

**ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΔΥΤΙΚΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ Τ.Ε**

**ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ
ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΓΗΡΑΝΣΗΣ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΩΝ ΠΛΑΙΣΙΩΝ ΚΑΙ
ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΥΠΟΒΑΘΜΙΣΗΣ ΑΥΤΩΝ**



ΑΙΚΑΤΕΡΙΝΗ-ΜΑΡΙΑ ΑΥΘΙΝΟΥ

ΕΠΟΠΤΕΥΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΕΣ: ΔΡ. ΕΛΙΝΑ ΚΑΠΛΑΝΗ

ΣΩΚΡΑΤΗΣ ΚΑΠΛΑΝΗΣ

ΠΑΤΡΑ 2016

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Το παρόν τεύχος αποτελεί Πτυχιακή Εργασία η οποία πραγματοποιήθηκε στο τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών Τ.Ε του Τεχνολογικού Εκπαιδευτικού Ιδρύματος Δυτικής Ελλάδας και έχει σκοπό την εξέταση και την ανάλυση των φαινομένων γήρανσης στα Φ/Β πλαίσια που βρίσκονται στο χώρο του εργαστηρίου του Τεχνολογικού Ιδρύματος. Στις μέρες μας η εγκατάσταση και χρήση των Φ/Β εγκαταστάσεων είναι όλο και πιο διαδεδομένη καθώς προσφέρουν οικονομική ενέργεια και δεν μολύνουν το περιβάλλον. Αναλύεται η μελέτη των Φ/Β πλαισίων με την λήψη I-V και η διερεύνηση αυτών έτσι ώστε να εξεταστεί ποιους παράγοντες της ηλεκτρικής συμπεριφοράς επηρεάζουν. Οι παράγοντες οι οποίοι επηρεάζουν είναι ο συντελεστής πλήρωσης, το ρεύμα βραχυκύκλωσης, η τάση ανοιχτού κυκλώματος και άλλα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά. Στην συνέχεια αναλύεται η γήρανση των Φ/Β πλαισίων και η μελέτη της φυσικής γήρανσης καθώς και η επίδραση της γήρανσης τους διάφορους παράγοντες που χαρακτηρίζουν το Φ/Β σύστημα.

Θέλω να ευχαριστήσω την επιβλέποντα καθηγήτριά μου Δρ. Ελένη Καπλάνη, Καθηγήτρια του τμήματος Μηχανολόγων Μηχανικών Τ.Ε για την εξαιρετική καθοδήγηση και την βοήθεια που μου προσέφερε κατά την πραγματοποίηση της Πτυχιακής Εργασίας μου. Επίσης τον κ. Σωκράτη Καπλάνη για την σημαντική βοήθεια και καθοδήγηση στις πειραματικές διαδικασίες και τις διάφορες υποδείξεις του, ο οποίος ήταν και μέντορας στην εκπαίδευσή μου.

Αυθίνου Αικατερίνη-Μαρία

Νοέμβριος 2016

Υπεύθυνη Δήλωση Σπουδαστή: Ο κάτωθι υπογεγραμμένος σπουδαστής έχω επίγνωση των συνεπειών του Νόμου περί λογοκλοπής και δηλώνω υπεύθυνα ότι είμαι συγγραφέας αυτής της Πτυχιακής Εργασίας, έχω δε αναφέρει στην Βιβλιογραφία μου όλες τις πηγές τις οποίες χρησιμοποίησα και έλαβα ιδέες ή δεδομένα. Δηλώνω επίσης ότι, οποιοδήποτε στοιχείο ή κείμενο το οποίο έχω ενσωματώσει στην εργασία μου προερχόμενο από Βιβλία ή άλλες εργασίες ή διαδίκτυο, γραμμένο ακριβώς ή παραφρασμένο, το έχω πλήρως αναγνωρίσει ως πνευματικό έργο άλλου συγγραφέα και έχω αναφέρει ανελλιπώς το όνομα του και την πηγή προέλευσης.

Η σπουδάστριά

Αυθίνου Αικατερίνη-Μαρία

.....

(Υπογραφή)

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα Πτυχιακή Εργασία αναφέρεται στα φαινόμενα γήρανσης των Φ/Β πλαισίων που βρίσκονται στο χώρο του εργαστηρίου Α.Π.Ε Τεχνολογικού Εκπαιδευτικού Ιδρύματος Δυτικής Ελλάδας. Τα Φ/Β πλαίσια είναι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας οι οποίες είναι βασισμένες στο Ήλιο καθώς αποτελεί την μόνη πηγή ενέργειας τους και είναι ο μοναδικός στην Γη που εκπέμπει ηλιακή ακτινοβολία.

Η κατασκευή, η ανάπτυξη, η λειτουργία και η γήρανση των Φ/Β πλαισίων αναπτύσσεται και αναλύεται σε οκτώ κεφάλαια. Στο πρώτο κεφάλαιο αναλύεται η ηλιακή ακτινοβολία, οι κατηγορίες στις οποίες χωρίζεται, η ηλιακή ακτινοβολία σε κεκλιμένο επίπεδο και στιγμιαίος συντελεστής μετατροπής. Αναλύονται τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά, δίνονται οι ορισμοί τους, το φάσμα ηλιακής ακτινοβολίας, τα συστήματα προσδιορισμού του χρόνου και οι διαφορές τους. Επίσης αναλύονται τα χαρακτηριστικά και οι ιδιότητες των οργάνων μέτρησης της ακτινοβολίας που χρησιμοποιήθηκαν για την διεκπεραίωση του παρόντος πειράματος, πυρανόμετρο, ηλιακός συλλέκτης ηλιακής ακτινοβολίας και στεφάνη.

Στο δεύτερο κεφάλαιο αναφέρεται ο ορισμός του Φ/Β φαινομένου και η λειτουργία του καθώς και η λειτουργία της Φ/Β τεχνολογίας. Αναλύονται οι τύποι Φ/Β συστημάτων, μονοκρυσταλλικός, πολυκρυσταλλικός, άμορφο και λεπτού υμένα, η συνδεσμολογία τους και τέλος τα μέρη από τα οποία αποτελείται ένα Φ/Β στοιχείο.

Στο τρίτο κεφάλαιο αναλύονται τα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά του Φ/Β πλαισίου με τις μαθηματικές εξισώσεις τους, το ισοδύναμο ηλεκτρικό κύκλωμα Φ/Β κυψελίδας, οι εσωτερικές αντιστάσεις σε σειρά (R_s) και παράλληλα (R_p) οι οποίες επηρεάζουν το Φ/Β σύστημα καθώς δημιουργούν απώλειες. Γίνεται ανάλυση της χαρακτηριστικής καμπύλης I-V για την εύρεση ηλεκτρικών χαρακτηριστικών, αναλύονται οι παράγοντες επηρεασμού της συμπεριφοράς του Φ/Β, οι τυπικές συνθήκες λειτουργίας των Φ/Β στοιχείων (STC) και η μετατροπή των ηλεκτρικών χαρακτηριστικών των Φ/Β στοιχείων σε συνθήκες STC, η επίδραση της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας στην χαρακτηριστική καμπύλη I-V και η επίδραση της V_{oc} και της θερμοκρασίας στην χαρακτηριστική καμπύλη I-V.

Στο τέταρτο κεφάλαιο αναλύεται η γήρανση των Φ/Β συστημάτων και τα φαινόμενα γήρανσης.

Στο πέμπτο κεφάλαιο περιγράφεται η πειραματική διαδικασία η οποία πραγματοποιήθηκε στον Εργαστηριακό χώρο του ΤΕΙ Δυτικής Ελλάδος, αναφέρεται ο σκοπός του πειράματος, οι συνθήκες υπό τις οποίες πραγματοποιήθηκε το πείραμα για να είναι οι τιμές σωστές και αληθινές, οι παράγοντες οι οποίοι επηρεάζουν το πείραμα. Η πειραματική διαδικασία αναλύεται βήμα προς βήμα και στην συνέχεια αναλύονται τα χαρακτηριστικά των οργάνων μέτρησης που χρησιμοποιήθηκαν για την εύρεση των χαρακτηριστικών καμπυλών I-V.

Στο έκτο κεφάλαιο παρατείνονται και αναλύονται οι μέθοδοι που χρησιμοποιήθηκαν στο πρόγραμμα MATLAB για την εύρεση των ηλεκτρικών χαρακτηριστικών των Φ/Β πλαισίων.

Στο έβδομο κεφάλαιο παρατείνονται τα αποτελέσματα των πειραμάτων , με ανάλυση της χαρακτηριστικής καμπύλης I-V του κάθε Φ/Β πλαισίου , πίνακα χαρακτηριστικών τιμών STC κατασκευαστή και πίνακα που προέκυψε από την ανάλυση της χαρακτηριστικής καμπύλης I-V.

Στο όγδοο κεφάλαιο αναλύεται η υποβάθμιση των ηλεκτρικών χαρακτηριστικών η οποία προκύπτει με την μετατροπή των ηλεκτρικών χαρακτηριστικών σε συνθήκες STC και στην συνέχεια με χρήση τύπων προκύπτει η γήρανση των Φ/Β πλαισίων.

Στο ένατο κεφάλαιο αναφέρονται τα αποτελέσματα τα οποία προέκυψαν από το πείραμα , τις μετρήσεις και τον βαθμό υποβάθμισης των Φ/Β πλαισίων.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ	σελ.2
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	σελ.3
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ	σελ.5
ΣΥΜΒΟΛΙΣΜΟΙ	σελ.7
ΕΙΣΑΓΩΓΗ	σελ.10
1.ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΚΑΙ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ ΗΛΙΑΚΩΝ ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ	σελ.11
1.1 Γενικά Ηλιακή ακτινοβολία	σελ.11
1.2 Ηλιακή ακτινοβολία , κατηγορίες	σελ.12
1.3 Ηλιακή ακτινοβολία σε κεκλιμένο επίπεδο , στιγμιαίος συντελεστής μετατροπής	σελ.16
1.4 Γεωμετρικά χαρακτηριστικά	σελ.18
1.5 Φάσμα ηλιακής ακτινοβολίας	σελ.25
1.6 Συστήματα προσδιορισμού του χρόνου	σελ.26
1.7 Όργανα μέτρησης της ακτινοβολίας	σελ.29
2.Φωτοβολταϊκό φαινόμενου	σελ.34
2.1 Ορισμός Φ/Β φαινομένου	σελ.34
2.2 Φ/Β τεχνολογία	σελ.36
2.3 Τύποι Φ/Β συστημάτων	σελ.36
2.4 Συνδεσμολογία Φ/Β συστημάτων	σελ.38
2.5 Μέρη που αποτελείται το Φ/Β στοιχείο	σελ.43
3.ΗΛΕΚΤΡΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΟΥ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ	σελ.50
3.1 Ηλεκτρικά χαρακτηριστικά	σελ.50
3.2 Ισοδύναμο ηλεκτρικό κύκλωμα Φ/Β κυψελίδας	σελ.54
3.3 Οι αντιστάσεις R_s και R_{sh}	σελ.54
3.4 Ανάλυση χαρακτηριστικής καμπύλης I-V	σελ.57

3.5 Παράγοντες επηρεασμού της συμπεριφοράς του Φ/Β	σελ.58
3.6 Τυπικές συνθήκες λειτουργίας των Φ/Β στοιχείων	σελ.63
3.7 Μετατροπή σε συνθήκες STC	σελ.63
3.8 Επίδραση της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας στην χαρακτηριστική καμπύλη I-V	σελ.65
3.9 Επίδραση της V_{OC} και της θερμοκρασίας στην χαρακτηριστική καμπύλη I-V	σελ.65
4.ΓΗΡΑΝΣΗ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ	σελ.67
4.1 Γενικά	σελ.67
4.2 Φαινόμενα γήρανσης	σελ.67
5.ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ	σελ.73
5.1 Σκοπός πειράματος	σελ.73
5.2 Συνθήκες πειράματος	σελ.73
5.3 Παράγοντες επηρεασμού του πειράματος	σελ.73
5.4 Πειραματική διαδικασία	σελ.74
5.5 Όργανα μέτρησης της πειραματικής διαδικασίας	σελ.75
6.ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΜΕ ΔΙΑΦΟΡΕΣ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΕΣ	σελ.80
6.1 Μέθοδος 1 Η αναλυτική μέθοδος των πέντε σημείων,Chan .	σελ.80
6.2. ΜέθοδοςddI Gerald Kunz , Andreas Wagner	σελ.83
6.3 Μέθοδος 26	
Η μέθοδος-περιοχή καθορίζει την αντίσταση σειράς ενός ηλιακού κυττάρου , AraújoandSánchez.	σελ.87
6.4 Μέθοδος 3cc	
Η μέθοδος 3 είναι η απλή μέθοδος των παραμέτρων εκχύλισης για τον φωτισμό των ηλιακών κυττάρων , M.Chegaar , G.Azzouzi , P.Mialhe.	σελ.89
6.5 Μέθοδος 18 Η μέθοδος εφευρέθηκε από τους Jia και Anderson ,επιτρέπει τον προσδιορισμό της αντίστασης σε σειρά και τον παράγοντα ιδανικότητας της διόδου.	σελ.95
7.ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΣΥΖΗΤΗΣΗΣ	σελ.102
8.ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΕΙΡΑΜΑΤΩΝ	σελ.103

9. ΥΠΟΒΑΘΜΙΣΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ	σελ.128
10. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ	σελ.141
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	σελ.147

ΣΥΜΒΟΛΙΣΜΟΙ – ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΕΣ

A: Ύψος του ηλίου

A.H.X : Αληθής ηλιακός χρόνος

$a_{I_{SC}}$:θερμοκρασιακός συντελεστής του ρεύματος βραχυκύκλωσης I_{SC} (1/K)

$\beta_{V_{OC}}$:θερμοκρασιακός συντελεστής της τάσης ανοικτού κυκλώματος V_{OC} (1/K)

B:H κλίση του Φ/B συστήματος

γ_s : Αζιμουθιακή γωνία του ηλίου

γ_{pm} :θερμοκρασιακός συντελεστής της ισχύος P_m (1/K)

δP_m :μεταβολή ισχύς Φ/B πλαισίου

δ : Ηλιακή απόκλιση

θ : Γωνία πρόσπτωσης της ηλιακής ακτινοβολίας

θ_z :Ζενιθία γωνία

T.Ω.X : Τοπικός ωρολογιακός χρόνος

ϕ :Γεωγραφικό πλάτος

ω_s :Ωριαία γωνία

Ω : Ωριαία γωνία

ω'_s :Ωριαία γωνία δύσης ή ανατολής για ένα κεκλιμένο επίπεδο

ARC: anti reflecting coating

EVA: (ethylene vinyl acetate)

FF: ο συντελεστής πλήρωσης της χαρακτηριστικής καμπύλης I-V

FF_{STC} : ο συντελεστής πλήρωσης της χαρακτηριστικής καμπύλης I-V σε πρότυπες συνθήκες

H: Η ολική ακτινοβολία

H_d: Η διάχυτη ηλιακή ακτινοβολία

H_b: Η άμεση ακτινοβολία

H_r: Η ανακλώμενη ηλιακή ακτινοβολία

I_T : η μετρήσιμη ηλιακή ακτινοβολία του πυρανομέτρου

I_{ext} : Η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας σε οριζόντιο επίπεδο έξω από την ατμόσφαιρα

I_{ph} : φωτόρευμα

I_{sc} : ρεύμα βραχυκύκλωσης το ρεύμα που διαρρέει το ηλιακό κελί όταν υπάρχει βραχυκύκλωμα (short circuit)

$I_{SC,STC}$: ρεύμα βραχυκύκλωσης σε πρότυπες συνθήκες

I: το ρεύμα που διαρρέει το κελί

I: ακτινοβολία

I-V: γραφική παράσταση σημείων λειτουργίας τάσης συναρτήσει ρεύματος για τα Φ/Β πλαίσια

I_0 : ασθενές αντίστροφο ρεύμα κόρου/ρεύμα διαρροής της διόδου

I_m : είναι η μέγιστη τιμή του ρεύματος (I_{pmax})

K: η σταθερά Boltzmann

L_{loc} : Διόρθωση εξαιτίας της διαφοράς του γεωγραφικού μήκους του μεσημβρινού του τόπου

MPP: σημείο μέγιστης ισχύος

NOC: αναμενόμενη θερμοκρασία Φ/Β πλαισίου υπό συγκεκριμένες συνθήκες SOC

N_s : Ο αριθμός των κελιών που συνδέονται σε σειρά

N_p : Ο αριθμός των κελιών που συνδέονται παράλληλα

PSH: Ο αριθμός ο οποίος εκφράζεται σε ώρες (hours)

P_m : ισχύς αιχμής (P_{max})

$P_{m,STC}$: ισχύς αιχμής για πρότυπες συνθήκες

Q: το φορτίο του ηλεκτρονίου

R: συντελεστής μετατροπής της ηλιακής ακτινοβολίας από το οριζόντιο στο κεκλιμένο επίπεδο

Rsh: ωμική αντίσταση σε παράλληλη σύνδεση

r: Συντελεστής ανακλαστικότητας ο οποίος εξαρτάται από το έδαφος

Rs: ωμική αντίσταση σε σειρά

SOC: Πρότυπες συνθήκες

STC: Πρότυπες συνθήκες

T_c : θερμοκρασία Φ/Β πλαισίου

T_a : θερμοκρασία περιβάλλοντος

V_j : η φωτοτάση

V: τάση που επικρατεί στα άκρα της διόδου

V_{oc} : , τάση ανοιχτού κυκλώματος , η τάση που υπάρχει όταν τα δύο άκρα είναι ανοιχτά δηλαδή όταν έχουμε ανοιχτό κύκλωμα (open circuit)

$V_{oc,STC}$: τάση ανοιχτού κυκλώματος σε πρότυπες συνθήκες

V_m : είναι η μέγιστη τιμή της τάσεως (V_{pmax})

V_{DC} : η τάση υπό την οποία η φωτοβολταϊκή γεννήτρια πρέπει να αποδώσει ηλεκτρική ισχύ .

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στον 21^ο αιώνα με την χρήση των Φ/Β πλαισίων επιτυγχάνονται αφ' ενός το οικονομικό όφελος του καταναλωτή και αφ' ετέρου η μη ρύπανση του περιβάλλοντος . Όπως κάθε σύστημα έτσι και τα Φ/Β πλαίσια με την πάροδο του χρόνου υποβαθμίζονται και χάνουν το ποσοστό απόδοσης το οποίο είχαν εξ αρχής. Η Παρούσα Πτυχιακή Εργασία αναλύει , εξετάζει και εκτιμάει την γήρανση των Φ/Β πλαισίων και τα είδη της .

Η ηλιακή ακτινοβολία η οποία είναι ο τροφοδότης για τα Φ/Β πλαίσια αναλύεται στο Κεφάλαιο 1 , είναι μία πηγή ανανεώσιμης πηγής ενέργειας η οποία είναι ανεξάντλητη αλλά και ίση σε όλη την επιφάνεια της Γης. Για να μετατρέψουν τα Φ/Β πλαίσια την ηλιακή ακτινοβολία σε ηλεκτρική ενέργεια ακολουθούν μία διαδικασία που ονομάζεται Φ/Β φαινόμενο , η διαδικασία αυτή αναλύεται στο κεφάλαιο 2 .

Με την ανάλυση της χαρακτηριστικής καμπύλης I-V προκύπτουν οι τιμές των ηλεκτρικών χαρακτηριστικών , η χαρακτηριστική καμπύλη σε περίπτωση που το Φ/Β υποστεί αλλαγές ή γήρανση αλλάζει σχήμα , οι αντιστάσεις R_s και R_{sh} προκαλούν απώλειες στο Φ/Β σύστημα και αυτό φαίνεται στην καμπύλη I-V κεφάλαιο 3.

Η πειραματική διαδικασία που πραγματοποιήθηκε παρατείνεται στο κεφάλαιο 5 , έγινε με σκοπό την μελέτη των Φ/Β πλαισίων και την εκτίμηση της γήρανσης αυτών. Έγινε υπό συγκεκριμένες συνθήκες περιβάλλοντος έτσι ώστε οι τιμές των παραμέτρων να είναι σωστές και αληθείς και η πειραματική διαδικασία δίνεται βήμα προς βήμα για την αποφυγή τυχόν λάθους. Πρέπει να αναφερθεί πως οι παράγοντες επηρεασμού του πειράματος είναι πολλοί και απαιτούν προσοχή. Οι μέθοδοι οι οποίοι χρησιμοποιήθηκαν για να βρεθούν τα αποτελέσματα , χρησιμοποιήθηκαν από το πρόγραμμα MATLAB και αναλύονται στο κεφάλαιο 6.

Η γήρανση των Φ/Β πλαισίων και τα φαινόμενα της αναλύονται στο κεφάλαιο 4 , η γήρανση υπολογίζεται στο κεφάλαιο 8 με την σχέση (8.5) για όλα τα Φ/Β πλαίσια της πειραματικής διαδικασίας και γίνεται εκτίμηση της . Τα φαινόμενα ποικίλουν και ένα Φ/Β πλαίσιο μπορεί να έχει πάνω από ένα είδος γήρανσης και έτσι να έχει μεικτή υποβάθμιση.

Τέλος τα αποτελέσματα και τα συμπεράσματα δίνονται στο κεφάλαιο 9 το οποίο παραθέτει τα τελικά συμπεράσματα της πειραματικής διαδικασίας και της υποβάθμισης.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΚΑΙ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ ΗΛΙΑΚΩΝ ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ

- 1.1 Η ηλιακή ενέργεια πηγάζει από τον Ήλιο και είναι ηλεκτρομαγνητικής υφής. Αποτελεί ανανεώσιμη και άφθονη πηγή ενέργειας πράγμα το οποίο σημαίνει πως δεν εξαντλείται ποτέ και η χρήση της μπορεί να είναι απεριόριστη , επίσης η ηλιακή ακτινοβολία προσπίπτει σε όλη τη Γη σε αντίθεση με τις συμβατικές μορφές ενέργειας π.χ υδρογονάνθρακες που υπάρχουν σε συγκεκριμένες θέσεις στην Γη .Το ποσό της ισχύος της ηλιακής ενέργειας που προσπίπτει στην Γη είναι της τάξεως των $1,7 * 10^{17}$ Joule/έτος.

Έχει την δυνατότητα να μετατρέπεται σε διάφορες μορφές ενέργειας όπως ηλεκτρική , μηχανική , χημική , θερμότητα κ.α. Με την χρήση μετατροπών ηλιακής ενέργειας και μηχανολογικών εγκαταστάσεων σε άλλες μορφές ενέργειας ικανοποιούνται ανάγκες ανθρώπων , μεταφορών και υπηρεσιών.

Για να μειωθούν οι ρύποι των αερίων από το καυσαέριο ακολουθώντας την δέσμευση του πρωτοκόλλου του Κιότο η επιστήμη και η τεχνολογία προσπαθούν να εισάγουν όλο και περισσότερο τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας στην ζωή των ανθρώπων και την αξιοποίησή τους.

Πηγές :

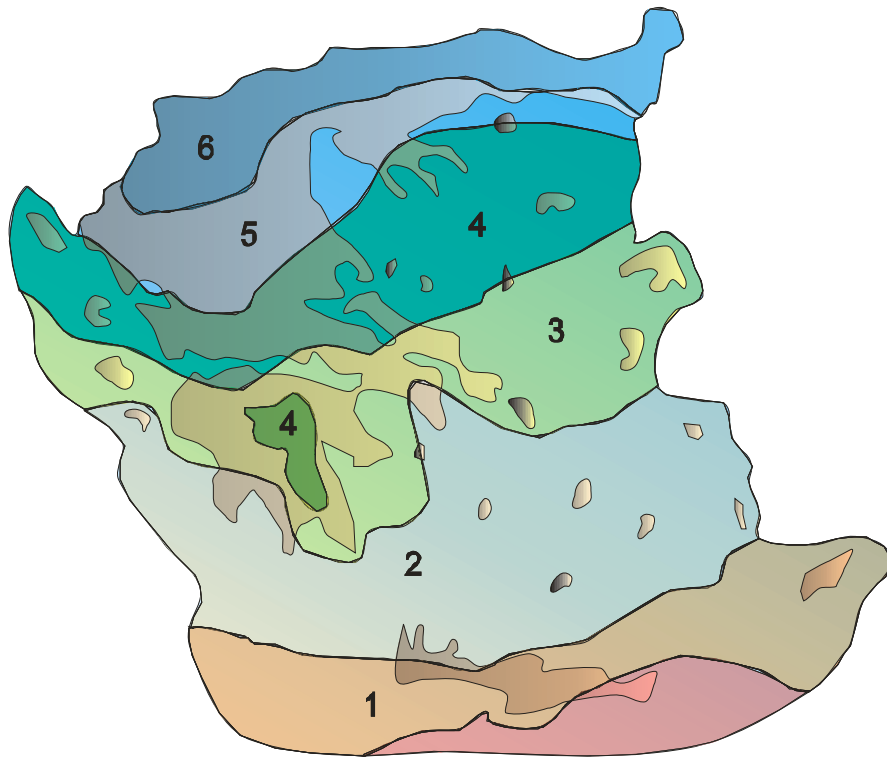
https://el.wikipedia.org/wiki/Ηλιακή_ενέργεια

https://el.wikipedia.org/wiki/Πηγή_ενέργειας

1.2 Ηλιακή ακτινοβολία

Η ηλιακή ακτινοβολία είναι ανανεώσιμη πηγή ενέργειας. Είναι μεταβαλλόμενη κατά την διάρκεια του έτους λόγω της ελλειπτικής τροχιάς της γης σε σχέση με τον ήλιο και μπορεί να πάρει τιμές από 1310 έως 1399 W/m² /. Τους θερινούς μήνες , το καλοκαίρι, στο βόρειο ημισφαίριο οι ακτίνες του ήλιου πέφτουν περίπου κάθετα στο οριζόντιο επίπεδο και αυτό έχει ως αποτέλεσμα η θερμοκρασία να είναι υψηλότερη .Η μεταβολή της ηλιακής ενέργειας επηρεάζει άμεσα την ηλεκτρική ενέργεια που παράγει το Φ/Β σύστημα και έτσι δεν υπάρχει ίδια απόδοση κατά την διάρκεια του έτους. Η ηλιακή ακτινοβολία χωρίζεται σε ολική ηλιακή ακτινοβολία , άμεση ηλιακή ακτινοβολία , διάχυτη ηλιακή ακτινοβολία και ανακλώμενη ηλιακή ακτινοβολία. Η κάθε κατηγορία έχει δικά της χαρακτηριστικά και τύπους οι οποίοι παραθέτονται και επεξηγούνται.

1) Η ολική ακτινοβολία H είναι αρκετά σημαντικός παράγοντας καθώς από αυτήν εξαρτάται η θερμική κατάσταση του πλανήτη , ισούται με το άθροισμα της άμεσης της ανακλώμενης και της διάχυτης ηλιακής ακτινοβολίας. Οι μονάδες μέτρησης της είναι σε Joule/m².



1.2.1 Σχήμα:Χάρτης των έξι ζωνών στις οποίες χωρίζεται η χώρα Ελλάδα.
 Πηγή: Βιβλίο "Ήπιες μορφές ενέργειας II", Σωκράτης Καπλάνης

Ζώνη 1	Ζώνη 2	Ζώνη 3	Ζώνη 4	Ζώνη 5	Ζώνη 6
Ηράκλειο	Αθήνα	Αργοστόλι	Άρτα	Θεσ/νίκη	Ιωάννινα
Ρόδος	Καλαμάτα	Κόρινθος	Κέρκυρα	Καβάλα	Κομοτηνή
Σητεία	Νάξος	Μυτιλήνη	Λαμία	Κατερίνη	Σέρρες
Χανιά	Σάμος	Πάτρα	Λήμνος	Λάρισα	Φλώρινα
Ιεράπετρα	Σύρος	Χίος	Τρίπολη	Τρίκαλα	Ξάνθη

1.2.2 Πίνακας διαχωρισμού των πόλεων ανάλογα με την ζώνη που ανήκουν. Ο χάρτης προσδιορίζει τις κλιματολογικές ζώνες στις οποίες χωρίζεται η χώρα βάσει της μέσης μηνιαίας ηλιακής ενέργειας που προσπίπτει στις διάφορες περιοχές και της θερμοκρασίας περιβάλλοντος.

Πηγή: Βιβλίο "Ήπιες μορφές ενέργειας II", Σωκράτης Καπλάνης

ZON H	I	Φ	M	A	M	I	I	A	Σ	O	N	Δ	M.O	ΣΥΝ ΟΛΟ
1	230	277	439	558	706	770	817	760	598	421	284	220	507	6080
2	230	274	418	493	691	752	781	713	736	382	270	198	478	5738
3	220	259	400	493	648	754	781	713	526	367	241	187	468	5616
4	194	234	371	493	644	724	781	695	504	349	220	173	449	5384
5	169	223	360	493	644	680	727	670	486	328	220	162	430	5162
6	169	216	349	468	612	666	706	641	464	313	202	162	414	4968

1.2.3 Πίνακας μηνιαίων τιμών της Ολικής Ηλιακής Ακτινοβολίας στο επίπεδο της θάλασσας ανά ζώνη σεMJ/m² και ανά μήνα.

Πηγή: Βιβλίο "Ήπιες μορφές ενέργειας II", Σωκράτης Καπλάνης

Η ολική ακτινοβολία εξαρτάται από τους εξής παράγοντες:

- 1) την απόσταση του ηλίου από την γη
- 2) το ύψος του ηλίου
- 3)την πορεία της ακτινοβολίας μέσα από την ατμόσφαιρα
- 4)την τοπογραφία και τους προσανατολισμούς
- 5)την νέφωση και το είδος των νεφών

2) Η διάχυτη ηλιακή ακτινοβολία (Hd) είναι η ακτινοβολία που δημιουργείται μετά την αλλαγή διεύθυνσης δηλαδή σε περίπτωση ανάκλασης ή σκέδασης . Η διάχυτη ακτινοβολία ξεκινάει από ολόκληρο τον ουράνιο θόλο και αναπτύσσεται λόγω της σκέδασης της άμεσης ηλιακής ακτινοβολίας από σύννεφα ή σωματίδια της ατμόσφαιρας. Η μονάδα μέτρησης της είναι Joule/m².

3) Η άμεση ηλιακή ακτινοβολία είναι η ακτινοβολία η οποία καταλήγει στην επιφάνεια της γης από τον ήλιο χωρίς να δέχεται καμία απομάκρυνση από την κανονική πορεία (σκέδαση).

Η άμεση ακτινοβολία (H_b) αναλύεται σε δύο συνιστώσες όταν θέλουμε να την υπολογίσουμε, σε μία κάθετη και σε μία παράλληλη προς το σημείο που έχουμε ορίσει ανάλογα με την περίπτωση που έχουμε, το σημείο μπορεί να είναι ένας συλλέκτης αλλά και η επιφάνεια της γης.

Η οριζόντια συνιστώσα δεν έχει επίδραση με το σημείο το οποίο έχουμε ορίσει το οποίο μπορεί να είναι η επιφάνεια της γης ή ένας συλλέκτης και αυτό έχει ως αποτέλεσμα να μην συμμετέχει στην μετατροπή της ακτινοβολίας σε θερμική ενέργεια.

Μονάδας μέτρησης της είναι Joule/m².

4) Η ανακλώμενη ηλιακή ακτινοβολία (H_r) δημιουργείται από την ανάκλαση της άμεσης ηλιακής ακτινοβολίας από παράγοντες όπως αντικείμενα που βρίσκονται κοντά ή από το έδαφος. Ουσιαστικά προέχει να γίνει γνωστό το ποσοστό της ανακλώμενης ακτινοβολίας το οποίο θα φτάσει στην επιφάνεια η οποία είναι υπό μελέτη και χρήζει ενδιαφέροντος. Μονάδα μέτρησης της είναι Joule/m².

Πηγή: http://meteo.geo.auth.gr/askiseis/Math_Chapter_2.pdf

5) Η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας σε οριζόντιο επίπεδο έξω από την ατμόσφαιρα υπολογίζεται από την εξίσωση:

$$I_{ext} = I_{sc} * \left[1 + 0,033 * \cos\left(\frac{360*n}{365}\right) \right] * (\sin\varphi * \sin\delta + \cos\varphi * \cos\delta * \cos\omega) \quad (\text{σχέση 1.2.1})$$

, μονάδα μέτρησης W/m².

Όπου,

$$I_{sc}: \text{ηλιακή σταθερά} = 1367 \text{ W/m}^2$$

$$\Omega = \omega \text{ ραία} \quad \gamma \text{ ωνία} \quad , \omega = (AHX - 12h) * 15^{\circ} / h \quad (\text{σχέση 1.2.2})$$

$$\Delta = \text{η απόκλιση του ηλίου}, \delta = 23,45^{\circ} * \sin\left(360 * \frac{284+n}{360}\right) \quad (\text{σχέση 1.2.3})$$

Η παραπάνω σχέση με ολοκλήρωση από την Ανατολή έως την Δύση του ηλίου αποδίδει την συνολική ακτινοβολία την οποία δέχεται μια οριζόντια επιφάνεια στο όριο της ατμόσφαιρας κατά την διάρκεια μιας ημέρας.

Η σχέση με την ολοκλήρωση γίνεται:

$$H_{\text{ext}}(n) = \frac{24 \cdot 3600}{\pi} \left[1 + 0,033 \cdot \cos\left(\frac{360 \cdot n}{365}\right) \right] \cdot \left(\cos\varphi \cdot \cos\delta \cdot \sin\omega_s + \frac{\pi\omega_s}{360} \cdot \sin\varphi \cdot \sin\delta \right) \quad (\text{σχέση 1.2.4}) \quad , \text{μονάδα μέτρησης } \frac{\text{J}}{\text{m}^2}$$

Όπου,

Μονάδα μέτρησης :3600 σε sec

ω_s :γωνία δύσης , για οριζόντιο επίπεδο: $\omega_s = \cos^{-1}(-\tan\varphi \cdot \tan\delta)$ (σχέση 1.2.5)

I_{sc} :ηλιακή σταθερά=1367 $\frac{\text{W}}{\text{m}^2}$

Πηγή:

<http://www.care.gr/post/2235/posi-aktinovia-dexomaste-se-ena-aeroporiko-taksidi>

6) Συνολική ακτινοβολία που δέχεται η οριζόντια επιφάνεια , H_o

$$H_o = \frac{24 \cdot 3600 \text{sec}}{\pi} \cdot 1353 \cdot \frac{\text{W}}{\text{m}^2} \left[1 + 0,033 \cos\left(\left(\frac{360 \cdot n}{365}\right)\right) \right] \cdot \left[\cos\varphi \cdot \cos\delta \cdot \sin\omega_s + \frac{\pi \cdot \omega_s}{180} \cdot \sin\varphi \cdot \sin\delta \right] \quad (\text{σχέση 1.2.6})$$

Όπου φ = γεωγραφικό πλάτος

δ = ηλιακή απόκλιση

ω_s = Ωριαία γωνία

n: το άθροισμα των ημερών με εκκίνηση την 1^η Ιανουαρίου έως την μέρα του χρόνου που θέλουμε ή αλλιώς η μέρα του χρόνου κατά αύξοντα αριθμό , με εκκίνηση την 1^η Ιανουαρίου . $1 \leq n \leq 365$.

Το αποτέλεσμα θα είναι σε $\frac{\text{MJ}}{\text{m}^2}$.

Πηγή: Βιβλίο "Ήπιες μορφές ενέργειας ΙΙ" , Σωκράτης Καπλάνης

1.3 Ηλιακή ακτινοβολία σε κεκλιμένο επίπεδο , στιγμιαίος συντελεστής μετατροπής R

Στα συστήματα ηλιακής ενέργειας για να γίνεται σωστός υπολογισμός πρέπει να είναι γνωστές κάποιες παράμετροι μια εκ των οποίων είναι η ηλιακή ακτινοβολία που προσπίπτει με κλίση στο σύστημα. Για να επιτευχθεί αυτό υπάρχουν δύο τρόποι.

1^{ος} τρόπος :Συντελεστής μετατροπής R

Ο συντελεστής R είναι ο συντελεστής μετατροπής της ηλιακής ακτινοβολίας από το οριζόντιο στο κεκλιμένο επίπεδο.

Η ένταση της ολικής ηλιακής ακτινοβολίας στο οριζόντιο επίπεδο είναι I

Η ένταση της ολικής ηλιακής ακτινοβολίας στο κεκλιμένο επίπεδο είναι $I_T = I * R$ (σχέση 1.3.1)

Με βάση την εξίσωση:

$$R = \frac{I_b}{I} * R_b + \frac{I_d}{I} * \left(\frac{1 + \cos(\beta)}{2} \right) + \frac{1 - \cos(\beta)}{2} * r \quad (\text{σχέση 1.3.2})$$

προκύπτει ο συντελεστής μετατροπής R

Όπου,

$$R_b = \frac{I_{bn}}{I_b} = \frac{I_{bd} \cos \alpha}{I_{bd} \cos \alpha_z} = \frac{\cos \alpha}{\cos \alpha_z} \quad (\text{σχέση 1.3.3})$$

β , η κλίση του Φ/B συστήματος

r, συντελεστής ανακλαστικότητας ο οποίος εξαρτάται από το έδαφος

Στην περίπτωση που οι ηλιακοί συλλέκτες έχουν προσανατολισμό στον Νοτιά ($\gamma = 0^\circ$) τότε η σχέση γίνεται:

$$R_b = \frac{\cos(j - b) * \cos \delta * \cos \omega + \sin(j - b) * \sin \delta}{\cos j * \cos \delta * \cos \omega + \sin j * \sin \delta} \quad (\text{σχέση 1.3.4})$$

Και στις δύο σχέσεις για να δοθεί το αποτέλεσμα θα πρέπει να αντικατασταθούν οι παράμετροι $\cos \theta$ και $\cos \theta_z$ από τις σχέσεις:

$$\cos q_z = \cos d \times \cos j \times \cos w + \sin d \times \sin j \quad (\text{σχέση 1.3.5})$$

$$\cos q = \cos(f - b) \cos d \cos w + \sin(f - b) \sin d \quad (\text{σχέση 1.3.6})$$

2^{ος} τρόπος:

Διεξάγεται με την τοποθέτηση του πυρανομέτρου σε κλίση ίση με αυτήν του ηλιακού συλλέκτη ή καλύτερα με τοποθέτηση του πυρανομέτρου πάνω στον ηλιακό συλλέκτη για να είναι πιο ακριβής η μέτρηση.

Καθώς όμως στις διάφορες εφαρμογές ως αναφορά τους υπολογισμούς στον σχεδιασμό και την διαστασιολόγηση συστημάτων ηλιακών συλλεκτών χρησιμοποιούνται οι μηνιαίες τιμές της ακτινοβολίας παίρνονται οι τιμές του συντελεστή R είτε από έτοιμους πίνακες ή από την παρακάτω εξίσωση. Οι πίνακες δίδουν τιμές ανά μήνα για διάφορες κλιματολογικές ζώνες της προσπίπτουσας ηλιακής ενέργειας στο οριζόντιο επίπεδο. Ο μέσος συντελεστής είναι διαφορετικός για κάθε ζώνη της χώρας, για κάθε κλίση και για κάθε μήνα.

$$\bar{R} = \left(1 - \frac{\bar{H}_d}{\bar{H}}\right) \cdot \bar{R}_b + \frac{\bar{H}_d}{\bar{H}} \cdot \left(\frac{1 + \cos(\beta)}{2}\right) + r \cdot \left(\frac{1 - \cos(\beta)}{2}\right) \quad (\text{σχέση 1.3.7})$$

Μέση μηνιαία ηλιακή ακτινοβολία στο οριζόντιο επίπεδο \bar{H}

$$\text{Μέση μηνιαία ημερήσια ηλιακή ακτινοβολία στο κεκλιμένο } \bar{H}_T = \bar{H} \cdot R \quad (\text{σχέση 1.3.8})$$

Πηγή: Βιβλίο "Ήπιες μορφές ενέργειας II", Σωκράτης Καπλάνης

1.4 Γεωμετρικά στοιχεία

ι) Ηλιακή απόκλιση, δ

Η ηλιακή απόκλιση είναι η γωνιακή θέση του ήλιου (συμβατικά κατά την ηλιακή μεσημβρία) σε σχέση με το Ισημερινό επίπεδο. Η ηλιακή απόκλιση αλλάζει καθημερινά και προσδιορίζεται από την εξίσωση Cooper:

$$\Delta = 23,45^\circ \cdot \sin\left(360 \cdot \frac{284+n}{360}\right) \quad (\text{σχέση 1.4.1})$$

Όπου,

n: το άθροισμα των ημερών με εκκίνηση την 1^η Ιανουαρίου έως την μέρα του χρόνου που θέλουμε ή αλλιώς η μέρα του χρόνου κατά αύξοντα αριθμό, με εκκίνηση την 1^η Ιανουαρίου. $1 \leq n \leq 365$.

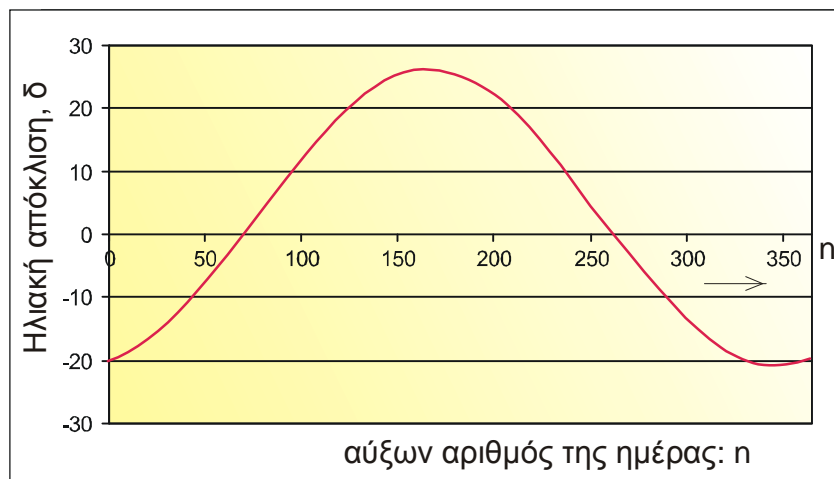
Το αποτέλεσμα θα είναι σε μοίρες.

Επίσης, μεταβάλλεται στο διάστημα $[-23.45^\circ, 23.45^\circ]$. Λαμβάνει θετικές τιμές όταν ο ισημερινός βρίσκεται χαμηλότερα από την ευθεία που ενώνει Ήλιο και Γη. Για το Β. Ημισφαίριο αυτό συμβαίνει για την περίοδο 21 Μαρτίου έως 22 Σεπτεμβρίου.

Χαρακτηριστικές τιμές απόκλισης δ	Ημερομηνία
+23°27'	22α Ιουνίου
+20°0'	21η Μαΐου - 24 Ιουλίου
+15°	1η Μαΐου - 12η Αυγούστου
+10°	16η Απριλίου - 28η Αυγούστου
+5°	3η Απριλίου - 10η Σεπτεμβρίου
0°	21η Μαρτίου - 23η Σεπτεμβρίου
-5°	8η Μαρτίου - 6η Οκτωβρίου
-10°	23η Φεβρουαρίου - 20η Οκτωβρίου
-15°	9η Φεβρουαρίου - 3η Νοεμβρίου
-20°	21η Ιανουαρίου - 22α Νοεμβρίου
-23°27'	22α Δεκεμβρίου

1.4.1 Πίνακας χαρακτηριστικών τιμών της απόκλισης δ για την διάρκεια όλο του χρόνου.

Πηγή: Βιβλίο "Ήπιες μορφές ενέργειας II", Σωκράτης Καπλάνης



1.4.2 Διάγραμμα καμπύλης τιμών απόκλισης δ συναρτήσει της κάθε ημέρας του έτους, n .

Πηγή: Βιβλίο "Ήπιες μορφές ενέργειας II", Σωκράτης Καπλάνης

ii) Ωριαία γωνία, ω_s

Η ωριαία γωνία δύσης ω_{ss} ή ανατολής του ηλίου ω_{sr} είναι η ωριαία γωνία ω στην περίπτωση που το ύψος του ηλίου είναι $\alpha=0$ και όταν η ζενίθια γωνία είναι ίση με ενενήντα μοίρες, $\theta_z=90^\circ$

Σε οριζόντιο επίπεδο:

$$\cos(\omega_s) = -\tan\varphi \cdot \tan\delta \Rightarrow \omega_s = \cos^{-1}(\tan\varphi \cdot \tan\delta) \quad (\text{σχέση 1.4.2})$$

όπου φ = γεωγραφικό πλάτος

δ = ηλιακή απόκλιση

Το αποτέλεσμα θα είναι σε μοίρες.

iii) Ύψος του ηλίου, α

Το ύψος ηλίου είναι η συμπληρωματική γωνία της ζενίθιας γωνίας θ_z και ουσιαστικά την δίνει η γωνία μεταξύ της ευθείας του τόπου-ήλιου και του οριζόντιου επιπέδου. Το ύψος του ηλίου μεταβάλλεται με την Αζιμουθιακή γωνία γ , το πλάτος και την εποχή.

$$q_z + \alpha = 90^\circ \quad (\text{σχέση 1.4.3})$$

Όταν ο Ήλιος ανατέλλει ή δύει, ισχύει πάντα $\alpha=0$ και $\theta_z=90^\circ$.

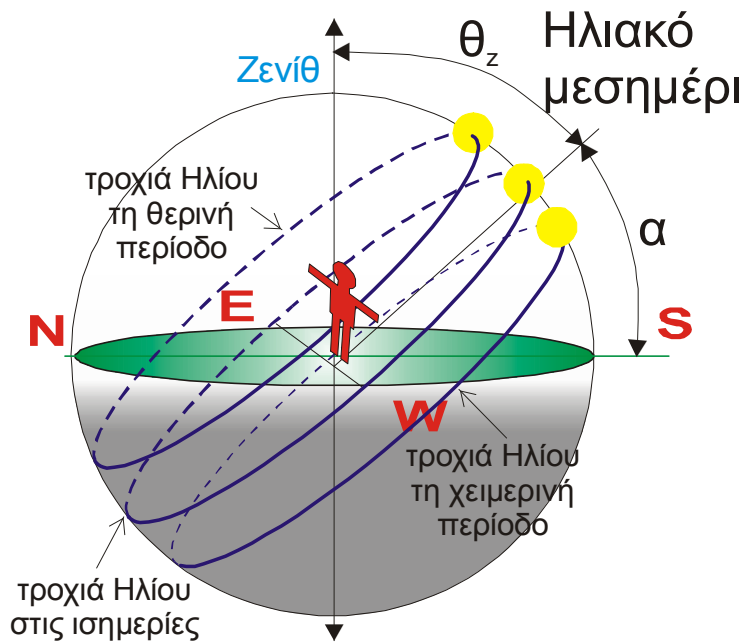
iv) Θέση ηλίου

Κατά το ηλιακό μεσημέρι η θέση του ηλίου είναι ψηλά σε σχέση με τον ορίζοντα, το καλοκαίρι. Τον χειμώνα κατά το ηλιακό μεσημέρι η θέση του ηλίου είναι χαμηλότερη.

v) Ωριαία γωνία, ω

Η ωριαία γωνία είναι η γωνία που σχηματίζει ο Ήλιος κατά την διάρκεια της κίνησης του στην ημερήσια τροχιά του.

Η γωνία αυτή μετράται με αρχή το μεσημβρινό επίπεδο του τόπου. Για κάθε χρονική στιγμή (h) για μια ημέρα (n) αντιστοιχεί και μια τιμή του ω , ή $\omega(h;n_j)$. Η τιμή της γωνίας είναι θετική όταν το επίπεδο που ορίζεται από τον Ήλιο και την κατακόρυφο Παρατηρητή/Συλλέκτη - Zenith, βρίσκεται Δυτικά του μεσημβρινού του. Όταν το επίπεδο αυτό βρίσκεται Ανατολικά τότε η τιμή της γωνίας είναι αρνητική.



1.4.3 Διάγραμμα απεικόνισης των 3 τροχιών του ηλίου: Η μία τροχιά είναι κατά την διάρκεια του χειμώνα , η άλλη τροχιά είναι για την ισημερία και η άλλη είναι για την θερινή διάρκεια.

Πηγή: Βιβλίο " Ήπιες μορφές ενέργειας II" , Σωκράτης Καπλάνης

Ανά μια ώρα η γωνία ω μεταβάλλεται κατά 15° . Για παράδειγμα: την 12η ώρα (Α.Η.Χ.), όταν δηλαδή έχουμε ηλιακό μεσημέρι, τότε $\omega=0^\circ$. Στις 10 π.μ (Α.Η.Χ.) αντιστοιχεί $w = - 2 \times (15^\circ) = - 30^\circ$ και στις 5μ.μ (Α.Η.Χ.) $w = (5 \times 15^\circ) = 75^\circ$.

$$\Omega = (xh - 12h) \cdot 15^\circ / h \quad (\text{σχέση 1.4.4})$$

Όπου,

X=η ώρα του πειράματος

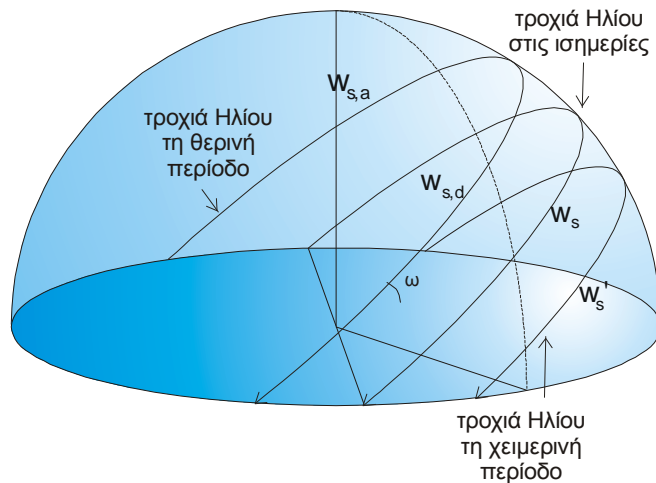
νι)Ωριαία γωνία δύσης ή ανατολής για ένα κεκλιμένο επίπεδο, ω'_s

Ωριαία γωνία δύσης ή ανατολής για κεκλιμένο επίπεδο είναι η ωριαία γωνία ω κατά την οποία ο ήλιος δύει ή ανατέλλει για το επίπεδο αυτό, όταν το θεωρήσουμε ως εκτεινόμενο απέραντα.

Η ωριαία γωνία δύσης (ω_{ss}) ή ανατολής (ω_{sr}) στο οριζόντιο επίπεδο είναι 90° όταν έχουμε εαρινή ή φθινοπωρινή ισημερία.

Είναι μικρότερη των 90° από την 21η Σεπτεμβρίου έως την 21η Μαρτίου.

Αντιστρόφως είναι μεγαλύτερη των 90° από 21η Μαρτίου έως την 21η Σεπτεμβρίου. Λαμβάνει την μέγιστη και ελάχιστη τιμή στο θερινό και χειμερινό ηλιοστάσιο.



1.4.4 Διάγραμμα των τροχιών του Ηλίου κατά την θερινή , την χειμερινή περίοδο και την τροχιά του ήλιου στις ισημερίες.

Πηγή: Βιβλίο "Ήπιες μορφές ενέργειας II" , Σωκράτης Καπλάνης

vii) Ζενιθία γωνία, θ_z

Η ζενιθία γωνία είναι η γωνία που σχηματίζεται μεταξύ της ευθείας που συνδέει το επίπεδο του συλλέκτη ή τον παρατηρητή με τον Ήλιο και της κατακόρυφου του τόπου που βρίσκεται ο Ηλιακός συλλέκτης (διεύθυνση Zenith).

Ισχύει: $\theta_z + \alpha = 90^\circ$

(σχέση 1.2.5α)

Η σχέση που δίνει την ζενιθία γωνία είναι:

$$\cos\theta_z = \cos\delta * \cos\varphi * \cos\omega + \sin\delta * \sin\varphi$$

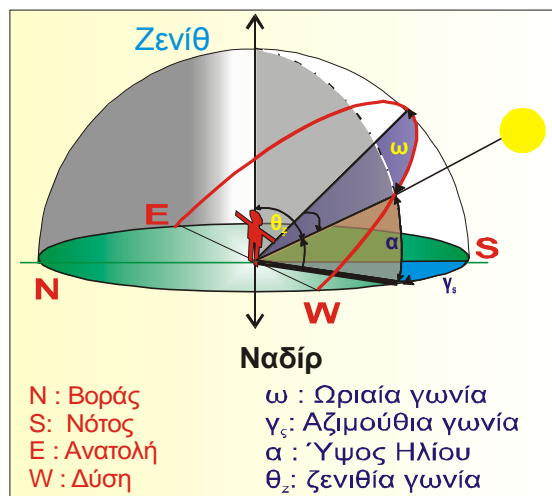
(σχέση 1.4.5)

όπου,

δ =ηλιακή απόκλιση

φ = γεωγραφικό πλάτος

ω = ωριαία γωνία



1.4.5 Διάγραμμα οριζόντιου επιπέδου και παρατηρητή ο οποίος είναι στο κέντρο της Γης .Δείχνει τον τρόπο που ένας παρατηρητής βλέπει τις γωνίες του ηλίου ω (ωριαία γωνία), θ_z (ζενιθία), α (ύψος του ηλίου) και γ_s (αζιμούθια γωνία του ηλίου).

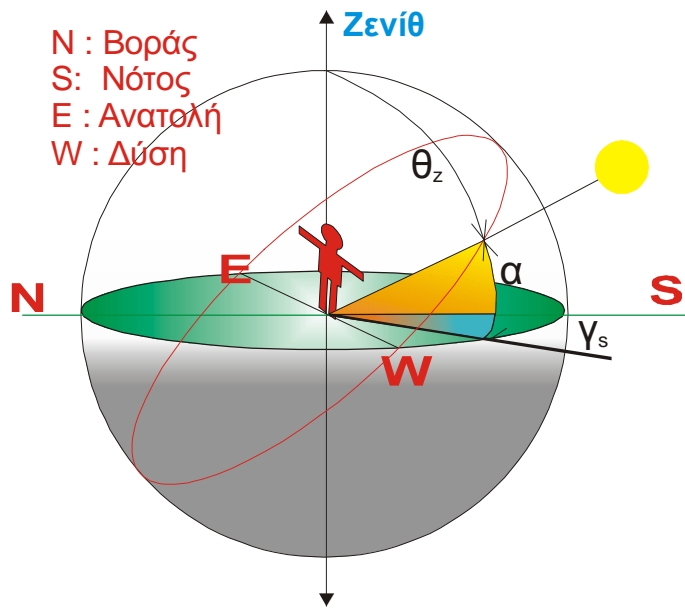
Πηγή: Βιβλίο "Ήπιες μορφές ενέργειας II", Σωκράτης Καπλάνης

viii)Αζιμουθιακή γωνία του ηλίου , γ_s

Η αζιμουθιακή γωνία του ηλίου η γωνία που σχηματίζεται μεταξύ του μεσημβρινού του τόπου και της προβολής στο οριζόντιο επίπεδο, της ευθείας που συνδέει τον Ήλιο με τον παρατηρητή ή τον ήλιο με το συλλέκτη. Το γ_s είναι θετικό προς την Δύση και αρνητικό προς την Ανατολή.

Η εξίσωση υπολογισμού της αζιμουθιακής γωνίας για μία ημέρα n η οποία αντιστοιχεί σε απόκλιση δ και για χρονική στιγμή που αντιστοιχεί σε γωνία ω είναι η εξής:

$$\sin \gamma_s = \frac{\cos \delta \cdot \sin \omega}{\sin \theta_z} \quad (\text{σχέση 1.4.6})$$



1.4.6 Διάγραμμα με παρατηρητή στο κέντρο της Γης.

Το διάγραμμα δείχνει με σαφήνεια τον τρόπο που ο παρατηρητής που βρίσκεται στο κέντρο της Γης βλέπει τις γωνίες α , θ_z , γ_s . Επίσης δείχνει ότι η θ_z γωνία είναι συμπληρωματική της γωνίας α .

Πηγή: Βιβλίο "Ήπιες μορφές ενέργειας II", Σωκράτης Καπλάνης

ix) Γωνία πρόσπτωσης της ηλιακής ακτινοβολίας, θ

Η γωνία πρόσπτωσης της ηλιακής ακτινοβολίας είναι η γωνία που σχηματίζεται μεταξύ της καθέτου στο επίπεδο του τόπου ή του συλλέκτη και της ευθείας που συνδέει αυτό το επίπεδο με τον ήλιο.

Υπολογίζεται με βάση την παρακάτω σχέση η οποία παράλληλα συνδέεται με τα τριγωνομετρικά μεγέθη ($\phi, \omega, \beta, \delta, \gamma$) για μία ορισμένη χρονική στιγμή κατά την διάρκεια μιας νι-οστής ημέρας:

$$\cos\theta = \sin\delta \cdot \sin\phi \cdot \cos\beta - \sin\delta \cdot \cos\phi \cdot \sin\beta \cdot \cos\gamma + \cos\delta \cdot \cos\phi \cdot \cos\beta \cdot \cos\omega + \cos\delta \cdot \sin\phi \cdot \sin\beta \cdot \cos\gamma \cdot \cos\omega + \cos\delta \cdot \sin\beta \cdot \sin\gamma \cdot \sin\omega$$

(σχέση 1.4.6)

Όταν οι συλλέκτες είναι προσανατολισμένοι στον νοτιά τότε $\gamma=0^\circ$ και η σχέση απλοποιείται σε:

$$\cos\theta = \sin\delta \cdot \sin\phi \cdot \cos\beta - \sin\delta \cdot \cos\phi \cdot \sin\beta + \cos\delta \cdot \cos\phi \cdot \cos\beta \cdot \cos\omega + \cos\delta \cdot \sin\phi \cdot \sin\beta \cdot \cos\omega.$$

(σχέση 1.4.7)

Στο οριζόντιο επίπεδο η γωνία πρόσπτωσης θ ταυτίζεται με τη ζενιθία γωνία θ_z και έχει τις ίδιες ιδιότητες με αυτήν δηλαδή είναι συμπληρωματική της γωνίας του ύψους του ηλίου. Άρα για οριζόντιες επιφάνειες ($\beta=0^\circ$) οι οποίες είναι προσανατολισμένες σε νότια διεύθυνση ($\gamma=0^\circ$) η παραπάνω σχέση γίνεται:

$$\cos\theta_z = \cos\delta * \cos\varphi * \cos\omega + \sin\delta * \sin\varphi$$

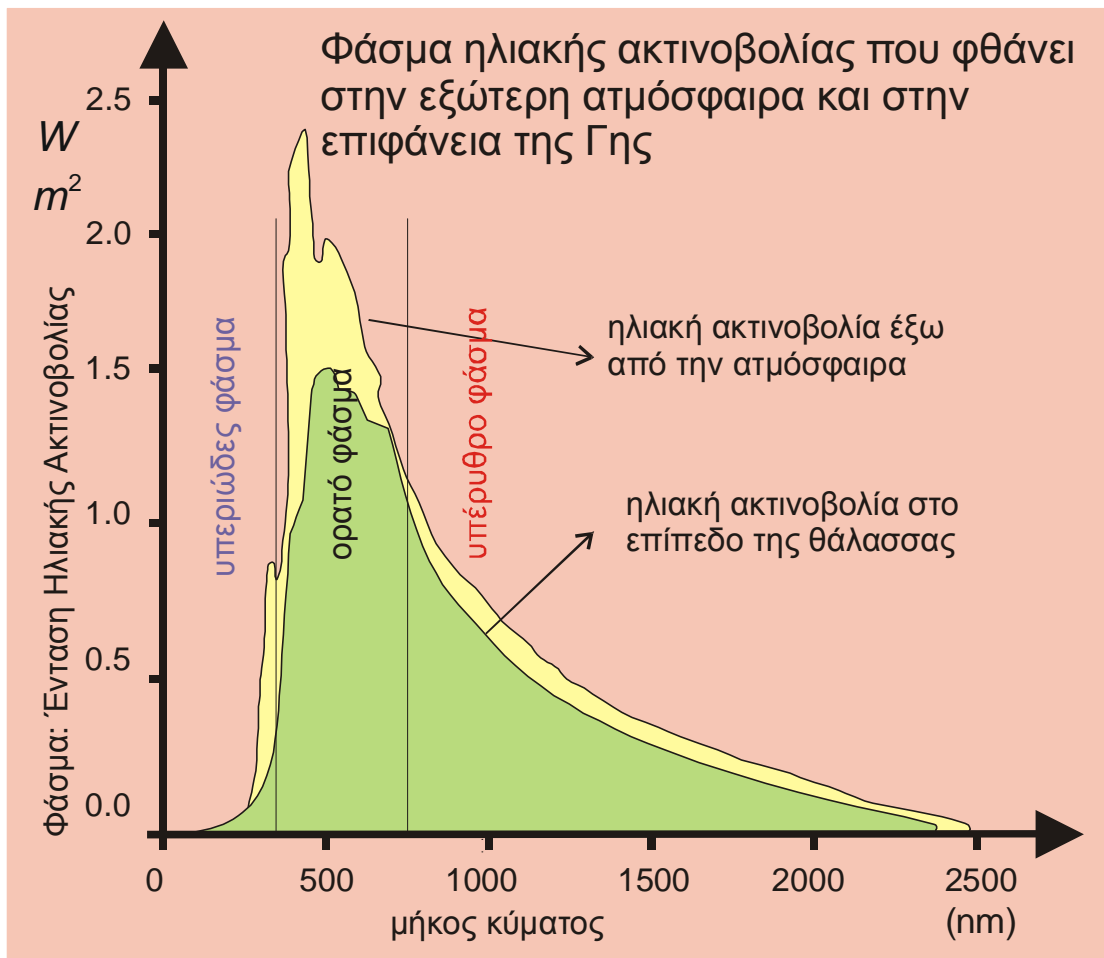
(σχέση 1.4.8)

Όταν η γωνία πρόσπτωσης της ηλιακής ακτινοβολίας είναι μεγάλη τότε μεγάλο μέρος της ανακλάται και δεν χρησιμοποιείται.

Πηγή: Βιβλίο "Ήπιες μορφές ενέργειας II", Σωκράτης Καπλάνης

1.5 Φάσμα ηλιακής ακτινοβολίας

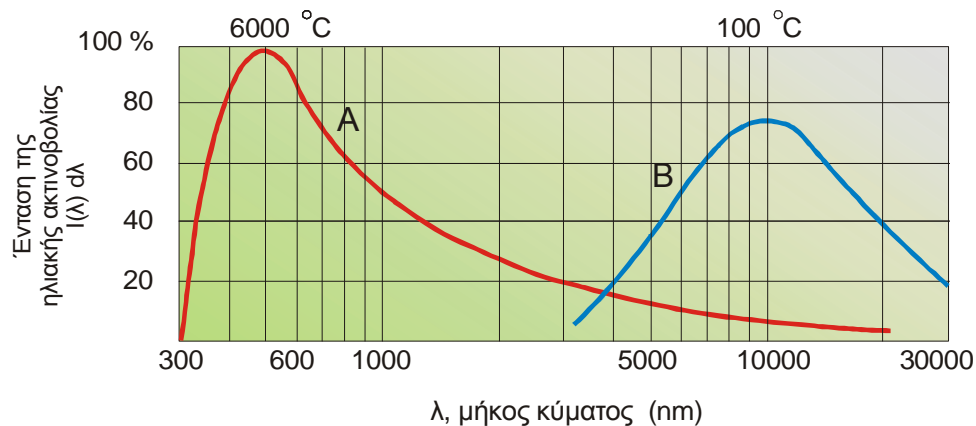
Το φάσμα της ηλιακής ακτινοβολίας καταλαμβάνει εύρος από τα 200 έως τα 3000nm. Το 9% περίπου της ηλιακής ακτινοβολίας ευρίσκεται στο υπεριώδες φάσμα, το 49% ανήκει στο ορατό φάσμα και το υπόλοιπο 42% ανήκει στο υπέρυθρο.



1.5.1 Διάγραμμα φάσματος Ηλιακής Ακτινοβολίας που φθάνει στην εξώσφαιρα και στην επιφάνεια της Γης. Τα όρια του υπεριώδους , του ορατού και του υπέρυθρου φάσματος βρίσκονται στο διάγραμμα.

Πηγή: Βιβλίο " Ήπιες μορφές ενέργειας II" , Σωκράτης Καπλάνης

Η ηλιακή ακτινοβολία που είναι κατάλληλη για θερμικές εφαρμογές βρίσκεται στην περιοχή 380nm - 3000nm.



1.5.2 Διάγραμμα έντασης ηλιακής ακτινοβολίας συναρτήσει μήκους κύματος .Με την κόκκινη γραμμή A συμβολίζεται το φάσμα εκπομπής για πηγή θερμοκρασίας 6000°C. Προσεγγίζει το φάσμα της ηλιακής ακτινοβολίας .

Με την μπλε γραμμή , B συμβολίζεται το φάσμα εκπομπής για σώμα 100°C. Η ακτινοβολία αυτή ευρίσκεται στο υπέρυθρο λόγω της χαμηλής θερμοκρασίας του ακτινοβολούντος σώματος, που στην περίπτωση αυτή είναι η Γη.

Πηγή: Βιβλίο " Ήπιες μορφές ενέργειας II" , Σωκράτης Καπλάνης

1.6 Συστήματα προσδιορισμού του χρόνου

•Α.Η.Χ (Αληθής ηλιακός χρόνος)

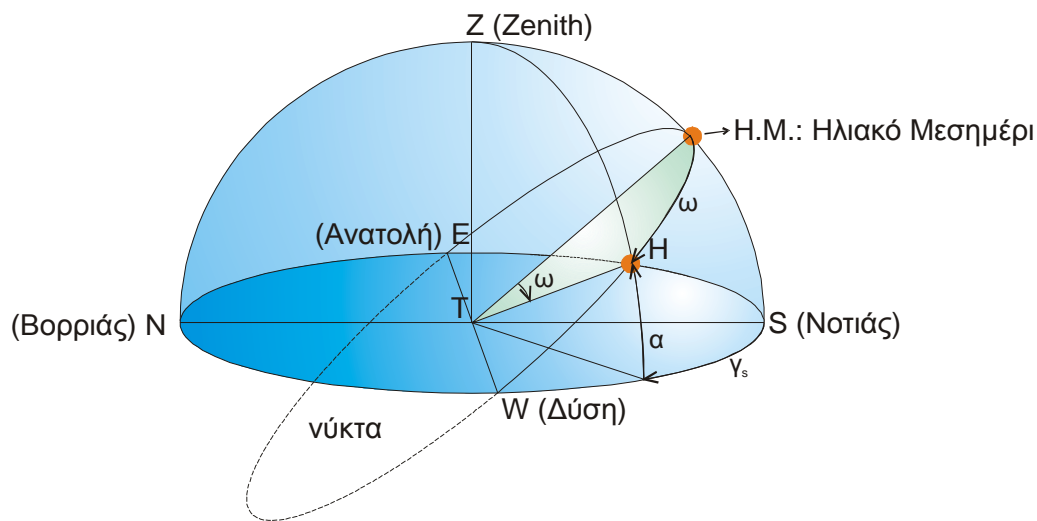
Το πρώτο σύστημα προσδιορισμού του χρόνου είναι ο ΑΗΧ. Ο αληθής ηλιακός χρόνος είναι ο χρόνος ο οποίος για να μετρηθεί και να προσδιοριστεί έχει ως βάση την γωνιακή μετακίνηση του ήλιου σε σχέση με το γήινο μεσημβρινό του τόπου (επίπεδο NZS).

A) Μεσημβρινός ορίζεται το επίπεδο NZS το οποίο είναι κάθετο στο οριζόντιο επίπεδο και βρίσκεται στην διεύθυνση B-N.

B)Ηλιακό μεσημέρι ορίζεται η 12η ώρα τη χρονική στιγμή που ο ήλιος βρίσκεται στο υψηλότερο σημείο της τροχιάς του στον ουρανό. Είναι η στιγμή που ένας κατακόρυφος στύλος ρίχνει τη μικρότερη σκιά στο οριζόντιο .Όταν ο ήλιος ξαναπεράσει από το ανώτερο σημείο, τότε έχουμε και πάλι ηλιακό μεσημέρι για να συμβεί αυτό θα πρέπει να έχουν περάσει 24 ώρες (h).

•Τ.Ω.Χ (Τοπικός ωρολογιακός χρόνος)

Το δεύτερο σύστημα προσδιορισμού του χρόνου είναι ο ΤΩΧ. Ο τοπικός ωρολογιακός χρόνος ο οποίος είναι ίδιος για όλους τους τόπους μιας χώρας και είναι συμβατικός.



1.6.1 Διάγραμμα τόπου και ορίζοντα Ανά μία μέρα διακρίνεται η τροχιά του ήλιου στον ουρανό όπως επίσης και οι γωνίες: ω (ωριαία γωνία), α (ύψος ηλίου) και γ_s (αζιμουθιακή γωνία του ηλίου). Παρατηρείται πως στο ηλιακό μεσημέρι ο ήλιος βρίσκεται στο υψηλότερο σημείο της τροχιάς του στον ουρανό.

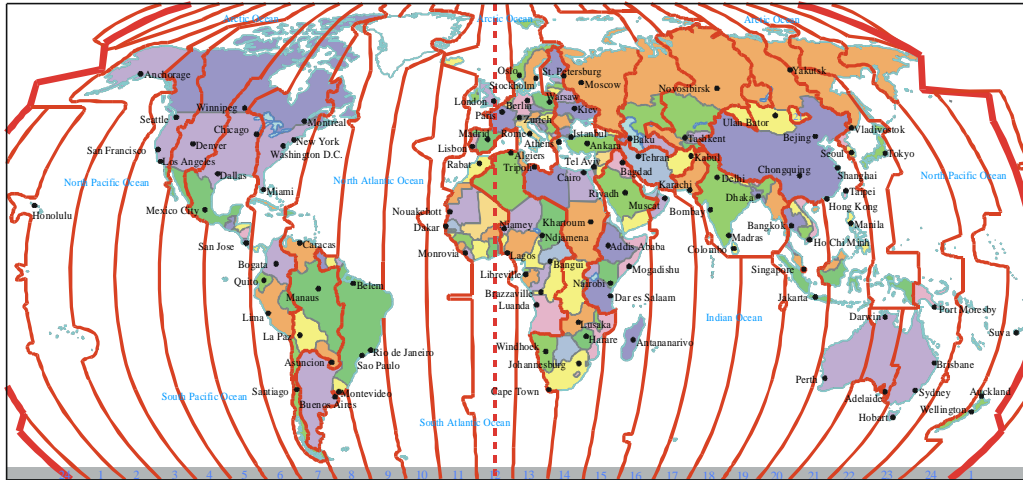
Πηγή: Βιβλίο "Ήπιες μορφές ενέργειας II", Σωκράτης Καπλάνης

Τα δύο συστήματα ο Αληθής Ηλιακός Χρόνος (Α.Η.Χ.) και ο Τοπικός Ωρολογιακός Χρόνος (Τ.Ω.Χ.) είναι διαφορετικοί παράγοντες και δεν συμπίπτουν μεταξύ τους ,συνδέονται όμως γραμμικά. Η γραμμική μεταβολή που τους συνδέει δεν είναι σταθερή καθώς υπάρχει μία χρονική μετατόπιση η οποία είναι ασταθής και κατά την διάρκεια του έτους μεταβάλλεται. Για τη μέτρηση του χρόνου χρησιμοποιείται η ίδια μονάδα, seconds (s). Στις εφαρμογές ηλιακής ενέργειας για τους υπολογισμούς δεν χρησιμοποιείται ο Τ.Ω.Χ. αλλά ο Α.Η.Χ. βάσει του οποίου γίνονται και τα πειράματα για την απόδοση των ηλιακών συλλεκτών καθώς και οι μεταξύ τους συγκρίσεις.

Για τον υπολογισμό του Α.Η.Χ. με βάση τον Τ.Ω.Χ. γίνονται δύο βασικές διορθώσεις:

1. Διόρθωση εξαιτίας της διαφοράς του γεωγραφικού μήκους του μεσημβρινού του τόπου, L_{loc} , που γίνονται οι μετρήσεις με το κατά συνθήκη γεωγραφικό μήκος του

μεσημβρινού της ατράκτου στην οποία ευρίσκεται ο τόπος ή η χώρα (L_{st}) καθώς η Γη είναι χωρισμένη σε 24 ατράκτους, $360^\circ:24 = 15^\circ$ ανά άτρακτο.



1.6.2 Χάρτης για το χώρισμα της γης σε 24 ατράκτους και κατά συνέπεια το χώρισμα της γης σε 15 μοίρες ανά άτρακτο.

Πηγή: Βιβλίο "Ήπιες μορφές ενέργειας II", Σωκράτης Καπλάνης

Για να περιστραφεί η γη κατά 360° μοίρες απαιτούνται 24h. Για στροφή 15° (γωνιακή μετατόπιση μίας ατράκτου) απαιτούνται:

$$\frac{360^\circ}{15^\circ} = \frac{24h}{x} \quad \text{ή} \quad x = 24h \frac{15}{360} = 1h$$

(σχέση 1.6.1)

Συνεπώς:

$$\frac{15^\circ}{1^\circ} = \frac{1h}{y} = \frac{60 \text{ min}}{y} \quad \text{ή} \quad y = 4 \text{ min/μοίρα}$$

(σχέση 1.6.2)

Ο ήλιος δηλαδή χρειάζεται τέσσερα πρώτα λεπτά για να διανύσει γωνία ατράκτου 1 μοίρας ($\Delta L=1^\circ$). Για την Ελλάδα ο μεσημβρινός μέτρησης του χρόνου είναι αυτός της 2ης ατράκτου και αντιστοιχεί σε $L_{st} = 30^\circ$.

2. Η δεύτερη διόρθωση γίνεται λόγω της ελλειπτικής τροχιάς της γης. Η διόρθωση αυτή δίδεται από την εξίσωση του χρόνου, E.

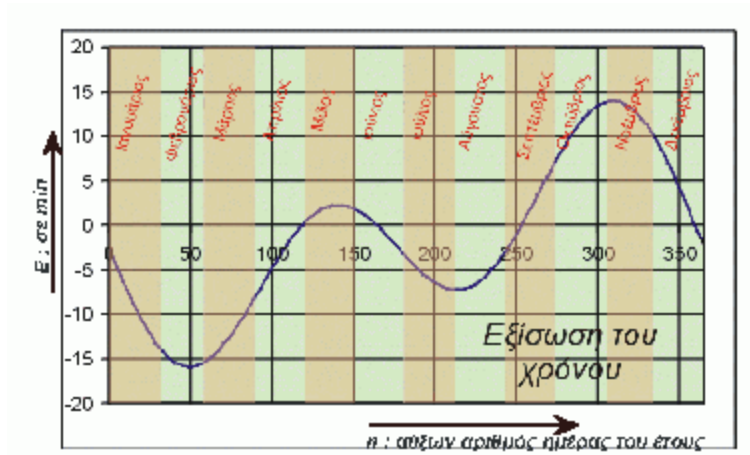
$$E = 0.0172 + 0.3278 \cos B - 7.3456 \sin B - 3.3468 \cos^2 B - 9.3544 \sin 2B$$

(σχέση 1.6.3)

όπου: $B = \frac{360(n-1)}{365}$

(σχέση 1.6.4)

και n ο αύξων αριθμός της ημέρας για την οποία γίνεται ο υπολογισμός του E. Ως αρχή μέτρησης του n λαμβάνεται πάντα η 1η Ιανουαρίου.



1.6.3 Διάγραμμα υπολογισμού της εξίσωσης χρόνου E σε λεπτά , δίνει τις τιμές του E σε λεπτά σε συνάρτηση με την κάθε ημέρα του έτους.

Πηγή: Βιβλίο "Ήπιες μορφές ενέργειας II" , Σωκράτης Καπλάνης

Η σχέση που συνδέει τον T.Ω.X. και A.H.X. είναι η ακόλουθη:

$$AHX = TΩX - 4 \text{ min/μοίρα } (L_{st} - L_{loc}) + E \quad (\text{σχέση 1.6.5})$$

Πηγή: Βιβλίο "Ήπιες μορφές ενέργειας II" , Σωκράτης Καπλάνης

1.7 Όργανα μέτρησης της ακτινοβολίας

- 1) Ηλιακός συλλέκτης ηλιακής ακτινοβολίας. Έχει την δυνατότητα ανάλογα με το είδος συλλέκτη που είναι τοποθετημένος σε ένα όργανο μέτρησης να μετρήσει την άμεση , την διάχυτη ή την ολική ηλιακή ακτινοβολία. Ουσιαστικά ο συλλέκτης ορίζει την γεωμετρία της ακτινοβολίας που προσπίπτει πάνω στο όργανο έτσι ώστε αναλυθούν.

Πηγή:

http://lap.physics.auth.gr/pms/upload/Erg_aktinometrias_simeioseis.pdf

2) Πυρανόμετρο. Έχει την δυνατότητα να μετράει την ολική ηλιακή ακτινοβολία που πέφτει στο οριζόντιο επίπεδο καθώς και την ανακλώμενη ακτινοβολία μικρού μήκους κύματος ακτινοβολίας στην περίπτωση που είναι τοποθετημένο απέναντι από την θάλασσα.

Η τοποθέτηση του θα πρέπει να είναι πάντοτε οριζόντια χωρίς κίνδυνο ταλαντώσεων , χωρίς ύπαρξη σκιάσεων από άλλα αντικείμενα και χωρίς δημιουργία παρεμβολών ηλεκτρομαγνητικής επαγωγής. Η τοποθέτηση του θα πρέπει να γίνεται κοντά στον ηλιακό συλλέκτη και η επιφάνεια του αισθητήρα να είναι στο επίπεδο του πίνακα.

Το πυρανόμετρο λειτουργεί βάση του αισθητήρα του . Ο αισθητήρας του είναι μια επίπεδη θερμοστήλη που είναι καλυμμένη από ειδικό μαύρο επίχρισμα με απορροφητική ικανότητα ανεξάρτητη του μήκους κύματος. Η πλευρά του αισθητήρα που είναι επιχρισμένη καλύπτεται από δύο ομόκεντρες διαφανείς ημισφαιρικές επιφάνειες, των οποίων ο καθορισμός θα πρέπει να γίνεται συχνά .Η θερμοκρασία του περιβάλλοντος δεν επηρεάζει την απόκριση του οργάνου, είναι ανεξάρτητη.

Καθώς το πυρανόμετρο έχει την δυνατότητα να μετράει την ολική ηλιακή ακτινοβολία που πέφτει στο οριζόντιο επίπεδο σε περίπτωση που ζητάτε η ολική ακτινοβολία σε κεκλιμένο επίπεδο θα πρέπει να γίνει είτε χρήση του τύπου : $I_T = I \cdot R$ (σχέση 1.7.1)

Όπου, I ολική ηλιακή ακτινοβολία που προσπίπτει στον πυρανόμετρο

R ο στιγμιαίος συντελεστής μετατροπής της είτε να τοποθετηθεί το πυρανόμετρο τέτοια ώστε να εξυπηρετεί την απαιτούμενη κλίση για να βρεθεί η ακτινοβολία στο κεκλιμένο επίπεδο.

Πηγή: Βιβλίο "Ήπιες μορφές ενέργειας II" , Σωκράτης Καπλάνης

Φασματική περιοχή (συνολικά)	285 to 2800 nm
Ευαισθησία	7 to 14 $\mu\text{V}/\text{W}/\text{m}^2$
Χρόνος απόκρισης	< 5 s
Zerooffset A	< 7 W/m^2
Zerooffset B	< 2 W/m^2
Κατευθυντική ανταπόκριση (έως 80 ° με ακτίνα 1000 W / m^2)	< 10 W/m^2
Εξάρτηση από τη θερμοκρασία της ευαισθησίας (-10 °C έως +40 °C)	< 1 %
Εύρος θερμοκρασίας λειτουργίας	-40 °C to +80 °C
Η μέγιστη ηλιακή ακτινοβολία	4000 W/m^2
Οπτικό πεδίο	180 °

1.7.1 Πίνακας προδιαγραφών του πυρανομέτρου που χρησιμοποιήθηκε στο πείραμα, CM11 Kipp&zonen.

Πηγές:

<https://el.wikipedia.org/wiki/Πυρανόμετρο>

<http://www.kippzonen.com/Product/13/CMP-11-Pyranometer>

<http://www.kippzonen.com/>



1.7.2 Πυρανόμετρο τοποθετημένο σε κλίση ίση με το φωτοβολταϊκό σύστημα

- 3) Η στεφάνη ή αλλιώς πυρηλιόμετρο με την προσθήκη μικρού δίσκου σκίασης σε κατάλληλη απόσταση έτσι ώστε να διακόπτονται οι ακτίνες της άμεσης ακτινοβολίας του ηλίου και έτσι γίνεται μέτρηση μόνο της διάχυτης ηλιακής ακτινοβολίας.



1.7.3 Εικόνα στεφάνης

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

Φωτοβολταϊκό φαινόμενο

2.1 Ορισμός του φωτοβολταϊκού φαινομένου

Το Φ/Β φαινόμενο είναι η διαδικασία κατά την οποία το ηλιακό φως που πέφτει πάνω στους ημιαγωγούς του Φ/Β συστήματος μετατρέπεται σε ηλεκτρική ενέργεια. Η διαδικασία υλοποίησης του Φ/Β φαινομένου είναι η εξής: Καθώς η ηλιακή ακτινοβολία προσπίπτει πάνω στα λεπτά στρώματα ημιαγωγών τύπου p και n τα οποία είναι σε διεπαφή, δημιουργείται αλληλεπίδραση των φωτονίων με το σύστημα των ημιαγωγών p και n. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να δημιουργηθεί ενεργειακό φάσμα ανάμεσα στους δύο ημιαγωγούς και να υπάρξει κίνηση ηλεκτρονίων. Στην διεπαφή p-n υπάρχει ανάπτυξη εσωτερικού ηλεκτρικού πεδίου. Λόγω της ασυμμετρίας των δύο περιοχών p και n στην συγκέντρωση ηλεκτρονίων, υπάρχει το φαινόμενο της διάχυσης το οποίο και επικρατεί. Στον ημιαγωγό n υπάρχει περίσσια ηλεκτρονίων τα οποία διαχέονται με κατεύθυνση την περιοχή p όπου και γίνονται φορείς μειονότητας. Αυτή η διαδικασία δημιουργεί μία περιοχή κοντά στην διεπαφή των δύο ημιαγωγών όπου το θετικό φορτίο είναι αυξημένο.

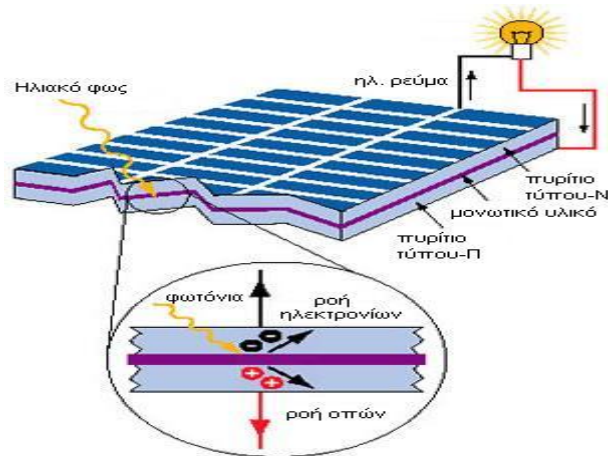
Σαν συμπεράσματα της διαδικασίας αυτής προκύπτουν:

1) τι αντίστροφο ηλεκτρικό πεδίο δημιουργείται λόγω του φαινομένου της διάχυσης και της ασυμμετρίας των δύο ημιαγωγών, πιο συγκεκριμένα στις συγεντρώσεις φορέων ηλεκτρονίων και οπών.

2) Λόγω του αντίστροφου ηλεκτρικού πεδίου τα φωτόνια του ηλιακού φάσματος αλληλεπιδρούν με το σύστημα p-n. Το ηλιακό φως το οποίο προσπίπτει στο Φ/Β κύτταρο αποτελείται από φωτόνια τα οποία έχουν ποσά ενέργειας τα οποία είναι αντίστοιχα στα διάφορα μήκη κύματος του φάσματος της ηλιακής ακτινοβολίας. Τα φωτόνια καθώς προσπίπτουν σε ένα Φ/Β κύτταρο τότε ή θα υπάρξει απορρόφηση, ή αντανάκλαση ή διαπέραση. Τα φωτόνια τα οποία απορροφούνται κάνουν τα ηλεκτρόνια του Φ/Β κυττάρου να οδηγηθούν σε αναγκαία μετακίνηση και με αυτό τον τρόπο παράγεται ηλεκτρικό ρεύμα.

Πηγή: Βιβλίο "Ήπιες μορφές ενέργειας III", Σωκράτης Καπλάνης

<http://www.ostrisolar.gr/index.php/2011-03-04-23-37-35>



2.1.1 Διάγραμμα απεικόνισης του Φ/Β φαινομένου , την στιγμή που το ηλιακό φως προσπίπτει πάνω στους δύο ημιαγωγούς .Τα Φ/Β στοιχεία χρησιμοποιούν ως υλικό κατασκευής τους το πυρίτιο-Si και αποτελεί την πρώτη ύλη για περίπου 90 % των Φ/Β.

Πηγή: Βιβλίο "Ήπιες μορφές ενέργειας III " , Σωκράτης Καπλάνης

Τα Φ/Β στοιχεία έχουν ως υλικό κατασκευής τους το πυρίτιο-Si το οποίο έχει πολύ χαμηλό κόστος , υπάρχει σε αφθονία στον πλανήτη μας , μπορεί να πάρει πολλές μορφές εύκολα και αποτελεί την πρώτη ύλη για περίπου 90 % των Φ/Β. Το πυρίτιο είναι ένα γυαλιστερό γκρι υλικό το οποίο έχει την ιδιότητα να λειτουργεί σαν καθρέφτης αντανακλώντας περισσότερο από το 30 % του φωτός που λάμπει πάνω του. Για να βελτιωθεί η αποδοτικότητα μετατροπής ενός ηλιακού κυττάρου , θα πρέπει να ελαχιστοποιηθεί η ποσότητα του φωτός που αντανακλάται.

Οι τεχνικές που μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε για να μειώσουμε την αντανάκλαση του πυριτίου είναι δύο:

- 1) Η επικάλυψη της άνω επιφάνειας με ένα λεπτό στρώμα του μονοξειδίου του πυριτίου (SiO) . Ένα ενιαίο στρώμα μειώνει την επιφανειακή ανάκλαση έως 10 % και ένα δεύτερο στρώμα μειώνει την αντανάκλαση σε λιγότερο από 4 %.
- 2) Η αλλαγή υφής της άνω επιφάνειας. Η χημική χάραξη δημιουργεί ένα μοτίβο από κώνους και πυραμίδες , η οποία συλλαμβάνει τις ακτίνες φωτός που θα μπορούσαν διαφορετικά να εκτρέπονταν μακριά από το κύτταρο. Σε αυτή την περίπτωση το ανακλώμενο φως κατευθύνεται ξανά μέσα στο κύτταρο και έτσι έχει άλλη μία ευκαιρία για να απορροφηθεί.

2.2 Φωτοβολταϊκή τεχνολογία

Η Φ/Β τεχνολογία σαν βασικό ρόλο της έχει την κατασκευή και την λειτουργία των Φ/Β εγκαταστάσεων.

- 1) ορίζει τα χαρακτηριστικά, τις προϋποθέσεις και τον τρόπο με τον οποίο πρέπει να λειτουργούν οι εγκαταστάσεις.
- 2) ορίζει τον τρόπο με τον οποίο μπορεί να επιτευχθεί η μέγιστη παραγωγή ισχύος στο Φ/Β σύστημα.
- 3) δεν μολύνει το περιβάλλον καθώς δεν δημιουργεί ρύπους .
- 4) είναι η πιο οικονομική τεχνολογία καθώς χρησιμοποιεί πρώτη ύλη για την λειτουργία των Φ/Β και είναι άφθονο στον πλανήτη και μπορεί να διατεθεί χωρίς οικονομικό κόστος .

2.3 Τύποι φωτοβολταϊκών συστημάτων

Το πυρίτιο-Si έχει μονοκρυσταλλική , πολυκρυσταλλική και άμορφη μορφή. Ανάλογα με την μορφή του πυριτίου έχουμε και τον ανάλογο τύπο Φ/Β οι οποίοι είναι:

1) ΜονοκρυσταλλικόςSi(c-Si):

Τα μονοκρυσταλλικά πλαίσια κατασκευάζονται από κυψέλες οι οποίες προέρχονται από ένα μόνο μεγάλο κυλινδρικό κρύσταλλο πυριτίου και έχουν κοπή από αυτόν. Λόγω του ότι η κατασκευή τους είναι πιο περίπλοκη το κόστος παραγωγής είναι μεγαλύτερο.

Χαρακτηριστικά:

- Αποτελεί τον πρώτο τύπο Φ/Β πλαισίων που υπήρξαν σε μαζική παραγωγή.
- Έχουν καλύτερη σχέση απόδοσης/επιφάνειας από τους άλλους τύπους πλαισίων.
- Η απόδοση τους όσον αφορά την ενέργεια τους είναι από 11%-19%
- Το κόστος παραγωγής τους σε σχέση με τα πολυκρυσταλλικά πλαίσια είναι μεγαλύτερο.
- Το πάχος του υλικού είναι μεγαλύτερο
- Έχουν σκούρο μπλε ή μαύρο χρώμα
-

2) ΠολυκρυσταλλικόςSi(p-Si):

Τα πολυκρυσταλλικά πλαίσια κατασκευάζονται από κυψέλες οι οποίες προέρχονται από ράβδους λιωμένου και επανακρυσταλλοποιημένου πυριτίου και έχουν κοπή σε λεπτά τμήματα από τις ράβδους αυτές.

Χαρακτηριστικά :

- Σε σχέση με τα μονοκρυσταλλικά ο τρόπος παραγωγής τους είναι οικονομικότερος (φθηνότερος) , και λόγω αυτού η τιμή τους είναι χαμηλότερη τις περισσότερες φορές.
- Η απόδοση τους όσον αφορά την ενέργεια είναι από 11%-16% και σε σύγκριση με τα μονοκρυσταλλικά είναι μικρότερη.
- Είναι γνώριμα παγκοσμίως καθώς είναι πολύ διαδεδομένα.
- Έχουν καλύτερη σχέση κόστους – απόδοσης .
- Έχουν γαλάζιο χρώμα.
-

3) Λεπού υμένα:

Τα πλαίσια λεπτού υμενίου είναι μία κατηγορία η οποία περιλαμβάνει τα πλαίσια “τρίτης γενιάς” τα οποία προέρχονται από πολλούς και διάφορους τρόπους παραγωγής και επεξεργασίας και είναι μία κατηγορία πιο ευρύτερη .

Τα πλαίσια λεπτού υμένα δίνουν την ελπίδα μείωσης κόστους των Φ/Β στοιχείων με την τεχνολογία τους η οποία στηρίζεται στο a-Si και συμπεριλαμβάνει τα στοιχεία CdTe , Cu(In, Ga)Se₂ με αποτέλεσμα να δίνει απόδοση έως και 18,8 % . Το στοιχείο CdTe έχει την δυνατότητα να είναι το βέλτιστο υλικό για Φ/Β στοιχεία λεπτού υμένα λόγω των φυσικο-χημικών ιδιοτήτων του. Αποδίδει συντελεστή απορρόφησης για ορατό φάσμα μεγαλύτερο του 10^{-5}cm^{-1} , εύρος ενεργειακού χάσματος ίσο με 1,45 eV και αυτό έχει ως αποτέλεσμα το πάχος του λεπτού στρώματος του απορροφητή CdTe να είναι λίγα μm και να έχει απορρόφηση μεγαλύτερη του 90 % της ενέργειας των φωτονίων που προσπίπτουν με $h\nu$ μεγαλύτερο είτε ίσο των 1,45 eV .

Το πλεονέκτημα είναι πως έχουν σχετικά χαμηλή θερμοκρασία $T_a < 300$ οC διεργασίας του υλικού και ευκολία ομογενοποιημένης επικάλυψης στρώσεων του λεπτού υμενίου σε επιφάνειες της τάξεως m^2

4) Άμορφο:

Τα άμορφα Φ/Β πλαίσια δεν αποτελούνται από Φ/Β στοιχεία διασυνδεδεμένα μεταξύ τους αλλά από μία ενιαία επιφάνεια.

Χαρακτηριστικά :

-Σε σχέση με τα πολυκρυσταλλικά και τα μονοκρυσταλλικά έχουν χαμηλότερη απόδοση και είναι οικονομικότερα

-Για να δώσουν την ίδια ισχύ με τα πολυκρυσταλλικά και τα μονοκρυσταλλικά χρειάζονται μεγαλύτερη επιφάνεια

Ο τύπος των Φ/Β στοιχείων είναι αυτός που καθορίζει την πολυπλοκότητα της κατασκευής τους και το κόστος παραγωγής τους το οποίο καταλήγει να είναι μεγάλο.

Υλικό κατασκευής	Θεωρητική απόδοση(%) βέλτιστη	Πραγματική απόδοση(%)
Μονοκρυσταλλικό πυρίτιο	24%	15%
Πολυκρυσταλλικό πυρίτιο	18%	12%
Άμορφο Πυρίτιο	12%	5%

2.2.1 Πίνακας απόδοσης κάθε τύπου πυριτίου για τα πλαίσια δίνεται στον πίνακα.
Πηγή: Βιβλίο "Ήπιες μορφές ενέργειας III", Σωκράτης Καπλάνης

Υλικό κατασκευής	Πραγματική απόδοση(%)
Μονοκρυσταλλικό πυρίτιο	12%-15%
Πολυκρυσταλλικό πυρίτιο	11%-13%
Άμορφο Πυρίτιο	6%-9%

2.2.2 Πίνακας πραγματικής απόδοσης πιο αναλυτικά για το κάθε είδος πυριτίου.

Πηγή: Βιβλίο "Ήπιες μορφές ενέργειας III", Σωκράτης Καπλάνης

Τα πολυκρυσταλλικά πλαίσια έχουν την μεγαλύτερη απόδοση σε σχέση με τα άλλα πλαίσια και το μεγαλύτερο κόστος παραγωγής. Όμως η ύπαρξη των Φ/Β λεπτού υμένα μας δίνει πραγματική απόδοση 18,8% λόγω του στοιχείου CdTe με μικρότερο κόστος παραγωγής και έτσι τα Φ/Β λεπτού υμένα είναι τα επικρατέστερα έως τώρα.

Ως συμπέρασμα έχουμε πως τα πλαίσια μεταξύ τους διαφέρουν ως προς το σχήμα, το κόστος και την απόδοση όμως παρόλα αυτά οι τιμές κόστους και απόδοσης δεν διαφέρουν πολύ μεταξύ τους και η επιλογή των Φ/Β θα πρέπει να γίνεται με βάση τον τόπο εγκατάστασης, τον διαθέσιμο χώρο, τις απαιτήσεις, τον προσανατολισμό την κλίση και την προσωπική επιλογή ως προς το χρώμα της Φ/Β εγκατάστασης.

Πηγή: Βιβλίο "ΑΠΕ III" του κ.Σωκράτη Καπλάνη

2.4 Συνδεσμολογία φωτοβολταϊκών

Για να δημιουργηθεί ένα Φ/Β σύστημα θα πρέπει να γίνει κατάλληλη συνδεσμολογία στα μέρη τα οποία το αποτελούν, η συνδεσμολογία των μελών παρατίθεται ως εξής:

Τα Φ/Β στοιχεία για να δημιουργήσουν Φ/Β πλαίσιο θα πρέπει να συνδεθούν μεταξύ τους. Η μεταξύ τους συνδεσμολογία χωρίζεται σε τρεις κατηγορίες:

- 1) σε σειρά N_s συνδέοντας τα + του ενός με τα - του άλλου στοιχείου σε σειρά
- 2) Σε παράλληλη σύνδεση N_p
- 3) Σε μεικτή σύνδεση

Η συνηθέστερη σύνδεση που χρησιμοποιείται για τα Φ/Β στοιχεία είναι η σύνδεση σε σειρά έτσι ώστε να υπάρχει περισσότερη τάση ρεύματος στο πλαίσιο που θα δημιουργηθεί και ως αποτέλεσμα να έχουμε περισσότερη παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια.

Τα Φ/Β πλαίσια για να δημιουργήσουν Φ/Β συστοιχίες συνδέονται είτε σε σειρά είτε με παράλληλη σύνδεση ανάλογα με το αποτέλεσμα το οποίο πρέπει να επιτευχθεί δηλαδή την επίτευξη του κατάλληλου συνδυασμού τάσης ρεύματος , έντασης ρεύματος και συνολική ισχύος στο σύστημα. Για περισσότερη τάση ρεύματος θα πρέπει να υπάρχει σύνδεση σε σειρά , για περισσότερη ένταση ρεύματος παράλληλη σύνδεση και για περισσότερη συνολική ισχύ στο σύστημα είτε σύνδεση σε σειρά είτε παράλληλη σύνδεση καθώς και οι δύο τρόποι σύνδεσης προσφέρουν την ίδια συνολική ισχύ.

Οι δύο συνδέσεις πραγματοποιούνται με τις εξής διαδικασίες:

Συνδεσμολογία σε σειρά: Ένωση του θετικού καλωδίου εξόδου του ενός πλαισίου με το αρνητικό του άλλου , δηλαδή του θετικού (+) με το αρνητικό (-) με εναλλάξ σύνδεση.

Παράλληλη συνδεσμολογία: Σύνδεση του θετικού καλωδίου εξόδου του ενός πλαισίου με το θετικό καλώδιο του επόμενου και το αρνητικό καλώδιο εξόδου με το αρνητικό του επόμενου.

Στην σύνδεση σε σειρά πραγματοποιείται το άθροισμα μόνο της τάσεως ενώ στην παράλληλη σύνδεση πραγματοποιείται μόνο το άθροισμα του ρεύματος . Άρα ανάλογα με το αποτέλεσμα διαλέγουμε την κατάλληλη συνδεσμολογία .

Εάν το Φ/Β σύστημα είναι αυτόνομο με συσσωρευτές τότε προφανώς θα πρέπει να γίνει παράλληλη σύνδεση καθώς η απαιτούμενη τάση είναι εξαρτώμενη από την τάση των συσσωρευτών και θα πρέπει να είναι σταθερή και να υπάρχει αύξηση της έντασης ρεύματος. Στην περίπτωση όμως που το Φ/Β σύστημα είναι συνδεδεμένο στο δίκτυο της ΔΕΗ τότε θα πρέπει να γίνει σύνδεση σε σειρά για να υπάρξει αύξηση της τάσης ρεύματος.

Πηγές:

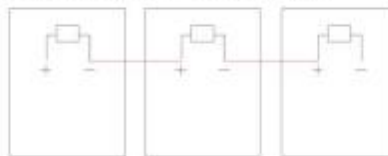
http://users.sch.gr//angnikolou/tech_v/fotovoltaika.htm

Βιβλίο " Ήπιες μορφές ενέργειας ΙΙΙ " , Σωκράτης Καπλάνης

Σχεδιασμός Φ/Β Εγκατάστασης στον Κτιριακό-Οικιακό Τομέα

Σύνδεση φωτοβολταϊκών πλαισίων σε σειρά.

Σταθερή τιμή ρεύματος
Αύξηση τάσης



Παράλληλη σύνδεση φωτοβολταϊκών πλαισίων.

Αύξηση ρεύματος
Σταθερή τιμή τάσης



Σχήμα 2.4.1 Σχήμα των δύο ειδών συνδέσεων των Φ/Β πλαισίων.

Παρατείθονται τα δύο είδη συνδέσεων και οι διαφορές τους.

Μία Φ/Β συστοιχία δηλαδή μια ομάδα από Φ/Β πλαίσια αποτελείται από ένα ή περισσότερα Φ/Β πλαίσια τα οποία είναι ηλεκτρικά διασυνδεδεμένα δηλαδή έχουν ηλεκτρική αλληλεπίδραση μεταξύ τους και είναι τοποθετημένα σε κοινή κατασκευή στήριξης. Τα Φ/Β πλαίσια αποτελούνται από ένα ή περισσότερα Φ/Β πλαίσια τα οποία αποτελούν μία ενιαία κατασκευή και είναι έτοιμα για την Φ/Β εγκατάσταση. Τα Φ/Β πλαίσια αποτελούνται από ηλεκτρικά συνδεδεμένα στοιχεία/κυψέλες, το Φ/Β πλαίσιο αποτελεί την βασική δομική μονάδα μιας Φ/Β γεννήτρια (PV module). Η Φ/Β γεννήτρια είναι το τμήμα μιας Φ/Β εγκατάστασης το οποίο περιέχει Φ/Β στοιχεία και παράγει συνεχές ρεύμα στην εγκατάσταση.

Η σύνδεση των πλαισίων γίνεται με τρόπο τέτοιο έτσι ώστε να υπάρχει μία σωστή διαστασιολόγηση στο Φ/Β σύστημα. Για να επιτευχθεί αυτό θα πρέπει να γίνει χρήση κάποιων βημάτων έτσι ώστε να γίνει γνωστό πόσα Φ/Β πλαίσια θα συνδεθούν σε σειρά και πόσα παράλληλα ανάλογα με το πρόβλημα.

Ο αριθμός των Φ/Β πλαισίων που πρέπει να συνδεθούν σε σειρά θα είναι:

$$N_s = \frac{V_{DC}}{V_m} \quad (\text{σχέση 2.4.1})$$

όπου V_m η τάση λειτουργίας του κάθε φωτοβολταϊκού πλαισίου και

V_{DC} η τάση υπό την οποία η Φ/Β γεννήτρια πρέπει να αποδώσει ηλεκτρική ισχύ.

Ο αριθμός των Φ/Β πλαισίων που πρέπει να συνδεθούν παράλληλα προσδιορίζεται από το ρεύμα (i_L) το οποίο απαιτεί το φορτίο R_L . Για να γίνει ακριβής προσδιορισμός του αριθμού των Φ/Β πλαισίων θα πρέπει να ακολουθήσουμε μία σειρά από βήματα:

Βήμα 1^ο : Προσδιορισμός της μέσης έντασης

Η ενέργεια που χρειάζεται το φορτίο με το οποίο θα συνδεθεί η PV-γεννήτρια είναι $E_L \left(\frac{Wh}{day} \right)$ υπό τάση V_{DC} .

Για λειτουργία 24ωρη και απ'ευθείας απόδοση ενέργειας στο φορτίο R_L η μέση ένταση i_L στο φορτίο R_L είναι ίση με:

$$i_L = \frac{E_L \left(\frac{Wh}{day} \right)}{V_{DC} * 24 \left(\frac{h}{day} \right)} \quad (\text{σχέση 2.4.2})$$

Βήμα 2^ο : Προσδιορισμός της ονομαστικής τιμής έντασης

Η ονομαστική τιμή i_{PV} αποδίδεται από την Φ/Β γεννήτρια όταν υπάρχει έκθεση της σε ένταση ηλιακής ακτινοβολίας 1 kW/m^2 και η λειτουργία της είναι στο MPP.

Η ενέργεια που χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό της τιμής έντασης δίνεται από μια απλή σχέση ενεργειακού ισοζυγίου για τα Φ/Β πλαίσια και είναι η εξής:

$$E_L \left(\frac{Wh}{day} \right) = f * V_{DC} * i_{PV} \quad (\text{σχέση 2.4.3})$$

Όπου:

Ο συντελεστής f συμπεριλαμβάνεται στην σχέση λόγω του ότι το i_{PV} είναι η ένταση η οποία δίνει το Φ/Β σύστημα όταν λειτουργεί στο MPP και μόνο όταν η προσπίπτουσα ακτινοβολία σε αυτό είναι 1 kW/m^2 .

Η ονομαστική τιμή της έντασης ρεύματος i_{PV} δεν έχει την δυνατότητα να αποδίδεται όλο το 24ωρο παρά μόνο για το χρονικό διάστημα για το οποίο η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας I_T η οποία προσπίπτει στο PV-πλαίσιο είναι ίση με 10^3 W/m^2 . Η μη συνεχής απόδοση της ονομαστικής τιμής της έντασης ρεύματος οφείλεται στο ότι η προσπίπτουσα ακτινοβολία δεν είναι συνέχεια ίση με 10^3 W/m^2 .

Για αυτό τον λόγο ο συντελεστής f ορίζεται ως PSH(Peak Solar Hours) δηλαδή ως ισοδύναμος αριθμός ωρών ηλιοφάνειας. Ο όρος PSH είναι ένας αριθμός που εκφράζεται σε ώρες και είναι αντίστοιχος στο χρονικό διάστημα πρόσπτωσης ακτινοβολίας στο PV-πλαίσιο, $I_T=1000 \left(\frac{W}{m^2} \right)$ και δίνει το ίδιο αποτέλεσμα. Δηλαδή δίνει το ίδιο ποσό ηλεκτρικής ενέργειας στο φορτίο R_L με αυτό που δίνει το Φ/Β πλαίσιο για το πραγματικό χρονικό διάστημα κατανομής της ακτινοβολίας που προσπίπτει σε αυτό.

Μετά τον ορισμό του συντελεστή f ως PSH η απλή σχέση του ενεργειακού ισοζυγίου για τα Φ/Β πλαίσια γίνεται:

$$E_L \left(\frac{\text{Wh}}{\text{day}} \right) = \text{PSH} * V_{\text{DC}} * i_{\text{PV}} \quad (\text{σχέση 2.4.4})$$

Βήμα 3^ο :

Πρέπει να γίνει γνωστό πως για τον PSH ισχύουν τα εξής:

- Ο αριθμός PSH είναι αριθμός ο οποίος εκφράζεται σε ώρες (hours)
- Όταν η ηλιακή ακτινοβολία η οποία προσπίπτει στο Φ/Β πλαίσιο κατά την διάρκεια της ημέρας εκφράζεται σε $\left(\frac{\text{kWh}}{\text{m}^2} \right)$ τότε η τιμή της είναι αριθμητικά ίση με το PSH

Για τον υπολογισμό της ονομαστικής τιμής της έντασης i_{pv} θα χρησιμοποιήσουμε τις σχέσεις :

$$\text{i) } i_L = \frac{E_L \left(\frac{\text{Wh}}{\text{day}} \right)}{V_{\text{DC}} * 24 \left(\frac{\text{h}}{\text{day}} \right)} \quad (\text{σχέση 2.4.5α})$$

$$\text{ii) } E_L \left(\frac{\text{Wh}}{\text{day}} \right) = \text{PSH} * V_{\text{DC}} * i_{\text{PV}} \quad (\text{σχέση 2.4.5β})$$

Με βάση τις οποίες προκύπτει πως:

$$i_{\text{pv}} = \frac{24 \frac{\text{h}}{\text{day}} * i_L}{\text{PSH}} \quad (\text{σχέση 2.4.6})$$

Βήμα 4^ο :

Ο αριθμός των Φ/Β πλαισίων σε παράλληλη σύνδεση θα είναι:

$$N_p = \frac{i_{\text{pv}} * (\text{SF})}{i_m} \quad (\text{σχέση 2.4.7})$$

Όπου,

i_m : η ένταση του ρεύματος που παράγεται από το PV-πλαίσιο κατά την λειτουργία του υπό τις συνθήκες που παρατέθηκαν παραπάνω.

SF: ένας συντελεστής διάστασης /συντελεστής μεγέθους ο οποίος εισάγεται για να στρογγυλοποιήσει τον αριθμό των σειρών των Φ/Β πλαισίων προς το πλησιέστερο προς τα πάνω ακέραιο αριθμό.

Σε περίπτωση που ο αριθμός N_p δεν είναι ακέραιος αλλά δεκαδικός τότε θα πρέπει να γίνει στρογγυλοποίηση του αριθμού στον πλησιέστερο ακέραιο αριθμό προς τα άνω. Αν παραδείγματος χάρη ο αριθμός που θα προκύψει με βάση τις εξισώσεις είναι ίσος με 5,68 τότε θα μετατραπεί σε 6.

Πηγή: Βιβλίο " Ήπιες μορφές ενέργειας III " , Σωκράτης Καπλάνης

2.5 Μέρη που αποτελείται το Φ/Β πλαίσιο

i) Το τζάμι που χρησιμοποιείται είναι τέτοιο έτσι ώστε να επιτρέπει την διάχυση της ηλιακής ακτινοβολίας με ελάχιστη απορρόφηση επίσης το επιτρέπει την μετατροπή του ηλιακού φωτός σε ηλεκτρική ενέργεια. Για να γίνει αυτού του είδους η μετατροπή θα πρέπει να γίνει ενσωμάτωση διαφανών ημιαγωγών οι οποίοι βασίζονται σε Φ/Β κύτταρα (ηλιακά κύτταρα). Το εμπορικό Φ/Β τζάμι είναι γυαλί οξειδίου με παρόμοια χημική σύνθεση , το κύριο συστατικό του είναι οξείδιο του πυριτίου , SiO_2 το οποίο βρίσκεται στον ψαμμίτη.

Ανοπτημένο γυαλί :Τα συστατικά του θερμαίνονται σε ένα κλίβανο σε θερμοκρασίες από 1560 οC και ψύχεται αργά μετά τη διαδικασία σχηματισμού , με αποτέλεσμα την ανόπτηση γυαλιού. Σκλήρυνση γυαλιού:Το γυαλί είναι θερμική επεξεργασία με θέρμανση του γυαλιού που έχει υποστεί ανόπτηση σε 620οC θέρμανση και στην συνέχεια ταχεία ψύξη με τη ροή του αέρα. Ως αποτέλεσμα , το σκληρυνόμενο γυαλί είναι τέσσερις φορές ισχυρότερο από αυτό που έχει υποστεί μόνο ανόπτηση . Επιπλέον το γυαλί σπάει σε μικρά θραύσματα μειώνοντας έτσι την πιθανότητα σοβαρού τραυματισμού. Επικάλυψη: Τα λεπτά στρώματα επικάλυψης μπορεί να τοποθετηθούν σε μία πλευρά του γυαλιού για αντι-ανάκλαση , βελτιωμένη αγωγιμότητα ή αυτοκαθαρισμό.

Πηγή:http://www.greenrhinoenergy.com/solar/technologies/solar_glass.php

Πάχος (Thickness):3,2 mm & 4 mm Διαπερατότητα (transmittance): 3,2 mm \geq 97% (ISO9050/2003) Για την διαπερατότητα του γυαλιού σημαντικό ρόλο παίζει η επικάλυψη ή όχι του γυαλιού με άλλο υλικό όπως θα δούμε στο παρακάτω διάγραμμα: Σε περίπτωση αύξηση της γωνίας πρόσπτωσης η διαπερατότητα μου μειώνεται και για την περίπτωση που το γυαλί μου έχει νανοεπικάλυψη και για την περίπτωση που δεν έχει.

Πηγή:http://file.scirp.org/Html/9-7700795_22914.htm#txtF2

Μετάδοση (transmission):

-ηλιακήμετάδοση (solar transmission):

Με πηγή υπό τις συνθήκες :

Κεκλιμένη επιφάνεια στους 37 ° , 48 ° ζενίθ νότος , ανακλαστικότητα 0,3 ,

θολερότητα 0,29 , 20 ° C θερμοκρασία περιβάλλοντος

Η αναλογία της συνολικής ενέργειας από την συγκεκριμένη πηγή σε όλο το ηλιακό φάσμα θα είναι από 300-2500 nm μήκος κύματος.

Πηγές:

http://www.greenrhinoenergy.com/solar/technologies/solar_glass.php

http://file.scirp.org/Html/9-7700795_22914.htm#txtF2

-Μετάδοση φωτός (lighttransmission):

Η αναλογία της ενέργειας του ορατού φάσματος από 380-780 nm.

-Μετάδοσηφωτοβολταικού(PV):

Με πηγή υπό τις συνθήκες :

Κεκλιμένη επιφάνεια στους 37 ° , 48 ° ζενίθ νότος , ανακλαστικότητα 0,3 , θολερότητα 0,29 , 20 ° C θερμοκρασία περιβάλλοντος

Πηγές:

<http://www.ppg.com/en/solutionbyindustry/energy/solar/Documents/FinalSolarphirePVproductdatasheet.pdf>

http://www.jointsolarpanel.nl/fileadmin/jointsolarpanel/user/documents/seminar2010/Presentation_Volker_Geyer.pdf

Ανακλαστικότητα (reflectance):

Είδος γυαλιού	Εταιρεία	Ανακλαστικότητα
Παχύ τζάμι	Flabeg	94%
Λεπτό τζάμι	Naugatech	93-96 %
Μπροστά από αλουμίνιο	Alanod,Almeco(Vegaflex)	>87%
Χωρισμένο σε λεπτά φύλλα	ReflecTech	94%

2.5.1 Πίνακας τιμών ανακλαστικότητας του γυαλιού ανάλογα με το είδος του τζαμιού.

Το γυμνό πυρίτιο έχει την μεγαλύτερη ανακλαστικότητα σε σχέση με το πυρίτιο το οποίο βρίσκεται κάτω από το γυαλί και το πυρίτιο που βρίσκεται κάτω από γυαλί το οποίο έχει την βέλτιστη ανακλαστική επικάλυψη. Αυτό συμβαίνει γιατί το γυαλί ανακλά την ακτινοβολία από μόνο του σε μεγάλο βαθμό και έτσι το πυρίτιο δεν έχει αρκετή ακτινοβολία να ανακλάσει. Η ανακλαστικότητα μειώνεται όταν έχουμε γυαλί ενισχυμένο με ARC . Καθώς θέλουμε μικρό ποσοστό ανακλαστικότητας στις εγκαταστάσεις μας θα πρέπει το γυαλί μας να το έχουμε ενισχύσει με ARC , σε κάθε

άλλη περίπτωση όπως αυτή του γυμνού πυριτίου ή του πυριτίου κάτω από γυαλί , το ποσοστό της ανακλαστικότητας μας είναι μεγαλύτερο. Η μόνο διαδικασία η οποία μας επιφέρει την χαμηλότερη ανακλαστικότητα είναι η τοποθέτηση ARC στο σύστημα μας. Όσο αυξάνουμε την κλίση της γωνίας πρόσπτωσης τόσο μειώνεται η ανακλαστικότητα του τζαμιού του Φ/Β.

Απορροφητικότητα(absorption):

Ο συντελεστής απορρόφησης έχει την δυνατότητα να προσδιορίσει πόσο μακριά σε ένα υλικό φως ενός συγκεκριμένου μήκους κύματος μπορεί να διεισδύσει προτού να απορροφηθεί. Ο συντελεστής απορρόφησης εξαρτάται από το υλικό , αλλά και από το μήκος κύματος του φωτός που απορροφάται .

Μηχανική αντοχή(Mechanical Strength) :

Είδος γυαλιού	Μηχανική αντοχή
Ανοπτημένογυαλί(annealed)	45 Mpa
Σκληρυμμένογυαλί(toughened)	70 Mpa
Tempered	120 Mpa

2.5.2 Πίνακας τιμών μηχανικής αντοχής ανάλογα με το είδος του γυαλιού.

Εκπεμπτικότητα (emissivity), η οποία είναι ανάλογη του χρώματος και του υλικού:0,85 (τυπική τιμή για το γυαλί). Η εκπεμπτικότητα ορίζεται ως το ποσοστό της ακτινοβολίας που στέλνεται από το αντικείμενο σε σύγκριση με αυτή που θα έστελνε αν ήταν ένα τέλειο μαύρο σώμα (μέλαν σώμα).

Διαθέσιμομέγεθος (size available):2500 mm x 1680 μέγιστο (maximal)

Μοτίβα (patterns) :υφαντά (woven)

Περιεκτικότητασεσίδηρο (iron content):<=120ppmFe2O3

Πυκνότητα (density):2,5 g/cc

ISO9050:2003 χρησιμοποιεί σήμερα το παγκόσμιο φάσμα της CIE ISO 9845 (από το ASTM E892).

Καθορίζει τις μεθόδους προσδιορισμού του φωτός και της ενέργειας μετάδοσης της ηλιακής ακτινοβολίας για του υαλοπίνακες σε κτίρια. , τα χαρακτηριστικά δεδομένα που αντλούμαι μπορεί να χρησιμεύσουν ως βάση για τους υπολογισμούς του φωτός, θέρμανσης και εξαερισμό χώρων. Ισχύει και για συμβατικές μονάδες , χρησιμοποιώντας ανοίγματα τζαμιών τα οποία απορροφούν ή ανακλούν υαλοπίνακες ηλιακού ελέγχου. Έχει δυνατότητα εφαρμογής σε όλα τα διαφανή υλικά και τα υλικά τα οποία έχουν μεγάλη διαπερατότητα στην περιοχή μηκών κύματος της ακτινοβολίας σε θερμοκρασία περιβάλλοντος από 5 έως 50 μικρά , δεν περιλαμβάνει τις διαδικασίες για τη μέτρηση της εξάρτησης της γωνίας με επικάλυψη από γυαλί

επίσης δεν περιλαμβάνει τη δυνατότητα για τη μέτρηση των ιδιοτήτων της διάχυτης ακτινοβολίας στα τζάμια ή να υπολογίζει τις ιδιότητες των συνδυασμών.

ii) EVA (ethylenevinylacetate)

Το EVA γνωστό και ως αιθυλενίου-οξικού βινυλίου είναι το συμπολυμερές αιθυλενίου και οξικού βινυλίου. Το βάρος του οξικού βινυλίου έχει τιμές επι τοις εκατό κατά βάρος από 10 % έως 40 % και το υπόλοιπο ποσοστό είναι αιθυλένιο. Είναι ένα πολυμερές το οποίο προσεγγίζει τα ελαστομερή υλικά σε απαλότητα και ευκαμψία αλλά επίσης μπορούν να έχουν την ίδια επεξεργασία με τα άλλα θερμοπλαστικά. Έχει καλή διαύγεια και στιλπνότητα , σκληρότητα σε χαμηλή θερμοκρασία , αντίσταση στην καταπόνηση - ρωγμή , θερμοτηκόμενο συγκολλητικό , αδιάβροχες ιδιότητες και αντοχή στην υπεριώδη ακτινοβολία.

Η θερμοκρασία που θερμαίνουμε το EVA έως ότου φτάσουμε στο σημείο τήξης του εξαρτάται από τον βαθμό κρυσταλλικότητας του καθώς όταν έχουμε διαφορετικούς βαθμούς κρυσταλλικότητας έχουμε ως αποτέλεσμα διαφορετική θερμοκρασία τήξεως η οποία κυμαίνεται ως συνάρτηση της περιεκτικότητας της σε VA. Αυτό συμβαίνει γιατί η κρυσταλλικότητα του αιθυλενίου οξινίου βινυλίου συμπολυμερή εξαρτάται από το περιεχόμενο του πολυμερούς οξικού βινυλίου (VA) που έχει το EVA. Εάν έχουμε αυξανόμενη περιεκτικότητα σε VA λόγω της επακόλουθης μείωσης του πάχους του κρυσταλλικού ελάσματος , το σημείο τήξεως μειώνεται.

Το EVA έχει την δυνατότητα να αναμιχθεί και να κατασκευαστεί σε 20oC-40oC πάνω από το σημείο κορυφής τήξης του, η θερμοκρασία εξαρτάται από την διαδικασία που θα χρησιμοποιήσουμε και τα κριτήρια που θα έχουμε. Αν και το EVA είναι σχετικά σταθερό σε θερμική αποικοδόμηση , αρχίζει και αποικοδομείται σε μετρήσιμο ρυθμό και σε σχέση με το οξικό οξύ έχουμε 200oC έως 220oC .

Πηγή:

<http://www.vitaldose.com/blog/melting-behavior-of-ethylene-vinyl-acetate-eva-copolymers/>

Στα Φ/Β το EVA είναι το πολυμερές το οποίο τοποθετείτε ανάμεσα από το τζάμι και το κελί και δημιουργεί στεγάνωση ,προσφέρει μηχανική υποστήριξη , ηλεκτρική μόνωση και προστασία στην περιβαλλοντική έκθεση.

Η τοποθέτηση στρώσης του EVA και στην πίσω μεριά δημιουργεί ενίσχυση της θερμικής αγωγιμότητας του Φ/Β συστήματος και σαν αποτέλεσμα αυτού έχουμε βελτίωση της αποτελεσματικότητας του και της διάχυσης θερμότητας των ηλιακών κυψελών.

Τα μεγέθη και οι ιδιότητες κάθε στρώματος σε ενθυλακώμενα Si ηλιακά κύτταρα.

Οι τιμές της θερμικής αγωγιμότητας που παρατείθονται στον παρακάτω πίνακα είναι μετρούμενες τιμές.

Στρώμα	Πάχος(mm)	Θερμική Αγωγιμότητα(W/m*K)
Γυαλί	3	0,98
EVA	0,5	0,23
ARC	$(0,06-0,1)*10^{-3}$	1,38
Si	0,25-0,4	148
EVA	0,5	0,23
Tedlar	0,1	0,36

2.5.3 Πίνακας τιμών θερμικής αγωγιμότητας ανάλογα με το πάχος για κάθε στοιχείο του φωτοβολταϊκού

iii) Τα Φ/Β ηλιακά κύτταρα (PV cells) είναι λεπτοί δίσκοι πυριτίου που μετατρέπουν το ηλιακό φως σε ηλεκτρική ενέργεια.

Το πυρίτιο αυτό μπορεί να είναι μονοκρυσταλλικό, πολυκρυσταλλικό ή άμορφο.

Ένα ηλιακό κύτταρο πυριτίου περιέχει δύο στρώματα. Το άνω στρώμα αποτελείται από ένα λεπτό φύλλο φωσφόρου ενισχυμένου πυριτίου και είναι αρνητικώς φορτισμένο (n-τύπου). Κάτω από το φύλλο αυτό είναι ένα παχύτερο στρώμα βορίου ενισχυμένου πυριτίου το οποίο στρώμα είναι θετικά φορτισμένο (p-τύπου). Το χαρακτηριστικό των δύο αυτών στρωμάτων είναι ότι το ένα είναι θετικό και το άλλο αρνητικό (PN) και όταν τα δύο αυτά υλικά έρθουν σε επαφή δημιουργείται διαστάρωση πράγμα που τα κάνει μοναδικά. Η διαστάρωση αυτή p_n είναι ουσιαστικά ένα ηλεκτρικό πεδίο το οποίο είναι ικανό να δημιουργήσει ένα ηλεκτρικό δυναμικό όταν το ηλιακό φως λάμπει πάνω στο Φ/Β κύτταρο.

Όταν το ηλιακό φως πέφτει πάνω στο Φ/Β κύτταρο, ορισμένα ηλεκτρόνια p-τύπου στρώσης πυριτίου τείνουν να κινηθούν κατά μήκος της σύνδεσης p_n με τα n-τύπου στρώσης πυριτίου, προκαλώντας έτσι στο στρώμα p-τύπου να έχει υψηλότερο δυναμικό τάσης σε σχέση με το στρώμα n-τύπου. Αυτό δημιουργεί ηλεκτρικό ρεύμα όταν το Φ/Β κύτταρο συνδέεται σε ένα φορτίο. Το δυναμικό της τάσης που δημιουργείται από μία τυπική Φ/Β κυψέλη πυριτίου είναι περίπου 0,5 με 0,6 VoltDC σε ανοιχτό κύκλωμα και συνθήκες χωρίς φορτίο. Η δύναμη ενός Φ/Β κυττάρου εξαρτάται από την ένταση της ακτινοβολίας, το εμβαδό επιφάνειας του Φ/Β κυττάρου και την συνολική απόδοση του.

Πηγή: <http://www.lrc.rpi.edu/programs/NLPIP/lightingAnswers/photovoltaic/04-photovoltaic-panels-work.asp>

4) Οι μεταλλικές επαφές στην κορυφή είναι απαραίτητες για την συλλογή του ρεύματος που παράγεται από ένα ηλιακό κύτταρο, αυτές οι επαφές είναι τα busbars και fingers. Τα fingers είναι γραμμικές περιοχές της επιμετάλλωσης που συλλέγουν ρεύμα για να το παραδώσουν στα busbars και αυτών που συνδέονται άμεσα με τους εξωτερικούς αγωγούς. Τα fingers οποθετούνται για να παρέχουν υψηλότερη αγωγιμότητα στην κορυφή ενός κυττάρου. Καθώς έχουν ομοιόμορφο πλάτος παρέχουν θεωρητικά χαμηλότερες απώλειες. Οι ωμικές απώλειες ενός finger είναι πολύ μικρές τόσο που μπορούν να θεωρηθούν κατώτερες.

Ο αριθμός των busbars για το φωτοβολταϊκό κύτταρο είναι 2 με 3 busbars και είναι κατασκευασμένα τις περισσότερες φορές από ασήμι πάστα. Η επιφάνεια του μια κορδέλα κορδόνι (ribbon) η οποία είναι συγκολλημένη σε ένα busbar υποδεικνύει μία πολύ κατοπτρική ανακλαστική επιφάνεια.

ν) Το ARC = anti reflecting coating τοποθετείται σε ένα Φ/Β έτσι ώστε να μειώσουμε την υψηλή αντανάκλαση του πυριτίου η οποία είναι μεγαλύτερη του 30 %. Το ARC αποτελείται από ένα λεπτό στρώμα από διηλεκτρικό υλικό με ειδικά επιλεγμένο πάχος έτσι ώστε τα φαινόμενα παρεμβολής στην επικάλυψη να προκαλούν κύμα που ανακλάται από την κορυφή της επιφανειακής επίστρωσης αντανάκλασης και να είναι εκτός φάσεως κύμα που ανακλάται από τις επιφάνειες ημιαγωγών. Για την Παρασκευή του ARC έχουμε την ύφανση η οποία είναι ηλεκτρικής και ηλεκτροχημικής μορφής και είναι απαραίτητη για την σωστή λειτουργία του ARC. Η ηλεκτρική ύφανση λόγω του ότι οι επιφάνειες του ARC έχουν πολύ χαμηλή θερμική εκπομπή δεν είναι αρκετά αποτελεσματική. Για να βελτιώσουμε την θερμική ισχύ εκπομπής θα πρέπει να χρησιμοποιήσουμε υψηλή ισχύ εκπομπής επιστρώσεων οξειδίου μετάλλου. Εάν το φάσμα το οποίο έχουμε έχει μεγάλο (ευρύ) φάσμα θερμοκρασιών λειτουργίας τότε λόγω των διαφορών των τιμών των συντελεστών θερμικής διαστολής θα έχουμε επικαλύψεις θρυμματισμών φαινόμενο το οποίο μπορεί να προκαλέσει σοβαρές επιπτώσεις στην λειτουργία του Φ/Β συστήματος καθώς εάν έχουμε επικαλύψεις θρυμματισμών δηλαδή κατεστραμμένο εν μέρη στρώμα το Φ/Β σύστημα δεν μπορεί να έχει καλή απορρόφηση και άρα όχι καλή απόδοση. Η δημιουργία ενός ηλεκτρικού τόξου μεταξύ της μεταλλικής επιφάνειας και του αγωγίμου ηλεκτροδίου μπορεί να είναι χρήσιμο για την δημιουργία μίας αρκετά τραχιάς επιφάνειας στην οποία επιφάνεια ένα συμπύκνωμα του μεταλλικού υποστρώματος που είναι εξατμισμένο και του υλικού του ηλεκτροδίου παράγουν μαζί υψηλή επιφανειακή ισχύ εκπομπής η οποία και είναι αναπόσπαστο κομμάτι του μεταλλικού υποστρώματος και είναι αδύνατον να θρυμματιστεί. Η ηλεκτροχημική επιφανειακή υφή του Ti – 6% Al – 4% V γίνεται μέσω των λουτρών χλωριούχου νατρίου με υπερηχητική ανάδευση και με αυτή την διαδικασία μπορούμε να παράγουμε εγγυημένα τις επιθυμητές γεωμετρικές δομές σε ακανόνιστα σχήματα επιφανειών σε αρκετά χαμηλό κόστος. Τα κυλινδρικά δείγματα του Ti-6% Al-4% V εμβαπτίζονται σε ένα μίγμα νερού διαλύματος το οποίο είναι κορεσμένο με χλωριούχο νάτριο. Ο λόγος επιλογής του χλωριούχου νατρίου είναι γιατί έχει την δυνατότητα να κάνει το νερό επαρκώς αγωγίμο για να

εκτελέσει την ηλεκτροχημική υφή του λόγω της βιοσυμβατότητας του. Μετά την ηλεκτροχημική υφή για διάστημα διάρκειας μεταξύ 1 και 16 λεπτά τα δείγματα τα δείγματα έχουν πλυθεί , έχουν ξηρανθεί και έχουν φωτογραφηθεί με μικροσκόπια. Το μέγεθος των δειγμάτων αυτών κυμαίνεται από 1 έως 2 cm σε διάμετρο μήκος x 1 έως 3 cm. Τα δείγματα βυθίζονται σε 800 ml κορεσμένου διαλύματος άλατος ύδατος σε ανοξείδωτο χάλυβα λουτρό υπερήχων 15, 2 cm πλάτος επί 30,5 cm το οποίο συμπεριφέρεται ως το αρνητικό ηλεκτρόδιο στο ηλεκτροχημικό κύτταρο. Το κράμα τιτανίου για την υφή συνδέεται με την θετική έξοδο του ρεύματος με παροχή ισχύος DC ελεγχόμενη. Τα ρεύματα έχουν τιμές οι οποίες κυμαίνονται από 0,3 έως 3,0 και χρησιμοποιήθηκαν για τάσεις από 5 έως 29 V ανάδευση. Η ανάδευση με υπερήχους λειτουργεί κατά την διάρκεια της ηλεκτροχημικής υφής για να μπορέσει να απομακρύνει τα οξείδια που σχηματίζουν πάνω στην επιφάνεια του τιτανίου. Η αντανάκλαστικότητα κάτω από το γυαλί έχει μικρότερες τιμές σε σχέση με την αντανάκλαστικότητα κάτω από τον αέρα. Το πάχος της ARC επίστρωσης επιλέγεται με βάση το μήκος κύματος στο διηλεκτρικό υλικό το οποίο είναι το ένα τέταρτο του εισερχόμενου κύματος , το δείκτη διάλασης n_1 ο οποίος αντιστοιχεί στο ένα τέταρτο του μήκους κύματος αντανάκλαστικής επίστρωσης από διαφανές υλικό , λ_0 τον ελευθερο χώρο μήκους κύματος του φωτός που προσπίπτει επί της επικάλυψης και το πάχος d_1 που προκαλεί ελάχιστη ανάκλαση . Υπολογίζεται από: $d_1 = \lambda_0 / 4n_1$. Μία αντανάκλαστική νιτριδίου του πυριτίου τυπικά εναποτίθεται στην κατασκευή χρησιμοποιώντας μία χημική διαδικασία εναποθέτησης ατμών. (CVD). Τα πρόδρομα αέρια σιλανίου (SiH_4) και αμμωνίας (NH_3) τροφοδοτούνται σε ένα θάλαμο ο οποίος σπάζει είτε λόγω θερμοκρασίας (LPCVD) είτε λόγω ενίσχυσης πλάσματος (PECVD). Άλλος τρόπος είναι η χρήση μικροκυμάτων για να προκαλέσουμε αντίδραση σιλανίου/αμμωνίας για να παραγματοποιηθεί. Η πλήρης αντίδραση είναι η εξής: $3\text{SiH}_4 + 4\text{NH}_3 \rightarrow \text{Si}_3\text{N}_4 + 12\text{H}_2$, βέβαια η συνήθης αντίδραση για να παραχθεί είναι μη-στοιχειομετρικό φιλμ με την βοήθεια μεγάλων ποσοτήτων υδρογόνου (SixNy:H) Πολλά κύτταρα χρησιμοποιούν διοξείδιο του τιτανίου (TiO_2) το οποίο παρέχει μια καλή επένδυση αντανάκλαστική και απλούστερη στην εφαρμογή αλλά δεν παρέχει επιφάνεια ή χύμα παθητικοποίηση.

Πηγές: <http://www.pveducation.org/pvcdrom/design/finger-resistance>

<http://www.pveducation.org/pvcdrom/design/anti-reflection-coatings>

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΗΛΕΚΤΡΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΟΥ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

3.1 Ηλεκτρικά χαρακτηριστικά

i) Χαρακτηριστική καμπύλη i - V ενός Φ/Β στοιχείου θεωρείται η καμπύλη η οποία κάνει αναπαράσταση της έντασης του ρεύματος i του Φ/Β στοιχείου σε συνάρτηση με την τάση στα άκρα του φορτίου V με το οποίο είναι συνδεδεμένο.

ii) I_{ph} : φωτόρευμα

Το ρεύμα το οποίο παράγεται από την ηλιακή ακτινοβολία και είναι ανάλογο της ηλιακής ακτινοβολίας και του ρεύματος της διόδου που δημιουργείται λόγω της επαφής p-n. Το φωτόρευμα εξαρτάται από την δομή του Φ/Β στοιχείου.

$$I_{ph} = I + I_D = I + I_0 * (e^{q*V/k*T} - 1) \quad (\text{σχέση 3.1.1})$$

όπου I_D : το ρεύμα σκότους που διαρρέει την δίοδο

I : το ρεύμα που διαρρέει το κελί

I_0 : ασθενές αντίστροφο ρεύμα κόρου/ρεύμα διαρροής της διόδου

Q : το φορτίο του ηλεκτρονίου

V : τάση που επικρατεί στα άκρα της διόδου

K : η σταθερά Boltzmann

T : θερμοκρασία σε βαθμούς Κελσίου

Πηγή:

http://library.tee.gr/digital/kma/kma_m1515/kma_m1515_PVGuide_Approved.pdf

<http://portal.tee.gr/portal/page/portal/library>

iii) i : ρεύμα που διαρρέει το Φ/Β στοιχείο όταν συνδέεται με μία αντίσταση

$$I = I_{ph} - I_0 = I_{ph} - I_0 * (e^{q*V/k*T} - 1) \quad (\text{σχέση 3.1.2})$$

Όπου,

I_{ph} : φωτόρευμα

I_D : το ρεύμα σκότους που διαρρέει την δίοδο

q : φορτίο ηλεκτρονίου σε Coulomb = $1,602 * 10^{-19} \text{C}$ (σχέση 3.1.3)

k:σταθερά Boltzmann =1,38*10⁻²³J/K=86,3*10⁻³eV/K
(σχέση 3.1.4)

$$1\text{eV}=1,602*10^{-19}\text{C}*V=1,602*10^{-19}\text{J}(3.1.5)$$

T:η θερμοκρασία του Φ/B στοιχείου σε βαθμούς Κέλβιν:T=T_c + 273 (σχέση 3.1.6), απόλυτη θερμοκρασία του Φ/B στοιχείου.

I₀: ασθενές αντίστροφο ρεύμα κόρου το οποίο η δίοδος p-n δίνει την δυνατότητα να περνά υπό αντίστροφη πόλωση , χωρίς να υπάρχει φωτισμός (dark saturation current) ενώ το ρεύμα αυτό υπό ορθή πόλωση (forward bias) παίρνει υψηλές τιμές. Εξαρτάται από την δομή του Φ/B στοιχείου.

Οι τιμές που μπορεί να πάρει υπό αντίστροφη πόλωση και δίχως να φωτίζεται η δίοδος p-n σε πυκνότητα ρεύματος σε έναν ημιαγωγό Si η πυκνότητα ρεύματος είναι περίπου ίση με j=10⁻¹⁴ A/cm² (3.1.6) και είναι μεγαλύτερη κατά 10 με 12 τάξεις σε σχέση με τις τιμές του φωτορεύματος .

iv) I_D: το ρεύμα της διόδου ή το ρεύμα σκότους που διαρρέει την δίοδο

Η τιμή του υπολογίζεται από την εξίσωση:

$$I_D = I_0 * (e^{q*V/k*T} - 1) \quad (\text{σχέση 3.1.7})$$

Όπου,

q: φορτίο ηλεκτρονίου σε Coulomb=1,602*10⁻¹⁹C

k: σταθερά Boltzmann =1,38*10⁻²³J/K=86,3*10⁻³eV/K

$$1\text{eV}=1,602*10^{-19}\text{C}*V=1,602*10^{-19}\text{J}$$

T:η θερμοκρασία του Φ/B στοιχείου σε βαθμούς Κέλβιν:T=T_c + 273 , απόλυτη θερμοκρασία του Φ/B στοιχείου.

Επίσης το I_D βρίσκεται και από την παρακάτω εξίσωση η οποία είναι εξειδικευμένη μαθηματική εξίσωση:

$$I_D = I_0 * (e^{V_j/V_t} - 1) + I_r * (e^{V_j/2V} - 1) \quad (\text{σχέση 3.1.8})$$

όπου,

V_j : η φωτοτάση που αναπτύσσεται στα άκρα της επαφής n-p και ισχύει πάντα $V_j > V$ όπου V η τάση στα άκρα του φορτίου $R_L I_o$: αντίστροφο ρεύμα κόρου της διόδου

iv) I_{sc} : ρεύμα βραχυκύκλωσης

Το ρεύμα που διαρρέει το ηλιακό κελί όταν υπάρχει βραχυκύκλωμα (short circuit) στα δύο άκρα του δηλαδή όταν $R_L=0$ και $V=V_{sc}=0$ τότε ισχύει η σχέση $i=i_{sc} = i_{ph}$ και έτσι παίρνει την μέγιστη τιμή του ρεύματος. Το I_{sc} προσδιορίζεται επίσης από την χαρακτηριστική καμπύλη I-V.

Για χαμηλές τιμές της r_s στην περίπτωση βραχυκυκλώματος ισχύει : $i_{sc} = i_{ph}$ και ο τύπος υπολογισμού είναι ο εξής :

$$i_{sc} = i_{ph} - I_o * \left(e^{\frac{0+i*r_s}{V_t}} - 1 \right) - I_r * \left(e^{\frac{0+i*r_s}{2*V_t}} - 1 \right) \quad (\text{σχέση 3.1.9})$$

Όπου,

I_{ph} : φωτόρευμα

I_o : ασθενές αντίστροφο ρεύμα κόρου/ρεύμα διαρροής της διόδου

$$V_t = \frac{k*T}{q} \quad (\text{σχέση 3.1.10})$$

q : φορτίο ηλεκτρονίου σε Coulomb = $1,602 * 10^{-19} C$

k : σταθερά Boltzmann = $1,38 * 10^{-23} J/K = 86,3 * 10^{-3} eV/K$

$1eV = 1,602 * 10^{-19} C * V = 1,602 * 10^{-19} J$

T : η θερμοκρασία του Φ/Β στοιχείου σε βαθμούς Κέλβιν: $T = T_c + 273$ (σχέση 3.1.11), απόλυτη θερμοκρασία του Φ/Β στοιχείου.

vi) V_{oc} : τάση ανοιχτού κυκλώματος

Η τάση που υπάρχει όταν τα δύο άκρα είναι ανοιχτά δηλαδή όταν έχουμε ανοιχτό κύκλωμα (open circuit) και ισχύει ότι το R τείνει στο άπειρο και $i = i_{oc} = 0$ και έτσι η τάση παίρνει την μέγιστη τιμή της τάσης $V = V_{oc}$. Είναι η τάση που υπάρχει στην έξοδο ενός ηλιακού κελιού. Το V_{oc} προσδιορίζεται επίσης από την χαρακτηριστική καμπύλη I-V.

Η τάση V_{oc} εξαρτάται άμεσα από την θερμοκρασία T και από το ρεύμα I_o και επηρεάζεται από τις αντιστάσεις R_{sh} και r_s .

Θέτοντας $i=0$ και $V = V_{oc}$ όπως καθορίζει το ανοιχτό κύκλωμα η σχέση

$$I = I_{ph} - I_o = I_{ph} - I_o * \left(e^{q*V/k*T} - 1 \right) \quad (\text{σχέση 3.1.12})$$

με αντικατάσταση $i = i_{oc} = 0$ και $V = V_{oc}$ θα γίνει:

$$0 = I_{ph} - I_0 * (e^{q*V/k*T} - 1) \Rightarrow V_{oc} = \frac{k*T}{q} * \ln\left(\frac{I_{ph}}{I_0} + 1\right) \quad (\text{σχέση 3.1.13})$$

Λόγω του ότι οι τιμές του φωτορεύματος (I_{ph}) είναι πολύ μεγαλύτερες του ασθενές αντίστροφο ρεύμα κόρου/ρεύμα διαρροής της διόδου (I_0) θα ισχύει:

$$V = V_{oc} = \frac{k*T}{q} * \ln\left(\frac{I_{ph}}{I_0}\right) \quad (\text{σχέση 3.1.14})$$

Για χαμηλές τιμές της r_s στην περίπτωση ανοιχτού κυκλώματος τότε ισχύει θεωρώντας την τιμή του I_r αμετηλέα έχουμε τον εξής τύπο υπολογισμού της V_{oc} :

$$i = i_{ph} - I_0 * \left(e^{\frac{V+i*r_s}{V_t}} - 1\right) - I_r * \left(e^{\frac{V+i*r_s}{2*V_t}} - 1\right) \quad (\text{σχέση 3.1.15})$$

Θέτοντας το $i=0$ ισχύει η ισότητα $V = V_{oc}$ και έχουμε τον εξής τύπο υπολογισμού:

$$V_{oc} = V_t * \ln\left(\frac{i_{ph}}{I_0} + 1\right) = \frac{k*T}{q} * \ln\left(\frac{i_{ph}}{I_0} + 1\right) = \frac{k*T}{q} * \ln\left(\frac{i_{ph}}{I_0}\right) \quad (\text{σχέση 3.1.16})$$

Όπου,

$$V_t = \frac{k * T}{q}$$

Q :φορτίο ηλεκτρονίου σε Coulomb= $1,602*10^{-19}C$

K :σταθερά Boltzmann = $1,38*10^{-23}J/K=86,3*10^{-3}eV/K$

$1eV=1,602*10^{-19}C*V=1,602*10^{-19}J$

T:η θερμοκρασία του PV-στοιχείου σε βαθμούς Κέλβιν: $T=T_c + 273$, απόλυτη θερμοκρασία του Φ/B στοιχείου.

vii) Συντελεστής πλήρωσης FF

Ο συντελεστής πλήρωσης της χαρακτηριστικής καμπύλης I-V είναι ο λόγος της μέγιστης ορθογώνιας επιφάνειας η οποία είναι εγγεγραμμένη στην καμπύλη i-V προς το εμβαδό της επιφάνειας $i_{sc} * V_{oc}$. Αποδίδει το εμβαδό του ορθογωνίου που είναι εγγεγραμμένο στην χαρακτηριστική καμπύλη I-V του Φ/B στοιχείου σε σχέση με το ορθογώνιο $i_{sc} * V_{oc}$ που αντιπροσωπεύει μια μέγιστη ισχύ η οποία είναι αδύνατο να αποδοθεί στο φορτίο R_L λόγω του ότι δεν αποδίδεται ισχύς σε ανοιχτό κύκλωμα και σε βραχυκύκλωμα.

Ο συντελεστής υπολογίζεται με βάση την εξίσωση: $FF = \frac{I_{max} * V_{max}}{I_{sc} * V_{oc}}$ (3.1.17)

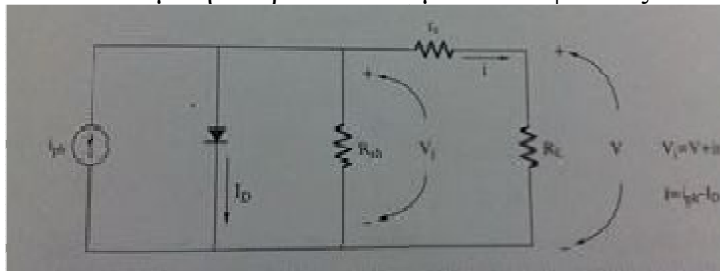
A) Οι τιμές που κυμαίνεται ο συντελεστής πλήρωσης βρίσκονται στο εύρος τιμών 0,5-0,8 στα Φ/Β στοιχεία και αυτό προέρχεται από την σχέση την οποία δίνει ο συντελεστής πλήρωσης για το Φ/Β στοιχείο Si.

B) Οι τιμές του συντελεστή πλήρωσης εξαρτώνται από την τιμή E_g του ημιαγωγού καθώς και από την τεχνική κατασκευής των Φ/Β στοιχείων.

Γ) Οι τιμές του συντελεστή πλήρωσης επηρεάζονται από τις αντιστάσεις R_s και R_{sh} .

Πηγή: Βιβλίο "Ήπιες μορφές ενέργειας III", Σωκράτης Καπλάνης

3.2 Ισοδύναμο ηλεκτρικό κύκλωμα PV-κυψελίδας



3.2.1 Διάγραμμα αναπαράστασης του ισοδύναμου κυκλώματος, το ρεύμα σκότους I_D που διαρρέει την δίοδο και το V_j είναι η διαφορά δυναμικού στην διεπαφή η οποία είναι μεγαλύτερη της τάσης V στα άκρα του φορτίου.

Πηγή: Βιβλίο "Ήπιες μορφές ενέργειας III", Σωκράτης Καπλάνης

Πηγή: http://library.tee.gr/digital/kma/kma_m1515/kma_m1515_PVGuide_Approved.pdf

3.3 Οι αντιστάσεις R_s και R_{sh}

Είναι παράμετροι απαραίτητοι για τους υπολογισμούς της μελέτης της λειτουργίας, της συμπεριφοράς και της απόδοσης των Φ/Β συστημάτων στις συνθήκες θερμοκρασίας και ηλιακής ακτινοβολίας. Οι δύο αυτές αντιστάσεις υπολογίζονται από τις τιμές των παραγώγων των παραμέτρων με τις παρακάτω σχέσεις:

$$R_{sh} = R_{sh0} = -\left(\frac{dV}{dI}\right)_{I=I_{sc}} \quad (\text{σχέση 3.1.18})$$

$$R_{s0} = -\left(\frac{dV}{dI}\right)_{V=V_{oc}} \quad (\text{σχέση 3.1.19})$$

$$R_s = R_{s0} \cdot \frac{m_d \cdot V_T}{I_0} \cdot e^{V_{oc}/m \cdot V_T} \quad (\text{σχέση 3.1.20})$$

Η R_{sh} παίρνει μεγάλες τιμές ενώ η R_s παίρνει μικρές τιμές, οι τιμές των δύο αντιστάσεων μεταξύ τους έχουν μεγάλες διαφορές.

Η R_s συνδέεται σε σειρά με το Φ/Β στοιχείο και ενεργεί εκ μέρους της ωμικής αντίστασης στις επαφές στην εμπρόσθια επιφάνεια του Φ/Β στοιχείου και στην μεταλλική επαφή με τον ημιαγωγό.

Για ένα Φ/Β πλαίσιο η R_s ισούται με:

$$R_s = \frac{n_s \cdot r_s}{n_p} \quad (\text{σχέση 3.1.21})$$

Όπου,

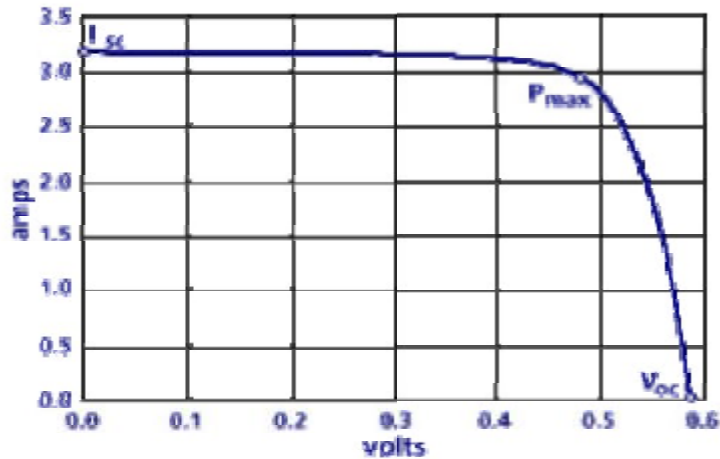
n_s = αριθμός των σειρών των κελιών που είναι συνδεδεμένα σε σειρά

n_p = αριθμός των σειρών των κελιών που είναι συνδεδεμένα παράλληλα

Η R_{sh} συνδέεται παράλληλα με το Φ/Β στοιχείο και ενεργεί εκ μέρους των διαύλων υψηλής αγωγιμότητας δια μέσου της διόδου p-n ή περιοχές υψηλής αγωγιμότητας στην περιφέρεια του Φ/Β στοιχείου. Δημιουργείται λόγω του ότι αρκετά ηλεκτρόνια σε ένα Φ/Β στοιχείο μπορεί να ακολουθούν μία πορεία μέσω αγωγίων περιοχών που δημιουργούνται από διάφορα αίτια με τον καιρό όπως θερμικά shocks σε μία περιοχή κυψελίδας. Οι τιμές που μπορεί να πάρει η R_{sh} κυμαίνονται από 100 έως 500 Ω (Ohm).

Οι αντιστάσεις R_{sun} και R_s δημιουργούν στο Φ/Β σύστημα απώλειες. Είναι σημαντικό να μειώσουμε τις απώλειες αυτές.

Η χαρακτηριστική καμπύλη I-V απεικονίζει την κατάσταση του Φ/Β συστήματος και κάθε αλλαγή παραμέτρου προκαλεί αλλαγές σε αυτήν. Καθώς λοιπόν οι R_s και R_{sun} δημιουργούν απώλειες στο σύστημα αυτό έχει ως αποτέλεσμα να υπάρξουν αλλαγές στην καμπύλη I-V του Φ/Β συστήματος.

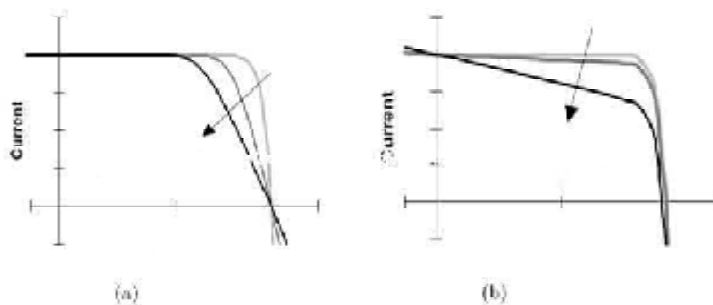


3.3.1 Διάγραμμα απεικόνισης της χαρακτηριστικής καμπύλης I-V ενός υγιούς φωτοβολταϊκού πλαισίου.

Πηγή: Βιβλίο "Ήπιες μορφές ενέργειας III", Σωκράτης Καπλάνης

Σε περίπτωση που αυξήσουμε την R_s τότε το μέγιστο ρεύμα I_{mp} και η μέγιστη τάση V_{mp} και ο συντελεστής FF μειώνονται, αυτό έχει ως αποτέλεσμα η αποδοτικότητα του συστήματος να μειώνεται. Στο παρακάτω διάγραμμα παρατηρούμε πως στην καμπύλη I-V όσο αυξάνεται η R_s μειώνεται το μέγιστο ρεύμα, η μέγιστη τάση, ο συντελεστής FF και η κλίση που έχει η καμπύλη.

Σε περίπτωση που μειωθεί η R_{sh} τότε μειώνεται το μέγιστο ρεύμα I_{mp} και η μέγιστη τάση V_{mp} και ο συντελεστής FF και αυτό έχει ως αποτέλεσμα να μειώνεται και η αποδοτικότητα του φωτοβολταϊκού συστήματος. (b)



3.3.2 Διάγραμμα των ωμικών αντιστάσεων. Το διάγραμμα (a) απεικονίζει την αύξηση της αντίστασης R_s και την επίδραση της στην αλλοίωση της χαρακτηριστικής καμπύλης και το (b) απεικονίζει την μείωση της R_{sh} και την επίδραση της στην αλλοίωση της χαρακτηριστικής καμπύλης.

Πηγή: Βιβλίο "Ήπιες μορφές ενέργειας III", Σωκράτης Καπλάνης

Μεγάλη επίδραση στις αντιστάσεις R_s και R_{sun} έχει η ακτινοβολία καθώς με την αύξηση της θερμοκρασίας έχουμε αύξηση της R_s και μείωση της R_{sun} .

Ενδεικτικές τιμές των αντιστάσεων R_s και R_{sh} για διάφορους τύπους Φ/Β στοιχείων:

PV-στοιχεία	Cr-Si	Cr-Si 2	Poly-Si	a-Si	a-Si 2
R_{sh} (Ω)	1231	140	2000	18000	4572
R_s (Ω)	0,17	0,26	0,75	4,95	6,46

Πηγή: Βιβλίο "Ήπιες μορφές ενέργειας III", Σωκράτης Καπλάνης

Όπου,

Cr-Si:μονοκρυσταλλικό

Poly-Si:πολυκρυσταλλικό

a-Si:άμορφο

Πηγή: Βιβλίο "Ήπιες μορφές ενέργειας III", Σωκράτης Καπλάνης

3.4 Ανάλυση χαρακτηριστικής καμπύλης I-V

i) I_m : είναι η μέγιστη τιμή του ρεύματος (I_{pmax}) και προκύπτει η τιμή του από την χαρακτηριστική καμπύλη I-V του Φ/Β .

ii) V_m :είναι η μέγιστη τιμή της τάσεως (V_{pmax})και προκύπτει η τιμή της από την χαρακτηριστική καμπύλη I-V του Φ/Β .

Η τιμή της μέγιστης τιμής τάσεως εξαρτάται από την ένταση I_T της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας στο φωτοβολταϊκό πλαίσιο αλλά σε μικρότερο βαθμό σε σύγκριση με την i_m .

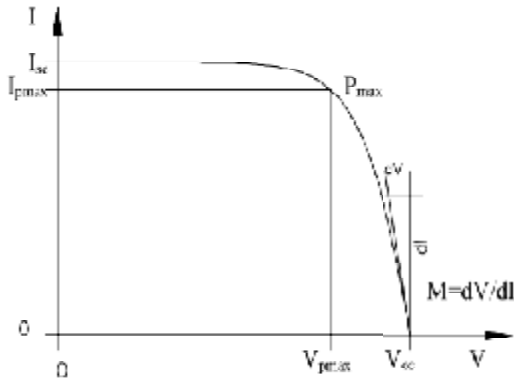
iii) P_m : η μέγιστη τιμή της ισχύος (P_{max}) που μπορεί να αποδώσει το φωτοβολταϊκό και η τιμή της προκύπτει από την σχέση: $P_{max} = I_{max} * V_{max}$.

iv) MPP:Max Power Point , το σημείο λειτουργίας του Φ/Β στοιχείου στο οποίο αποδίδει στο φορτίο την μέγιστη δυνατή ισχύ.

Για να βρεθούν οι I_m , V_m , P_m από την χαρακτηριστική καμπύλη I-V θα πρέπει να γίνει η εξής διαδικασία :

- 1) Να βρεθεί το σημείο λειτουργίας στο οποίο το γινόμενο $i*V=P$ μεγιστοποιείται. Για να βρεθεί θα πρέπει για τα ζεύγη τιμών i και V να χρησιμοποιηθεί η εξίσωση $P=i*V$ και να βρεθεί η μέγιστη τιμή της δηλαδή το P_m .
- 2) Καθώς το ζεύγος τιμών I_m και V_m δίνει το P_m είναι οι συνιστώσες του.
- 3) Όταν βρεθεί το P_m θα πρέπει να γίνει τοποθέτηση του πάνω στην καμπύλη της χαρακτηριστικής I-V.

- 4) Φέρνοντας μία οριζόντια και μία κάθετη γραμμή από το σημείο της μέγιστης ισχύος προς τους άξονες γίνεται εύρεση των I_m και V_m . Το V_m βρίσκεται στον άξονα xx' και το I_m στον yy' . Το σημείο της P_m στην χαρακτηριστική καμπύλη i - V ονομάζεται MPP.



3.4.1 Γράφημα της χαρακτηριστικής καμπύλης I - V είναι για ένα υγιές Φ/B πλαίσιο.
 Πηγή: Βιβλίο "Ήπιες μορφές ενέργειας III", Σωκράτης Καπλάνης

Όπου ,

$$I_{pmax} = I_m$$

$$V_{pmax} = V_m$$

$$P_{max} = P_m$$

Πηγή: <http://nemertes.lis.upatras.gr/jspui/bitstream/10889/2561/1/%CE%94%CE%B9%CF%80%CE%BB.%CE%8C%CE%BB%CE%B7Y.pdf>

3.5 Παράγοντες επηρεασμού της συμπεριφοράς του Φ/B

Οι παράγοντες που επηρεάζουν την συμπεριφορά του Φ/B είναι πολλοί και ο καθένας επηρεάζει σε διαφορετικό βαθμό, ο βαθμός που το επηρεάζει ο κάθε παράγοντας φαίνεται άμεσα στην καμπύλη I - V και στην απόδοση του.

3.5.1 Οι παράγοντες επηρεασμού είναι οι εξής:

- A) Η ακτινοβολία στην επιφάνεια του Φ/B I_t . Η ηλιακή ακτινοβολία που προσπίπτει στην επιφάνεια του Φ/B είναι ένας πολύ σημαντικός παράγοντας ο οποίος επηρεάζει άμεσα και σε μεγάλο βαθμό καθώς όσο μικρότερη είναι η ηλιακή ακτινοβολία τόσο μικρότερη θα είναι η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια και το παραγόμενο ρεύμα .

Σε περίπτωση που ελαττώσουμε την ένταση ηλιακής ακτινοβολίας που προσπίπτει στο Φ/B στοιχείο τότε η χαρακτηριστική καμπύλη σαν σχήμα δεν αλλάζει όμως

έχουμε τις εξής επιπτώσεις:

- 1) το εμβαδό κάτω από την χαρακτηριστική καμπύλη ελαττώνεται.
- 2) η τιμή της έντασης i μειώνεται λόγω του ότι είναι ευθέως ανάλογη με την I_t που προσπίπτει στο Φ/Β πλαίσιο.
- 3) το σημείο της μέγιστης ισχύος (MPP) μετακινείται σε μικρό βαθμό προς τα αριστερά.
- 4) η τιμή της V_{OC} δεν επηρεάζεται σε μεγάλο βαθμό από την I_t όμως εάν μειώσουμε την I_t τότε μειώνεται και η τιμή της V_{OC} .

Β) Η θερμοκρασία T_c του πλαισίου την οποία αναπτύσσει το Φ/Β σύστημα. Όσο μεγαλύτερη θερμοκρασία αναπτύσσεται τόσο μικρότερη τάση V_{OC} αναπτύσσεται ενώ αυξάνεται σε μικρό βαθμό η τιμή της έντασης βραχυκυκλώματος I_{sc} .

Όταν έχουμε αύξηση της θερμοκρασίας τότε με βάση τους παρακάτω τύπους βλέπουμε την σχέση των I_{sc} , V_{OC} συναρτήσει της θερμοκρασίας T_c .

$$\frac{i}{I_{sc}} * \frac{dI_{sc}}{dT} = 3 * 10^{-4} (^\circ K^{-1}) \quad (\text{σχέση 3.5.1.1})$$

$$\frac{dV_{oc}}{dT} = -2.3 * 10^{-3} V / ^\circ C \quad (\text{σχέση 3.5.1.2})$$

Άρα όταν έχουμε αύξηση της θερμοκρασίας ενός Φ/Β στοιχείου κατά $1^\circ C$ τότε η τιμή της V_{OC} μειώνεται κατά $2.3 * 10^{-3} V = 2.3 \text{ mV} = 0.0023 \text{ V}$.

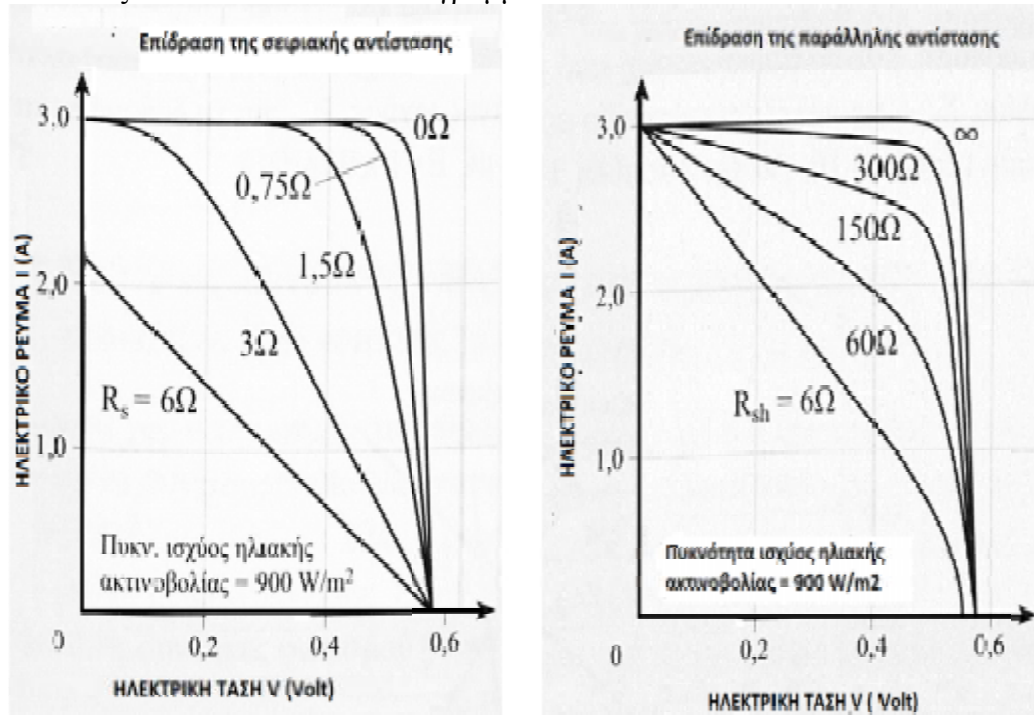
Όταν έχουμε n_s φωτοβολταικά στοιχεία συνδεδεμένα σε σειρά τότε έχουμε:

$$\frac{dV_{oc}}{dT} = -2.3 * 10^{-3} * n_s V / ^\circ C \quad (\text{σχέση 3.5.1.3})$$

Γ) Το ποσοστό της ενεργειακής υποβάθμισης που έχει υποστεί το Φ/Β είναι παράγοντας που επηρεάζει σε μεγάλο βαθμό την συμπεριφορά του. Αυτό συμβαίνει λόγω του ότι όσο μεγαλύτερος είναι ο βαθμός γήρανσης τόσο μεγαλύτερος είναι ο επηρεασμός της συμπεριφοράς του καθώς ο βαθμός λειτουργίας του μειώνεται και γενικά δεν υπάρχει σωστή λειτουργία του συστήματος και αυτό έχει ως αποτέλεσμα να μειώνεται και η απόδοση του. Η γήρανση μπορεί να είναι οξειδωση, υποβάθμιση του EVA, φουσκάλες, υποβάθμιση του AR.

Δ) Οι ωμικές αντιστάσεις. Η σειριακή και η παράλληλη ωμική αντίσταση (R_s και R_{sh}), οι οποίες επηρεάζουν η καθεμία με διαφορετικό τρόπο. Η R_{sh} όσο μικρότερη είναι ($< 500 \Omega$) τόσο μεγαλύτερη είναι η μείωση του ρεύματος όσο πλησιάζουμε στην τάση ανοικτού κυκλώματος V_{oc} ενώ η R_s όσο μεγαλύτερη είναι τόσο περισσότερο μειώνεται η μέγιστη ισχύος και αυτό γίνεται λόγω του ότι η αύξηση της τιμής της R_s δημιουργεί περιορισμό στην περιοχή των τάσεων στην οποία περιοχή έχουμε σταθερό ρεύμα βραχυκύκλωσης. Οι επιδράσεις των δύο ωμικών τάσεων

απεικονίζονται στα ακόλουθα διαγράμματα.



3.5.1 Διάγραμμα ωμικών αντιστάσεων Rsh και Rs.

Πηγή: Βιβλίο "Ήπιες μορφές ενέργειας III", Σωκράτης Καπλάνης

Το αριστερό διάγραμμα απεικονίζει το διάγραμμα της ωμικής αντίστασης R_s . Όσο αυξάνεται η ωμική αντίσταση R_s μειώνεται το ηλεκτρικό ρεύμα ενώ η ηλεκτρική τάση έχει σταθερή τιμή για όλες τις τιμές της R_s . Το δεξί διάγραμμα απεικονίζει το διάγραμμα της ωμικής αντίστασης R_{sh} . Όσο αυξάνεται η ωμική αντίσταση R_{sh} η ηλεκτρική τάση αυξάνεται ενώ το ηλεκτρικό ρεύμα έχει σταθερή τιμή για όλες τις τιμές της R_{sh} .

Ε) Η κλίση του Φ/B σε σχέση με την επίπεδη επιφάνεια δηλαδή ως προς το οριζόντιο επίπεδο. Η κλίση μπορεί να μειώσει σημαντικά την ηλιακή ακτινοβολία που προσπίπτει στο Φ/B . Η κλίση εξαρτάται άμεσα από τον προσανατολισμό του Φ/B καθώς και από την περίοδο αν είναι θερινή ή εαρινή. Όσο μεγαλύτερη είναι η κλίση του Φ/B τόσο μεγαλύτερη ηλιακή ενέργεια προσπίπτει και τόσο μεγαλύτερη παραγωγή ενέργειας θα υπάρχει. Η ιδανική κλίση για την εαρινή περίοδο είναι 60 μοίρες και για την θερινή περίοδο είναι 30 μοίρες.

Ζ) Ο άνεμος. Η ταχύτητα του ανέμου μπορεί να επηρεάσει το Φ/B . Η ιδανική τιμή της ταχύτητας του ανέμου για να μην έχουμε επηρεασμό στην συμπεριφορά είναι 1 m/sec , όσο μεγαλύτερη είναι η τιμή της ταχύτητα του ανέμου σε σχέση με την ιδανική τόσο περισσότερο μειώνεται η προσπίπτουσα ηλιακή ενέργεια.

Η) Η αιθριότητα της ατμόσφαιρας η οποία επηρεάζει το φάσμα της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας και σαν αποτέλεσμα επηρεάζει και το Φ/B σύστημα καθώς αν ο επηρεασμός αυτός μειώσει την προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία τότε μειώνεται και η παραγωγή ρεύματος του στο σύστημα.

Θ) Η γεωγραφική θέση στην οποία έχει εγκατασταθεί η Φ/B γεννήτρια καθώς η κάθε

γεωγραφική θέση έχει διαφορετικό κλίμα , θερμοκρασία , μορφολογία εδάφους . Οι παράγοντες αυτοί παίζουν σημαντικό ρόλο για την απόδοση του Φ/Β συστήματος.

Δ) Η καθαρότητα της επιφάνειας του Φ/Β πλαισίου καθώς όσο περισσότερο βρώμικη είναι η επιφάνεια τόσο μεγαλύτερη σκίαση υπάρχει και αυτό έχει αποτέλεσμα την μείωση της απόδοσης του συστήματος.

Κ) Η χρονική περίοδος λειτουργίας και η εποχή καθώς η ολική ημερήσια ηλιακή ακτινοβολία μεταβάλλεται με το μήνα.

Λ) Από την ονομαστική ή μέγιστη τιμή ισχύος του Φ/Β πλαισίου . Η ονομαστική ή μέγιστη τιμή ισχύος εξαρτάται από το είδος της τεχνολογίας κατασκευής , από τον αριθμό των Φ/Β κυψελίδων που είναι συνδεδεμένες μεταξύ τους και τις διαστάσεις.

Σαν αποτέλεσμα του επηρεασμού της συμπεριφοράς του Φ/Β από διάφορους παράγοντες έχουμε τον επηρεασμό της απόδοσης του Φ/Β . Η απόδοση του Φ/Β είναι ο λόγος της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας προς την προσπίπτουσα ηλιακή ενέργεια και συνήθως μας δίνεται σαν ποσοστό δηλαδή % . Η απόδοση του Φ/Β συνδέεται άμεσα με την παραγωγή ενέργειας καθώς είναι αυτή που μας λέει πόση παραγωγή ενέργειας έχουμε.

Η παραγωγή ενέργειας επηρεάζεται από:

- 1) τις κλιματολογικές συνθήκες όπως βροχή , χιόνι , υψηλή θερμοκρασία
- 2) την κλίση του Φ/Β σε σχέση με το οριζόντιο επίπεδο καθώς και ο προσανατολισμός του
- 3) την ηλικία του Φ/Β καθώς όσο μεγαλύτερης ηλικίας είναι τόσο μεγαλύτερη μείωση παραγωγής ενέργειας
- 4) το γεωγραφικό πλάτος καθώς όσο πιο νότια είναι η περιοχή τοποθέτησης του Φ/Β τόσο περισσότερη ένταση ηλιακής ακτινοβολίας υπάρχει
- 5) την σκίαση η οποία προκαλεί μεγάλη μείωση της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας και ως αποτέλεσμα έχουμε την μείωση της απόδοσης

Πηγές:

http://www.cea.org.cy/TOPICS/Renewable%20Energy/2013/%CE%A6%CE%92%20%CF%83%CF%85%CF%83%CF%84%CE%AE%CE%BC%CE%B1%CF%84%CE%B1_Net%20metering%2023_10_2013.pdf

Πηγή: Βιβλίο " Ήπιες μορφές ενέργειας ΙΙΙ " , Σωκράτης Καπλάνης

3.6 Τυπικές συνθήκες λειτουργίας των Φ/Β στοιχείων

Οι τυπικές συνθήκες ελέγχου δημιουργήθηκαν με σκοπό την σύγκριση της απόδοσης και της ισχύς αιχμής που δίνουν τα Φ/Β πλαίσια.

Οι τυπικές συνθήκες λειτουργίας και πιστοποίησης των Φ/Β στοιχείων χωρίζονται σε δύο κατηγορίες :

Τις τυπικές συνθήκες ελέγχου STC (Standard Test Conditions) οι οποίες χρησιμοποιούνται για την σύγκριση διαφορετικών κελιών ή πάνελ σε όμοιες συνθήκες . Στις συνθήκες αυτές γίνονται οι μετρήσεις των μεγεθών V_{mpp} , I_{sc} , I_{mpp} , P_{mpp} , V_{oc} .

Οι συνθήκες STC είναι οι εξής:

i) Ένταση προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας 1000 W/m^2

ii) Θερμοκρασία Φ/Β κελιού $25 \text{ }^\circ\text{C}$. Ο παράγοντας θερμοκρασίας του κελιού παίρνει τιμές $25\text{-}30 \text{ }^\circ\text{C}$ παραπάνω σε σχέση με την θερμοκρασία περιβάλλοντος .

iii) Φάσμα προσπίπτουσας ακτινοβολίας , μάζα αέρα (air mass) = 1,5 . Η μάζα αέρα περιγράφει ουσιαστικά την διαδρομή της ηλιακής ακτινοβολίας διαμέσου της ατμόσφαιρας. Στην περίπτωση που ο ήλιος βρίσκεται σε κάθετη θέση σε σχέση με την επιφάνεια της γης τότε η ηλιακή ακτινοβολία περνάει μόνο μια φορά διαμέσου του ατμοσφαιρικού αέρα και έτσι η τιμή της μάζας του αέρα θα έχει την τιμή $AM=1$. Η τιμή $MA=1,5$ η οποία χρησιμοποιείται ως πρότυπη συνθήκη για τα ηλιακά κελιά ισχύει για γωνία ηλίου $41,8 \text{ }^\circ\text{C}$ προς τον ορίζοντα.

Τις τυπικές συνθήκες λειτουργίας SOC (Standard Operating Conditions) στις οποίες γίνεται ο προσδιορισμός της ισχύος αιχμής σε συνθήκες που να συγκλίνουν όσο το δυνατόν περισσότερο σε πραγματική κατάσταση λειτουργίας έτσι ώστε η τιμή της P_m που προκύπτει με βάση τις συνθήκες αυτές να συγκλίνει με την τιμή που δίνει το φωτοβολταϊκό σύστημα στο πεδίο εφαρμογής του.

Οι συνθήκες SOC είναι οι εξής :

i) Ένταση προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας 800 W/m^2

ii) Θερμοκρασία αέρα(περιβάλλοντος) $T_a=20 \text{ }^\circ\text{C}$

iii) Ταχύτητα ανέμου 1 m/sec

iv) Μετρήσεις κατά το ηλιακό μεσημέρι με προσανατολισμό στο Νότο

v) Μετρήσεις υπό συνθήκες ανοιχτού κυκλώματος

Λόγω του παράγοντα θερμοκρασίας ο οποίος είναι υψηλός οι κατασκευαστές χρησιμοποιούν τις συνθήκες θερμοκρασίας NOCT (Normal Operating Cell Temperature) .

Οι συνθήκες NOCT είναι οι ονομαστικές τιμές θερμοκρασίας λειτουργίας ενός Φ/Β πλαισίου . Η θερμοκρασία NOCT είναι αυτή που αποκτά το Φ/Β πλαίσιο όταν λειτουργεί σε συνθήκες SOC. Παίρνει τιμές $20\text{-}40 \text{ }^\circ\text{C}$ πάνω από την θερμοκρασία περιβάλλοντος και η τιμή της κυμαίνεται από $42\text{-}46 \text{ }^\circ\text{C}$, χρησιμεύει στον καθορισμό της τιμής της θερμοκρασίας T_c του Φ/Β στοιχείου κατά την διάρκεια της λειτουργίας του σε συνθήκες διαφορετικές του ανοιχτού κυκλώματος που παραθέτονται παρακάτω.

Η θερμοκρασία NOCT λειτουργεί σε συνθήκες ανοιχτού κυκλώματος οι οποίες είναι οι εξής:

i)θερμοκρασία κελιού ίση με περίπου $45-48\text{ }^{\circ}\text{C}$, $25\text{ }^{\circ}\text{C}+2\text{ }^{\circ}\text{C}$

ii)για θερμοκρασία περιβάλλοντος ίση με $20\text{ }^{\circ}\text{C}$

iii)προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία ίση με $800\text{ W}/\text{m}^2$

iv)φασματική κατανομή προσπίπτουσας ακτινοβολίας $AM=1,5$ και

v) ταχύτητα ανέμου ίση με πάνω από $1\text{ m}/\text{sec}$.

Τα δεδομένα αυτά μπορούν να δώσουν μια εικόνα πιο πραγματική της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από τα ηλιακά κελία σε σχέση με τις υπάρχουσες περιβαλλοντικές συνθήκες.

Για τον υπολογισμό της θερμοκρασίας χρησιμοποιούμε τον παρακάτω τύπο με την προϋπόθεση ότι ισχύουν οι παραπάνω συνθήκες.

$$\frac{T_c - T_a}{NOCT - 20\text{ }^{\circ}\text{C}} = \frac{I_T}{0.8\text{ kW}/\text{m}^2} \quad (\text{σχέση 3.6.1})$$

Όπου:

T_a : θερμοκρασία περιβάλλοντος

T_c :θερμοκρασία Φ/Β πλαισίου

Πηγές:

http://library.tee.gr/digital/kma/kma_m1515/kma_m1515_PVGuide_Approved.pdf

Πηγή: Βιβλίο " Ήπιες μορφές ενέργειας ΙΙΙ " , Σωκράτης Καπλάνης

3.7 Μετατροπή σε συνθήκες STC

Για την μετατροπή των ηλεκτρικών χαρακτηριστικών σε συνθήκες STC χρησιμοποιούμε τις ακόλουθες εξισώσεις:

•Για το ρεύμα βραχυκύκλωσης $I_{sc} = \frac{E}{E_{STC}} * I_{sc,STC} * [1 + a_{I_{sc}} * (\theta_c - \theta_{STC})]$
(σχέση 3.7.1)

Οι παράμετροι της εξίσωσης είναι οι εξής:

-α είναι ο θερμικός συντελεστής του ρεύματος βραχυκύκλωσης $I_{sc,STC}$ του Φ/Β και ισούται με $a_{I_{sc}} = \frac{dI_{sc}}{I_{sc}dT}$
(σχέση 3.7.2)

- $I_{SC,STC}$ η τιμή του ρεύματος βραχυκύκλωσης σε STC συνθήκες

- E η πυκνότητα ισχύος της ακτινοβολίας

- $E_{STC}=1000 \text{ W/m}^2$ και $T_a=273+\theta$.
(σχέση 3.7.3)

• Για την τάση ανοιχτού κυκλώματος: $V_{oc} = V_{oc,STC} * [1 + \beta_{V_{oc}} * (\theta_c - \theta_{STC})] * [1 + \delta(\theta_c) * \ln \frac{E}{E_{STC}}]$
(σχέση 3.7.4)

Οι παράμετροι της εξίσωσης είναι οι εξής:

- $\beta_{V_{oc}}$ είναι ο θερμικός συντελεστής τάσης ανοιχτού κυκλώματος του φωτοβολταϊκού και ισούται με: $\beta_{V_{oc}} = \frac{dV_{oc}}{V_{oc}dT}$
(σχέση 3.7.5)

- $V_{oc,STC}$ η τάση ανοιχτού κυκλώματος σε STC

- $\delta(\theta_c)$ ο διορθωτικός παράγοντας εξάρτησης V_{oc} από την E .

• Για τον βαθμό απόδοσης του κυκλώματος: $\eta_c = \frac{P_m}{P_{in}} = \frac{I_m * V_m}{P_{in}} = \frac{FF * I_{sc} * V_{oc}}{P_{in}}$
(σχέση 3.7.6)

Ο ορισμός του βαθμού απόδοσης είναι το πηλίκο της μέγιστης ηλεκτρικής ισχύος P_m η οποία αποδίδεται από το Φ/Β στοιχείο προς την ισχύ της προσπίπτουσας ακτινοβολίας $P_{in}=E*S$. Καθώς η απόδοση η οποία υπολογίζουμε είναι απόδοση η οποία αντιστοιχεί σε Φ/Β στοιχείο το εμβαδό S το οποίο χρησιμοποιούμε αντιστοιχεί στην ενεργό επιφάνεια του Φ/Β και δεν συμπεριλαμβάνει την επιφάνεια της μεταλλικής σχάρας του και E είναι η πυκνότητα ισχύος της ακτινοβολίας.

Στην περίπτωση που έχουμε την ονομαστική τιμή της απόδοσης στις πρότυπες συνθήκες ελέγχου STC και χρειαζόμαστε την απόδοση σε μία διαφορετική θερμοκρασία , για κάθετη πρόσπτωση της ηλιακής ακτινοβολίας τότε έχουμε την σχέση:

$$\eta_c = \eta_T * \eta_{c,STC}$$

Οι παράμετροι της εξίσωσης είναι οι εξής:

- η_T είναι ο συντελεστής ή παράγων θερμοκρασίας του φωτοβολταϊκού στοιχείου και ισούται με:

$$\eta_T = 1 + \gamma_{mp} * (\theta_c - \theta_{STC}) \quad (\text{σχέση 3.7.7})$$

γ_{mp} είναι ο θερμικός συντελεστής μέγιστης ισχύος του φωτοβολταϊκού στοιχείου και ισούται με:

$$\gamma_{mp} = \frac{dP}{P_m \cdot dT} \quad (\text{σχέση 3.7.8})$$

$\eta_{C,STC}$ είναι η ονομαστική τιμή της απόδοσης σε πρότυπες συνθήκες

Πηγή: Βιβλίο "Ήπιες μορφές ενέργειας III", Σωκράτης Καπλάνης

3.8 Επίδραση της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας στην χαρακτηριστική καμπύλη I-V

Όταν η ένταση ηλιακής ακτινοβολίας που προσπίπτει στο Φ/Β πλαίσιο μειωθεί το σχήμα της χαρακτηριστικής καμπύλης δεν αλλάζει, παραμένει το ίδιο όμως:

Όταν η ένταση ηλιακής ακτινοβολίας που προσπίπτει στο Φ/Β πλαίσιο μειωθεί το σχήμα της χαρακτηριστικής καμπύλης δεν αλλάζει, παραμένει το ίδιο όμως:

Το εμβαδό του χωρίου κάτω από την i-V μειώνεται

Η τιμή της έντασης i μειώνεται ανάλογα καθώς το i είναι ανάλογο της I_T που προσπίπτει στο φωτοβολταϊκό πλαίσιο.

Το σημείο της μέγιστης ισχύος (MPP) μετακινείται ελάχιστα προς τα αριστερά

Η τιμή της V_{OC} δεν επηρεάζεται ιδιαίτερα από την κάθε αλλαγή της τιμής I_T . Παρόλα αυτά η τιμή της V_{OC} μειώνεται με την μείωση της I_T .

Πηγή: Βιβλίο "Ήπιες μορφές ενέργειας III", Σωκράτης Καπλάνης

3.9 Επίδραση της V_{OC} και της θερμοκρασίας στην χαρακτηριστική καμπύλη I-V

Όταν η τιμή της V_{OC} μειώνεται ενώ παράλληλα αυξάνεται η θερμοκρασία του Φ/Β πλαισίου τότε το σχήμα της χαρακτηριστικής καμπύλης δεν αλλάζει, παραμένει το ίδιο όμως:

Το εμβαδό του χωρίου κάτω από την i-V μειώνεται.

Η τιμή της I_{SC} αυξάνεται αλλά δεν επηρεάζεται ιδιαίτερα.

Το σημείο της μέγιστης ισχύος (MPP) μετακινείται προς τα αριστερά.

Η ταχύτητα μεταβολής της V_{OC} σε συνάρτηση με την T_C δίνεται από την παράγωγο $\frac{dV_{OC}}{dT}$.

Για ένα PV στοιχείο το $\frac{dV_{OC}}{dT} = -2,3 * 10^{-3} V / ^\circ C$ (σχέση 3.9.1)

Άρα με αύξηση της θερμοκρασίας του Φ/Β στοιχείου κατά 1 $^\circ C$ το V_{OC} μειώνεται κατά $2,3 * 10^{-3} V = 2,3 mV = 0,0023 V$.

(σχέση 3.9.2)

Στην περίπτωση που ο αριθμός των Φ/Β στοιχείων είναι $n_s > 1$ και είναι συνδεδεμένα σε σειρά τότε ισχύει η σχέση:

$\frac{dV_{OC}}{dT} = -2,3 * 10^{-3} * n_s V / ^\circ C$ (σχέση 3.9.3)

Πηγή: Βιβλίο "Ήπιες μορφές ενέργειας ΙΙΙ", Σωκράτης Καπλάνης

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΓΗΡΑΝΣΗ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

4.1 Η γήρανση των Φ/Β συστημάτων είναι ένα φαινόμενο το οποίο χρήζει αντιμετώπισης . Η γήρανση έχει διάφορες μορφές , συμβαίνει σε διαφορετικά σημεία του Φ/Β και το επηρεάζει αρκετά ανάλογα με το βαθμό της .Τα φαινόμενα γήρανσης είναι πολλά και δημιουργούν στο Φ/Β σύστημα υποβάθμιση και γι'αυτό τα αποκαλούμε φαινόμενα υποβάθμισης.

4.2 Τα φαινόμενα υποβάθμισης είναι τα εξής:

i) Η υποβάθμιση του EVA.

Είναι πολύ σημαντική για το Φ/Β σύστημα. Η υποβάθμιση του EVA είναι ουσιαστικά ο αποχρωματισμός του όπως επίσης και ο αποχρωματισμός του ενθυλακωτικού. Ο αποχρωματισμός αυτός μπορεί να γίνει είτε με σταδιακό τρόπο δηλαδή με φυσιολογικό τρόπο είτε με επιταχυνόμενο τρόπο , αυτό εξαρτάται από τους παράγοντες που επηρεάζουν το Φ/Β και από το ποσοστό που το επηρεάζουν και κατά συνέπεια το ενθυλακωτικό EVA . Ανάλογα με το ποσοστό που το επηρεάζουν προκαλούν διαφορετικό ρυθμό γήρανσης κατά την έκθεση του η οποία μπορεί να είναι είτε κανονική είτε επιταχυνόμενη. Ο ρυθμός αποχρωματισμού του EVA μπορεί να είναι καθαρός όμως υπάρχουν παράγοντες οι οποίοι αποτρέπουν τον καθαρό αυτό ρυθμό του συμπολυμερούς το οποίο χρησιμοποιείται σε κρυσταλλική-Si . Για να βρεθούν οι παράγοντες αυτοί γίνεται χρήση των μεθόδων φασματοφωτομετρίας υπεριώδους – ορατού και φθορισμό ανάλυσης .

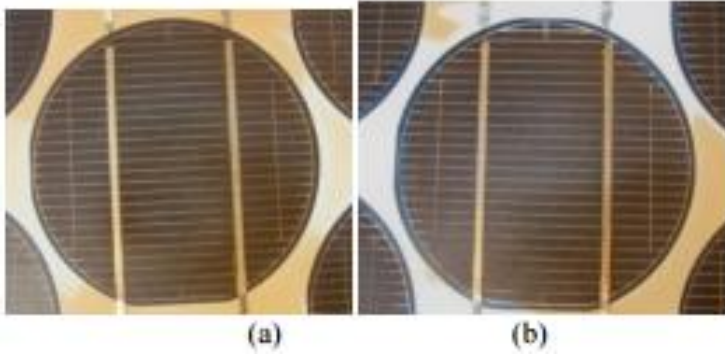
Πηγές:

<http://ieeexplore.ieee.org/xpl/login.jsp?tp=&arnumber=520106&url=http%3A%2F%2Fieeexplore.ieee.org%2Fiel2%2F3971%2F11458%2F00520106>

http://www.nist.gov/el/building_materials/upload/Bokria.pdf

Σε μελέτη Φ/Β τα οποία έχουν ηλικία 22 ετών το αποτέλεσμα είναι ότι το EVA δέχεται μεγάλο αποχρωματισμό της ενσωμάτωσής του. Ο αποχρωματισμός αυτός έχει χρώμα χρυσό καφετί και έχει επεκταθεί σε όλα τα κύτταρα των ενοτήτων που καλύπτουν ένα μεγάλο μέρος του ή και ακόμα ολόκληρη την επιφάνεια του.

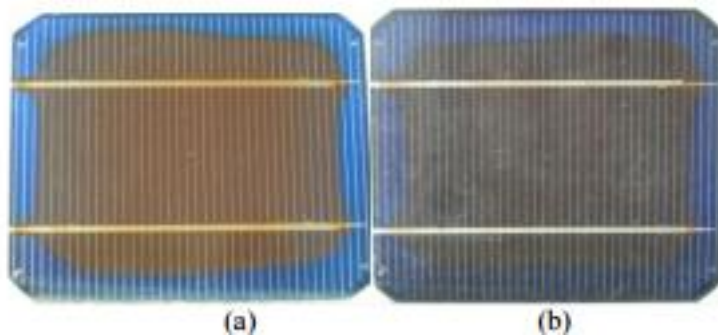
Η έκταση της αμαύρωσης είναι ορατή στην περιοχή του υποστρώματος από τις ενότητες .Η εμφάνιση του αποχρωματισμού μπορεί να είναι στην κεντρική περιοχή των κυττάρων έχοντας τετράγωνο σχήμα για τα πλατιά κύτταρα και κυκλικό σχήμα για τα κυκλικά κύτταρα.



4.2.1 Εικόνα. Ενεργειακή υποβάθμιση λόγω EVA.

Οι εικόνες (a) (b) απεικονίζουν την γήρανση EVA κυκλικού Φ/Β πλαισίου .

Ο αποχρωματισμός EVA στα κύτταρα γίνεται σε αυτά τα οποία έχουν υποβληθεί σε συνεχόμενη σκίαση και θερμικές επιδράσεις στις Φ/Β μονάδες τις οποίες δραστηριοποιούνται για μεγάλο διάστημα χρόνων και εμφανίζουν καφέ ή σκούρο καφέ χρώμα και καλύπτουν ένα αρκετά μεγάλο μέρος της επιφάνειας των κυττάρων .Πολλά από τα κύτταρα που έχουν υποστεί γήρανση έχουν μικρότερο βαθμό αποχρωματισμού του ενθυλακωτικού με ένα σκούρο ή μαύρο χρώμα .



4.2.2 Εικόνα. Ενεργειακή υποβάθμιση λόγω EVA.

Οι εικόνες (a) (b) απεικονίζουν την γήρανση EVA τετράγωνου Φ/Β πλαισίου .

Πηγή:

<http://rollingwash.net/docs/Degradation%20Effects%20in%20sc-Si%20PV%20Modules%20Subjected%20to%20Natural%20and%20Induced%20Ageing.pdf>

ii) Οι ρωγμές ή αλλιώς cracks τα οποία αποτελούν σημαντικό παράγοντα για την ηλεκτρική ενέργεια και ως αποτέλεσμα έχουν την απώλεια Φ/Β μονάδων.

Ανάλογα με την θέση στην οποία βρίσκονται οι ρωγμές είναι και οι ανενεργές περιοχές του κυττάρου και μπορούμε να εντοπίσουμε τις περιοχές αυτές εάν προσδιορίσουμε την θέση των ρωγμών σε σχέση με τις κύριους ηλεκτρικούς αγωγούς. Οι ανενεργές περιοχές δεν μπορούν να παράγουν ηλεκτρική ενέργεια και άρα θεωρούνται μη χρήσιμες. Στις κυψέλες μονοκρυσταλλικού πυριτίου οι ρωγμές δείχνουν ότι το φαινόμενο της γήρανσης είναι πολύ σύνθετο, αυτό είναι κάτι που μπορεί κάποιος να διαπιστώσει με την τεχνική της φωτοδιαύγειας. Επίσης λόγω των ρωγμών κλεισίματος οι ραγισμένες περιοχές μπορούν να ανακτήσουν την ηλεκτρική αγωγιμότητα κατά την μηχανική εκφόρτωση παρά τον εύθραυστο χαρακτήρα τον οποίο έχει το πυρίτιο. Ρωγμές κλεισίματος μπορούν να δημιουργηθούν και λόγω των καταπονήσεων και των δονήσεων που δημιουργούνται κατά την μεταφορά και την χρήση των Φ/Β.

iii) Η οξείδωση είναι ένα φαινόμενο γήρανσης το οποίο συνήθως συνοδεύεται από την ύπαρξη υποβάθμισης EVA. Η οξείδωση δημιουργείται στα μέταλλα (πυρίτιο) λόγω της έκθεσης τους σε οξυγόνο ή υγρασία για μεγάλο χρονικό διάστημα, από ηλεκτροχημικές αντιδράσεις και ατμοσφαιρικές αντιδράσεις. Η οξείδωση είναι η αιτία που δημιουργείται στο πυρίτιο και σε κάθε άλλο μέταλλο η σκουριά. Λόγω της σκουριάς έχουμε μείωση των ηλεκτρονίων και ως αποτέλεσμα αυτού μείωση παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας.

Πηγές:

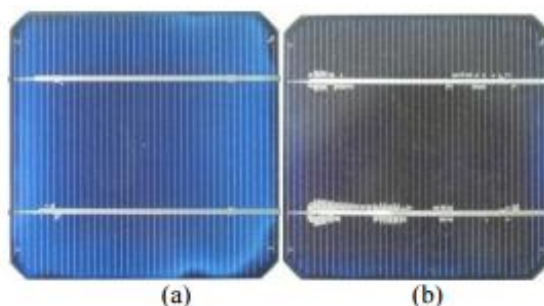
http://aluminco.com/media/29477/Solar_Bases_brochure.pdf

<http://coolweb.gr/ti-einai-skouria-pos-dimiourgeitai-okseidosi/>



4.2.3 Εικόνα. Οξείδωση Φ/Β κελιού τετράγωνου σχήματος.

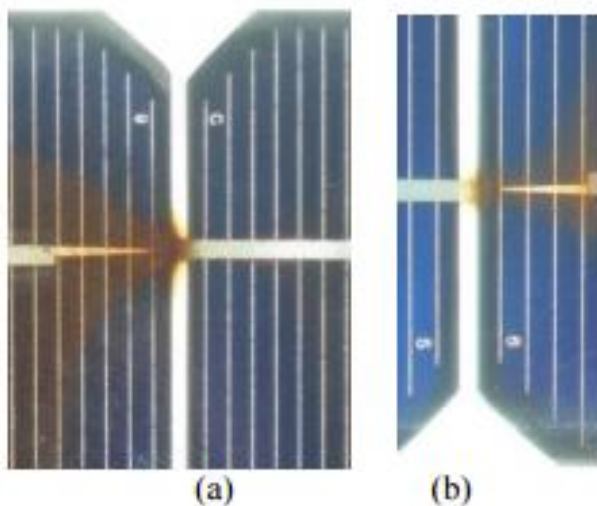
iv) Η υποβάθμιση ARC , η οποία δημιουργείται με την αποικοδόμηση της αντιανακλαστικής επικάλυψης AR .



4.2.4 Εικόνα . Ενεργειακή υποβάθμιση ARC.

Στην εικόνα (a) για κύτταρα τα οποία έχουν υποστεί μόνο φυσικές διαδικασίες γήρανσης επί 18 χρόνια παρατηρούμε πως οι επιδράσεις αποικοδόμησης περιλαμβάνουν αποικοδόμηση του επιχρίσματος AR και την υποβάθμιση της διεπαφής μεταξύ του κυττάρου και του ενθλακωτικού. Στην εικόνα (b) έχουμε σε μία χειρότερη περίπτωση την υποβάθμιση της διεπαφής μεταξύ του κυττάρου και του ενθλακωτικού η οποία βρίσκεται συνήθως μεταξύ των fingers και κοντά στα busbars.

v) Γήρανση στην διεπαφή των busbars και του Φ/Β κελιού. Στην περίπτωση όπου τα κύτταρα είναι σε επαγόμενη σκίαση εμφανίζουν σοβαρότερη υποβάθμιση η οποία έχει άμεση σύνδεση με την διάβρωση των fingers , busbars και των επαφών η οποία σχετίζεται με την αποδόμηση της εγκαυσούλωσης.



4.2.5 Εικόνα. Ενεργειακή υποβάθμιση στην διεπαφή.

vi) Ρωγμή στην πίσω μεριά του Φ/Β. Στην μονάδα έχουμε βλάβη στην πίσω σφράγιση και ρωγμή στο tedlar , φούσκωμα και εισερχόμενη υγρασία. Αυτό προκαλεί διάβρωση στο επιμεταλλωμένο κύτταρο.

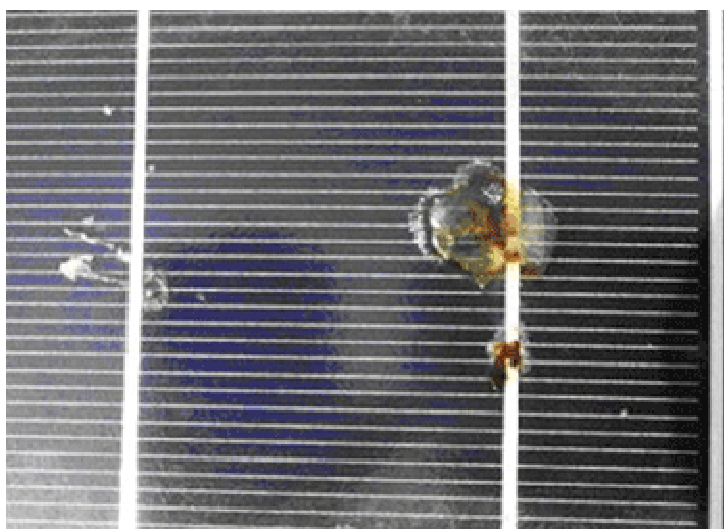


4.2.6 Η εικόνα απεικονίζει την ρωγμή του tedlar στην πίσω μεριά του Φ/Β πλαισίου.

Πηγή:

<http://rollingwash.net/docs/Degradation%20Effects%20in%20sc-Si%20PV%20Modules%20Subjected%20to%20Natural%20and%20Induced%20Ageing.pdf>

vii) Ο σχηματισμός των hotspots δηλαδή τοπικές υπερθερμάνσεις οι οποίες δημιουργούνται λόγω της επικάλυψης ακαθαρσιών των πτηνών πάνω στα Φ/Β καθώς και λόγω σκίασης.



4.2.7 Εικόνα. Ενεργειακή υποβάθμιση των hotspots.

Τα φαινόμενα γήρανσης μπορούν να γίνουν πιο έντονα , το EVA υψηλότερο και οι ρυθμοί υποβάθμισης πιο έντονοι από ότι είναι σε συγκεκριμένα τόπους . Τόπους με κλίμα ζεστό και ξηρό με υψηλή θερμοκρασία περιβάλλοντος και υψηλή ροή UV.

Πηγές:

<http://rollingwash.net/docs/Degradation%20Effects%20in%20sc-Si%20PV%20Modules%20Subjected%20to%20Natural%20and%20Induced%20Ageing.pdf>

<http://www.nature.com/srep/2014/140328/srep04506/full/srep04506.html>

<http://www.ecosolarcare.gr/kindynoi-me-syntereses>

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ

5.1 Σκοπός του πειράματος : Το πείραμα πραγματοποιήθηκε για να εντοπιστούν τα σημάδια γήρανσης των Φ/Β πλαισίων και ο βαθμός επηρεασμού της απόδοσης τους λόγω της γήρανσης καθώς και αναλυθούν τα σημάδια γήρανσης του κάθε πλαισίου. Η πειραματική διαδικασία διεξάχθηκε στο χώρο που είναι τοποθετημένες οι φωτοβολταϊκές εγκαταστάσεις στο ΑΤΕΙ Πατρών σε περιβαλλοντικές συνθήκες.

5.2 Συνθήκες πειράματος: Οι συνθήκες κατά τις οποίες πραγματοποιήθηκε το πείραμα για να είναι οι μετρήσεις σωστές και αληθής είναι οι εξής:

- ηλιακό μεσημέρι
- καθαρός ουρανός
- χαμηλή ταχύτητα ανέμου
- μηδαμινή ύπαρξη συννεφιάς που μπορεί να καλύπτει τις ακτίνες του ηλίου
- καθαρισμός της επιφάνειας των Φ/Β πλαισίων για αποφυγή πιθανής σκίασης
- η γεννήτρια και τα Φ/Β πλαίσια πρέπει να έχουν κλίση ίση με 25 μοίρες

Λόγω του ότι το πείραμα διεξάχθηκε σε συνθήκες περιβάλλοντος και όχι μέσα στο εργαστήριο ισχύουν οι εξής συνθήκες:

- Η χαρακτηριστική καμπύλη I-V δεν έχει ληφθεί μέσα στο εργαστήριο αλλά σε συνθήκες πεδίου
- Η ηλιακή ακτινοβολία είναι πραγματική
- Η θερμοκρασία περιβάλλοντος είναι διαφορετική των 25 °C
- Το Φ/Β πλαίσιο δεν έχει θερμοκρασία 25 °C

5.3 Παράγοντες επηρεασμού του πειράματος: Οι παράγοντες επηρεασμού των αποτελεσμάτων του πειράματος καθώς και του ίδιου του πειράματος χωρίζονται σε δύο κατηγορίες , ενδογενής και εξωγενής.

Οι ενδογενής παράγοντες είναι τα κατασκευαστικά χαρακτηριστικά του Φ/Β όπως η αντίσταση R_s , η γήρανση , η χωροταξική τοποθέτηση των φωτοβολταϊκών στοιχείων στο φωτοβολταϊκό πλαίσιο και η δίοδος αντεπιστροφής. Οι εξωγενής παράγοντες είναι η ηλιακή ακτινοβολία , η σκίαση των πλαισίων , η θερμοκρασία περιβάλλοντος , ο άνεμος , η ατμοσφαιρική ρύπανση και οι ηλεκτρικές απώλειες .

Πηγή:<http://dSPACE.uowm.gr/xmlui/bitstream/handle/123456789/23/GAKHS%20ANASTASIOS1133.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

5.4 Πειραματική διαδικασία:

Η πειραματική διαδικασία αναλύεται ανά βήμα .

Βήμα 1^ο :Καθαρισμός των Φ/Β πλαισίων με ειδικό πανάκι για να μην υπάρξει τυχόν γδάρσιμο της ευαίσθητης επιφάνειας . Ο καθαρισμός γίνεται για να είναι εντελώς καθαρή η επιφάνεια που είναι προς εξέταση από σκόνη ή από ακαθαρσίες πτηνών.

Βήμα 2^ο :Τοποθέτηση του πυρανομέτρου σε θέση δίπλα από τα Φ/Β πλαίσια σε γωνία με κλίση ίση με της γεννήτριας , 25 μοίρες και το άλλο σε κάθετη κλίση επίσης τοποθέτηση της στεφάνης.

Βήμα 3^ο : Τοποθέτηση του θερμοζεύγους στην πίσω μεριά του Φ/Β πλαισίου. Το θερμοζεύγος έχει την ικανότητα να μετρά την θερμοκρασία του πλαισίου.

Βήμα 4^ο : Τοποθέτηση του I-V tracer και σύνδεση του με το Φ/Β πλαίσιο. Ο I-V tracer έχει δύο ακροδέκτες σύνδεσης ένα κόκκινο και ένα μαύρο οι οποίοι συνδέονται αντίστοιχα στις μπαταρίες του Φ/Β πλαισίου. Ο ένας ακροδέκτης του συνδέεται στην θετική μπαταρία του (+) και ο άλλος στην αρνητική (-). Ο I-V tracer σε σύνδεση με τον υπολογιστή δίνει την I-V καμπύλη του Φ/Β πλαισίου και ουσιαστικά κάνει πείραμα λήψης της χαρακτηριστικής I-V καμπύλης κάθε πλαισίου, τα αποτελέσματα εμφανίζονται αυτόματα στην οθόνη του υπολογιστή . Ο I-V tracer είναι το σύστημα λήψης μετρήσεων για την χάραξη ή την λήψη των I-V καμπυλών.

Βήμα 5^ο : Πραγματοποιείται οπτική επισκόπηση για επιβεβαίωση αρχικά ότι τα Φ/Β πλαίσια είναι καθαρά στις επιφάνειες τους και για εύρεση των σημαδιών γήρανσης .Με την οπτική επισκόπηση διακρίνονται τα σημάδια γήρανσης παρόλα αυτά η διαδικασία αυτή δεν είναι ικανοποιητική καθώς η επιθεώρηση των Φ/Β συστημάτων με το μάτι δεν είναι επαρκής για να υπάρξει σωστή αξιολόγηση ως προς την γήρανση τους , η ψηφιακή και η χρωματική ανάλυση δείχνουν την γήρανση με ακρίβεια.

Βήμα 6^ο : Με την οπτική παρακολούθηση σε κάθε Φ/Β πλαίσιο γίνεται εύρεση των σημαδιών γήρανσης και καταγραφή τους έτσι ώστε με την χαρακτηριστική καμπύλη I-V που δίνει ο I-V tracer να υπάρξει μία συνολική εικόνα για τον επηρεασμό του Φ/Β από την γήρανση.

Βήμα 7^ο :Τα αποτελέσματα που δίνονται από τον I-V tracer εισάγονται στο πρόγραμμα MATLAB για να μπορέσουν να διεξαχθούν τα απαιτούμενα αποτελέσματα με τις μεθόδους του προγράμματος και να επιτευχθούν τα απαιτούμενα συμπεράσματα.

Βήμα 8^ο : Η κάθε μέθοδος που χρησιμοποιήθηκε απαιτεί διαφορετικές παραμέτρους εισόδου και δίνει διαφορετικές παραμέτρους εξόδου. Τα αποτελέσματα κάθε μεθόδου για τις ίδιες παραμέτρους σε κάθε πλαίσιο δεν διαφέρουν μεταξύ τους .

Βήμα 9^ο : Οι παράμετροι που προκύπτουν ως αποτελέσματα των μεθόδων που χρησιμοποιήθηκαν εισάγονται στο πρόγραμμα MATLAB για την εύρεση της χαρακτηριστικής καμπύλης I-V του κάθε πλαισίου της Rs και Rsh.

Βήμα 10^ο : Με βάση την χαρακτηριστική καμπύλη του κάθε Φ/Β πλαισίου βρίσκεται το είδος της γήρανσης που το επηρεάζει περισσότερο.

Τα παραπάνω βήματα τα οποία θεωρούνται μια διαδικασία επαναλαμβάνονται για κάθε Φ/Β πλαίσιο .

5.5 Αποτελέσματα πειράματος :Στον εργαστηριακό χώρο υπάρχουν δέκα Φ/Β πλαίσια εικοσαετίας και ένα πενταετίας. Λόγω του ότι τα δέκα Φ/Β τα οποία εξετάστηκαν είναι εικοσαετίας είναι αναμενόμενο πως θα έχουν σημάδια γήρανσης . Τα Φ/Β πλαίσια παρουσιάζουν διαφορετικά σημάδια γήρανσης και κάποια έχουν και πάνω από ένα δηλαδή έχουν μεικτά σημάδια γήρανσης.

Με την οπτική παρακολούθηση προσδιορίστηκαν τα εξής σημάδια γήρανσης :

- 1) Hotspots τα οποία δημιουργήθηκαν από ακαθαρσίες πτηνών
- 2) Φουσκάλες (bubbles) οι οποίες δημιουργήθηκαν από υψηλή θερμοκρασία
- 3) Οξείδωση λόγω EVA



5.5.1 Εικόνα. Ενεργειακή υποβάθμιση λόγω EVA.

4) Υποβάθμιση επικάλυψης AR λόγω πιθανής σκίασης των πλαισίων



5.5.2 Εικόνα .Ενεργειακή υποβάθμιση επικάλυψης AR λόγω πιθανής σκίασης των πλαισίων



5.5.3 Εικόνα .Ενεργειακή υποβάθμιση επικάλυψης AR λόγω πιθανής σκίασης των πλαισίων.

5) Υποβάθμιση της διεπαφής μεταξύ του κυττάρου και του ενθαλακωτικού.



5.5.4 Εικόνα. Ενεργειακή υποβάθμιση διεπαφής.

5.5 Όργανα μέτρησης της πειραματικής διαδικασίας

Τα όργανα μέτρησης του πειράματος για την εύρεση των χαρακτηριστικών καμπυλών I-V είναι:

- I-V tracer . Δίνει τις μετρήσεις του κάθε Φ/Β πλαισίου στον υπολογιστή με τον οποίο είναι συνδεδεμένος .Το ένα καλώδιο του συνδέεται στον θετικό πόλο του Φ/Β και το άλλο στην αρνητική του.



• πυρανόμετρο τοποθετημένο υπό κλίση ίση με της γεννήτριας και των Φ/Β πλαισίων.



- θερμοζεύγος για την εύρεση της θερμοκρασίας του Φ/Β πλαισίου. Το θερμοζεύγος πρέπει να τοποθετείται πάντα στην μέση του πλαισίου για την ακριβή θερμοκρασία του.



- πυρανόμετρο τοποθετημένο υπό κάθετη κλίση με της γεννήτριας και των Φ/Β πλαισίων



ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΜΕ ΔΙΑΦΟΡΕΣ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΕΣ

6.1 Μέθοδος 1

Η αναλυτική μέθοδος των πέντε σημείων ,Chan .

Αυτή η μέθοδος χρησιμοποιεί το μοντέλο διόδου για τα ηλιακά κύτταρα και μας δίνει την δυνατότητα να προσδιορίσουμε τις πέντε παραμέτρους: R_s, R_{sh}, I_o, I_{ph} , n και υπό συνθήκες που τα ηλιακά κύτταρα φωτίζονται χρησιμοποιώντας τις τιμές των I_{sc} , V_{oc} , I_m , V_m . Η κλίση σε ανοικτό-σημείο κυκλώματος R_{s0} και η κλίση σε σύντομο-σημείο κυκλώματος R_{sh0} δίνονται από τις εξισώσεις:

$$R_{sh} = R_{sh0} = -\left(\frac{dV}{dI}\right)_{I=I_{sc}} \quad (\text{σχέση 6.1.1})$$

$$R_{s0} = -\left(\frac{dV}{dI}\right)_{V=V_{oc}} \quad (\text{σχέση 6.1.2})$$

Οι δύο αυτές παράμετροι βρίσκονται με γραμμική προσαρμογή της I-V χαρακτηριστικής καμπύλης. Γύρω από το σημείο ρεύματος βραχυκύκλωσης και γύρω από το σημείο ανοικτής τάσης του κυκλώματος αντίστοιχα.

Ο παράγοντας ιδανικότητας της διόδου υπολογίζεται με βάση τις παραμέτρους A, B , C και την εξίσωση:

$$n = \frac{A}{V_t * (B+C)} \quad (\text{σχέση 6.1.3}) , \text{ όπου οι παράμετροι A, B , C υπολογίζονται :}$$

$$A = V_m + R_{s0} * I_m - V_{oc} \quad (\text{σχέση 6.1.4})$$

$$B = \ln \left(I_{sc} * \frac{V_m}{R_{sh}} * I_m \right) - \ln \left(I_{sc} - \frac{V_{oc}}{R_{sh}} \right) \quad (\text{σχέση 6.1.5})$$

$$C = \frac{I_m}{I_{sc} * \frac{V_{oc}}{R_{sh}}} \quad (\text{σχέση 6.1.6})$$

$$I_o = \left(I_{sc} * \frac{V_{oc}}{R_{sh}} \right) * \exp \left(-\frac{V_{oc}}{n * V_T} \right) \quad (\text{σχέση 6.1.7})$$

$$R_s = R_{s0} - \frac{n * V_T}{I_o} * \exp \left(-\frac{V_{oc}}{n * V_T} \right) \quad (\text{σχέση 6.1.8})$$

$$I_{ph} = I_{sc} * \left(1 + \frac{R_s}{R_{sh}} \right) + I_o * \left(\exp \left(\frac{I_{sc} * R_s}{n * V_T} \right) - 1 \right) \quad (\text{σχέση 6.1.9})$$

Η τιμή της παραμέτρου V_T βρίσκεται από τον τύπο $V_T = \frac{ns*k*T}{q}$ (σχέση 6.1.10)

Όπου,

$k=1.38*10^{-23}$ (σχέση 6.1.11)

$q=1.602*10^{-19}$ (σχέση 6.1.12)

$ns=36$

Η θερμοκρασία δεν είναι η ίδια κάθε φορά και διατίθεται ως εισερχόμενο δεδομένο στην διαδικασία μας.

Τα εισερχόμενα δεδομένα είναι:

Isc (A)	ρεύμα βραχυκύκλωσης
Voc (V)	τάση ανοιχτού κυκλώματος
Im (A)	μέγιστο ρεύμα
Vm (V)	μέγιστη τάση
T (K)	θερμοκρασία Φ/Β πλαισίου
Rs0 (Ω)	κλίση σε ανοιχτό σημείο κυκλώματος
Rsh0 (Ω)	κλίση σε αύντομο σημείο κυκλώματος

Τα αποτελέσματα που μας δίνει η μέθοδος είναι τα εξής:

Αποτελέσματα-Εξόδοι	
Rs(Ω)	αντίσταση σε σειρά
Rsh(Ω)	αντίσταση σε παράλληλη σύνδεση
n	παράγοντας ιδανικότητας της διόδου
Io (A)	ρεύμα σκότους της διόδου
Iph (A)	Φωτόρευμα
Vt	

Με εφαρμογή της μεθόδου στα πλαίσια:

Δεδομένα πλαισίου A		Δεδομένα πλαισίου B_v4		Δεδομένα πλαισίου D_v1	
Rs0	2,79 Ω	Rs0	2,69 Ω	Rs0	2,7473 Ω
Rsh0	57,97 Ω	Rsh0	42,88 Ω	Rsh0	24,8324 Ω
Im	2,949 A	Im	2,863 A	Im	2,712 A
Vm	12,38 V	Vm	11,62 V	Vm	11,19 V
Isc	3,608 A	Isc	3,690 A	Isc	3,462 A
Voc	19,49 V	Voc	19,84 V	Voc	19,32 V
T	320,3 K	T	315,7 K	T	317,4 K

Προκύπτουν οι τιμές των αντιστάσεων :

	Rs	Rsh
πλαίσιο A	3,1026 Ω	57,97 Ω
πλαίσιο B_v4	2,5056 Ω	42,88 Ω
πλαίσιο D_v1	2,5332 Ω	24,8324 Ω

6.2.ΜέθοδοςddI Gerald Kunz , Andreas Wagner

Η μέθοδος βασίζεται στον υπολογισμό της εσωτερικής αντίστασης σειράς R_s με μετρήσεις , η R_s καθορίζει τις εσωτερικές απώλειες καθώς και τις απώλειες που οφείλονται σε υποβαθμισμένες επαφές του Φ/Β. Καθώς χρησιμοποιεί δύο χαρακτηριστικές καμπύλες I-V διαφορετικών ακτινοβολιών αλλά ίδιου φάσματος και θερμοκρασίας παράμετροι που είναι απαραίτητοι να είναι ίδιοι σύμφωνα με το πρότυπο IEC 60891 . Για τα μονά κύτταρα και τις ενιαίες ενότητες η δεύτερη καμπύλη I-V έχει την δυνατότητα να ληφθεί με την κάλυψη του κυττάρου ή της μονάδας με ένα έντομο οθόνης . Στην περίπτωση που έχουμε μεγάλες Φ/Β γεννήτριες με αρκετά kW δεν έχουμε την δυνατότητα να εφαρμόσουμε την μέθοδο αυτή.

Λόγω του ότι η συγκεκριμένη μέθοδος χρησιμοποιεί δύο καμπύλες I-V χρησιμοποιεί τον όρο FF , συντελεστής πληρότητας , τον οποίο υπολογίζει από τα δεδομένα της μία I-V χαρακτηριστικής καμπύλης για να υπολογίσει τα αντίστοιχα δεδομένα της δεύτερης καμπύλης I-V. Σαν δεδομένα έχουμε τις παραμέτρους:

Δεδομένα	
Isc1 (A)	ρεύμα βραχυκλύκωσης
Voc1 (V)	τάση ανοιχτού κυκλώματος
I _{pmax1} (A)	μέγιστο ρεύμα
V _{pmax1} (V)	μέγιστη τάση

Αφού υπολογίσουμε την παράμετρο $FF = \frac{I_{pmax1} * V_{pmax1}}{I_{sc1} * V_{oc1}}$ (σχέση 6.2.1) την συγκρίνουμε με την τιμή 0,7 και αν είναι μεγαλύτερη ή ίση τότε η παράμετρος F_i είναι ίση με την FF εάν όμως η παράμετρος FF είναι μικρότερη τότε η παράμετρος F_i υπολογίζεται ως $F_i = 2,2e^{-09} * \exp(28 * FF)$. Η παράμετρος F_i είναι αυτή η οποία μας βρίσκει τα δεδομένα της δεύτερης καμπύλης I-V από τις παρακάτω εξισώσεις:

$$I_{sc2} = F_i * I_{sc1} \quad (\text{σχέση 6.2.2})$$

$$V_{oc2} = V_{oc1} \quad (\text{σχέση 6.2.3})$$

$$I_{pmax2} = F_i * I_{pmax1} \quad (\text{σχέση 6.2.4})$$

$$V_{pmax2} = V_{pmax1} \quad (\text{σχέση 6.2.5})$$

Για την εύρεση της αντίστασης R_s χρησιμοποιούμε τον τύπο:

$$R_s = \left(\frac{V_2 - V_1}{I_{sc1} - I_{sc2}} \right) \quad (\text{σχέση 6.2.6})$$

Για να βρούμε τις παραμέτρους V_2 και V_1 θα πρέπει να χρησιμοποιήσουμε μέσα στην μέθοδο μας και την μέθοδο 3I του Wagner με εισόδους:

Δεδομένα- Είσοδοι	
Isc1 (A)	ρεύμα βραχυκύκλωσης
Voc1 (V)	τάση ανοιχτού κυκλώματος
I _{pmax1} (A)	μέγιστο ρεύμα
V _{pmax1} (V)	μέγιστη τάση

έτσι ώστε να πάρουμε ως εξόδους τις παραμέτρους:

Έξοδοι		
M1	M2	παράμετρος
R _{pv1}	R _{pv2}	
I _{ph1} (A)	I _{ph2} (A)	φωτόρευμα
I _{o1} (A)	I _{o2} (A)	ρεύμα σκότους
V _{t1}	V _{t2}	

Στην συνέχεια με βάση τους τύπους:

$$V_1 = V_{t1} * \log\left(\frac{I_{ph1} - (I_{sc1} - DI) + I_{o1}}{I_{o1}}\right) - (I_{sc1} - DI) * R_{pv1} \quad (\text{σχέση 6.2.7})$$

Και

$$V_2 = V_{t2} * \log\left(\frac{I_{ph2} - (I_{sc2} - DI) + I_{o2}}{I_{o2}}\right) - (I_{sc2} - DI) * R_{pv2} \quad (\text{σχέση 6.2.8})$$

Βρίσκουμε τις παραμέτρους και τις εφαρμόζουμε στον τύπο της R_s για να πάρουμε την τιμή της.

Η συνάρτηση της μεθόδου σε γλώσσα MATLAB:

```
function [ FF , Fi , Isc2, Voc2 , Ipmax2 , Vpmax2 , Rs ] = methoddI( Isc1 , Voc1 ,  
Ipmax1 , Vpmax1 )
```

```
[ M1 ,Rpv1 , Iph1 , Io1 , Vt1] = method3I( Isc1 , Voc1 , Ipmax1 , Vpmax1 )
```

```
FF=Ipmax1*Vpmax1/(Isc1*Voc1)
```

```
if FF >= 0.7
```

```
    Fi=FF
```

```
else
```

```
    Fi=2.2e-09*exp(28*FF)
```

```
end
```

```
Isc2=Fi*Isc1
```

```
Voc2 =Voc1
```

```
Ipmax2 =Fi*Ipmax1
```

```
Vpmax2 =Vpmax1
```

```
DI=0.5*Isc2
```

```
[ M2 ,Rpv2 , Iph2 , Io2 , Vt2] = method3I( Isc2 , Voc2 , Ipmax2 , Vpmax2 )
```

```
V1=Vt1*log((Iph1-(Isc1-DI)+Io1)/Io1)-(Isc1-DI)*Rpv1
```

```
V2=Vt2*log((Iph2-(Isc2-DI)+Io2)/Io2)-(Isc2-DI)*Rpv2
```

```
Rs=(V2-V1/(Isc1-Isc2))
```

Έξοδοι	
FF	συντελεστής πληρότητας
fi	παράμετρος
Isc2 (A)	ρεύμα βραχυκύκλωσης
Voc2(V)	τάση ανοιχτού κυκλώματος
Ipmax2 (A)	μέγιστο ρεύμα
Vpmax2 (V)	μέγιστη τάση
Rs(Ω)	αντίσταση σε σειρά

Η συνάρτηση της μεθόδου σε γλώσσα MATLAB:

```
function [ Rs, Rsh, n, Io, Iph] = method1f(Rs0, Rsh0, Im, Vm, Isc, Voc, T)
```

```
k=1.38*10^(-23)
```

```
q=1.602 *10^(-19)
```

```
ns=36
```

```
Rsh=Rsh0;
```

```
Vt=ns*k*T/q
```

```
A=Vm+Rs0*Im-Voc
```

```
B=log(Isc-(Vm/Rsh)-Im)-log(Isc-Voc/ Rsh)
```

```
C=Im/(Isc-Voc/Rsh)
```

```
n=A/(Vt*(B+C))
```

```
Io=(Isc-Voc/Rsh)*exp(-Voc/(n*Vt))
```

```
Rs=Rs0-n*Vt/Io*exp(-Voc/(n*Vt))
```

```
Iph=Isc*(1+Rs/Rsh)+Io*(exp(Isc*Rs/(n*Vt))-1)
```

```
end
```

6.3 Μέθοδος 26

Η μέθοδος-περιοχή καθορίζει την αντίσταση σειράς R_s ενός ηλιακού κυττάρου , Araújo and Sánchez.

Στην μέθοδο αυτή χρησιμοποιήθηκε το μοντέλο μίας διόδου , η αντίσταση R_{sh} θεωρείται άπειρη και ο παράγοντας ιδανικότητας της διόδου είναι ίσος με την μονάδα.

Η συνάρτηση υπολογισμού της αντίστασης R_s είναι :

$$R_s = 2 * \left(\frac{V_{oc}}{I_{sc}} - \frac{A}{I_{sc}^2} - \frac{V_T}{I_{sc}} \right) \quad (\text{σχέση 6.3.1})$$

Δεδομένα	
I_{sc} (A)	ρεύμα βραχυκύκλωσης
V_{oc} (V)	τάση ανοιχτού κυκλώματος
I (A)	ρεύμα
V (V)	τάση
T (K)	θερμοκρασία Φ/Β πλαισίου

Οι τιμές των V_{oc} , I_{sc} και οι τιμές των πινάκων με δεδομένα τις I , V είναι δεδομένες καθώς βρίσκονται άμεσα από την χαρακτηριστική I - V καμπύλη . Το A είναι το εμβαδό κάτω από την χαρακτηριστική καμπύλη I - V και τα όρια της είναι οι τιμές των I_{sc} στον yy' άξονα και V_{oc} στον xx' άξονα . Για τον υπολογισμό του εμβαδού A χρησιμοποιούμε στο πρόγραμμα MATLAB μία συνάρτηση `if` η οποία τρέχει σε όλες τις τιμές του πίνακα I και V έτσι ώστε να συμπεριλάβει όλες τις τιμές και στην συνέχεια χρησιμοποιώντας τον τύπο $A = \frac{\beta \psi \cdot \psi_{\text{ψος}}}{2}$ και προσθέτοντας την τιμή του A κάθε φορά έχουμε το συνολικό εμβαδό της χαρακτηριστικής καμπύλης I - V .

Υπολογίσουμε και την τιμή της παραμέτρου V_T , $V_T = \frac{ns * k * T}{q}$ (σχέση 6.3.2)

Όπου : $k = 1.38 * 10^{-23}$ (σχέση 6.3.3)

$q = 1.602 * 10^{-19}$ (σχέση 6.3.4)

$ns = 36$

Η θερμοκρασία δεν είναι η ίδια κάθε φορά και διατίθεται ως εισερχόμενο δεδομένο στην διαδικασία μας.

Αφού βρούμε τις παραπάνω παραμέτρους βρίσκουμε την τιμή της R_s .

Έξοδοι	
R_s (Ω)	εν σειρά αντίσταση

Η συνάρτηση της μεθόδου 26 σε γλώσσα MATLAB:

```
function [Rs] = method26(I, V, Isc, Voc, T)
ns=36
k=1.38*10^(-23)
q=1.602*10^(-19)
Vt=ns*k*T/q
A=0;
for j=1:1:size(V,1)-1
    e=(I(j)+I(j+1))*(V(j+1)-V(j))/2;
    A=A+e;
end
```

$$R_s = 2 * ((V_{oc}/I_{sc}) - A/I_{sc}^2 - (V_t/I_{sc}))$$

Με εφαρμογή της μεθόδου στα πλαίσια:

Δεδομένα πλαισίου A		Δεδομένα πλαισίου B_v4		Δεδομένα πλαισίου D_v1	
I	-	I	-	I	-
V	-	V	-	V	-
Isc	3,608 A	Isc	3,690 A	Isc	3,462 A
Voc	19,49 V	Voc	19,84 V	Voc	19,32 V
T	320,3 K	T	315,7 K	T	317,4 K

Προκύπτουν οι τιμές της αντίστασης για τα πλαίσια :

Πλαίσια	R_s
πλαίσιο A	1,8916 Ω
πλαίσιο B_v4	2,4245 Ω
πλαίσιο D_v1	2,5216 Ω

6.4 Μέθοδος 3cc

Η μέθοδος 3cc είναι η απλή μέθοδος των παραμέτρων εκχύλισης για τον φωτισμό των ηλιακών κυττάρων , M.Chegaar , G.Azzouzi , P.Mialhe.

Σκοπός της μεθόδου είναι να γίνει αξιολόγηση της σειράς αντίστασης R_s , του παράγοντα ιδανικότητας n , του ρεύματος κορεσμού I_s και της αγωγιμότητας διακλάδωσης G_{sh} όταν τα ηλιακά κύτταρα φωτίζονται . Για την προσέγγιση μας αυτή χρησιμοποιούμε μία βοηθητική λειτουργία και έναν υπολογιστή – τοποθέτηση ρουτίνας εγκυρότητας . Η εγκυρότητα της μεθόδου έχει επαληθευτεί από τον τρόπο του ρεύματος και τις μετρήσεις της τάσης σε ένα ηλιακό κύτταρο εμπορικού πυριτίου , μια μονάδα και ένα πλαστικό ηλιακό κύτταρο.

Για την επαλήθευση όλων όσων έχει σκοπό η μέθοδος γίνεται η εύρεση των παραμέτρων R_s , n , I_s που θέλει να αξιολογήσει .

R_s = σειρά αντίστασης

N = παράγοντας ιδανικότητας

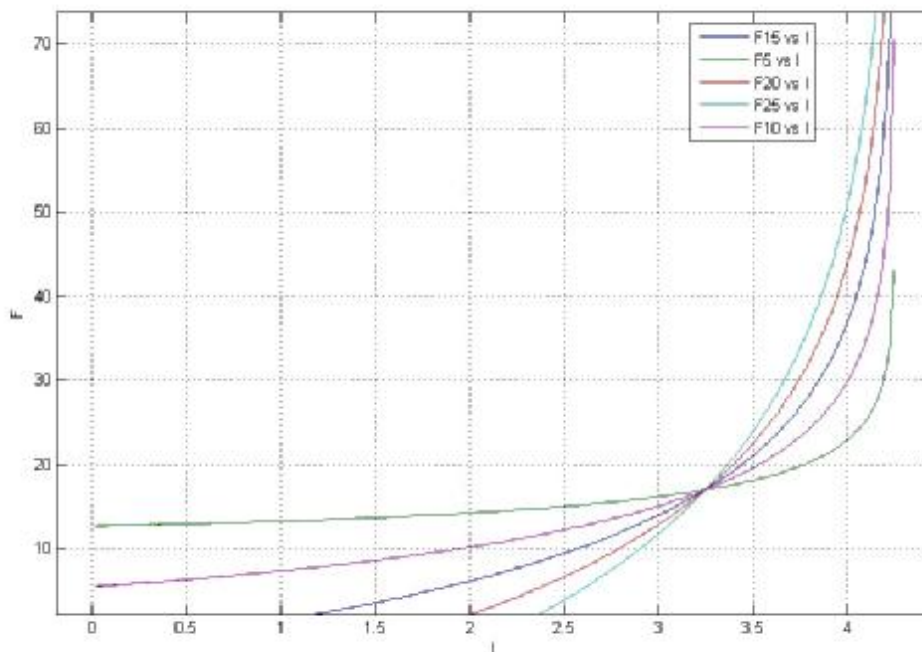
I_s = ρεύμα κορεσμού

G_{sh} = αγωγιμότητα διακλάδωσης όταν τα ηλιακά κύτταρα φωτίζονται.

Ο τύπος για την εύρεση της τιμής της αγωγιμότητας διακλάδωσης είναι ο εξής:

$G_{sh} = 1/R_{sh}$ (σχέση 6.4.1) , την τιμή της R_{sh} την βρίσκουμε από την χαρακτηριστική καμπύλη I-V.

Στην συνέχεια για να βρεθούν οι τιμές των R_s , n και I_s χρησιμοποιείται η παράμετρος F η οποία είναι ανάλογη με την αυθαίρετη τιμή της τάσης που ονομάζεται V_a και παίρνει τιμές 5,10,15 , η εξίσωση της περιλαμβάνει και τις τρεις ζητούμενες τιμές. Στα Φ/Β πλαίσια του πειράματος χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος με $V_a=25$ V γιατί ήταν η μόνη τιμή που ταίριαζε.



6.4.1 Διάγραμμα: Οι πιθανές τιμές της αυθαίρετης τιμής της τάσης για να βρεθεί η κατάλληλη για την μέθοδο στο παρόν πείραμα. Το Φ/Β πλαίσιο που χρησιμοποιήθηκε για το διάγραμμα είναι το πλαίσιο F .

Με βάση το διάγραμμα 6.4.1 επιλέγεται η τιμή της αυθαίρετης τιμής της τάσης η οποία θα είναι $V_a=25\text{ V}$ καθώς είναι η μόνη τιμή που έχει ομαλή ευθεία και δίνει την μέγιστη τιμή του ρεύματος σε σχέση με τις άλλες αυθαίρετες τιμές .

Η μέθοδος 3cc έχει δύο σκέλη.

Αρχικά με εισόδους:

Δεδομένα	
I_{sc} (A)	ρεύμα βραχυκύκλωσης
I (A)	ρεύμα
V (V)	τάση
V_a (V)	αυθαίρετη τιμή τάσης

Όπου I_{sc} η μεγαλύτερη τιμή ρεύματος που υπάρχει στον πίνακα I.

Με βάση την συνάρτηση όπου η F είναι ίση με:

$$F(I) = -R_s * I + \left(\frac{n}{\beta} - V_a\right) * \ln(I_{ph} - I) - \frac{n}{\beta} * \ln I_s \quad (\text{σχέση 6.4.2})$$

Σε μία πιο απλή μορφή έχουμε:

$$F(I) = a * I + b * \log(I_{ph} - I) + c \quad (\text{σχέση 6.4.3})$$

Ουσιαστικά γίνεται χρήση του τύπου :

$$F25(j,1) = V(j,1) - V_a * \log(I_{ph} - I(j,1)) \quad (6.4.4) \text{ με βήμα 1 για όλο τον πίνακα V και}$$

υπολογίζουμε ένα πίνακα F25 και στην συνέχεια με curvfitting στο πρόγραμμα MATLAB στον άξονα xx'=I και yy'=F25 παίρνουμε μία γραφική παράσταση, στην συνέχεια διαλέγουμε εμείς την ευθεία που θα περνάει από την καμπύλη μας με το custom equation δημιουργούμε εμείς την ευθεία μας στην ήδη υπάρχουσα καμπύλη μας (I,F) η οποία είναι: $f(x) = a * x + b * \log(I_{sc} - x) + c$ και με βάση την εξίσωση αυτή το curvfitting μας δίνει τις τιμές των παραμέτρων a,b,c.

Τις τιμές των a,b,c τις χρησιμοποιούμε σαν είσοδο στο δεύτερο σκέλος της μεθόδου 3cc

Είσοδοι	
a	
b	
c	
T (K)	θερμοκρασία Φ/Β πλαισίου
Va (V)	αυθαίρετη τιμή τάσης

Και με βάση τις εξισώσεις :

$$A = -R_s \Rightarrow R_s = -a \quad (\text{σχέση 6.4.5})$$

$$B = \frac{n}{\beta} - V_a \Rightarrow n = (b + V_a) * \beta \quad (\text{σχέση 6.4.6})$$

$$C = \frac{n}{\beta} * \ln I_s \Rightarrow I_s = e^{\left(\frac{-\beta * c}{n}\right)} \quad (\text{σχέση 6.4.7})$$

$$\beta = \frac{q}{k * T}, \quad (\text{σχέση 6.4.8})$$

$$q = 1,60218 \times 10^{-19} \text{ coulomb}$$

$$K = 1,38066 \times 10^{-23} \text{ J/K}$$

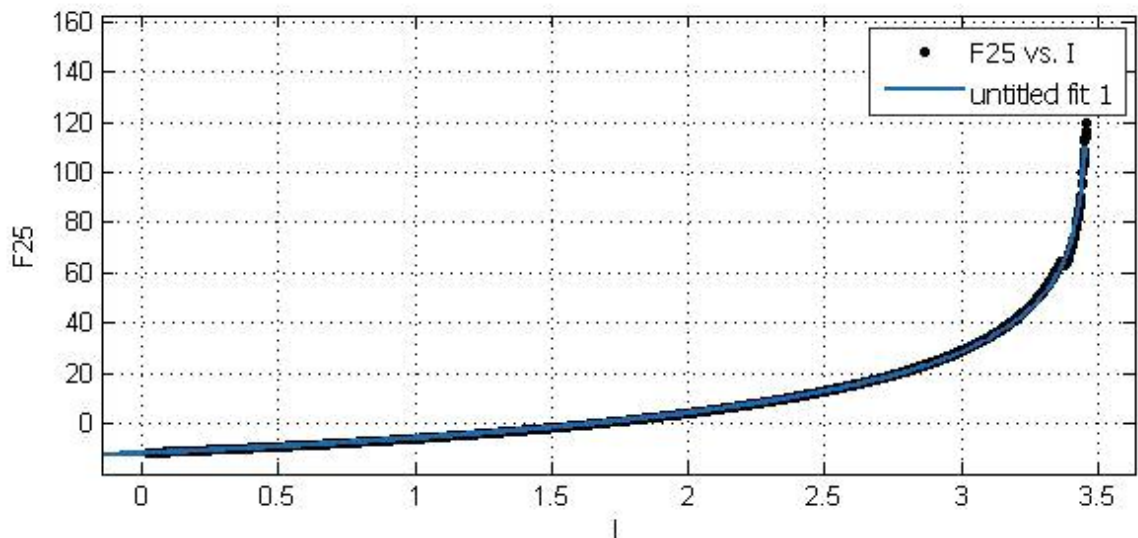
Λύνοντας τις εξισώσεις με βάση τους αγνώστους :

$$N = (b + V_a) * \beta \quad (\text{σχέση 6.4.9})$$

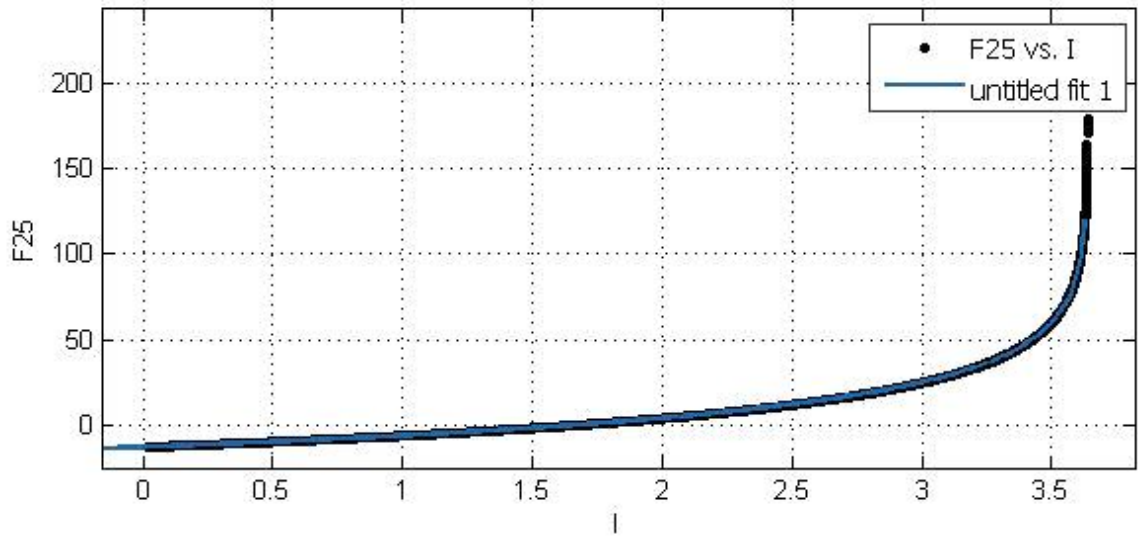
$$I_s = e^{\left(\frac{-\beta * c}{n}\right)} \quad (\text{σχέση 6.4.10})$$

$$R_s = -a \quad (\text{σχέση 6.4.11})$$

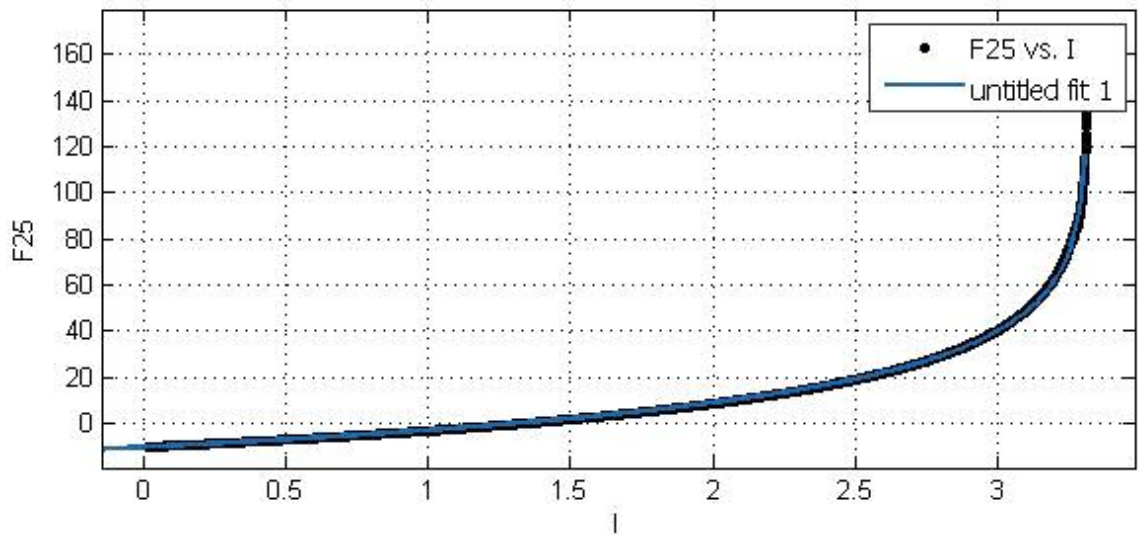
Έξοδοι	
Rs (Ω)	εν σειρά αντίσταση
n	παράγοντας ιδανικότητας
Is (A)	ρεύμα κορεσμού



6.4.2 Διάγραμμα: Με βάση την παραπάνω διαδικασία στο MATLAB για το πλαίσιο D_v1 για $V_a=25\text{ V}$.



6.4.3 Διάγραμμα : Με βάση την παραπάνω διαδικασία στο MATLAB για το πλαίσιο C_v1 για $V_a=25$ V .



6.4.4 Διάγραμμα: Με βάση την παραπάνω διαδικασία στο MATLAB για το πλαίσιο G_v3 για $V_a=25$ V .

Η συνάρτηση της μεθόδου σε γλώσσα MATLAB:

Σκέλος 1:

```
function [F25] = method3cc(Isc, I, V, Va)
Iph=Isc;
```

```
k=1.38066*10(-23)
q=1.60218*10(-19)
n=36
```

```
for j=1:size(V,1)
```

```
F25(j,1)=V(j,1)-Va*log(Iph-I(j,1));
```

```
end
```

Σκέλος 2:

```
function [Rs,n,Is] = method3cc2(a,b,c,T,Va)
```

```
k=1.38066*10(-23)
q=1.60218*10(-19)
ns=36
b1=q/(ns*k*T)
```

```
Rs=-a;
n=(b+Va)*b1;
Is=exp(-(c+b1)/n);
```

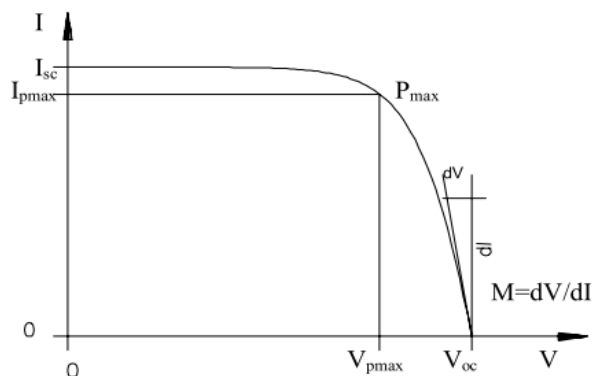
6.5 Μέθοδος method3I και method3IM Andreas Wagner

Η μέθοδος αναφέρεται στον προσδιορισμό του ελέγχου της ποιότητας των Φ/Β μονάδων και για τον προσδιορισμό αυτό περιλαμβάνει την μέτρηση της μέγιστης δύναμης P_{pk} και της εσωτερικής αντίστασης σε σειρά R_s . Η P_{pk} είναι η μέγιστη ισχύς που μπορεί να υπάρξει σε κανονικές συνθήκες δοκιμής (STC). Ο έλεγχος της ποιότητας πρέπει να γίνει συνεχής στις εγκαταστάσεις και θα πρέπει να υλοποιείται υπό φυσιολογικές συνθήκες λόγω του ότι η μέγιστη δύναμη μπορεί να μειωθεί λόγω των επιδράσεων υποβάθμισης. Ο λόγος μέτρησης της εσωτερικής αντίστασης R_s είναι για τον προσδιορισμό των απωλειών στις Φ/Β εγκαταστάσεις καθώς περιγράφει τις απώλειες του συστήματος. Όσο μεγαλύτερη είναι η τιμή της αντίστασης R_s τόσο πιο εύκολα γίνονται αντιληπτές οι εσωτερικές απώλειες και οι επαφές που έχουν υποστεί υποβάθμιση.

Η μέθοδος μέτρησης η οποία χρησιμοποιείται κάνει μετρήσεις υπό φυσικές συνθήκες περιβάλλοντος οι οποίες μπορούν να διορθωθούν σε σχέση με την ακτινοβολία και την θερμοκρασία και αυτό μπορεί να επιτευχθεί με το πρότυπο IEC. Η μέθοδος “αποτελεσματικά χαρακτηριστικά του ηλιακού κυττάρου” μας δίνει την δυνατότητα του υπολογισμού της δύναμης P_{pk} και το πρότυπο IEC 60891 μπορεί να υπολογίζει την αντίσταση σε σειρά R_s με μία μέθοδο που παραθέτει. Για να γίνει προσδιορισμός της αντίστασης σε σειρά πρέπει να προσδιοριστούν αρχικά ορισμένα σημεία στην καμπύλη I-V, σημεία που ανήκουν σε μία είσοδο και αυτό γίνεται με μία γραφική μέθοδο. Το ποσοστό ακρίβειας της γραφικής αυτής μεθόδου εξαρτάται από τα γραφικά σημεία. Η μέθοδος “αποτελεσματικά χαρακτηριστικά του ηλιακού κυττάρου” έχει την δυνατότητα να υπολογίσει τα σημεία της I-V χαρακτηριστικής καμπύλης που είναι χρήσιμα καθώς και του υπολογισμού της αντίστασης σε σειρά R_s και της μέγιστης δύναμης P_{pk} υπό φυσικές συνθήκες.

Μία μέθοδος υπολογισμού για τον υπολογισμό των προβλημάτων έχει τις εξής απαιτήσεις για την διεκπερέωση της:

- Καθορισμός του ρεύματος – τάσης – χαρακτηριστικής εξίσωσης
- Καθορισμός των παραμέτρων της χαρακτηριστικής εξίσωσης από παραμέτρους μετρήσιμες I_{sc} , V_{oc} , I_{pmax} , V_{pmax}
- Ο βαθμός ακρίβειας της προσέγγισης εντός της περιοχής του βαθμού ακρίβειας της μεθόδου μέτρησης να είναι στο 1%



6.5.1 Διάγραμμα :Χαρακτηριστική καμπύλη I-V ενός υγιούς Φ/Β συστήματος , έχει πάνω συμβολισμούς για την εύρεση των παραμέτρων της μεθόδου.

Η παράμετρος M εξαρτάται από :

$$M=f(I_{sc} , V_{oc} , I_{prmax} , V_{prmax})$$

Η μέθοδος έχει δύο σκέλη , στο ένα το M θεωρείται δεδομένο και στο άλλο το M θεωρείται ζητούμενο.

Α)Στην περίπτωση που το M θεωρείται ζητούμενο η μέθοδος έχει σκοπό την εύρεση των παραμέτρων M , Rpn , Iph , Vt , Io και έχει ως δεδομένα εισόδου τις τιμές των παραμέτρων Isc , Voc , Iprmax , Vprmax .

Δεδομένα	
Isc (A)	ρεύμα βραχυκύκλωσης
Voc (V)	τάση ανοιχτού κυκλώματος
Iprmax2 (A)	μέγιστο ρεύμα
Vprmax2 (V)	μέγιστη τάση

Για την εύρεση των παραπάνω παραμέτρων χρησιμοποιούμε τις εξής εξισώσεις:

$$M = \frac{V_{oc}}{I_{sc}} * (k_1 * \left(\frac{I_{prmax} * V_{prmax}}{I_{sc} * V_{oc}} \right) + k_2 * \frac{V_{prmax}}{V_{oc}} + k_3 * \frac{I_{prmax}}{I_{sc}} + k_4) \quad (\sigma\chi\acute{\epsilon}\sigma\eta \ 6.5.1)$$

$$R_{pv} = -M * \left(\frac{I_{sc}}{I_{pmax}} \right) + \left(\frac{V_{pmax}}{I_{pmax}} \right) * \left(1 - \frac{I_{sc}}{I_{pmax}} \right)$$

(σχέση 6.5.2)

$$I_{ph} = I_{sc}$$

(σχέση 6.5.3)

$$V_t = -(M + R_{pv}) * I_{sc}$$

(σχέση 6.5.4)

$$I_o = I_{sc} * \exp(-V_{oc}/V_t)$$

(σχέση 6.5.5)

Όπου οι τιμές των k δίνονται σαν δεδομένα της μεθόδου με τις παρακάτω τιμές:

$$k1=-5,411$$

$$k2=6,450$$

$$k3=3,417$$

$$k4=-4,422$$

Η συνάρτηση της μεθόδου σε γλώσσα MATLAB:

function [M ,Rpv , Iph , Io , Vt] = method3I(Isc , Voc , Ipmax , Vpmax)

$$k1=-5.411 ;$$

$$k2=6.450 ;$$

$$k3=3.417 ;$$

$$k4=-4.422 ;$$

$$M=Voc/Isc*(k1*((Ipmax*Vpmax)/(Isc*Voc))+k2*Vpmax/Voc+k3*Ipmax/Isc+k4)$$

$$Rpv=-M*(Isc/Ipmax)+(Vpmax/Ipmax)*(1-Isc/Ipmax)$$

$$Iph=Isc$$

$$Vt=-(M+Rpv)*Isc$$

$$Io=Isc*\exp(-Voc/Vt)$$

method3I	
M	-1,3927 V/A
R _{pv}	0,6035 Ω
I _{ph}	3,0760 A
V _t	2,4274 V
I _o	8,75E-04 A=8,75 mA

B) Στην περίπτωση που το M θεωρείται δεδομένο η μέθοδος έχει σκοπό της εύρεση των παραμέτρων R_{pv} , I_{ph} , V_t , I_o και έχει ως δεδομένα εισόδου τις τιμές των παραμέτρων I_{sc} , V_{oc} , I_{pmax} , V_{pmax} , M=R_{s0}

Η R_{s0} στο συγκεκριμένο πείραμα είναι ίση με 1,60 V/A.

Για την εύρεση των παραπάνω παραμέτρων χρησιμοποιούμε της εξής εξισώσεις:

$$R_{pv} = -M * \left(\frac{I_{sc}}{I_{pmax}} \right) + \left(\frac{V_{pmax}}{I_{pmax}} \right) * \left(1 - \frac{I_{sc}}{I_{pmax}} \right)$$

(σχέση 6.5.6)

$$I_{ph} = I_{sc} \quad \text{(σχέση 6.5.7)}$$

$$V_t = -(M + R_{pv}) * I_{sc} \quad \text{(σχέση 6.5.8)}$$

$$I_o = I_{sc} * \exp \left(-\frac{V_{oc}}{V_t} \right) \quad \text{(σχέση 6.5.9)}$$

Όπου οι τιμές των k δίνονται σαν δεδομένα της μεθόδου με τις παρακάτω τιμές:

$$k1 = -5,411$$

$$k2 = 6,450$$

$$k3 = 3,417$$

$$k4 = -4,422$$

Η συνάρτηση της μεθόδου σε γλώσσα MATLAB:

```
function [ Rpv , Iph , Io , Vt] = method3IM( Isc , Voc , Ipvmax , Vpvmax )
```

```
k1=-5.411 ;  
k2=6.450 ;  
k3=3.417 ;  
k4=-4.422 ;
```

```
M=1.6
```

```
Rpv=-M*(Isc/Ipvmax)+(Vpvmax/Ipvmax)*(1-Isc/ Ipvmax)
```

```
Iph=Isc
```

```
Vt=-(M+Rpv)*Isc
```

```
Io= Isc*exp(-Voc/Vt)
```

method3IM	
M	1,6 V/A
Rpv	-2,9784 Ω
Iph	3,076 A
Vt	4,2398 V
Io	0,0287 A =2,87 mA

6.5 Μέθοδος 18

Η μέθοδος εφευρέθηκε από τους Jia και Anderson.

Επιτρέπει τον προσδιορισμό της αντίστασης σε σειρά και τον παράγοντα ιδανικότητας της διόδου.

Στην μέθοδο αυτή το n , παράγοντας ιδανικότητας της διόδου , θεωρείται μεταβλητό στην I-V χαρακτηριστική καμπύλη .

Σε Voc το $n=1$ και σε Isc $n=2$. Το μοντέλο της μία διόδου χρησιμοποιεί τα ηλιακά κύτταρα που φωτίζονται. Η αντίσταση σε σειρά υπολογίζεται από:

$$R_s = \frac{(V_m * (1/V_t)) * (I_{sc} - I_m) * (V_{oc} + V_t * \log(1 - (I_m/I_{sc}))) - I_m}{(I_m * (1/V_t)) * (I_{sc} - I_m) * (V_{oc} + V_t * \log(1 - (I_m/I_{sc}))) + I_m} \quad (\text{σχέση 6.6.1})$$

Με τις προϋποθέσεις πως : $I_{ph} = I_{sc}$, η R_{sh} είναι άπειρη και $I_{sc} > I_o$.

Η τιμή του συντελεστή ιδανικότητας της διόδου στο σημείο μέγιστης ισχύος υπολογίζεται από:

$$n = \frac{V_m + I_m * R_s}{V_{oc} + V_t * \log\left(\frac{I_m}{I_{sc}}\right)} \quad (\text{σχέση 6.6.2})$$

Σαν δεδομένα της μεθόδου έχουμε τις παραμέτρους I_{sc} , V_{oc} , V_m , I_m , T .

Για την εύρεση των παραμέτρων μας θα χρησιμοποιήσουμε τις εξής εξισώσεις:

Η τιμή της παραμέτρου βρίσκεται από τον τύπο

$$\text{Όπου : } k = 1.38 * 10^{-23} \quad (\text{σχέση 6.6.3})$$

$$q = 1.602 * 10^{-19} \quad (\text{σχέση 6.6.4})$$

$$n_s = 36$$

Η θερμοκρασία δεν είναι η ίδια κάθε φορά και διατίθεται ως εισερχόμενο δεδομένο στην διαδικασία μας.

Τα εισερχόμενα δεδομένα είναι:

I_{sc}	3,076 A
V_{oc}	19,82 V
I_m	2,57 A
V_m	13,88 V
T	313,8 K

Τα αποτελέσματα που έδωσε η μέθοδος είναι τα εξής:

method 18	
R_s	4,7849
n	1,4492
V_t	0,9731

Η συνάρτηση της μεθόδου σε γλώσσα MATLAB:

```
function [ Rs, n ] = method18f( Isc,Voc,Vm,Im, T)
ns=36
k=1.38*10^(-23)
q=1.602*10^(-19)
Vt=ns*k*T/q
Rs=(Vm*(1/Vt)*(Isc-Im)*(Voc+Vt*log(1-(Im/Isc)))-Im)/(Im*(1/Vt)*(Isc-
Im)*(Voc+Vt*log(1-(Im/Isc)))+Im);
n =(Vm+Im*Rs)/(Voc+Vt*log((Isc-Im)/Isc))

end
```

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΣΥΖΗΤΗΣΗΣ

Στα προηγούμενα κεφάλαια περιγράφηκαν τα πειράματα για την μελέτη της χαρακτηριστικής καμπύλης I-V στα πλαίσια A, B_v4 , C_v1 ,D_v1 , E_v1 , G_v3 , H_v1 , L_v1 και SW.

τα οποία έχουν λειτουργήσει τα εννέα επί είκοσι δύο έτη και το ένα επί πέντε έτη. Τα εννέα έχουν έτος κατασκευής το 1994 και είναι SIEMENS SM55 και το ένα έχει έτος κατασκευής το 2011 και είναι SOLARWORLD SW80 .

Στη συνέχεια στο κεφάλαιο 7 δόθηκαν τα αποτελέσματα των χαρακτηριστικών καμπυλών I-V τα οποία υπολογίστηκαν με βάση το λογισμικό που αναπτύχθηκε στο πρόγραμμα MATLAB και μάλιστα για την ορθή ανάλυση των αποτελεσμάτων χρειάστηκε να γίνει η αναγωγή σε συνθήκες STC , σε κανονικές συνθήκες, στο κεφάλαιο 8. Οι μέθοδοι οι οποίοι χρησιμοποιήθηκαν στο λογισμικό του προγράμματος MATLAB αναλύονται στο κεφάλαιο 6.

Από τα αποτελέσματα προέκυψαν διαφορετικοί παράγοντες γήρανσης οι οποίοι τελικά επηρεάζουν το σχήμα της χαρακτηριστικής καμπύλης I-V του κάθε Φ/B πλαισίου. Δηλαδή στην περίπτωση του πλαισίου A ότι η τιμή της ωμικής αντίστασης Rsh ήταν μικρότερης τιμής της αναμενόμενης τιμής των 200 Ω. Προέκυψε ότι η Rsh μειώθηκε και η Rs αυξήθηκε καθώς τα έτη λειτουργίας αυξάνονται. Με τα χρόνια διαπιστώθηκε η αύξηση η οποία προκαλεί μείωση της αποδιδόμενης ισχύος στο μέγιστο.

Η σχετική μείωση αυτή της ισχύος $\delta P_m/P_m$ θεωρείται ενδεικτικά στοιχείο του βαθμού γήρανσης , κατά μέσο όρο είναι 1 % ετησίως.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8
ΣΥΖΗΤΗΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΠΕΙΡΑΜΑΤΩΝ



8.1^α Εικόνα. Τα Φ/Β πλαίσια A,B_v4 , C_v1,D_v1,E_v1,G_v3,H_v1,F



8.1β. Εικόνα. Το Φ/Β πλαίσιο L_v1



8.1γ. Εικόνα. Τα Φ/Β πλαίσια SW-KEK και B2K_v1

ΠΛΑΙΣΙΟ Α:

Το Φ/Β πλαίσιο Α έχει έτος κατασκευής και λειτουργίας το 1994 , κατασκευάστηκε από την εταιρεία SIEMENS και είναι μοντέλο SM55. Η ισχύς αιχμής σε S.T.C. =55Wp.

Φαινόμενα γήρανσης : Οπτικά εμφανίζεται σε είκοσι κελιά μικρή υποβάθμιση στο EVA και σε τέσσερα κελιά μικρή υποβάθμιση στο ARC όπως δείχνει η φωτογραφία 8.1.

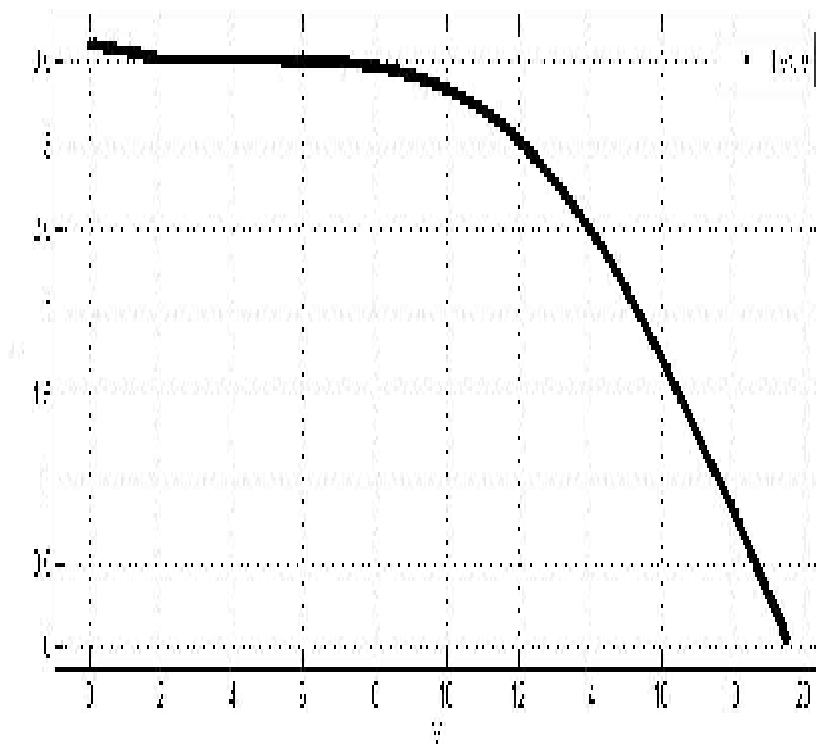
Η ανάλυση της χαρακτηριστικής καμπύλης, $i-V$, που ελήφθη σε συνθήκες περιβάλλοντος στο εργαστήριο των Α.ΠΕ. έδωσε τα εξής αποτελέσματα :

Αποτελέσματα ανάλυσης της $i-V$	
Isc	3,608 A
Voc	19,49 V
Im	2,949 A
Vm	12,38 V
Pm	36,51 W
I_T	1150 W/m ²
T_{pv}	320,3 K

Πίνακας 8.1 Αποτελέσματα που προέκυψαν από την ανάλυση της χαρακτηριστικής καμπύλης $I-V$.

ΟΙ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΕΣ ΤΙΜΕΣ ΣΕ S.T.C. ΑΠΟ ΤΟΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΗ	
Isc(A)	3,45
Voc(V)	21,7
Im(A)	3,15
Vm(V)	17,4
Pm(Wp)	55

Πίνακας 8.1.α Χαρακτηριστικές τιμές του κατασκευαστή σε συνθήκες S.T.C.



8.1.1 Σχήμα. Χαρακτηριστική καμπύλη I-V του πλαισίου A

8.1 Εικόνα. Το Φ/Β πλαίσιο A δείχνει σημάδια υποβάθμισης του EVA και του ARC.



8.1 Εικόνα. Το Φ/Β πλαίσιο A στο οποίο φαίνονται χαρακτηριστικά σημεία υποβάθμισης του EVA και του ARC.

ΠΛΑΙΣΙΟ B_v4:

Το Φ/Β πλαίσιο B_v4 έχει έτος κατασκευής και λειτουργίας το 1994 , κατασκευάστηκε από την εταιρεία SIEMENS και είναι μοντέλο SM55. Η ισχύς αιχμής σε S.T.C. =55 Wp.

Φαινόμενα γήρανσης :Οπτικά ένα κελί εμφανίζει μεγάλη υποβάθμιση στο EVA με μείωση της διαπερατότητας στην ηλιακή ακτινοβολία λόγω του αποχρωματισμού , μεγάλη οξείδωση στο busbar με υποβάθμιση του ημιαγωγού στην περιοχή του busbar με αποτέλεσμα την αποκόλληση. Σχήσιμο στο tedlar στο πίσω μέρος όπως δείχνει η φωτογραφία 8.2.3 το οποίο επιτρέπει στην υγρασία να εισέλθει στο σύστημα , γεγονός το οποίο δημιουργεί οξειδώσεις. Τρία κελιά έμφανίζουν μικρή υποβάθμιση στην επαφή EVA .

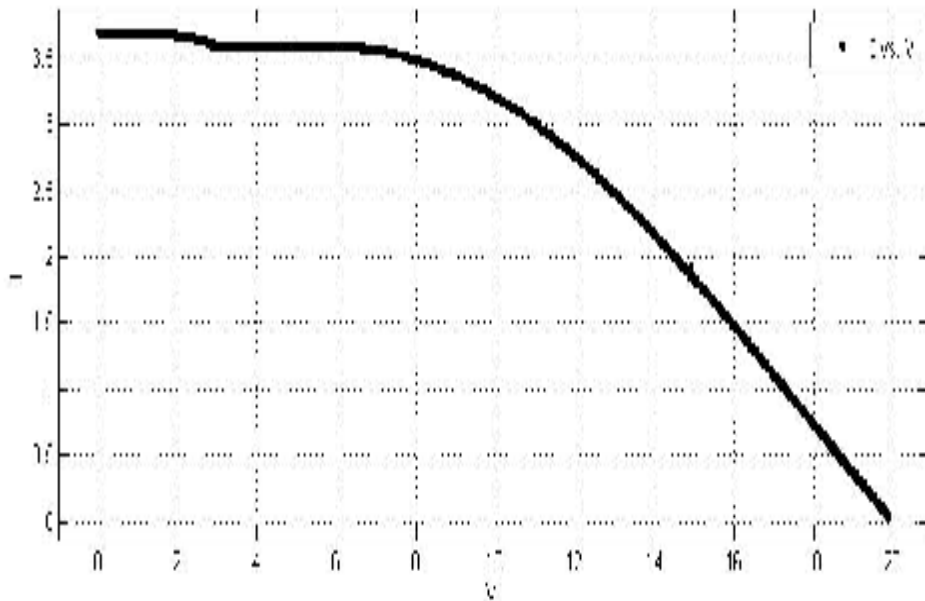
Η ανάλυση της χαρακτηριστικής καμπύλης, i-V, που ελήφθη σε συνθήκες περιβάλλοντος στο εργαστήριο των Α.ΠΕ. έδωσε τα εξής αποτελέσματα .

Αποτελέσματα ανάλυσης της i-V	
Isc	3,690 A
Voc	19,84 V
Im	2,863 A
Vm	11,62 V
Pm	33,26 W
It	1175 W/m ²
Trn	315,7 K

8.2 Πίνακας.Τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την ανάλυση της χαρακτηριστικής καμπύλης I-V .

ΟΙ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΕΣ ΤΙΜΕΣ ΣΕ S.T.C. ΑΠΟ ΤΟΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΗ	
Isc(A)	3,45
Voc(V)	21,7
Im(A)	3,15
Vm(V)	17,4
Pm(Wp)	55

8.2.α Πίνακας. Οι χαρακτηριστικές τιμές του κατασκευαστή σε συνθήκες S.T.C



8.1.2 Σχήμα. Χαρακτηριστική καμπύλη I-V του πλαισίου B_v4.

8.2.1 , 8.2.2 και 8.2.3 Εικόνες. Τα σημάδια γήρανσης του Φ/B πλαισίου λόγω αποκόλλησης , σχισσίματος του tedlar , οξείδωσης και ARC.



8.2.1 Εικόνα .Το Φ/B πλαίσιο B_v4 στο οποίο φαίνονται χαρακτηριστικά σημεία υποβάθμισης του ARC και της οξείδωσης στο busbar η οποία δημιουργεί αποκόλληση.



8.2.2 Εικόνα .Το Φ/Β πλαίσιο B_v4 στο οποίο φαίνονται χαρακτηριστικά σημεία υποβάθμισης του ARC



8.2.3 Εικόνα.Το Φ/Β πλαίσιο B_v4 στο οποίο φαίνεται το σημείο στο οποίο υπάρχει σχήσιμο στο πίσω μέρος του πλαισίου,στο tedlar.

ΠΛΑΙΣΙΟ C_v1:

Το Φ/Β πλαίσιο C_v1 έχει έτος κατασκευής και λειτουργίας το 1994 , κατασκευάστηκε από την εταιρεία SIEMENS και είναι μοντέλο SM55. Η ισχύς αιχμής σε S.T.C. =55 Wp.

Φαινόμενα γήρανσης: Οπτικά δέκα κελιά εμφανίζουν μεγάλη οξείδωση στο busbar με υποβάθμιση του ημιαγωγού στην περιοχή του busbar με αποτέλεσμα την αποκόλληση. Έξι κελιά εμφανίζουν πολύ μικρή υποβάθμιση στο EVA όπως δείχνει η φωτογραφία 8.3.1.

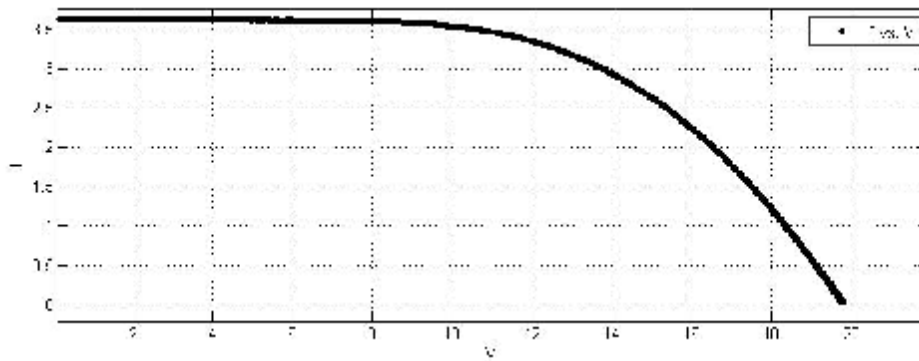
Η ανάλυση της χαρακτηριστικής καμπύλης, i-V, που ελήφθη σε συνθήκες περιβάλλοντος στο εργαστήριο των Α.ΠΕ. έδωσε τα εξής αποτελέσματα:

Αποτελέσματα ανάλυσης της i-V	
Isc	3,637 A
Voc	19,76 Ω
Im	3,073 A
Vm	13,52 Ω
Pm	33,26 W
It	1175 W/m ²
Trv	317,5 K

8.3 Πίνακας .Τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την ανάλυση της χαρακτηριστικής καμπύλης I-V .

ΟΙ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΕΣ ΤΙΜΕΣ ΣΕ S.T.C. ΑΠΟ ΤΟΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΗ	
Isc(A)	3,45
Voc(V)	21,7
Im(A)	3,15
Vm(V)	17,4
Pm(Wp)	55

8.3.α.Πίνακας.Χαρακτηριστικές τιμές του κατασκευαστή σε συνθήκες S.T.C



8.1.3 Σχήμα . Χαρακτηριστική καμπύλη I-V του πλαισίου C_v1

8.3 Εικόνα . Πλαίσιο C_v1 , υποβάθμιση στο EVA.



8.3.1 Εικόνα: Το Φ/Β πλαίσιο C_v1 στο οποίο φαίνεται το σημείο στο οποίο υπάρχει υποβάθμιση στο ARC και υποβάθμιση EVA .

ΠΛΑΙΣΙΟ D_v1:

Το Φ/Β πλαίσιο D_v1 έχει έτος κατασκευής και λειτουργίας το 1994 , κατασκευάστηκε από την εταιρεία SIEMENS και είναι μοντέλο SM55. Η ισχύς αιχμής σε S.T.C. =55 Wp.

Φαινόμενα γήρανσης :Οπτικά ένα κελί εμφανίζει μεγάλη υποβάθμιση στο ARC με μείωση της ανακλαστικότητας λόγω του έντονου μπλε χρώματος όπως δείχνει η φωτογραφία 8.4.2 , δέκα κελιά μικρή υποβάθμιση στο ARC , ένα κελί έχει υποστεί μεγάλη υποβάθμιση στο EVAόπως δείχνει η φωτογραφία 8.4.1 με μείωση της διαπερατότητας στην ηλιακή ακτινοβολία λόγω του αποχρωματισμού από διαφανές σε καφέ χρώμα και οξειδωση όπως δείχνει η φωτογραφία 8.4.1 και οκτώ κελιάέχουν υποστεί μικρή υποβάθμιση στο EVA.

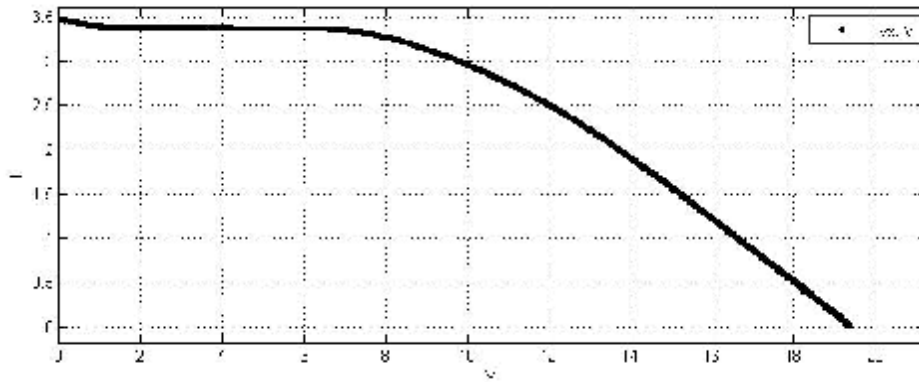
Η ανάλυση της χαρακτηριστικής καμπύλης, i-V, που ελήφθη σε συνθήκες περιβάλλοντος στο εργαστήριο των Α.ΠΕ. έδωσε τα εξής αποτελέσματα:

Αποτελέσματα ανάλυσης της i-V	
Isc	3,462 A
Voc	19,32 V
Im	2,712 A
Vm	11,19 V
Pm	30,36 W
It	1161 W/m ²
Trv	317,4 K

8.4 Πίνακας:Τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την ανάλυση της χαρακτηριστικής καμπύλης I-V .

ΟΙ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΕΣ ΤΙΜΕΣ ΣΕ S.T.C. ΑΠΟ ΤΟΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΗ	
Isc(A)	3,45
Voc(V)	21,7
Im(A)	3,15
Vm(V)	17,4
Pm(Wp)	55

8.4.α.Πίνακας:Χαρακτηριστικές τιμές του κατασκευαστή σε συνθήκες S.T.C



8.4.1 Σχήμα : Χαρακτηριστική καμπύλη I-V του πλαισίου D_v1

8.4 εικόνα . Πλαίσιο D_v1 δείχνει τα σημεία γήρανσης στα Στοιχεία του Φ/Β πλαισίου στο EVA και στο ARC.



8.4.1 Εικόνα: Το Φ/Β πλαίσιο D_v1 στο οποίο φαίνεται το σημείο στο οποίο υπάρχει οξείδωση λόγω EVA.



8.4.2 Εικόνα: Το Φ/Β πλαίσιο D_v1 στο οποίο φαίνεται το σημείο στο οποίο υπάρχει υποβάθμιση στο ARC.

ΠΛΑΙΣΙΟ E_v1:

Το πλαίσιο E_v1 έχει έτος κατασκευής και λειτουργίας το 1994 , κατασκευάστηκε από την εταιρεία SIEMENS και είναι μοντέλο SM55. Η ισχύς αιχμής σε S.T.C. =55 Wp.

Φαινόμενα γήρανσης : Οπτικά δεκαπέντε κελιά εμφανίζουν οξείδωση μέτρια προς μεγάλη στο busbar με υποβάθμιση του ημιαγωγού στην περιοχή του busbar με αποτέλεσμα την αποκόλληση όπως δείχνει η φωτογραφία 8.5.2 , οκτώ κελιά εμφανίζουν μέτρια υποβάθμιση EVA με μείωση της διαπερατότητας στην ηλιακή ακτινοβολία λόγω αποχρωματισμού από διαφανές σε καφέ χρώμα , δύο κελιά εμφανίζουν μικρή υποβάθμιση AR με μείωση της ανακλαστικότητας και έντονο μπλε χρώμα όπως δείχνει η φωτογραφία 8.5.1.

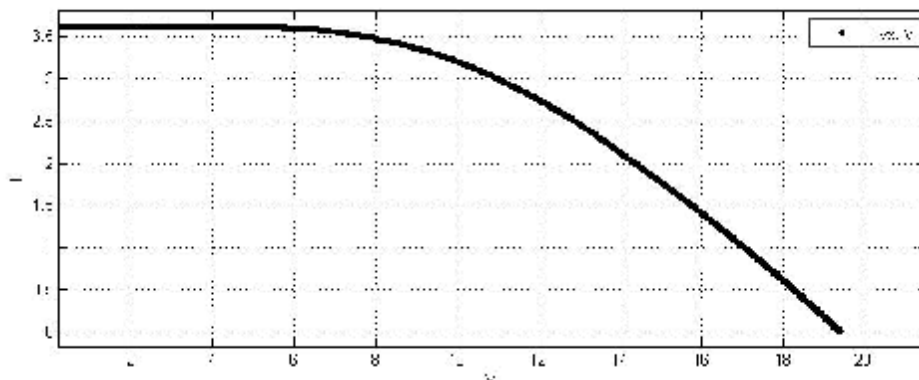
Η ανάλυση της χαρακτηριστικής καμπύλης, i-V, που ελήφθη σε συνθήκες περιβάλλοντος στο εργαστήριο των Α.ΠΕ. έδωσε τα εξής αποτελέσματα:

Αποτελέσματα ανάλυσης της i-V	
Isc	3,618 A
Voc	19,38 V
Im	2,872 A
Vm	11,52 V
Pm	33,09 W
It	1173 W/m ²
Trv	298 K

8.5 Πίνακας :τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την ανάλυση της χαρακτηριστικής καμπύλης I-V .

ΟΙ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΕΣ ΤΙΜΕΣ ΣΕ S.T.C. ΑΠΟ ΤΟΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΗ	
Isc(A)	3,45
Voc(V)	21,7
Im(A)	3,15
Vm(V)	17,4
Pm(Wp)	55

8.5.α Πίνακας : χαρακτηριστικές τιμές του κατασκευαστή σε συνθήκες S.T.C



8.5.1 Σχήμα :Χαρακτηριστική καμπύλη I-V του πλαισίου E_v1

8.5.εικόνες του πλαισίου E_v1 δείχνουν τα σημεία γήρανσης στα Στοιχεία του Φ/Β πλαισίου στο ARC και στην οξείδωση λόγω EVA.



8.5.1 Εικόνα: Το Φ/Β πλαίσιο E_v1 στο οποίο φαίνεται το σημείο στο οποίο υπάρχει υποβάθμιση στο ARC.



8.5.2 Εικόνα : Το Φ/Β πλαίσιο E_v1 στο οποίο φαίνεται το σημείο στο οποίο υπάρχει οξείδωση στο busbar λόγω υποβάθμισης EVA

ΠΛΑΙΣΙΟ G_v3:

Το πλαίσιο G_v3 έχει έτος κατασκευής και λειτουργίας το 1994 , κατασκευάστηκε από την εταιρεία SIEMENS και είναι μοντέλο SM55. Η ισχύς αιχμής σε S.T.C. =55 Wp.

Φαινόμενα γήρανσης: Οπτικά δώδεκα κελιά εμφανίζουν μέτρια υποβάθμιση στο ARC όπως δείχνει η φωτογραφία 8.6.1 , επτά κελιά εμφανίζουν οξείδωση στο busbar με υποβάθμιση του ημιαγωγού στην περιοχή του busbar με αποτέλεσμα την αποκόλληση .

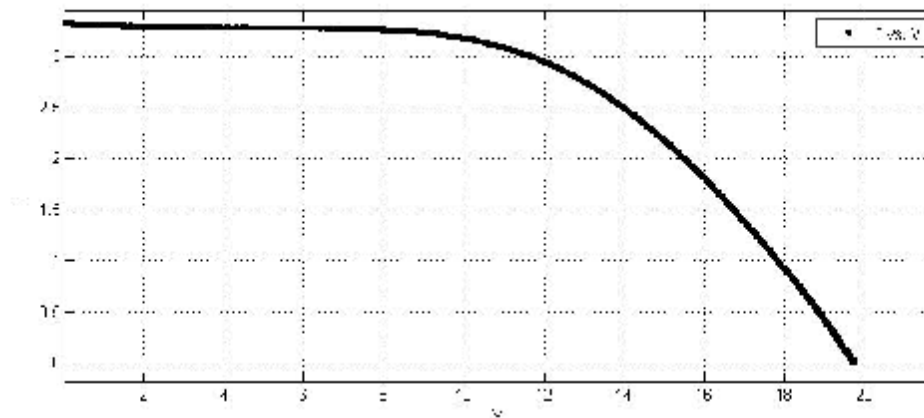
Η ανάλυση της χαρακτηριστικής καμπύλης, $i-V$, που ελήφθη σε συνθήκες περιβάλλοντος στο εργαστήριο των Α.ΠΕ. έδωσε τα εξής αποτελέσματα:

Αποτελέσματα ανάλυσης της $i-V$	
Isc	3,32 A
Voc	19,72 V
Im	2,813 A
Vm	12,74 V
Pm	35,82 W
It	1077 W/m ²
Trv	316,9 K

8.6 Πίνακας: τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την ανάλυση της χαρακτηριστικής καμπύλης $I-V$.

ΟΙ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΕΣ ΤΙΜΕΣ ΣΕ S.T.C. ΑΠΟ ΤΟΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΗ	
Isc(A)	3,45
Voc(V)	21,7
Im(A)	3,15
Vm(V)	17,4
Pm(Wp)	55

8.6.α Πίνακας : χαρακτηριστικές τιμές του κατασκευαστή σε συνθήκες S.T.C



8.1.6 Σχήμα: Χαρακτηριστική καμπύλη I-V του πλαισίου G_v3

8.6 εικόνα .Πλαίσιο G_v3 δείχνει τα σημεία γήρανσης στα Στοιχεία του Φ/Β πλαισίου στο ARC και στην διεπαφή.



8.6.1 Εικόνα : Το Φ/Β πλαίσιο G_v3 στο οποίο φαίνεται το σημείο στο οποίο υπάρχει υποβάθμιση στο ARC και της διεπαφής.

ΠΛΑΙΣΙΟ:

Το πλαίσιο H_v1 έχει έτος κατασκευής και λειτουργίας το 1994 , κατασκευάστηκε από την εταιρεία SIEMENS και είναι μοντέλο SM55. Η ισχύς αιχμής σε S.T.C. =55 Wp.

Φαινόμενα γήρανσης: Οπτικά δύο κελιά εμφανίζουν μικρή υποβάθμιση ARC με μείωση της ανακλαστικότητα , δεκαεπτά κελιά εμφανίζουν μέτρια υποβάθμιση στο EVA με μείωση της διαπερατότητας λόγω αποχρωματισμού από διαφανές σε καφέ χρώμα , οκτώ κελιά εμφανίζουν μεγάλη οξείδωση στο busbar όπως δείχνει η φωτογραφία 8.7.1 με υποβάθμιση του ημιαγωγού στην περιοχή του busbar με αποτέλεσμα την αποκόλληση.

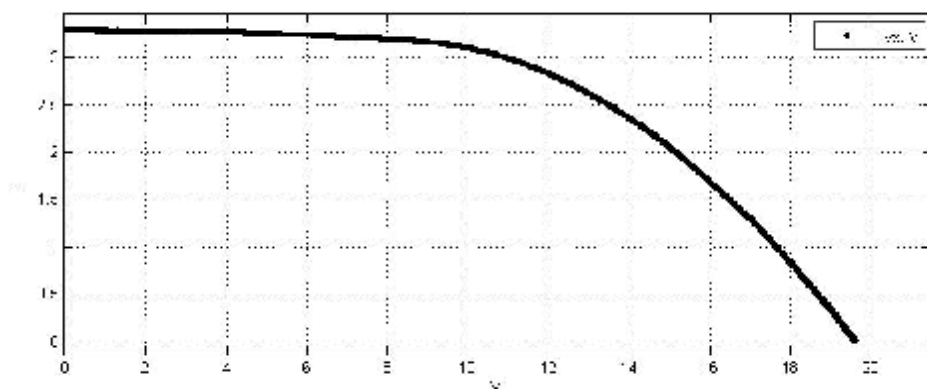
Η ανάλυση της χαρακτηριστικής καμπύλης, $i-V$, που ελήφθη σε συνθήκες περιβάλλοντος στο εργαστήριο των Α.ΠΕ. έδωσε τα εξής αποτελέσματα:

Αποτελέσματα ανάλυσης της i-V	
Isc	3,288 A
Voc	19,58 V
Im	2,729 A
Vm	12,52 V
Pm	34,16 W
It	1048 W/m ²
Trp	316,3 K

8.7 Πίνακας .Τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την ανάλυση της χαρακτηριστικής καμπύλης I-V .

ΟΙ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΕΣ ΤΙΜΕΣ ΣΕ S.T.C. ΑΠΟ ΤΟΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΗ	
Isc(A)	3,45
Voc(V)	21,7
Im(A)	3,15
Vm(V)	17,4
Pm(Wp)	55

8.7.α Πίνακας: τις χαρακτηριστικές τιμές του κατασκευαστή σε συνθήκες S.T.C



8.1.7 σχήμα: Χαρακτηριστική καμπύλη I-V του πλαισίου H_v1

8.7 Εικόνα: Πλαίσιο H_v1 δείχνει τα σημεία γήρανσης στα Στοιχεία του Φ/Β πλαισίου για την οξείδωση του busbar.



8.7.1 Εικόνα : Το Φ/Β πλαίσιο H_v1 στο οποίο φαίνεται το σημείο στο οποίο υπάρχει οξείδωση στο busbar.

ΠΛΑΙΣΙΟ L_v1:

Το πλαίσιο L_v1 έχει έτος κατασκευής και λειτουργίας το 1994 , κατασκευάστηκε από την εταιρεία SIEMENS και είναι μοντέλο SM55. Η ισχύς αιχμής σε S.T.C. =55 Wp.

Φαινόμενα γήρανσης: Οπτικά δέκα κελιά εμφανίζουν μεσαία υποβάθμιση στο ARCόπως δείχνουν οι φωτογραφίες 8.8.1 και 8.8.2 με μείωση της ανακλαστικότητας λόγω της αλλαγής χρώματος από μπλε σκούρο σε μπλε ανοιχτό και έντονο , δεκαεπτά κελιά εμφανίζουν μικρή υποβάθμιση του EVA με μείωση διαπερατότητας στην ηλιακή ακτινοβολία .

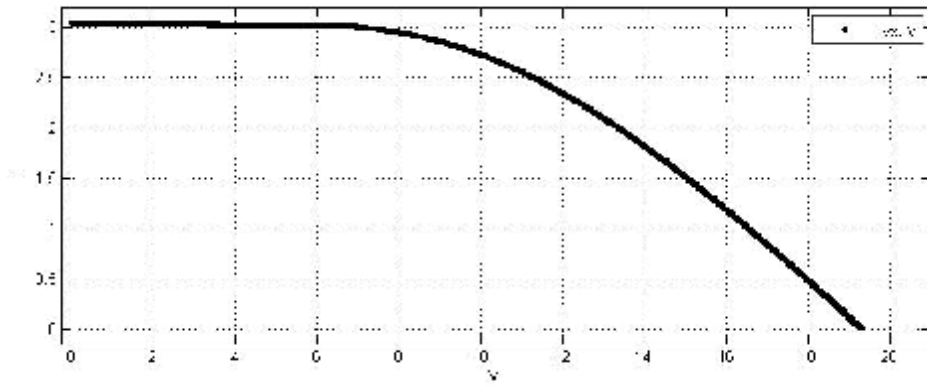
Η ανάλυση της χαρακτηριστικής καμπύλης, $i-V$, που ελήφθη σε συνθήκες περιβάλλοντος στο εργαστήριο των Α.ΠΕ. έδωσε τα εξής αποτελέσματα:

Αποτελέσματα ανάλυσης της $i-V$	
Isc	3,043 A
Voc	19,28 V
Im	2,465 A
Vm	11,48 V
Pm	28,30 W
It	1001 W/m ²
Tpv	318,2 K

8.8 Πίνακας: τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την ανάλυση της χαρακτηριστικής καμπύλης I-V .

ΟΙ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΕΣ ΤΙΜΕΣ ΣΕ S.T.C. ΑΠΟ ΤΟΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΗ	
Isc(A)	3,45
Voc(V)	21,7
Im(A)	3,15
Vm(V)	17,4
Pm(Wp)	55

8.8.α Πίνακας : τις χαρακτηριστικές τιμές του κατασκευαστή σε συνθήκες S.T.C



8.1.8 Σχήμα :Χαρακτηριστική καμπύλη I-V για το πλαίσιο L_v1

8.8 εικόνες .Το πλαίσιο L_v1 , δείχνει τα σημεία γήρανσης στα Στοιχεία του Φ/Β πλαισίου για την υποβάθμιση στο ARC.



8.8.1 Εικόνα: Το Φ/Β πλαίσιο H_v1 στο οποίο φαίνεται το σημείο στο οποίο υπάρχει υποβάθμιση στο ARC.



8.8.2 Εικόνα: Το Φ/Β πλαίσιο H_v1 στο οποίο φαίνεται το σημείο στο οποίο υπάρχει υποβάθμιση στο ARC.

ΠΛΑΙΣΙΟ SW-SKEK:

Το πλαίσιο SW-SKEK έχει έτος κατασκευής και λειτουργίας το 2011 , κατασκευάστηκε από την εταιρεία SOLARWORLD και είναι μοντέλο SW80 mono/R5E. Η ισχύς αιχμής σε S.T.C. =80 Wp.

Φαινόμενα γήρανσης: Οπτικά ένα κελί εμφανίζει μικρή υποβάθμιση ARC.

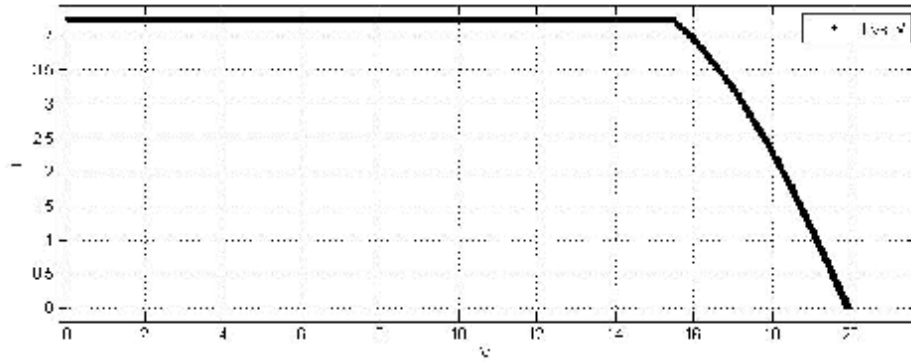
Η ανάλυση της χαρακτηριστικής καμπύλης, $i-V$, που ελήφθη σε συνθήκες περιβάλλοντος στο εργαστήριο των Α.ΠΕ. έδωσε τα εξής αποτελέσματα:

Αποτελέσματα ανάλυσης της $i-V$	
Isc	4,245 A
Voc	19,88 V
Im	4,245 A
Vm	15,46 V
Pm	65,62 W
It	1038 W/m ²
Trn	318,8 K

8.9 Πίνακας: τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την ανάλυση της χαρακτηριστικής καμπύλης $I-V$.

ΟΙ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΕΣ ΤΙΜΕΣ ΣΕ S.T.C. ΑΠΟ ΤΟΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΗ	
Isc	5,00 A
Voc	21,9 V
Im	4,58 A
Vm	17,5 V
Pm	80 W

8.9.a Πίνακας :τις χαρακτηριστικές τιμές του κατασκευαστή σε συνθήκες S.T.C



8.9.1 Σχήμα : Χαρακτηριστική καμπύλη I-V για το πλαίσιο SW-KEK

8.9 εικόνα. Το πλαίσιο SW-KEK δείχνει τα σημεία γήρανσης στα Στοιχεία του Φ/Β πλαισίου για την υποβάθμιση στο ARC.



8.9.1 Εικόνα: Το Φ/Β πλαίσιο SW-KEK στο οποίο φαίνεται το σημείο στο οποίο υπάρχει μικρή υποβάθμιση στο ARC

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9

ΥΠΟΒΑΘΜΙΣΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ

Στο συγκεκριμένο κεφάλαιο γίνεται μετατροπή των μετρούμενων σε συνθήκες περιβάλλοντος στο εργαστήριο Α.ΠΕ. I_{SC} , V_{OC} , P_m και FF για κάθε Φ/Β πλαίσιο σε συνθήκες STC (Standar Test Conditions) δηλαδή σε κανονικές συνθήκες. Στην συνέχεια με χρήση τύπων, STC τιμών και τιμών που ελήφθησαν από τις χαρακτηριστικές καμπύλες I-V κάθε φ/β πλαισίου συμπεραίνεται το ποσοστό γήρανσης που έχει υποστεί κάθε Φ/Β πλαίσιο.

Οι εξισώσεις μετατροπής είναι οι εξής:

$$I_{SC,STC} = \frac{I_{SC}}{\left[\left(1 + a_{I_{SC}} * (T_C - T_0) \right) * \frac{I_T}{I_{T0}} \right]} \quad (\text{σχέση 9.1})$$

$$V_{OC,STC} = \frac{V_{OC}}{\left(1 + \beta_{V_{OC}} * (T_C - T_0) \right)} \quad (\text{σχέση 9.2})$$

$$P_{m,STC} = \frac{P_m}{\left[\left(1 + \gamma_{P_m} * (T_C - T_0) \right) * I_T / I_{T0} \right]} \quad (\text{σχέση 9.3})$$

$$FF_{STC} = \frac{P_{m,STC}}{I_{SC,STC} * V_{OC,STC}} \quad (\text{σχέση 9.4})$$

$$\text{Γήρανση } \Phi/\text{B } \text{πλαισίου} = \frac{P_{m,STC \text{ κατασκευαστή}} - P_{m,STC}}{P_{m,STC \text{ κατασκευαστή}}} \quad (\text{σχέση 9.5})$$

Όπου,

$a_{I_{SC}}$ =θερμοκρασιακός συντελεστής του ρεύματος βραχυκύκλωσης I_{SC} , σε 1/K

$\beta_{V_{OC}}$ =θερμοκρασιακός συντελεστής της τάσης ανοικτού κυκλώματος V_{OC} , σε 1/K

γ_{P_m} =θερμοκρασιακός συντελεστής της ισχύος P_m , σε 1/K

$T_0 = 25 \text{ } ^\circ\text{C}$

$I_{T0} = 1000 \text{ W/m}^2$

T_C =η θερμοκρασία του φωτοβολταϊκού

I_T =η μετρήσιμη ηλιακή ακτινοβολία του πυρανομέτρου

Οι θερμοκρασιακοί συντελεστές δίνονται από τον κατασκευαστή, λόγω του ότι δεν είναι κατάλληλες οι μονάδες τους για τις εξισώσεις πρέπει να μετατραπούν για να μπορέσουν να χρησιμοποιηθούν στις εξισώσεις μετατροπής.

Για τα πλαίσια SIEMENS SM55 ισχύουν τα εξής:

$a_{I_{SC}}$:

Τιμή κατασκευαστή 1,2mA/ °C

Μετατροπή των mA σε Amber .

$$1,2\text{mA}=0,0012\text{A}$$

$$a_{I_{SC}} = \frac{I}{I_{SC}} = \frac{0,0012 \text{ A/}^\circ\text{C}}{3,45\text{A}} = 0,00035 \quad 1/^\circ\text{C} \text{ και} \quad a_{I_{SC}} = 0,035\% \quad 1/^\circ\text{C}$$

(σχέση 9.6)

$\beta_{V_{OC}}$:

Τιμή κατασκευαστή -0,77V/ °C

Δεν χρειάζεται να γίνει μετατροπή μονάδων.

Λόγω της αύξησης της θερμοκρασίας του φωτοβολταϊκού έχουμε και αύξηση του ρεύματος, για κάθε βαθμό κέλσιν (°C) έχουμε αύξηση 0,09% δηλαδή 0,0009 1/ °C. Και άρα θα έχουμε 10% αύξηση .

$$\beta_{V_{OC}} = \frac{dV_{OC}}{dT_c} = \frac{-0,77}{10} = 0,077 \text{ V/}^\circ\text{C}. \quad (\text{σχέση 9.7})$$

$$\beta_{V_{OC}} = \frac{V}{V_{OC}} = \frac{-0,077}{21,5} = -0,035 \text{ και } \beta_{V_{OC}} = -0,0035 \% \text{ 1/}^\circ\text{C} \quad (\text{σχέση 9.8})$$

γ_{pm} :

Δεν δίνεται τιμή κατασκευαστή. Στην περίπτωση αυτή παίρνουμε μία τυχαία τιμή από το εύρος τιμών -0,4% έως 0,5%.

Η τυχαία τιμή θα είναι -0,40% / °C, $\gamma_{pm} = 0,004 \text{ 1/}^\circ\text{C}$ για το συγκεκριμένο πείραμα.

Πηγή: Βιβλίο ‘ΑΠΕ ΙΙΙ’ του κ.Σωκράτη Καπλάνη

Με την εφαρμογή των εξισώσεων μετατροπής των μετρούμενων μεγεθών για κάθε Φ/Β πλαίσιο προκύπτουν τα εξής αποτελέσματα:

ΠΛΑΙΣΙΟ Α					
ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΑΝΑΛΥΣΗΣ I-V		ΣΥΝΘΗΚΕΣ STC		ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΕΣ ΤΙΜΕΣ ΣΕ S.T.C. ΑΠΟ ΤΟΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΗ	
Isc (A)	3,608	Isc,stc(A)	3,903246457	Isc(A)	3,45
Voc (V)	19,49	Voc,stc(V)	21,13997505	Voc(V)	21,7
Tc(oC)	47,3	Pm,stc	43,70436001	Im(A)	3,15
To(oC)	25	FF,stc	0,529656517	Vm(V)	17,4
Ito(W/m ²)	1000	FF,stc %	52,96565171	Pm(Wp)	55
It (W/m ²)	917,2			aIsc(mA/oC)	1,2
Pm(W)	36,51			βVoc(V/oC)	-0,77
				γpm(W/oC)	-0,48
				aIsc(%/oC)	0,00035
				βVoc(%/oC)	-0,0035
				γpm(%/oC)	-0,004

9.1 Πίνακας. Πίνακας συνθηκών πειράματος ,κανονικών συνθηκών STC και τα χαρακτηριστικών του κατασκευαστή για το Φ/Β πλαίσιο Α.

ποσοστό γήρανσης	0,205375273	21%
------------------	-------------	-----

Το ποσοστό γήρανσης του Φ/Β πλαισίου προκύπτει από την σχέση (9.5).

ΠΛΑΙΣΙΟ B_v4					
ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΑΝΑΛΥΣΗΣ I-V		ΣΥΝΘΗΚΕΣ STC		ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΕΣ ΤΙΜΕΣ ΣΕ S.T.C. ΑΠΟ ΤΟΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΗ	
Isc (A)	3,69	Isc,stc(A)	3,9117666	Isc(A)	3,45
Voc (V)	19,84	Voc,stc(V)	21,150259	Voc(V)	21,7
Tc(oC)	42,7	Pm,stc	38,180514	Im(A)	3,15
To(oC)	25	FF,stc	0,4614803	Vm(V)	17,4
Ito(W/m ²)	1000	FF,stc %	46,148029	Pm(Wp)	55
It(W/m ²)	937,5			aIsc(mA/oC)	1,2
Pm(W)	33,26			βVoc(V/oC)	-0,77
				γpm(W/oC)	-0,48
				aIsc(%/oC)	0,00035
				βVoc(%/oC)	-0,0035
				γpm(%/oC)	-0,004

9.2 Πίνακας. Πίνακας συνθηκών πειράματος ,κανονικών συνθηκών STC και τα χαρακτηριστικών του κατασκευαστή για το Φ/Β πλαίσιο B_v4.

ποσοστό γήρανσης	0,305808842	31%
------------------	-------------	-----

Το ποσοστό γήρανσης του Φ/Β πλαισίου προκύπτει από την σχέση (9.5).

ΠΛΑΙΣΙΟ c_v1					
ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΑΝΑΛΥΣΗΣ I-V		ΣΥΝΘΗΚΕΣ STC		ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΕΣ ΤΙΜΕΣ ΣΕ S.T.C. ΑΠΟ ΤΟΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΗ	
Isc (A)	3,637	Isc,stc(A)	3,85358	Isc(A)	3,45
Voc (V)	19,76	Voc,stc(V)	21,20741	Voc(V)	21,7
Tc(oC)	44,5	Pm,stc	48,0514	Im(A)	3,15
To(oC)	25	FF,stc	0,587969	Vm(V)	17,4
Ito(W/m ²)	1000	FF,stc %	58,79686	Pm(Wp)	55
It(W/m ²)	937,4			aIsc(mA/oC)	1,2
Pm(W)	41,53			βVoc(V/oC)	-0,77
				γpm(W/oC)	-0,48
				aIsc(%/oC)	0,00035
				βVoc(%/oC)	-0,0035
				γpm(%/oC)	-0,004

9.3 Πίνακας, Πίνακας συνθηκών πειράματος , κανονικών συνθηκών STC και τα χαρακτηριστικών του κατασκευαστή για το Φ/Β πλαίσιο C_v1.

ποσοστό γήρανσης	0,126338	13%
------------------	----------	-----

Το ποσοστό γήρανσης του Φ/Β πλαισίου προκύπτει από την σχέση (9.5).

ΠΛΑΙΣΙΟ D_v1					
ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΑΝΑΛΥΣΗΣ I-V		ΣΥΝΘΗΚΕΣ STC		ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΕΣ ΤΙΜΕΣ ΣΕ S.T.C. ΑΠΟ ΤΟΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΗ	
Isc (A)	3,462	Isc,stc(A)	3,68954	Isc(A)	3,45
Voc (V)	19,32	Voc,stc(V)	20,72739	Voc(V)	21,7
Tc(oC)	44,4	Pm,stc	35,3156	Im(A)	3,15
To(oC)	25	FF,stc	0,461795	Vm(V)	17,4
Ito(W/m ²)	1000	FF,stc %	46,17955	Pm(Wp)	55
It(W/m ²)	932			aIsc(mA/oC)	1,2
Pm(W)	30,36			βVoc(V/oC)	-0,77
				γpm(W/oC)	-0,48
				aIsc(%/oC)	0,00035
				βVoc(%/oC)	-0,0035
				γpm(%/oC)	-0,004

9.4 Πίνακας. Πίνακας συνθηκών πειράματος ,κανονικών συνθηκών STC και τα χαρακτηριστικών του κατασκευαστή για το Φ/Β πλαίσιο D_v1.

ποσοστό γήρανσης	0,357898224	36%
------------------	-------------	-----

Το ποσοστό γήρανσης του Φ/Β πλαισίου προκύπτει από την σχέση (9.5).

ΠΛΑΙΣΙΟ E_v1					
ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΑΝΑΛΥΣΗΣ I-V		ΣΥΝΘΗΚΕΣ STC		ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΕΣ ΤΙΜΕΣ ΣΕ S.T.C. ΑΠΟ ΤΟΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΗ	
Isc (A)	3,618	Isc,stc(A)	3,838515	Isc(A)	3,45
Voc (V)	19,38	Voc,stc(V)	20,83871	Voc(V)	21,7
Tc(oC)	45	Pm,stc	38,4267	Im(A)	3,15
To(oC)	25	FF,stc	0,480396	Vm(V)	17,4
Ito(W/m ²)	1000	FF,stc %	48,03956	Pm(Wp)	55
It(W/m ²)	936			aIsc(mA/oC)	1,2
Pm(W)	33,09			βVoc(V/oC)	-0,77
				γpm(W/oC)	-0,48
				aIsc(%/oC)	0,00035
				βVoc(%/oC)	-0,0035
				γpm(%/oC)	-0,004

8.5 Πίνακας. Πίνακας συνθηκών πειράματος ,κανονικών συνθηκών STC και τα χαρακτηριστικών του κατασκευαστή για το Φ/Β πλαίσιο E_v1.

ποσοστό γήρανσης	0,301333	30%
------------------	----------	-----

Το ποσοστό γήρανσης του Φ/Β πλαισίου προκύπτει από την σχέση (9.5).

ΠΛΑΙΣΙΟ G_v3					
ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΑΝΑΛΥΣΗΣ I-V		ΣΥΝΘΗΚΕΣ STC		ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΕΣ ΤΙΜΕΣ ΣΕ S.T.C. ΑΠΟ ΤΟΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΗ	
Isc (A)	3,32	Isc,stc(A)	3,803693	Isc(A)	3,45
Voc (V)	19,72	Voc,stc(V)	21,11688	Voc(V)	21,7
Tc(oC)	43,9	Pm,stc	44,68857	Im(A)	3,15
To(oC)	25	FF,stc	0,556367	Vm(V)	17,4
Ito(W/m ²)	1000	FF,stc %	55,63668	Pm(Wp)	55
It(W/m ²)	867,1			aIsc(mA/oC)	1,2
Pm(W)	35,82			βVoc(V/oC)	-0,77
				γpm(W/oC)	-0,48
				aIsc(%/oC)	0,00035
				βVoc(%/oC)	-0,0035
				γpm(%/oC)	-0,004

9.6 Πίνακας. Πίνακας συνθηκών πειράματος ,κανονικών συνθηκών STC και τα χαρακτηριστικών του κατασκευαστή για το Φ/Β πλαίσιο G_v3.

ποσοστό γήρανσης	0,187480544	19%
------------------	-------------	-----

Το ποσοστό γήρανσης του Φ/Β πλαισίου προκύπτει από την σχέση (9.5).

ΠΛΑΙΣΙΟ H_v1					
ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΑΝΑΛΥΣΗΣ I-V		ΣΥΝΘΗΚΕΣ STC		ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΕΣ ΤΙΜΕΣ ΣΕ S.T.C. ΑΠΟ ΤΟΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΗ	
Isc (A)	3,288	Isc,stc(A)	3,858142	Isc(A)	3,45
Voc (V)	19,58	Voc,stc(V)	20,91992	Voc(V)	21,7
Tc(oC)	43,3	Pm,stc	43,52622	Im(A)	3,15
To(oC)	25	FF,stc	0,539278	Vm(V)	17,4
Ito(W/m ²)	1000	FF,stc %	53,92781	Pm(Wp)	55
It(W/m ²)	846,8			aIsc(mA/oC)	1,2
Pm(W)	34,16			βVoc(V/oC)	-0,77
				γpm(W/oC)	-0,48
				aIsc(%/oC)	0,00035
				βVoc(%/oC)	-0,0035
				γpm(%/oC)	-0,004

9.7 Πίνακας . Πίνακας συνθηκών πειράματος ,κανονικών συνθηκών STC και τα χαρακτηριστικών του κατασκευαστή για το Φ/Β πλαίσιο H_v1.

ποσοστό γήρανσης	0,208614119	21%
------------------	-------------	-----

Το ποσοστό γήρανσης του Φ/Β πλαισίου προκύπτει από την σχέση (σχέση 9.5)

ΠΛΑΙΣΙΟ L_v1					
ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΑΝΑΛΥΣΗΣ I-V		ΣΥΝΘΗΚΕΣ STC		ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΕΣ ΤΙΜΕΣ ΣΕ S.T.C. ΑΠΟ ΤΟΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΗ	
Isc (A)	3,043	Isc,stc(A)	3,78983698	Isc(A)	3,45
Voc (V)	19,28	Voc,stc(V)	20,7467987	Voc(V)	21,7
Tc(oC)	45,2	Pm,stc	38,614877	Im(A)	3,15
To(oC)	25	FF,stc	0,49111481	Vm(V)	17,4
Ito(W/m ²)	1000	FF,stc %	49,1114813	Pm(Wp)	55
It(W/m ²)	797,3			aIsc(mA/oC)	1,2
Pm(W)	28,3			βVoc(V/oC)	-0,77
				γpm(W/oC)	-0,48
				aIsc(%/oC)	0,00035
				βVoc(%/oC)	-0,0035
				γpm(%/oC)	-0,004

9.8 Πίνακας. Πίνακας συνθηκών πειράματος ,κανονικών συνθηκών STC και τα χαρακτηριστικών του κατασκευαστή για το Φ/Β πλαίσιο L_v1.

ποσοστό γήρανσης	0,297911	30%
------------------	----------	-----

Το ποσοστό γήρανσης του Φ/Β πλαισίου προκύπτει από την σχέση (9.5).

Για το πλαίσιο SOLARWORLD SW80 ισχύουν τα εξής:

a_{Isc} :

Τιμή κατασκευαστή 1,2mA/ °C

Μετατροπή των mA σε Amber .

$$1,2mA=0,0012A$$

$$a_{Isc} = \frac{I}{I_{SC}} = \frac{0,0012 A / ^\circ C}{5 A} = 0,00024 \quad 1 / ^\circ C \text{ και } a_{Isc} = 0,024 \quad \% \quad 1 / ^\circ C$$

(σχέση 9.9)

β_{Voc} :

Τιμή κατασκευαστή -0,77V/ °C

Δεν χρειάζεται να γίνει μετατροπή μονάδων.

Λόγω της αύξησης της θερμοκρασίας του φωτοβολταϊκού έχουμε και αύξηση του ρεύματος, για κάθε βαθμό κέλσιν ($^{\circ}\text{C}$) έχουμε αύξηση 0,09% δηλαδή $0,0009 \text{ 1/}^{\circ}\text{C}$. Και άρα θα έχουμε 10% αύξηση.

$$\beta_{V_{oc}} = \frac{dV_{oc}}{dT_c} = \frac{-0,77}{10} = -0,077 \text{ V/}^{\circ}\text{C}. (8.7)$$

$$\beta_{V_{oc}} = \frac{V}{V_{oc}} = \frac{-0,077}{21,9} = -0,0035 \text{ και } \beta_{V_{oc}} = -0,0035 \% \text{ 1/}^{\circ}\text{C} \quad (\text{σχέση 9.10})$$

γ_{pm} :

Δεν δίνεται τιμή κατασκευαστή. Στην περίπτωση αυτή παίρνουμε μία τυχαία τιμή από το εύρος τιμών -0,4% έως 0,5%.

Η τυχαία τιμή θα είναι $-0,40\% / ^{\circ}\text{C}$, $\gamma_{pm} = 0,004 \text{ 1/}^{\circ}\text{C}$ για το συγκεκριμένο πείραμα.

ΠΛΑΙΣΙΟ SW					
ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ		ΣΥΝΘΗΚΕΣ STC		ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΗ	
Isc (A)	4,245	Isc,stc(A)	5,163342014	Isc(A)	3,45
Voc (V)	19,88	Voc,stc(V)	21,44089733	Voc(V)	21,7
Tc(oC)	45,8	Pm,stc	87,69302087	Im(A)	3,15
To(oC)	25	FF,stc	0,792120368	Vm(V)	17,4
Ito(W/m2)	1000	FF,stc %	79,21203682	Pm(Wp)	55
It (W/m^2)	816,2			aIsc(mA/oC)	1,2
Pm(W)	65,62			βVoc(V/oC)	-0,77
				γpm(W/oC)	-0,48
				aIsc(%/oC)	0,00035
				βVoc(%/oC)	-0,0035
				γpm(%/oC)	-0,004

9.9 Πίνακας. Πίνακας συνθηκών πειράματος ,κανονικών συνθηκών STC και τα χαρακτηριστικών του κατασκευαστή για το Φ/Β πλαίσιο SW-KEK.

ποσοστό γήρανσης	0,123069791	12%
------------------	-------------	-----

Το ποσοστό γήρανσης του Φ/Β πλαισίου προκύπτει από την σχέση (9.5).

ποσοστά γήρανσης (%)	
πλαίσιο A	21
πλαίσιο B_v4	31
πλαίσιο C_v1	13
πλαίσιο D_v1	36
πλαίσιο E_v1	30
πλαίσιο G_v3	19
πλαίσιο H_v1	21
πλαίσιο L_v1	30
πλαίσιο SW	12

9.10 Πίνακας : Δίνει συνοπτικά τον βαθμό ενεργειακής υποβάθμισης των Φ/Β πλαισίων.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 10

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Για κάθε Φ/Β πλαίσιο με ανάλυση της χαρακτηριστικής καμπύλης , υπολογίζοντας τις αντιστάσεις σε σειρά και εν παραλλήλω , προκύπτει:

i) Πλαίσιο A

$R_{sh}=96,5 \Omega$ και $R_s=1,86 \Omega$. Καθώς οι τιμές των αντιστάσεων διαφέρουν από τις αποδεκτές τιμές , συμπεραίνεται ότι λόγω της μειωμένης τιμής της αντίστασης R_{sh} το ρεύμα και η ισχύς μειώνεται και λόγω του ότι η αντίσταση R_s είναι μεγαλύτερη ότι το υλικό των ημιαγωγών έχει υποστεί αλλοιώσεις όπως οξείδωση , αποκόλληση ιδίως στην περιοχή του busbar. Η υποβάθμιση EVA μειώνει την διαπερατότητα στο φως και την απόδοση, η υποβάθμιση ARC δημιουργεί μεγάλη ανακλαστικότητα της ακτινοβολίας και δεν αφήνει την ακτινοβολία να είναι πλήρως χρήσιμη.

Από την σύγκριση των χαρακτηριστικών του κατασκευαστή με τα αποτελέσματα των μετρήσεων όπως προέκυψαν από την ανάλυση της χαρακτηριστικής καμπύλης I-V, παρατηρείται πως ενώ η ισχύς του κατασκευαστή είναι ίση με 55 Wp, η μετρούμενη ισχύς είναι ίση με 36,51 Wp που ισοδυναμεί με ποσοστό:

$$\frac{P_{m,μετρήσεων}}{P_{m,κατασκευαστή}} = \frac{36,51}{55} = 0,6638 \text{ δηλαδή για να βρούμε το } 0,66 * 100 = 66\%.$$

Άρα το ποσοστό διαφοράς είναι $100\% - 66\% = 34\%$.

ii) Πλαίσιο B_v4

$R_{sh}=40 \Omega$ και $R_s=2,57 \Omega$. Καθώς οι τιμές των αντιστάσεων διαφέρουν από τις αποδεκτές τιμές , συμπεραίνεται ότι λόγω της μειωμένης τιμής της αντίστασης R_{sh} το ρεύμα και η ισχύς μειώνεται και λόγω του ότι η αντίσταση R_s είναι μεγαλύτερη ότι το υλικό των ημιαγωγών έχει υποστεί αλλοιώσεις όπως οξείδωση , αποκόλληση ιδίως στην περιοχή του busbar. Η υποβάθμιση του EVA φαίνεται οπτικά καθώς από διαφανές χρώμα έχει μετατραπεί σε καφέ , η οξείδωση παρατηρείται στα busbars και το σχήσιμο στο tedlar είναι αποτέλεσμα των πολλών χρόνων λειτουργίας του συστήματος. Το έντονο μπλε χρώμα των ημιαγωγών υποδηλώνει πως η ανακλαστικότητα ή ο ημιαγωγός έχουν χαλάσει.

Από την σύγκριση των χαρακτηριστικών του κατασκευαστή με τα αποτελέσματα των μετρήσεων όπως προέκυψαν από την ανάλυση της χαρακτηριστικής καμπύλης I-V παρατηρείται πως η ισχύς του κατασκευαστή είναι ίση με 55 Wp, η μετρούμενη ισχύς είναι ίση με 33,26 Wp που ισοδυναμεί με το ποσοστό:

$\frac{P_{m,μετρήσεων}}{P_{m,κατασκευαστή}} = \frac{33,26}{55} = 0,6047$ δηλαδή για να βρούμε το $0,60 \cdot 100 = 60\%$. Άρα το ποσοστό διαφοράς είναι $100\% - 60\% = 40\%$.

iii) Πλαίσιο C_v1:

$R_{sh} = 61,8\Omega$ και $R_s = 1,24\Omega$. Καθώς οι τιμές των αντιστάσεων διαφέρουν από τις αποδεκτές τιμές, συμπεραίνεται ότι λόγω της μειωμένης τιμής της αντίστασης R_{sh} το ρεύμα και η ισχύς μειώνεται και λόγω του ότι η αντίσταση R_s είναι μεγαλύτερη ότι το υλικό των ημιαγωγών έχει υποστεί αλλοιώσεις όπως οξείδωση, αποκόλληση ιδίως στην περιοχή του busbar. Η χαρακτηριστική καμπύλη υποδηλώνει ότι το πλαίσιο δεν έχει ταλαιπωρηθεί πολύ και δεν έχει υποστεί μεγάλο βαθμό γήρανσης. Λόγω του ότι υπάρχει υποβάθμιση EVA μειώνεται η διαπερατότητα στο φως και η απόδοση.

Από την σύγκριση των χαρακτηριστικών του κατασκευαστή με τα αποτελέσματα των μετρήσεων όπως προέκυψαν από την ανάλυση της χαρακτηριστικής καμπύλης I-V παρατηρείται πως η ισχύς του κατασκευαστή είναι ίση με 55 W, η μετρούμενη ισχύς είναι ίση με 33,26 W που ισοδυναμεί με ποσοστό :

$$\frac{P_{m,μετρήσεων}}{P_{m,κατασκευαστή}} = \frac{33,26}{55} = 0,6047 \text{ δηλαδή για να βρούμε το } 0,60 \cdot 100 = 60\%.$$

Άρα το ποσοστό διαφοράς είναι $100\% - 60\% = 40\%$.

iv) Πλαίσιο D_v1

$R_{sh} = 24,8\Omega$ και $R_s = 2,5\Omega$. Καθώς οι τιμές των αντιστάσεων διαφέρουν από τις αποδεκτές τιμές, συμπεραίνεται ότι λόγω της μειωμένης τιμής της αντίστασης R_{sh} το ρεύμα και η ισχύς μειώνεται και λόγω του ότι η αντίσταση R_s είναι μεγαλύτερη ότι το υλικό των ημιαγωγών έχει υποστεί αλλοιώσεις όπως οξείδωση, αποκόλληση ιδίως στην περιοχή του busbar. Η υποβάθμιση του EVA φαίνεται οπτικά καθώς από διαφανές χρώμα έχει αλλάξει σε καφέ, η οξείδωση παρατηρείται στα busbars, η μικρή υποβάθμιση του ARC φαίνεται από το έντονο μπλε χρώμα των κελιών το οποίο υποδηλώνει πως η ανακλαστικότητα ή ο ημιαγωγός έχουν χαλάσει.

Από την σύγκριση των χαρακτηριστικών του κατασκευαστή με τα αποτελέσματα των μετρήσεων όπως προέκυψαν από την ανάλυση της χαρακτηριστικής καμπύλης I-V παρατηρείται πως η ισχύς του κατασκευαστή είναι ίση με 55 W, η μετρούμενη ισχύς είναι ίση με 30,36 W που ισοδυναμεί με ποσοστό :

$$\frac{P_{m,μετρήσεων}}{P_{m,κατασκευαστή}} = \frac{30,36}{55} = 0,552 \text{ δηλαδή για να βρούμε το } 0,55 \cdot 100 = 55\%$$

Άρα το ποσοστό διαφοράς είναι $100\% - 55\% = 45\%$.

v) Πλαίσιο E_v1

$R_{sh}=287,3\Omega$ και $R_s=1,9\ \Omega$. Καθώς η τιμή της αντίστασης R_s διαφέρει από την αποδεκτή τιμή, συμπεραίνεται ότι λόγω του ότι η αντίσταση R_s είναι μεγαλύτερη ότι το υλικό των ημιαγωγών έχει υποστεί αλλοιώσεις όπως οξείδωση, αποκόλληση ιδίως στην περιοχή του busbar. Η υποβάθμιση του EVA φαίνεται οπτικά καθώς από διαφανές χρώμα έχει αλλάξει σε καφέ, η οξείδωση παρατηρείται στα busbars, η μικρή υποβάθμιση του AR φαίνεται από το μπλε χρώμα των ημιαγωγών το οποίο υποδηλώνει πως η ανακλαστικότητα ή ο ημιαγωγός έχουν χαλάσει.

Από την σύγκριση των χαρακτηριστικών του κατασκευαστή με τα αποτελέσματα των μετρήσεων όπως προέκυψαν από την ανάλυση της χαρακτηριστικής καμπύλης I-V παρατηρείται πως η ισχύς του κατασκευαστή είναι ίση με 55 W, η μετρούμενη ισχύς είναι ίση με 33,09 Wp που ισοδυναμεί με ποσοστό :

$$\frac{P_{m,μετρήσεων}}{P_{m,κατασκευαστή}} = \frac{33,09}{55} = 0,6016 \text{ δηλαδή για να βρούμε το}$$

$0,602*100=60\%$. Άρα το ποσοστό διαφοράς είναι $100\%-60\%=40\%$.

vi) Πλαίσιο G_v3

$R_{sh}=109,7\Omega$ και $R_s=1,5\ \Omega$. Καθώς οι τιμές των αντιστάσεων διαφέρουν από τις αποδεκτές τιμές, συμπεραίνεται ότι λόγω της μειωμένης τιμής της αντίστασης R_{sh} το ρεύμα και η ισχύς μειώνεται και λόγω του ότι η αντίσταση R_s είναι μεγαλύτερη ότι το υλικό των ημιαγωγών έχει υποστεί αλλοιώσεις όπως οξείδωση, αποκόλληση ιδίως στην περιοχή του busbar. Η υποβάθμιση του ARC ανακλά την ακτινοβολία και δεν αφήνει το σύστημα να χρησιμοποιήσει την ακτινοβολία, οπτικά φαίνεται από το μπλε χρώμα των ημιαγωγών.

Από την σύγκριση των χαρακτηριστικών του κατασκευαστή με τα αποτελέσματα των μετρήσεων όπως προέκυψαν από την ανάλυση της χαρακτηριστικής καμπύλης I-V παρατηρείται πως η ισχύς του κατασκευαστή είναι ίση με 55 W, η μετρούμενη ισχύς είναι ίση με 35,82 Wp που ισοδυναμεί με ποσοστό :

$$\frac{P_{m,μετρήσεων}}{P_{m,κατασκευαστή}} = \frac{35,82}{55} = 0,6513 \text{ δηλαδή για να βρούμε το}$$

ποσοστό $0,6513*100=65\%$. Άρα το ποσοστό διαφοράς είναι $100\%-65\%=35\%$.

vii) Πλαίσιο H_v1:

$R_{sh}=89,5\Omega$ και $R_s=1,5\ \Omega$. Καθώς οι τιμές των αντιστάσεων διαφέρουν από τις αποδεκτές τιμές, συμπεραίνεται ότι λόγω της μειωμένης τιμής της αντίστασης R_{sh} το ρεύμα και η ισχύς μειώνεται και λόγω του ότι η αντίσταση R_s είναι μεγαλύτερη ότι το υλικό των ημιαγωγών έχει υποστεί αλλοιώσεις όπως οξείδωση, αποκόλληση ιδίως στην περιοχή του busbar. Η υποβάθμιση EVA μειώνει την διαπερατότητα στο φως

και την απόδοση. Η υποβάθμιση AR δημιουργεί μεγάλη ανακλαστικότητα της ακτινοβολίας και δεν αφήνει την ακτινοβολία να είναι πλήρως χρήσιμη.

Από την σύγκριση των χαρακτηριστικών του κατασκευαστή με τα αποτελέσματα των μετρήσεων όπως προέκυψαν από την ανάλυση της χαρακτηριστικής καμπύλης I-V παρατηρείται πως η ισχύς του κατασκευαστή είναι ίση με 55 W , η μετρούμενη ισχύς είναι ίση με 34,16 Wp που ισοδυναμεί με ποσοστό :

$$\frac{P_{m,μετρήσεων}}{P_{m,κατασκευαστή}} = \frac{34,16}{55} = 0,6211 \text{ δηλαδή για να βρούμε το}$$

ποσοστό $0,6211 \cdot 100 = 62\%$. Άρα το ποσοστό διαφοράς είναι $100\% - 62\% = 38\%$.

viii) Πλαίσιο L_v1

Rsh=226,3Ω και Rs=2,4 Ω. Καθώς η τιμή της αντίστασης Rs διαφέρει από την αποδεκτή τιμή , συμπεραίνεται ότι λόγω του ότι η αντίσταση Rs είναι μεγαλύτερη ότι το υλικό των ημιαγωγών έχει υποστεί αλλοιώσεις όπως οξείδωση , αποκόλληση ιδίως στην περιοχή του busbar. Λόγω του ότι υπάρχει υποβάθμιση EVA μειώνεται η διαπερατότητα στο φως και η απόδοση. Η υποβάθμιση AR δημιουργεί μεγάλη ανακλαστικότητα της ακτινοβολίας και δεν αφήνει την ακτινοβολία να είναι πλήρως χρήσιμη.

Από την σύγκριση των χαρακτηριστικών του κατασκευαστή με τα αποτελέσματα των μετρήσεων όπως προέκυψαν από την ανάλυση της χαρακτηριστικής καμπύλης I-V παρατηρείται πως η ισχύς του κατασκευαστή είναι ίση με 55 W , η μετρούμενη ισχύς είναι ίση με 28,30 Wp που ισοδυναμεί με ποσοστό :

$$\frac{P_{m,μετρήσεων}}{P_{m,κατασκευαστή}} = \frac{28,30}{55} = 0,5145 \text{ δηλαδή για να βρούμε το}$$

ποσοστό $0,5145 \cdot 100 = 51\%$. Άρα το ποσοστό διαφοράς είναι $100\% - 51\% = 49\%$.

ix) Πλαίσιο SW-KEK

Rsh=199Ω και Rs=0,9 Ω. Καθώς οι τιμές των αντιστάσεων δεν διαφέρουν από τις αποδεκτές τιμές , συμπεραίνεται ότι δεν υπάρχει υποβάθμιση σε μεγάλο βαθμό.

Από την σύγκριση των χαρακτηριστικών του κατασκευαστή με τα αποτελέσματα των μετρήσεων όπως προέκυψαν από την ανάλυση της χαρακτηριστικής καμπύλης I-V παρατηρείται πως η ισχύς του κατασκευαστή είναι ίση με 55 W , η μετρούμενη ισχύς είναι ίση με 65,62 Wp που ισοδυναμεί με ποσοστό :

$$\frac{P_{m,μετρήσεων}}{P_{m,κατασκευαστή}} = \frac{65,62}{80} = 0,8202 \text{ δηλαδή για να βρούμε το}$$

ποσοστό $0,8202 \cdot 100 = 82\%$. Άρα το ποσοστό διαφοράς είναι $100\% - 82\% = 18\%$.

Στα πλαίσια αυτής της πτυχιακής εργασίας μελετήσαμε την ενεργειακή υποβάθμιση , το βαθμό γήρανσης Φ/Β πλαισίων τύπου c-Si. Μελετήθηκαν πλαίσια των οποίων ο χρόνος λειτουργίας σε συνθήκες περιβάλλοντος ήταν άνω των είκοσι ετών για SM55 και πενταετής για το Φ/Β πλαίσιο SW-ΚΕΚ.

Η μέθοδος η οποία χρησιμοποιήθηκε βασίστηκε στην μελέτη της χαρακτηριστικής καμπύλης I-V και στην ανάλυση αυτής με την μέθοδο των πέντε παραμέτρων , με την μέθοδο αυτή προσδιορίστηκαν οι τιμές των R_s και R_{sh} .

Οι τιμές της εν σειρά αντίστασης είναι πολύ ανώτερες της τιμής 0,8 Ω που είναι μία αποδεκτή τιμή και έτσι συνεπάγεται ότι το υλικό των ημιαγωγών έχει υποστεί αλλοιώσεις όπως οξείδωση , αποκόλληση ιδίως στην περιοχή των busbars γεγονός που αυξάνει την αντίσταση σε σειρά και μειώνει την μέγιστη τιμή της ισχύος . Οι τιμές που βρέθηκαν ήταν διπλάσιες για αυτά τα πλαίσια είκοσι δύο ετών. Αντίθετα , το SW-ΚΕΚ που είναι πενταετίας δεν έχει τόσο αυξημένη αντίσταση σε σειρά. Αυτό δείχνει ότι τα νεότερα Φ/Β πλαίσια έχουν μικρή αύξηση της εσωτερικής αντίστασης η οποία δρα υποβαθμιστικά στην ισχύ.

Ομοίως , η παράλληλη αντίσταση είναι πολύ μικρότερη της συνήθους τιμής των 200Ω για τα c-Si κρυσταλλικά πλαίσια. Η μείωση της εν παραλλήλω αντίστασης δείχνει την μείωση του ρεύματος το οποίο τελικά αποδίδεται σε πολύ μικρότερο βαθμό δηλαδή η ισχύς που αποδίδεται στο φορτίο που είναι συνδεδεμένο το Φ/Β πλαίσιο.

Οι τιμές των δύο αντιστάσεων , εν σειρά και εν παραλλήλω , χαρακτηρίζουν το μέγεθος της ενεργειακής υποβάθμισης . Για τον προσδιορισμό του $\frac{\delta P_m}{P_m}$ για τον ποσοστό υποβάθμισης , η ανάλυση των χαρακτηριστικών καμπυλών I-V έδειξε ότι οι τιμές του $\frac{\delta P_m}{P_m}$ κυμαίνονται για τα εικοσαετής λειτουργίας από 13 έως 46 τις εκατό και για το πενταετής Φ/Β πλαίσιο 12 τις εκατό . Αυτό δείχνει ότι τα Φ/Β πλαίσια που είναι σε λειτουργία ελεύθερα στο χώρο έχουν υποστεί σε διαφορετικό βαθμό την αλλοίωση των χαρακτηριστικών , αυτό είναι φανερό από την μελέτη καθώς σε άλλα Φ/Β πλαίσια υπάρχει υποβάθμιση στο EVA, σε άλλα αποκόλληση ,σε άλλα οξείδωση, σε άλλα καταστροφή του ημιαγωγού δίπλα στο busbar ,σε άλλα hotspots και σε άλλα υποβάθμιση στο ARC. Αυτό δείχνει μια ανομοιομορφία των παραγόντων

γήρανσης όπως εμφανίζονται στα Φ/Β πλαίσια και εξαρτάται από τις συνθήκες που έχουν υποβληθεί.

Παρατηρήθηκε ότι το $\frac{\delta P_m}{P_m}$ στο Φ/Β πλαίσιο SW-ΚΕΚ αν ανάγουμε την υποβάθμιση ανά έτος τότε θα έχουμε πολύ μικρή τιμή της. Εάν η γήρανση ήταν χρονικά ομοιόμορφη ανά έτος και γραμμικά αυξανόμενη τότε θα ήταν γήρανση.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Καπλάνης Σωκράτης Ν. , Ηλιακή μηχανική: Ηλιακά θερμικά συστήματα και εφαρμογές των Α.Π.Ε, Τόμος 2 ,Εκδόσεις Ίων , έτος εκδόσεως 2004.

Καπλάνης Σωκράτης Ν. , Μηχανική των φωτοβολταϊκών συστημάτων :Τεχνολογία, μελέτες, εφαρμογές, Τόμος 3 , Εκδόσεις Ίων , έτος εκδόσεως 2004.

https://el.wikipedia.org/wiki/Ηλιακή_ενέργεια

https://el.wikipedia.org/wiki/Πηγή_ενέργειας

http://meteo.geo.auth.gr/askiseis/Math_Chapter_2.pdf

<http://www.care.gr/post/2235/posi-aktinovia-dexomaste-se-ena-aeroporiko-taksidi>http://lap.physics.auth.gr/pms/upload/Erg_aktinometriasis_simeioseis.pdf

<https://el.wikipedia.org/wiki/Πυρανόμετρο>

<http://www.kippzonen.com/Product/13/CMP-11-Pyranometer>

<http://www.kippzonen.com/>

<http://www.ostrisolar.gr/index.php/2011-03-04-23-37-35>

http://users.sch.gr//angnikolou/tech_v/fotovoltaika.htm

http://www.greenrhinoenergy.com/solar/technologies/solar_glass.php

http://file.scirp.org/Html/9-7700795_22914.htm#txtF2

http://www.greenrhinoenergy.com/solar/technologies/solar_glass.php

http://file.scirp.org/Html/9-7700795_22914.htm#txtF2

<http://www.vitaldose.com/blog/melting-behavior-of-ethylene-vinyl-acetate-eva-copolymers/>

<http://www.pveducation.org/pvcdrom/design/finger-resistance>

<http://www.pveducation.org/pvcdrom/design/anti-reflection-coatings>

http://library.tee.gr/digital/kma/kma_m1515/kma_m1515_PVGuide_Approved.pdf

<http://portal.tee.gr/po>http://library.tee.gr/digital/kma/kma_m1515/kma_m1515_PVGuide_Approved.pdf

<http://portal.tee.gr/page/portal/library>

<http://nemertes.lis.upatras.gr/jspui/bitstream/10889/2561/1/%CE%94%CE%B9%CF%80%CE%BB.%CE%8C%CE%BB%CE%B7Y.pdf>

http://www.cea.org.cy/TOPICS/Renewable%20Energy/2013/%CE%A6%CE%92%20%CF%83%CF%85%CF%83%CF%84%CE%AE%CE%BC%CE%B1%CF%84%CE%B1_Net%20metering%2023_10_2013.pdf

<http://ieeexplore.ieee.org/xpl/login.jsp?tp=&arnumber=520106&url=http%3A%2F%2Fieeexplore.ieee.org%2Fiel2%2F3971%2F11458%2F00520106>

http://www.nist.gov/el/building_materials/upload/Bokria.pdf

<http://rollingwash.net/docs/Degradation%20Effects%20in%20sc-Si%20PV%20Modules%20Subjected%20to%20Natural%20and%20Induced%20Ageing.pdf>

http://aluminco.com/media/29477/Solar_Bases_brochure.pdf

<http://coolweb.gr/ti-einai-skouria-pos-dimiourgeitai-okseidosi/>

<http://rollingwash.net/docs/Degradation%20Effects%20in%20sc-Si%20PV%20Modules%20Subjected%20to%20Natural%20and%20Induced%20Ageing.pdf>

<http://rollingwash.net/docs/Degradation%20Effects%20in%20sc-Si%20PV%20Modules%20Subjected%20to%20Natural%20and%20Induced%20Ageing.pdf>

<http://www.nature.com/srep/2014/140328/srep04506/full/srep04506.html>

<http://www.ecosolarcare.gr/kindynoi-me-syntereses>

<http://dspace.uowm.gr/xmlui/bitstream/handle/123456789/23/GAKHS%20ANASTASIOS1133.pdf?sequence=1&isAllowed=y>