

Εθνικό Μετσοβίο Πολύτεχνειο

Σχολή Εφαρμοσμένων Μαθηματικών και Φυσικών Επιστημών

Τομέας Φυσικής

ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΟΥ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟΥ PID(Potential Induced Degradation-Δυνητική Επαγόμενη Υποβάθμιση) ΣΕ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ ΠΛΑΙΣΙΑ – Η ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΤΟΥ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟΥ ΠΑΡΚΟΥ ΤΗΣ ΑΣΤΥΠΑΛΑΙΑΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Φίλιππος Τσίμπρης

Επιβλέπων: Ηλίας Ζουμπούλης

Αναπληρωτής Καθηγητής, Ε.Μ.Π.

.

Στην οικογένεια μου

......

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Αναπληρωτή Καθηγητή Ε.Μ.Π. κύριο Ζουμπούλη Ηλία για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε αναθέτοντας μου την παρούσα διπλωματική εργασία, για τη βοήθεια που μου παρείχε σε όλη τη διάρκεια της εκπόνησης της και για την άψογη συνεργασία που είχαμε.

Επίσης, θεωρώ υποχρέωση μου να ευχαριστήσω τη PHOENIX SOLAR ΜΕΠΕ για όλες τις πληροφορίες που μου έδωσε. Ιδιαίτερα τον Μηχανολόγο Μηχανικό Χλιαουτάκη Αριστείδη για την αμέριστη βοήθεια που μου πρόσφερε σε όλα τα επίπεδα, την υποστήριξη του σε ηθικό και προσωπικό επίπεδο,την υπομονή που έδειξε απέναντι μου καθώς και για το χρόνο που διέθεσε για την αποπεράτωση της διπλωματικής μου εργασίας.

Τέλος, την οικογένεια μου και εκλεκτούς φίλους που στάθηκαν δίπλα μου σε όλα τα φοιτητικά μου χρόνια και συνέβαλαν με τον τρόπο τους στην αίσια έκβαση του αγώνα μου.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Το φαινόμενο PID, όπως είναι γνωστή η παράμετρος αυτή, δημιουργεί προβλήματα στη λειτουργία και την απόδοση των Φ/Β συστημάτων. Η παρούσα εργασία αποσκοπεί στη μελέτη του φαινομένου αυτού, των πραγματικών αιτίων του καθώςκαι των τρόπων αντιμετώπισής του.

Το Κεφάλαιο 1 αποτελείται από μια επισκόπηση του μηχανισμού λειτουργίας των Φ/Β συστημάτων καθώς και από μια παρουσίαση των Φ/Β τεχνολογιών. Αποτελεί αναπόσπαστο κομμάτι της εργασίας αυτής αφού είναι το σημείο όπου ορίζονται οι απαραίτητες έννοιες και τα χρήσιμα μεγέθη που θα συζητηθούν στα επόμενα κεφάλαια.

Το Κεφάλαιο 2 μελετά μια πραγματική Φ/Β εγκατάσταση με έδρα τη νήσο Αστυπάλαια του Νομού Δωδεκανήσων. Συγκεκριμένα, μελετώνται οι κλιματολογικές συνθήκες και τα μορφολογικά χαρακτηριστικά της. Ακολούθως, παρουσιάζεται η δομή της εγκατάστασης στο σύνολό της και η διαστασιολόγηση των επιμέρους εμπλεκόμενων συστημάτων.

Το Κεφάλαιο 3 καθώς και το Κεφάλαιο 4 αποτελούν το μέρος αυτό της παρούσας εργασίας το οποίο πραγματεύεται με το φαινόμενο PID. Σε αυτά τα δύο κεφάλαια γίνεται μελέτη τόσο του φαινομένου όσο και των τρόπων που μπορεί να αντιμετωπιστεί. Γίνεται, επίσης, η παρουσίαση συγκεκριμένης περίπτωσης εμφάνισης του φαινομένου και αναλύεται η διάγνωσή του και η αντιμετώπισή του.

Στο Κεφάλαιο 5 παρουσιάζονται συγκεντρωτικά τα συμπεράσματα που προέκυψαν από την παρούσα διπλωματική εργασία.

Στο τέλος της εργασίας ακολουθεί συγκεντρωτική Βιβλιογραφία για περαιταίρω μελέτη.

ABSTRACT

Nowadays the PID effect in crystalline PV modules seems to be unpleasantly popular in PV power stations (PPS) worldwide. The combination of certain environmental, system and PV module parameters may reduce PV module's efficiency and output. Various PID identification methods exist, while cure techniques have already been published. The current study focuses on the appearance of PID in a grid connected PPS in an island of Greece. The examination of the PPS will be in an inverter basis. The present study highlights the need for proper O&M actions and presents all the stages from the diagnosis of the PID affected PV modules till the final conclusions after the treatment is applied and deemed complete.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

6

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 – Φ/Β ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ	9
1.1 Φ/Β Τεχνολογία	9
1.1.1 Εισαγωγή	9
1.1.2 Το Φ/Β Φαινόμενο	10
1.2 Τεχνολογίες Φ/Β Πλαισίων	11
1.3 Ισχύς Φ/Β Πλαισίου	13
1.4 Εξάρτηση Λειτουργίας Φ/Β Στοιχείου από τη Θερμοκρασία	14
1.5 Φ/Β Αντιστροφείς	15
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 - Η Φ/Β ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ	17
2.1 Γενικά στοιχεία για τη νήσο Αστυπάλαια	17
2.2 Κλιματολογικές Συνθήκες	18
2.3 Βασικά Μέρη Φ/Β Συστήματος	21
2.3.1 Φ/Β πλαίσια	21
2.3.2 Αντιστροφείς Φ/Β Συστήματος	22
2.3.3 Λογισμικό Καταγραφής και Επεξεργασίας Δεδομένων	23
2.4 Διαστασιολόγηση Φ/Β Συστήματος	24
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 – ΤΟ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ ΡΙD	25
3.1 Εισαγωγή στο Φαινόμενο PID	25
3.2 Αιτίες του φαινομένου PID	26
3.2.1 Περιβαλλοντικοί παράγοντες	26
3.2.2 Παράγοντες Συστήματος	26
3.2.3 Παράγοντες Φ/Β Πλαισίου	28
3.2.4 Παράγοντες Φ/Β Στοιχείου	31
3.3 Αποτελέσματα Φαινομένου PID	32

εισαγωγ

3.4 Καταπολέμηση Φαινομένου PID σε επίπεδο συστήματος	34
3.5 Καταπολέμηση Φαινομένου PID σε επίπεδο Φ/Β στοιχείου	36
3.6 Εμπορικά προϊόντα Απαλλαγμένα από το Φαινόμενο PID	36

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 – ΤΟ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ ΡΙΟ ΣΤΗ Φ/Β ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΣΤΗ ΝΗΣΟ 38

αστυπαλαία

4.1 Εμφάνιση Φαινομένου PID στην Εγκατάσταση της Αστυπάλαιας	38
4.2. Συσκευή PVOffset για την καταπολέμηση του φαινομένου PID	40
4.3 Συμπεριφορά αντιστροφέων πριν την εγκατάσταση των PVOffset boxes	43
στους αντιστροφείς.	
κεφαλαίο 5 – Αξιολογήση ενεργειακής σύμπεριφοράς Φ/Β σταθμού	60
ΜΕΤΑ ΤΗΝ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΤΩΝ PVOffset BOXES ΣΤΟΥΣ ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΕΙΣ	
5.1 Τάση Voc ανά είσοδο αντιστροφέα	60
5.2 Ανηγμένη ενεργειακή παραγωγή ανά είσοδο αντιστροφέα	63
5.3 Επανέλεγχος Τάση Voc Φ/Β πλαισίων	65
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 - ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	71
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7 - ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	72

......

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στην εποχή μας, η ενεργειακή εξάρτηση κάθε είδους ανθρώπινης δραστηριότητας, από το πετρέλαιο είναι κάτι παραπάνω από προφανής [1]. Αυτή η εξάρτηση, όμως, έχει αρχίσει να δημιουργεί προβλήματα αφού τόσο η τιμή του πετρελαίου στην παγκόσμια αγορά όσο και οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις από τη χρήση του έχουν οδηγήσει την ενεργειακή έρευνα στην επίτευξη συστημάτων παραγωγής ενέργειας τα οποία όχι μόνο θα αποδίδουν την αντίστοιχη ηλεκτρική ενέργεια αλλά θα το πράττουν με οικολογικές μεθόδους και σε κόστος προσιτό για τη βιομηχανία και τον καταναλωτή. Αυτό είναι και το ζήτημα των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΑΠΕ) [2].

Στον ευρωπαϊκό χώρο, συγκεκριμένα, η κρίση του φυσικού αερίου που έλαβε χώρα την 1^η Ιανουαρίου του 2006 καθώς και οι συνακόλουθες διακοπές παροχής αερίου του 2008 και του 2009, ως αποτέλεσμα των κλονισμένων διμερών σχέσεων Ουκρανίας-Ρωσίας, έπληξαν 18 ευρωπαϊκές χώρες και τις βιομηχανίες τους. Έτσι, αναγνωρίστηκε πλήρως η ανάγκη εύρεσης ασφαλιστικών δικλείδων της ενεργειακής αλυσίδας. Αυτές μπορούν να βρεθούν είτε μέσα από κάποιο διαμοιρασμό της ενεργειακής εξάρτησης από διαφορετικές χώρες ώστε μεμονωμένες αποφάσεις ενός κράτους να μην επηρεάζουν σε τόσο μεγάλο βαθμό όλα τα υπόλοιπα είτε μέσα από το διαμοιρασμό της ενεργειακής εξάρτησης από διαφορετικές πηγές ενέργειας.

Επακόλουθο αυτών των σκέψεων υπήρξε η Ευρωπαϊκή Οδηγία του 2009 αναφορικά με «Προώθηση της Χρήσης Ενέργειας Προερχόμενης από Ανανεώσιμες Πηγές». Σύμφωνα με αυτή την Ευρωπαϊκή Οδηγία όλα τα συμβαλλόμενα κράτη υποχρεούνται να πετύχουν τους προβλεπόμενους στόχους μέχρι το 2020, έτσι ώστε στο ίδιο χρονικό διάστημανα έχουν μειωθεί οι εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου κατά 20%. Μια τέτοια μείωση συνεπάγεται άμεσα τη συμμόρφωση της Ευρώπης στην παγκόσμια τάση σταθεροποίησης των αερίων θερμοκηπίου (Green House Gases-GHC)σε ένα εύρος από 450 μέχρι 550 ppm[2].

Μία από τις εξέχουσες ΑΠΕ είναι η ηλιακή ενέργεια με κύριο εκπρόσωπο τα Φωτοβολταϊκά (Φ/Β) Συστήματα. Στην οικογένεια των ΑΠΕ,οι οποίες είναι γνωστές και με τους όρους Ήπιες Μορφές Ενέργειας, Νέες Μορφές Ενέργειας ή Πράσινη Ενέργεια εντάσσονται όλες οι μορφές ενέργειας που διαχειρίζονται φυσικές μορφές ενέργειας αποσκοπώντας στην ηλεκτροπαραγωγή.

Αυτές είναι η Αιολική, η Ηλιακή, η Γεωθερμική, η Κυματική και η Παλιρροϊακή, η Υδραυλική, η Βιομάζα, τα Βιοαέρια καθώς και τα αέρια που εκλύονται από χώρους υγειονομικής ταφής και από εγκαταστάσεις βιολογικού καθαρισμού.

Κατά το χρονικό διάστημα 2000-2011, οι εγκαταστάσεις των ΑΠΕ αυξήθηκαν παγκοσμίως κατά 72%, από τα 748 GW στα 1,285 GW, επιτυγχάνοντας να παράγουν το 22% της συνολικής παγκόσμιας ηλεκτροπαραγωγής που ανέρχεται στις 4,309 TWh [3]. Το μεγαλύτερο τμήμα της ηλεκτροπαραγωγής αυτής αντιστοιχεί στις εγκαταστάσεις εκμετάλλευσης της αιολικής και της ηλιακής ενέργειας, με την αιολική να έχει αυξηθεί στο συγκεκριμένο διάστημα επί έναν παράγοντα 13 και της ηλιακής ενέργειας μέσω Φ/Β συστημάτων κατά έναν παράγοντα 51. Στην εικόνα 1 μπορούμε να δούμε εποπτικά την εξέλιξη της εγκατεστημένης ισχύος από τις κυριότερες μορφές ΑΠΕ στα τελευταία αυτά 11 χρόνια.



Εικόνα Ε1: Παγκόσμια εξέλιξη εγκατεστημένης ισχύος ανά είδος ΑΠΕ στη χρονική περίοδο 2000-2011. [3]

Στις ΗΠΑ, το χρονικό διάστημα 2000-2011 εννιαπλασιάστηκε η εγκατεστημένη ισχύς Φ/Β συστημάτων. Ωστόσο, η συγκεκριμένη πηγή ηλεκτρικής ενέργειας συνεχίζει να εμφανίζει πολύ χαμηλά ποσοστά, της τάξης του 0.2% όσον αφορά τη συμμετοχή στη συνολική ηλεκτροπαραγωγή της χώρας. Παρόλα αυτά, σε χώρες όπου υπάρχει ευνοϊκότερη πολιτική για τα Φ/Β συστήματα καθώς και πιο θελκτικά κίνητρα για εγκατάσταση αυτών τα Φ/Β συστήματα εμφανίζουν πολύ μεγάλη ανάπτυξη. Έτσι, η Γερμανία, η Ισπανία, η Ιαπωνία και η Ιταλία, όπως μπορούμε να δούμε και στην εικόνα Ε2, κυριαρχούν παγκοσμίως στις Φ/Β εγκαταστάσεις, ενώ οι ασιατικές βιομηχανίες κυριαρχούν με ένα συντριπτικό 77%[1] στην παραγωγή και το εμπόριο Φ/Β πλαισίων. Στην εικόνα Ε3 βλέπουμε τα αντίστοιχα μεγέθη για τον ελληνικό χώρο.



Εικόνα Ε2: Κατανομή εγκατεστημένης ισχύος Φ/Β συστημάτων. [3]



Εικόνα Ε3: Κατανομή εγκατηστέμηνες ισχύος Φ/Β συστημάτων στην Ελλάδα.

Συνεπώς, εύκολα μπορούμε να συμπεράνουμε πως τα Φ/Β συστήματα αποτελούν σημαντική ηλεκτροπαραγωγική τεχνολογία, η σημασία της οποίας συναθροιζόμενη με την πτωτική τάση των τιμών των Φ/Β στοιχείων στην αγορά αλλά και με το γεγονός ότι βασίζονται σε μια μορφή ενέργειας, την ηλιακή, η οποία στα δημοκρατικά καθεστώτα αποτελεί δημόσιο αγαθό και συνεπώς δε μπορεί να διακινηθεί σε μονοπωλιακές αγορές, τα καθιστά τεχνολογία αιχμής και μια από τις ηλεκτροπαραγωγικές μεθόδους του μέλλοντος.

Ωστόσο, παρά το γεγονός ότι τα Φ/Β συστήματα αποτελούν μια ελκυστική εναλλακτική παραγωγής ενέργειας καθώς και μια αποδοτική επενδυτική κίνηση τόσο για τις βιομηχανίες όσο και για τους ιδιώτες, τα τελευταία χρόνια εμφανίστηκε μια νέα παράμετρος της λειτουργίας τους η οποία μειώνει την απόδοσή τους.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

Φ/Β ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ

Η ύπαρξη και η λειτουργία των Φ/Β συστημάτων βασίζεται σε ένα φαινόμενο που λαμβάνει χώρα κατά την αλληλεπίδραση ακτινοβολίας και ύλης, το Φωτοβολταϊκό Φαινόμενο. Το Κεφάλαιο αυτό ξεκινά με τη μελέτη του Φ/Β Φαινομένου και συνεχίζει με τη διάταξη και τους τρόπους κατασκευής των Φ/Β πλαισίων καθώς και τις διάφορες τεχνολογίες αυτών. Έτσι, θα γίνει δυνατός ο ορισμός των βασικών μεγεθών ενός Φ/Β πλαισίου, οι οποίες και θα μας απασχολήσουν σε όλη την υπόλοιπη μελέτη. Θα παρουσιαστούν οι τρόποι που η θερμοκρασία επιδρά στην απόδοση των Φ/Β πλαισίων και, κλείνοντας, θα παρουσιαστούν οι Φ/Β αντιστροφείς.

1.1 Το Φ/Β Τεχνολογία

1.1.1 Εισαγωγή

Το Φ/Β φαινόμενο παρατηρήθηκε πρώτη φορά από το Γάλλο Φυσικό Alexandre-Edmond Becquerel (1820-1891, πατέρα του βραβευμένου με Βραβείο Nobel Φυσικού Henri Becquerel) το 1839 [4]. Ο Becquerel εργαζόμενος στο εργαστήριο του πατέρα του μελετούσε τις διεργασίες που λάμβαναν χώρα, όταν χλωριούχος άργυρος συνδεδεμένος με ηλεκτρόδια κατασκευασμένα από πλατίνα τοποθετούνταν εντός αγώγιμου διαλύματος. Τότε, παρατήρησε την παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος (ηλεκτρικής τάσης) το οποίο αυξανόταν με έκθεση της διάταξης σε ηλιακή ακτινοβολία. Το φαινόμενο αυτό ονομάστηκε «Φ/Β φαινόμενο» ή «φαινόμενο Becquerel».

Μερικά χρόνια αργότερα, το 1905, ο Albert Einstein (1879-1955, Βραβείο Nobel 1921) περιέγραψε το φωτοηλεκτρικό φαινόμενο, το οποίο μπορεί να θεωρηθεί μια ιδιαίτερη περίπτωση Φ/Β φαινομένου. Στο φωτοηλεκτρικό φαινόμενο τα ηλεκτρόνια αποκτούν τόση ενέργεια έτσι ώστε να μπορούν να διαφύγουν ολοκληρωτικά από το υλικό. Σε αυτό το σημείο βρίσκεται και η μεγάλη διαφορά μεταξύ Φ/Β και φωτοηλεκτρικού φαινομένου: στο Φ/Β τα ηλεκτρόνια της ζώνης σθένους αποκτούν ενέργεια αρκετή ώστε να μετακινηθούν στη ζώνη αγωγιμότητας ενώ στο φωτοηλεκτρικό, όπως περιγράφτηκε παραπάνω, τα ηλεκτρόνια διαφεύγουν πλήρως από το υλικό.

Στο Φ/Β φαινόμενο στηρίζεται η λειτουργία των Φ/Β στοιχείων, τα οποία αποτελούν μια από τις πιο σύγχρονες τεχνολογίες παραγωγής ηλεκτρονικής ενέργειας. Το 1883, ο Αμερικανός εφευρέτης Charles Fritts κατασκεύασε το πρώτο Φ/Β στοιχείο χρησιμοποιώντας ημιαγώγιμο σελήνιο (Se) επικεκαλυμμένο με υπέρλεπτο στρώμα χρυσού (Au). Τα πρώτα αυτά Φ/Β στοιχεία είχαν απόδοση περίπου 1%. Από τότε έχει σημειωθεί τεράστια εξέλιξη στο χώρο της Φ/Β τεχνολογίας με την απόδοση των Φ/Β στοιχείων να αγγίζει πλέον το 20%.

1.1.2 Το Φ/Β Φαινόμενο

Με τον όρο Φ/Β φαινόμενο αναφερόμαστε στην άμεση διαδικασία μετατροπής της ηλιακής ακτινοβολίας σε ηλεκτρική τάση [4]. Τα φωτόνια της ηλιακής ακτινοβολίας προσπίπτουν σε κατάλληλα Φ/Β στοιχεία κατασκευασμένα από ημιαγώγιμα υλικά. Ένα ποσοστό αυτών ανακλάται και ένα δεύτερο ποσοστό διαπερνά το Φ/Β στοιχείο. Τα υπόλοιπα φωτόνια απορροφώνται από αυτό παράγοντας ηλεκτρικό ρεύμα. Η διαδικασία παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος κατ'αυτόν τον τρόπο συνίσταται στην κρούση των φωτονίων που απορροφώνται με τα ηλεκτρόνια του ηλεκτρονικού πλέγματος του Φ/Β με αποτέλεσμα τα δεύτερα να κινούνται και να έχουμε δημιουργία ηλεκτρικού ρεύματος.

Ειδικότερα, το φαινόμενο γίνεται ιδιαίτερα κατανοητό, αν αντιληφθούμε το φως υπό το πρίσμα του Κυματοσωματιδιακού Δυϊσμού. Το φως, λοιπόν, αποτελείται από κβάντα ενέργειας, τα φωτόνια. Η ενέργεια κάθε φωτονίου εξαρτάται αποκλειστικά από τη συχνότητά του, αυτό που το ανθρώπινο μάτι αντιλαμβάνεται ως χρώμα του φωτός. Οι ενέργειες των φωτονίων που αντιστοιχούν στο ορατό φάσμα της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας (συχνότητες από 400·10¹²Hz μέχρι 800·10¹²Hz που αντιστοιχούν σε φωτόνια ενέργειας από 1,6 eV μέχρι 3,2 eV) αρκούν ώστε τα ηλεκτρόνια που είναι δέσμια στα στερεά να μπορούν να μεταβούν σε υψηλότερα ενεργειακά επίπεδα ώστε να κινούνται ελεύθερα συνεισφέροντας στην αγωγιμότητα του υλικού.

Το Φ/Β φαινόμενο, όπως αναφέρθηκε παραπάνω, λαμβάνει χώρα σε συγκεκριμένα υλικά τα οποία ανήκουν στην κατηγορία των ημιαγωγών. Οι ημιαγωγοί είναι υλικά των οποίων η ειδική αντίσταση παίρνει τιμές ενδιάμεσες από αυτές των αγωγών και των μονωτών και έχει αντιστρόφως ανάλογη εξάρτηση από τη θερμοκρασία. Σε αυτά τα υλικά τα ηλεκτρόνια σθένους ούτε απλώνονται ομοιόμορφα σε όλο το χώρο, όπως στα μέταλλα, ούτε παραμένουν στη γειτονιά του μητρικού ατόμου, όπως για παράδειγμα στα στερεά των ευγενών αερίων.

Στους ημιαγωγούς έχουμε πλήρως συμπληρωμένη ζώνη σθένους με τη ζώνη αγωγιμότητας να βρίσκεται ενεργειακά κοντά, δηλαδή εμφανίζεται μεταξύ τους μικρό ενεργειακό χάσμα E_g της τάξης του 1eV, αρκετά μικρό ώστε να αρκεί η ενέργεια που απορροφάται από το ορατό τμήμα του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος. Ιδιότητες των ημιαγωγών εκφράζουν και τα στερεά τα οποία στη βασική τους κατάσταση είναι μονωτές, αν υποστούν προσμίξεις με στοιχεία τα οποία θα προσφέρουν είτε ηλεκτρόνια στη ζώνη αγωγιμότητας είτε οπές στη ζώνη σθένους. Τα υλικά αυτά λέμε πως δεν παρουσιάζουν ενδογενή ημιαγωγιμότητα αλλά αποτελούν ημιαγωγούς προσμίξεων ή εναλλακτικά τα χαρακτηρίζουμε ως εξωγενείς ημιαγωγούς.

Τα ηλεκτρόνια αυτά, όμως, τα οποία έχουν μετακινηθεί βάσει του μηχανισμού του Φ/Β φαινομένου, τείνουν, όπως και κάθε άλλο στοιχείο στη φύση, να επανέλθουν στη θεμελιώδη τους κατάσταση, δηλαδή στην κατάσταση χαμηλότερης δυνατής ενέργειας. Έτσι, θα πρέπει να αναπτυχθεί κάποιος μηχανισμός ,ώστε τα ηλεκτρόνια αυτά να μην αποδιεγερθούν άμεσα.

1.2 Τεχνολογίες Φ/Β Πλαισίων

Κάθε μεμονωμένο Φ/Β Στοιχείο παράγει πολύ μικρή τάση ρεύματος, η οποία εξαρτάται από το υλικό κατασκευής του, για παράδειγμα, τα στοιχεία που είναι κατασκευασμένα από πυρίτιο (Si) παράγουν περίπου 0,5 με 0,6 V έκαστο. Αυτή η τάση δεν είναι ικανή να χρησιμοποιηθεί σε καμμία οικιακή ή βιομηχανική δραστηριότητα. Έτσι, πολυάριθμα Φ/Β στοιχεία συνδέονται σε σειρά ή παράλληλα και τοποθετούνται εντός κατάλληλου πλαισίου συνθέτοντας ένα Φ/Β πλαίσιο.

Τα διαθέσιμα στο εμπόριο Φ/Β στοιχεία είναι δύο ειδών: Κρυσταλλικού Πυριτίου (CrystallineSilicon – Si) και Λεπτού Υμενίου (Thin Film) [5]. Η πρώτη οικογένεια εξ'αυτών περιλαμβάνει το 93% (στατιστικά του 2007) των στοιχείων που διακινούνται στο εμπόριο παγκοσμίως, ενώ το υπόλοιπο 7% αποτελείται από στοιχεία της δεύτερης [6]. Συγκεντρωτικά τα μέλη των δύο αυτών οικογενειών είναι:

Κρυσταλλικού Πυριτίου – Crystalline Silicon ΜονοκρυσταλλικούΠυριτίου – Monocrystalline Silicon (mono-Si) ΠολυκρυσταλλικούΠυριτίου – Polycrystalline Silicon (Polysilicon) Λεπτού Υμενίου (Thin Film) Άμορφου Πυριτίου (a-Si) Υβριδικά a-Si/mono-Si Χαλκοπυριτών (CIS/CIGS) Τελλουριούχου Καδμίου (CdTe) ΧρωστικώνΟυσιών (Dye Sensitized – TiO₂)

Τα Φ/Β στοιχεία κρυσταλλικού Si κατασκευάζονται από υψηλής καθαρότητας Si το οποίο έχει υποστεί προσμίξεις άλλων στοιχείων με κυριότερα το Βόριο (B) και το Φώσφορο (P). Αυτές οι προσμίξεις δημιουργούν δύο διαφορετικών ειδών υλικά, τα τύπου-p και τα τύπου-n. Αυτά τα διαφορετικού τύπου υλικά χαρακτηρίζονται από ελεύθερες οπές και ελεύθερα ηλεκτρόνια αντίστοιχα. Έτσι, στην περιοχή μιας επαφής μεταξύ ενός υλικού τύπου-p και ενός υλικού τύπου-n, δηλαδή στην περιοχή μιας επαφής p-n, τα ελεύθερα ηλεκτρόνια από το τύπου-n υλικό διαχέονται προς τη μεριά του τύπου-p υλικού αφήνοντας πίσω τους ένα στρώμα θετικά φορτισμένου υλικού [5].

Ταυτόχρονα οπές από τη μεριά του τύπου-p υλικού διαχέονται προς τη μεριά του τύπου-n υλικού αφήνοντας πίσω τους ένα στρώμα αρνητικά φορτισμένου υλικού. Αυτή η ταυτόχρονη αμφίδρομη διάχυση δύο διαφορετικών φορέων από το ένα υλικό στο άλλο είναι εξαιρετικής σημασίας, αφού παρέχει ένα ισχυρό ηλεκτρικό πεδίο το οποίο δημιουργεί ένα κατώφλι τάσης που οριοθετεί τις ροές των ηλεκτρικών φορτίων. Συνεπώς, μια ένωση δύο τέτοιων υλικών ουσιαστικά λειτουργεί σαν ζεύγος ηλεκτροδίων (άνοδος και κάθοδος) με αναπτυσσόμενο ηλεκτρικό πεδίο στο σύνορο της επαφής. Όταν αυτό το υλικό εκτεθεί στο φως, τα ζεύγη των φορέων χωρίζονται δημιουργώντας μια διαφορά δυναμικού μεταξύ των ηλεκτρικών συνδέσεων του Φ/Β στοιχείου.

Για την κατασκευή Φ/Β στοιχείων mono-Si σχηματίζονται κυλινδρικές ράβδοι Si και στη συνέχεια αποκόπτονται λεπτές φέτες υλικού πάχους περίπου 0,2 με 0,3 mm. Ακολούθως, οι φέτες αυτές λαμβάνουν εξαγωνικό σχήμα έτσι ώστε κατά τη σύνδεσή τους στο Φ/Β πλαίσιο να καταλάβουν όσο δυνατόν περισσότερο χώρο. Τα mono-Si Φ/Β στοιχεία που διατίθενται στο εμπόριο έχουν μια απόδοση ανά μονάδα επιφάνειας περίπου 13% με 17%, την υψηλότερη εμφανιζόμενη στα εμπορικώς διατιθέμενα Φ/Β στοιχεία [5].

Τα Φ/Β που είναι κατασκευασμένα από polysilicon είναι επίσης κατασκευασμένα με τον ίδιο τρόπο, με μόνη διαφορά ότι το υλικό αυτή τη φορά είναι κατασκευασμένο μέσω μιας διαδικασίας χύτευσης. Το Si θερμαίνεται μέχρι μια συγκεκριμένη θερμοκρασία και στη συνέχεια ψύχεται κάτω από συγκεκριμένες συνθήκες εντός εκμαγείου. Αυτό είναι και το σημείο όπου λαμβάνει χώρα η διαμόρφωση της πολυκρυσταλλικής μορφής του υλικού. Τα Φ/Β στοιχεία από polysilicon είναι λιγότερο αποδοτικά από αυτά που είναι κατασκευασμένα από ποno-Si κατά 1,5 με 2%. Ωστόσο, η χαμηλότερη τιμή τους είναι ο κυριότερος λόγος που συνεχίζουν να είναι εμπορικά διαθέσιμα.

Στην αντίπερα όχθη βρίσκονται τα Φ/Β στοιχεία λεπτού υμενίου. Στο παράδειγμα του a-Si η κατασκευή τους συνίσταται στην εναπόθεση λεπτών στρωμάτων Si, πάχους περί τα 0,3 με 2 μm, πάνω σε υπόστρωμα από γυαλί ή ανοξείδωτου χάλυβα. Μειονεκτούν αναφορικά με το βαθμό απόδοσης (ανά μονάδα επιφάνειας) τους, η οποία κυμαίνεται στο 6 με 12% με αποτέλεσμα να απαιτούν μεγαλύτερη έκταση για την παραγωγή δεδομένης ποσότητας ηλεκτρικής ενέργειας.

Στα θετικά τους, όμως, σημειώνεται η «ευελιξία» τους σε φαινόμενα σκίασης και σε υψηλές θερμοκρασίες και η ανάγκη για μικρότερες ποσότητες καθαρού Si για κάθε καταναλισκόμενη ενέργεια . Τέλος, οι τεχνολογίες των κρυσταλλικών και των Φ/Β στοιχείων λεπτού υμενίου μπορούν να συνδυάστουν για την κατασκευή υβριδικών μορφών Φ/Β στοιχείων, οι οποίες προσπαθούν να ανταποκριθούν σε πολύ συγκεκριμένες συνθήκες, όπως για παράδειγμα το υβριδικό Φ/Β που συνδυάζει a-Si και mono-Si και ανταποκρίνεται πολύ καλά συγκριτικά με τα mono-Si στοιχεία σε θερμά κλίματα [6]. Ενώ παράλληλα απαιτεί λιγότερο χώρο ακόμα και από τα απλά μονοκρυσταλλικά Φ/Β στοιχεία.

1.3 Ισχύς Φ/Β Πλαισίου

Η Ισχύς ενός Φ/Β πλαισίου παράγεται από το γινόμενο της έντασης του ρεύματος με την τιμή της τάσης του ρεύματος. Η Μέγιστη Ισχύς κάθε Φ/Β στοιχείου ορίζεται με μέτρηση του παραγόμενου ηλεκτρικού ρεύματος Ι και της αντίστοιχης διαφοράς δυναμικού V υπό συνθήκες που καθορίζονται από συγκεκριμένα πρότυπα όπως τα IEC 61215, IEC 61646 UL 1703.

Αυτές οι συνθήκες περιλαμβάνουν ακτινοβολία έντασης 1000 $\frac{W}{m^2}$, μάζα αέρα ίση με 1,5 και θερμοκρασία Φ/Β πλαισίου ίση με 25°C. Εν συνεχεία, μπορούν να ληφθούν μετρήσεις που αφορούν στη συμπεριφορά του στοιχείου σε διαφορετικές από τις προδιαγεγραμμένες συνθήκες.

Μετρήσεις σε διαφορετικές συνθήκες έντασης ακτινοβολίας μας παρέχουν τα διαγράμματα I-V όπως αυτό της εικόνας 1.1 . Όπως είναι προφανές, η τάση σε ένα Φ/Β στοιχείο δεν έχει έντονη εξάρτηση από την ένταση της ακτινοβολίας. Ωστόσο, δεν μπορεί να ειπωθεί το ίδιο και για την ένταση ηλεκτρικού ρεύματος η οποία φαίνεται να εξαρτάται πλήρως από την ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας.



Εικόνα 1.1: Καμπύλες Ι-V Φ/Β πλαισίου σε σταθερή θερμοκρασία Φ/Β πλαισίου 25°C και μεταβαλλόμενη ένταση ηλιακής ακτινοβολίας. [5]

1.4 Εξάρτηση Λειτουργίας Φ/Β Στοιχείου από τη Θερμοκρασία

Μια ενδιαφέρουσα σειρά μετρήσεων είναι αυτή στην οποία διατηρείται σταθερή η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας που προσπίπτει στο Φ/Β πλαίσιο στα $1000 \frac{W}{m^2}$ ενώ μεταβάλλεται η θερμοκρασία του. Οι παραπάνω μετρήσεις απεικονίζονται στην εικόνα 1.2 [4,5].



Εικόνα 1.2: Καμπύλες Ι-V Φ/Β στοιχείου σε σταθερή εκπεμπόμενη ένταση ηλιακής ακτινοβολίας 1000 $\frac{W}{m^2}$ και μεταβαλλόμενη θερμοκρασία. [5]

Είναι, προφανώς, ιδιαίτερα σημαντική η εξάρτηση της τάσης ενός Φ/Β πλαισίου από τη θερμοκρασία του με τα επίπεδα της τάσης να εμφανίζουν πτώση με αύξηση της θερμοκρασίας, ανεξάρτητα από τον τύπο του Φ/Β στοιχείου. Αυτή η εξάρτηση είναι ιδιαίτερα κρίσιμη σε Φ/Β εγκαταστάσεις σε περιοχές υψηλών θερμοκρασιών περιβάλλοντος με αποτέλεσμα οι κατασκευαστές παγκοσμίως να έχουν ποσοτικοποιήσει το συγκεκριμένο φαινόμενο καταλήγοντας στη χρήση του Θερμοκρασιακού Συντελεστή Θερμοκρασίας (Temperature Coefficient – TC).

Η παράμετρος TC ουσιαστικά είναι το ποσοστό της μεταβολής της τάσης ενός Φ/Β στοιχείου για μεταβολή της θεμοκρασίας κατά 1 βαθμό και μετράται πειραματικά για κάθε Φ/Β στοιχείο και συνεπώς αφορά το Φ/Β πλαίσιο στο σύνολό του. Οι κατασκευαστές παραδοσιακά αναφέρουν τριών ειδών: την TC_{Voc} που αφορά στην τάση του ανοιχτού κυκλώματος (γνωστή και ως ανοιχτοκυκλωμένη τάση), την TC_{Isc} που αφορά στο ρεύμα βραχυκύκλωσηςκαι την $TC_{P_{MPP}}$ που αφορά στην ισχύ στο μέγιστο σημείο ισχύος.

1.5 Φωτοβολταϊκοί Αντιστροφείς

Η παραγόμενη DC τάση των Φ/B στοιχείων μετατρέπεται σε εναλασσόμενη 230V στα 50 Hz, μέσω της χρήσης Φ/B αντιστροφέων, για να είναι εφικτός ο παραλληλισμός της παραγόμενης ενέργειας μειτο δίκτυο χαμηλής τάσης της ΔΕΗ. Τα μεμονωμένα Φ/B πλαίσια μπορούν να διαταχθούν είτε σε παράλληλη σύνδεση είτε σε σειρά [5]. Η πιο συνηθισμένη διάταξη είναι αυτή της σύνδεσης σε σειρά που δημιουργεί μια συστοιχία Φ/B στοιχείων. Το ρεύμα που μπορεί να παραχθεί από κάθε Φ/B συστοιχία είναι προκαθορισμένο και είναι ίσο με το μικρότερο ρεύμα του ενός μεμονωμένου στοχείου. Στην εικόνα που ακολουθεί (Εικόνα 1.3) μπορούμε να συναντήσουμε σε Φ/Β εγκαταστάσεις.



Εικόνα 1.3: Τύποι αντιστροφέων σε Φ/Β εγκαταστάσεις. [7]

Επίσης, όπως προαναφέρθηκε, τα Φ/Β στοιχεία μπορούν να συνδεθούν και παράλληλα. Αυτή η σύνδεση εμφανίζεται στην εικόνα 1.3.a, όπου παρατηρούμε ότι στη συγκεκριμένη περίπτωση η Φ/Β διάταξη είναι συνδεδεμένη με μια και μόνη είσοδο του αντιστροφέα και γι'αυτό το λόγο ο αντιστροφέας αυτός ονομάζεται κεντρικός.

Εξαιτίας αυτού οι κεντρικοί αντιστροφείς λειτουργούν σε υψηλή ισχύ, είναι απλοί, υψηλής αποδοτικότητας και οικονομικοί. Ωστόσο, αυτή η συνδεσμολογία παρουσιάζει μειονεκτήματα. Σημαντικότερα μειονεκτήματα είναι το ότι με τη συνδεσμολογία αυτή δε γίνεται καλή διαχείριση των απωλειών λόγω αναντιστοιχιών και η μεμονωμένη Ανίχνευση Σημείου Λειτουργίας Μέγιστης Ισχύος (Maximum Power Point Tracking – MPPT). Αυτά τα δύο μειονεκτήματα πρέπει να λαμβάνονται πολύ σοβαρά υπόψην στις περιπτώσεις συστημάτων με υψηλά φαινόμενα σκίασης, διαφορετικούς προσανατολισμούς καθώς και διαφορετικές γωνίες κλίσης.

Στις περιπτώσεις, λοιπόν, όπου οι προαναφερθέντες παράγοντες είναι παρόντες, προτιμώνται διατάξεις αντιστροφέων μικρότερης ισχύος, όπως αυτή της εικόνας 1.3.b. Η διάταξη αυτή πλεονεκτεί στο ότι κάθε συστοιχία είναι συνδεδεμένη σε ξεχωριστό αντιστροφέα με αποτέλεσμα να έχει τη δική της ικανότητα για MPPT. Ωστόσο, σε σύγκριση με τους κεντρικούς αντιστροφείς, έχουν μεγαλύτερο κόστος ανά μονάδα εγκατεστημένης ισχύος (kWp).

Μια τεχνολογία αιχμής στους αντιστροφείς είναι αυτή που φαίνεται στην εικόνα 1.3c. Σε αυτή παρατηρούμε μια διάταξη πολλαπλών συστοιχιών, η οποία έχει περισσότερες της μιας εισόδους. Σε κάθε μια από αυτές τις εισόδους αντιστοιχεί ξεχωριστή λειτουργία MPPT. Αυτή η τεχνολογία επέφερε σημαντική αύξηση στα επίπεδα ισχύος των σύγχρονων αντιστροφέων και εξαιτίας του γεγονότος ότι οι συγκεκριμένοι αντιστροφείς έχουν μεγαλύτερο εύρος τάσης λειτουργίας, προσφέρουν ποικιλία αναφορικά με τις επιλογές που παρουσιάζονται στο σχεδιασμό της Φ/Β εγκατάστασης.

Τέλος, στην αγορά υπάρχει η τάση για αντιστροφείς με ανεξάρτητο MPPT ανά Φ/Β πλαίσιο, διάταξη όπως φαίνεται στην εικόνα 1.3d. Η τεχνολογία αυτή παρουσιάζει υψηλούς δείκτες ανάπτυξης, αφού προσφέρει χαμηλό κόστος ανά kWp κατά την τοποθέτηση του σε Φ/Β εγκαταστάσεις μεγάλης έκτασης.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

Η Φ/Β ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ

Στον ελληνικό χώρο, όπου η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας ξεπερνά κατά περιπτώσεις τις 1.650 KWh/m², έχει ιδιαίτερο ενδιαφέρον η περίπτωση των πολυάριθμων απομακρυσμένων νησιών τα οποία είναι αναγκασμένα να εξαρτώνται πλήρως από συμβατικές πηγές ενέργειας ενώ θα μπορούσαν να αποκτήσουν σχετική ενεργειακή αυτονομία εκμεταλλευόμενα ΑΠΕ. Στο Κεφάλαιο αυτό θα παρουσιαστεί η Φ/Β εγκατάσταση ενός τέτοιου νησιού.

2.1 Γενικά στοιχεία για τη νήσο Αστυπάλαια

Η νήσος Αστυπάλαια ανήκει διοικητικά στο Νομό Δωδεκανήσων ενώ γεωγραφικά εντοπίζεται στο νότιο Αιγαιο Πέλαγος, μεταξύ των νησιωτικών συμπλεγμάτων των Κυκλάδων και των Δωδεκανήσων [8]. Η έκτασή του είναι περί τα 197 Km² και το πλησιέστερο νησί είναι η Κως, σε απόσταση 23 ναυτικών μιλίων, ενώ ο Πειραιάς βρίσκεται σε απόσταση 117 ναυτικών μιλίων. Στην εικόνα 2.1 που ακολουθεί μπορεί κανείς να δει την τοποθεσία της νήσου καθώς και την τοποθεσία της Φ/Β εγκατάστασης σε αυτή.



Εικόνα 2.1: Η νήσος Αστυπάλαια και η τοποθεσία της προς μελέτη Φ/Β εγκατάστασης.

Από τα παραπάνω είναι σαφές πως η Αστυπάλαια είναι ένα μη διασυνδεδεμένο νησί. Η τοποθεσία της Φ/Β εγκατάστασης είναι στην ανατολική μεριά του νησιού, σε γεωγραφικό πλάτος 36°35'3.03"Ν και γεωγραφικό μήκος 26°24'48.40"Ε.

2.2 Κλιματολογικές Συνθήκες

Η Αστυπάλαια , ανήκοντας στα Δωδεκάνησα , ακολουθεί και αυτή τις τυπικές ιδιομορφίες όλου αυτού του νησιώτικου σχηματισμού . Το κλίμα του νησιού είναι ήπιο όλες τις εποχές του χρόνου [9], Αυτό έχει ως συνέπεια να επικρατούν ικανοποιητικές θερμοκρασίες τόσο το χειμώνα , όσο και το καλοκαίρι , κάτι που δημιουργεί ευχάριστες και άνετες συνθήκες διαβίωσης . Όπως φαίνεται και στον επόμενο πίνακα, η Αστυπάλαια εμφανίζει υψηλές θερμοκρασίες κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού (23-26°C), ενώ ο χειμώνας κρίνεται αρκετά ή πιος (12-14°C). Παράλληλα, όπως είναι λογικό, τα επίπεδα υγρασίας βρίσκονται σε υψηλά επίπεδα καθ' όλη τη διάρκεια του χρόνου (60-70%) και οι βροχοπτώσεις δεν είναι ιδιαίτερα συχνές. Στον πίνακα 2.1 που ακολουθεί φαίνονται τα ετήσια μετεωρολογικά δεδομένα του νησιού.

Μήνας	Θερμοκρασία	Θερμοκρασία	Σχετική	Βροχόπτωση
	Αέρα (°C)	Θάλασσας (°C)	Υγρασία (%)	(mm)
Ιανουάριος	11,9	14,9	74,2	100,3
Φεβρουάριος	11,8	14,4	67,6	53,9
Μάρτιος	13,2	14,5	67,0	39,4
Απρίλιος	16,0	16,5	65,2	19,5
Μάιος	19,5	18,8	61,3	16,5
Ιούνιος	22,9	21,2	59,1	2,0
Ιούλιος	25,2	23,0	58,0	0,0
Αύγουστος	25,8	23,7	62,8	0,4
Σεπτέμβριος	23,6	22,6	68,9	3,3
Οκτώβριος	20,7	19,9	70,0	25,0
Νοέμβριος	17,1	17,8	72,9	46,7
Δεκέμβριος	13,8	15,7	71,0	81,6

Πίνακας 2.1: Ετήσια μετεωρολογικά δεδομένα Αστυπάλαιας.

Εκτός όμως από τα παραπάνω μετεωρολογικά δεδομένα, αυτό που έχει ιδιαίτερο ενδιαφέρον είναι τα επίπεδα της ηλιακής ακτινοβολίας. Στην εικόνα 2.2 μπορούμε να δούμε τις ζώνες του ηλιακού δυναμικού στην Ελλάδα (στο σχήμα περιλαμβάνονται και οι ζώνες του ηλιακού και του αιολικού δυναμικού στην Ελλάδα.



Εικόνα 2.2: Ζώνες ηλιακού δυναμικού της Ελλάδας.[10]

Σε αυτήν, λοιπόν, βλέπουμε πως ο ελληνικός χώρος χωρίζεται σε 7 ζώνες ανάλογα με τα επίπεδα της ηλιακής ακτινοβολίας με την Αστυπάλαια να βρίσκεται στη τρίτη υψηλότερη κατηγορία που αντιστοιχεί σε ακτινοβολία από 1550 μέχρι 1599 kWh/m². Συγκεκριμένα, σύμφωνα με τα στοιχεία της Εθνικής Μετεωρολογικής Υπηρεσίας (εικόνα 2.3 [9]), η Αστυπάλαια εμφανίζει μέση ημερήσια ηλιακή ακτινοβολία σε οριζόντιο επίπεδο ίση με 4,82 kWh/m². Αν, τώρα, μελετήσουμε το διάγραμμα της εικόνας 2.3, θα δούμε πως η μέση ηλιακή ακτινοβολία στην Αστυπάλαια εμφανίζει την ελάχιστη τιμή της τον μήνα Δεκέμβριο (2,27 kWh/m²). Επίσης, η μέγιστη τιμή της εμφανίζεται το μήνα Ιούλιο (7,4 kWh/m²), ενώ ο δείκτης αιθριότητας (clearnessindex) κυμαίνεται από 0,5 το χειμώνα έως 0,67 το καλοκαίρι. Έτσι, γίνεται σαφές πως για το μεγαλύτερο μέρος του χρόνου, η ηλιακή ακτινοβολία στην Αστυπάλαια είναι σταθερά υψηλή καθιστώντας τις Φ/Β εγκαταστάσεις ιδιαίτερα αποδοτικές. Παράλληλα, το υψηλό αιολικό δυναμικό της περιοχής μας προϊδεάζει οτι η Φ/Β εγκατάσταση θα λειτουργεί κάτω από χαμηλότερες θερμοκρασίες στη θερινή περίοδο.



Εικόνα 2.3: Η μέση ηλιακή ακτινοβολία και ο δείκτης αιθριότητας στην Αστυπάλαια. [9]

2.3 Βασικά Μέρη Φ/Β Συστήματος

2.3.1 Φ/Β πλαίσια

Για την κατασκευή του Φ/Β συστήματος της Αστυπάλαιας χρησιμοποιήθηκαν 410 Φ/Β πλαίσια, έκαστο ισχύος 195 Wp (υπό ονομαστικές συνθήκες λειτουργίας). Συνεπώς, η συνολική ισχύς του σταθμού ανέρχεται στα 79,95 kWp.

Τα Φ/Β πλαίσια αυτά είναι κινέζικης προέλευσης και κατασκευασμένα από μονοκρυσταλλικό πυρίτιο. Όπως προαναφέρθηκε, η ισχύς τους, υπό ονομαστικές συνθήκες λειτουργίας, ανέρχεται στα 195 Wp ενώ πληρούν τις προδιαγραφές IEC/EN 61215 σύμφωνα με τις οποίες έχουν υποβληθεί σε εργαστηριακές δοκιμές και έχει πιστοποιηθεί η μακροχρόνια λειτουργία τους σε ιδιαίτερα αντίξοες περιβαλλοντολογικές συνθήκες. Συνοπτικά τα κύρια χαρακτηριστικά τους είναι αυτά που φαίνονται στον Πίνακα 2.2.

Κύρια Χαρακτηριστικά Φ/Β Πλαισίων Εγκατάστασης Αστυπάλαιας				
Ονομαστική Ισχύς, Ρ _{nom} , [Wp]	195,00			
Τάση Μέγιστης Ισχύος, V _{mpp} , [Volt]	36,60			
Ρεύμα Μέγιστης Ισχύος, Ι _{mpp} , [Α]	5,33			
Τάση Ανοικτού Κυκλώματος, V _{oc} , [Volt]	45,40			
Ρεύμα Βραχυκύκλωσης, ονομαστικό I _{sc} , [A]	5,69			
Θερμοκρασιακός Συντελεστής Ισχύος,P _{max} [%/K]	-0.45%			
Ανώτατο Όριο Τάσης Συστήματος, [Vdc]	1000			
Διαστάσεις Πλαισίου, Υ×Π×Β, [mm]	1580 × 808 x 35			
Βάρος Πλαισίου, [kg]	15,50			

Πίνακας 2.2: Κύρια χαρακτηριστικά Φ/Β πλαισίων εγκατάστασης Αστυπάλαιας.

2.3.2 Αντιστροφείς Φ/Β Συστήματος

Το Φ/Β σύστημα ισχύος 79,95 kW που περιγράφηκε στην παραπάνω παράγραφο συνδέθηκε με το δίκτυο μέσω δύο τριφασικών αντιστροφέων δικτύου ισχύος 17 kW και τριών ισχύος 15 kW. Έτσι, η παραγόμενη DC τάση των Φ/Β στοιχείων μετατρέπεται σε εναλασσόμενη 230V στα 50 Hz για να είναι εφικτός ο παραλληλισμός της παραγόμενης ενέργειας μειτο δίκτυο χαμηλής τάσης της ΔΕΗ. Οι συγκεκριμένοι αντιστροφείς είναι γερμανικής προέλευσης και χαρακτηρίζονται από έναν εξαιρετικά υψηλό ονομαστικό βαθμό απόδοσης ο οποίος αγγίζει το 98%. Σημαντικότατο χαρακτηριστικό τους είναι, επίσης, το γεγονός ότι έχουν τη δυνατότητα να λειτουργούν σε ένα ευρύ θερμοκρασιακό πεδίο που ξεκινά από τους -25°C και φτάνει μέχρι και τους +60°C. Συνοπτικά, τα κύρια τεχνικά χαρακτηριστικά των αντιστροφέων παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα 2.3.

Τύπος	15kW	17kW		
Εύρος Τάσης Εισόδου, [Vdc]	150 έως 800			
Μέγιστη Επιτρεπτή Ισχύς Εισόδου Φ/Β, [kW]	15,6 17,6			
Μέγιστο Ρεύμα Εισόδου Φ/Β, [Α]	33			
Μέγιστη Ισχύς Εξόδου (ac), [kW]	15	17		
Κατώφλι Έναρξης Λειτουργίας, [W]	30			
Ονομαστική Απόδοση, [%]	98			
Διαστάσεις, Υ×Π×Β, [mm]	σεις, Υ×Π×Β, [mm] 690×665×265			
Περιβαλλοντική Προστασία ΙΡ	6	55		
Βάρος, [kg]	6	55		

Πίνακας 2.3: Κύρια τεχνικά χαρακτηριστιά των αντιστροφέων.

2.3.3 Λογισμικό Καταγραφής και Επεξεργασίας Δεδομένων

Η παρακολούθηση της λειτουργίας του Φ/Β σταθμού πραγματοποιείται μέσω κατάλληλου συστήματος παρακολούθησης και καταγραφής δεδομένων (webbox). Ο εν λόγω εξοπλισμός επιτρέπει την άμεση πρόσβαση στα δεδομένα της εγκατάστασης από οπουδήποτε (remote access) και παρέχει μεγάλη ποικιλία στους τρόπους καταγραφής, ανάλυσης και παράστασης των δεδομένων, έτσι ώστε να εξυπηρετούνται οι διαφορετικές ανάγκες, διαφορετικών χρηστών, οι οποίοι "τρέχουν" διαφορετικές εφαρμογές.

Ο συνδυασμός του παραπάνω εξοπλισμού με κατάλληλους περιβαλλοντικούς αισθητήρες (sensorbox) παρέχει τη δυνατότητα παρακολούθησης όλων των περιβαλλοντικών δεικτών που επηρεάζουν τη λειτουργία της εγκατάστασης. Σχηματικά η συνδεσμολογία του εξοπλισμού φαίνεται στην εικόνα 2.4. Σε αυτή την εικόνα, με T_{mod} συμβολίζονται οι αισθητήρες της θερμοκρασίας των πλαισίων, με T_{amb} οι αισθητήρες της θερμοκρασίας του περιβάλλοντος και με S_w οι αισθητήρες της έντασης του αέρα. Σημειώνεται ότι η σύνδεση όλου του παραπάνω εξοπλισμού επιτυγχάνεται μέσωτης χρήσης πρωτοκόλλου RS485.



Εικόνα 2.4: Εικονική αναπαράσταση του λογισμικού καταγραφής και επεξεργασίας δεδομένων.

2.4 Διαστασιολόγηση Φ/Β Συστήματος

Παρακάτω στον πίνακα 2.5 και στην εικόνα 2.5 (μονογραμμική απεικόνιση) παρατίθενται οι πληροφορίες που αφορούν τη διαστασιολόγηση του συστήματος.

A	Τύπος /τιστροφέα (Kw)	Αριθι πλαισ σε σε	ιός ίων ιρά	Αριθ στοιχεια Αν)μός οσειρών νά είσοδο	Ονομαστική Ισχύς (Kw)		Ονομαστική Ισχύς Αντιστροφέα (Kw)
		A	В	А	В	А	В	
1	15_057							
2	15_167	19	19	3	1	11,115	3,705	14,82
3	15_896							
4	17_879	18	19	4	1	14 040	3 705	17 75
5	17_954	10		ŕ	-	1,040	3,703	1,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,

Πίνακας 2.5: Τεχνικά μεγέθη για τη διαστασιολόγηση του συστήματος.



Εικόνα 2.5: Μονογραμμική απεικόνιση διαστασιολόγησης αντιστροφέων.

.....

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΤΟ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ ΡΙΟ

Το φαινόμενο της Δυνητικής Επαγόμενης Υποβάθμισης (Potential Induced Degradation-PID), το οποίο κάνει την εμφάνισή του σε ορισμένες Φ/Β διατάξεις, προκαλεί μια ανεπιθύμητη πτώση της απόδοσής τους και παρατηρήθηκε πρώτη φορά γύρω στο 1970. Από τότε, εξαιτίας της σημαντικής αύξησης των Φ/Β εγκαταστάσεων παγκοσμίως αλλά και της ραγδαίας πτώσης των τιμών των Φ/Β πλαισίων το φαινόμενο μελετάται με ιδιαίτερο ενδιαφέρον.

3.1 Εισαγωγή στο Φαινόμενο PID

Το φαινόμενο PID είναι μια ανεπιθύμητη ιδιότητα που χαρακτηρίζει ορισμένα Φ/Β πλαίσια και συνίσταται από ένα σύνολο αιτίων [11]. Οι αιτίες αυτές ενώ μπορεί είναι παρούσες σε όλα τα Φ/Β πλαίσια, επιφέρουν αρνητική επιρροή μόνο σε ορισμένα και έχουν ως αποτέλεσμα μια σημαντική πτώση της απόδοσής τους σε επίπεδα πρόωρης γήρανσης. Η πτώση αυτή σε καμία περίπτωση δε μπορεί να θεωρηθεί αμελητέα, αφού σε ένα χρονικό ορίζοντα λίγων ετών αγγίζει ακόμη και το 30% της αρχικής απόδοσης.

Το φαινόμενο PID αναγνωρίστηκε αρχικά γύρω στο 1970 και τότε ξεκίνησε μια μέτριας έντασης μελέτη αυτού. Ωστόσο, η ολοένα αυξανόμενη χρησιμοποίηση Φ/Β πλαισίων τόσο σε κτηριακές όσο και σε επί γηπέδου εγκαταστάσεις με την ταυτόχρονη πτώση των τιμών τους στο εμπόριο έδωσε νέα ώθηση στη συγκεκριμένη έρευνα. Η έρευνα αυτή εντοπίζεται κυρίως στην αναγνώριση των αιτίων που προκαλούν το φαινόμενο.

Ωστόσο, το PID είναι ένα φαινόμενο με ιδιαίτερα υψηλού επιπέδου τεχνικό αλλά και επιστημονικό χαρακτήρα αφού η κατανόησή του απαιτεί γνώσεις Χημείας, Φυσικής και Ηλεκτρονικών. Έτσι, είναι ευνόητο πως έχει προκαλέσει ανησυχία στο αγοραστικό κοινό με αποτέλεσμα να υπάρχει έρευνα από τους κατασκευαστές Φ/Β πλαισίων και όχι μόνο.

3.2 Αιτίες του φαινομένου PID

Το φαινόμενο PID λαμβάνει χώρα σε Φ/Β εγκαταστάσεις που λειτουργούν σε υψηλές τάσεις (μέχρι και 1500V) όταν υπάρξει πιθανή διαφυγή αρνητικών ιόντων με τη μορφή σταθερού ηλεκτρικού ρεύματος από το ημιαγώγιμο υλικό προς το υλικό του πλαισίου. Αυτό το ρεύμα διαφυγής (leakage current) έχει ως αποτέλεσμα μια σημαντική συγκέντρωση θετικών φορτίων στην επιφάνεια του εκάστοτε Φ/Β στοιχείου, μια συγκέντρωση που ενισχύεται από περιβαλλοντικές συνθήκες όπως υψηλές θερμοκρασίες ή υψηλά επίπεδα υγρασίας αλλά και από την εφαρμοζόμενη τάση. Οι αιτίες του φαινομένου PID αναλύονται στις παρακάτω παραγράφους.

3.2.1 Περιβαλλοντικοί παράγοντες

Είναι γνωστό πως η σχετική υγρασία και η θερμοκρασία επηρεάζουν εν γένει δυσμενώς την επίδοση των Φ/Β στοιχείων. Έτσι, τα διάφορα πρωτόκολλα δοκιμών σε Φ/Β στοιχεία περιλαμβάνουν διαδοχικούς κύκλους θέρμανσης, διαδοχικούς κύκλους ψύξης και θέρμανση σε διάφορα επίπεδα υγρασίας. Με αυτό τον τρόπο αποδεικνύεται η εξάρτηση του φαινομένου PID από τους παράγοντες αυτούς με τρόπο τέτοιο ώστε η πτώση της απόδοσης του συστήματος να επιταχύνεται από την αύξηση της θερμοκρασίας και/ή της σχετικής υγρασίας.

Εξαιτίας της αδυναμίας ελέγχου του περιβάλλοντος μιας Φ/Β εγκατάστασης, ο μόνος τρόπος για να κατανοήσουμε το φαινόμενο PID είναι να μελετήσουμε τα ίδια τα στοιχεία και το σύστημα που αυτά δημιουργούν.

3.2.2 Παράγοντες Συστήματος

Σε επίπεδο συστήματος, οι πιο σημαντικές επιδράσεις είναι αυτές της εφαρμοζόμενης στο Φ/Β στοιχείο τάσης, τόσο ως προς το μέτρο της όσο και ως προς το πρόσημο της. Τα στοιχεία αυτά της τάσης εξαρτώνται από τη θέση του Φ/Β στοιχείου στη συστοιχία, τον αριθμό των διασυνδεδεμένων Φ/Β στοιχείων, τα επίπεδα της ηλιακής ακτινοβολίας αλλά και από την τοπολογία της γείωσης του συστήματος. Δευτερεύουσα παράμετρος είναι αυτή της θερμοκρασίας των Φ/Β στοιχείων. Υπό τη σκοπιά του φαινομένου PID, οι αντιστροφείς ταξινομούνται από την τάση που «βλέπουν» οι συστοιχίες. Έτσι, όπως φαίνεται και στην εικόνα 3.1, υπάρχουν τέσσερις βασικές τοπολογίες γείωσης Φ/Β στοιχείων.

Βλέπουμε, λοιπόν, στην εικόνα 3.1 τις τέσσερις βασικές κατηγορίες τοπολογίας της γείωσης ενός Φ/Β συστήματος, τοπολογία από την οποία εξαρτάται η τάση την οποία «βλέπει» το σύστημα [11]. Στην εικόνα 3.1.Α. έχουμε τη συμμετρική περίπτωση, στην εικόνα 3.1.Β έχουμε την περίπτωση χωρίς γείωση και εναλλασσόμενο ρεύμα, στην εικόνα 3.1.C. έχουμε την περίπτωση της θετικής γείωσης ενώ στην εικόνα 3.1.D. την περίπτωση της αρνητικής

γείωσης. Το φαινόμενο PID είναι έντονα συνδεδεμένο με την περίπτωση της αρνητικής τάσης του συστήματος ως προς τη γη. Ωστόσο, η SunPower έχει καταγράψει περιπτώσεις όπου το φαινόμενο συνυπάρχει με θετική τάση ως προς τη γη.

Επιπρόσθετες έρευνες έχουν καταδείξει οτι θα μπορούσαμε να ερμηνεύσουμε την εξάρτηση του φαινομένου PID από την επιβαλλόμενη τάση μέσω χωρητικών φαινομένων. Σε κάθε επιβαλλόμενη ηλεκτρική τάση αντιστοιχεί συγκεκριμένη ηλεκτρική δύναμη η οποία προκαλεί μετανάστευση ιόντων με αποτέλεσμα των κορεσμό των ηλεκτρικών φορτίων που διατηρούν τη θερμοδυναμική ισορροπία του συστήματος. Αυτά τα ηλεκτρικά φορτία επηρεάζουν τις ημιαγώγιμες ιδιότητες του υλικού με αποτέλεσμα, ανεξάρτητα από τις εκάστοτε επιβαλλόμενες τάσεις, η εξέλιξη του φαινομένου PID να σταθεροποιείται σε συγκεκριμένα κάθε φορά επίπεδα που εξαρτώνται από το υλικό του στοιχείου.



Εικόνα 3.1: Κατηγορίες τοπολογίας γείωσης Φ/Β συστήματος.

Ωστόσο, υπάρχει ανάγκη περαιτέρω έρευνας αναφορικά με την εξέλιξη του φαινομένου PID σε περιπτώσεις επιβολής πολύ υψηλών τάσεων. Μια από τις υπάρχουσες θεωρίες, για παράδειγμα, απαιτεί ότι θετική ως προς τη γη τάση σε συστοιχίες των 1500V και πάνω θα είναι ικανή να προκαλέσει αστοχία των συστηματων.

3.2.3 Παράγοντες Φ/Β Πλαισίου

Η επιλογή του γυαλιού, της ενθυλάκωσης και του ορίου διάχυσης έχουν άμεση σχέση με το φαινόμενο PID.

Συγκεκριμένα, τα ιόντα νατρίου έχουν την ιδιότητα να μπορούν να μετακινούνται από το γυάλινο περίβλημα του Φ/Β πλαισίου στο Φ/Β στοιχείο με αποτέλεσμα το δεύτερο να μη μπορεί πλέον να λειτουργήσει σωστά. Το φαινόμενο αυτό είναι εν μέρει αντιστρεπτό με χρήση ανάστροφης τάσης κατά τη διάρκεια της νύχτας οπότε και τα ιόντα νατρίου επιστρέφουν στο γυάλινο περίβλημα. Αυτή η διαδικασία εξυγίανσης του Φ/Β πλαισίου συνοδεύεται από επιπλέον κόστος για την εγκατάσταση του απαραίτητου εξοπλισμού. Έτσι, οι εταιρείες παραγωγής Φ/Β πλαισίων έχουν χαράξει συγκεκριμένη πορεία προς την κατασκευή Φ/Β πλαισίων πλήρως απαλλαγμένων από τους παράγοντες γένεσης του φαινομένου PID. Ωστόσο, παρόμοια συμπεριφορά με τα ιόντα νατρίου έχουν και τα ιόντα λιθίου τα οποία παρεισφρύουν στο υλικό της ενθυλάκωσης κατά την κατασκευή του μαζί με μερικά ακόμα στοιχεία, όπως το ασβέστιο. Μόνο, όμως, τα ιόντα λιθίου έχουν αυτή την αρνητική επίδραση στην αποδοτικότητα του πλαισίου, επειδή έχουν τη δυνατότητα να προσδένονται με μόρια οξυγόνου στον κρύσταλλο του πυριτίου με αποτέλεσμα να δημιουργείται ένα ανεπιθύμητο μονωτικό στρώμα στην επαφή p-n το οποίο μειώνει αισθητά τη δυνατότητα του στοιχείου να λειτουργήσει σωστά.

Χαρακτηριστικό είναι το διάγραμμα που ακολουθεί (εικόνα 3.2) το οποίο δείχνει τα ρεύματα διαρροήςστην περίπτωση δύο διαφορετικών υλικών Χ και Υ κατά την αύξηση της θερμοκρασίας από -20°C μέχρι και τους 48°C και σε συνθήκες σχετικής υγρασίας 50% [12]. Στο διάγραμμα αυτό βλέπουμε πως τα δύο αυτά διαφορετικά υλικά οδηγούν σε ρεύματα διαρροής τα οποία διαφέρουν ακόμη και κατά μία τάξη μεγέθους. Τα πλαίσια εδώ δείχνουν να συμπεριφέρονται με τρόπο ανάλογο των πυκνωτών: με την αύξηση της θερμοκρασίας μοιάζουν να «φορτίζονται» και μόλις φτάσουν στη μέγιστη χωρητικότητα του, τότε το ρεύμα αρχίζει την πτωτική του τάση. Αυτή η μία τάξη μεγέθους είναι αρκετή για να συνδεθεί το φαινόμενο PID με τα διάφορα υλικά ενθυλάκωσης.



Εικόνα 3.2: Ρεύματα διαρροής για δύο διαφορετικά υλικά ενθυλάκωσης για αύξηση της θερμοκρασίας από τους -20°Cμέχρι και τους 48°Cκαι σε συνθήκες σχετικής υγρασίας 50%. [12]

Επίσης, κάθε μια από τις διαφορετικές τεχνικές ενθυλάκωσης έχει διαφορετικές ιδιότητες με εξίσου σημαντικά αποτελέσματα στα πλαίσια του φαινομένου PID. Έτσι, το EVA (ethylene vinyl acetate) φαίνεται πως έχει μεγάλη συνεισφορά στο φαινόμενο PID αφού όλα τα υπόλοιπα υλικά ενθυλάκωσης πέτυχαν να μειώσουν το φαινόμενο PID [13]. Αναφορικά με το EVA, εγινε η υπόθεση πως τα ευρύματα που προαναφέρθηκαν σχετίζονται με διαφοροποιήσεις στην αγωγιμότητα. Σχηματική απεικόνιση παρουσιάστηκε στην εικόνα 3.2.

Παράλληλα, το οξικό οξύ που περιέχεται στο ΕVA σε συνδυασμό με την υγρασία μπορεί να ευθύνονται για τα φαινόμενα διάβρωσης του γυαλιού. Τα πειραματικά αποτελέσματα καταδεικνύουν πως το φαινόμενο PID συνδέεται με μια διαδικασία μεταφοράς στη διεπαφή μεταξύ γυαλιού και ΕVA αλλά και μεταξύ ΕVA και του υλικού από το οποίο είναι κατασκευασμένο το Φ/Β στοιχείο.

Επιπροσθέτως, εργαστηριακά τεστ έχουν δείξει πως τα στοιχεία που έχουν επίστρωση βουτυράλης πολιβυνιλύου (PVB) είναι πιο ευαίσθητα στο φαινόμενο PID. Το PVB παρουσιάζει πολύ μικρή ανθεκτικότητα στην υγρασία με αποτέλεσμα αυτή να το διαπερνά αυξάνοντας την αγωγιμότητα. Εναλλακτικά υλικά ενθυλάκωσης των Φ/Β στοιχείων με ανώτερες ιδιότητες αναφορικά με τη διαπερατότητα της υγρασίας έχουν αποδείξει ότι είναι λιγότερο επιρρεπή στο φαινόμενο PID.

Ωστόσο, παρά το γεγονός ότι υπάρχουν αρκετά εναλλακτικά υλικά ενθυλάκωσης με καλύτερες ιδιότητες αναφορικά με το φαινόμενο PID, αυτά είναι αρκετά πιο ακριβά, δυσκολότερα στην κατεργασία, έχουν περιορισμένη μακροπρόθεσμη σταθερότητα

απόδοσης και είναι λιγότερο διαθέσιμα από το EVA με αποτέλεσμα να μην έχουν ακόμα χρησιμοποιηθεί εμπορικά.

Επίσης, η χρήση διοξειδίου του πιριτίου ως όριο μεταξύ του γυαλιού και των ηλεκτρικά ενεργών περιοχών του ημιαγωγού για τον περιορισμό της διάχυσης του φορτίου δεν αποδείχτηκε ισχυρός σύμμαχος για την αντιμετώπιση του φαινομένου PID. Ωστόσο, μέσω αυτού του φράγματος αποτρέπεται πλήρως η διάχυση των οπών.

Τέλος, έχει προταθεί η θεωρία σύμφωνα με την οποία οι παράγοντες γέννησης του φαινομένου PID μετατρέπουν ένα Φ/Β στοιχείο από δίοδο σε τρανζίστορ με αποτέλεσμα το ρεύμα να κρατείται στο εσωτερικό του στοιχείου και να μη μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Η συμπεριφορά αυτή έχει την πηγή της στα αντι-ανακλαστικά υλικά που είναι κατασκευασμένα από νιτρίδιο του πιριτίου.

3.2.4 Παράγοντες Φ/Β Στοιχείου

Η σύλληψη των ηλιακών ακτίνων εκ μέρους του Φ/Β στοιχείου αυξάνεται όταν αυτό επιστρωθεί με αντι-ανακλαστικά υλικά (antireflection coating – ARC) και συνεπώς τότε αυξάνεται και η ηλεκτροπαραγωγή του στοιχείου. Ωστόσο, τα υλικά αυτά εμφανίζονται να είναι ανάμεσα στις αιτίες εμφάνισης του φαινομένου PID. Για την ακρίβεια, η ύπαρξη των ARCs είναι προαπαιτούμενη για την εμφάνιση του φαινομένου PID, άποψη η οποία συμφωνεί απόλυτα με τις εργαστηριακές μελέτες.

Συγκεντρωτικά, οι παράγοντες που παρουσιάστηκαν στις παραγράφους που προηγήθηκαν φαίνονται στην παρακάτω εικόνα.



Εικόνα 3.3: Παράγοντες που επηρεάζουν την κινητικότητα φορτίων στα Φ/Β πλαίσια και κατ'επέκταση γεννούν το φαινόμενο PID. [14]

3.3 Αποτελέσματα Φαινομένου PID

Η πτώση στην τιμή της παράλληλης αντίστασης (R_{sh}) που εμφανίζεται ως αποτέλεσμα του φαινομένου PID οδηγεί σε μείωση του σημείου της μέγιστης ισχύος του πλαισίου (MPP) αλλά και της ανοιχτοκυκλωμένης τάσης του (V_{oc}). Αυτό φαίνεται στο διάγραμμα που ακολουθεί. Η TÜV Rheinland Group [15] αναγνωρίζει το πρόβλημα αυτό μέσω τριών διαφορετικών παραγόντων, μειωση της απόδοσης, απώλειες στην τάση και την ισχύ και τέλος την υπέρυθρη απεικόνιση.

Οι ανεξήγητες απώλειες στην απόδοση των Φ/Β πλαισίων είναι ο κυριότερος δείκτης για την εμφάνιση του φαινομένου PID [11]. Επειδή οι μετρήσεις των R_{sh}, MPPV_{oc} απαιτούν ακριβό εξοπλισμό, ο πιο εύκολος τρόπος να ανιχνευθεί το φαινόμενο PID είναι η χρήση ενός απλού βολτόμετρου για να μετρηθεί η V_{oc} του Φ/Β πλαισίου. Βέβαια, το σχήμα των καμπυλών στο διάγραμμα δε μπορεί να προκύψει μόνο συναρτήσει της V_{oc}, ωστόσο η έκταση του φαινομένου PID μπορεί να γίνει εμφανής σχεδιάζοντας την V_{oc} συναρτήσει της θέσης της συστοιχίας των πλαισίων είτε συγκρίνοντας τις V_{oc} στα δύο διαφορετικά άκρα της συστοιχίας.



Εικόνα 3.4: Η μέιωση των R_{sh}, MMR,MR,V_{oc} προκαλεί μείωση της απόδοσης των Φ/Β στοιχείων μέσω του φαινομένου PID. [11]

Το φαινόμενο PID μπορεί να είναι είτε αναστρέψιμο, είτε μη αναστρέψιμο. Η φύση του εξαρτάται απο την αιτία που προκάλεσε το φαινόμενο. Είναι, βέβαια, σαφές ότι το μη αναστρέψιμο φαινόμενο PID έχει πολύ πιο σοβαρές επιπτώσεις από το αναστρέψιμο και τυπικά οφείλεται σε ηλεκτροχημικές αντιδράσεις που οδηγούν σε ηλεκτρική διάβρωση ή/και σε αποκόλληση του φιλμ των πλαισίων. Αυτά τα μη αναστρέψιμα χαρακτηριστικά παρατηρήθηκαν αρχικά στα Φ/Β λεπτού υμενίου και έτσι δεν αποτελούν σημείο ενδιαφέροντος για τους κατασκευαστές Φ/Β στοιχείων πυριτίου.

Η αναστρέψιμη μορφή του φαινομένου PID που είναι γνωστή και ως «επιφανειακή πόλωση» παρατηρήθηκε από τη SunPower [15], σύμφωνα με την ανακοίνωση της οποίας αυτό το φαινόμενο προκαλεί μη-καταστροφική και αναστρέψιμη υπερσυγκέντρωση στατικού φορτίου στην επιφάνεια των Φ/Β στοιχείων υψηλής απόδοσης.

Το φαινόμενο πόλωσης μελετάται έντονα από το 2005 μέχρι και σήμερα. Αποτέλεσμα αυτής της μελέτης είναι η πολύ καλή κατανόηση πλέον εκ μέρους μας των φαινομένων μεταξύ του γυαλιού και του ημιαγωγού. Έτσι, γνωρίζουμε πως τα ιοντα νατρίου μπορούν να διαχέονται από το εμπρόσθιο γυαλί στην επιφάνεια του Φ/Β στοιχείου εξαιτίας δυνάμεων που προκαλούνται από τη διαφορά δυναμικού.

Η ταχύτητα με την οποία γίνεται η διάχυση αυτή εξαρτάται από το υλικό της ενθυλάκωσης, τη θερμοκρασία, την υγρασία καθώς και την επιβαλλόμενη τάση. Ωστόσο, αυτό που δεν έχει ακόμα γίνει απόλυτα κατανοητό είναι ο μηχανισμός με τον οποίο αλληλεπιδρούν νάτριο και ημιαγωγός. Ανεξάρτητα, βέβαια, από το μηχανισμό με τον οποίο δημιουργείται το φαινόμενο πόλωσης, υπάρχει η δυνατότητα αναστροφής του και κατά συνέπεια πλήρους επαναφοράς της παραγόμενης τάσης του Φ/Β πλαισίου στα κανονικά της επίπεδα.

3.4 Καταπολέμηση Φαινομένου PID σε επίπεδο συστήματος

Στις Φ/Β εγκαταστάσεις με μετατροπείς γαλβανικής απομόνωσης μπορούμε να προλάβουμε το φαινόμενο PID αρκετά ικανοποιητικά γειώνοντας τον αρνητικό πόλο του αντιστροφέα[16]. Έτσι, το δυναμικό ολόκληρης της στοιχειοσειράς μετατοπίζεται στα θετικά. Όταν οι μετατροπείς της εγκατάστασης δεν έχουν μετασχηματιστή, επιτυγχάνεται μεγαλύτερη απόδοση με αρκετά μικρότερο κόστος. Στην περίπτωση αυτή, η πρόληψη του φαινομένου PID μπορεί να επιτευχθεί με τη χρήση ενός PVOffsetBox.

Η συσκευή αυτή αξιοποιεί με τον καλύτερο δυνατό τρόπο τα δύο πιο σημαντικά χαρακτηριστικά του φαινομένου PID, την αναστρεψιμότητα του και την αργή εξέλιξή του.

Η λειτουργία του PVOffset Box είναι ιδιαίτερα απλή. Έχει οριστεί ένα κατώτατο όριο αναφορικά με την τάση της στοιχειοσειράς το οποίο μόλις ξεπεραστει (για παράδειγμα κατά το ηλιοβασίλεμα) το PVOffset Box ανεβάζει το δυναμικό της στοιχειοσειράς σε μια υψηλά θετική τιμή, από +400 μέχρι και +1.000 Volt ως προς τη γη. Έτσι, αναστρέφεται η επίδραση της πόλωσης η οποία λάμβανε χώρα κατά τη λειτουργία της εγατάστασης.

Ωστόσο, αν η εγκατάσταση του PVOffset Box γίνει μετά την εμφάνιση των συμπτωμάτων του φαινομένου PID, η συσκευή μπορεί και αναζωογονεί πλήρως τα Φ/Β πλαίσια σε χρονικό διάστημα το οποίο αντιστοιχεί στη μεσή περίπου περίοδο που διήρκεσε η υποβάθμιση τους.

Μια ακόμη τεχνική θεραπείας του φαινομένου PID είναι αυτή της αναστροφής της πολικότητας που φαίνεται στην εικόνα 3.5 που ακολουθεί [12].

Βέβαια, η παραπάνω αναστρεψιμότητα αφορά Φ/Β πλαίσια τα οποία δεν έχουν υποστεί κάποια ηλεκτροχημική διάβρωση. Ως αποτέλεσμα της αντιστροφής της πολικότητας και κατ'επέκταση της απομάκρυνσης ζημιογόνων δυναμικών από το σύστημα, τα Φ/Β στοιχεία αρχίζουν να αναζωογονούνται. Αυτή η διαδικασία απαιτεί χρόνο και εξαρτάται τόσο από τις επιβαλλόμενες τάσεις όσο και από τις περιβαλλοντικες συνθήκες όπως η υγρασία και η θερμοκρασία.


Εικόνα 3.5: Επίδραση της αντιστροφής της πολικότητας του δυναμικού στο φαινόμενο PID. [12]

3.5 Καταπολέμηση Φαινομένου PID σε επίπεδο Φ/Β στοιχείου

Μια μέθοδος απαλοιφής του φαινομένου PID και επαναφοράς των Φ/Β πλαισίων η οποία έχει μελετηθεί εργαστηριακά είναι αυτή της εφαρμογής υψηλών θερμοκρασιών. Στο παρακάτω διάγραμμα της εικόνας 3.6 βλέπουμε την πειραματική επαλήθευση αυτού του ισχυρισμού μέσω της φύλαξης Φ/Β πλαισίων, που ήδη έχουν εμφανίσει συμπτώματα του φαινομένου PID, σε συνθήκες περί τους 100°C για χρονικό διάστημα 10 ωρών.



Εικόνα 3.6: Θεραπεία του φαινομένου PID με επιβολή υψηλών θερμοκρασιών (100°C). [16]

Φαίνεται, λοιπόν, πως η θερμοκρασία αφενός οδηγεί σε ταχύτερη εξέλιξη του φαινομένου PID και αφετέρου μπορεί να διαδραματίσει σημαντικό ρόλο στη διαδικασία αναζωογόνησης των Φ/Β πλαισίων. Ωστόσο, αυτός ο μηχανισμός δε θεωρείται προβλεπόμενος, αφού οι υψηλές θερμοκρασίες προκαλούν κόπωση στα υλικά από τα οποία αποτελείται το Φ/Β πλαίσιο και κατ'επέκταση στην μακροπρόθεσμη αποδοτικότητά του.

e e e e e e e e e e e e

3.6 Εμπορικά Προϊόντα Απαλλαγμένα από το Φαινόμενο PID

Στο σύγχρονο εμπόριο Φ/Β πλαισίων, η ανάγκη απαλοιφής του φαινομένου PID από τα προς εμπορική εκμετάλλευση Φ/Β πλαίσια, δηλαδή η δημιουργία προϊόντων τα οποία ορίζονται ως PID free, είναι ολοένα αυξανόμενη. Έτσι, το αποτέλεσμα της τάσης αυτής είναι πολλές εταιρείες να έχουν ήδη αναπτύξει PID free προϊόντα.

Τα πρώτα PIDfree Φ/Β πλαίσια παρουσιάστηκαν το Σεπτέμβριο του 2009 από την εταιρεία Schott η οποία κατέθεσε την πρώτη πατέντα αναφορικά με την κατασκευή PID free Φ/Β πλαισίων, καθιερώνοντας νέα πρότυπα αναφορικά με τις επιδόσεις και την αξιοπιστία των Φ/Β πλαισίων που υπόσχοναι «ανοσία» στο φαινόμενο PID [14]. Το δρόμο αυτό ακολούθησε η εταιρεία Q-Cells η οποία κατέθεσε παρόμοια πατέντα τον Ιούνιο του 2010. Τα νέα αυτά προϊόντα έχουν πιστοποιηθεί για συθήκες 85°C και σχετική υγρασία 85% (double 85).

Εξαιτίας της τεχνολογίας αυτής, τα Φ/Β πλαίσια μπορούν και αντιστέκονται ακόμα και στις δυσμενέστερες των καιρικών συνθηκών.

Η TUV Rheinland(εικόνα 3.7) διαθέτει ένα από τα εξειδικευμένα εργαστήρια που πραγματοποιούν τους ανάλογους ελέγχους για να πιστοποιήσουν ένα προϊόν ως PIDfree. Τα προϊόντα πιστοποιούνται ως PID free αν παρουσιάζουν μικρότερη από 5% μείωση στην αποδοτικότητα τους. Το σύνηθες τεστ περιλαμβάνει έλεγχο σε αρνητική τάση ύψους 1.000 Volt για χρονικό διάστημα 7 ημερών σε θερμοκρασίες δωματίου και στη συνέχεια για 7 ακόμη ημέρες σε κυμαινόμενες θερμοκρασίες.

Τέλος, ανάλογη πιστοποίηση παρέχουν τα εργαστήρια PVEL (PV Evolution Labs). Τα PVEL εκτελούν ελέγχους σε σκληρές κλιματολογικές συνθήκες (85°C θερμοκρασία και 85% σχετική υγρασία) για 600 ώρες. Τα εργαστήρια αυτά έχουν, επίσης, θεσμοθετήσει έναν καλά ορισμένο μηχανισμό πιστοποίησης Φ/Β πλαισίων αναφορικά με την εμφάνιση ή μη του PID φαινομένου. Μέσω αυτού του μηχανισμού πιστοποίησης, οι κατασκευάστριες εταιρείες αλλά και οι αγοραστές που επενδύουν στη Φ/Β τεχνολογία μπορούν να ενημερώνονται αναφορικά με την ποιότητα των προϊόντων που διακινούν ή προμηθεύονται αντίστοιχα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΤΟ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ ΡΙΟ ΣΤΗ Φ/Β ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΣΤΗ ΝΗΣΟ ΑΣΤΥΠΑΛΑΙΑ

Η Φ/Β εγκατάσταση της Αστυπάλαιας, όπως αυτή συζητήθηκε σε προηγούμενο Κεφάλαιο, υπήρξε πολύτιμη πηγή πληροφοριών αναφορικά με τη δράση του φανομένου PID. Συγκεκριμένα, παρατηρήθηκε σημαντική πτώση της ηλεκτροπαραγωγής του Φ/Β σταθμού με αποτέλεσμα να τεθεί η επιτακτική η ανάγκη μελέτης των αιτιών αυτής στα πλαισια του φαινομένου PID. Αυτή η μελέτη θα παρουσιαστεί στο κεφάλαιο που ακολουθεί.

4.1 Εμφάνιση Φαινομένου PID στην Εγκατάσταση της Αστυπάλαιας

Η σύνδεση του υπο μελέτη Φ/Β σταθμού με το δίκτυο της ΔΕΗ πραγματοποιήθηκε τον Ιούλιο του 2012. Από τον Ιούλιο του 2012 μέχρι και το Δεκέμβριο του 2013, το διάγραμμα της ανηγμένης παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας (σε μονάδες $\frac{kWh}{kWp}$) για κάθε αντιστροφέα δίνεται στο διάγραμμα 4.1 που ακολουθεί.



Διάγραμμα 4.1: Ανηγμένη ενεργειακή παραγωγή αντιστροφέων από 7/2012-12/2013.

Στο διάγραμμα 4.1 παρατηρούμε πως οι πέντε αντιστροφείς, κατά την εκκίνηση της λειτουργίας του Φ/Β πάρκου λειτουργούν με τρόπο που χαρακτηρίζεται ομοιόμορφος και φυσιολογικός, στα πλαίσια πάντα της στατιστικής των ηλεκτρονικών συστημάτων. Έτσι, διαπιστώθηκε μια άκρως αναμενόμενη συμπεριφορά από τον Ιούλιο του 2012 μέχρι και το Φεβρουάριο του 2013 με διακυμάνσεις που δικαιολογούνται πλήρως από τα επίπεδα της ηλιοφάνειας στην εκάστοτε χρονική περίοδο.

Σημειώνεται οτι τον Οκτώβριο του 2012 ο αντιστροφέας 15_167 παρουσίασε πρόβλημα το οποίο λύθηκε με αναβάθμιση λογισμικού. Το Μάρτιο του 2013 παρατηρούμε την εκκίνηση μιας διαφοροποιημένης συμπεριφοράς των αντιστροφέων 15_057, 17_879 και 17_954. Η απόκλιση αυτή είναι διαφορετική για κάθε έναν από τους αντιστροφείς αυτούς σε σχέση με τους αντιστροφείς 15_167 και 15_896 που συνεχίζουν να λειτουργούν κανονικά.

Αποτέλεσμα αυτής της παρατήρησης είναι η έναρξη διερεύνησης των αιτίων εμφάνισης των αποκλίσεων. Πιο συγκεκριμένα, αφου ελέγχθηκε η κατάσταση των αντιστροφέων απευθυνθήκαμε στον κατασκευαστή των Φ/Β πλαισίων. Αυτός με τη σειρά του ζήτησε πρόσβαση στα δεδομένα της εγκατάστασης, αλλά μας ενημέρωσε οτι η διαδικασία επιβεβαίωσης της ελαττωματικής λειτουργίας τους εκ μέρους τους θα καθυστερήσει λόγω ένταξης της εταιρίας τους σε διαδικασίες αναδιάρθρωσης.

Μετά από συνεννόηση με την κατασκευάστρια εταιρία των Φ/Β πλαισίων τον Μάρτιο του 2013 πραγματοποιήθηκε επί τόπου ενδεικτική επιθεώρηση του Φ/Β σταθμού με μετρήσεις επιπέδων τάσης ανοιχτοκύκλωσης στοιχειοσειρών και μερικών Φ/Β πλαισίων σε συνδυασμό με φωτογραφίες θερμοκάμερας. Οι φωτογραφίες απο τη θερμοκάμερα δεν μπορούσαν να ληφθούν υπόψη καθώς η διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ των ύποπτων στοιχείων και των υπόλοιπων του Φ/Β πλαισίου δεν ξεπερνούσε τους 5°C (λόγω δυνατών ανέμων).

Οι μετρήσεις στα επίπεδα τάσης έδειξαν αναίτια καθοδική πορεία που δεν συμβαδίζει με τις εγγυήσεις του κατασκευαστή.

Αργότερα και αφού η κατασκευάστρια εταιρία των Φ/Β πλαισίων επεξεργάστηκε τα δεδομένα, μας ενημέρωσε ότι τα Φ/Β πλαίσια έχουν επηρεαστεί από το φαινόμενο PID και ο ενδεδειγμένος τρόπος αντιμετώπισης ήταν η εγκατάσταση επιπρόσθετων συσκευών PVOffset στους αντιστροφείς, συγκεκριμένες συσκευές που είναι συμβατές με τους εγκατεστημένους αντιστροφείς.

Έτσι, λοιπόν, με την άφιξη των πρόσθετων συσκευών από τη Γερμανία πραγματοποιήθηκε νέα επίσκεψη τον Ιούλιο του 2013 κατά την οποία αποσυνδέθηκαν ένα προς ένα όλα τα πλαίσια ωστε να καταγραφθούν τα επίπεδα τιμών τάσης ρεύματος και για τα 410 Φ/Β πλαίσια. Παράλληλα πραγματοποιήθηκε η εγκατάσταση 4 εκ των 5 πρόσθετων συσκευών αντιμετώπισης του φαινομένου PID. Η 5^η συσκευή ήταν ελλαττωματική εκ κατασκευής και ως εκ τούτου αποσυνδέθηκε και επεστράφη στην εταιρεία κατασκευής.

Μετά την εγκατάσταση των πρόσθετων συσκευών,από τον αμέσως επόμενο μήνα (Αύγουστος του 2013) παρατηρείται αύξηση(διάγραμμα 4.1) της απόδοσης του αντιστροφέα 17_879 κυρίως, ο οποίος άρχισε να πλησιάζει και πάλι τις αποδόσεις των υπόλοιπων αλλά και των αντιστροφέων 15_057 και 17_954.Επομένως υπήρχε η τάση να δημιουργηθεί ξανά μια ομαλοποιημένη εικόνα της απόδοσης των αντιστροφέων συναρτήσει του χρόνου. Όπως αναφέρθηκε και ανωτέρω, αιτία των διαταραχών που αναφέρθηκαν θεωρήθηκε το φαινόμενο PID και υπό τη σκοπιά αυτού έγινε η ακόλουθη μελέτη.

4.2. Συσκευή PVOffset για την καταπολέμηση του φαινομένου PID.

Για την καταπολέμηση του φαινομένου PID και των επιπτώσεων που αυτό είχε στο Φ/Β σύστημά μας έγινε η τοποθέτηση των PVOffset boxes.

Οι αιτίες που μας οδήγησαν στην επιλογή των PVOffset boxes έναντι εναλλακτικών τεχνικών καταπολέμησης του φαινομένου PID έχουν ήδη καταγραφεί στη βιβλιογραφία [16]. Επιθυμώντας η αντιμετώπιση του φαινομένου να γίνει στο χώρο της Φ/Β εγκατάστασης, έπρεπε να επιλέξουμε μεταξύ της τοποθέτησης των PVOffset boxes και της εναλλακτικής μεθόδου της κατάλληλης γείωσης των Φ/Β πλαισίων και του Φ/Β συστήματος. Όπως φαίνεται και από την εικόνα που ακολουθεί, και οι δύο αυτές τεχνικές είναι εξίσου αποτελεσματικές στην ίαση των καταπονημένων Φ/Β στοιχείων.



Εικόνα 4.1: Αριστερά: Φ/Β στοιχεία πριν την εφαρμογή κάποιας μεθόδου καταπολέμησης του φαινομένου PID. Δεξιά: 14 μήνες μετά από την εγκατάσταση της κάθε μεθόδου. [16]

Ωστόσο, ενώ μακροπρόθεσμα οι δύο τεχνικές είναι εξίσου αποδοτικές, το παρακάτω διάγραμμα 4.2 καταδεικνύει τον λόγο που επιλέξαμε το PVOffset box.

Μπορούμε, λοιπόν, να παρατηρήσουμε ότι ενώ μακροπρόθεσμα και οι δύο τεχνικές οδηγούν σε σχετικά παρόμοια αποτελέσματα, η μέθοδος καταπολέμησης του φαινομένου μέσω της εφαρμογής ενός προσωρινού δυναμικού με τη χρήση ενός PVOffset box έχει πιο γρήγορα αποτελέσματα.

Βλέπουμε, επίσης, πως η μέθοδος με τη χρήση του PVOffset box είναι αποδοτική τόσο τους θερινούς μήνες όσο και τους χειμερινούς, όπου μπορεί μεν οι ρυθμοί επαναφοράς των Φ/Β στοιχείων να έχουν μειωθεί, ωστόσο δεν παύουν να είναι θετικοί. Στην περίπτωση της κατάλληλης γείωσης των Φ/Β στοιχείων, όμως, η μέθοδος δεν είναι ιδιαίτερα αποτελεσματική και αξιόπιστη τους χειμερινούς μήνες με αποτέλεσμα να συνεχίζει η μέθοδος αυτή να μη φέρνει σημαντικά αποτελέσματα σε σύντομο χρονικό διάστημα. Έτσι, επειδή η εξοικονόμηση χρημάτων μέσω της όσο το δυνατόν γρηγορότερης επαναφοράς των Φ/Β στοιχείων είναι καίριας σημασίας, επιλέξαμε να εγκαταστήσουμε το PVOffset box.



Διάγραμμα 4.2.: Σχετική επαναφορά της απόδοσης των Φ/Β στοιχείων με την πάροδο του χρόνου για κάθε μια από τις δύο τεχνικές καταπολέμησης του φαινομένου PID (offsetbox και γείωση). [16]

Το PVOffset box που προτάθηκε από την κατασκευάστρια των Φ/Β πλαισίων ως μέσο εξυγίανσης του φαινομένου PID είναι ιδιαίτερα καινοτόμο. Ανάμεσα στα πλεονεκτήματά του συγκαταλλέγονται η πολύ χαμηλή κατανάλωση ενέργειας, η διατήρηση της αποδοτικότητας των Φ/Β στοιχείων που δεν έχουν ακόμα εμφανίσει συμπτώματα του φαινομένου PID και η αναζωογόνηση αυτών όπου τα συμπτώματα είναι πλέον παρόντα. Είναι ένας ευέλικτος μηχανισμός ο οποίος προσφέρει διάφορους τρόπους λειτουργίας ενώ δεν απαιτεί τη χρήση μετατροπέων με μετασχηματιστή.

Τέλος, χαρακτηρίζεται από πλήρως αυτοματοποιημένη λειτουργία η οποία έχει ενσωματωμένο σύστημα ελέγχου. Στις εικόνες 4.2.α-4.2.β μπορούμε να δούμε τη συνδεσμολογία που προτείνει ο κατασκευαστής στην περίπτωση μονής στοιχειοσειράς και πολλαπλών στοιχειοσειρών αντίστοιχα.



Εικόνα 4.2.: Η προτεινόμενη από τον κατασκευαστή συνδεσμολογία στην περίπτωση της μονής στοιχειοσειράς (αριστερή εικόνα) και των πολλαπλών στοιχειοσειρών (δεξιά εικόνα) [17]

Τα πιο σημαντικά από τα τεχνικά χαρακτηριστικά του PVOffsetbox είναι πως δέχεται μέγιστη τάση των μετατροπέων μέχρι και 1.000 Volt ενώ η ελάχιστη τάση της λειτουργίας του μετατροπέα είναι του μεγέθους των 75 V. Η τάση εξόδου προς τη γη είναι από 400 μέχρι και 1.000 Volt και δίνει μέγιστο ρεύμα εξόδου περί τα 3,3mA. Είναι αρκετά μικρό σε διαστάσεις (Π/Y/B=270/230/100 mm) ενώ το βάρος του δεν ξεπερνά τα 1,4 Kg.

4.3 Συμπεριφορά αντιστροφέων πριν την εγκατάσταση των PVOffset boxes στους αντιστροφείς

Στην παράγραφο που ακολουθεί θα μελετήσουμε τη καταγεγραμμένη συμπεριφορά των αντιστροφέων τον Ιούλιο του 2013 πριν την εγκατάσταση των πρόσθετων συσκευών, δηλαδή κατά την αποκορύφωση των αποτελεσμάτων του φαινομένου PID.

Στο διάγραμμα 4.3 βλέπουμε τα δεδομένα Voc των Φ/Β πλαισίων (1° έως και 19°) από τα οποία αποτελείται ο αντιστροφέας 17_954. Το διάγραμμα αυτό προκύπτει ως αποτέλεσμα των δεδομένων του πίνακα 4.1 που επίσης ακολουθεί. Ο πίνακας 4.1 είναι οι επιτόπιες μετρήσεις ανά πλαίσιο που πάρθηκαν τον Ιούλιο 2013.

Πιο συγκεκριμένα, στον άξονα x'x υπάρχει η αρίθμηση των Φ/Β πλαισίων ανά είσοδο και στον άξονα y'y βρίσκονται οι καταγεγραμμένες τιμές Voc. Μετά από επικοινωνία με τον κατασκευαστή των Φ/Β πλαισίων συμφωνήσαμε ότι η ελάχιστη αποδεκτή τιμή της παραγόμενης ηλεκτρικής τάσης από κάθε Φ/Β πλαίσιο (συμπεριλαμβανομένου σφάλματος οργάνου), έτσι ώστε να είναι σύμφωνη με τις εγγυήσεις του κατασκευαστή των Φ/Β πλαισίων, αντιστοιχεί σε 38V. Κάθε παρατηρούμενη τιμή η οποία πέφτει κάτω από τα 38V δεν μπορεί να θεωρηθεί αποδεκτή. Έτσι, στον πίνακα δεδομένων έχουν επισημανθεί με πορτοκαλί χρώμα οι μη αποδεκτές τιμές.



Διάγραμμα 4.3: Συμπεριφορά των πλαισίων του αντιστροφέα 17_954 πριν την εγκατάσταση της πρόσθετης συσκευής τον Ιούλιο του 2013.

Επίσης σε αυτό το σημείο αξίζει να αναφερθεί ότι για λόγους ασφαλείας και ομαλής λειτουργίας του αντιστροφέα, υπάρχει ρύθμιση στον αντιστροφέα κατά την οποία όταν υπάρχει μεγάλη απόκλιση μεταξύ της παραγόμενης τάσης μεταξύ των συστοιχιών των Φ/Β πλαισίων στην ίδια είσοδο, τότε ολόκληρη η είσοδος σταματάει να λειτουργεί για ολόκληρη την ημέρα. Αυτό συμβαίνει για να προστατευτεί το ευαίσθητο ηλεκτρονικό σύστημα των αντιστροφέων, οι οποίοι λόγω της υψηλής εμπορικής τιμής τους δε δύνανται να αντικαθιστώνται συνεχώς.

Παρατηρούμε, λοιπόν, ότι για τον αντιστροφέα 17_954 μετρήθηκαν 44 μη αποδεκτές τιμές στις τάσεις των Φ/Β πλαισίων.

Με τον ίδιο τρόπο μελετάμε τα Φ/Β πλαίσια και των υπολοίπων τεσσάρων αντιστροφέων, των οποίων τα δεδομένα και τις αντίστοιχες γραφικές παραστάσεις παραθέτουμε ακολούθως. Τονίζουμε ότι για όλους τους αντιστροφείς η ελάχιστη αποδεκτή τιμή του καθε Φ/Β πλαισίου, που είναι συνδεδεμένα σε αυτούς, είναι τα 38V.

Έτσι, στον αντιστροφέα 17_879 (διάγραμμα 4.4 και πίνακας 4.2) υπάρχουν 12 μη αποδεκτές τιμές Voc, στον αντιστροφέα 15_896 (διάγραμμα 4.5 και πίνακας 4.3) υπάρχουν 4, στον αντιστροφέα 15_057 (διάγραμμα 4.5 και πίνακας 4) υπάρχουν 4 και στον 15_167 (διάγραμμα 4.7 και πίνακας 4.5) υπάρχουν 3 μη αποδεκτές τιμές των τάσεων.

INVERT	ER 1_17_9	54								
Mod	INV1A1		INV1A2		INV1A3		INV1A4		INV1B	
Nr in series	Mod Nr/410	Voc (V)								
1	187	41.2	169	6.84	151	16.97	76	42.31	335	41.5
2	188	41.4	170	18.92	152	11.29	77	41.91	336	41
3	189	41.1	171	17.44	153	25.31	78	42.03	337	41.2
4	190	4.39	172	17.98	154	27.67	79	42.22	338	41.2
5	191	41.7	173	10.06	155	25.72	80	42.25	339	37
6	192	19.37	174	9.02	156	14.32	81	42.04	340	34.5
7	193	13.19	175	30.57	157	30.49	82	42.22	341	29.23
8	194	40.7	176	27.58	158	17.09	83	42.12	342	25.88
9	195	41.8	177	41.4	159	24.61	84	42.12	343	13.83
10	196	41.6	178	41.5	160	33.98	85	39.17	344	12.7
11	197	41.7	179	41.7	161	40.01	86	37.41	345	23.81
12	198	41.5	180	41.8	162	41.7	87	23.41	346	10.39
13	199	41.9	181	41.7	163	41.9	88	23.01	347	15.56
14	200	41.5	182	41.8	164	41.9	89	15.45	348	14.14
15	201	41.6	183	41.7	165	41.8	90	19.15	349	14.09
16	202	41.9	184	41.3	166	41.9	91	15.96	350	17.93
17	203	41.5	185	41.3	167	42	92	5.27	351	7.63
18	204	41.9	186	41.5	168	41.7	93	11.61	352	16.03
19									353	13.52
	Average	36.66	Average	30.78	Average	31.13	Average	31.65	Average	22.76
	Sum	659.95	Sum	554.11	Sum	560.36	Sum	569.66	Sum	451.14

Πίνακας4.1: Συμπεριφορά των πλαισίων του αντιστροφέα 17_954 πριν την εγκατάσταση της πρόσθετης συσκευής τον Ιούλιο του 2013.

......



Διάγραμμα 4.4: Συμπεριφορά των πλαισίων του αντιστροφέα 17_879 πριν την εγκατάσταση της πρόσθετης συσκευής τον Ιούλιο του 2013.

INVERT	INVERTER 2_17_879									
Mod	INV2A1		INV2A2		INV2A3		INV2A4		INV2B	
Nr in series	Mod Nr/410	Voc (V)	Mod Nr/410	Voc (V)	Mod Nr/410	Voc (V)	Mod Nr/410	Voc (V)	Mod Nr/410	Voc (V)
1	205	42.43	223	41.7	241	41.45	58	41.5	316	41.6
2	206	42.3	224	41.35	242	41.61	59	41.3	317	41.7
3	207	42.3	225	41.39	243	41.46	60	41.5	318	41.1
4	208	42.36	226	41.24	244	41.39	61	41.9	319	41.7
5	209	42.2	227	41.45	245	41.54	62	39.3	320	41.3
6	210	42.09	228	41.62	246	41.52	63	41.7	321	41.8
7	211	39.22	229	41.54	247	41.45	64	41.8	322	41.8
8	212	41.65	230	41.92	248	41.2	65	21.9	323	41.8
9	213	41.79	231	41.47	249	41.41	66	30.93	324	41.3
10	214	42.08	232	41.59	250	41.18	67	36.7	325	41.5
11	215	40.77	233	41.39	251	41.12	68	41.8	326	41.5
12	216	41.48	234	41.46	252	41.11	69	41.7	327	41.4
13	217	41.41	235	41.34	253	21.07	70	41.9	328	41.3
14	218	25.4	236	41.72	254	40.91	71	41.8	329	38.55
15	219	39.88	237	35.5	255	38.14	72	41.6	330	36.7
16	220	39.18	238	16.2	256	19.75	73	41.9	331	36.08
17	221	40.55	239	39.72	257	33.22	74	41.8	332	39.7
18	222	21.67	240	39.1	258	39.87	75	41.9	333	40.4
19									334	40.1
	Average	39.38	Average	39.54	Average	38.30	Average	39.61	Average	40.54
	Sum	708.76	Sum	711.70	Sum	689.40	Sum	712.93	Sum	771.33

Πίνακας4.2: Συμπεριφορά των πλαισίων του αντιστροφέα 17_879 πριν την εγκατάσταση της πρόσθετης συσκευής τον Ιούλιο του 2013.



Διάγραμμα 4.5: Συμπεριφορά των πλαισίων του αντιστροφέα 15_896 πριν την εγκατάσταση της πρόσθετης συσκευής τον Ιούλιο του 2013.

INVERT	ER 3_15_896	5						
Mod	INV3A1		INV3A2		INV3A3		INV3B	
Nr in	Mod	Voc	Mod	Voc	Mod	Voc	Mod	Voc
series	Nr/410	(V)	Nr/410	(V)	Nr/410	(V)	Nr/410	(V)
1	373	42.1	354	41.3	392	41.7	297	42.21
2	374	41.8	355	41.3	393	41.8	298	42.21
3	375	41.5	356	41.4	394	41.5	299	41.85
4	376	41.4	357	41.4	395	41.3	300	42.19
5	377	41.7	358	41.3	396	41.5	301	41.81
6	378	41.2	359	41.4	397	41.4	302	42.05
7	379	41.7	360	41.4	398	41.4	303	41.83
8	380	41.3	361	41.4	399	41.2	304	41.46
9	381	41.5	362	41.4	400	41.1	305	41.5
10	382	41.6	363	41.5	401	41.6	306	41.62
11	383	41.2	364	41.4	402	40.7	307	41.37
12	384	41	365	41.2	403	41.8	308	38.9
13	385	41.3	366	41.3	404	41.5	309	29.53
14	386	40.8	367	41.3	405	41.4	310	41.82
15	387	41.2	368	41.3	406	41.5	311	42.11
16	388	40.9	369	39.98	407	41.5	312	41.85
17	389	38.3	370	41	408	40.2	313	6.5
18	390	41.5	371	38.2	409	40.4	314	8.02
19	391	40	372	40.5	410	39.7	315	8.45
	Average	41.16	Average	41.05	Average	41.22	Average	35.65
	Sum	782.00	Sum	779.98	Sum	783.20	Sum	677.28

Πίνακας 4.3: Συμπεριφορά των πλαισίων του αντιστροφέα 15_896 πριν την εγκατάσταση της πρόσθετης συσκευής τον Ιούλιο του 2013.



Διάγραμμα 4.6: Συμπεριφορά των πλαισίων του αντιστροφέα 15_057 πριν την εγκατάσταση της πρόσθετης συσκευής τον Ιούλιο του 2013.

INVERT	IVERTER 4_15_057							
Mod	INV4A1		INV4A2		INV4A3		INV4B	
Nr in	Mod	Voc	Mod	Voc	Mod	Voc	Mod	Voc
series	Nr/410	(∨)	Nr/410	(∨)	Nr/410	(∨)	Nr/410	(∨)
1	94	41.61	113	42.09	132	41.76	259	42.07
2	95	41.73	114	42.35	133	41.8	260	41.59
3	96	41.7	115	42	134	41.72	261	41.45
4	97	41.61	116	42.01	135	41.43	262	41.08
5	98	41.81	117	41.82	136	41.72	263	41.46
6	99	41.76	118	41.96	137	41.52	264	41.6
7	100	41.82	119	42.2	138	41.61	265	41.48
8	101	41.88	120	42.02	139	41.33	266	41.68
9	102	41.62	121	42.04	140	41.33	267	41.36
10	103	41.82	122	41.75	141	41.7	268	41.87
11	104	41.93	123	41.42	142	41.65	269	41.52
12	105	41.87	124	41.09	143	41.53	270	41.43
13	106	41.57	125	41.27	144	41.62	271	41.45
14	107	41.86	126	38.95	145	41.64	272	41.42
15	108	41.88	127	36.6	146	4.42	273	41.29
16	109	41.54	128	13.13	147	41.26	274	40.58
17	110	40.28	129	39.22	148	40.86	275	40.75
18	111	41.79	130	41.41	149	39.14	276	40.08
19	112	41.17	131	40.67	150	5.75	277	39.18
	Average	41.64	Average	39.68	Average	37.57	Average	41.23
	Sum	791.25	Sum	754.00	Sum	713.79	Sum	783.34

Πίνακας 4.4: Συμπεριφορά των πλαισίων του αντιστροφέα 15_057 πριν την εγκατάσταση της πρόσθετης συσκευής τον Ιούλιο του 2013.



Διάγραμμα 4.7: Συμπεριφορά των πλαισίων του αντιστροφέα 15_167 πριν την εγκατάσταση της πρόσθετης συσκευής τον Ιούλιο του 2013.

INVERT	'ERTER 5_15_167							
Mod	INV5A1		INV5A2		INV5A3		INV5B	
Nr in series	Mod Nr/410	Voc (V)	Mod Nr/410	Voc (V)	Mod Nr/410	Voc (V)	Mod Nr/410	Voc (V)
1	39	33.7	20	38.32	1	41.17	278	41.56
2	40	40.25	21	39.06	2	38.86	279	41.56
3	41	40.76	22	39.62	3	41.21	280	41.68
4	42	40.37	23	40.48	4	34.97	281	41.72
5	43	41.44	24	41.36	5	41.16	282	41.75
6	44	41.23	25	41.26	6	41.65	283	41.77
7	45	41.05	26	40.98	7	41.69	284	42.18
8	46	40.87	27	40.97	8	41.6	285	41.88
9	47	41.3	28	41.44	9	41.82	286	41.63
10	48	41.51	29	41.58	10	41.63	287	41.86
11	49	41.63	30	41.54	11	41.41	288	41.95
12	50	41.35	31	41.34	12	41.83	289	41.66
13	51	41.48	32	41.86	13	41.35	290	41.66
14	52	41.53	33	41.66	14	41.59	291	41.2
15	53	41.88	34	41.47	15	41.87	292	40.03
16	54	41.4	35	41.28	16	41.77	293	41.36
17	55	41.53	36	41.74	17	41.35	294	41.17
18	56	41.59	37	41.75	18	41.56	295	27.6
19	57	41.72	38	41.87	19	41.57	296	38.01
	Average	40.87	Average	41.03	Average	41.06	Average	40.64
	Sum	776.59	Sum	779.58	Sum	780.06	Sum	772.23

Πίνακας 4.5: Συμπεριφορά των πλαισίων του αντιστροφέα 15_167 πριν την εγκατάσταση της πρόσθετης συσκευής τον Ιούλιο του 2013.

Στη συνέχεια παρατίθενται τα διαγράμματα που προκύπτουν σε μηνιαία κλίμακα από τις μετρήσεις των τάσεων σε καθεμιάς από τις συστοιχίες καθενός από τους αντιστροφείς. Τα διαγράμματα αυτά είναι κατασκευασμένα από μετρήσεις που λαμβάνονταν κάθε πέντε λεπτά με τον οριζόντιο άξονα να αντιστοιχεί στον αύξοντα αριθμό του πενταλέπτου και τον κάθετο στην τάση της εισόδου σε Volt.

Θα πρέπει να τονιστεί ότι τα δεδομένα του πίνακα λαμβάνονται από το σύστημα εξ' αποστάσεως παρακολούθησης «portal» που εξυπηρετεί τους πέντε αντιστροφείς με μετρήσεις που γίνονται κάθε περίπου 6,5 δευτερόλεπτα με αποτέλεσμα να έχουμε περί τις 9 μετρήσεις το λεπτό.

Σημειώνεται οτι το κενό από την πεντάλεπτη μέτρηση 2689 έως 3580 προκύπτει από την επιτόπια επίσκεψη που πραγματοποίηθηκε για την καταγραφή των τιμών τάσεων ανά Φ/Β πλαίσιο πριν την εγκατάσταση των PVOffset συσκευών καταπολέμησης του φαινομένου PID.

Στα παρακάτω διαγράμματα μπορούμε να κάνουμε τα εξής σχόλια:

Αρχικά, αναμένεται να υπάρχει ταύτιση των τιμών τάσης μεταξύ της συστοιχίας Α και της συστοιχοίας Β, λόγω ίδιου αριθμού Φ/Β πλαισίων σε σειρά σε όλους τους αντιστροφείς των 15Kw, ενώ αναμένεται μία μικρή διαφορά της τάξεως των 38V για τους τους αντιστροφείς των 17Kw (λόγω του ενός περισσότερου πλαισίου στην είσοδο Β).

Ενώ τα παραπάνω επαληθεύονται στους αντιστροφείς 15_167, 15_896 και 17_954 αυτή η ταύτιση δεν παρατηρείται στους υπόλοιπους δύο αντιστροφείς. Στη συνέχεια, παρατηρούμε ότι σε όλα τα διαγράμματα, στην αρχή του οριζόντιου άξονα, υπάρχει ένα μεγάλο κενό από μετρήσεις. Αιτία αυτού είναι η προσωρινή απώλεια επικοινωνίας λόγω του εγκατεστημένου router, οπότε και τα δεδομένα χάθηκαν.

Επιπροσθέτως, παρατηρούμε την ύπαρξη έντονων και απότομων κορυφών, όπου, όταν είναι κοινές σε όλα τα διαγραμμάτα, είναι αποτέλεσμα διακοπής ρεύματος ενώ στις μεμονωμένες περιπτώσεις όταν δεν υπάρχει παραλληλισμός με τα υπόλοιπα διαγράμματα οφείλεται στη διαφορά της τάσης ανά είσοδο η οποία προκάλεσε την επανεκκίνηση του αντιστροφέα. Ο αντιστροφέας τότε ξεκίνησε, αφού η διαφορά μεταξύ των τάσεων της συγκεκριμένης εισόδου ήταν σε ανεκτά επίπεδα.



Διάγραμμα 4.8: Μέτρηση τάσεων στις συστοιχίες του αντιστροφέα 167.

Από το διάγραμμα 4.8 βλέπουμε ότι ο αντιστροφέας 15_167 συνεχίζει να καταγράφει φθίνοντα επίπεδα τάσης γεγονός που οφείλεται στο ότι η 5^η συσκευή αποκατάστασης δεν εγκαταστάθηκε, οπότε το PID συνέχισε τη δράση του.



Διάγραμμα 4.9: Μέτρηση τάσεων στις συστοιχίες του αντιστροφέα 896.



Διάγραμμα 4.10: Μέτρηση τάσεων στις συστοιχίες του αντιστροφέα 057.



Διάγραμμα 4.11: Μέτρηση τάσεων στις συστοιχίες του αντιστροφέα 879.

CCCCCCCC

Στο διάγραμμα 4.11 βλέπουμε τις διαδοχικές επανεκινήσεις της εισόδου Α, έως ότου η διαφορά τάσης μεταξύ των στοιχειοσειρών της να καταλήξουν σε ανεκτά επίπεδα για την ασφαλή λειτουργία του αντιστροφέα. Παράλληλα η έκταση της επιρροής των Φ/Β πλαισίων μπορεί να φανεί και από την ομαλή μεταβολή της τάσης που έρχεται σε αντίθεση με την αναμενόμενη κατανομή-πτώση της τάσης λόγω της αύξησης της θερμοκρασίας στις μεσημεριανές ώρες του καλοκαιριού. Δεν πρέπει όμως να λησμονήσουμε οτι είναι εμφανής η βελτίωση των επίπεδων τάσης μετά την εγκατάσταση των συσκευών PVOffset.



Διάγραμμα 4.12: Μέτρηση τάσεων στις συστοιχίες του αντιστροφέα 954.

Στο διάγραμμα 4.13 που ακολουθεί παραθέτουμε τις πραγματικές συνθήκες ηλιοφάνειας που επικρατούσαν το συγκεκριμένο χρονικό διαστημα μαζί με την ανηγμένη παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια σε μονάδες $\frac{kWh}{kWp}$, έτσι ώστε να συγκρίνουμε τα δεδομένα με τις πραγματικές κλιματολογικές συνθήκες της εποχής και όχι με τις θεωρητικά αναμενόμενες. Και σε αυτό το διάγραμμα, τα παρατηρούμενα κενά στα δεδομένα οφειλονται στις ίδιες αιτίες.



Διάγραμμα 4.13: Συσχέτιση σε επίπεδο εισόδου αντιστροφέα ανηγμένης ενεργειακής παραγωγής με ένταση ηλιακής ακτινοβολίας κατά τον Ιούλιο του 2013.

Στο επόμενο διάγραμμα παρατίθεται η ανηγμένη παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια των αντιστροφέων. Το διάγραμμα παρατίθεται σε μεγέθυνση ώστε να γίνει εμφανής η διαγραμματική ανομοιομορφία που παρουσιάζουν οι αντιστροφείς 15_167, 15_896 και 17_879 κατά τον πρώτο μήνα δράσης των PVOffset boxes.



Διάγραμμα 4.14: Ανηγμένη ενεργειακή παραγωγή αντιστροφέων, Ιούλιος 2013.

Στο διάγραμμα 4.13 η έντονη διαφοροποίηση στην ενεργειακή παραγωγή σε επίπεδο στοιχειοσειράς είναι εμφανής, ενώ στην περίπτωση που δεν υπήρχε κάποιο πρόβλημα έπρεπε όλες οι μπάρες του διαγράμματος να είναι περίπου παρόμοιες.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ Φ/Β ΣΤΑΘΜΟΥ ΜΕΤΑ ΤΗΝ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΤΩΝ PVOffset BOXES ΣΤΟΥΣ ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΕΙΣ

Όπως προείπαμε, μετά τις επεμβάσεις μας στο σύστημα τον Ιούλιο του 2013, ένας μήνας ήταν αρκετός ώστε η τάση του συστήματος να επανέλθει στα φυσιολογικά τους επίπεδα.

5.1 Τάση Voc ανά είσοδο αντιστροφέα



Διάγραμμα 5.1: Μέτρηση τάσεων στις συστοιχίες του αντιστροφέα 167.

Η 5^η συσκευή αποκατάστασης εγκατάσθηκε στις 17/8, οπότε η αρνητική επιρροή του PID σταμάτησε να υφίσταται. Ένα σημαντικό συμπέρασμα μπορεί να προκύψει από την παραπάνω καμπύλη συγκρίνοντας την με το αντίστοιχο διάγραμμα Ιουλίου:

- Στην αρχή του Ιουλίου ο αντιστροφέας 15_167 είχε τα καλύτερα επίπεδα τάσης σε σύγκριση με τους υπόλοιπους, άρα μπορεί να θεωρηθεί ότι είχε την ελάχιστη αρνητική επιρροή από το PID.
- Μετά την ανεπιτυχή εγκατάσταση της 5^{ης} συσκευής ανάκτησης η επίδραση του PID άρχισε να είναι εμφανής και με γρήγορη πτωτική τάση.
- Από την ημέρα εγκατάστασης του PVOffset box, η ανάκτηση πραγματοποιήθηκε άμεσα και με αναπτυσσόμενους ρυθμούς τις επόμενες ημέρες.

Από τα παραπάνω μπορούμε να καταλήξουμε ότι, όσο πιο σύντομη είναι η διάρκεια της επίδρασης του PID, τόσο πιο γρήγορα θα είναι και η ανάκτηση μέσω της ενδεδειγμένης συσκευής. Φυσικά ισχύει και το αντίστροφο το οποίο επαληθεύεται και από τις ακόλουθες γραφικές.



Διάγραμμα 5.2: Μέτρηση τάσεων στις συστοιχίες του αντιστροφέα 896.



Διάγραμμα 5.3: Μέτρηση τάσεων στις συστοιχίες του αντιστροφέα 057.



Διάγραμμα 5.4: Μέτρηση τάσεων στις συστοιχίες του αντιστροφέα 879.



Διάγραμμα 5.5: Μέτρηση τάσεων στις συστοιχίες του αντιστροφέα 954.

·····

Στα διαγράμματα αυτά παρατηρούμε ότι η απόδοση παρουσιάζει αυξητικές τάσεις σε όλους τους αντιστροφείς. Οι κορυφές των διαγραμμάτων εξηγούνται με τον ίδιο ακριβώς τρόπο. Δυστυχώς, πάλι λόγω έλλειψης επικοινωνίας μεταξύ των αντιστροφέων και του συστήματος τηλεμετρίας, μετρήσεις για το διάστημα 7-17/8 δεν καταγράφηκαν.

5.2 Ανηγμένη ενεργειακή παραγωγή ανά είσοδο αντιστροφέα

Για βέλτιστη σύγκριση των μετρήσεων με τα αναμενόμενα αποτελέσματα παρακάτω παρατίθεται το διάγραμμα 5.6 με τις τιμές ηλιοφάνειας και με την ανηγμένη παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια κατά το χρονικό διάστημα εκείνο.



Διάγραμμα 5.6: Συσχέτιση ανηγμένης ενεργειακής παραγωγής με ένταση ηλιακής ακτινοβολίας σε επίπεδο εισόδου, Αύγουστος 2013.

Επίσης παρακάτω παρατίθεται το διάγραμμα 5.7 με την ανηγμένη παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια των αντιστροφέων. Βλέπουμε ότι οι αντιστροφείς 15_057, 15_896_ και 17_954 κινούνται σε παρόμοια επίπεδα,ενώ ο 15_167 και ο 17_879 παρουσιάζουν αισθητή διαφοροποίηση της παραγωγής τους.



Διάγραμμα 5.7: Ανηγμένη ενεργεική παραγωγή ανά αντιστροφέα, Αύγουστος 2013.

5.3 Επανέλεγχος Τάση Voc Φ/Β πλαισίων

Τέλος, τον Οκτώβριο του 2013 πραγματοποιήθηκε έλεγχος της τάσεως ανοιχτοκυκλώσεως όλων των πλαισίων και καταγράφηκαν τα παρακάτω δεδομένα ανά αντιστροφέα:



Διάγραμμα 5.8: Μέση τιμή τάσης ανοιχτοκυκλώσεως των Φ/Β πλαισίων για τον αντιστροφέα 17_954 τον Οκτώβριο του 2013.

Πλαίσια με αισθητή	Jul-13	44
μείωση στο Voc	Oct-13	9

Από το διάγραμμα 5.8 βλέπουμε, πως τον Ιούλιο τα Φ/Β πλαίσια του αντιστροφέα 17_954 που παρουσίαζαν πτώση αποδοτικότητας ήταν 44 στον αριθμό, ενώ τα αντίστοιχα πλαίσια τον Οκτώβριο 9.



Διάγραμμα 5.9: Μέση τιμή τάσης ανοιχτοκυκλώσεως των Φ/Β πλαισίων για τον αντιστροφέα 17_879 τον Οκτώβριο του 2013.

Σχετικά με τον αντιστροφέα 17_879 συγκρίνοντας τα δεδομένα, τον Ιούλιο τα Φ/Β πλαίσια με τάση ανοιχτοκυκλώσεως μικρότερης του επιτρεπτού ήταν 12, ενώ τον Οκτώβριο ήταν μόνο 1.

Πλαίσια με αισθητή μείωση στο Voc	Jul-13	12	
	Oct-13	1	

teeleddeelee common o o o



Διάγραμμα 5.10: Μέση τιμή τάσης ανοιχτοκυκλώσεως των Φ/Β πλαισίων για τον αντιστροφέα 15_896 τον Οκτώβριο του 2013.

Πλαίσια με αισθητή	Jul-13	4
μείωση στο Voc	Oct-13	4

Από το διάγραμμα 5.10 βλέπουμε πως στην περιπτωση του αντιστροφέα 15_896 ο αριθμός των Φ/Β πλαισίων με τάση ανοιχτοκυκλώσεως μικρότερη του επιτρεπτού παρέμεινε σταθερός στα 4 πλαίσια κατά τις μετρήσεις του Ιουλίου και του Οκτωβρίου.



Διάγραμμα 5.11: Μέση τιμή τάσης ανοιχτοκυκλώσεως Φ/Β πλαισίων για τον αντιστροφέα 15_057 τον Οκτώβριο του 2013.

Πλαίσια με αισθητή	Jul-13	4
μείωση στο Voc	Oct-13	1

Σύμφωνα με το διάγραμμα 5.11 στην περίπτωση του αντιστροφέα 15_057 τον Οκτώβριο μετρήθηκε μόνο ένα Φ/Β πλαίσιο με τάση ανοιχτοκυκλώσεως μικρότερη του επιτρεπτού, ενώ κατά τον Ιούλιο του ίδιου έτους ο αριθμός των πλαισίων ήταν 4.



Διάγραμμα 5.12: Μέση τιμή τάσης ανοιχτοκυκλώσεως Φ/Β πλαισίων για τον αντιστροφέα 15_167 τον Οκτώβριο του 2013.

Πλαίσια με αισθητή	Jul-13	3
μείωση στο Voc	Oct-13	0

Τέλος από το διάγραμμα 5.12, αναφορικά με τον αντιστροφέα 15_167 παρατηρούμε πως ενώ τον Ιούλιο παρουσιάζονταν 3 Φ/Β πλαίσια με τάση ανοιχτοκύκλωσης μικρότερη του επιτρεπτού, τον Οκτώβριο ο αριθμός των πλαισίων αυτών είχε μηδενιστεί.

Συγκεκριμένα στην περίπτωση του υποεξέταση Φ/Β σταθμού, μπορούμε να πούμε πως είναι προφανές από τα διαγράμματα 5.8 εώς 5.12 ότι η συνολική συμπεριφορά των πλαισίων σε επίπεδα τάσης έχει παρουσιάσει τα εξής ποσοστά αύξησης:

Αντιστροφέας	Ποσοστό Αύξησης
Inverter 1_17_954	34,81%
Inverter 2_17_879	7,50%
Inverter 3_13_896	3,47%
Inverter 4_15_057	5,45%
Inverter 5_15_167	2,17%

Επίσης, τα προβληματικά πλαίσια για τον κάθε αντιστροφέα έχουν ποσοστό μείωσης που φαίνεται στον παρακάτω πίνακα:

Αντιστροφέας	Ποσοστό Μείωσης
Inverter 1_17_954	79,55%
Inverter 2_17_879	91,67%
Inverter 3_13_896	0%
Inverter 4_15_057	75%
Inverter 5_15_167	100%

Οπότε επαληθεύεται η ανάκτηση ισχύος σε πολύ μεγάλο βαθμό, ενώ πιθανότατα τα πλαίσια, που δεν εξυγιάνθηκαν σε βαθμό τέτοιο ώστε να τηρούν τις εγγυήσεις του κατασκευαστή, ήταν εκτεθειμένα στο φαινόμενο PID για σημαντικό χρονικό διάστημα που να μην είναι δυνατή η ικανοποιητική επανάκτηση ισχύος της.
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Το φαινόμενο PID είναι μία πρόσφατη ασθένεια των Φ/Β πλαισίων η οποία μπορεί να είναι αναστρέψιμη. Στην παρούσα διπλωματική εργασία εξετάστηκε μία πραγματική εγκατάσταση η οποία διεγνώσθει με το εν λόγω φαινόμενο. Στα προηγούμενα κεφάλαια παρουσιάστηκε βιβλιογραφία σχετικά με το PID, ενώ εξετάστηκε σε βάθος και παρουσιάστηκε η διαδικασία διάγνωσης και αντιμετώπισης του.

Συνοψίζοντας, το φαινόμενο PID προκαλείται από ταυτόχρονο συνδυασμό των παραμέτρων:

- αυξημένη θερμοκρασία,
- υψηλή υγρασία,
- υψηλή τάση λειτουργίας στοιχειοσειράς και
- ύπαρξη συγκεκριμένων συστατικών (ΕVA ή κρυστάλλων νατρίου) στη γυάλινη επιφάνεια του Φ/Β στοιχείου.

Από όλη την διαδικασία που παρουσιάστηκε στα προηγούμενα κεφάλαια μπορούμε να πούμε ότι όσο περισσότερο χρόνο δρά ανενόχλητο το PID τόσο περίπου χρόνο θα χρειαστεί ώστε να επιτευχθεί η απαλοιφή του. Όσα Φ/Β πλαίσια βρέθηκαν με ποσοστιαία μείωση τάσης Voc μεγαλύτερη του 50% είναι πιθανόν να μην επανέλθουν στα αναμενόμενα επίπεδα και να χρήζουν αντικατάστασης.

Η παρακολούθηση της απόδοσης των Φ/Β συστημάτων σε συνδυασμό με την ορθή συντήρηση μπορεί να διαγνώσει έγκαιρα το PID και να το αντιμετωπίσει.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- 1. Δεδομένα της Υπηρεσίας Πληροφοριών για την Ενέργεια των Η.Π.Α. <u>http://tonto.eia.doe.gov/dnav/pet/pet_pri_wco_k_w.htm</u>
- 2. Jager-Waldau A., PV Status Report 2009, υπό την αιγίδα της Ευρωπαϊκής Επιτροπής
- Δεδομένα του Εθνικού Εργαστηρίου Ανανεώσιμων Μορφών Ενέργειας των ΗΠΑ (NREL) -2012 Renewable Energy Data -<u>http://www.nrel.gov/docs/fy14osti/60197.pdf</u>
- 4. Lynn P. A., Electricity from the Sunlight, Wiley 2010
- 5. Roger A. Messenger, Ventre J., Photovoltaic Systems Engineering, CRC Press 2004
- Klonaris I. M., Performance Evaluation of Different PV Technologies and Operation & Maintenance Planning of Grid-Connected PV Power Stations, Master Thesis, Stockholm 2010
- Schimpf, F., Norum, L.E. (2008). Grid Connected Converters for Photovoltaic, State of the Art, Ideas for Improvement of Transformerless Inverters, Nordic Workshop on Power and Industrial Electronics, Helsinki, pp.1-5.
- 8. Δεδομένα για το Δήμο Αστυπάλαιας http://www.astypalaia.gr
- Δεδομένα Εθνικής Μετεωρολογικής Υπηρεσίας -<u>http://www.hnms.gr/hnms/greek/index_html</u>
- 10. Kaldellis K.J., Zafirakis D., Kondili E., Optimum Sizing of Photovoltaic-energy Storage Systems for Autonomous Small Islands. Electrical Power and Energy Systems; 32 (2010): 24-36.
- 11. Understanding Potential Induced Degradation, Advanced Energy <u>http://solarenergy.advanced-energy.com/upload/File/White Papers/ENG-</u> <u>PID-270-01%20web.pdf</u>
- Berghold J. O. et al., Potential Induced Degradation of solar cells and panels, 5th World Conference on Photovoltaic Energy Conversion, 6-10 September 2010, Valencia, Spain
- 13. Dennis Richard, EVA Still Rules, Photon International August 2013, pp 58-67
- 14. Ines Rutschman, Power Losses Below The Surface, Photon International November 2012, pp 130-137
- 15. Swanson R. et al., The Surface Polarization Effect In High-Efficiency Silicon Solar Cells, 15th IEEE PVSC, 2005, pp 410-411
- 16. Pingel S. et al., Recovery Methods For Modules Affected By Potential Induced Degradation (PID), 27th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition
- 17. Τεχνικές Πληροφορίες από τον ιστότοπο της εταιρείας SMA Solar Technology AG –<u>http://www.sma-hellas.com</u>