για να προσελκύσουν και να διατηρήσουν τους πελάτες τους. Τα προγράμματα καθαρής ενέργειας μπορούν να είναι ελκυστικά σε αρκετά μεγάλο αριθμό καταναλωτών που ενδιαφέρονται γενικά για το περιβάλλον και ειδικότερα για τις κλιματικές αλλαγές (Φραγκιαδάκης, 2008).

Σήμερα οι καταναλωτές στις απελευθερωμένες ενεργειακές αγορές δεν αγοράζουν απλά τη φθηνότερη ηλεκτρική ενέργεια, καθώς υπάρχει πλέον θέμα τόσο ποιότητας όσο και υπηρεσιών. Όσον αφορά στην ποιότητα του ηλεκτρισμού, τα θέματα είναι ξεκάθαρα: γιατί η ενέργεια που χρησιμοποιούν να προέρχεται από θερμοηλεκτρικό σταθμό που χρησιμοποιεί ορυκτά καύσιμα και καταστρέφει το περιβάλλον, ενώ μπορεί να προέλθει από μια μονάδα που δεν ρυπαίνει το περιβάλλον; (Καπλάνης, 2005)

Η επιλογή της ηλεκτρικής ενέργειας συμβάλλει σημαντικά στην απελευθέρωση των ενεργειακών αγορών. Ακόμα και η αγορά μικρής ποσότητας καθαρής ενέργειας ενθαρρύνει τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Αυτά αποτελούν θέματα που απασχολούν οπωσδήποτε τις “έξυπνες” επιχειρήσεις παραγωγής ενέργειας. Η επιχείρηση που αποδέχεται τα φωτοβολταϊκά συστήματα θα προσελκύσει πελάτες-παραγωγούς που θα χρησιμοποιούν φωτοβολταϊκά και θα πωλούν στη συνέχεια σε αυτή καθαρή ενέργεια. Σε ένα περιβάλλον απελευθερωμένης αγοράς, τέτοιοι πελάτες-παραγωγοί μπορεί να βρίσκονται οπουδήποτε.

Τέλος, τα φωτοβολταϊκά συστήματα μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως δομικά υλικά παρέχοντας τη δυνατότητα για καινοτόμους αρχιτεκτονικούς σχεδιασμούς, καθώς διατίθενται σε ποικιλία χρωμάτων, μεγεθών, σχημάτων και μπορούν να παρέχουν ευελιξία και πλαστικότητα στη φόρμα, ενώ δίνουν

και δυνατότητα διαφορικής διαπερατότητας του φωτός ανάλογα με τις ανάγκες του σχεδιασμού. Αντικαθιστώντας άλλα δομικά υλικά συμβάλλουν στη μείωση του συνολικού κόστους μιας κατασκευής. Τα φωτοβολταϊκά συστήματα παρέχουν κύρος στο χρήστη τους και βελτιώνουν την εικόνα των επιχειρήσεων που τα επιλέγουν (Καρυδογιάννης, 2010).

Τα φωτοβολταϊκά παρέχουν τον απόλυτο έλεγχο στον καταναλωτή, και άμεση πρόσβαση στα στοιχεία που αφορούν την παραγόμενη και καταναλισκόμενη ενέργεια. Τον καθιστούν έτσι πιο προσεκτικό στον τρόπο που καταναλώνει την ενέργεια και συμβάλλουν μ' αυτό τον τρόπο στην ορθολογική χρήση και εξοικονόμηση της ενέργειας. Τα ηλιακά φωτοβολταϊκά συστήματα έχουν αθόρυβη λειτουργία, αξιοπιστία και μεγάλη διάρκεια ζωής, δυνατότητα επέκτασης ανάλογα με τις ανάγκες, δυνατότητα αποθήκευσης της παραγόμενης ενέργειας (στο δίκτυο ή σε συσσωρευτές) και απαιτούν ελάχιστη συντήρηση (Swanson, et al, 2005).

Στα φωτοβολταϊκά συστήματα, η μονάδα ηλεκτρικής ενέργεια είναι η κιλοβατώρα (kilowatt-hour). Μία κιλοβατώρα θεωρητικά αντιστοιχεί στην ενέργεια που καταναλώθηκε από μια συσκευή ισχύος 1kilowatt (κιλοβάτ) που λειτούργησε για την διάρκεια της μιας ώρας (1hour).

$$1 kWh = 1 kW \times 1h = 1 \text{ kilowatt-hour} = 1 \text{ κιλοβατώρα}$$

Οι υποδιαιρέσεις μονάδας ενεργού ισχύος, αναφέρονται ως εξής (Swanson, et al, 2005):

1 kW (kilowatt)	= 1000 W (watt)
1 MW (megawatt)	= 1000 kW (kilowatt)
1 GW (gigawatt)	= 1000 MW (megawatt)

Στην πραγματικότητα το kilowatt (κιλοβάτ) είναι η μονάδα μέτρησης της κατανάλωσης ή παραγωγής ενεργού ισχύος. Στην πράξη οι καταναλώσεις ηλεκτρικής ενέργειας στην συνολική ενέργεια που «απορροφούν», «καταναλώνουν» ή «παράγουν» και ένα άλλο ποσοστό ενέργειας ανάλογα με τα ποιοτικά ηλεκτρικά χαρακτηριστικά της εγκατάστασης (χωρητικά,

επαγωγικά φορτία). Αυτή είναι η άεργος ισχύς (reactive power) η οποία είναι ανεπιθύμητη αφού δεν παράγει κανένα έργο και ακόμα χειρότερα επιβαρύνει τα δίκτυα μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας με μια επιπλέον ποσότητα ρεύματος που αναλογεί απλά σε αντίστοιχες θερμικές απώλειες ενώ επίσης αλλοιώνει τα ποιοτικά χαρακτηριστικά της ηλεκτρικής ενέργειας.

Η ΔΕΗ μάλιστα χρεώνει τους μεγάλους καταναλωτές όταν ξεπεράσουν κάποιο όριο «έγχυσης» ή «κατανάλωσης» (συντελεστής ισχύος, $\text{συνφ} \leq 0.85$) άεργου ισχύος στο δίκτυο. Βελτίωση του «συνημίτονου» μιας εγκατάστασης που καταναλώνει ηλεκτρική ενέργεια μπορεί να γίνει με την προσθήκη φορτίων πυκνωτών ή με την προσθήκη καταναλώσεων επαγωγικών ρευμάτων (πηνίων) ανάλογα με τα ποιοτικά χαρακτηριστικά μιας εγκατάστασης (επαγωγική συμπεριφορά ή χωρητική αντιστοίχως).

Η μονάδα της άεργου ισχύος είναι το Volt Ampere Reactive (VAR). Η συνολική ισχύς λέγεται και «φαινόμενη» και έχει μονάδα το Volt-Ampere (VA). Το μέτρο της φαινόμενης ισχύος είναι $S=VI=(\text{τετραγωνική ρίζα του}(P^2+Q^2))$ Volt Ampere (Pingel, et al, 2010).

Σε ιστορικό επίπεδο, το φωτοβολταϊκό φαινόμενο ανακαλύφθηκε το 1839 και χρησιμοποιήθηκε για πρακτικούς σκοπούς στα τέλη της δεκαετίας του '50 σε διαστημικές εφαρμογές. Τα φωτοβολταϊκά (Φ/Β) συστήματα έχουν τη δυνατότητα μετατροπής της ηλιακής ενέργειας σε ηλεκτρική. Ένα τυπικό Φ/Β σύστημα αποτελείται από το Φ/Β πλαίσιο ή ηλιακή γεννήτρια ρεύματος και τα ηλεκτρονικά συστήματα που διαχειρίζονται την ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται από τη Φ/Β συστοιχία. Για αυτόνομα συστήματα υπάρχει επίσης το σύστημα αποθήκευσης ενέργειας σε μπαταρίες (Pingel, et al, 2010).



Εικόνα Νο.1 – Φωτοβολταϊκά Πάνελ



Εικόνα Νο.2 – Φωτοβολταϊκά Πάνελ

Καθώς το κόστος των Φ/Β συστημάτων συνεχίζει να μειώνεται, όλο και περισσότερες Φ/Β εφαρμογές γίνονται οικονομικά ανταγωνιστικές, σε σύγκριση με παραγωγή ενέργειας από συμβατικές μορφές. Παράλληλα, η αυξανόμενη ευαισθησία της κοινής γνώμης, λόγω των δυσμενών περιβαλλοντικών επιπτώσεων από τις συμβατικές μεθόδους παραγωγής και χρήσης ενέργειας, σε συνδυασμό με τα πλεονεκτήματα των Φ/Β συστημάτων, έχει σαν αποτέλεσμα αυτά να αποτελούν μια από τις περισσότερα υποσχόμενες ενεργειακές τεχνολογίες.

Όπως έχει προκύψει από τη διεθνή εμπειρία, το μεγάλο μερίδιο της αγοράς των Φ/Β συστημάτων στις αναπτυγμένες χώρες βρίσκεται σε αστικά

κέντρα, σε εγκαταστάσεις όπως κτίρια, συμπλέγματα οικιών, δημόσια κτίρια, εξωτερικοί χώροι κλπ.

Ένα φωτοβολταϊκό σύστημα λοιπόν, μετατρέπει την ακτινοβολία του ήλιου σε χρησιμοποιήσιμο ηλεκτρικό ρεύμα. Περιλαμβάνει την ηλιακή συστοιχία και την ισορροπία των στοιχείων του συστήματος. Τα φωτοβολταϊκά συστήματα μπορούν να κατηγοριοποιηθούν από διάφορες πτυχές, όπως συστήματα που συνδέονται με το δίκτυο έναντι αυτόνομων συστημάτων, συστήματα ενσωματωμένα σε κτιριακά συστήματα, συστήματα οικιστικών έναντι συστημάτων κοινής ωφέλειας, καταναμημένα εναντίον κεντρικών συστημάτων, συστήματα στέγασης έναντι εδάφους, συστήματα παρακολούθησης έναντι συστημάτων σταθερής κλίσης και συστήματα που έχουν κατασκευαστεί έναντι μετασκευών (Pingel, et al, 2010).

Άλλες διακρίσεις μπορεί να περιλαμβάνουν συστήματα με μικροεπεξεργαστές έναντι κεντρικού αναστροφέα, συστήματα που χρησιμοποιούν κρυσταλλικό πυρίτιο έναντι τεχνολογίας λεπτής μεμβράνης και συστήματα με μονάδες από κινέζους εναντίον ευρωπαϊκών και αμερικανικών κατασκευαστών (Fox, et al. 2015).

Περίπου το 99% όλων των ευρωπαϊκών και το 90% όλων των ηλιακών συστημάτων της Η.Π.Α. συνδέονται με το ηλεκτρικό δίκτυο, ενώ τα συστήματα εκτός δικτύου είναι κάπως πιο συνηθισμένα στην Αυστραλία και τη Νότια Κορέα (Fox, et al. 2015). Αυτό μπορεί να αλλάξει σύντομα, καθώς εφαρμόζονται κυβερνητικά κίνητρα για καταναμημένη ενεργειακή αποθήκευση και οι επενδύσεις σε λύσεις αποθήκευσης καθίστανται σταδιακά οικονομικά βιώσιμες για μικρά συστήματα (Swanson, et al, 2005).

Μια ηλιακή συστοιχία μιας τυπικής οικιακής φωτοβολταϊκής εγκατάστασης είναι τοποθετημένη στην οροφή, αντί να ενσωματώνεται στην οροφή ή στην πρόσοψη του κτιρίου, καθώς αυτό είναι σημαντικά πιο ακριβό. Οι ηλιακοί σταθμοί ηλεκτροπαραγωγής σε μεγάλη κλίμακα είναι τοποθετημένοι σε έδαφος, με σταθερούς κεκλιμένους ηλιακούς συλλέκτες αντί να χρησιμοποιούν ακριβές συσκευές παρακολούθησης. Το κρυσταλλικό πυρίτιο είναι το κυρίαρχο υλικό που χρησιμοποιείται στο 90% των

παγκοσμίως παραγόμενων ηλιακών μονάδων, ενώ η ανταγωνιστική λεπτή μεμβράνη έχει χάσει το μερίδιο αγοράς (Yiting D., 2013).

Περίπου το 70% όλων των ηλιακών κυψελών και μονάδων παράγονται στην Κίνα και την Ταϊβάν, αφήνοντας μόνο 5% στους κατασκευαστές της Ευρώπης και των ΗΠΑ. Η εγκατεστημένη ισχύς τόσο για τα μικρά συστήματα στέγης όσο και για τους μεγάλους ηλιακούς σταθμούς αναπτύσσεται ταχέως και σε ίσα μέρη, αν και υπάρχει αξιοσημείωτη τάση προς την κλίμακα χρησιμότητας δεδομένου ότι η εστίαση σε νέες εγκαταστάσεις απομακρύνεται από την Ευρώπη σε ηλιόλουστες περιοχές, όπως η Sunbelt στις ΗΠΑ, οι οποίες είναι λιγότερο αντίθετες με τις εγκατεστημένες σε έδαφος ηλιακές εκμεταλλεύσεις και η αποδοτικότητα από πλευράς κόστους δίνεται μεγαλύτερη έμφαση από τους επενδυτές (Yiting D., 2013).

Με γνώμονα την πρόοδο της τεχνολογίας και την αύξηση της κλίμακας και της πολυπλοκότητας της κατασκευής, το κόστος των φωτοβολταϊκών συνεχώς μειώνεται. Υπάρχουν αρκετά εκατομμύρια φωτοβολταϊκά συστήματα που διανέμονται σε ολόκληρο τον κόσμο, κυρίως στην Ευρώπη, με 1,4 εκατομμύρια συστήματα στη Γερμανία μόνο καθώς και Βόρεια Αμερική με 440,000 συστήματα στις Ηνωμένες Πολιτείες (Yiting D., 2013).

Η απόδοση μιας συμβατικής ηλιακής μονάδας αυξήθηκε από 15% σε 20% από το 2004 έως το 2017 και ένα φωτοβολταϊκό σύστημα ανακτά την ενέργεια που απαιτείται για την κατασκευή του σε περίπου 2 χρόνια. Σε εξαιρετικά ακτινοβολημένες τοποθεσίες ή όταν χρησιμοποιείται τεχνολογία λεπτής μεμβράνης, ο λεγόμενος χρόνος αποπληρωμής ενέργειας μειώνεται σε ένα έτος ή και λιγότερο. Καθαρές μετρήσεις και οικονομικά κίνητρα, όπως τα προνομιακά τιμολόγια τροφοδοσίας για την ηλιακή ενέργεια -παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, έχουν επίσης υποστηρίξει σε μεγάλο βαθμό εγκαταστάσεις φωτοβολταϊκών συστημάτων σε πολλές χώρες (Yiting D., 2013). Το επίπεδο κόστους ηλεκτρικής ενέργειας από μεγάλης κλίμακας φωτοβολταϊκά συστήματα έχει καταστεί ανταγωνιστικό με τις συμβατικές πηγές ηλεκτρικής ενέργειας σε έναν εκτεταμένο κατάλογο γεωγραφικών περιοχών και η ισοτιμία του δικτύου έχει επιτευχθεί σε περίπου 30

διαφορετικές χώρες, η τιμή ορίζεται κατά προσέγγιση στα 100\$ ανά kWh. Η τιμή αυτή ενδεχομένως να διαφέρει τους καλοκαιρινούς μήνες.

Από το 2015, η ταχέως αναπτυσσόμενη παγκόσμια αγορά φωτοβολταϊκών εγκαταστάσεων προσεγγίζει ταχέως το σήμα 200 GW - περίπου 40 φορές το εγκατεστημένο δυναμικό του 2006. Τα φωτοβολταϊκά συστήματα αποτελώντας μέρος των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας συνεισφέρουν σαν σύνολο περίπου στο 22% της παγκόσμιας αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας. Το ποσοστό αυτό αναμένεται να αυξηθεί τα επόμενα έτη.

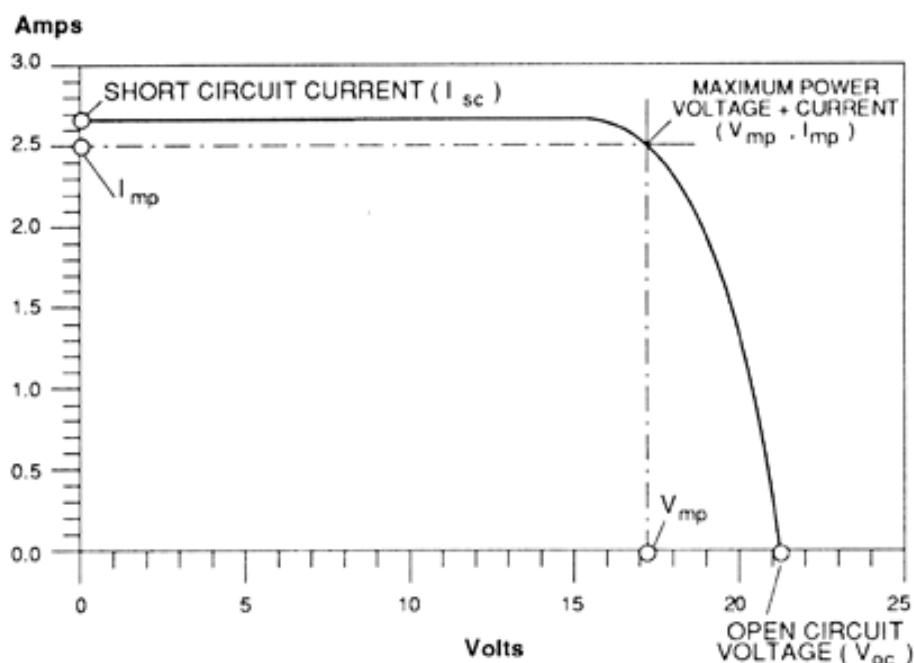
Οι κορυφαίοι εγκαταστάτες φωτοβολταϊκών συστημάτων όσον αφορά τη χωρητικότητα είναι σήμερα η Κίνα, η Ιαπωνία και οι Ηνωμένες Πολιτείες, ενώ το ήμισυ της παγκόσμιας δυναμικότητας εγκαθίσταται στην Ευρώπη, ενώ η Γερμανία και η Ιταλία τροφοδοτούν 7% έως 8% της αντίστοιχης οικιακής κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας με ηλιακή φωτοβολταϊκή. Ο Διεθνής Οργανισμός Ενέργειας αναμένει ότι η ηλιακή ενέργεια θα καταστεί η μεγαλύτερη πηγή ηλεκτρικής ενέργειας παγκοσμίως μέχρι το 2050, ενώ η ηλιακή φωτοβολταϊκή και η ηλιακή θερμική ενέργεια θα συμβάλλουν κατά 16% και 11% στην παγκόσμια ζήτηση, αντίστοιχα (Yiting D., 2013).

2.2 Χαρακτηριστική Καμπύλη I-V

Μια καμπύλη ρεύματος τάσης (I-V) δείχνει τους πιθανούς συνδυασμούς ρεύματος και τάσης εξόδου ενός Φ/Β. Ένα Φ/Β παράγει το μέγιστο ρεύμα του όταν δεν υπάρχει αντίσταση στο κύκλωμα, δηλαδή όταν υπάρχει βραχυκύκλωμα μεταξύ θετικού και αρνητικού πόλου. Αυτό το μέγιστο ρεύμα είναι γνωστό ως ρεύμα βραχυκυκλώματος και είναι συντομογραφία Isc. Όταν η μονάδα είναι βραχυκυκλωμένη, η τάση στο κύκλωμα είναι μηδέν (Pingel, et al, 2010).

Αντιστρόφως, η μέγιστη τάση εμφανίζεται όταν υπάρχει διακοπή στο κύκλωμα. Αυτό ονομάζεται τάση ανοικτού κυκλώματος (Voc). Υπό αυτές τις συνθήκες η αντίσταση είναι άπειρη και δεν υπάρχει ρεύμα, αφού το κύκλωμα

είναι ατελής. Αυτά τα δύο άκρα στην αντίσταση φορτίου και το σύνολο των συνθηκών μεταξύ τους απεικονίζονται στην καμπύλη I-V. Το ρεύμα, εκφρασμένο σε αθροίσματα, βρίσκεται στον (κατακόρυφο) άξονα y. Η τάση, σε volts, βρίσκεται στον (οριζόντιο) άξονα x.



Εικόνα No.3 – Διάγραμμα Καμπύλης I-V (1)

Η ισχύς που διατίθεται από ένα Φ/Β σε οποιοδήποτε σημείο κατά μήκος της καμπύλης, είναι ακριβώς το προϊόν του ρεύματος και της τάσης σε αυτό το σημείο και εκφράζεται σε Watts. Στο σημείο ρεύματος βραχυκυκλώματος, η έξοδος ισχύος είναι μηδενική, αφού η τάση είναι μηδενική. Στο σημείο τάσης ανοικτού κυκλώματος, η έξοδος ισχύος είναι επίσης μηδενική, αλλά αυτή τη φορά είναι επειδή το ρεύμα είναι μηδέν. Υπάρχει ένα σημείο στο κοίλο σημείο της καμπύλης όπου βρίσκεται η μέγιστη ισχύς εξόδου (βλ. Εικόνα Νο3). Αυτό το μέγιστο σημείο ισχύος στην καμπύλη παραδειγμάτων είναι εκεί όπου η τάση είναι 17 V και το ρεύμα είναι 2,5 A. Επομένως, η μέγιστη ισχύς είναι 17 V επί 2,5 A, ή 42,5 W (Yiting D., 2013).

Η καμπύλη I-V ενός Φ/Β θεωρεί ότι αυτό βρίσκεται υπό κανονικές συνθήκες ηλιακού φωτός και θερμοκρασίας Φ/Β, ενώ επιπλέον υποθέτει ότι

δεν υπάρχει σκίαση στη συσκευή. Οι τυπικές συνθήκες ηλιακού φωτός σε μια καθαρή ημέρα υποτίθεται ότι είναι 1.000 watt ηλιακής ενέργειας ανά τετραγωνικό μέτρο (1000 W / m² ή 1 kW / m²). Αυτό ονομάζεται μερικές φορές ένας ήλιος αιχμής. Λιγότερο από έναν ήλιο θα μειώσει την τρέχουσα έξοδο του Φ/Β κατά ανάλογο ποσό. Για παράδειγμα, εάν είναι διαθέσιμος μόνο μισός ήλιος (500 W / m²), το ρεύμα εξόδου μειώνεται κατά το ήμισυ.

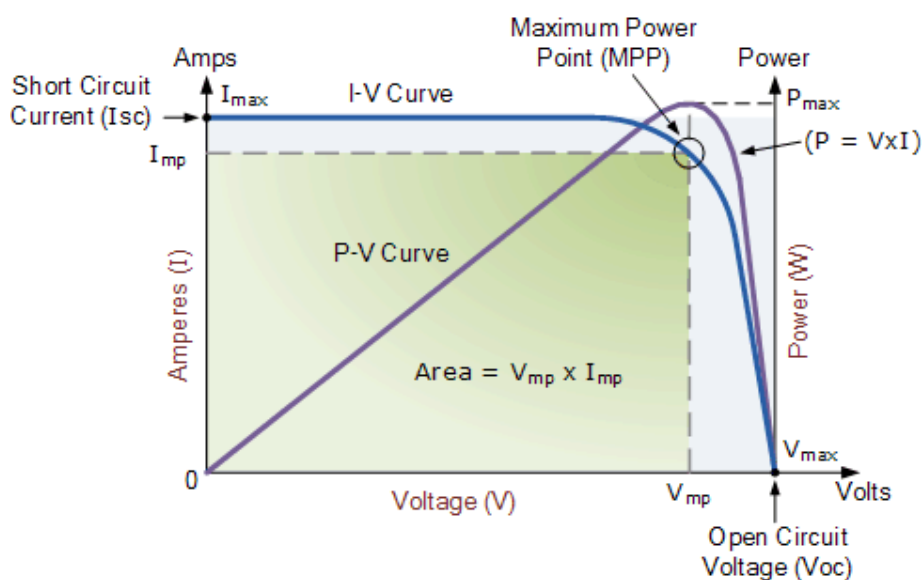
Οι χαρακτηριστικές καμπύλες ηλιακών κυψελών I-V παρουσιάζουν τα χαρακτηριστικά ρεύματος και τάσης (I-V) ενός συγκεκριμένου φωτοβολταϊκού στοιχείου ή πλαισίου που παρέχει λεπτομερή περιγραφή της ικανότητας και της αποδοτικότητας της μετατροπής της ηλιακής ενέργειας. Η γνώση των ηλεκτρικών χαρακτηριστικών I-V (και κυρίως του P_{max}) ενός ηλιακού στοιχείου ή πλαισίου είναι κρίσιμη για τον προσδιορισμό της απόδοσης της συσκευής και της ηλιακής απόδοσης.

Τα φωτοβολταϊκά στοιχεία μετατρέπουν τον ήλιο ακτινοβολούν απευθείας σε ηλεκτρισμό. Με την αυξανόμενη ζήτηση για μια καθαρή πηγή ενέργειας και το δυναμικό του ήλιου ως ελεύθερη πηγή ενέργειας, η μετατροπή της ηλιακής ενέργειας ως μέρος ενός μείγματος ανανεώσιμων πηγών ενέργειας έχει όλο και μεγαλύτερη σημασία. Ως αποτέλεσμα, η ζήτηση αποδοτικών ηλιακών κυττάρων, τα οποία μετατρέπουν το ηλιακό φως απευθείας σε ηλεκτρισμό, αυξάνεται ταχύτερα από ποτέ.

Τα φωτοβολταϊκά στοιχεία κατασκευάζονται σχεδόν εξ ολοκλήρου από πυρίτιο που έχει υποστεί επεξεργασία σε μια εξαιρετικά καθαρή κρυσταλλική μορφή που απορροφά τα φωτόνια από το ηλιακό φως και στη συνέχεια τα απελευθερώνει ως ηλεκτρόνια προκαλώντας ρεύμα ηλεκτρικού ρεύματος όταν το φωτοαγωγίμο στοιχείο συνδέεται με εξωτερικό φορτείο. Υπάρχει μια ποικιλία διαφορετικών μετρήσεων που μπορούμε να κάνουμε για να καθορίσουμε την απόδοση του ηλιακού στοιχείου, όπως η ισχύς του και η απόδοση μετατροπής του.

Τα κύρια ηλεκτρικά χαρακτηριστικά ενός φωτοβολταϊκού στοιχείου συνοψίζονται στη σχέση μεταξύ του ρεύματος και της τάσης που παράγεται σε μια χαρακτηριστική καμπύλη χαρακτηριστικών ηλιακού κυττάρου I-V. Η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας (ηλιακή ακτινοβολία) που πλήττει την κυψέλη ελέγχει το ρεύμα (I), ενώ η αύξηση της θερμοκρασίας του ηλιακού στοιχείου μειώνει την τάση (V). Τα φωτοβολταϊκά στοιχεία παράγουν ρεύμα συνεχούς ρεύματος (DC) και η τρέχουσα τάση χρόνου ισούται με την ισχύ, έτσι ώστε να μπορούμε να δημιουργήσουμε καμπύλες I-V ηλιακών κυψελών που αντιπροσωπεύουν το ρεύμα έναντι της τάσης για μια φωτοβολταϊκή συσκευή (Fox, et al. 2015).

Οι καμπύλες είναι βασικά μια γραφική απεικόνιση της λειτουργίας ενός ηλιακού στοιχείου ή μονάδας που συνοψίζει τη σχέση μεταξύ ρεύματος και τάσης στις υπάρχουσες συνθήκες ακτινοβολίας και θερμοκρασίας. Οι καμπύλες I-V παρέχουν τις πληροφορίες που απαιτούνται για τη διαμόρφωση ενός ηλιακού συστήματος έτσι ώστε να μπορεί να λειτουργεί όσο το δυνατόν πιο κοντά στο βέλτιστο σημείο ισχύος αιχμής (MPP) (Yiting D., 2013).



Εικόνα Νο.4 – Διάγραμμα Καμπύλης I-V (2)

Το ανωτέρω γράφημα (βλ. εικόνα Νο.4) δείχνει τα χαρακτηριστικά τρέχουσας τάσης (I-V) ενός τυπικού κυψελωτού κυττάρου πυριτίου που λειτουργεί υπό κανονικές συνθήκες. Η ισχύς που παράγεται από ένα ηλιακό

στοιχείο είναι το προϊόν ρεύματος και τάσης ($I \times V$). Εάν ο πολλαπλασιασμός γίνει, σημείο προς σημείο, για όλες τις τάσεις από συνθήκες βραχυκυκλώματος προς ανοικτό κύκλωμα, η καμπύλη ισχύος παραπάνω λαμβάνεται για δεδομένη στάθμη ακτινοβολίας. Με το ανοικτό κύκλωμα του ηλιακού στοιχείου, το οποίο δεν συνδέεται με οποιοδήποτε φορτίο, το ρεύμα θα είναι στο ελάχιστο (μηδέν) και η τάση στο κελί είναι στο μέγιστο, γνωστή ως τάση ανοιχτού κυκλώματος ηλιακών κυψελών ή V_{oc} .

Στο άλλο άκρο, όταν η ηλιακή κυψέλη είναι βραχυκυκλωμένη, δηλαδή οι θετικοί και οι αρνητικοί αγωγοί που συνδέονται μεταξύ τους, η τάση σε όλη την κυψέλη είναι στο ελάχιστο (μηδέν), αλλά το ρεύμα που ρέει έξω από το κύτταρο φτάνει στο μέγιστο του, γνωστό ως το ρεύμα βραχυκυκλώματος ηλιακών κυψελών ή το I_{sc} (Pingel, et al, 2010).

Στη συνέχεια, το εύρος της καμπύλης χαρακτηριστικών ηλιακών κυψελών I - V κυμαίνεται από το ρεύμα βραχυκυκλώματος (I_{sc}) σε μηδενικά βολτ εκροής έως το μηδενικό ρεύμα στην πλήρη τάση ανοικτού κυκλώματος (V_{oc}). Με άλλα λόγια, η μέγιστη τάση που είναι διαθέσιμη από ένα κύτταρο είναι σε ανοικτό κύκλωμα και το μέγιστο ρεύμα στο κλειστό κύκλωμα. Φυσικά, καμία από αυτές τις δύο συνθήκες δεν παράγει ηλεκτρική ενέργεια, αλλά πρέπει να υπάρχει ένα σημείο κάπου ανάμεσα στο ότι η ηλιακή κυψέλη παράγει μέγιστη ισχύ.

Ωστόσο, υπάρχει ένας συγκεκριμένος συνδυασμός ρεύματος και τάσης για τον οποίο η ισχύς φτάνει τη μέγιστη τιμή της, στα I_{mp} και V_{mp} . Με άλλα λόγια, το σημείο στο οποίο το κύτταρο παράγει μέγιστη ηλεκτρική ισχύ και αυτό φαίνεται στην πάνω δεξιά περιοχή του πράσινου ορθογωνίου. Αυτό είναι το "μέγιστο σημείο ισχύος" ή το MPP. Επομένως, η ιδανική λειτουργία ενός φωτοβολταϊκού στοιχείου ορίζεται ως το μέγιστο σημείο ισχύος.

Το μέγιστο σημείο ισχύος (MPP) ενός ηλιακού στοιχείου είναι τοποθετημένο κοντά στην κάμψη στην καμπύλη χαρακτηριστικών I - V . Οι αντίστοιχες τιμές των V_{mp} και I_{mp} μπορούν να εκτιμηθούν από την τάση

ανοικτού κυκλώματος και το ρεύμα βραχυκυκλώματος: $V_{mp} \approx (0.8-0.90) V_{oc}$ και $I_{mp} \approx (0.85-0.95) I_{sc}$. Δεδομένου ότι η τάση και το ρεύμα εξόδου του ηλιακού στοιχείου εξαρτώνται από τη θερμοκρασία, η πραγματική ισχύς εξόδου ποικίλει ανάλογα με τις αλλαγές στη θερμοκρασία περιβάλλοντος.

2.3 Βαθμός Απόδοσης Ηλιακού Κυττάρου

Οι αβεβαιότητες στα έσοδα με την πάροδο του χρόνου αφορούν κυρίως την αξιολόγηση του ηλιακού πόρου και την απόδοση του ίδιου του συστήματος. Στην καλύτερη περίπτωση, οι αβεβαιότητες είναι τυπικά 4% για τη διακύμανση του κλίματος από έτος σε έτος, 5% για την εκτίμηση των ηλιακών πόρων (σε οριζόντιο επίπεδο), 3% για την εκτίμηση της ακτινοβολίας στο επίπεδο της συστοιχίας, 3% για την ισχύ βαθμολογία των μονάδων, 2% για τις απώλειες που οφείλονται στη ρύπανση και τη ρύπανση, 1,5% για τις απώλειες λόγω χιονιού και 5% για άλλες πηγές σφαλμάτων (Swanson, et al, 2005).

Ο προσδιορισμός και η αντίδραση στις διαχειρίσιμες ζημιές είναι κρίσιμη για τα έσοδα και την αποδοτικότητα του συστήματος. Η παρακολούθηση της απόδοσης των συστοιχιών μπορεί να είναι μέρος συμβατικών συμφωνιών μεταξύ του ιδιοκτήτη του πίνακα, του οικοδόμου και του χρηστή που αγοράζει την παραγόμενη ενέργεια.

Η μέθοδος για τη δημιουργία "συνθετικών ημερών" χρησιμοποιώντας άμεσα διαθέσιμα δεδομένα και επαληθεύσεις με χρήση του Open Solar rs Field Test, επιτρέπουν την πρόβλεψη της απόδοσης των φωτοβολταϊκών συστημάτων με υψηλό βαθμό ακρίβειας. Αυτή η μέθοδος μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον προσδιορισμό των μηχανισμών απώλειας σε τοπική κλίμακα - όπως αυτές που προέρχονται από το χιόνι ή τις επιδράσεις επιφανειακών επιστρώσεων (π.χ. υδρόφοβων ή υδρόφιλων). Παρά το γεγονός ότι σε βαριά χιονοειδή περιβάλλοντα με σοβαρές παρεμβολές στο έδαφος μπορεί να προκύψουν ετήσιες απώλειες από το χιόνι κατά 30% (Yiting D., 2013).

Η πρόσβαση στο Internet επέτρεψε την περαιτέρω βελτίωση της παρακολούθησης της ενέργειας και της επικοινωνίας. Για τα ηλιακά φωτοβολταϊκά συστήματα που χρησιμοποιούν μικροεπεξεργαστές (μετατροπή DC-AC σε πίνακα), παρέχονται αυτόματα δεδομένα ισχύος μονάδας. Ορισμένα συστήματα επιτρέπουν τη ρύθμιση προειδοποιήσεων απόδοσης που ενεργοποιούν τις προειδοποιήσεις τηλεφώνου / email / κειμένου όταν φθάνουν τα όρια. Αυτές οι λύσεις παρέχουν δεδομένα για τον ιδιοκτήτη του συστήματος και τον εγκαταστάτη. Οι εγκαταστάτες έχουν τη δυνατότητα να παρακολουθούν εξ αποστάσεως πολλές εγκαταστάσεις και να δουν με μια ματιά την κατάσταση ολόκληρης της εγκατεστημένης βάσης τους (Yiting D., 2013).

Κεφάλαιο 3^ο – Φωτοβολταϊκό Σύστημα

3.1 Τμήματα Φ/Β Συστήματος

Η ισορροπία των συνιστωσών του συστήματος φωτοβολταϊκού συστήματος Balance Of Systems (BOS), ισορροπεί αντίστοιχα το υποσύστημα παραγωγής ισχύος της ηλιακής γεννήτριας (αριστερή πλευρά) με την πλευρά που χρησιμοποιεί τις συσκευές AC και το δίκτυο ηλεκτρικού ρεύματος (Ringel, et al, 2010). Ένα φωτοβολταϊκό σύστημα για οικιακή, εμπορική ή βιομηχανική παροχή ενέργειας, αποτελείται από την ηλιακή συστοιχία και μια σειρά από στοιχεία που συνοψίζονται συχνά ως το υπόλοιπο του συστήματος.

Τα εξαρτήματα BOS περιλαμβάνουν εξοπλισμό κλιματισμού και δομές για τη συναρμολόγηση, συνήθως έναν ή περισσότερους μετατροπείς ισχύος DC σε AC, επίσης γνωστούς ως αντιστροφείς, μια συσκευή αποθήκευσης ενέργειας, ένα σύστημα ραφιών που υποστηρίζει την ηλιακή συστοιχία, τις ηλεκτρικές καλωδιώσεις και τις διασυνδέσεις, άλλα στοιχεία.

Προαιρετικά, μια ισορροπία του συστήματος μπορεί να περιλαμβάνει κάποια ή όλα τα παρακάτω: μετρητή ποιότητας των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, συσκευή παρακολούθησης μέγιστης ισχύος (MPPT), σύστημα μπαταριών και φορτιστή, GPS ηλιακή συσκευή παρακολούθησης, λογισμικό διαχείρισης ενέργειας, αισθητήρες ηλιακής ακτινοβολίας, ή αξεσουάρ ειδικά για συγκεκριμένες εργασίες που έχουν σχεδιαστεί για να πληρούν εξειδικευμένες απαιτήσεις για έναν ιδιοκτήτη συστήματος. Επιπλέον, ένα σύστημα CPV απαιτεί οπτικούς φακούς ή κάτοπτρα και μερικές φορές σύστημα ψύξης.

Οι όροι "ηλιακή συστοιχία" και "φωτοβολταϊκό σύστημα", χρησιμοποιούνται συχνά λανθασμένα εναλλακτικά, παρά το γεγονός ότι η ηλιακή συστοιχία δεν καλύπτει ολόκληρο το σύστημα. Επιπλέον, το "ηλιακό πάνελ" χρησιμοποιείται συχνά ως συνώνυμο της "ηλιακής μονάδας", αν και

ένα πάνελ αποτελείται από μια σειρά από διάφορες μονάδες. Ο όρος "ηλιακό σύστημα" είναι επίσης μια συχνά χρησιμοποιούμενη εσφαλμένη ονομασία για ένα φωτοβολταϊκό σύστημα (Yiting D., 2013).

Επίσης, τα συμβατικά φωτοβολταϊκά στοιχεία c-Si, κανονικά συνδεδεμένα σε σειρά, είναι ενσωματωμένα σε μια ηλιακή μονάδα για να τα προστατεύσουν από τις καιρικές συνθήκες. Το φωτοβολταϊκό στοιχείο αποτελείται από ένα γυαλί με συγκόλληση ως κάλυμμα, ένα μαλακό και εύκαμπτο υλικό εγκλεισμού, ένα οπίσθιο κάτω φύλλο κατασκευασμένο από ανθεκτικό στο καιρό και ανθεκτικό στη φωτιά υλικό και ένα πλαίσιο αλουμινίου γύρω από την εξωτερική άκρη.

Ηλεκτρικά συνδεδεμένα και τοποθετημένα σε μια δομή στήριξης, οι ηλιακές μονάδες κατασκευάζουν μια σειρά από δομοστοιχεία, συχνά αποκαλούμενα ηλιακά πάνελ. Μια ηλιακή συστοιχία αποτελείται από ένα ή περισσότερα τέτοια πάνελ. Μια φωτοβολταϊκή συστοιχία ή μια ηλιακή συστοιχία είναι μια συνδεδεμένη συλλογή ηλιακών μονάδων. Η ισχύς που μπορεί να παράγει μία μονάδα είναι σπάνια αρκετά για να ικανοποιήσει τις απαιτήσεις ενός σπιτιού ή μιας επιχείρησης, έτσι ώστε οι ενότητες συνδέονται μαζί για να σχηματίσουν έναν πίνακα.

Οι περισσότερες φωτοβολταϊκές συστοιχίες χρησιμοποιούν μετατροπέα για να μετατρέψουν την ισχύ DC που παράγεται από τις μονάδες σε εναλλασσόμενο ρεύμα που μπορεί να τροφοδοτήσει τα φώτα, τους κινητήρες και άλλα φορτία. Οι μονάδες σε μια φωτοβολταϊκή γεννήτρια συνήθως συνδέονται πρώτα εν σειρά για να αποκτήσουν την επιθυμητή τάση. Οι μεμονωμένες μονάδες συνδέονται στη συνέχεια παράλληλα για να επιτρέψουν στο σύστημα να παράγει περισσότερο ρεύμα.

Οι ηλιακοί συλλέκτες τυπικά μετρούνται υπό STC (τυπικές συνθήκες δοκιμής) ή PTC (συνθήκες δοκιμής PVUSA), σε Watt. Οι τυπικές εκτιμήσεις των πάνελ κυμαίνονται από λιγότερο από 100 Watts έως πάνω από 400 Watts. Η ταξινόμηση των συστοιχιών αποτελείται από ένα άθροισμα των χαρακτηριστικών του πάνελ, σε Watts, Kilowatts, Megawatts (Fox, et al.

2015).

3.2 Αντιστροφείς ή Μετατροπείς

Τα συστήματα που σχεδιάζονται για την παροχή εναλλασσόμενου ρεύματος (AC), όπως εφαρμογές συνδεδεμένες στο δίκτυο, χρειάζονται αντιστροφή για μετατροπή του συνεχούς ρεύματος (DC) από τις ηλιακές μονάδες σε εναλλασσόμενο (AC). Οι μετατροπείς που είναι συνδεδεμένοι στο δίκτυο πρέπει να τροφοδοτούν εναλλασσόμενο ρεύμα σε ημιτονοειδή μορφή, να συγχρονίζονται με τη συχνότητα του δικτύου, να περιορίζουν την τροφοδοσία τάσης σε τιμή υψηλότερη από την τάση του δικτύου και να αποσυνδέονται από το δίκτυο εάν η τάση του δικτύου είναι απενεργοποιημένη. Οι μετατροπείς νησιδίων πρέπει να παράγουν μόνο ρυθμιζόμενες τάσεις και συχνότητες σε ημιτονοειδή κυματομορφή, καθώς δεν απαιτείται συγχρονισμός ή συντονισμός με την παροχή δικτύου (Yiting D., 2013).



Εικόνα No.5 – Κεντρικός αντιστροφέας Sunny Central

Ένας ηλιακός μετατροπέας μπορεί να συνδεθεί σε μια σειρά με εκείνη των ηλιακών συλλεκτών. Σε ορισμένες εγκαταστάσεις ένας ηλιακός μικρο-αντιστροφέας (βλ. Εικόνα No.6) συνδέεται σε κάθε ηλιακή στοιχειοσειρά. Για

λόγους ασφαλείας παρέχεται ένας διακόπτης τόσο στην πλευρά εναλλασσόμενου ρεύματος όσο και στην πλευρά DC για να είναι δυνατή η συντήρηση. Η έξοδος AC μπορεί να συνδεθεί μέσω ενός μετρητή ηλεκτρικού ρεύματος στο δημόσιο δίκτυο (Yiting D., 2013).



Εικόνα Νο.6 – μικρό-αντιστροφέας Sunny Boy 2.5VL-40

Ο αριθμός των μονάδων στο σύστημα καθορίζει τα συνολικά DC Watts που μπορεί να παραχθεί από την ηλιακή συστοιχία. Ωστόσο, ο μετατροπέας ρυθμίζει τελικά την ποσότητα των AC Watt που μπορεί να διανεμηθεί για κατανάλωση. Για παράδειγμα, ένα φωτοβολταϊκό σύστημα που περιλαμβάνει φωτοβολταϊκές μονάδες 11 kW (kW_{DC}), σε συνδυασμό με έναν μετατροπέα AC (kW_{AC}) 10kW, θα περιορίζεται στην απόδοση του μετατροπέα 10 kW.

Από το 2014, η αποδοτικότητα μετατροπής της ηλιακής ενέργειας σε ηλεκτρική για υπερσύγχρονους μετατροπείς, έφτασε περισσότερο από 98%. Ενώ οι μετατροπείς στοιχειοσειρών χρησιμοποιούνται σε οικιακά έως μεσαίου μεγέθους εμπορικά φωτοβολταϊκά συστήματα, οι κεντρικοί μετατροπείς καλύπτουν την μεγάλη εμπορική και χρησιμότητα κλίμακας αγορά. Το μερίδιο αγοράς για κεντρικούς μετατροπείς και μετατροπείς στοιχειοσειρών είναι περίπου 50 τοις εκατό και 48 τοις εκατό, αντίστοιχα, αφήνοντας λιγότερο από 2 τοις εκατό σε μικρο-μετατροπείς (Fox, et al. 2015).

Η παρακολούθηση σημείων μέγιστης ισχύος (MPPT) είναι μια τεχνική

που χρησιμοποιούν οι μετατροπείς που συνδέονται με το δίκτυο για τη μέγιστη δυνατή ισχύ από τη φωτοβολταϊκή γεννήτρια. Για να γίνει αυτό, το σύστημα MPPT του μετατροπέα δειγματίζει ψηφιακά την συνεχώς μεταβαλλόμενη ισχύ εξόδου της ηλιακής γεννήτριας και εφαρμόζει την κατάλληλη αντίσταση για να βρει το βέλτιστο σημείο μέγιστης ισχύος (Pingel, et al, 2010).

Η λειτουργία της νησιδοποίησης είναι ένας μηχανισμός προστασίας που διακόπτει αμέσως τον αντιστροφέα, αποτρέποντάς του από τη δημιουργία εναλλασσόμενου ρεύματος όταν η σύνδεση με το φορτίο δεν υπάρχει πλέον. Αυτό συμβαίνει, για παράδειγμα, σε περίπτωση διακοπής ρεύματος. Χωρίς αυτή την προστασία, η γραμμή τροφοδοσίας θα γίνει ένα «νησί» με ισχύ που θα περιβάλλεται από μια «θάλασσα» από αδιόρατες γραμμές, καθώς η ηλιακή συστοιχία συνεχίζει να παρέχει ισχύ DC κατά τη διακοπή ρεύματος. Η νησιωτική δραστηριότητα είναι ένας κίνδυνος για τους εργαζόμενους στον τομέα των υπηρεσιών κοινής ωφέλειας, οι οποίοι μπορεί να μην συνειδητοποιήσουν ότι ένα κύκλωμα εναλλασσόμενου ρεύματος εξακολουθεί να τροφοδοτείται και μπορεί να αποτρέψει την αυτόματη επανασύνδεση (Yiting D., 2013).

3.3 Φ/Β Συστοιχίες

Τα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά μιας φωτοβολταϊκής συστοιχίας συνοψίζονται στη σχέση μεταξύ του ρεύματος εξόδου και της τάσης. Η ποσότητα και η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας (ηλιακή ακτινοβολία) ελέγχει την ποσότητα ρεύματος εξόδου (I) και η θερμοκρασία λειτουργίας των ηλιακών κυψελών επηρεάζει την τάση εξόδου (V) της φωτοβολταϊκής γεννήτριας. Οι καμπύλες χαρακτηριστικών ηλιακών κυψελών $I-V$ που συνοψίζουν τη σχέση μεταξύ ρεύματος και τάσης παρέχονται γενικά από τον κατασκευαστή των πλαισίων και δίδονται ως (Fox, et al. 2015):

Οι παράμετροι της ηλιακής συστοιχίας

- VOC = τάση ανοικτού κυκλώματος - Αυτή είναι η μέγιστη τάση που παρέχει η σειρά όταν οι ακροδέκτες δεν είναι συνδεδεμένοι σε οποιοδήποτε φορτίο (κατάσταση ανοικτού κυκλώματος). Αυτή η τιμή είναι πολύ υψηλότερη από το V_{mp} που σχετίζεται με τη λειτουργία της φωτοβολταϊκής γεννήτριας η οποία καθορίζεται από το φορτίο. Αυτή η τιμή εξαρτάται από τον αριθμό των φωτοβολταϊκών πλαισίων που συνδέονται μεταξύ τους σε σειρά.
- ISC = ρεύμα βραχυκυκλώματος - Το μέγιστο ρεύμα που παρέχεται από τη φωτοβολταϊκή γεννήτρια όταν τα βύσματα εξόδου είναι βραχυκυκλωμένα (κατάσταση βραχυκυκλώματος). Αυτή η τιμή είναι πολύ υψηλότερη από το I_{mp} που σχετίζεται με το κανονικό ρεύμα κυκλώματος λειτουργίας.
- MPP = μέγιστο σημείο ισχύος - Αυτό σχετίζεται με το σημείο όπου η ισχύς που τροφοδοτείται από τη συστοιχία που είναι συνδεδεμένη στο φορτίο (μπαταρίες, μετατροπείς) είναι στη μέγιστη τιμή της, όπου $MPP = I_{mp} \times V_{mp}$. Το μέγιστο σημείο ισχύος μίας φωτοβολταϊκής συστοιχίας μετράται σε Watt (W) ή μέγιστη Watt (W_p).
- FF = συντελεστής πλήρωσης - Ο συντελεστής πλήρωσης είναι η σχέση μεταξύ της μέγιστης ισχύος που μπορεί να παράσχει ο πίνακας υπό κανονικές συνθήκες λειτουργίας και του προϊόντος της τάσης ανοικτού κυκλώματος για το ρεύμα βραχυκυκλώματος ($V_{oc} \times I_{sc}$). Αυτός ο συντελεστής πληρότητας η τιμή δίνει μια ιδέα για την ποιότητα της συστοιχίας και όσο πιο κοντά ο συντελεστής πληρότητας είναι 1 (ενότητα), τόσο περισσότερη δύναμη μπορεί να προσφέρει ο πίνακας. Οι τυπικές τιμές είναι μεταξύ 0,7 και 0,8.
- $\% \text{ eff}$ = ποσοστό αποδοτικότητας - Η απόδοση μιας φωτοβολταϊκής συστοιχίας είναι ο λόγος μεταξύ της μέγιστης ηλεκτρικής ισχύος που μπορεί να παράγει η συστοιχία σε σύγκριση με την ποσότητα ηλιακής ακτινοβολίας που χτυπά τη συστοιχία. Τα κύτταρα μονοκρυσταλλικού

πυριτίου, έχουν πάχος γύρω στα 0.3 χιλιοστά και η απόδοση τους στη βιομηχανία κυμαίνεται από 15-18% για το πλαίσιο. Σε εργαστηριακές δοκιμές έχουν επιτευχθεί ακόμα μεγαλύτερες αποδόσεις έως και 24.7%. Σε εργαστηριακές εφαρμογές, έχουν επιτευχθεί αποδόσεις έως και 20%, ενώ στο εμπόριο τα πολυκρυσταλλικά στοιχεία διατίθενται με αποδόσεις από 13 έως 15% για τα φωτοβολταϊκά πάνελ.

- % PR = δείκτης απόδοσης (Performance Ratio) όπου ορίζεται από τη σχέση της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας (E_{out}) του Φ/Β σταθμού προς την εισερχόμενη ηλιακή ενέργεια (E_{in}) του Φ/Β σταθμού στην επιφάνεια των Φ/Β πλαισίων. $PR = E_{out} / E_{in} \cdot 100\%$

Χαρακτηριστικές καμπύλες ηλιακών κυψελών I-V, είναι γραφικές παραστάσεις της τάσης εξόδου σε σχέση με το ρεύμα για διαφορετικά επίπεδα ηλιακής ακτινοβολίας και θερμοκρασίας και μπορούν να σας πουν πολλά για την ικανότητα της φωτοβολταϊκής κυψέλης ή του πάνελ να μετατρέπει το ηλιακό φως σε ηλεκτρική ενέργεια. Οι σημαντικότερες τιμές για τον υπολογισμό μιας συγκεκριμένης ονομαστικής ισχύος είναι η τάση και το ρεύμα στη μέγιστη ισχύ (Yiting D., 2013).

Ορισμένοι ηλιακοί συλλέκτες βαθμολογούνται σε ελαφρώς υψηλότερες ή χαμηλότερες τάσεις από άλλες με την ίδια τιμή ισχύος και αυτό επηρεάζει την ποσότητα ρεύματος που είναι διαθέσιμη και επομένως τα πάνελ MPP. Άλλες παράμετροι είναι επίσης σημαντικές οι τάσεις ανοιχτού κυκλώματος και οι ονομαστικές τιμές ρεύματος βραχυκυκλώματος από άποψη ασφάλειας, ιδιαίτερα η ονομαστική τάση. Μια στοιχειοσειρά έξι πάνελ σε σειρά, ενώ έχει ονομαστική τάση 72 Volt (6 x 12), θα μπορούσε ενδεχομένως να παράγει τάση ανοικτού κυκλώματος πάνω από 120 Volt DC, το οποίο είναι περισσότερο από αρκετό για να είναι επικίνδυνο.

Οι καμπύλες χαρακτηριστικών φωτοβολταϊκών I-V παρέχουν τις πληροφορίες που απαιτούνται για να διαμορφώσουμε μια συστοιχία ηλιακής ενέργειας έτσι ώστε να μπορεί να λειτουργεί όσο το δυνατόν πιο κοντά στο μέγιστο σημείο ισχύος της. Το μέγιστο σημείο ισχύος μετράται καθώς η

φωτοβολταϊκή μονάδα παράγει τη μέγιστη ισχύ της όταν εκτίθεται σε ηλιακή ακτινοβολία ισοδύναμη με 1000 watts ανά τετραγωνικό μέτρο, 1000 W / m² ή 1kW / m² (Yiting D., 2013).

Τα συμβατικά φωτοβολταϊκά στοιχεία c-Si, κανονικά ενσύρματα σε σειρά, είναι εγκλωβισμένα σε μια ηλιακή μονάδα για να τα προστατεύσουν από τις καιρικές συνθήκες. Το δομοστοιχείο αποτελείται από ένα γυαλί με συγκόλληση ως κάλυμμα, ένα μαλακό και εύκαμπτο υλικό εγκλεισμού, ένα οπίσθιο φύλλο ράχης από ανθεκτικό στις καιρικές συνθήκες και πυρίμαχο υλικό και ένα πλαίσιο από αλουμίνιο γύρω από την εξωτερική άκρη. Ηλεκτρικά συνδεδεμένα και τοποθετημένα σε δομή στήριξης, οι ηλιακές μονάδες κατασκευάζουν μια σειρά από δομοστοιχεία, συχνά αποκαλούμενα ηλιακά πάνελ. Μια ηλιακή διάταξη αποτελείται από ένα ή περισσότερα τέτοια πλαίσια (Yiting D., 2013).

Μια φωτοβολταϊκή συστοιχία ή μια ηλιακή συστοιχία είναι μια συνδεδεμένη συλλογή των ηλιακών μονάδων. Η ισχύς που μπορεί να παράγει ένα δομοστοιχείο είναι σπάνια αρκετή για να ικανοποιήσει τις απαιτήσεις ενός σπιτιού ή μιας επιχείρησης, έτσι ώστε οι ενότητες συνδέονται μαζί για να σχηματίσουν μια συστοιχία. Οι περισσότερες φωτοβολταϊκές συστοιχίες χρησιμοποιούν μετατροπέα για να μετατρέψουν την ισχύ συνεχούς ρεύματος που παράγεται από τις μονάδες σε εναλλασσόμενο ρεύμα που μπορεί να τροφοδοτήσει τα φώτα, τους κινητήρες και άλλα φορτία (Fox, et al. 2015).

Οι μονάδες σε μια φωτοβολταϊκή γεννήτρια συνήθως συνδέονται πρώτα εν σειρά για να αποκτήσουν την επιθυμητή τάση. Οι μεμονωμένες χορδές συνδέονται στη συνέχεια παράλληλα για να επιτρέψουν στο σύστημα να παράγει περισσότερο ρεύμα.

Μια τυπική φωτοβολταϊκή μονάδα "150 Watt" έχει μέγεθος περίπου 1.5 τετραγωνικών μέτρων. Μια τέτοια ενότητα μπορεί να αναμένεται να παράγει κατά μέσον όρο 0,75 kWh σε ένα διάστημα ηλιοφάνειας 5 ωρών ανά ημέρα, λαμβάνοντας υπόψη συνθήκες που μπορούν να επηρεάσουν τη παραγωγή αυτή όπως είναι ο καιρός και το γεωγραφικό πλάτος. Τα τελευταία 10 χρόνια,

η απόδοση των μέσων εμπορικών μονάδων κρυσταλλικού πυριτίου αυξήθηκε από περίπου 12% σε 16% και η αποδοτικότητα της μονάδας CdTe αυξήθηκε από 9% σε 13% κατά την ίδια περίοδο. Η έξοδος της μονάδας και η διάρκεια ζωής υποβαθμίζονται λόγω της αυξημένης θερμοκρασίας. Οι φωτοβολταϊκές μονάδες έχουν μέσο όρο ζωής 25 έτη (Fox, et al. 2015).

Η περίοδος απόσβεσης για μια επένδυση σε μια ηλιακή φωτοβολταϊκή εγκατάσταση ποικίλλει σημαντικά και είναι συνήθως λιγότερο χρήσιμη από τον υπολογισμό της απόδοσης της επένδυσης. Αν και συνήθως υπολογίζεται ότι είναι μεταξύ 10 και 20 ετών, η περίοδος οικονομικής αποπληρωμής μπορεί να είναι πολύ μικρότερη με κίνητρα. Λόγω της χαμηλής τάσης ενός μεμονωμένου ηλιακού κυττάρου (τυπικά περίπου 0,5V), αρκετά καλώδια είναι ενσύρματα (βλέπε επίσης χαλκό που χρησιμοποιείται σε φωτοβολταϊκά συστήματα) εν σειρά στην κατασκευή ενός "πολυστρωματικού".

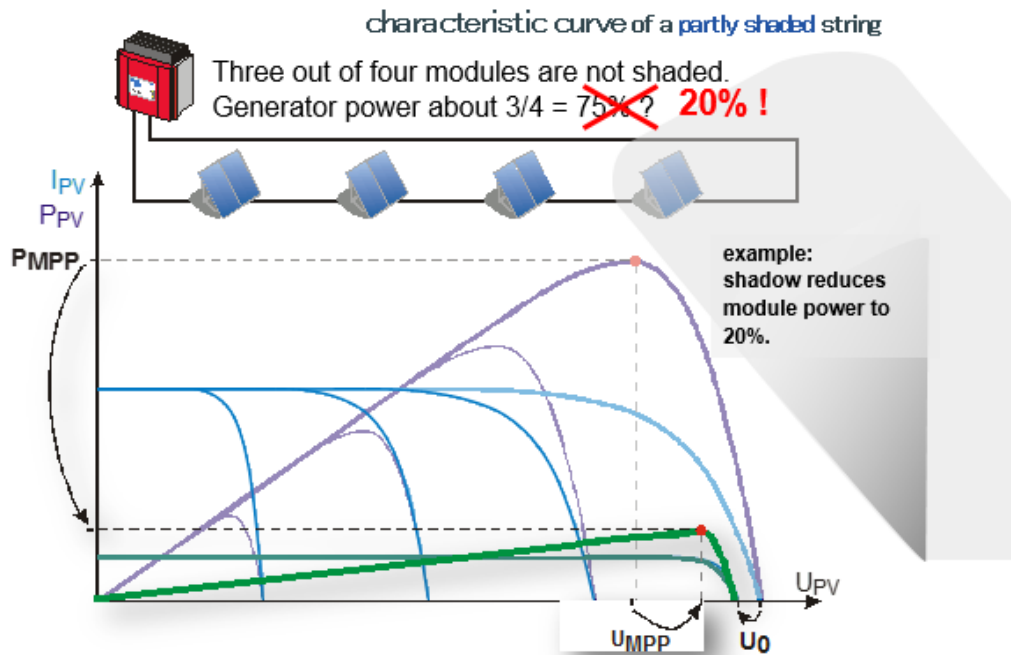
Το έλασμα συναρμολογείται σε προστατευτικό στεγανό περίβλημα, κάνοντας έτσι ένα φωτοβολταϊκό στοιχείο ή ένα ηλιακό πάνελ. Οι μονάδες μπορούν στη συνέχεια να συσπειρωθούν μαζί σε μια φωτοβολταϊκή διάταξη. Το 2012, οι ηλιακοί συλλέκτες που είναι διαθέσιμοι για τους καταναλωτές μπορούν να έχουν απόδοση έως περίπου 17%, ενώ τα εμπορικά διαθέσιμα πάνελ μπορούν να φτάσουν μέχρι το 27%. Έχει καταγραφεί ότι μια ομάδα από το The Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems δημιούργησε ένα κύτταρο που μπορεί να φτάσει σε απόδοση 44,7%, πράγμα που κάνει τις ελπίδες των επιστημόνων να φθάσουν το όριο απόδοσης κατά 50% πολύ πιο εφικτό (Yiting D., 2013).

Η ηλεκτρική έξοδος των φωτοβολταϊκών κυττάρων είναι εξαιρετικά ευαίσθητη στη σκίαση. Τα αποτελέσματα αυτής της σκίασης είναι γνωστά. Όταν ακόμη και ένα μικρό τμήμα μιας κυψέλης, της μονάδας ή της συστοιχίας είναι σκιασμένο, ενώ το υπόλοιπο είναι στο ηλιακό φως, η έξοδος πέφτει δραματικά εξαιτίας του εσωτερικού «βραχυκυκλώματος» (τα ηλεκτρόνια αντιστρέφοντας την πορεία μέσα από το σκιασμένο τμήμα της διακλάδωσης p-n).

Αν το ρεύμα που προέρχεται από τη σειριακή σειρά των κυψελών δεν είναι μεγαλύτερο από το ρεύμα που μπορεί να παραχθεί από το σκιασμένο κύτταρο, η τρέχουσα ισχύς που αναπτύσσεται από τη στοιχειοσειρά είναι περιορισμένη. Εάν υπάρχει αρκετή τάση από τα υπόλοιπα κελιά σε μια συμβολοσειρά, το ρεύμα θα εξαναγκαστεί μέσω της κυψέλης διασπώντας τη διασταύρωση στο σκιασμένο τμήμα. Αυτή η τάση διάσπασης στα κοινά κύτταρα κυμαίνεται μεταξύ 10 και 30 βολτ. Αντί να προσθέτει στην ισχύ που παράγεται από το πάνελ, η σκιασμένη κυψέλη απορροφά την ισχύ, μετατρέποντάς την σε θερμότητα.

Δεδομένου ότι η ανάστροφη τάση ενός σκιασμένου πλαισίου είναι πολύ μεγαλύτερη από την ορθή τάση ενός μη σκιασμένου, ένα σκιασμένο στοιχείο μπορεί να απορροφήσει την ισχύ πολλών άλλων στοιχείων στη σειρά, επηρεάζοντας δυσανάλογα την ισχύ εξόδου ολόκληρης της στοιχειοσειράς. Για παράδειγμα, ένα μερικώς σκιασμένο πλαίσιο μπορεί να μειώσει την ισχύ της μονάδας κατά 20% (βλ. Εικόνα No.7 – Partly shaded string) Είναι επομένως σημαντικό η φωτοβολταϊκή εγκατάσταση να μην σκιάζεται από δέντρα ή άλλα εμπόδια.

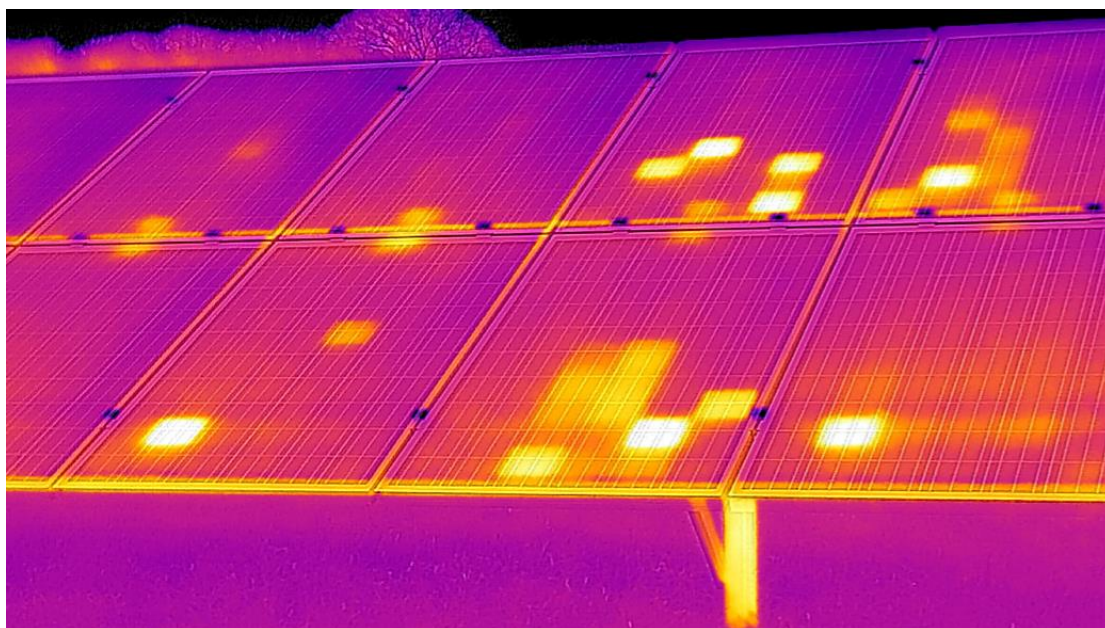
Partly shaded string



Εικόνα No.7 – Partly shaded string

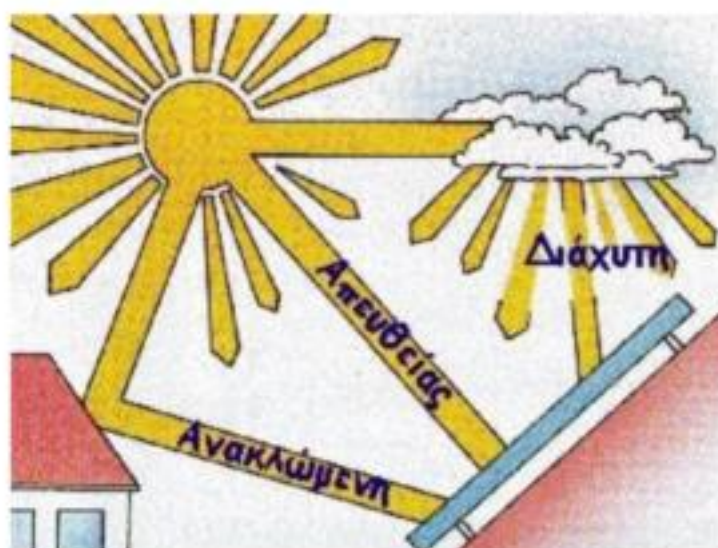
Έχουν αναπτυχθεί αρκετές μέθοδοι για τον προσδιορισμό των απωλειών σκίασης από δέντρα σε φωτοβολταϊκά συστήματα σε μεγάλες περιοχές χρησιμοποιώντας LiDAR, αλλά και σε επίπεδο επιμέρους συστήματος χρησιμοποιώντας το σκίσο (Yiting D., 2013). Οι περισσότερες μονάδες έχουν διόδους παράκαμψης μεταξύ κάθε κελιού ή σειράς κελιών που ελαχιστοποιούν τις επιπτώσεις της σκίασης και χάνουν μόνο τη δύναμη του σκιασμένου τμήματος της συστοιχίας.

Η κύρια εργασία της διόδου παράκαμψης είναι η εξάλειψη των καυτών σημείων (hot solar cells) που σχηματίζονται πάνω στα πλαίσια (βλ. Εικόνα No.8), τα οποία μπορούν να προκαλέσουν περαιτέρω βλάβες στη συστοιχία και να προκαλέσουν πυρκαγιές. Το φως του ήλιου μπορεί να απορροφηθεί από τη σκόνη, το χιόνι ή άλλες ακαθαρσίες στην επιφάνεια του δομοστοιχείου. Αυτό μπορεί να μειώσει το φως που πλήττει τα κελιά.



Εικόνα No.8 – hot Solar cells

Η διατήρηση μιας επιφάνειας καθαρής μονάδας θα αυξήσει την απόδοση εξόδου κατά τη διάρκεια ζωής της μονάδας. Η Google διαπίστωσε ότι ο καθαρισμός των επίπεδων ηλιακών συλλεκτών μετά από 15 μήνες αύξησε την παραγωγή τους κατά περίπου 100%, αλλά ότι οι 5% κλίσεις των συστοιχιών καθαρίστηκαν επαρκώς από τα όμβρια ύδατα (Yiting D., 2013).



Εικόνα No.9 –Αναπαράσταση ηλιακής ακτινοβολίας

Η ηλιακή ακτινοβολία αποτελείται από άμεση, διάχυτη και ανακλώμενη ακτινοβολία (βλ. εικόνα Νο.9) ο συντελεστής απορρόφησης ενός φωτοβολταϊκού στοιχείου ορίζεται ως το κλάσμα της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας που απορροφάται από το κύτταρο. Στο ψηλότερο μεσημέρι σε μια χωρίς σύννεφα ημέρα στον ισημερινό, η ισχύς του ήλιου είναι περίπου $1 \text{ kW} / \text{m}^2$, στην επιφάνεια της Γης, σε ένα επίπεδο που είναι κάθετο στις ακτίνες του ήλιου.

Ως εκ τούτου, οι φωτοβολταϊκές συστοιχίες μπορούν να παρακολουθούν τον ήλιο καθημερινά για να βελτιώσουν σημαντικά τη συλλογή ενέργειας. Εντούτοις, οι συσκευές παρακολούθησης προσθέτουν κόστος και απαιτούν συντήρηση, επομένως είναι πιο συνηθισμένο για τους φωτοβολταϊκούς σταθμούς να εγκαθιστούν σταθερά στηρίγματα φωτοβολταϊκών πλαισίων.

Η γωνία κλίσης, σε σχέση με το οριζόντιο επίπεδο, μπορεί να μεταβάλλεται για την εποχή, αλλά αν είναι σταθερή, θα πρέπει να ρυθμιστεί ώστε να δίνει τη βέλτιστη έξοδο συστοιχίας κατά τη διάρκεια της αιχμής τμήμα ηλεκτρικής ζήτησης ενός τυπικού έτους για ένα αυτόνομο σύστημα. Αυτή η βέλτιστη γωνία κλίσης του Φ/Β πλαισίου δεν είναι απαραίτητως η ίδια με τη γωνία κλίσης για μέγιστη ετήσια ενέργεια εξόδου Φ/Β συστοιχίας.

Η βελτιστοποίηση του φωτοβολταϊκού συστήματος για ένα συγκεκριμένο περιβάλλον μπορεί να είναι περίπλοκη καθώς θα πρέπει να τεθούν σε ισχύ ζητήματα ηλιακής ροής, ρύπανσης και απώλειας χιονιού. Επιπλέον, οι μεταγενέστερες εργασίες έχουν δείξει ότι τα φασματικά αποτελέσματα μπορούν να παίξουν ρόλο στη βέλτιστη επιλογή φωτοβολταϊκού υλικού. Για παράδειγμα, το φασματικό albedo ή λευκαύγεια που είναι το μέτρο ανακλαστικότητας μιας επιφάνειας ή ενός σώματος το οποίο μπορεί να διαδραματίσει σημαντικό ρόλο στην έξοδο ανάλογα με την επιφάνεια γύρω από το φωτοβολταϊκό σύστημα και τον τύπο του υλικού των ηλιακών κυψελών.

Για τις καιρικές συνθήκες και τα γεωγραφικά πλάτη των Ηνωμένων Πολιτειών και της Ευρώπης, η τυπική ηλιακή ακτινοβολία κυμαίνεται από 4 kWh / m² / ημέρα σε βόρειες κλιματικές συνθήκες έως 6,5 kWh / m² / ημέρα στις ηλιόλουστες περιοχές. Μια φωτοβολταϊκή εγκατάσταση στα νότια γεωγραφικά πλάτη της Ευρώπης ή των Ηνωμένων Πολιτειών μπορεί να αναμένει να παράγει 1 kWh / m² / ημέρα. Μια τυπική φωτοβολταϊκή εγκατάσταση 1 kW στην Αυστραλία ή στα νότια γεωγραφικά πλάτη της Ευρώπης ή των Ηνωμένων Πολιτειών μπορεί να παράγει 3,5-5 kWh ανά ημέρα, ανάλογα με την τοποθεσία, τον προσανατολισμό, την κλίση, την ηλιακή ακτινοβολία και άλλους παράγοντες (Yiting D., 2013).

Στην έρημο της Σαχάρας, με λιγότερη κάλυψη από νέφος και καλύτερη ηλιακή γωνία, θα μπορούσε κανείς να βρεθεί ιδανικά πλησιέστερα στα 8,3 kWh / m² / ημέρα, υπό τον όρο ότι ο σχεδόν πάντα παρών αέρας δεν θα έριχνε άμμο πάνω στις μονάδες. Η περιοχή της ερήμου της Σαχάρας είναι πάνω από 9 εκατομμύρια τετραγωνικά χιλιόμετρα. 90.600 km², ή περίπου 1%, θα μπορούσαν να παράγουν τόσο ηλεκτρική ενέργεια όσο και όλες οι μονάδες ηλεκτροπαραγωγής στον κόσμο (Fox, et al. 2015).

Για τα ηλιακά πάρκα τοποθετείται ένα μεγάλο πλαίσιο στο έδαφος και οι μονάδες τοποθετούνται στους σφικτήρες πλαισίων. Για κτίρια, έχουν σχεδιαστεί διάφορες βάσεις πλαισίων, για επίπεδες, καθώς και για κεκλιμένες στέγες. οι βάσεις πλαισίων των ηλιακών συλλεκτών που είναι τοποθετημένες στην κορυφή των στύλων μπορεί να είναι στάσιμες ή να κινούνται. Οι βραχίονες στήριξης είναι κατάλληλοι για καταστάσεις όπου ένας πόλος έχει κάτι άλλο συναρμολογημένο στην κορυφή του, όπως ένα φωτιστικό ή μια κεραία.

Η τοποθέτηση των βάσεων στήριξης στο πεδίο προστατεύει τις φωτοβολταϊκές εγκαταστάσεις από προβλήματα που μπορούν να προκληθούν από εξωτερικούς παράγοντες, όπως σκιές λόγω υψηλής βλάστησης. Επίσης, η χρήση των βάσεων στήριξης μπορεί να προστατέψει τις καλωδιώσεις σύμφωνα με τις απαιτήσεις του ηλεκτρικού κώδικα των

φωτοβολταϊκών εγκαταστάσεων. Τα πάνελ που είναι τοποθετημένα σε πόλο είναι ανοιχτά σε περισσότερο αέρα ψύξης στην κάτω πλευρά τους, γεγονός που αυξάνει την απόδοση. Μια πολλαπλότητα ράβδων κορυφής με ράβδους μπορεί να διαμορφωθεί σε ένα υπόστεγο στάθμευσης ή σε άλλη δομή σκιάς. Μια σχάρα που δεν ακολουθεί τον ήλιο από τα αριστερά προς τα δεξιά μπορεί να επιτρέψει την εποχιακή ρύθμιση προς τα επάνω ή προς τα κάτω (Pingel, et al, 2010).

Κεφάλαιο 4^ο – Φαινόμενο PID

4.1 Ποιοτική Ανάλυση Φαινομένου σε Επίπεδο Συστήματος

Το φαινόμενο της δυνητικής επαγόμενης υποβάθμισης (PID), είναι μια ανεπιθύμητη ιδιότητα ορισμένων ηλιακών μονάδων. Οι παράγοντες που επιτρέπουν το φαινόμενο PID (τάση, θερμότητα και υγρασία) υπάρχουν σε όλα τα φωτοβολταϊκά (Φ/Β) συστήματα, αλλά το φαινόμενο δεν συμβαίνει σε όλα ή/και τα περισσότερα φωτοβολταϊκά συστήματα. Σύμφωνα με τον Δρ. Hacke του Εθνικού Εργαστηρίου Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (NREL), όλες οι μονάδες κρυσταλλικού πυριτίου (c-Si), έχουν στοιχεία αναστρέψιμων και μη αναστρέψιμων μηχανισμών PID. Το κλειδί είναι να κατανοήσει κανείς το βαθμό στον οποίο οι ενότητες αντιμετωπίζουν αυτούς τους μηχανισμούς (Yiting D., 2013).

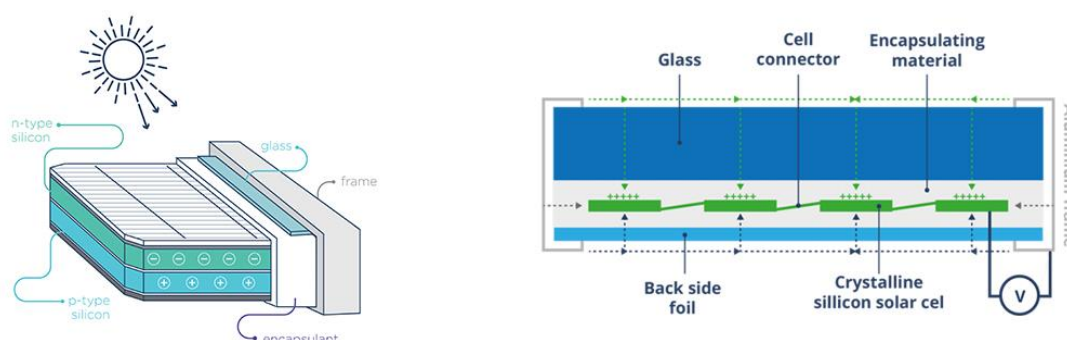
Το φαινόμενο PID αναγνωρίστηκε για πρώτη φορά στη δεκαετία του '70 και έχει μελετηθεί από τότε εκτενώς. Η ταχεία ανάπτυξη των εγκαταστάσεων της Φ/Β εγκατάστασης, σε συνδυασμό με δραματική μείωση σε τιμές μονάδας (και σε ορισμένες περιπτώσεις της ποιότητας μονάδων), έχει αναθερμάνει εκ νέου το ενδιαφέρον για το φαινόμενο. Και επειδή το ζήτημα είναι αρκετά τεχνικό, απαιτώντας τουλάχιστον κάποια κατανόηση της χημείας και της φυσικής, το ανανεωμένο ενδιαφέρον συνοδεύεται από ουσιαστικό φόβο, αβεβαιότητα και αμφιβολίες στην αγορά σήμερα.

Παρόλο που υπάρχουν τρόποι για την άμβλυση του φαινομένου PID και ο μετριασμός δεν είναι πάντα απαραίτητος, η παρούσα Λευκή Βίβλος επικεντρώνεται στις αιτίες και τα αποτελέσματά της σε λειτουργία του Φ/Β σταθμού και την κατάσταση των δοκιμών μέτρησης του PID.

Το φαινόμενο PID (Δυνητική Επαγόμενη Υποβάθμιση) είναι ένα φαινόμενο που επηρεάζει αρνητικά τα κύτταρα των φωτοβολταϊκών μονάδων. Είναι μια διαδικασία που συμβαίνει μόνο λίγα χρόνια μετά την εγκατάσταση.

Το PID προκαλεί επιταχυνόμενη υποβάθμιση της απόδοσης που επεκτείνεται εκθετικά (Yiting, 2013).

Η ανίχνευση του φαινομένου PID σε ένα φωτοβολταϊκό σύστημα με τη σύγκριση δεδομένων εξόδου είναι δύσκολη. Μετά από όλα, η ηλιακή ακτινοβολία εξαρτάται από τον τόπο και τον χρόνο μέτρησης. Γενικά, ο λόγος απόδοσης Performance Ratio (PR) ενός φωτοβολταϊκού πάρκου, θα μειωθεί κατά 30% έως 80% όταν συμβεί το φαινόμενο PID.

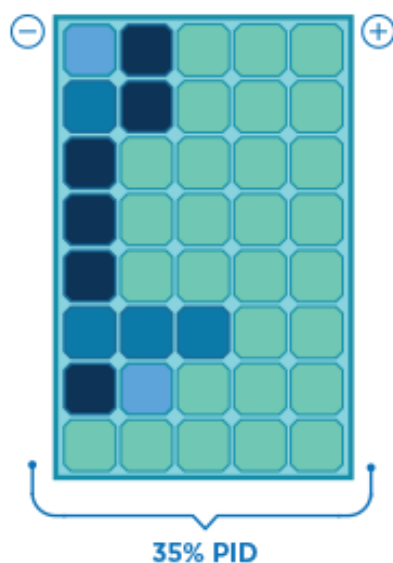


Εικόνα Νο.10 – παραγωγή ηλεκτρισμού από φ/β μονάδες και στοιχειοσειρές.

Για να κατανοήσουμε το φαινόμενο PID, είναι σημαντικό να γνωρίζουμε πώς ο ηλεκτρισμός παράγεται κανονικά από ηλιακούς συλλέκτες. Ένα ηλιακό πάνελ αποτελείται από μεμονωμένα φωτοβολταϊκά στοιχεία. Κάθε ένα από αυτά τα στοιχεία παράγει ηλεκτρική ενέργεια από το συλλεχθέν φως του ήλιου. Τεχνικά μιλώντας, ο συνδυασμός δύο φορτίων ανταλλαγής υλικών ημιαγωγών, με αποτέλεσμα ένα εσωτερικό ηλεκτρικό πεδίο. Το προσπίπτον ηλιακό φως απομακρύνει τα ηλεκτρόνια. Τα ηλεκτρόνια αυτά ρέουν κατά μήκος των επαφών και παράγουν (πράσινο) ηλεκτρισμό (βλ.εικόνα9). Όταν συμβαίνει το φαινόμενο PID, η προαναφερθείσα διεργασία διακόπτεται από την παρουσία φορέων ηλεκτρικού φορτίου, κυρίως τα ιόντα νατρίου του γυαλιού που μετακινούνται προς την ηλιακή κυψέλη και την ένωση pn (βλ.εικόνα 10) (Yiting, 2013).

Οι ενεργοί ηλιακοί συλλέκτες που έχουν αρνητικό δυναμικό σε σχέση με τη γη, έχουν επίσης αυτό το αρνητικό δυναμικό σε σχέση με το γειωμένο σύστημα στήριξης. Λόγω αυτής της δυνητικής διαφοράς, τα φορτία μετακινούνται μέσω των υλικών της φωτοβολταϊκής μονάδας. Αυτή η κίνηση τυπικά συμβαίνει από την γυάλινη πλάκα διαμέσου της εγκαψούλωσης EVA και του ARC (αντι-ανακλαστικού επιχρίσματος) στο κελί. Αυτά τα ηλεκτρικά φορτία έχουν ισχυρή αρνητική επίδραση στην απόδοση του φωτοβολταϊκού κυττάρου. Ως αποτέλεσμα, μια ηλιακή κυψέλη θα παράγει λιγότερη ηλεκτρική ενέργεια όταν επηρεάζεται από το φαινόμενο PID (Yiting, 2013).

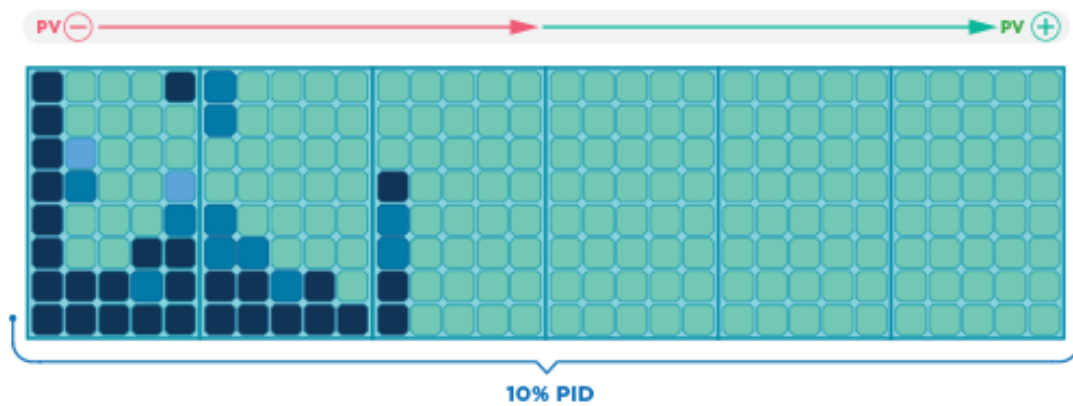
Σε μια μεμονωμένη φωτοβολταϊκή μονάδα, το φαινόμενο PID είναι ισχυρότερο σε κελιά που βρίσκονται στην περιφέρεια (πιο κοντά στο πλαίσιο αλουμινίου). Το φαινόμενο PID είναι λιγότερο ισχυρό σε κελιά που βρίσκονται στο κέντρο της μονάδας (βλ. εικόνα 11)



Εικόνα No.11 –PID σε μεμονωμένη φωτοβολταϊκή μονάδα

Σε μια σειρά από φωτοβολταϊκές μονάδες, το φαινόμενο PID είναι ισχυρότερο σε πλαίσια που είναι πιο κοντά στην αρνητική πλευρά της

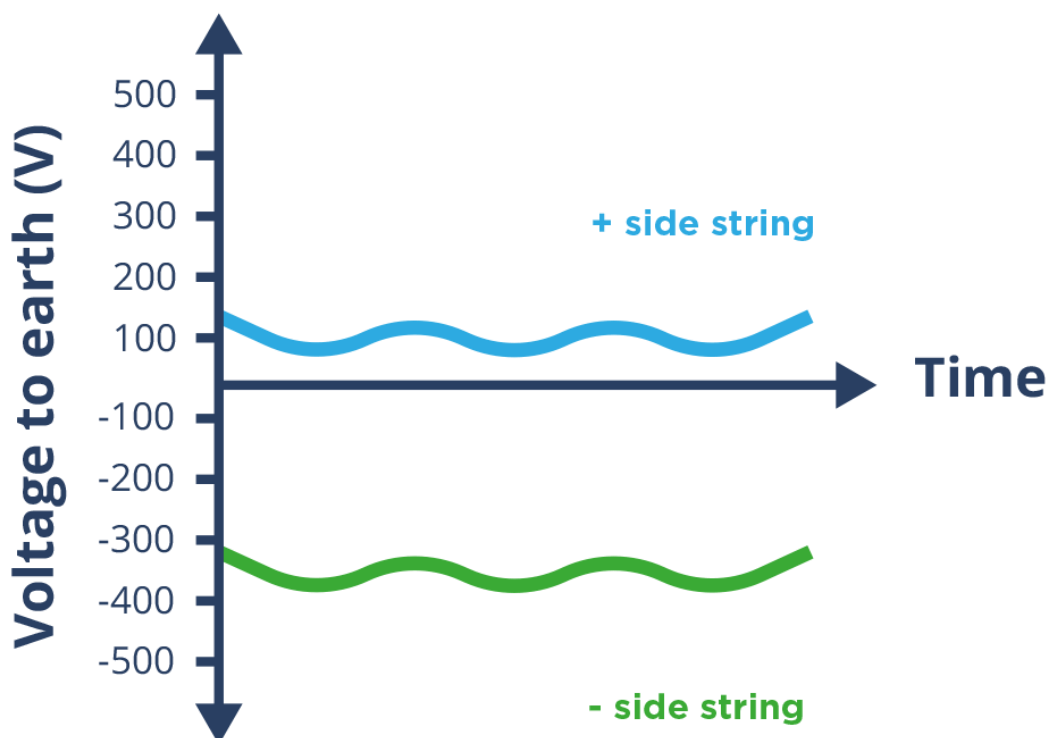
συμβολοσειράς (βλ.εικόνα 12). Μετά από όλα, το αρνητικό δυναμικό σε σχέση με τη γη είναι το υψηλότερο σε αυτή την πλευρά.



Εικόνα Νο.12 –PID σε φωτοβολταϊκές μονάδες στοιχειοσειρας

Το φαινόμενο PID προκαλείται από τη μεγάλη διαφορά δυναμικού σε σχέση με τη γη. Αυτό συμβαίνει εντός των πλαισίων όταν λειτουργεί το φωτοβολταϊκό σύστημα. Μια τυπική φωτοβολταϊκή μονάδα παράγει συνήθως περίπου 30 V. Ο αντιστροφέας μετατρέπει αυτή την αντίστοιχη τάση DC σε τάση εναλλασσόμενου ρεύματος, καθιστώντας το κατάλληλο για το δίκτυο διανομής ενέργειας. Η κατανομή της τάσης σε σχέση με τη γη (βλ. εικόνα 13), καθώς και το δυναμικό των λειτουργικών φωτοβολταϊκών μονάδων, καθορίζεται από το σχεδιασμό των μετατροπέων και του ηλεκτρικού δικτύου.

Potentials to PV array over time



Εικόνα Νο.13-Κατανομή τάσης του αντιστροφέα ως προς γη σε σχέση με το χρόνο.

4.1.1 Οι Αιτίες του PID

Το φαινόμενο της πιθανής επαγόμενης υποβάθμισης, όπως υποδηλώνει η ονομασία, συμβαίνει όταν το δυναμικό τάσης της μονάδας και η κινητικότητα του ιόντος κίνησης του ρεύματος διαρροής εντός της μονάδας μεταξύ του υλικού ημιαγωγού και άλλων στοιχείων της μονάδας (π.χ. γυαλί, βάση και πλαίσιο), προκαλώντας την υποβάθμιση της ισχύος εξόδου της μονάδας.

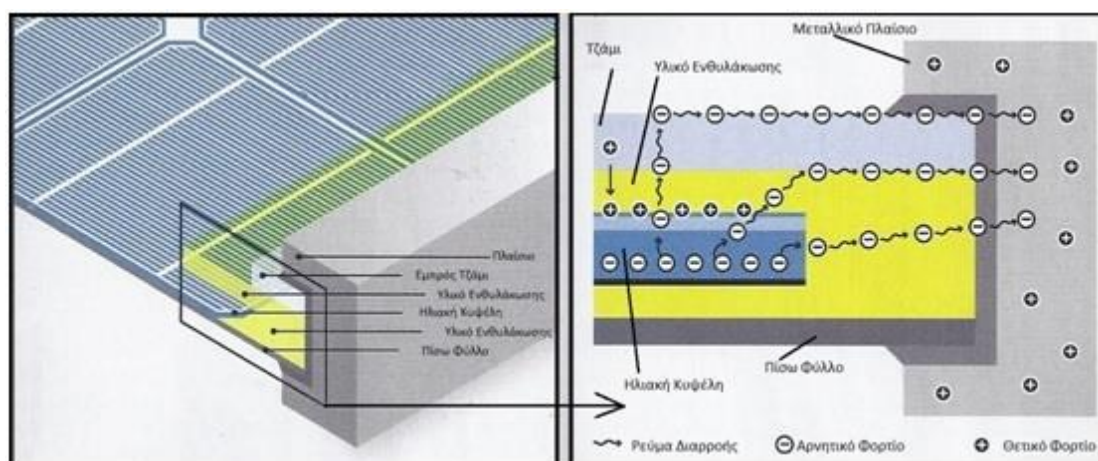
Η κινητικότητα ιόντων επιταχύνεται με υγρασία, θερμοκρασία και δυναμικό τάσης. Οι δοκιμές έχουν αποκαλύψει τη σχέση κινητικότητας με τη θερμοκρασία και την υγρασία: "Η επίπεδη επαφή με την επιφάνεια του πίνακα προκαλεί επίσης μια χωρητική σύζευξη με τα κύτταρα, με αποτέλεσμα ένα χωρητικό ρεύμα διαρροής διαφορετικής αντοχής. Το φωτοβολταϊκό σύστημα και το περιβάλλον αλληλοεπιδρούν ώστε να προκαλούν το PID. Ισχύουν οι

προϋποθέσεις που απαιτούνται για την εμφάνιση του φαινομένου PID ως εξής: (Yiting, 2013)

- (i) Περιβαλλοντικοί παράγοντες, καθώς και παράγοντες που αφορούν το σύστημα
- (ii) Το Φ/Β σύστημα
- (iii) Το Φ/Β δομοστοιχείο
- (iv) Τα Φ/Β κελιά.

Ενώ το περιβάλλον έχει οριστεί για κάθε επιμέρους εγκατάσταση, ελέγχοντας σωστά μόνο έναν από τους παράγοντες και οι τέσσερις παράγοντες αναφέρονται αναλυτικότερα παρακάτω.

Το δυναμικό ρεύματος και τάσης διαρροής (αρνητικό δυναμικό που φαίνεται), προκαλεί την απομάκρυνση των αρνητικών (-) (πορφυρά) ιόντων από το ημιαγωγό, καθώς τα θετικά (+) (ροζ) ιόντα μεταναστεύουν προς το ημιαγωγό από το γυαλί και το μεταλλικό πλαίσιο στο εξωτερικό περιβάλλον της μονάδας (βλ. Εικόνα 14).



Εικόνα Νο.14-Σχηματική αναπαράσταση ρεύματος διαρροής σε φωτοβολταϊκό πλαίσιο λόγω PID

4.1.2 Περιβαλλοντικοί Παράγοντες

Επειδή η σχετική υγρασία και η θερμοκρασία είναι γνωστό ότι επηρεάζουν αρνητικά την απόδοση των φωτοβολταϊκών εγκαταστάσεων

γενικά, τα πρωτόκολλα δοκιμών υποομάδων Underwriters Laboratories (UL) και Διεθνούς Ηλεκτροτεχνικής Επιτροπής (IEC) περιλαμβάνουν υγρά θερμότητα, κύκλους θερμοκρασίας και κύκλους ψύξης / απόψυξης. Αυτοί οι ίδιοι περιβαλλοντικοί παράγοντες επηρεάζουν επίσης το PID, με την υποβάθμιση να επιταχύνεται από την αύξηση της θερμοκρασίας και / ή της σχετικής υγρασίας (Pingel, et al, 2010).

Είναι ενδιαφέρον να σημειωθεί ότι ενώ οι υψηλές θερμοκρασίες προκαλούν αύξηση της αποικοδομητικής επίδρασης που προκαλείται από το PID, έχουν αποδειχθεί επίσης υψηλές θερμοκρασίες που διευκολύνουν την αναγέννηση των μονάδων για τη μείωση του PID. Επειδή υπάρχει ελάχιστο ή τίποτα που μπορεί να κάνει ο χειριστής για να αλλάξει το περιβάλλον της Φ/Β εγκατάστασης, το φαινόμενο PID κατανοείται καλύτερα και αντιμετωπίζεται με την εξέταση του συστήματος και των ενοτήτων του.

4.1.3 Παράγοντες Συστήματος

Σε επίπεδο συστήματος, οι σημαντικότερες επιπτώσεις είναι το δυναμικό και το σήμα τάσης της μονάδας, οι οποίες εξαρτώνται από τη θέση της μονάδας στη συστοιχία και από την τοπολογία γείωσης του συστήματος. Υπάρχουν πολλοί παράγοντες που επηρεάζουν την ταξινόμηση του συστήματος και του αντιστροφέα, αλλά για τους σκοπούς του PID, ο αντιστροφέας μπορεί να ταξινομηθεί με βάση την τάση των Φ/Β συστοιχιών. Η τάση εξαρτάται από την τοπολογία γείωσης της φωτοβολταϊκής εγκατάστασης. (Pingel, et al, 2010).

Το φαινόμενο PID συσχετίζεται συχνότερα με αρνητικό δυναμικό τάσης στη γη, αν και τα θέματα που προκύπτουν από τη θετική αναφορά στο έδαφος, έχουν τεκμηριωθεί από ποικίλες επιχειρήσεις. Παρόλα αυτά, κάθε χρόνια εμπειρίας με πολυάριθμα συστήματα παρέχει μια σαφή και καθησυχαστική απάντηση, ότι στα πάνελ με κρυσταλλικά ηλιακά στοιχεία, δεν

υπάρχει αλληλεξάρτηση μεταξύ πιθανής υποβάθμισης του πάνελ και της αρχής του μετατροπέα που χρησιμοποιείται (Yiting, 2013).

Πρόσθετες έρευνες αποκάλυψαν ότι η ερμηνεία της εξάρτησης από την τάση μπορεί να είναι χωρητική επίδραση. Η μετακίνηση ιόντων που προκαλείται από μια ορισμένη ηλεκτρική δύναμη σύμφωνα με μια εφαρμοζόμενη τάση, οδηγεί σε κορεσμό του ηλεκτρικού φορτίου που κρατά όλες τις δυνάμεις σε θερμοδυναμική ισορροπία. Αυτά τα ηλεκτρικά φορτία επηρεάζουν τις ημιαγώγιμες ιδιότητες, ανεξάρτητα από την ίδια την τάση, οι διεργασίες αποικοδόμησης των μονάδων σταθεροποιούνται σε ορισμένα επίπεδα που φαίνεται να είναι χαρακτηριστικά για κάθε τύπο υποομάδας.

Θα απαιτηθούν περαιτέρω έρευνες για να κατανοηθεί ο αντίκτυπος των υψηλότερων τάσεων συστοιχιών στο φαινόμενο PID. Οι Η.Π.Α. αρχίζουν να υιοθετούν συστοιχίες 1000V και σε ολόκληρη τη βιομηχανία η χρήση συστοιχιών 1500V και 2000V θεωρείται ως μέσο μείωσης του κόστους συστήματος σε μεγάλες φωτοβολταϊκές εγκαταστάσεις εμπορικής και χρησιμότητας. Η αντίσταση στο φαινόμενο PID θα γίνει ολοένα και πιο κρίσιμη καθώς αυξάνεται η τάση των συστοιχιών. Θεωρώντας, ως θεωρητικό παράδειγμα, Φ/Β συστοιχίες 1500V ή περισσότερο, τότε ένα υψηλό θετικό δυναμικό είναι ικανό να προκαλέσει νέους μηχανισμούς αποτυχίας.

4.1.4 Συντελεστές Μονάδας

Η επιλογή του γυαλιού, της εγκαψούλωσης και των φραγμών διάχυσης έχει αποδειχθεί ότι έχει επιπτώσεις στο φαινόμενο PID. Για το μπροστινό τζάμι, αρκετές μελέτες έχουν δείξει ότι το νάτριο παρουσιάζει έναν αιτιολογικό παράγοντα. Σύμφωνα με μία μελέτη, το συστατικό που περιέχεται στο γυαλί σόδας-αλουμινίου αλλά όχι στο γυαλί απαιτείται για να συμβεί αυτό το αποτέλεσμα. Ενώ το νάτριο είναι ο βασικός *ύποπτος* λόγω της διαθεσιμότητάς του και της υψηλής κινητικότητάς του, το αλουμίνιο, το μαγνήσιο και το ασβέστιο εμφανίζονται σε μικρότερη συγκέντρωση σε γυαλί ανθρακικού

νατρίου (Na_2CO_3), αλλά όχι σε γυαλί χαλαζία (SiO_2) και μπορεί να συμβάλλουν στη διαφορά (Fox, et al. 2015).

Τα διάφορα μέσα για την ενθυλάκωση μονάδων έχουν σημαντικά διαφορετικές ιδιότητες και αυτές έχουν αποδειχθεί ότι έχουν εξίσου σημαντική επίδραση στο PID. Το EVA [οξικό αιθυλένιο βινυλίου] φαίνεται να διαδραματίζει επίσης ζωτικό ρόλο στο PID δεδομένου ότι όλα τα διαφορετικά υποκατάστατα και μπορεί να αποτρέψει το φαινόμενο PID.

Προτάθηκε ότι αυτό το εύρημα μπορεί να συνδέεται με διαφορές στην αγωγιμότητα. Επιπλέον, το οξικό οξύ που περιέχεται στο EVA σε συνδυασμό με την υγρασία ενδέχεται να είναι υπεύθυνο για τη διάλυση ιόντων μετάλλων στη διεπιφάνεια γυαλιού, γνωστή ως «διάβρωση από γυαλί». Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι το φαινόμενο PID συνδέεται με μια διεργασία μεταφοράς μέσω της διασύνδεσης μεταξύ γυαλιού και EVA, καθώς και μέσω της διεπαφής μεταξύ EVA και της κυτταρικής επιφάνειας (Yiting, 2013).

Μια άλλη δοκιμή έδειξε ότι τα δείγματα δομοστοιχείων που έχουν ελασματοποιηθεί με πολυβινυλοβουτυράλη (PVB), παρουσιάζουν την υψηλότερη ευαισθησία στο φαινόμενο PID. Το PVB έχει πολύ χαμηλή αντίσταση στην διείσδυση της υγρασίας και η περισσότερη υγρασία αυξάνει την αγωγιμότητα. Άλλες ενθυλακωτικές ουσίες που έχουν ανώτερες ιδιότητες διαπερατότητας υγρασίας σε σύγκριση με το EVA έχει αποδειχθεί ότι μειώνουν την ευαισθησία στο φαινόμενο PID. Η χρήση εναλλακτικών υλικών συνιστάται επίσης με βάση το γεγονός ότι τα ρεύματα διαρροής στο δομοστοιχείο μπορούν, καταρχήν, να περιοριστούν με τη χρησιμοποίηση μιας εγκαψούλωσης υλικό που είναι αδιαπέραστο για τη φόρτωση των μεταφορέων.

Χρησιμοποιώντας διοξείδιο του πυριτίου ως φράγμα διάχυσης νατρίου μεταξύ του γυαλιού και των ηλεκτρικά ενεργών τμημάτων του ημιαγωγού έχει αποδειχθεί ότι λειτουργεί αρκετά καλά στην πρόληψη του PID, αλλά ένα τέτοιο φράγμα δεν είναι ανοσοποιημένο σε διαρροές "pin-hole". Επιπλέον, η αφαίρεση με λείζερ της εμπρόσθιας επαφής για εφαρμογές λεπτού φιλμ

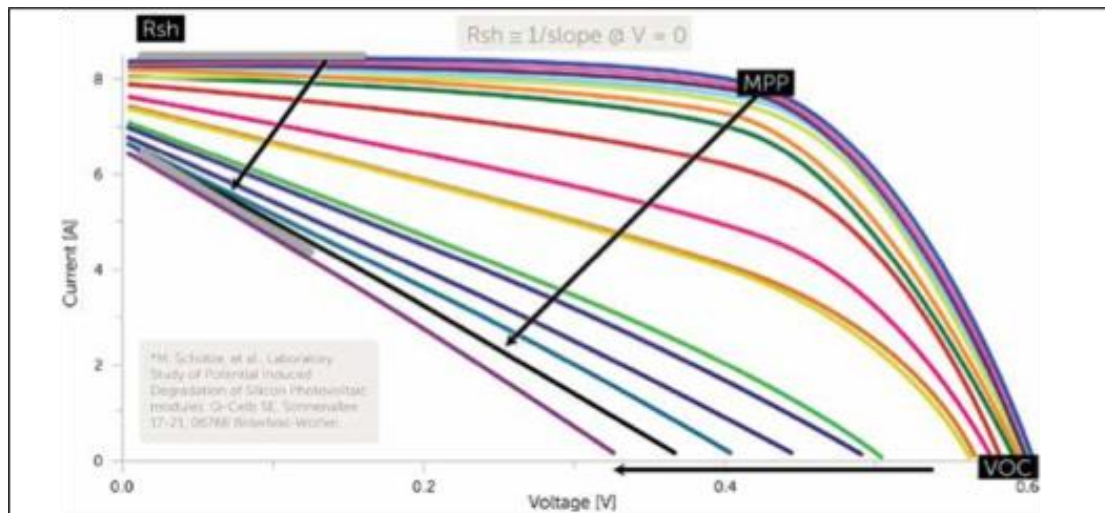
μπορεί να αφήνει κενά στο στρώμα φραγμού, τα οποία μπορεί να καταστούν προβληματικά χωρίς στάδια μετά την επεξεργασία για να γεμίσουν αυτά τα κενά.

4.1.5 Κυτταρικοί Παράγοντες

Μια αντιανακλαστική επικάλυψη (ARC) αυξάνει τη δέσμευση του φωτός και επομένως αυξάνει τη μετατροπή ισχύος της μονάδας. Ωστόσο, η έρευνα έδειξε ότι οι ιδιότητες του ARC είναι ένας παράγοντας που προκαλεί το PID: Το ARC είναι μια άλλη προϋπόθεση για τη διαδικασία PID. Αυτό συμφωνεί με την αναφερόμενη εξάρτηση του PID από τις ιδιότητες του ARC. Πρόσφατα βρέθηκε από τις μετρήσεις SIMS (φασματομετρία μάζας δευτερογενούς ιόντος) ότι το νάτριο που προέρχεται από το γυαλί μπορεί εύκολα να βρεθεί στα ανώτερα στρώματα του κυττάρου.

4.1.6 Οι Επιπτώσεις του Φαινομένου PID

Η μείωση της αντίστασης διακλάδωσης (R_{sh}) που προκαλείται από το PID μειώνει τόσο το μέγιστο σημείο ισχύος της μονάδας (MPP) όσο και την τάση ανοικτού κυκλώματος (V_{oc}). Ο όμιλος TÜV Rheinland προσδιορίζει το πρόβλημα χρησιμοποιώντας τρεις παράγοντες: μείωση των αποδόσεων, απώλειες ισχύος και τάσης, και υπέρυθρων (IR) απεικονίσεων (Yiting, 2013).



Εικόνα No.15- Βαθμός μείωσης αντίστασης απόσβεσης

Όπως φαίνεται στο παραπάνω σχήμα (βλ. Εικόνα No.15), από τις μειώσεις στην αντίσταση απόσβεσης (R_{sh}), το μέγιστο σημείο ισχύος (MPP) και την τάση ανοικτού κυκλώματος, το PID μπορεί να μειώσει σημαντικά την απόδοση των φωτοβολταϊκών εγκαταστάσεων.

Οι ανεξήγητες απώλειες απόδοσης μπορεί να είναι ένα σημάδι του PID. Επειδή η μέτρηση των υπογραφών R_{sh} , MPP και IR απαιτεί ακριβό εξοπλισμό, ο ευκολότερος τρόπος ανίχνευσης του PID στο πεδίο είναι να χρησιμοποιήσετε ένα συνηθισμένο βολτόμετρο για να μετρηθεί η V_{oc} σε επίπεδο μονάδας. Ενώ το σχήμα της καμπύλης διόδου που φαίνεται στην εικόνα 14 δεν μπορεί να συναχθεί από την V_{oc} μόνο, η έκταση του φαινομένου PID μπορεί να αποκαλυφθεί με σχεδίαση των μετρήσεων V_{oc} με θέση στοιχειοσειράς ή σύγκριση των μετρήσεων V_{oc} από αντίθετα άκρα της συστοιχίας.

Το φαινόμενο PID μπορεί να είναι είτε μη αναστρέψιμο είτε αναστρέψιμο, ανάλογα με την αιτία. Προφανώς, ένα μη αναστρέψιμο αποτέλεσμα είναι πολύ πιο σοβαρό, απαιτεί άμεση ανίχνευση και μετριάσμο. Το μη αναστρέψιμο φαινόμενο PID προκαλείται συνήθως από ηλεκτροχημικές αντιδράσεις που οδηγεί σε ηλεκτροδιάβρωση και / ή αποκόλληση μεμβράνης στις μονάδες. Αυτά τα μη αναστρέψιμα χαρακτηριστικά έχουν τεκμηριωθεί

κατά κύριο λόγο σε τεχνολογίες λεπτής μεμβράνης και ως εκ τούτου δεν αποτελούν το επίκεντρο των κατασκευαστών πάνελ c-Si.

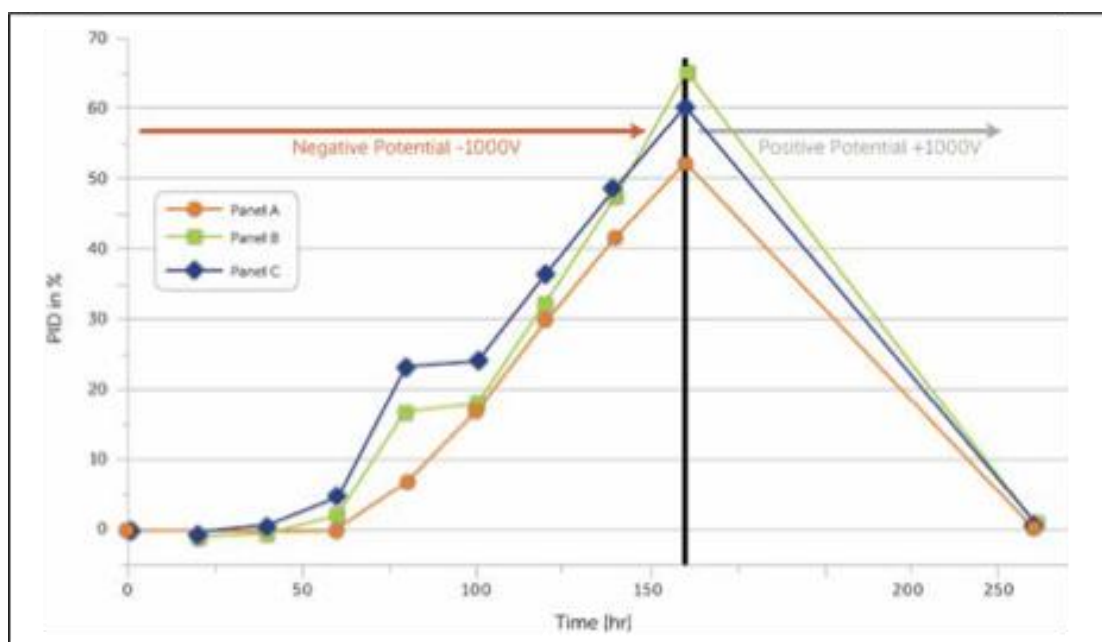
Η αναστρέψιμη μορφή του PID, γνωστή και ως "Polarization Surface" ή "Effect Polarization", ανακαλύφθηκε από την Sun Power το 2005. Σύμφωνα με την ανακοίνωση της Sun Power για την ανακάλυψη, «το νέο φαινόμενο, δημιουργεί την μη καταστροφική και αναστρέψιμη συσσώρευση στατικού φορτίου στην επιφάνεια των ηλιακών κυψελίδων υψηλής απόδοσης». Το αποτέλεσμα της πόλωσης έχει μελετηθεί και τεκμηριωθεί από τον Solon και πολλούς άλλους και είναι γενικά που σχετίζονται με τις μονάδες c-Si (Yiting, 2013).

Ως αποτέλεσμα αυτών των μελετών, το ειδικό αποτέλεσμα που συμβαίνει μεταξύ του γυαλιού και του ημιαγωγού είναι πλέον καλά κατανοητό: Τα μοντέλα βασίζονται στο γεγονός ότι τα κινούμενα ιόντα νατρίου μπορούν να διαχέονται από το μπροστινό γυαλί στην κυτταρική επιφάνεια λόγω μιας δύναμης που προκαλείται από το δυναμικό προκαλούμενο άγχος. Η ταχύτητα των θετικών φορτισμένων ιόντων επηρεάζεται κυρίως από το ενθουλακωμένο υλικό, τη θερμοκρασία, την υγρασία και την εφαρμοζόμενη τάση (Yiting, 2013).

Οι ειδικοί μηχανισμοί που συμβαίνουν όταν το νάτριο φτάσει στον ημιαγωγό δεν είναι τόσο κατανοητοί και έχουν προταθεί πολλές διαφορετικές θεωρίες: Από τη μια πλευρά τα φορτισμένα ιόντα συγκεντρώνονται στην επιφάνεια του στρώματος και δημιουργούν ένα ηλεκτρικό πεδίο που οδηγεί σε αντιπαράβατο αποτέλεσμα με αποτέλεσμα ένα αυξανόμενο ποσοστό ανασυνδυασμού επιφανείας. Από την άλλη πλευρά, το νάτριο μπορεί να διαχέεται στο χύμα και να ενεργεί ως άτομο δωρητή. Αυτό οδηγεί σε μια αυξανόμενη συγκέντρωση ιόντων νατρίου στο σημείο εκπομπής, έτσι ώστε το αρνητικό ντόπινγκ να εξουδετερωθεί, η σύνδεση p-n θα μειωθεί, και έτσι θα είναι το φωτοβολταϊκό αποτέλεσμα του κυττάρου.

Ανεξάρτητα από τους συγκεκριμένους μηχανισμούς, οι εκτεταμένες δοκιμές έχουν καταδείξει την ικανότητα αναστροφής της επίδρασης πόλωσης,

και έτσι να αποκατασταθεί πλήρως η ισχύς των μονάδων. Μια τέτοια δοκιμή διεξήχθη στο κρατικό πανεπιστήμιο της Αριζόνα. Μια άλλη δοκιμή, τα αποτελέσματα των οποίων φαίνονται στο παρακάτω σχήμα (βλ. Εικόνα 16), διαπίστωσε ότι η ανάστροφη πολικότητα μετριάζει πλήρως το φαινόμενο πόλωσης (Yiting, 2013).



Εικόνα Νο.16- Επίδραση Ανάστροφης πόλωσης στο φαινόμενο PID

4.1.7 Δοκιμή για PID

Οι δοκιμαστικές ενότητες σχετικά με την ευαισθησία στο φαινόμενο PID, είναι πλέον σημαντικές σε οποιοδήποτε σχέδιο φωτοβολταϊκών έργων μεγάλης κλίμακας και συχνά απαιτούνται για τη χρηματοδότηση. Η δοκιμή θα καθορίσει επίσης αν ο μηχανισμός που προκαλεί το φαινόμενο PID είναι αναστρέψιμος, ο οποίος καθορίζει εάν απαιτούνται μέτρα μετριασμού και ποια μέτρα είναι κατάλληλα.

Ένας πλήρης κατάλογος των οργανισμών δοκιμών και των δομοστοιχείων που δοκιμάστηκαν μέχρι σήμερα παρέχεται στο τεύχος Νοεμβρίου 2002 του περιοδικού Photon International Magazine (Yiting, 2013). Πολλοί οργανισμοί δοκιμών προσφέρουν σήμερα δοκιμές PID, όπως:

- NREL
- Fraunhofer
- Intertek
- Εργαστήριο Ελέγχου Ηλιακού Ελέγχου CFV
- Εργαστήρια PV Evolution
- TÜV Rheinland PTL
- TÜV SÜD Αμερική
- Pearl Laboratories
- PI Βερολίνο (<http://www.pi-berlin.com/>)

Ένα πρότυπο δοκιμής αναπτύσσεται από μια κοινοπραξία εμπειρογνομόνων βιομηχανίας με επικεφαλής τον Δρ Peter Hacke του NREL. Η ομάδα αναμένει να έχει το τελικό σχέδιο διεθνούς προτύπου (FDIS) για το πρότυπο IEC 62804 το 2014. Το πρότυπο αναμένεται να υιοθετηθεί από οργανισμούς δοκιμών και πολλοί χρησιμοποιούν ήδη τις προκαταρκτικές διατάξεις. Το πρότυπο IEC 62804 προδιαγράφει μια πολύ συγκεκριμένη διαδικασία δοκιμής και τις βασικές συνθήκες διεξαγωγής της δοκιμής, συμπεριλαμβανομένων (Yiting, 2013):

- ✓ Τάση και πολικότητα συστήματος με ονομαστική ισχύ
- ✓ Θερμοκρασία αέρα θαλάμου $60 \text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2 \text{ }^{\circ}\text{C}$
- ✓ Σχετική υγρασία θαλάμου $85\% \pm 5\%$
- ✓ Διάρκεια δοκιμής 96 ωρών σε παραπάνω αναφερόμενη θερμοκρασία και σχετική υγρασία με εφαρμοζόμενη αναφερόμενη τάση

Σύμφωνα με το πρότυπο IEC 62804, οι ενότητες θα θεωρούνται ανθεκτικές στο PID εάν:

- ✓ Η απώλεια ισχύος είναι μικρότερη από 5%
- ✓ Δεν υπάρχουν ενδείξεις σημαντικών ελαττωμάτων όπως ορίζονται στα σημεία 10.1, 10.2, 10.7 και 10.15 του IEC 61215.

Η ενδεχόμενη υποβάθμιση μπορεί να έχει βαθιές δυσμενείς επιπτώσεις στη χρηματοδότηση και λειτουργία των φωτοβολταϊκών εγκαταστάσεων. Ενώ το όλο φωτοβολταϊκό σύστημα αλληλοεπιδρά για να προκαλέσει φαινόμενο PID, η λειτουργία βλάβης εμφανίζεται στις μονάδες. Ευτυχώς, το PID δεν εμφανίζεται σε όλες τις μονάδες και υπάρχουν διαθέσιμες δοκιμές για να προσδιοριστεί εάν οι ενότητες είναι ευαίσθητες ή ανθεκτικές στο αποτέλεσμα. Πολλοί κατασκευαστές μονάδων έχουν λάβει μέτρα για την παραγωγή μονάδων ανθεκτικών στο PID. Και για τις υπάρχουσες μονάδες c-Si που δοκιμάζουν το PID, το φαινόμενο είναι συνήθως αναστρέψιμο με οικονομικά αποδοτικά μέτρα μετριασμού.

Επειδή η μείωση του φαινομένου PID στην φωτοβολταϊκή εγκατάσταση μπορεί να αυξήσει το αρχικό κόστος του συστήματος, μπορεί να δικαιολογηθεί μια σωστή επιλογή ανθεκτικών δομοστοιχείων και άλλες προληπτικές προσπάθειες, μέσα στους περιορισμούς κάθε επιμέρους συστήματος. Αλλά είναι επίσης δυνατό, φυσικά, να σχεδιάσει σκόπιμα μια νέα φωτοβολταϊκή εγκατάσταση με μονάδες ευαίσθητες στο φαινόμενο PID, εάν η εξοικονόμηση από τη χρήση τέτοιων μονάδων είναι μεγαλύτερη από τα απαιτούμενα μέτρα μετριασμού.

Η καλύτερη λύση για τη βιομηχανία σε μακροπρόθεσμη βάση είναι η ελαχιστοποίηση ή η εξάλειψη του φαινομένου PID με την πραγματοποίηση αλλαγών σχεδιασμού στο επίπεδο του συστήματος, της μονάδας ή / και των κυψελών. Μέχρι τότε, θα παραμείνει σημαντικό για τους φορείς εκμετάλλευσης να ξεπεράσουν κάθε φόβο, αβεβαιότητα και αμφιβολία, καθιστώντας πιο ενημερωμένους για το φαινόμενο PID.

4.2 Διάβρωση TCO

Τα φωτοβολταϊκά στοιχεία όπως τα φωτοβολταϊκά στοιχεία πυριτίου (SHJ) και τα φωτοβολταϊκά στοιχε περοβσκίτη σε πυρίτιο, καθώς και νέα σχέδια, όπως διπλά και ημιπερατά στοιχεία, χρησιμοποιούν TCOs transparent conducting oxide (TCO), διαφανές αγώγιμο οξειδίο στα σχέδιά τους. Στο μέτωπο των ηλιακών κυψελών, αυτά τα στρώματα TCO δρουν ως το οπτικό διαφανές ηλεκτρόδιο που επιτρέπει τα φωτόνια μέσα στο φωτοβολταϊκό στοιχείο και μεταφέρει τα φωτογενή δημιουργούμενα ηλεκτρόνια στους εξωτερικούς ακροδέκτες της συσκευής (Yiting, 2013).

Επομένως, η υψηλή πλευρική αγωγιμότητα και η χαμηλή απορρόφηση υπεριωδών ακτίνων είναι κρίσιμες απαιτήσεις του μπροστινού TCO οποιουδήποτε ηλιακού κυττάρου. Για την αποφυγή παρασιτικών οπτικών απωλειών στο NIR-IR, απαιτούνται TCO με υψηλή κινητικότητα ηλεκτρονίων αντί για υψηλές ελεύθερες πυκνότητες φορέα. Μετά από αυτό, αναπτύχθηκαν και μελετήθηκαν TCOs υψηλής κινητικότητας όπως το οξειδίο του ψευδαργύρου ινδίου (IZO), το υδρογονωμένο οξειδίο του ινδίου (IO: H), το οξειδίο του ινδίου που έχει προστεθεί με ζιρκόνιο (In₂O₃: Zr) και τα εφαρμόζουμε επιλεκτικά σε SHJ και φωτοβολταϊκά στοιχεία περοβσκίτη.

Τα κύτταρα με TCO με υψηλή κινητικότητα δείχνουν μια βελτίωση στις αποδοτικότητες μετατροπής, λόγω της υψηλότερης πυκνότητας ρεύματος (J_{sc}) σε σύγκριση με την ITO indium tin oxide οξειδίο ινδίου κασσιτέρου αναφοράς, διατηρώντας παράλληλα την απαιτούμενη χαμηλή αντίσταση επαφής με τις γειτονικές στρώσεις. Ο σχεδιασμός νέων υψηλής απόδοσης ινών χωρίς TCO, παραμένει ένα σημαντικό καθήκον για τη μείωση του κόστους σε διάφορες οπτοηλεκτρονικές συσκευές. Μετά από μια διεπιστημονική προσέγγιση, εργαζόμαστε για την ανάπτυξη και κατανόηση πολλαπλών σύνθετων TCO χωρίς ίνδιο. Πρόσφατα, επιδείχτηκε μια αξιοσημείωτη βελτίωση των οπτοηλεκτρονικών ιδιοτήτων του οξειδίου του κασσιτέρου ψευδαργύρου (ZTO) με την παθητικοποίηση ατελειών ατομικής κλίμακας κάτω από το διάκενο (Yiting, 2013).

Σε στενή συνεργασία με τις υπολογιστικές και τις προηγμένες μικροσκοπικές ομάδες, εντοπίστηκε η φύση αυτών των ελαττωμάτων και τον ρόλο τους σε σχέση με την κινητικότητα των ηλεκτρονίων και τις οπτικές ιδιότητες. Οι μελέτες ηλεκτρονικής μικροσκοπίας μετάδοσης (TEM) αποκάλυψαν περαιτέρω ότι οι ταινίες ΖΤΟ έχουν μια άμορφη και πυκνή μικροδομή, η οποία παραμένει σταθερή μέχρι τους 500°C, κάνοντας αυτό το υλικό ιδιαίτερα ενδιαφέρον για εφαρμογές που απαιτούν κατεργασίες υψηλής θερμοκρασίας (Yiting, 2013).

4.3 Αντίσταση Μόνωσης RISO

Κάθε φωτοβολταϊκή εγκατάσταση έχει τόσο πριν από τη σύνδεση στο δίκτυο όσο και σε λειτουργία τροφοδοσίας, ένα ξεχωριστό δυναμικό έναντι της γης. Μόνο η επαρκής μόνωση έναντι του εδάφους εμποδίζει το ρεύμα από τη φωτοβολταϊκή εγκατάσταση να διαρρεύσει στη γείωση και αποκλείει τους κινδύνους που σχετίζονται με τις επαφές και τις πρόσθετες απώλειες. Το συνολικό ρεύμα γείωσης, γνωστό και ως ρεύμα διαρροής, αποτελείται από τη συνεισφορά όλων των στοιχείων του συστήματος:

- Φωτοβολταϊκές μονάδες
- Καλώδιο DC
- Μετατροπέας

Για μια δεδομένη τάση συστήματος, αυτό το ρεύμα διαρροής μεταφράζεται σε μια αποτελεσματική αντίσταση μόνωσης, η οποία χαρακτηρίζεται από την R-iso. Η φωτοβολταϊκή εγκατάσταση είναι ένα σύστημα αποτελούμενο από πολλά εξαρτήματα, τα οποία συμβάλλουν στο παραπάνω καθορισμένο R-iso. Ο προσδιορισμός της τιμής αυτής εξαρτάται συνεπώς από τον αλγόριθμο μέτρησης και το κύκλωμα μέτρησης. Επιπλέον, η ενσωματωμένη τεχνολογία μέτρησης πρέπει να λειτουργεί με χαμηλή απώλεια. Επιπλέον, υπάρχουν περαιτέρω σφάλματα μέτρησης ως αποτέλεσμα των ανοχών των εγκατεστημένων ηλεκτρονικών εξαρτημάτων.

Τα τελευταία χρόνια έχουν παρουσιαστεί αντιστροφείς που είναι εξοπλισμένοι με τεχνολογίες μέτρησης που υπερβαίνουν τις συνθήκες δοκιμής που απαιτούνται στα πρότυπα και είναι σε θέση να εντοπίσουν βλάβες διαρροής ρεύματός ως προς γη που είναι δύσκολο να εντοπιστούν.

Κεφάλαιο 5^ο – Διάγνωση Φαινομένου PID

5.1 Θερμογράφηση

Η θερμογράφηση χρησιμοποιεί την εκπεμπόμενη υπέρυθρη ακτινοβολία από ένα αντικείμενο. Με βάση το γεγονός ότι η ακτινοβολία είναι συνάρτηση της θερμοκρασίας, η θερμογράφηση είναι σε θέση να αποκτήσει τη θερμοκρασία ενός αντικειμένου με τη λήψη της εκπεμπόμενης υπέρυθρης ακτινοβολίας (Ohlsson, Olofsson, 2014).

Η θερμογράφηση έχει διαδοθεί όλο και περισσότερο για να μελετήσει την επιφάνεια της θερμοκρασίας τα τελευταία χρόνια. Αυτή η μέθοδος είναι ιδιαίτερα σημαντική όταν εξετάζει τις εφαρμογές της στην κατανομή χωρικά διαλυμένων επιφανειακών θερμοκρασιών (Fokaides Kalogirou, 2011). Επιπλέον, θα είναι πιο βολικό να μελετηθούν ορισμένα τμήματα κτιρίων, π.χ. ανώτατο όριο, το οποίο είναι δύσκολο να είναι προσβάσιμο για εξοπλισμό όπως αισθητήρες θερμοκρασίας ή HFM (Hyperion Financial Management) σύστημα αναφοράς οικονομικών εκθέσεων .

Η θερμογράφηση μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί στην κατασκευή κελύφους για τη διάγνωση των αδυναμιών του κτιρίου, π.χ. διαρροή αέρα, απώλεια μονώσεων. Η συζήτηση σχετικά με τις εφαρμογές και την ανάπτυξη της θερμογράφησης για τη διαγνωστική των κτιρίων πραγματοποιήθηκε από τότε που η τεχνική αυτή κυκλοφορούσε στις αρχές της δεκαετίας του 90 (Fokaides, Kalogirou, 2011).

Οι Matthew Fox κ.ά. εκτεταμένες μελέτες σχετικά με τη θερμογραφία από μια ενιαία εικόνα σε μια σειρά εικόνων σε μια περίοδο, η οποία ονομάζεται θερμογραφία με χρονική καθυστέρηση. Εκτός από την ποιοτική ανάλυση των κτιρίων που χρησιμοποιούν τη θερμογραφία IR, οι ερευνητές έχουν συμμετάσχει στις εφαρμογές της σε ποσοτική ανάλυση, ειδικά στον προσδιορισμό των τιμών U. Οι Fokaides και Kalogirou χρησιμοποίησαν τη

θερμογράφηση για τον προσδιορισμό των U-τιμών του τοίχου, της οροφής και των υαλοπινάκων. Το ποσοστό απόλυτης απόκλισης κυμαίνεται από 10-20% (Ohlsson, Olofsson, 2014).

Δεδομένου ότι οι μετρήσεις της τιμής U με θερμογραφία IR είναι σημαντικά διαφορετική από εκείνη με τους αισθητήρες HFM και θερμοκρασίας και εξακολουθεί να είναι μια αναπτυσσόμενη τεχνική, οι ερευνητές δεν έχουν καταλήξει σε συναίνεση για πολλές πτυχές σχετικά με τις μετρήσεις θερμικής υπερύθρου (Ohlsson, Olofsson, 2014).

5.2 Τεχνικά Χαρακτηριστικά

Σε αντίθεση με τις τυπικές μετρήσεις από το ISO-9869, η θερμοκρασία επιφάνειας από τη θερμογραφία IR δεν επικεντρώνεται πλέον σε τέτοια μικρά σημεία. Αντ' αυτού, είναι η μέση θερμοκρασία της επιφάνειας μέσα στην κάμερα. Συνεπώς, η τιμή U με αυτή τη μέτρηση μπορεί να θεωρηθεί ως η συνολική θερμική διαπερατότητα του όλου στοιχείου (Fokaides, Kalogirou, 2011).

Πρόσφατα, η θερμογράφηση έχει εφαρμοστεί για τη λήψη δισδιάστατης ποσοτικής απεικόνισης της τιμής U. Κατά τη διάρκεια των μετρήσεων, πρέπει να ληφθεί η συνολική ροή θερμότητας q. Η πρώτη προσέγγιση δίνεται από τους Vanilov et al. Η ροή θερμότητας μετράται αρχικά σε ένα σημείο αναφοράς στην επιφάνεια χρησιμοποιώντας HFMs. Στη συνέχεια, η ροή θερμότητας σε άλλες θέσεις υπολογίζεται βάσει της θερμοκρασίας της επιφάνειας από μετρήσεις θερμογραφίας. Εν τω μεταξύ, υπολογίστηκε ότι η θερμική αντίσταση ήταν σταθερή αλλά άγνωστη.

Η δεύτερη προσέγγιση είναι η απόκτηση της ροής θερμότητας με βάση τη θερμογραφία. Ωστόσο, ο συντελεστής μεταφοράς θερμότητας είναι γνωστός. Ο Tanner πρότεινε μια τυποποίηση της μεθόδου θερμογραφίας για τη μέτρηση της τιμής U, όπου υιοθέτησε σταθερή τιμή του $h_c = 8,7 \text{ W} / (\text{m}^2 \cdot \text{K})$. Ο Ohlsson και ο Olofsson έλαβαν επίσης το παράδειγμα του συχνά

χρησιμοποιούμενου μοντέλου των Jürges για να επισημάνουν ότι είναι απαραίτητο να επιλεγεί ένα κατάλληλο μοντέλο για το h_c για κάθε συγκεκριμένη περίπτωση.

Κατά τη διάρκεια της μέτρησης, η ακτινοβολία που μετράται από την κάμερα δεν εξαρτάται μόνο από τη θερμοκρασία του αντικειμένου, αλλά είναι επίσης συνάρτηση της εκπομπής. Επομένως, είναι σημαντικό να ρυθμιστεί η σωστή εκπομπή και ανακλώμενη θερμοκρασία πριν μετρηθεί η τιμή U .

5.3 Πρότυπο IEC 62804 για Έλεγχο Φωτοβολταϊκών Πλαισίων

Το πρότυπο IEC TS 62804-1: 2015 (E) ορίζει διαδικασίες για τη δοκιμή και την αξιολόγηση της αντοχής των φωτοβολταϊκών (φωτοβολταϊκών) κυψελών κρυσταλλικού πυριτίου στις επιδράσεις βραχυπρόθεσμης τάσης υψηλής τάσης συμπεριλαμβανομένης της υποβάθμισης που προκαλείται από το δυναμικό (φαινόμενο PID). Δύο μέθοδοι δοκιμής ορίζονται ότι δεν παράγουν εγγενώς ισοδύναμα αποτελέσματα. Δίδονται ως εξετάσεις διαλογής. Καμία από τις δοκιμές δεν περιλαμβάνει όλους τους παράγοντες που υπάρχουν στο φυσικό περιβάλλον που μπορεί να επηρεάσουν το ρυθμό PID.

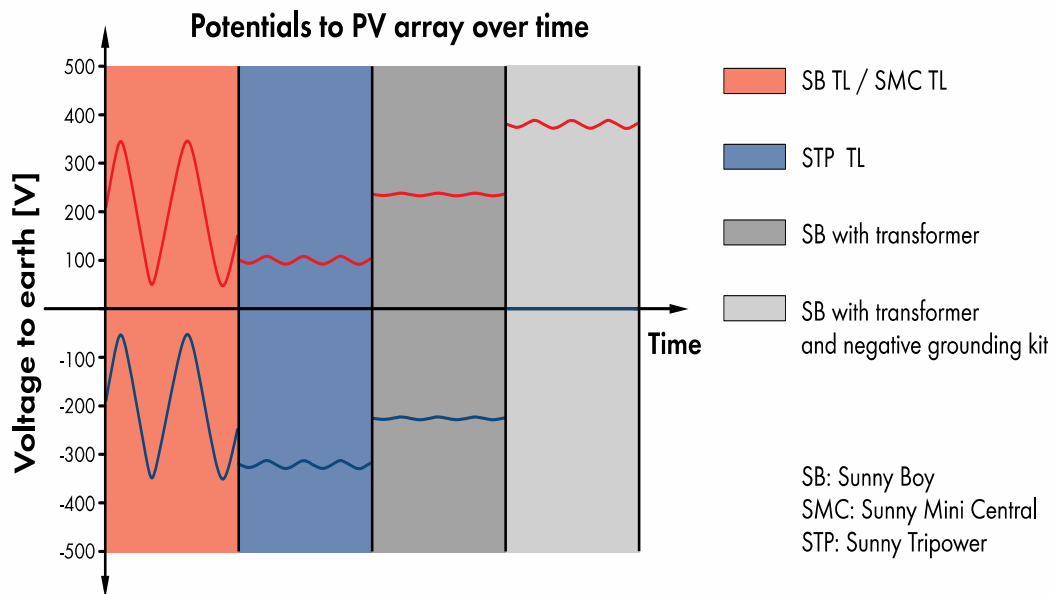
Οι μέθοδοι περιγράφουν τον τρόπο επίτευξης πίεσης σταθερού επιπέδου. Οι δοκιμές αυτής της τεχνικής προδιαγραφής σχεδιάζονται για φωτοβολταϊκές μονάδες κρυσταλλικού πυριτίου με μία ή δύο γυάλινες επιφάνειες, κυψελίδες πυριτίου που έχουν διηλεκτρικά στρώματα παθητικοποίησης για μηχανισμούς αποικοδόμησης που περιλαμβάνουν κινητά ιόντα που επηρεάζουν το ηλεκτρικό πεδίο πάνω από τον ημιαγωγό πυριτίου ή αλληλοεπιδρούν ηλεκτρονικά με τον ίδιο τον ημιαγωγό πυριτίου (Ohlsson, Olofsson, 2014).

Κεφάλαιο 6° – Τρόποι Αντιμετώπισης του Φαινομένου PID

Η πιθανή επαγόμενη αποικοδόμηση (PID) είναι ένα φαινόμενο που επηρεάζει ορισμένες φωτοβολταϊκές μονάδες με κρυσταλλικά κύτταρα Si και οδηγεί σε σταδιακή χειροτέρευση της απόδοσης, φτάνοντας μέχρι και 30% και περισσότερο μετά από μερικά χρόνια. Ορισμένοι κατασκευαστές μονάδων εργάζονται ήδη για να αναπτύξουν αντίμετρα με τη χρήση νέων υλικών, αλλά η γενική τάση σε τριφασικά συστήματα και τάσεις συστήματος μέχρι 1.000 V επιδεινώνει τώρα το πρόβλημα και όχι την ανακούφιση του.

Εκτός από την αρνητική γείωση της φωτοβολταϊκής γεννήτριας, η SMA Solar Technology AG προσφέρει τώρα μια απλή τεχνική λύση για την αποτροπή της αξιοπιστίας αυτής της μείωσης της ισχύος των φωτοβολταϊκών μονάδων, ακόμα και όταν χρησιμοποιείτε μετατροπείς χωρίς μετασχηματιστή. Αυτή η τεχνική πληροφορία παρέχει πρώτα μια σύντομη επισκόπηση του εφέ PID και στη συνέχεια εξηγεί πώς λειτουργεί το PV Offset Box και πότε μπορεί να χρησιμοποιηθεί.

Το δυναμικό γεννήτριας ρυθμίζεται κατά τη λειτουργία τροφοδοσίας στο θετικό και στον αρνητικό πόλο. Αυτό παρουσιάζεται στο ακόλουθο διάγραμμα:



Εικόνα Νο.17- Διάγραμμα DC τάσης ως προς γη αντιστροφών με και χωρίς μετασχηματιστή

Το δυναμικό του κατώτατου (μπλε) ή του ανώτατου (κόκκινη) φωτοβολταϊκού πλαισίου μίας στοιχειοσειράς εξαρτάται από το χρησιμοποιούμενο μετατροπέα και από το αν είναι γειωμένος ένας πόλος της γεννήτριας. Παραδείγματα για τάση στο σημείο μέγιστης ισχύος (MPP) 400 V.

Αν θέλουμε να κατανοήσουμε το φαινόμενο PID, πρέπει πρώτα να ορίσουμε τους όρους τάσης και δυναμικού, το ηλεκτρικό δυναμικό ενός σημείου περιγράφει την τάση του σε σύγκριση με ένα καθορισμένο σημείο αναφοράς και μηδέν. Στις περισσότερες περιπτώσεις, αυτή είναι η γη. Αντιθέτως, ο όρος "τάση" περιγράφει μια διαφορά στο δυναμικό μεταξύ τυχαίων σημείων, δηλ. Απλώς τη διαφορά μεταξύ δύο ηλεκτρικών δυναμικών.

Ως παράδειγμα μπορούμε να πούμε το σημείο A έχει δυναμικότητα 380 V σε γείωση και το σημείο B έχει δυναμικότητα 430 V, η τάση μεταξύ A και B είναι ακριβώς 50 V. Υπό ονομαστικές συνθήκες, οι τυπικές φωτοβολταϊκές μονάδες παρέχουν περίπου 30 V. Η σύνδεση σε σειρά με τις συστοιχίες της μονάδας έχει ως αποτέλεσμα μια πολύ υψηλότερη τάση συστοιχίας.

Δρομολογεί ένα αντίστοιχο συνεχές ρεύμα το οποίο ο μετατροπέας μετατρέπει σε εναλλασσόμενο ρεύμα συμβατό με το δίκτυο.

Η γείωση της φωτοβολταϊκής γεννήτριας, το δυναμικό της, καθορίζεται από το δυναμικό του συνδεδεμένου ηλεκτρικού δικτύου και το σχεδιασμό του αντιστροφέα. Στην ιδανική περίπτωση, οι θετικοί και αρνητικοί πόλοι της φωτοβολταϊκής γεννήτριας θα πρέπει να είναι συμμετρικοί ως προς το δυναμικό του (γειωμένου) ουδέτερου αγωγού.

Παραδείγματος χάριν, εάν η τάση MPP της στοιχειοσειράς είναι 400 V, η φωτοβολταϊκή μονάδα στο αρνητικό άκρο έχει δυναμικό - 200 V σε γείωση, ενώ η μονάδα στο θετικό άκρο της στοιχειοσειράς έχει δυναμικό +200 V.

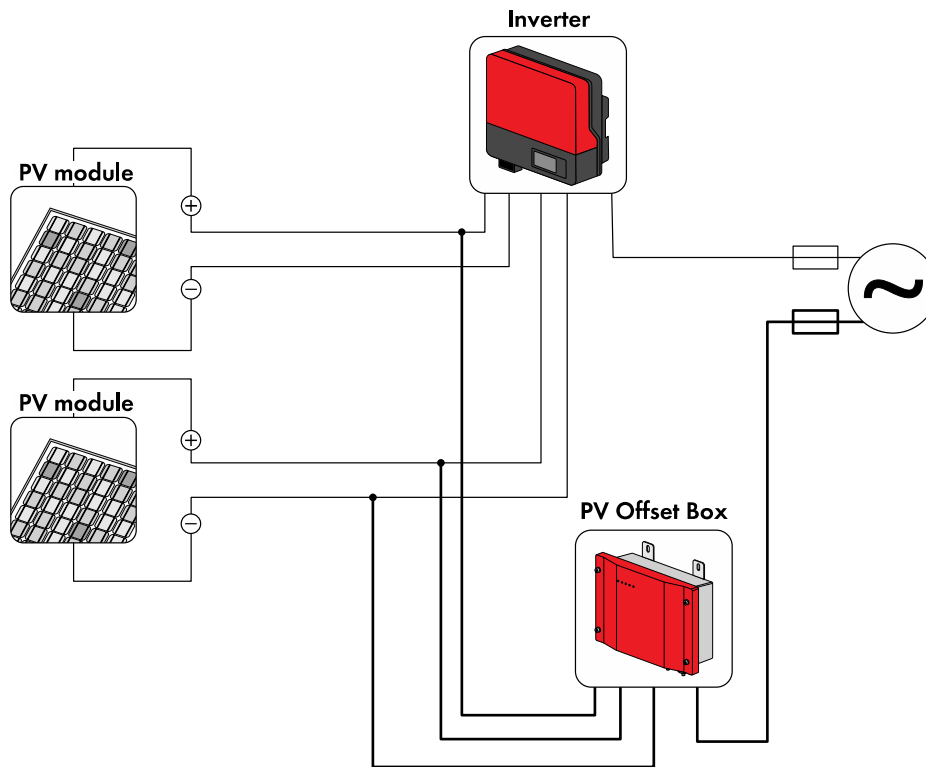
Στο παρελθόν, οι απώλειες ισχύος που βασίζονται στο φαινόμενο PID αποτέλεσαν την εξαίρεση παρά τον κανόνα. Πρόσφατα, ωστόσο, υπάρχουν αυξανόμενες ενδείξεις ότι πολλοί τύποι κυττάρων εμφανίζουν αυτό το μοτίβο αποτυχίας, χωρίς να το γνωρίζει ο κατασκευαστής. Το συγκεκριμένο σημείο προσδιορίζει τους κύριους παράγοντες που επηρεάζουν την ευαισθησία του PID ως εξής:

- Φωτοβολταϊκά στοιχεία: Η δομή των φωτοβολταϊκών κυψελών επηρεάζει το PID μέσω της πυκνότητας φορέα φορτίου του χρησιμοποιούμενου πυριτίου και της χημικής σύνθεσης της επίστρωσης με αντιθαμβωτική επικάλυψη.
- Φωτοβολταϊκή μονάδα: Τα υλικά που χρησιμοποιούνται στη φωτοβολταϊκή μονάδα παίζουν επίσης ρόλο, για παράδειγμα, το φιλμ εγκαψούλωσης που έρχεται απευθείας σε επαφή με ηλιακά στοιχεία (συνήθως EVA).
- Διαμόρφωση συστήματος: όπως περιγράφεται παραπάνω, το μέγιστο αρνητικό δυναμικό των φωτοβολταϊκών μονάδων παίζει σημαντικό ρόλο. Αυτό εξαρτάται από το μήκος των συστοιχιών των Φ/Β, τον τύπο του αντιστροφέα και την πιθανή γείωση της φωτοβολταϊκής γεννήτριας.

- Χρόνος: Το φαινόμενο PID και η προκύπτουσα απώλεια ισχύος δεν είναι άμεσα εμφανή - αναπτύσσονται σε διάστημα αρκετών μηνών έως μερικών ετών.

Στις φωτοβολταϊκές εγκαταστάσεις με αντιστροφείς γαλβανικής απομόνωσης, το PID μπορεί να αποφευχθεί αξιόπιστα με γείωση του αρνητικού πόλου της φωτοβολταϊκής γεννήτριας, καθώς μετατοπίζει το δυναμικό ολόκληρης της φωτοβολταϊκής γεννήτριας στο θετικό. Στις φωτοβολταϊκές εγκαταστάσεις με αντιστροφείς χωρίς μετασχηματιστή οι οποίες, λόγω της αρχής του σχεδιασμού τους, είναι σημαντικά λιγότερο δαπανηρές και αποτελεσματικότερες, το απαιτούμενο αποτέλεσμα μπορεί να επιτευχθεί με τη χρήση του PV Offset Box. Το PV Offset Box εκμεταλλεύεται το γεγονός ότι το φαινόμενο PID είναι αναστρέψιμο και εξελίσσεται σχετικά αργά.

Αν η τάση της συστοιχίας πέσει κάτω από ένα καθορισμένο όριο μετά το ηλιοβασίλεμα, το PV Offset Box ανεβάζει ολόκληρη τη φωτοβολταϊκή γεννήτρια σε υψηλό θετικό δυναμικό (μεταξύ +400 V και +1000 V σε γείωση) αντιστρέφοντας το φαινόμενο πόλωσης (βλ. εικόνα No.18). Όταν χρησιμοποιείται σε μια φωτοβολταϊκή γεννήτρια που έχει επηρεαστεί από το φαινόμενο PID για παρατεταμένο χρονικό διάστημα, η πλήρης αναγέννηση των φωτοβολταϊκών μονάδων διαρκεί περίπου το ήμισυ της αποικοδόμησης. Η ενέργεια που αντλείται από το οικιακό δίκτυο είναι αμελητέα, καθώς το ρεύμα που ρέει κατά τη διάρκεια της ανανέωσης τη νύχτα είναι ελάχιστο, λόγω του τρέχοντος περιορισμού στο PV Offset Box (PAC nom <3 W).



Εικόνα Νο.18- Διάταξη SMA PV Offset Box σε Φ/Β εγκατάσταση

Ακόμη και αν οι φωτοβολταϊκές μονάδες δεν εκτίθενται σε υψηλότερες τάσεις στη διαδικασία αναγέννησης παρά σε κανονική λειτουργία, απαιτείται η έγκριση του κατασκευαστή της μονάδας πριν από τη χρήση του PV Offset Box. Κατ 'αρχήν, το PV Offset Box μπορεί να συνδυαστεί με οποιοδήποτε μετατροπέα.

Ωστόσο, για να συνδέσει κανείς το PV Offset Box σε μια φωτοβολταϊκή εγκατάσταση, απαιτείται έγκριση τόσο από τον κατασκευαστή των φωτοβολταϊκών μονάδων όσο και από τον κατασκευαστή του μετατροπέα. Εάν είναι απαραίτητο, τηρήστε πρόσθετες απαιτήσεις από τους κατασκευαστές. Ανάλογα με τον τρόπο λειτουργίας, το PV Offset Box παρέχει σταθερή τάση εξόδου ή ρυθμίζει αυτόματα την τάση εξόδου του. Με αυτόματο έλεγχο τάσης, το SMA PV Offset Box συμμορφώνεται αυτόματα με τη μέγιστη επιτρεπόμενη τάση του συστήματος.

Με σταθερή τάση εξόδου, δεν πρέπει να υπερβαίνει τη μέγιστη τάση DC των φωτοβολταϊκών μονάδων και του μετατροπέα. Αρκεί να ανατρέξει

κανείς στην αντίστοιχη τεκμηρίωση του προϊόντος για λεπτομέρειες σχετικά με την τάση DC των εξαρτημάτων της φωτοβολταϊκής σας εγκατάστασης. Θα βρει κανείς τους συγκεκριμένους περιορισμούς λειτουργίας με το PV Offset Box στις εγκρίσεις κατασκευαστών για τις φωτοβολταϊκές μονάδες και τους μετατροπείς.

Σε μια άλλη περίπτωση, η δυνητική επαγόμενη υποβάθμιση (PID) είναι ένα θέμα εκτεταμένης έρευνας δεδομένου ότι η υποβάθμιση δημοσιεύθηκε για πρώτη φορά από την Pingel το 2010. Συγγραφείς όπως ο Berghold, Hacke, Nagel, Naumann, Lechner και Pingel σχετικά με τον μηχανισμό υποβάθμισης. Ενώ ο Taubitz συζητά επίσης τους μηχανισμούς ανάκτησης σε επίπεδο κελιών και μονάδων. Όλες οι δημοσιεύσεις ασχολούνται κυρίως με το θέμα από ερευνητική και εργαστηριακή άποψη.

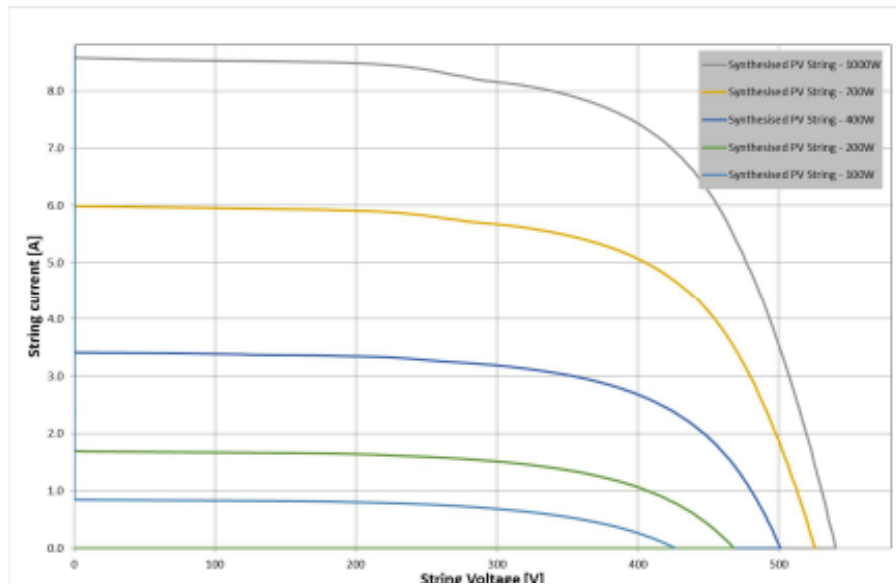
Οι επιδράσεις του καιρού στην αποικοδόμηση περιγράφονται από πολλούς συντάκτες και συμβάλλουν στην ανάπτυξη ιδεών για την προσομοίωση της εξέλιξης του PID στο πεδίο. Διαφορετικές προσεγγίσεις συζητούνται για να συνδυάσουν την υποβάθμιση και την ανάκτηση για την καλύτερη προσομοίωση του πεδίου αλλά και για τον τρόπο δοκιμής μονάδων για την υποβάθμιση και ανάκτηση του PID. Περιγράφονται μηχανισμοί υποβάθμισης και ανάκτησης και είναι καλά κατανοητό ότι το PID επηρεάζει αρχικά την απόδοση χαμηλού φωτισμού της φωτοβολταϊκής μονάδας λόγω του μηχανισμού μετατόπισης του ηλιακού κυττάρου πυριτίου. Τα εργαστηριακά αποτελέσματα είναι συνεπώς μεγάλα και μπορούν να βοηθήσουν να αποκτήσετε μια αίσθηση της ανοχής.

Στο πρώτο βήμα (βήμα # 1) ένα σύνολο από 12 αντιπροσωπευτικά δομοστοιχεία συλλέγονται από μια μεγαλύτερη παρτίδα εγκατεστημένων μονάδων πέντε χρόνια λειτουργίας και χαρακτηρίζονται χρησιμοποιώντας προσομοιωτή ηλιακού φλας Pasan A+++ . Ο χαρακτηρισμός ηλεκτρικής απόδοσης πραγματοποιείται στα 100, 200, 400, 700 και 1000 W / m² (καμπύλες IV για 1000W / m². Αυτές οι ενότητες είναι αντιπροσωπευτικές από υποβαθμισμένες μονάδες που δεν υποβαθμίστηκαν σε πολύ PID. Η σχετική απώλεια ισχύος της μονάδας μετά από 5 χρόνια λειτουργίας είναι μεταξύ

3,2% (κανονική υποβάθμιση) και πάνω από 60% (σημαντική PID). Για περαιτέρω επεξεργασία όλες οι καμπύλες IV παρεμβάλλονται για να δείξουν στάδια ισοστάθμισης 0.01A. Αυτά τα βήματα ισοτιμίας απαιτούνται για το βήμα # 3.

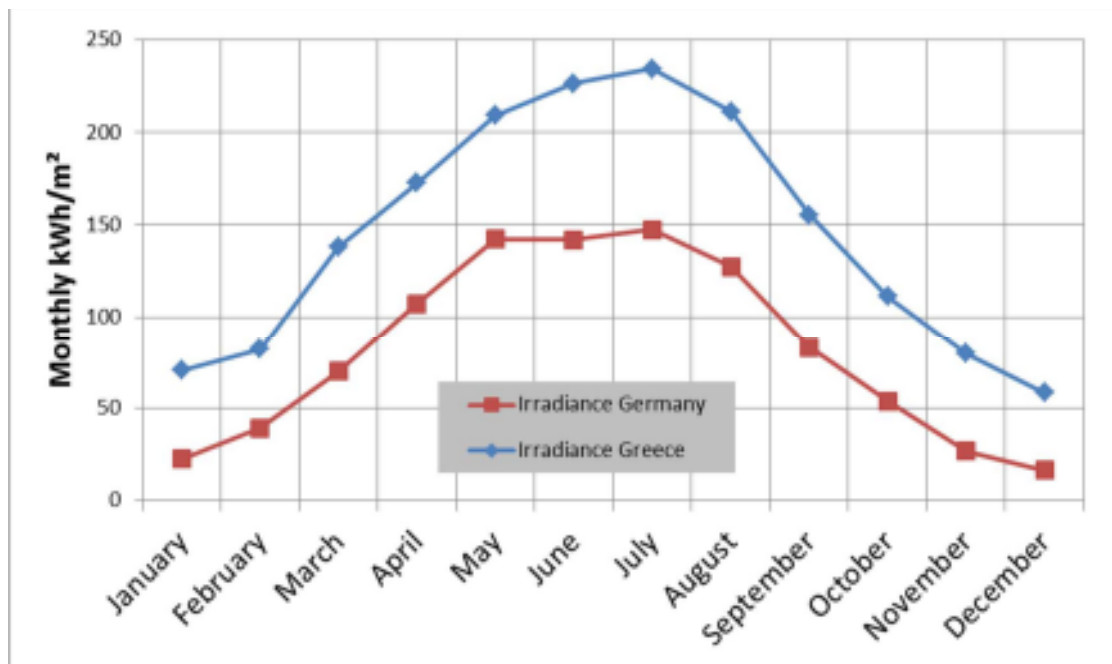
Στο δεύτερο βήμα (βήμα # 2) αποσυναρμολογούνται τρία υποβαθμισμένα φωτοβολταϊκά συστήματα, ένα στην Ελλάδα και δύο στη Γερμανία, και η ισχύς STC όλων των φωτοβολταϊκών μονάδων μετρείται σε εργαστήριο με προσομοιωτή ηλιακού ήχου xenon. Το φωτοβολταϊκό σύστημα στην Ελλάδα είναι σημαντικά υποβαθμισμένο. Ένα από τα δύο φωτοβολταϊκά συστήματα που βρίσκονται στη Γερμανία είναι έντονα, το άλλο λίγο ελαφρώς υποβαθμισμένο. Και τα τρία φωτοβολταϊκά συστήματα έχουν εξοπλιστεί με τριφασικούς μετατροπείς χωρίς μετασχηματιστή. Η κατανομή της αποικοδόμησης στη σειρά των τριών αυτών φωτοβολταϊκών συστημάτων χρησιμοποιείται για την προετοιμασία της προσομοίωσης απόδοσης όπως περιγράφεται στο βήμα # 3.

Βήμα # 3: Με βάση τις καμπύλες IV που δημιουργήθηκαν στο βήμα # 1 συντέθηκε μία φωτοβολταϊκή σειρά για κάθε μία από τις τρεις θέσεις (μία Ελλάδα, 2 Γερμανία) με τέτοιο τρόπο ώστε να ταιριάζουν με τα χαρακτηριστικά των υποβαθμισμένων στοιχειοσειρών που μετρήθηκαν στο βήμα # 2 (παράδειγμα βλέπε σχήμα Νο.10).



Εικόνα Νο.19: Συνθετικές καμπύλες STC, 700, 400, 200 και 100W / m2 IV

Βήμα # 4 Προσομοίωση: Οι συντεταγμένες χορδές από το βήμα # 3 χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό της απόδοσης με τα δεδομένα του PVsyst και Meteonorm. Μια περίληψη των επιπέδων ακτινοβολίας δίνεται στο Σχήμα Νο.20



Εικόνα Νο.20: Μηνιαία ακτινοβολία σε kWh / m2 για τις δύο διαφορετικές θέσεις.

Για την αύξηση της συγκρισιμότητας, προσομοιώθηκαν τα ίδια φωτοβολταϊκά συστήματα με και χωρίς υποβάθμιση PID για κάθε τοποθεσία. Το σύστημα υποτίθεται ότι είναι σταθερή κεκλιμένη (βέλτιστη για τη θέση), ανοικτή δομή στήριξης με πλαίσια χωρίς καμία σκίαση και μετατροπέα κατάσταση. Και για τις τρεις τοποθεσίες, ένας υπολογισμός αναφοράς βασίζεται σε υποβιβασμένη υπομονάδα φυσικά (χωρίς PID). Το αποτέλεσμα αυτό καθορίστηκε στο 100%, που σημαίνει βέλτιστη απόδοση και παραγωγή ενέργειας (απόδοση) όπως υπολογίστηκε.

Το μεσαίο μέρος του παρακάτω πίνακα (βλέπε Εικόνα Νο.21) συνοψίζει τις μετρούμενες και υπολογιζόμενες απώλειες ισχύος σε συνθήκες STC σε σχέση με το σύστημα με κανονική υποβάθμιση. Το φαινόμενο PID οδηγεί σε α απώλεια δύναμης στοιχειοσειράς 4,2% για το χαμηλό και 18,3% για το υψηλό PID υποβαθμισμένο, αντίστοιχα. Το αριστερό μέρος δείχνει την υπολογισμένη ειδική παραγωγή ενέργειας με βάση τις καμπύλες IV από τις συντεταγμένες συμβολοσειρές PID με την αναφορά της κανονικής σειράς. Το χαμηλό υποβαθμισμένο σύστημα PID έδειξε μια ειδική απώλεια στην παραγωγή ενέργειας 6,8% και η πιο υποβαθμισμένη από 12,4%. Το σύστημα στην Ελλάδα έδειξε μόνο μείωση της ειδικής παραγωγής ενέργειας κατά 5,4%.

Η πιο δεξιά στήλη δείχνει τη συνολική απώλεια ενέργειας που προκαλείται από το PID για τις διάφορες τοποθεσίες. Τα αποτελέσματα υπολογίζονται με πολλαπλασιασμό της απώλειας ισχύος STC και απώλεια συγκεκριμένης παραγωγής ενέργειας.

Το PID μπορεί να παρατηρηθεί τόσο στη Γερμανία όσο και στην Ελλάδα. Στην Ελλάδα υπάρχει πολύ περισσότερος ήλιος (λιγότερη υγρασία στο έλασμα), υψηλότερες θερμοκρασίες (υψηλότερος ρυθμός αναγέννησης, αλλά και υψηλότερος ρυθμός αποικοδόμησης) και ειδικά στα νησιά, ενδεχομένως ένα λεπτό αλμυρό στρώμα στην ενότητα. Η Γερμανία είναι η πιο υγρή, βροχερή και ψυχρή τοποθεσία. Και οι δύο τοποθεσίες έχουν τους δικούς τους ειδικούς παράγοντες κινδύνου.

Συγκρίνοντας π.χ. η απώλεια ισχύος STC των 13,8% της φωτοβολταϊκής εγκατάστασης σε σχέση με το 4,2% της ελαφρώς υποβαθμισμένης γερμανικής φωτοβολταϊκής εγκατάστασης, η συγκεκριμένη απώλεια παραγωγής στην Ελλάδα είναι χαμηλότερη από τη Γερμανία (5,4% έναντι 6,8%). Αυτό οφείλεται στα διαφορετικά μερίδια χαμηλού φωτισμού στην ετήσια παγκόσμια ακτινοβολία (βλέπε επίσης Σχήμα No.21).

Στη Γερμανία, η ειδική απόδοση έχει ένα μεγάλο χαμηλό μερίδιο φωτός, ενώ στην Ελλάδα η απόδοση επιτυγχάνεται με πολύ υψηλότερη ακτινοβολία. Η μέτρηση απώλειας ισχύος μιας συμβολοσειράς ή ενός συνόλου μονάδων δεν περιγράφει την πραγματική απώλεια αξίας ενός φωτοβολταϊκού στοιχείου. Η συνολική απώλεια που προκαλείται από το PID (εδώ 18,3 έναντι 28,5%) εξαρτάται από τη θέση του φωτοβολταϊκού συστήματος. Η απώλεια απόδοσης είναι γενικά υψηλότερη σε σύγκριση με την απώλεια ισχύος.

Οι απώλειες ενός φωτοβολταϊκού συστήματος που επηρεάζεται από το PID εμφανίζονται σε τρία επίπεδα. Πρώτον, οι φωτοβολταϊκές μονάδες στην αρνητική πλευρά (για τύπου Si τύπου p) της σειράς υφίστανται απώλεια ισχύος STC. Δεύτερον, λόγω της αυξημένης αναντιστοιχίας των φωτοβολταϊκών πλαισίων εντός μιας στοιχειοσειράς, η ισχύς STC της στοιχειοσειράς είναι κάτω από το άθροισμα της ισχύος STC των φωτοβολταϊκών μονάδων οι οποίες υποβαθμίζονται σε διαφορετική έκταση (δεν παρουσιάζονται λεπτομερώς στο παρόν, αλλά θεωρήθηκαν στην προσομοίωση από τις συντεταγμένες χορδές).

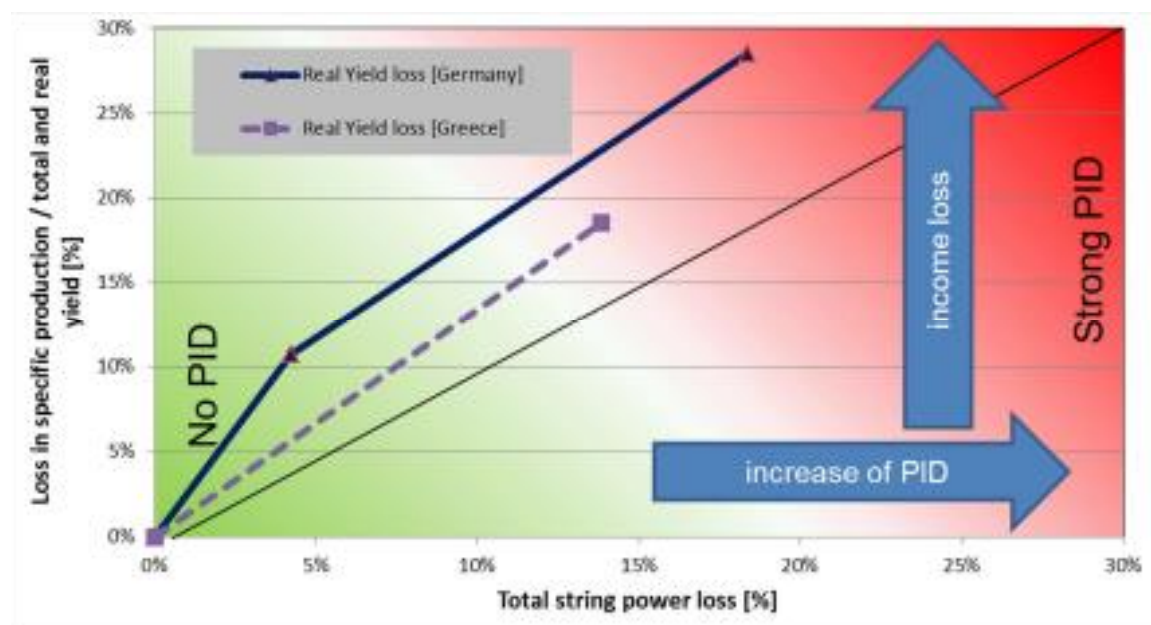
Τελικά, η πιο σημαντική τρίτη πτυχή είναι η συνδυαστική επίδραση της απώλειας ισχύος και της συγκεκριμένης απώλειας απόδοσης εξαιτίας της κακής αδύναμης απόδοσης του φωτός. Αυτό θα οδηγήσει σε απώλεια απόδοσης που υπερβαίνει σημαντικά την απώλεια ισχύος. Στις ακτινοβολίες κάτω από το επίπεδο STC το φαινόμενο PID αυξάνεται με την μείωση της ακτινοβολίας.

Ως αποτέλεσμα, η απώλεια απόδοσης υπερβαίνει την απώλεια ισχύος. Ο βαθμός στον οποίο είναι ορατό αυτό εξαρτάται από τη θέση του φωτοβολταϊκού συστήματος. Ένα φωτοβολταϊκό σύστημα σε μια τοποθεσία όπου ένα μεγάλο μέρος της συνολικής παραγωγής ενέργειας σε ένα ολόκληρο έτος παράγεται σε χαμηλά επίπεδα ακτινοβολίας (π.χ. Γερμανία). Το PID θα προκαλέσει σχετικά υψηλότερη απώλεια ενέργειας και εσόδων σε σύγκριση με μια θέση με υψηλά επίπεδα ακτινοβολίας, π.χ. Ελλάδα ή ερημικές περιοχές (βλέπε Εικόνα N.22).

Germany	[kWh/kWp/year] [Germany]	%	%-loss [Germany]	Germany	Number of modules	kWp - defined	Wp per module defined	kWp as is	average Wp as is per module	%	%-loss	Real Yield loss [Germany]
Specific production normal	974	100.0%	0.0%	Power of string normal	15	3462	230.8	3462	230.8	100.0%	0.0%	0.0%
Specific production low PID	908	93.2%	6.8%	Power of string low PID	14	3231	230.8	3095	221.1	95.8%	4.2%	10.7%
Specific production high PID	853	87.6%	12.4%	Power of string high PID	20	4616	230.8	3769	188.5	81.7%	18.3%	28.5%

Greece	[kWh/kWp/year] [Greece]	%	%-loss [Greece]	Greece	Number of modules	kWp - defined	Wp per module defined	kWp as is	average Wp as is per module	%	%-loss	Real Yield loss [Greece]
Spezifischer Ertrag	1678	100.0%	0.0%	Power of string normal	15	3462	230.8	3462	230.8	100.0%	0.0%	0.0%
Specific production high PID	1587	94.6%	5.4%	Power of string high PID	15	3462	230.8	2984	198.9	86.2%	13.8%	18.5%

Εικόνα No.21: Σύνοψη όλων των μετρημένων / συνθετικών και υπολογισμένων τιμών.



Εικόνα No.22: Απώλεια ισχύος PID STC σε σχέση με την απώλεια απόδοσης ενέργειας.

Επίλογος – Συμπεράσματα

Αποτελεί γεγονός πως το ενεργειακό ζήτημα σήμερα, είναι υψίστης σημασίας για όλες τις χώρες ανά το παγκόσμιο χάρτη. Το κόστος της καύσιμης ύλης είναι ένα από τα πιο φλέγοντα ζητήματα των ημερών μας. Η αύξηση της τιμής τους, συνδέεται, εκτός από τον διαρκή πόλεμο για τον έλεγχο των κοιτασμάτων και με τη συνεχή ελάττωσή τους. Είναι γεγονός επίσης, ότι το πετρέλαιο, η έλλειψή του, δημιουργούν ένα πλέγμα γεωπολιτικών προϋποθέσεων και στρατηγικών γύρω από τις οποίες κινούνται, στριφογυρίζουν και τοποθετούνται, όλες οι σημαντικές χώρες του κόσμου.

Σ' ένα κόσμο που οι διεθνείς σχέσεις δεν διέπονται από αρχές δικαίου αλλά υπερισχύει το δίκαιο του ισχυρότερου, η πρόσβαση στις περιοχές των αποθεμάτων πετρελαίου, φυσικού αερίου και άλλων υδρογονανθράκων αποτελεί από μόνη της πηγή εξουσίας και ισχύος. Τα δύο παρακάτω παραδείγματα αποδεικνύουν ακράδαντα τα προβλήματα που δημιουργεί μία ενεργειακή κρίση.

Η πρώτη ενεργειακή κρίση που έπληξε τη διεθνή οικονομική κοινότητα κατά το δεύτερο μισό του 20^{ου} αιώνα, συνέβη το 1973 και ουσιαστικά καταδεικνύει τον τρόπο του χειρισμού της ενέργειας, από αυτούς που την κατέχουν, με ποιο τρόπο χρησιμοποιούν αυτή την δύναμη που λέγεται μαύρος χρυσός, για να επιτύχουν τους στόχους τους και να επιβάλουν τους δικούς τους όρους (Υπηρεσία Ενέργειας – Ενεργειακά Δρώμενα στη Κύπρο, Υπουργείο Εμπορίου, Βιομηχανίας και Τουρισμού Κύπρου, 2012).

Ως Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (ΑΠΕ) ορίζονται οι ενεργειακές πηγές που τροφοδοτούνται συνεχώς με ενέργεια από τον ήλιο με τέτοιους ρυθμούς, ώστε να θεωρούνται πρακτικά ανεξάντλητες και ικανές να υποκαταστήσουν πολλές από τις συμβατικές πηγές ενέργειας. Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας δεν επιβαρύνουν το περιβάλλον είναι καθαρές

πηγές ενέργειας (Φραγκιαδάκης, 2008). Αν και ο όρος ανανεώσιμες δεν είναι πάντα ακριβής, όταν για παράδειγμα εξετάζεται η γεωθερμική ενέργεια, καθώς η συγκεκριμένη μορφή ενέργειας δεν ανανεώνεται σε κλίμακα χιλιετιών (Καρυδογιάννης, 2010).

Διαδικασία όπως αυτή της άντλησης, της καύσης ή της εξόρυξης δεν χρειάζονται για την παραγωγή ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Ένα άλλο σημαντικό είναι ότι οι πηγές αυτές ενέργειας χαρακτηρίζονται ως «καθαρές». Με λίγα λόγια, θεωρούνται πολύ φιλικές απέναντι στο περιβάλλον. Δεν αποδεδυεύουν διοξείδιο του άνθρακα γεγονός ιδιαίτερα θετικό για το περιβάλλον. Πέρα από το διοξείδιο του άνθρακα περιορίζουν διάφορα άλλα τοξικά και ραδιενεργά υλικά και απόβλητα (Καπλάνης, 2005).

Το βασικό χαρακτηριστικό των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας είναι ότι θεωρούνται ως εναλλακτικές πηγές των συμβατικών μορφών ενέργειας. Η χρήση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας μπορεί να είναι άμεση έπειτα από μετατροπή τους σε διαφορετικές μορφές ενέργειας προκειμένου να χρησιμοποιηθούν για ηλεκτρική ενέργεια. Το αξιοσημείωτο είναι ότι έπειτα από υπολογισμούς, το τεχνικά εκμεταλλεύσιμο δυναμικό αυτών των ήπιων πηγών ενέργειας είναι πολλαπλάσιο της παγκόσμιας κατανάλωσης ενέργειας.

Τα βασικά στοιχεία που μέχρι στιγμής έχουν εμποδίσει την εκμετάλλευση ακόμα και μέρος αυτού του δυναμικού, είναι οι τιμές των νέων ενεργειακών εφαρμογών, τα βασικά τεχνικά προβλήματα για την εφαρμογή τους αλλά κυρίως οι βασικές πολιτικές και οικονομικές σκοπιμότητες και συμφέροντα. Η χρήση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας ειδικά σε μια χώρα όπως η Ελλάδα, λόγω της μορφολογίας της, θα ήταν ιδιαίτερα χρήσιμη απέναντι στην αυτονομία της χώρας (Καρυδογιάννης, 2010).

Περί τη δεκαετία του 1970, διαφάνηκε ένα ενδιαφέρον για τις ήπιες πηγές ενέργειας. Η αιτία για το ενδιαφέρον αυτό αναφέρονται κυρίως στις συνεχείς πετρελαϊκές κρίσεις εκείνη την εποχή αλλά και στο αυξανόμενο ενδιαφέρον γύρω από τη προστασία του περιβάλλοντος και την επικείμενη αλλοίωσή του από τις παραδοσιακές μορφές ενέργειας. Όπως ήταν φυσικό το

κόστος τους στην αρχή ήταν μεγάλο και γι' αυτό το λόγο άρχισαν να εφαρμόζονται μόνο σε πειραματικό στάδιο (Φραγκιαδάκης, 2008).

Ωστόσο, παρατηρείται μια διαρκώς αυξανόμενη τάση αξιοποίησης των συγκεκριμένων μορφών ενέργειας, η οποία επιτρέπει μια πιο αισιόδοξη προοπτική για το μέλλον. Σε αυτό έχει συμβάλει σημαντικά το γεγονός ότι τα τελευταία είκοσι χρόνια το κόστος των εφαρμογών των ΑΠΕ ολοένα και μειώνεται. Ειδικά σε ότι σχετίζεται με την αιολική και την υδροηλεκτρική ενέργεια οι οποίες μπορούν να ανταγωνισθούν ισάξια τις μέχρι σήμερα παραδοσιακές πηγές ενέργειας.

Το ίδιο ισχύει και για τη βιομάζα, η οποία και αυτή είναι σε θέση να ανταγωνισθεί τον άνθρακα και την πυρηνική ενέργεια. Συγκεκριμένα αναφέρεται ότι στις ΗΠΑ το ποσοστό το οποίο προέρχεται από τις νέες ανανεώσιμες πηγές ενέργειας αγγίζει το 6%. Όσο για την Ευρώπη μέχρι το 2020, έχει υπολογισθεί ότι το 30% της ενέργειας θα προέρχεται από τις ανανεώσιμες πηγές κυρίως από τα υδροηλεκτρικά εργοστάσια και τη βιομάζα (Καπλάνης, 2005).

Η κοινωνική αποδοχή όμως των φωτοβολταϊκών συστημάτων στη Κύπρο, αποτελεί ένα σοβαρό πρόβλημα το οποίο δεν γίνεται αποδεκτό ούτε και από τις χώρες οι οποίες έχουν προωθήσει αρκετά την ανανεώσιμη ενέργεια, όπως για παράδειγμα η Γερμανία. Η χώρα αυτή έχει εγκαταστήσει το μεγαλύτερο αριθμό ανεμογεννητριών και παρόλα αυτά αντιμετωπίζει το θέμα της κοινωνικής αποδοχής σε εγκατάσταση νέων μονάδων. Δεν αποτελεί νέο φαινόμενο πλέον η όποια συζήτηση για θέματα κοινωνικής αποδοχής για τον ενεργειακό τομέα αφού το ίδιο γινόταν και παλαιότερα για έργα υδροηλεκτρικά ή για την εγκατάσταση πυρηνικών εργοστασίων στην Ευρώπη, απλά στις μέρες μας είναι ξεκάθαρο ότι πρέπει να δίνεται μεγαλύτερη σοβαρότητα σε μορφές ανανεώσιμης ενέργειας.

Η θέση των τοπικών κοινωνιών σε καμία περίπτωση δεν θα πρέπει να αγνοείται από τη διερεύνηση της κοινωνικής αποδοχής. Με όποιο τρόπο και αν εκφράζεται, είτε άμεσα είτε έμμεσα, από τους αιρετούς άρχοντες ή από

τους όποιους συλλόγους ή ακόμα και από τις περιβαλλοντικές οργανώσεις. Βασικό στοιχείο των φωτοβολταϊκών συστημάτων στη Κύπρο είναι η τοπικότητα εξαιτίας των βασικών χαρακτηριστικών τα οποία δε δέχονται τις μορφές παραγωγής που είναι συγκεντρωτικές και της διάθεσής τους μέχρι τώρα.

Αν και η κλιματική αλλαγή απασχολεί τις τοπικές κοινωνίες, δεν τις εμπόδιζε να τροφοδοτούνται με μορφή ενέργειας η οποία παράγεται αλλού. Φυσικά το γεγονός ότι οι ΑΠΕ και ιδιαίτερα τα φωτοβολταϊκά συστήματα είναι αποκεντρωμένα, αποτελεί βασικό πλεονέκτημα αυτών. Επίσης ακόμα ένα βασικό χαρακτηριστικό τους το οποίο είναι και μειονέκτημα αυτών είναι και το ότι η ισχύς η οποία παράγεται από μια μονάδα των φωτοβολταϊκών συστημάτων, δεν είναι μεγαλύτερη από μια μονάδα η οποία χρησιμοποιεί καύσιμα ορυκτά.

Με λίγα λόγια δηλαδή, αν η ενέργεια από τα ορυκτά καύσιμα αντικατασταθεί από τη χρήση των φωτοβολταϊκών συστημάτων θα δημιουργήσει διάσπαρτες μονάδες. Μια αλλαγή την οποία θα πρέπει να δεχτούν οι τοπικές κοινωνίες. Δηλαδή το γεγονός ότι η ενέργεια η οποία θα καταναλώνεται από αυτές θα παράγεται στα μέρη τους, και σε όποια περίπτωση, υπάρχει πολύς αέρας ή πολύ ήλιος σε μια περιοχή τότε θα πρέπει και οι όποιες περιοχές είναι κοντά της να τροφοδοτούνται από αυτή. Δεν είναι εύκολη υπόθεση η μεταβίβαση αυτή και σίγουρα δημιουργεί τριβές και αντιδράσεις οι οποίες ήδη υπήρχαν.

Σύμφωνα ωστόσο με όσα αναφέρθηκαν στις παραπάνω σελίδες της εργασίας, θα λέγαμε πως βασικός σκοπός της εν λόγω πτυχιακής εργασίας, αναφέρεται σχετικά η συλλογή, αξιολόγηση και συζήτηση στοιχείων που τοποθετούνται στο πλαίσιο της ανάλυσης των δεδομένων για την Μεθοδολογία του Εντοπισμού του Φαινομένου PID σε Φωτοβολταϊκούς Συλλέκτες και Τρόπους Αντιμετώπισής του.

Στο πλαίσιο αυτό σημειώθηκε πως το φαινόμενο της δυνητικής επαγόμενης υποβάθμισης (PID), είναι μια ανεπιθύμητη ιδιότητα ορισμένων

ηλιακών μονάδων. Οι παράγοντες που επιτρέπουν το φαινόμενο PID (τάση, θερμότητα και υγρασία) υπάρχουν σε όλα τα φωτοβολταϊκά (PV) συστήματα, αλλά το φαινόμενο δεν συμβαίνει σε όλα ή/και τα περισσότερα φωτοβολταϊκά συστήματα. Σύμφωνα με τον Δρ. Hacke του Εθνικού Εργαστηρίου Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (NREL), όλες οι μονάδες c-Si [κρυσταλλικού πυριτίου], έχουν στοιχεία αναστρέψιμων και μη αναστρέψιμων μηχανισμών [PID]. Το κλειδί είναι να κατανοήσει κανείς το βαθμό στον οποίο οι ενότητες αντιμετωπίζουν αυτούς τους μηχανισμούς (Yiting D., 2013).

Το φαινόμενο της πιθανής επαγόμενης υποβάθμισης, όπως υποδηλώνει η ονομασία, συμβαίνει όταν το δυναμικό τάσης της μονάδας και η κινητικότητα του ιόντος κίνησης του ρεύματος διαρροής εντός της μονάδας μεταξύ του υλικού ημιαγωγού και άλλων στοιχείων της μονάδας (π.χ. γυαλί, βάση και πλαίσιο), προκαλώντας την υποβάθμιση της ισχύος εξόδου της μονάδας.

Η δυνητική επαγόμενη υποβάθμιση (PID) είναι ένα φαινόμενο που επηρεάζει ορισμένες φωτοβολταϊκές μονάδες με κρυσταλλικά κύτταρα Si και οδηγεί σε σταδιακή χειροτέρευση της απόδοσης, φτάνοντας μέχρι και 30% και περισσότερο μετά από μερικά χρόνια. Ορισμένοι κατασκευαστές μονάδων εργάζονται ήδη για να αναπτύξουν αντίμετρα με τη χρήση νέων υλικών, αλλά η γενική τάση σε τριφασικά συστήματα και τάσεις συστήματος μέχρι 1.000 V επιδεινώνει τώρα το πρόβλημα και όχι την ανακούφιση του.

Τέλος, εκτός από την αρνητική γείωση της φωτοβολταϊκής γεννήτριας, αρκετές εταιρείες προσφέρουν τώρα μια απλή τεχνική λύση για την αποτροπή της αξιοπιστίας αυτής της μείωσης της ισχύος των φωτοβολταϊκών μονάδων, ακόμα και όταν χρησιμοποιούνται αντιστροφείς χωρίς μετασχηματιστή.

Βιβλιογραφία

- ❖ S. Pingel, et al, Potential Induced Degradation of Solar Cells and Panels, 35TH IEEE PVSC, 2010
- ❖ Berghold, et al, Potential Induced Degradation of Solar Cells and Panels, 25TH EUPVSEC, 2010, pp 3753-3759
- ❖ Schuetze, et al, Laboratory Study of Potential Induced Degradation of Silicon Photovoltaic Modules, Q-Cells SE, Sonnenallee 17-21, 06766 Bitterfeld-Wolfen
- ❖ P. Hacke, et al, System Voltage Potential-Induced Degradation Mechanisms in PV Modules and Methods for Test, NREL, 37TH IEEE Photovoltaic Specialists Conference (PVSC 37), Seattle, Washington, 19-24 June 2011
- ❖ Rutschman, Ines, Power Losses below the Surface, Photon International Magazine, November 2012, pp 130-137
- ❖ R. Swanson, et al, The Surface Polarization Effect in High-Efficiency Silicon Solar Cells, 2005, SunPower Corporation
- ❖ S Koch, et al, Polarization Effects and Tests for Crystalline Silicon Cells, 26TH European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, 5-8 September 2011, Hamburg, Germany
- ❖ Ebniali, Faraz, Potential Induced Degradation of Photovoltaic Modules: Influence of Temperature and Surface Conductivity, Arizona State University, April 2012
- ❖ P. Hacke, et al, Characterization of Multicrystalline Silicon Modules with System Bias Voltage Applied in Damp Heat, 25TH EUPVSEC, 2010, pp 3760-3765
- ❖ E. Rucavado, Q. Jeangros, D. F. Urban, J. Holovský, Z. Remes, M. Duchamp, F. Landucci, Rafal Dunin-Borkowski, W. Körner, C. Elsässer, A. Hessler-Wyser, M. Morales-Masis and C. Ballif, “Enhancing the optoelectronic properties of amorphous zinc-tin oxide by passivation of sub-gap defects: a theoretical and experimental demonstration”, Phys. Rev. B 95, 24 (2017)

- ❖ M. Morales-Masis, S. De Wolf, R. Woods-Robinson, J. Ager, C. Ballif, “Transparent Electrodes for Efficient Optoelectronics”, Invited Progress Report, *Adv. Electron. Mater.* 3, 1600529 (2017)
- ❖ L. Fanni, A. Aebersold, M. Morales-Masis, M. Ledinsky, S. Escrig, A. Vetushka, D. Alexander, A. Hessler-Wyser, A. Fejfar, C. Hébert, S. Nicolay, and C. Ballif, “Direct imaging of dopant distribution in polycrystalline ZnO films”, *ACS Applied Materials & Interfaces* 9, 8 (2017)
- ❖ J. Werner, A. Walter, E. Rucavado, S.-J. Moon, D. Sacchetto, M. Rienaecker, R. Peibst, R. Brendel, X. Niquille, S. De Wolf, P. Löper, M. Morales-Masis, S. Nicolay, B. Niesen, C. Ballif, “Zinc Tin Oxide as High-Temperature Stable Recombination Layer for Mesoscopic Perovskite/Silicon Monolithic Tandem Solar Cells”, *Appl. Phys. Lett.* 109 (2016)
- ❖ F. Dazou, P. C. P. Bouten, A. Dabirian, Y. Leterrier, C. Ballif, M. Morales-Masis, “Mechanical integrity of hybrid indium-free electrodes for flexible devices”, *Organic Electronics* 35, 136 (2016)
- ❖ M. Morales-Masis, F. Dazou, Q. Jeangros, A. Dabirian, H. Lifka, R. Gierth, M. Ruske, D. Moet, A. Hessler-Wyser, C. Ballif, “An Indium-Free Anode for Large-Area Flexible OLEDs: Defect-Free Transparent Conductive Zinc Tin Oxide”, *Adv. Funct. Materials* 26, 3 (2016)
- ❖ Dabirian, A. Lachowicz, J.-W. Schüttauf, B. Paviet-Salomon, M. Morales-Masis, A. Hessler-Wyser, M. Despeisse and C. Ballif, “Metallization of Si heterojunction solar cells by nanosecond laser ablation and Ni-Cu plating”, *Solar Energy Materials and Solar Cells* 159, 243 (2015)
- ❖ Dabirian, S. Martin de Nicolas, B. Niesen, A. Hessler-Wyser, S. De Wolf, M. Morales-Masis and C. Ballif, “Tuning the Optoelectronic Properties of ZnO:Al by Addition of Silica for Light Trapping in High-Efficiency Crystalline Si Solar Cells”, *Adv. Mater. Interfaces* 3, 3 (2015)
- ❖ M. Morales-Masis, S. Martin De Nicolas, J. Holovsky, S. De Wolf and C. Ballif, “Low-Temperature High-Mobility Amorphous IZO for Silicon Heterojunction Solar Cells”, *IEEE J. of Photovoltaics* 5, 5 (2015)

- ❖ T. Tohsophon, A. Dabirian, S. De Wolf, M. Morales-Masis and C. Ballif, “Environmental stability of high-mobility indium-oxide based transparent electrodes”, *APL Materials* 3, 116105 (2015)
- ❖ L. Fanni, A. B. Aebersold, M. Morales-Masis, D. T. L. Alexander, A. Hessler-Wyser, S. Nicolay, C. Hébert and C. Ballif, “Increasing Polycrystalline Zinc Oxide Grain Size by Control of Film Preferential Orientation”, *Cryst. Growth Des.* 15, 12 (2015)
- ❖ Energy Efficiency Directive, 2015, Energy, European Commission. [online] Available at: <http://ec.europa.eu/energy/en/topics/energy-efficiency/energy-efficiency-directive> - Evaluation of measurement data-guide to the expression of uncertainty in measurement
- ❖ Fokaides PA., Kalogirou SA., 2011. Application of infrared thermography for the determination of the overall heat transfer coefficient (U-Value) in building envelope. *Applied Energy* 88(2014):4358-65
- ❖ Fox M., et al. 2015. Time-lapse thermography for building defect detection. *Energy and Buildings* 92 (2015): 95-106
- ❖ GLULAM TIMBER ELEMENTS, 2007. [pdf] Huttemann. Available at: http://www.germanglulam.com/c5/files/4113/5219/7024/HBE_technical_Data_english_2008.pdf
- ❖ Heating and cooling, Department of Energy, [online] Available at: <http://energy.gov/public-services/homes/heating-cooling> [Accessed 27 April 2015]
- ❖ Ohlsson K.E.A., Olofsson T. 2014. Quantitative infrared thermography imaging of the density of heat flow rate through a building element surface. *Applied Energy*: 134(2014):499-505
- ❖ User’s Manual, Flir ix series, FLIR
- ❖ Renewable Energy Policy in the EU, 2012, European Renewable Energy Council. [online] Available at: <http://www.erec.org/policy.html>
- ❖ Thermal Insulation-Building elements-In-situ measurement of thermal resistance and thermal transmittance. [2014] ISO-9869-1
- ❖ Thermal Insulation-Physical quantities and definitions. [1987] ISO-7345
- ❖ Thermal Insulation-Determination of steady-state thermal transmission properties-Calibrated and guarded hot box. [1994] ISO-8990

- ❖ Yiting D., 2013, Investigations on China's building energy consumption. [pdf] China Center for Energy and Development, Peking University.

Βιβλιογραφία Σχετικά με τις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας

- American Agricultural Economics Association, Commodity Costs and Returns Estimation Handbook, A Report of the AAEA Task Force on Commodity Costs and Returns, ch5 Machinery, Equipment and Buildings Costs
- European Commission, Communication for the commission, Energy for the future: Renewable sources of energy White Paper for a community strategy and action plan, 2010
- European Renewable Energy Council, Renewable Energy in Europe: Building Markets and Capacity (Paperback - Aug 2004), Institution of electrical engineers (IEE), Combined Heat and Power (CHP), an environment & energy fact sheet
- Regulatory Authority for Energy (RAE), General information on the Cypriot electricity sector for the period 2000-2003: Installed capacity, production and consumption level, renewable energy sources and long-term energy planning, 2009
- United States Combined Heat and Power Association, Provide a 7-year depreciable life for agricultural heat and power energy systems

Ελληνική Βιβλιογραφία

- Κυπριακή Δημοκρατία, Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας Κύπρου, Στοιχεία για Χρήση Φωτοβολταϊκών Συστημάτων και Ενέργειας στη Κύπρο, 2013
- Κυπριακή Δημοκρατία, 2012, Πρόγραμμα Ενέργεια και Καταναλωτής, Υπουργείο Εμπορίου, Βιομηχανίας και Τουρισμού Κύπρου
- Κυπριακή Δημοκρατία, 2012, Υπηρεσία Ενέργειας – Ενεργειακά Δρώμενα στη Κύπρο, Υπουργείο Εμπορίου, Βιομηχανίας και Τουρισμού Κύπρου

- Δούση, Ε., 2001, Η Κοινοτική Πολιτική Περιβάλλοντος και η Επίδρασή της στην περίπτωση της Ελλάδας, Πανεπιστήμιο Αθηνών, εκδ. Παπαζήση
- Θανόπουλος Ν. Ι., 2003, "Επιχειρηματική Ηθική και Δεοντολογία : Εταιρική Κοινωνική ευθύνη", Interbooks, Αθήνα
- Καπλάνης Σ., 2005, Ήπιες Μορφές Ενέργειας I Περιβάλλον και Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας, Εκδόσεις Ίων
- Καρυδογιάννης Η., 2010, Θεσμικό πλαίσιο προώθησης ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και συμπαραγωγής στην Ελλάδα (νόμος 2244/94), Εκδόσεις Τεχνικά χρονικά