

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗΣ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΗΣ ΔΙΑΤΑΞΗΣ
ΑΠΟΜΑΚΡΥΣΜΕΝΟΥ ΕΛΕΓΧΟΥ ΤΟΥ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟΥ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΩΝ ΠΗΓΩΝ
ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΤΗΣ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟΥΠΟΛΗΣ 1 ΓΙΑ ΤΗ ΔΙΕΞΑΓΩΓΗ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΩΝ
ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ**

ΣΠΟΥΔΑΣΤΗΣ:
ΠΑΝΑΓΙΩΤΟΠΟΥΛΟΣ ΟΡΕΣΤΗΣ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ
Δρ Κ.Α. ΚΑΒΒΑΔΙΑΣ

ΑΙΓΑΛΕΩ
ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ 2019

ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗΣ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΗΣ ΔΙΑΤΑΞΗΣ ΑΠΟΜΑΚΡΥΣΜΕΝΟΥ ΕΛΕΓΧΟΥ ΤΟΥ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟΥ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΩΝ ΠΗΓΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΤΗΣ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟΥΠΟΛΗΣ 1 ΓΙΑ ΤΗ ΔΙΕΞΑΓΩΓΗ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην παρούσα εργασία μέσω μιας καινοτόμα εφαρμογής επ' ονόματι alioslab πραγματοποιήθηκαν πειράματα σε πραγματικό χρόνο, παίρνοντας μετρήσεις κάτω από διάφορες συνθήκες και συνδεσμολογίες.

Στο πρώτο σκέλος της εργασίας εμπεριέχονται πληροφορίες σχετικά με την εγκατάσταση και το μοντέλο. Ειδικότερα, παρουσιάζονται οι παράμετροι λειτουργίας των φωτοβολταϊκών πλαισίων, τα όργανα από τα οποία αποτελείται η εγκατάσταση και που είναι αναγκαία για τη λήψη των μετρήσεων, τα τεχνικά χαρακτηριστικά των φωτοβολταϊκών πλαισίων της εγκατάστασης, αλλά και ο τρόπος λειτουργίας του προγράμματος alioslab για την διεξαγωγή πειραμάτων.

Στη συνέχεια πραγματοποιούνται πειράματα για την εξαγωγή της χαρακτηριστικής καμπύλης I-V των φωτοβολταϊκών πλαισίων κάτω από διάφορες συνθήκες και συνδεσμολογίες. Στο τέλος κάθε πειράματος υπάρχουν κάποια συμπεράσματα.

Στο τελευταίο κεφάλαιο της εργασίας περιγράφονται συνοπτικά τα βασικότερα συμπεράσματα που προέκυψαν.

ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ: Φωτοβολταϊκό πλαίσιο, alioslab, απομακρυσμένος έλεγχος, εργαστηριακές μετρήσεις, χαρακτηριστική καμπύλη I-V, εργαστηριακά πειράματα

UTILIRATION OF THE EXPERIMENTAL, REMOTELY CONTROLLED PHOTOVOLTAIC SYSTEM OF THE LABORATORY OF RENEWABLE ENERGY SOURCES IN CAMPUS 1 FOR EXECUTING LABORATORY MEASUREMENTS

ABSTRACT

In the current thesis, via an innovative application named alioslab, real-time experiments have been performed, by taking measurements under different conditions and connections.

At the first part of the thesis, some useful information can be found regarding the facility and the model. More specifically, the operating parameters of the photovoltaic panels are presented, along with the instruments of which the facility is consisted that are needed in order to gather the required measurements. A presentation of the technical specifications of the facility's photovoltaic panels and how the alioslab program works in order to perform the experiments are also included.

Subsequently, a series of experiments is presented, which were performed in order to extract the characteristic I-V curve of the photovoltaic panels under different conditions and connections. At the end of each experiment some interesting findings are reported.

The most important conclusions are presented briefly at the final chapter.

KEY WORDS: Photovoltaic panel, alioslab , remote control, laboratory measurements, characteristic I-V curve, laboratory experiments

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα πτυχιακή εργασία αναλύει τα όργανα και τις μεθόδους που χρησιμοποιούμε, για την διεξαγωγή πειραμάτων μέσω φ/β διάταξης απομακρυσμένου ελέγχου του εργαστηρίου ανανεώσιμων πηγών ενέργειας που βρίσκεται στην πανεπιστημιούπολη 1. Επίσης περιέχει μερικά πειράματα για καλύτερη κατανόηση.

Το alioslab επιτρέπει στους χρήστες να εκτελούν πραγματικές δοκιμές και πειράματα με τα φωτοβολταϊκά πάνελ μέσω του Διαδικτύου σε πραγματικό χρόνο. Ταυτόχρονα, ο χρήστης μπορεί να έχει ζωντανή εικόνα των συστημάτων μέσω μιας “Web” κάμερας. Τα φωτοβολταϊκά πάνελ βρίσκονται στην οροφή του εργαστηρίου. Το σύστημα είναι προσβάσιμο από όλους τους χρήστες με πρόσβαση στο διαδίκτυο και προσφέρεται σε τουλάχιστον πέντε διαφορετικές γλώσσες.

Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι η αξιοποίηση της πειραματικής φωτοβολταϊκής διάταξης που βρίσκεται στην πανεπιστημιούπολη 1 για τη διεξαγωγή πειραμάτων ώστε να βοηθήσουν τους φοιτητές να κατανοήσουν καλύτερα τη λειτουργία και τα χαρακτηριστικά των φωτοβολταϊκών. Επίσης, να κατανοήσουν σε τι βαθμό μπορεί να επηρεάζεται ένα φωτοβολταϊκό πλαίσιο όταν σκιάζεται αλλά και τι αλλάζει όταν συνδέονται διαφορετικά μεταξύ τους.

Τέλος, τα φ/β πλαίσια που χρησιμοποιήθηκαν είναι τέσσερα όμοια μονοκρυσταλλικά των 20 watt.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ	2
ABSTRACT	3
ΠΡΟΛΟΓΟΣ.....	4
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ	5
ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΣΧΗΜΑΤΩΝ-ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΠΙΝΑΚΩΝ	6
ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΠΙΝΑΚΩΝ	7
1. ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ Φ/Β ΠΛΑΙΣΙΩΝ	8
1.1. Εισαγωγή	8
1.2. Βαθμός απόδοσης φ/β πλαισίου	9
1.3. Συντελεστής πλήρωσης	10
1.4. Ηλιακή ακτινοβολία.....	11
1.5. Κλίση	13
1.6. Περιτοφικά συστήματα στήριξης φ/β πλαισίου	14
1.7. Σκίαση	16
1.8. Γήρανση φ/β πλαισίων	18
1.9. Τρόποι σύνδεσης φ/β πλαισίων.....	22
1.9.1. Σύνδεση φ/β πλαισίων σε σειρά	22
1.9.2. Σύνδεση φ/β πλαισίων παράλληλα	23
1.9.3. Μεικτή σύνδεση φ/β πλαισίων	24
1.10. Χαρακτηριστική καμπύλη.....	25
1.10.1. Χαρακτηριστική καμπύλη I-V φ/β.....	25
1.10.2. Παράγοντες που επηρεάζουν την χαρακτηριστική καμπύλη I-V.....	26
2. ΑΝΑΛΥΤΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ.....	28
2.1. Μοντέλο φ/β πλαισίου	28
2.2. Επιμέρους όργανα λειτουργίας	31
3. ΔΙΕΞΑΓΩΓΗ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ.....	33
3.1. Τρόπος διεξαγωγής πειραματικών μετρήσεων	33
3.2. Διεξαγωγή πειραμάτων	43
3.2.1. Προσδιορισμός της μέγιστης ισχύος εξόδου του φ/β πλαισίου.....	43
3.2.2. Σύγκριση των καμπυλών I-V	49
3.2.3. Προσδιορισμός της μέγιστης ισχύος σε ένα σκιασμένο φ/Β.....	57
3.2.4. Χαρακτηριστική καμπύλη φ/β πλαισίων που συνδέονται σε σειρά και παράλληλα	61
3.2.5. Προσδιορισμός του συντελεστή πλήρωσης.....	72
4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	77
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	78

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Σχήμα 1.1: Θεωρητικό διάγραμμα συντελεστή πλήρωσης.....	10
Σχήμα 1.2: Ηλιακή ακτινοβολία στην ατμόσφαιρα.....	11
Σχήμα 1.3: Σύνδεση ϕ/β σε σειρά.....	22
Σχήμα 1.4: Σύνδεση ϕ/β παράλληλα.....	23
Σχήμα 1.5: Μεικτή σύνδεση ϕ/β πλαισίων.....	24
Σχήμα 1.6: Χαρακτηριστική καμπύλη I-V ϕ/β πλαισίου για σταθερή ένταση ακτινοβ και θερμοκρ....	25
Σχήμα 1.7: Χαρακτηριστική καμπύλη I-V ϕ/β πλαισίου εξαρτώμενη από την ένταση της ηλι ακτιν....	26
Σχήμα 1.8: Χαρακτηριστική καμπύλη I-V ϕ/β πλαισίου εξαρτώμενη από την θερμοκρασία.....	27
Σχήμα 3.1: Χαρακτηριστικές καμπύλες I-P.....	46
Σχήμα 3.2: Θεωρητική χαρακτηριστική καμπύλη I-V για 687 W/m^2	50
Σχήμα 3.3: Πειραματική χαρακτηριστική καμπύλη I-V για 687 W/m^2	50
Σχήμα 3.4: Θεωρητική χαρακτηριστική καμπύλη I-V για 878 W/m^2	52
Σχήμα 3.5: Πειραματική χαρακτηριστική καμπύλη I-V για 878 W/m^2	52
Σχήμα 3.6: Θεωρητική χαρακτηριστική καμπύλη I-V για 1052 W/m^2	54
Σχήμα 3.7: Πειραματική χαρακτηριστική καμπύλη I-V για 1052 W/m^2	54
Σχήμα 3.8: Θεωρητικές χαρακτηριστικές καμπύλες I-V	55
Σχήμα 3.9: Πειραματικές χαρακτηριστικές καμπύλες I-V.....	55
Σχήμα 3.10: Χαρακτηριστικές καμπύλες V-I για 1040 W/m^2	64
Σχήμα 3.11: Χαρακτηριστικές καμπύλες V-I για 1040 W/m^2	64
Σχήμα 3.12: Χαρακτηριστικές καμπύλες V-I για 1040 W/m^2	65
Σχήμα 3.13: Χαρακτηριστικές καμπύλες V-I για 600 W/m^2	69
Σχήμα 3.14: Χαρακτηριστικές καμπύλες V-I για 600 W/m^2	69
Σχήμα 3.15: Χαρακτηριστικές καμπύλες V-I για 600 W/m^2	70
Σχήμα 3.16: Διάγραμμα συντελεστή πλήρωσης για 1087 W/m^2	73
Σχήμα 3.17: Διάγραμμα συντελεστή πλήρωσης για 872 W/m^2	75

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1.Ι: Ενδεικτική απόδοση ανάλογα με τον προσανατολισμό και την κλίση.....	13
Πίνακας 1.ΙΙ: Ενδεικτική απώλεια ισχύος λόγω σκίασης.....	17
Πίνακας 2.Ι: Προδιαγραφές φ/β πλαισίου.....	29
Πίνακας 2.ΙΙ: Ενδείξεις της εγκατάστασης.....	40
Πίνακας 2.ΙΙΙ: Χρονικό διάστημα διεξαγωγής πειραμάτων.....	41
Πίνακας 3.Ι: Μετρήσεις ενός φ/β με 687 W/m ² ηλιακή ακτινοβολία.....	43
Πίνακας 3.ΙΙ: Μετρήσεις ενός φ/β με 878 W/m ² ηλιακή ακτινοβολία.....	44
Πίνακας 3.ΙΙΙ: Μετρήσεις ενός φ/β με 1052 W/m ² ηλιακή ακτινοβολία.....	45
Πίνακας 3.ΙV: Μετρήσεις ενός φ/β με 1052 W/m ² ηλιακή ακτινοβολία.....	46
Πίνακας 3. V: Μετρήσεις ενός φ/β με 687 W/m ² ηλιακή ακτινοβολία.....	49
Πίνακας 3. VI: Μετρήσεις ενός φ/β με 877 W/m ² ηλιακή ακτινοβολία.....	51
Πίνακας 3. VII: Μετρήσεις ενός φ/β με 1052 W/m ² ηλιακή ακτινοβολία.....	53
Πίνακας 3.ΙX: Μετρήσεις ενός σκιασμένου φ/β με 853 W/m ² ηλιακή ακτινοβολία.....	57
Πίνακας 3. X: Μετρήσεις ενός σκιασμένου φ/β με 1121 W/m ² ηλιακή ακτινοβολία.....	58
Πίνακας 3. XI: Μετρήσεις ενός φ/β με 1088 W/m ² ηλιακή ακτινοβολία.....	61
Πίνακας 3. XII: Μετρήσεις φ/β συνδεδεμένων σε σειρά με 1048 W/m ² ηλιακή ακτινοβολία.....	62
Πίνακας 3. XIII: Μετρήσεις φ/β συνδεδεμένων παράλληλα με 1041 W/m ² ηλιακή ακτινοβολία.....	63
Πίνακας 3. XIV: Μετρήσεις ενός φ/β με 620 W/m ² ηλιακή ακτινοβολία.....	66
Πίνακας 3. XV: Μετρήσεις φ/β συνδεδεμένων σε σειρά με 610 W/m ² ηλιακή ακτινοβολία.....	67
Πίνακας 3. L: Μετρήσεις φ/β συνδεδεμένων παράλληλα με 605 W/m ² ηλιακή ακτινοβολία.....	68
Πίνακας 3. LX: Μετρήσεις ενός φ/β με 1087 W/m ² ηλιακή ακτινοβολία.....	72
Πίνακας 3. XC: Μετρήσεις ενός φ/β με 872 W/m ² ηλιακή ακτινοβολία.....	74

1. ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ Φ/Β ΠΛΑΙΣΙΩΝ

1.1 Εισαγωγή

Η ενέργεια ήταν πάντα η κινητήρια δύναμη, με την σημασία της να αυξάνεται ιδιαίτερα κατά την πρώτη δεκαετία του 21ου αιώνα. Λόγω της μακροοικονομικής σπουδαιότητας της ενέργειας στην κοινωνία στις ανθρώπινες δραστηριότητες και αποτελεί πλέον σήμερα ένα πολύτιμο αγαθό στις παγκόσμιες χρηματοπιστωτικές αγορές. [12]

Τα ενεργειακά θέματα έχουν ενταχθεί στην παγκόσμια γεωπολιτική και θα συνεχίσουν να συζητούνται υπό το φώς της αυξανόμενης συγκέντρωσης προμηθειών πετρελαίου στην μέση ανατολή σε συνδυασμό με την ολοένα και μεγαλύτερη ζήτηση ενέργειας σε παγκόσμιο επίπεδο. Εκτός αυτού, η ενέργεια βρίσκεται στο επίκεντρο της παγκόσμιας περιβαλλοντικής αλλαγής επειδή οι εκπομπές από την χρήση και την κατανάλωση της συμβάλλουν σημαντικά στην αλλαγή του κλίματος που μαστίζει τον πλανήτη.

Έτσι δημιουργείται η ανάγκη να αυξηθεί η χρήση εναλλακτικών μορφών ενέργειας φιλικότερες προς το περιβάλλον που δεν είναι άλλες από τις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας. Η κύρια πηγή δημιουργίας τους είναι ο ήλιος, δηλαδή η ηλιακή ακτινοβολία. Για αυτό και στην παρούσα εργασία θα ασχοληθούμε με την χρησιμότητα αυτής της ανεξάντλητης πηγής ενέργειας και συγκεκριμένα με την ηλιακή ενέργεια που παίρνουμε από τα φ/β πλαίσια. [11]

Το φωτοβολταϊκό φαινόμενο έχει ανακαλυφθεί εδώ και πολλά χρόνια. Ο Γάλλος φυσικός Edmond Becquerel ήταν ο πρώτος που ανακάλυψε το φωτοβολταϊκό φαινόμενο το 1839. Έκτοτε με την πάροδο του χρόνου σπουδαίοι επιστήμονες, όπως ο Albert Einstein το 1905 κατανόησαν και βελτίωσαν το φαινόμενο αυτό. Σήμερα, λόγω της ραγδαίας εξέλιξης της τεχνολογίας το φωτοβολταϊκό πλαίσιο είναι μια πρακτική και οικονομική λύση για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, καθώς ο βαθμός απόδοσης του έχει φτάσει σε σημείο να είναι πολύ ικανοποιητικός.



Εικόνα 1.1: Edmond Becquerel

1.2 Βαθμός απόδοσης φ/β πλαισίου

Ο βαθμός απόδοσης εκφράζει το ποσοστό της ηλιακής ακτινοβολίας που μετατρέπεται σε ηλεκτρική ενέργεια στο φ/β πλαίσιο.[4]

Έτσι ο βαθμός απόδοσης ενός φ/β πλαισίου είναι το πηλίκο της αποδιδόμενης ηλεκτρικής ισχύος προς την προσπίπτουσα στο πλαίσιο, ισχύ της ηλιακής ακτινοβολίας $G \times A$:

$$\eta_m = \frac{P_m}{G \times A}$$

όπου

$P_m \rightarrow$ αποδιδόμενη μέγιστη ηλεκτρική ισχύς. (V×I)

$G \rightarrow$ πυκνότητα ισχύος της ηλιακής ακτινοβολίας στο επίπεδο του Φ/Β πλαισίου.

$A \rightarrow$ είναι το εμβαδόν του πλαισίου

Η απόδοση ενός φ/β πλαισίου εξαρτάται κυρίως από:

\rightarrow Από το κλίμα της περιοχής (όσο λιγότερες είναι οι ημέρες της ηλιοφάνειας, πχ δυτική Ελλάδα, τόσο μικρότερη είναι η απόδοση) .

\rightarrow Από το γεωγραφικό πλάτος της περιοχής (όσο πιο νότια είναι η περιοχή, τόσο μεγαλύτερη είναι η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας). Στην Ελλάδα, οι υψηλότερες αποδόσεις παρατηρούνται όσο πιο νότια και ανατολικά βρίσκεται μια περιοχή.

\rightarrow Από την κλίση των Φ/Β πλαισίων ως προς το οριζόντιο επίπεδο (η βέλτιστη απόδοση είναι με νότιο προσανατολισμό και κλίση περίπου 30 μοίρες) .

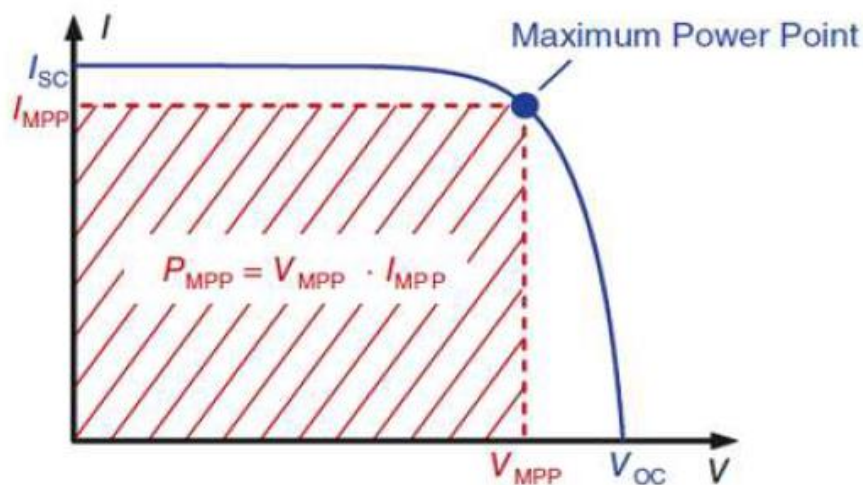
\rightarrow Από την ηλικία των Φ/Β πλαισίων (υπολογίζεται ότι τα πάνελ έχουν ζωή 30 έτη με απόδοση έως και 80% για τα πρώτα 20έτη).

1.3 Συντελεστής πλήρωσης

Ο συντελεστής πλήρωσης (FF) είναι μία σημαντική παράμετρος που καθορίζει την απόδοση ενός φ/β πλαισίου. Υπολογίζεται διαιρώντας την μέγιστη ισχύ (P_{MPP}) προς την θεωρητική μέγιστη ισχύ που προκύπτει ως το γινόμενο της τάσεως του ανοικτού κυκλώματος (V_{oc}) και ρεύμα βραχυκυκλώσεως (I_{sc}). Στα σημεία I_{sc} και V_{oc} , η ισχύς θα είναι μηδέν και η μέγιστη αξία για την ισχύ θα προκύψει μεταξύ των δύο. Η τάση και το ρεύμα σε αυτό το μέγιστο σημείο τροφοδοσίας υποδηλώνεται ως V_{mpp} και I_{mpp} αντίστοιχα [2][4].

$$FF = \frac{V_{mpp} \times I_{mpp}}{V_{oc} \times I_{sc}} = \frac{P_{mpp}}{V_{oc} \times I_{sc}}$$

Η FF μπορεί επίσης να παραστεί γραφικά ως την επιφάνεια της ορθογώνιας περιοχής που δίνεται στο παρακάτω θεωρητικό διάγραμμα συντελεστή πλήρωσης.



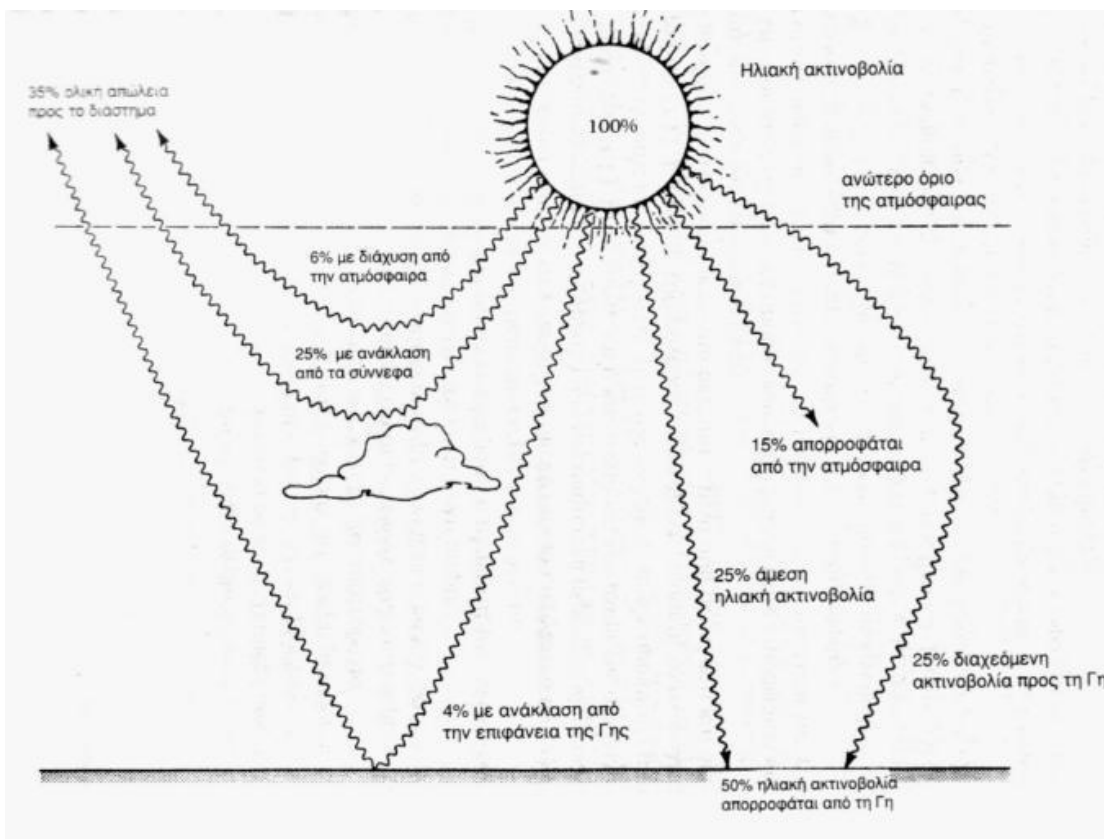
Σχήμα 1.1: Θεωρητικό διάγραμμα συντελεστή πλήρωσης [4]

Στο σχήμα 1.1 ο δείκτης FF είναι ο λόγος του εμβαδού της επιφάνειας του ορθογώνιου, του μεγίστου που μπορεί να αναγραφεί, προς το εμβαδόν που ορίζεται από τις τιμές I_{sc} και V_{oc} . Τυπικοί παράγοντες πλήρωσης κυμαίνονται από 0,5 έως 0,7 για άμορφα φ/β πλαίσια και 0,75 έως 0,85 για κρυσταλλικά φ/β πλαίσια. Ο συμπληρωματικός παράγοντας συχνά εκπροσωπείται ως ποσοστό.

1.4 Ηλιακή ακτινοβολία

Η ηλιακή ακτινοβολία καθώς διέρχεται την ατμόσφαιρα εξασθενεί. Αυτό συμβαίνει λόγω της απορρόφησης που γίνεται από τα συστατικά της ατμόσφαιρας, της αλλαγής διεύθυνσης του φωτός, δηλαδή της διάχυσης και της ανάκλασης προς το διάστημα.

Η ηλιακή ακτινοβολία χωρίζεται σε διάχυτη και σε άμεση. Η διάχυτη ηλιακή ακτινοβολία είναι όταν ένα τμήμα της ακτινοβολίας διαχέεται από την ατμόσφαιρα και φθάνει στην επιφάνεια του εδάφους ενώ η άμεση ηλιακή ακτινοβολία είναι αυτή που φθάνει στην επιφάνεια της γης σαν δέσμη ακτινών απευθείας από τον ήλιο.



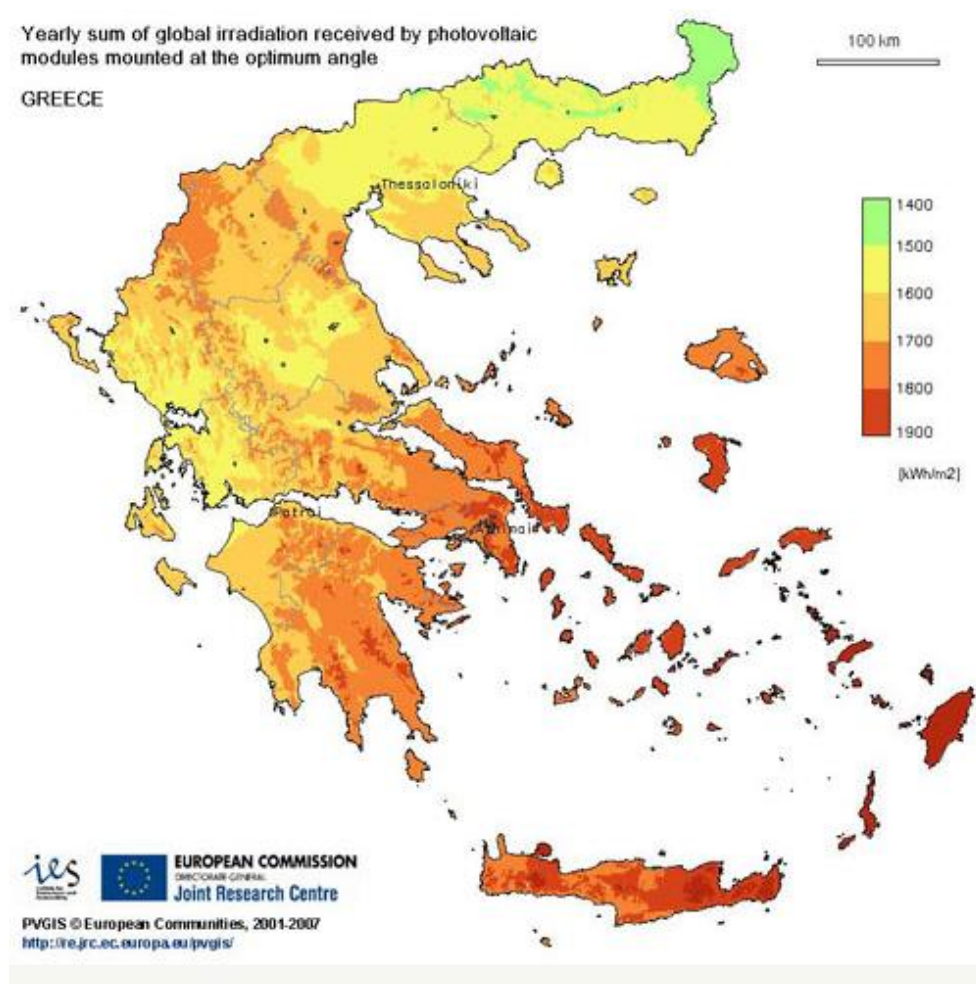
Σχήμα 1.2: Ηλιακή ακτινοβολία στην ατμόσφαιρα [4]

Η ηλιοφάνεια που προσπίπτει στο έδαφος εξαρτάται από τους εξής παράγοντες:

- Το γεωγραφικό πλάτος, που καθορίζει την διάρκεια της ημέρας.
- Την νέφωση και οι ρυπάνσεις της ατμόσφαιρας, που αυξάνει την εξασθένηση της ηλιακής ακτινοβολίας λόγω της απορρόφησης.
- Το ανάγλυφο της επιφάνειας, καθώς ένα βουνό δέχεται περισσότερη ακτινοβολία σε σχέση με μια κοιλάδα.
- Το υψόμετρο, καθώς κάθε 1000 μέτρα αυξάνεται περίπου 20% η ηλιακή ακτινοβολία.

Η ηλιοφάνεια χωρίζεται σε θεωρητική διάρκεια, που είναι ο χρόνος από την ανατολή ως την δύση, και σε πραγματική διάρκεια, που είναι μικρότερη από την θεωρητική, λόγω ότι ελαττώνεται από την παρουσία νέφωσης και επηρεάζεται από την τοπογραφία κάθε τόπου. Ένας εύκολος τρόπος προκειμένου να πάρουμε πληροφορίες για το ηλιακό δυναμικό κάποιας περιοχής είναι οι ηλιακοί χάρτες. Οι χάρτες αυτοί δίνουν μια εικόνα της διαθεσιμότητας και της κατανομής της ηλιακής ακτινοβολίας. Τα δεδομένα των ηλιακών χαρτών προέρχονται από ένα μεγάλο δίκτυο επίγειων μετρητικών σταθμών.

Στην εικόνα 1.2 παρουσιάζεται ένας χάρτης της Ελλάδος με την ετήσια ολική ηλιακή ενέργεια σε οριζόντιο επίπεδο. Ο χάρτης αυτός, δίνει πληροφορίες για την ολική ηλιακή ενέργεια που είναι διαθέσιμη στην επιφάνεια της Ελλάδος.



Εικόνα 1.2: Ετήσια ολική ηλιακή ενέργεια σε οριζόντιο επίπεδο στην Ελλάδα

Παρόλα αυτά υπάρχουν και τοπικές συνθήκες που επηρεάζουν την κατανομή της ηλιακής ενέργειας, εκτός της επίδρασης του γεωγραφικού πλάτους. Ακόμα και για το ίδιο γεωγραφικό πλάτος.





1.5 Κλίση

Η απόδοση ενός φωτοβολταϊκού πλαισίου εξαρτάται, σε μεγάλο βαθμό από την κλίση που είναι ρυθμισμένο ως προς το οριζόντιο επίπεδο. Για την ρύθμιση της σωστής κλίσης θα πρέπει να υπάρχει γνώση της διαδικασίας μέτρησης και υπολογισμού της ηλιακής ενέργειας, μέσω του προσδιορισμού της προσπίπτουσας σε μια επιφάνεια ακτινοβολίας συνυπολογίζοντας την κλίση και τον προσανατολισμό αυτής καθώς και το χρόνο και τον τόπο της μελέτης [8].

Συνήθως επιλέγεται μια κλίση που να δίνει τα καλύτερα αποτελέσματα καθ' όλη τη διάρκεια του έτους. Στην Ελλάδα, η βέλτιστη κλίση είναι γύρω στις 25°-30°.

Παρακάτω παρουσιάζεται ένας ενδεικτικός πίνακας της απόδοσης που θα έχει ένα φ/β πλαίσιο ανάλογα με τον προσανατολισμό και την κλίση ως προς το οριζόντιο επίπεδο που θα τοποθετηθεί.

Πίνακας 1.1: Ενδεικτική απόδοση ανάλογα με τον προσανατολισμό και την κλίση [13]

Κλίση ως προς το οριζόντιο επίπεδο	Προσανατολισμός		
	Νότιος	Νοτιοανατολικός Νοτιοδυτικός	Ανατολικός Δυτικός
0 ° 	90%	90%	90%
15 ° 	98%	95%	88%
30 ° 	100%	95%	85%
90 ° 	60%	60%	50%

Από τον πίνακα 1.1 παρατηρείται ότι τα φ/β πλαίσια έχουν τη μέγιστη απόδοση όταν έχουν νότιο προσανατολισμό. Παρόλα αυτά αποκλίσεις από το Νότο είναι επιτρεπτές.

1.6 Περιστροφικά συστήματα στήριξης φ/β πλαισίου

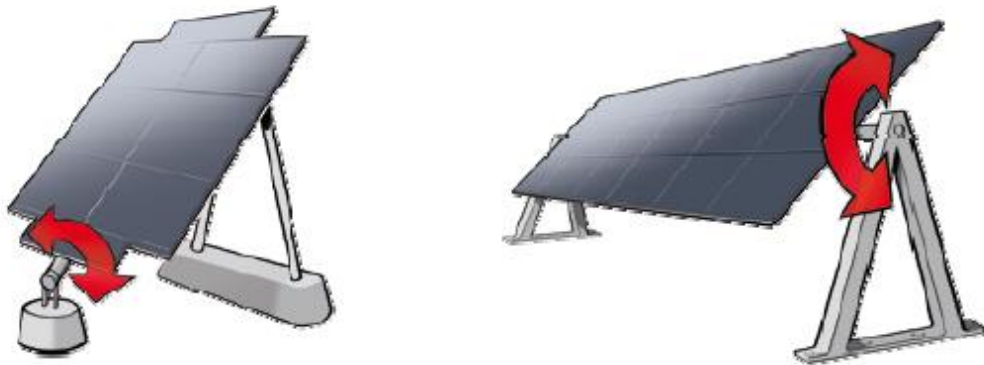
Αξίζει να σημειωθεί ότι υπάρχουν και κάποια συστήματα στήριξης επί του εδάφους που ακολουθούν την πορεία του ήλιου, και εκμεταλλεύονται περισσότερη ηλιακή ακτινοβολία, αυξάνοντας έτσι την απόδοση του συστήματος (συνήθως κατά 20%-40%). Αυτά τα συστήματα στήριξης λέγονται αλλιώς και ηλιοστάτες [4][8].

Τα φ/β πλαίσια τοποθετούνται πάνω σε ένα ειδικά κατασκευασμένο μονοαξονικό η διαξονικό σύστημα το οποίο παρακολουθεί καθόλη την διάρκεια της ημέρας, την πορεία του ήλιου. Ο προσανατολισμός της βάσης είναι νότιος και η πορεία της κινούμενης βάσης γίνεται από την ανατολή προς την δύση. Αν το σύστημα στήριξης είναι διαξονικό μπορεί και να μεταβάλλει συνεχώς τη γωνία προς το οριζόντιο επίπεδο διατηρώντας πάντα τους συλλέκτες στην κατάλληλη θέση ώστε να δέχονται συνεχώς κάθετα την ηλιακή ακτινοβολία. Η γωνία κλίσης των φ/β πλαισίων, ως προς το οριζόντιο επίπεδο, γίνεται χειροκίνητα η και αυτόματα με βάση τη μηνιαία βέλτιστη κλίση.

Η παρακολούθηση της διαδρομής του ήλιου στις μονοαξονικές βάσεις μπορεί να γίνει με τη βοήθεια κάποιου αισθητήρα ή πολύ απλά χρησιμοποιώντας έναν από τους συλλέκτες. Ώρα εκκίνησης της πορείας λαμβάνεται η ώρα που ο ήλιος ανατέλλει κατά την εαρινή ισημερία. Αντιθέτως στις διαξονικές η παρακολούθηση της τροχιάς του ήλιου γίνεται με τη βοήθεια δύο αξόνων (δύο αισθητήρες και δύο κινητήρες) έτσι ώστε να αλλάζουν συνεχώς η γωνία β (κλίση ως προς το οριζόντιο επίπεδο) και η γωνία γ (αζιμουθιακή γωνία). Το όλο σύστημα είναι προγραμματισμένο ώστε να περιστρέφεται με γωνιακή ταχύτητα ίση με την ωριαία γωνία του ήλιου.



Εικόνα 1.3: Εγκατάσταση περιστροφικών διαξονικών φ/β πλαισίων



Εικόνα 1.4 : Συστήματα στήριξης μονοαξονικά



Εικόνα 1.5: Συστήματα στήριξης διαξονικά

Επειδή ο μηχανισμός μετακίνησης είναι εκτεθειμένος στις καιρικές συνθήκες, τα συστήματα στήριξης θα πρέπει να είναι στεγανά και τα κινητά μέρη να είναι ανοξειδωτά, έτσι ώστε να απαιτείται ελάχιστη συντήρηση.

Τα συστήματα στήριξης αναμφισβήτητα αποτελούν μία ακριβή αλλά και αρκετά αποδοτική λύση των Φ/Β εγκαταστάσεων.

Παρόλα αυτά Ιδιαίτερη προσοχή χρειάζεται στην απόσταση μεταξύ τους αλλά και γενικότερα για την αποφυγή σκίασης κατά τη διαδικασία παρακολούθησης της τροχιάς του ήλιου.

1.7 Σκίαση

Ένας άλλος σημαντικός παράγοντας ο οποίος επιδρά καθοριστικά στην ενεργειακή αποδοτικότητα ενός κτηριακού Φ/Β συστήματος είναι η ύπαρξη σκιασμών. Όταν ένα φ/β πλαίσιο σκιάζεται ακόμη και εν μέρει, παράγει σημαντικά χαμηλότερο ρεύμα και κατά συνέπεια λιγότερη ενέργεια[8].

Η επίδραση της σκίασης σε ένα φ/β σύστημα εξαρτάται από τους ακόλουθους παράγοντες:

- Τον αριθμό των σκιασμένων πλαισίων.
- Των αριθμό των κυττάρων στα πλαίσια και των διόδων παράκαμψης.
- Το βαθμό της σκίασης.
- Τη χωρική κατανομή και τη πορεία της σκίασης με τη πάροδο του χρόνου.
- Τη σύνδεση των πλαισίων.
- Τη σχεδίαση των μετατροπέων


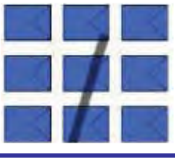




Εικόνα 1.6: Μερικώς σκιασμένο φ/β πλαίσιο

Λαμβάνοντας υπόψη ότι όσο τα Φ/Β πλαίσια και τα Φ/Β στοιχεία μιας στοιχειοσειράς συνδέονται μεταξύ τους εν σειρά, γίνεται κατανοητό ότι ακόμα κι ο σκιασμός ενός μέρους της φ/β συστοιχίας μπορεί να προκαλέσει μείωση της παραγόμενης ισχύος συγκριτικά με την αναμενόμενη τιμή αυτής όπως παρατηρείται και παρακάτω. (Πίνακας 1.ΙΙ)

Στον πίνακα 1.ΙΙ υπάρχουν δυο διαφορετικές στήλες όπου η μια δείχνει της απώλειες ισχύος σε Φ/β 1x9 και η άλλη Φ/β 3x3. Η απώλεια ισχύος παρουσιάζεται σε ποσοστά επί της εκατό(%).

Πίνακας 1.ΙΙ: Ενδεικτική απώλεια ισχύος λόγω σκίασης [13]

Τρόπος σκίασης	Σκίαση (%)	Ενδεικτική απώλεια ισχύος (1 string x 9 modules)	Ενδεικτική απώλεια ισχύος (3 string x 3 modules)
	0,15%	-3,7%	-1,7%
	2,6%	-16,7%	-7%
	11,1%	-36,5%	-30,5%
	12,5%	-18,3%	-17%

Αναλυτικότερα, το συνολικό ρεύμα μιας στοιχειοσειράς Φ/β πλαισίων καθορίζεται από το μειωμένο ρεύμα του σκιασμένου τμήματος της Φ/β συστοιχίας. Βέβαια στην περίπτωση που ο σκιασμός περιορίσει την τάση του σκιασμένου πλαισίου αρκετά χαμηλά ώστε να εισέλθει σε αγωγή η δίοδος παράκαμψης, το πλαίσιο αυτό εξαιρείται της ηλεκτροπαραγωγής.

Από μια άλλη οπτική γωνία, μόνιμοι και επαναλαμβανόμενοι τοπικοί σκιασμοί σε ώρες υψηλής ακτινοβολίας δύναται να καταπονήσουν το σκιαζόμενο Φ/β πλαίσιο, προκαλώντας την πρόωρη γήρανση αυτού. Συνεπώς είναι σημαντικό να αποφεύγονται σκιασμοί, έστω και από αντικείμενα μικρού όγκου όπως κολώνες, κεραίες ή ηλεκτρικά καλώδια ή, ακόμη περισσότερο, από δένδρα, παρακείμενα κτήρια κλπ. Η επιλογή της θέσης έδρασης της Φ/β συστοιχίας θα πρέπει να γίνεται κατά τέτοιο τρόπο ώστε να εξασφαλίζεται ότι δεν θα υπάρχουν σκιασμοί καθ' όλο το έτος και ειδικά τις ώρες υψηλής ηλιακής ακτινοβολίας.

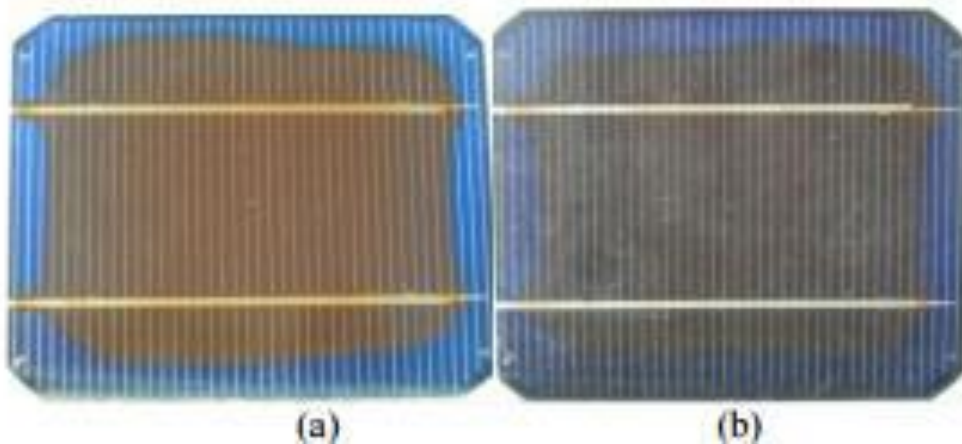
1.8 Γήρανση φ/β πλαισίων

Η γήρανση των φωτοβολταϊκών πλαισίων μπορεί να επηρεάσει σε μεγάλο βαθμό το βαθμό απόδοσης τους και να δημιουργήσει πολλά προβλήματα στην λειτουργία τους. Συμβαίνει σε διαφορετικά σημεία του φωτοβολταϊκού πλαισίου και έχει διάφορες μορφές. Τα φαινόμενα γήρανσης είναι τα εξής[14] :

Αποχρωματισμός

Ο αποχρωματισμός μπορεί να γίνει είτε με φυσιολογικό τρόπο, με την πάροδο του χρόνου, είτε με επιταχυνόμενο τρόπο. Αυτό εξαρτάται από τους παράγοντες που επηρεάζουν το φωτοβολταϊκό πλαίσιο και από το ποσοστό που το επηρεάζουν.

Τέτοιοι παράγοντες είναι η συνεχόμενη σκίαση και οι θερμικές επιδράσεις στα φωτοβολταϊκά πλαίσια, τα οποία δραστηριοποιούνται για μεγάλο χρονικό διάστημα και εμφανίζουν ένα σκούρο χρώμα και καλύπτουν ένα αρκετά μεγάλο μέρος της επιφάνειας των κυψελών.



Εικόνα 1.7: Αποχρωματισμός ενός φ/β πλαισίου

Ρωγμές

Οι ρωγμές αποτελούν σημαντικό παράγοντα για την ηλεκτρική ενέργεια, ανάλογα με την θέση στην οποία βρίσκονται. Οι ανενεργές περιοχές που δημιουργούνται από τις ρωγμές δεν μπορούν να παράγουν ηλεκτρική ενέργεια και άρα θεωρούνται μη χρήσιμες.

Οξείδωση

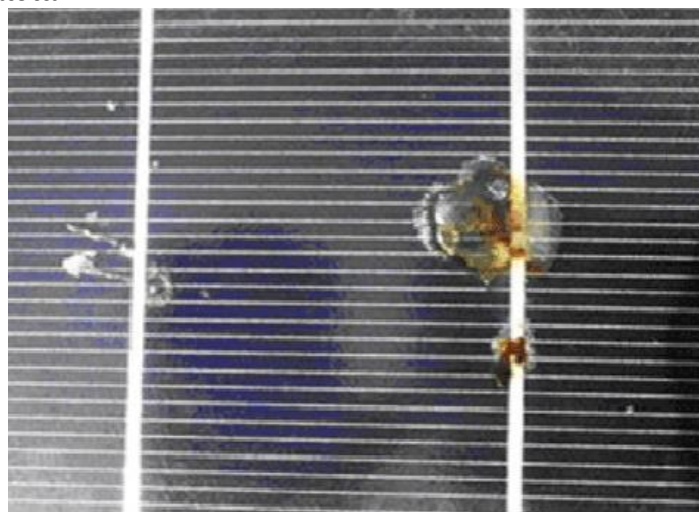
Στα μονοκρυσταλλικά φωτοβολταϊκά πλαίσια χρησιμοποιείται αυξημένης υψηλής ποιότητας πυρίτιο. Στο πυρίτιο λόγω της μεγάλης σε χρονικά διάστημα έκθεσης του σε οξυγόνο και υγρασία παθαίνει οξείδωση. Για να γίνει η οξείδωση γίνονται ηλεκτροχημικές και ατμοσφαιρικές αντιδράσεις και έχει ως αποτέλεσμα να δημιουργηθεί σκουριά. Εξαιτίας της σκουριάς έχουμε μείωση των ηλεκτρονίων και ως αποτέλεσμα αυτού μείωση παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας.



Εικόνα 1.8: Οξείδωση Φ/Β κελιού τετράγωνου σχήματος

Τοπικές υπερθερμάνσεις (hotspots)

Ο σχηματισμός τοπικών υπερθερμάνσεων των (hotspots) οι οποίες δημιουργούνται λόγω σκίασης αλλά και των ακαθαρσιών των πτηγών που μπορεί να πέσουν πάνω στα φωτοβολταϊκά πλαίσια.

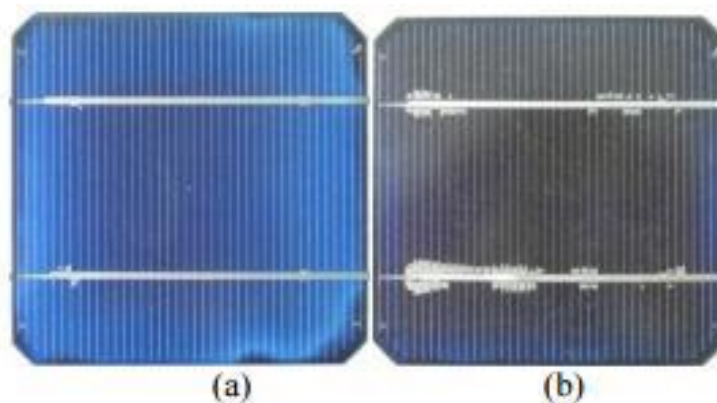


Εικόνα 1.9: Ενεργειακή υποβάθμιση των hotspots

Αποικοδόμηση αντανακλαστικής επικάλυψης

Στην παρακάτω εικόνα 1.9 το (α) φωτοβολταϊκό πλαίσιο έχει υποστεί αποικοδόμηση αντανακλαστικής επικάλυψης.

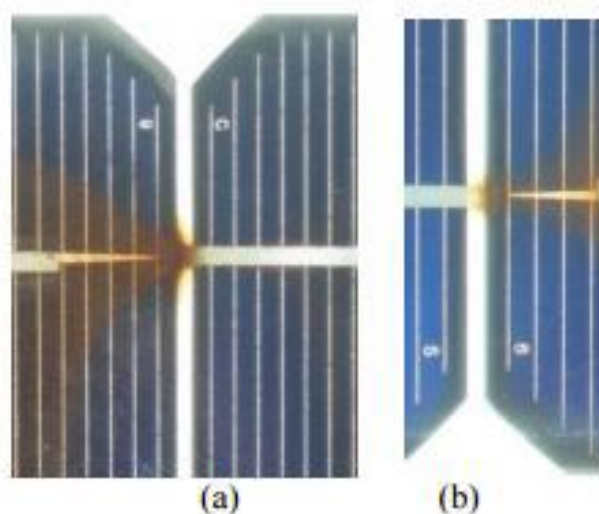
Στην περίπτωση (α) είναι το αποτέλεσμα της φυσικής γήρανσης περίπου 20 ετών με μικρή υποβάθμιση της διεπαφής των κυψελών. Αντιθέτως στη περίπτωση (β) είναι μια χειρότερη περίπτωση της υποβάθμισης της διεπαφής



Εικόνα 1.10: Ενεργειακή υποβάθμιση

Γήρανση στην διεπαφών

Όταν το φωτοβολταϊκό πλαίσιο είναι σε επαγόμενη σκίαση δημιουργείται η υποβάθμιση η οποία έχει άμεση σύνδεση με την διάβρωση των διεπαφών.



Εικόνα 1.11: Ενεργειακή υποβάθμιση στην διεπαφή

Ρωγμή στην πίσω μεριά του Φ/Β.

Σε ένα φωτοβολταϊκό πλαίσιο μπορεί να υπάρξει ρωγμή και βλάβη στην πίσω σφράγιση. Έτσι με την πάροδο του χρόνου θα εισχωρήσει υγρασία στο εσωτερικό του φωτοβολταϊκού πλαισίου και θα το καταστρέψει.



Εικόνα 1.12: Ρωγμή Φ/Β πλαισίου

1.9 Τρόποι σύνδεσης φ/β πλαισίων

Η ηλεκτρική ισχύς που απαιτείται συνήθως σε μια φ/β εγκατάσταση παρέχεται από περισσότερα του ενός πλαίσια κατάλληλα συνδεδεμένα μεταξύ τους.

Οι τρόποι που μπορούν να συνδεθούν είναι: σε **σειρά**, **παράλληλα**, **μεικτά** [8].

Στην πράξη, τα φ/β συνδέονται σε σειρά όπου ο αριθμός των μονάδων καθορίζεται από την επιθυμητή τάση, και παράλληλα όταν θέλουμε να πετύχουμε το απαιτούμενο ρεύμα. Ενώ με τη μεικτή σύνδεση πετυχαίνουμε την αύξηση του ρεύματος και της τάσης ταυτόχρονα.

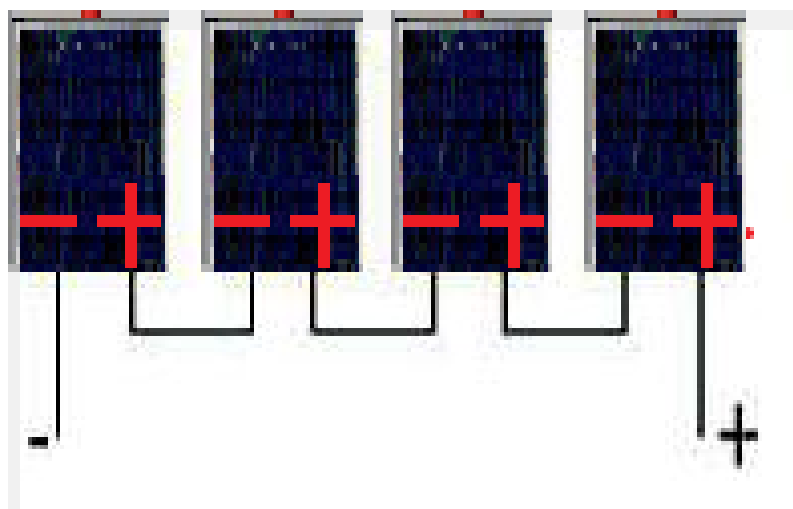
1.9.1 Σύνδεση φ/β πλαισίων σε σειρά

Η σύνδεση αυτή χρησιμοποιείται στις περιπτώσεις που θέλουμε να επιτύχουμε τάση μεγαλύτερη από την τάση που παρέχει κάθε φ/β πλαίσιο χωριστά. Έτσι με την σύνδεση σε σειρά οι ατομικές τάσεις τους προστίθενται και σχηματίζουν την απαιτούμενη τάση. [13][16]

Η σύνδεση γίνεται ως εξής: Ο θετικός πόλος του ενός στοιχείου συνδέεται με τον αρνητικό πόλο του επομένου και η διαδικασία συνεχίζεται μέχρι να συνδεθούν όλα μεταξύ τους. Έτσι προκύπτει μια συστοιχία φ/β πλαισίων σε σειρά.

Έτσι συνδέοντας τα φ/β πλαίσια σε σειρά αθροίζουμε τα βολτ των κυψελών που συνδέουμε, ώστε να πετύχουμε το συνδυασμό βολτ και αμπερ που θέλουμε ($V \times A = W$). Τα πλαίσια που θα συνδεθούν σε σειρά πρέπει να έχουν το ίδιο ρεύμα βραχυκύκλωσης και το ίδιο ρεύμα μέγιστης ισχύος.

Στο σχήμα 1.3 φαίνεται ο τρόπος συνδεσμολογίας τεσσάρων όμοιων φ/β πλαισίων σε σειρά.



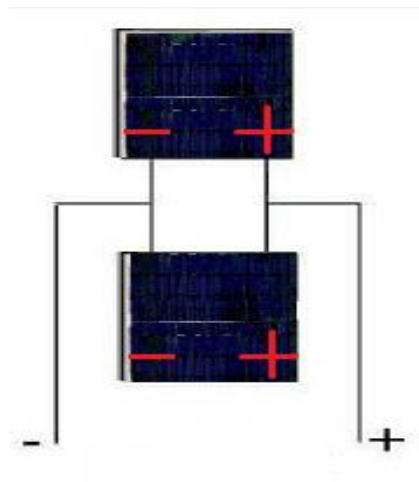
Σχήμα 1.3: Σύνδεση φ/β σε σειρά

1.9.2 Σύνδεση φ/β πλαισίων παράλληλα

Η σύνδεση αυτή χρησιμοποιείται στις περιπτώσεις που θέλουμε να επιτύχουμε ρεύμα μεγαλύτερο από το ρεύμα που παρέχει κάθε πλαίσιο χωριστά. Επειδή το ρεύμα που παρέχεται από έναν μεμονωμένο συλλέκτη είναι χαμηλό για πολλές εφαρμογές. Συνδέοντας τα φ/β πλαίσια παράλληλα αθροίζουμε τα αμπέρ των κυψελών που συνδέουμε, με αποτέλεσμα σε ένα υψηλότερο συνολικό ρεύμα, ώστε να πετύχουμε το συνδυασμό βολτ και αμπέρ που θέλουμε .[13][16]

Η σύνδεση γίνεται ως εξής: Ο θετικός πόλος του ενός στοιχείου συνδέεται με το θετικό πόλο του άλλου και ο αρνητικός πόλος με τον αρνητικό πόλο του άλλου. Η διαδικασία αυτή επαναλαμβάνεται μέχρι να συνδεθούν όλα μεταξύ τους. Έτσι προκύπτει μια συστοιχία φ/β πλαισίων συνδεδεμένων παράλληλα. Τα πλαίσια που θα συνδεθούν παράλληλα πρέπει να έχουν την ίδια τάση ανοικτού κυκλώματος VOC. Το συνολικό ρεύμα της συστοιχίας είναι το άθροισμα των ρευμάτων του κάθε πλαισίου.

Στο σχήμα 1.4 φαίνεται ο τρόπος συνδεσμολογίας δυο όμοιων φ/β πλαισίων παράλληλα.

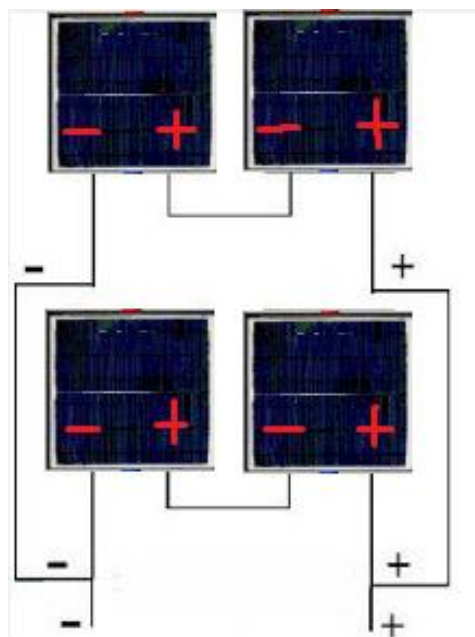


Σχήμα 1.4: Σύνδεση φ/β παράλληλα

1.9.3 Μεικτή σύνδεση φ/β πλαισίων

Με αυτή τη μεικτή σύνδεση πετυχαίνουμε την αύξηση του ρεύματος και της τάσης ταυτόχρονα, σε τιμές που δεν είναι διαθέσιμες από απλά πλαίσια. Από τεχνικής άποψης είναι συνδυασμός της σύνδεσης σε σειρά και της παράλληλης σύνδεσης και κατά συνέπεια ισχύει ό,τι ισχύει σε αυτές τις συνδέσεις.[16]

Στο σχήμα 1.5 φαίνεται ο τρόπος συνδεσμολογίας τεσσάρων όμοιων φ/β πλαισίων με μεικτή σύνδεση.

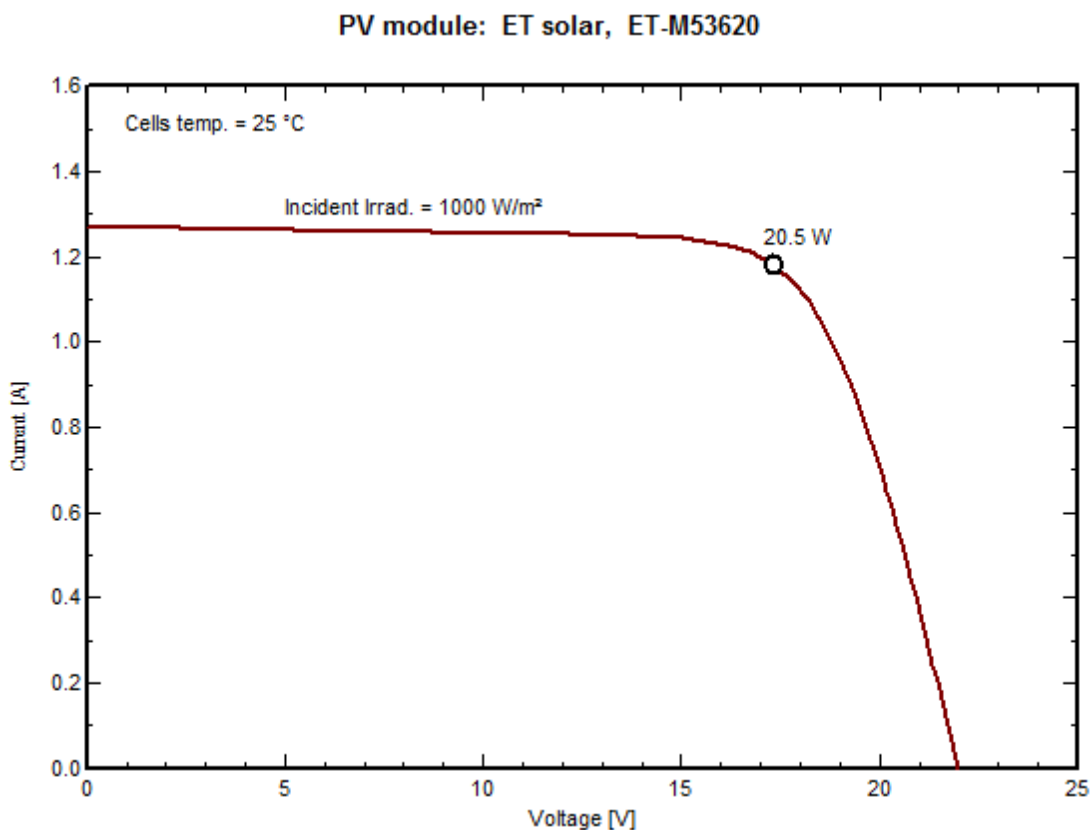


Σχήμα 1.5: Μεικτή σύνδεση φ/β πλαισίων

1.10 Χαρακτηριστική καμπύλη

1.10.1 Χαρακτηριστική καμπύλη I-V ϕ/β :

Σε αντίθεση με τις περισσότερες ηλεκτρικές πηγές ενέργειας, οι οποίες διατηρούν τη τάση τους σταθερή στην περιοχή κανονικής λειτουργίας τους, στα φωτοβολταϊκά πλαίσια η τάση μεταβάλλεται μη γραμμικά σε σχέση με την ένταση του ρεύματος που παρέχουν στο κύκλωμα ακόμα και αν η ηλιακή ακτινοβολία παραμένει σταθερή. Για σταθερή ηλιακή ακτινοβολία και θερμοκρασία και για μεταβαλλόμενες τιμές της αντίστασης του κυκλώματος που τροφοδοτεί το φωτοβολταϊκό πλαίσιο, η τάση και η ένταση του ρεύματος παίρνουν ενδιάμεσες τιμές, ανάμεσα στις ακραίες που αντιστοιχούν σε μηδενική αντίσταση (Όταν δηλαδή το κύκλωμα είναι βραχυκυκλωμένο και έχει μέγιστη τιμή ρεύματος I_{sc} και μηδενική τάση) και σε άπειρη αντίσταση (όταν δηλαδή το κύκλωμα είναι ανοιχτοκυκλωμένο και έχει μηδενική τιμή ρεύματος και μέγιστη τιμή τάσης V_{oc}), όπως παρουσιάζεται στο σχήμα 1.6.

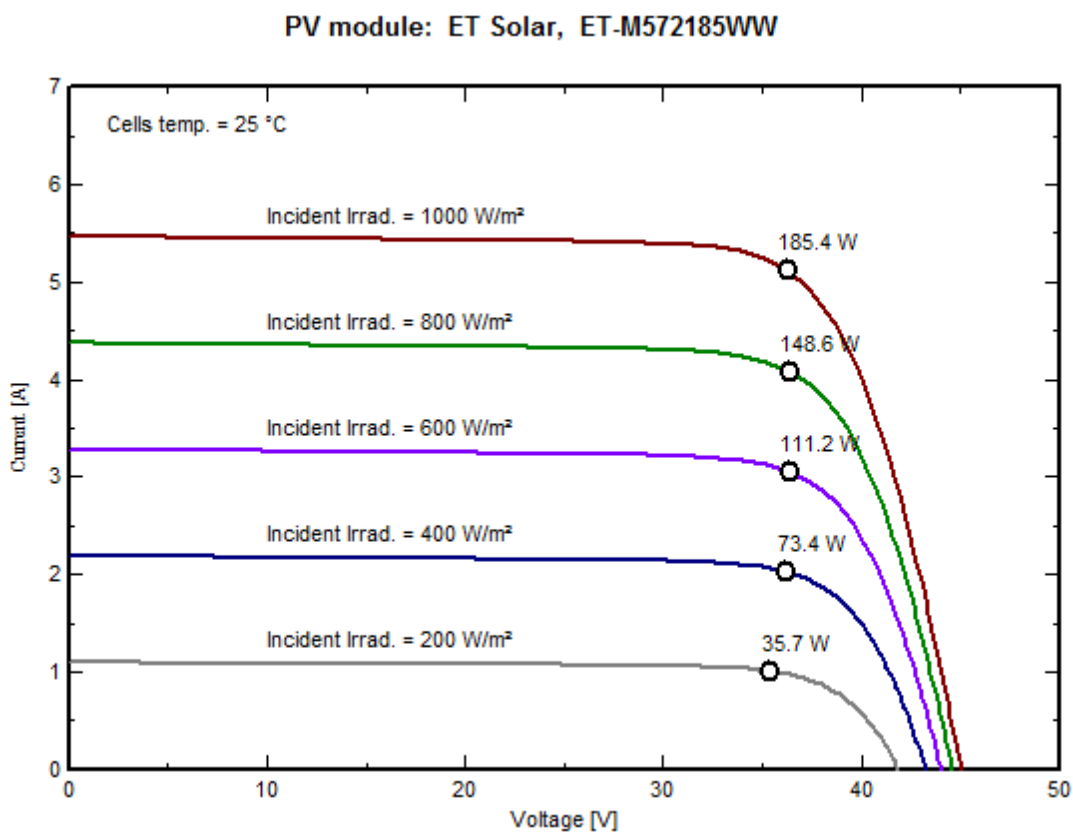


Σχήμα 1.6: Χαρακτηριστική καμπύλη I-V ϕ/β πλαισίου για σταθερή ένταση ακτινοβολίας και θερμοκρασίας [4]

1.10.2 Παράγοντες που επηρεάζουν την χαρακτηριστική καμπύλη I-V:

Ηλιακή ακτινοβολία:

Ο πιο σημαντικός παράγοντας που επηρεάζει την χαρακτηριστική καμπύλη ενός φωτοβολταϊκού πλαισίου είναι η ηλιακή ακτινοβολία. Πιο συγκεκριμένα η ένταση του ρεύματος που παρέχει στο κύκλωμα το φωτοβολταϊκό πλαίσιο είναι ανάλογη προς την ποσότητα της ακτινοβολίας που δέχεται.

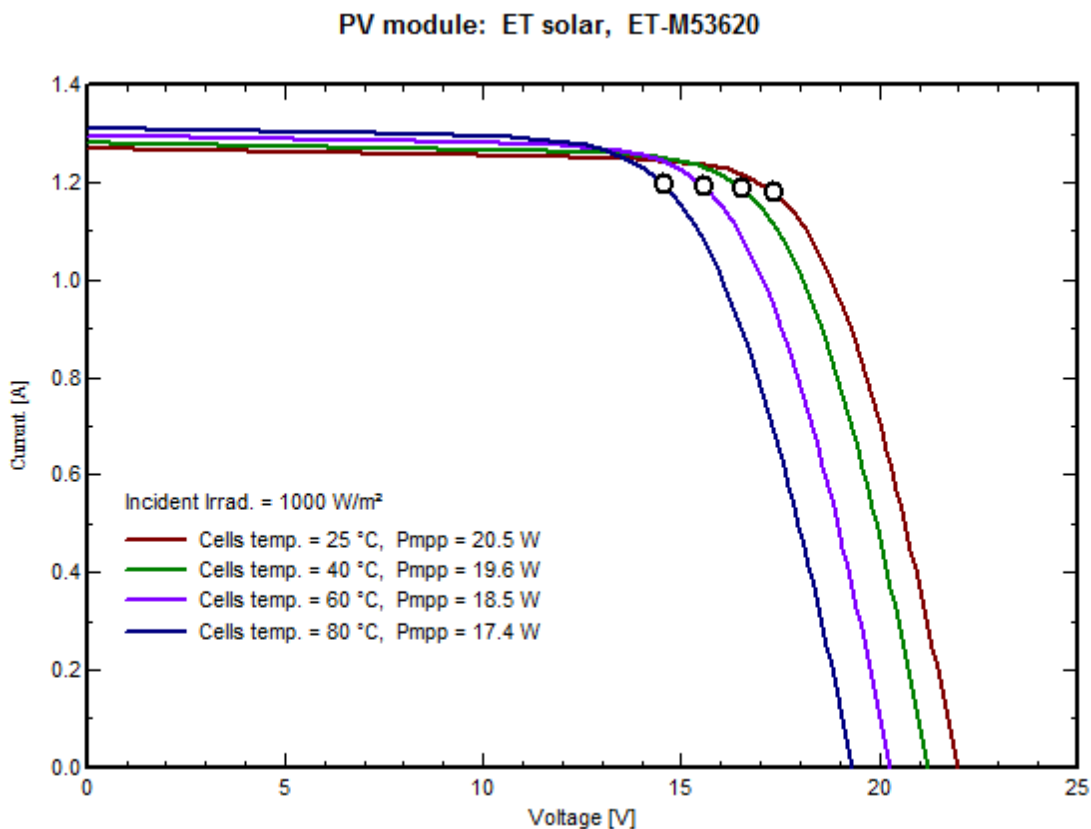


Σχήμα 1.7: Χαρακτηριστική καμπύλη I-V φ/β πλαισίου εξαρτώμενη από την ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας

Από το σχήμα 1.7 φαίνεται ότι το ρεύμα βραχυκύκλωσης I_{sc} μεταβάλλεται γραμμικά ενώ στην τάση ανοιχτού κυκλώματος V_{oc} διακρίνεται μια μικρή σταθερότητα.

Θερμοκρασία:

Η αποδοτικότητα του φωτοβολταϊκού πλαισίου επηρεάζεται αρνητικά από την αύξηση της θερμοκρασίας. Τα φ/β πλαίσια δοκιμάζονται σε θερμοκρασία 25°C. Ανάλογα με την θέση έχουν εγκατασταθεί, η θερμότητα μπορεί να μειώσει την απόδοση της εξόδου κατά 10-30%. Καθώς η θερμοκρασία του φωτοβολταϊκού πάνελ αυξάνεται, το ρεύμα βραχυκύκλωσης φαίνεται να μένει σταθερό, ενώ η τάση ανοικτού κυκλώματος μειώνεται γραμμικά. Στην πραγματικότητα, η μείωση της τάσης είναι τόσο προβλέψιμη, ώστε να μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την ακριβή μέτρηση της θερμοκρασίας. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα, η θερμότητα μπορεί να μειώσει σημαντικά την παραγωγή ενέργειας από τον ηλιακό πίνακα. Παρακάτω δίνεται μια χαρακτηριστική I-V για διάφορες συνδεσμολογίες για καλύτερη κατανόηση (Σχήμα 1.8).



Σχήμα 1.8: Χαρακτηριστική καμπύλη I-V φ/β πλαισίου εξαρτώμενη από την θερμοκρασία

2. ΑΝΑΛΥΤΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ

2.1 Τεχνικά χαρακτηριστικά φ/β πλαισίου

Η παρούσα εγκατάσταση όπως προαναφέρθηκε αποτελείται από τέσσερα όμοια μονοκρυσταλλικά φωτοβολταϊκά πλαίσια των 20 watt [8][9][10].

Τα φωτοβολταϊκά πλαίσια είναι μοντέλου **ET-M53620** και το κάθε ένα από αυτά αποτελείται από 36 κυψέλες όπως παρατηρείται παρακάτω (Εικόνα 1.2).



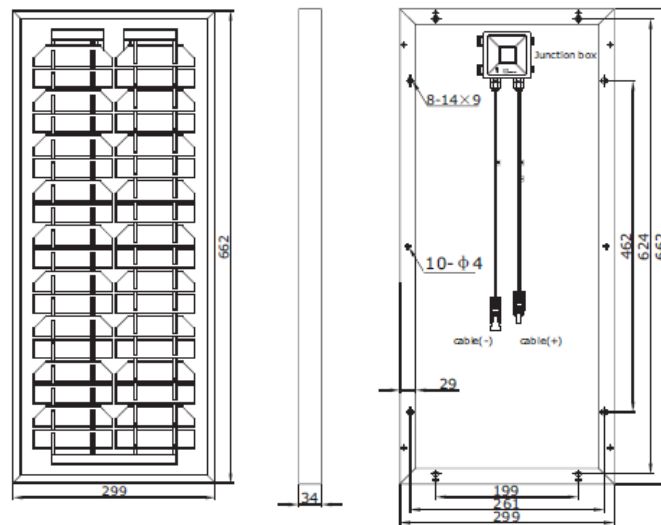
Εικόνα 2.1: Φ/β πλαίσιο εγκατάστασης

Οι προδιαγραφές του φ/β τύπου **ET-M53620** φαίνονται αναλυτικότερα στο παρακάτω Πίνακα 2.1:

Πίνακας 2.1: Προδιαγραφές φ/β πλαισίου[9]

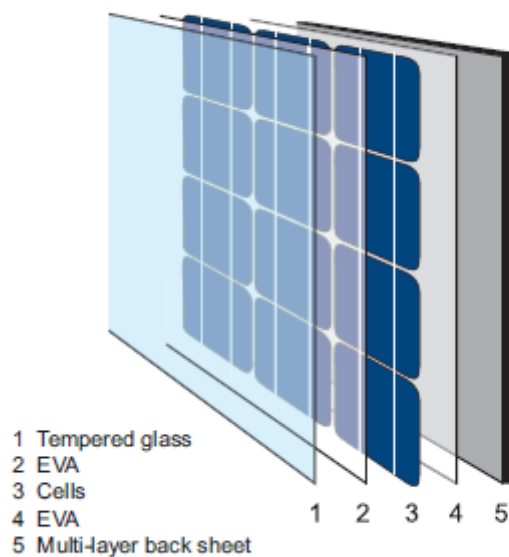
Τύπος μοντέλου	ET-M53620
Μέγιστη ισχύς (P_{max})	20 W
Βάρος	2.7 kg
Διαστάσεις	662×299×34 mm
Μέγιστη τάση ισχύος (V_{mp})	17.82 V
Μέγιστη ένταση ρεύματος (I_{mp})	1.14 A
Τάση ανοικτού κυκλώματος (V_{oc})	21.96 V
Ρεύμα βραχυκυκλώματος (I_{sc})	1.27 A

Οι ακριβείς διαστάσεις του ενός φ/β της εγκατάστασης φαίνονται αναλυτικότερα στην εικόνα 2.2. Όλες οι διαστάσεις που αναγράφονται είναι mm. [9]



Εικόνα 2.2: Διαστάσεις φ/β πλαισίου

Επίσης στην παρακάτω εικόνα φαίνονται τα 5 διαφορετικά μέρη από τα οποία αποτελείται το φ/β:



Εικόνα 2.3: Μέρη φ/β πλαισίου

2.2 Επιμέρους όργανα λειτουργίας

Τα όργανα που βρίσκονται πάνω στην πειραματική εγκατάσταση είναι αναγκαία για την υλοποίηση των πειραμάτων.

Συνεπώς, τα όργανα καθώς και οι μέθοδοι που χρησιμοποιούνται εμμέσως για την επιτυχή ολοκλήρωση των πειραμάτων είναι:

→ Βολτόμετρο [6]

Χρησιμοποιείται για τη μέτρηση της διαφοράς δυναμικού (ηλεκτρικής τάσης) μεταξύ δύο σημείων ενός ηλεκτρικού κυκλώματος. Τα βολτόμετρα συνδέονται πάντα παράλληλα (σε διακλάδωση) σε ένα κύκλωμα και για τον λόγο αυτό έχουν μεγάλη εσωτερική αντίσταση σε σχέση με τα άλλα στοιχεία του κυκλώματος, ώστε να μην επηρεάζουν τα χαρακτηριστικά του.

Μονάδα μέτρησης του είναι το Βολτ και συμβολίζεται με το γράμμα (V) στο Διεθνές Σύστημα Μονάδων (SI)

→ Αμπερόμετρο [7]

Χρησιμοποιείται για τη μέτρηση της έντασης του ηλεκτρικού ρεύματος. Τοποθετείται πάντα σε σειρά με αυτόν. Είναι απαραίτητο μέσο για την μέτρηση του ρεύματος του φ/β πλαισίου κάθε στιγμή.

Μονάδα μέτρησης του είναι το Αμπέρ (σύμβολο: A) στο Διεθνές Σύστημα Μονάδων (SI).

→ Πυρανόμετρο [5]

Χρησιμοποιείται για τη μέτρηση της ολικής ηλιακής ακτινοβολίας που προέρχεται απ' τον ημισφαιρικό ουράνιο θόλο, δηλαδή από μία στερεά γωνία 180° .

Παρόλα αυτά το πυρανόμετρο μπορεί να χρησιμοποιηθεί και για την μέτρηση της διάχυτης ηλιακής ακτινοβολίας όταν προσαρμοσθεί σ' αυτά μία κατάλληλη ημικυκλική στεφάνη.

Μετράει την ηλιακή ακτινοβολία του ηλίου κάθε στιγμή και αποδίδει τιμές σε W/m^2 .

→ Όργανο μέτρησης της **κλίσης** του φ/β πλαισίου

→ Ένα **θερμόμετρο** που δείχνει την θερμοκρασία **περιβάλλοντος**

→ Ένα **θερμόμετρο** που δείχνει την θερμοκρασία του **φωτοβολταϊκού πλαισίου**

Επίσης για την διεξαγωγή των πειραμάτων χρησιμοποιήθηκαν επίσης:

→ Ένα χαρτόνι το οποίο σκιάζει το φ/β πλαίσιο για τις περιπτώσεις που χρειάζεται να εκτελέσουμε ένα πείραμα και να δούμε πόσο επηρεάζει η σκίαση την απόδοση του. (όπου καλύπτει περίπου το 1/4 του φ/β) (το πάνω αριστερά)

→ Κάμερα :Παρέχει την δυνατότητα στον χρήστη να παρακολουθεί το φωτοβολταϊκό πλαίσιο σε πραγματικό χρόνο.

Η ανάλυση "resolution" της κάμερας της εγκατάστασης είναι 640*480.

Σημείωση:

→ Το σύστημα επίσης θα πρέπει να είναι κατάλληλα προγραμματισμένο προκειμένου να δείχνει ακριβώς τις συντεταγμένες της τοποθεσίας του απομακρυσμένου εργαστηρίου, την ώρα ,την ημερομηνία καθώς και να υπολογίζει την ώρα δύσης και ανατολής του ηλίου για κάθε ημέρα του έτους.

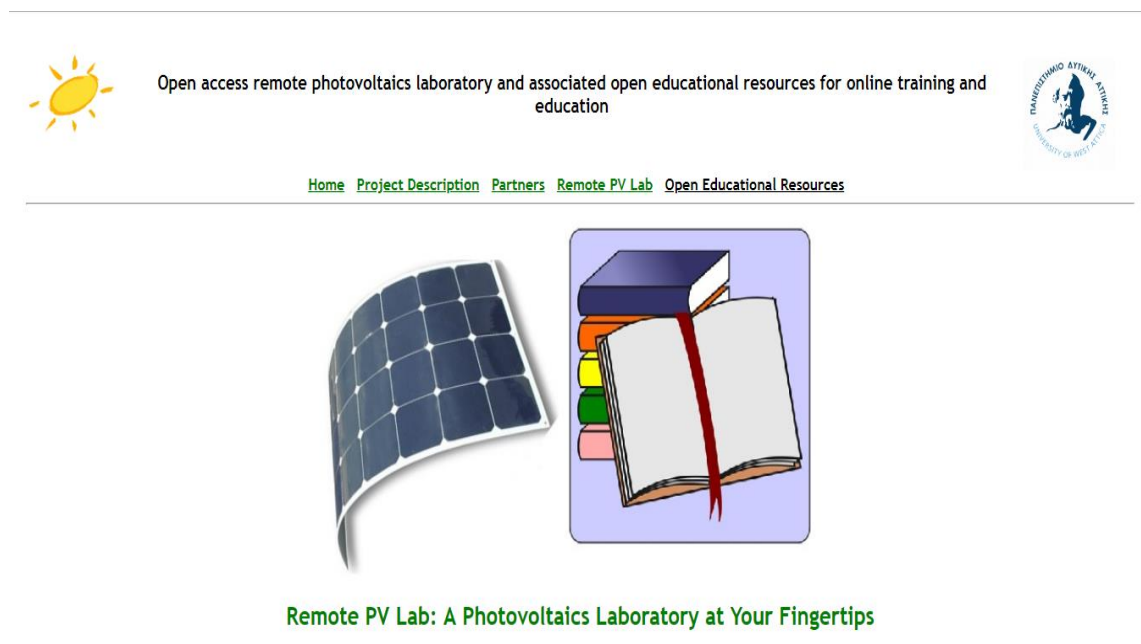
3. ΔΙΕΞΑΓΩΓΗ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ

3.1 Τρόπος διεξαγωγής πειραματικών μετρήσεων

Ο τρόπος διεξαγωγής πειραματικών μετρήσεων είναι πολύ εύκολος και πολύ πρακτικός. Ο χρήστης μπορεί από το διαδίκτυο να κάνει το πείραμα που επιθυμεί, ρυθμίζοντας τις παραμέτρους που θέλει και σε πολύ μικρό χρονικό διάστημα να πάρει μετρήσεις. Επίσης δίνετε η δυνατότητα να δει σε ζωντανά την εγκατάσταση οποιαδήποτε στιγμή θελήσει.

Για τη διεξαγωγή πειραμάτων [1] ο χρήστης αρχικά πρέπει να εισέλθει στον παρακάτω ισότοπο: <http://alioslab.stef.teiath.gr/>

Μπαίνοντας στον παραπάνω σύνδεσμο εμφανίζεται στην οθόνη του χρήστη εμφανίζεται η εξής σελίδα (Εικόνα3.1).



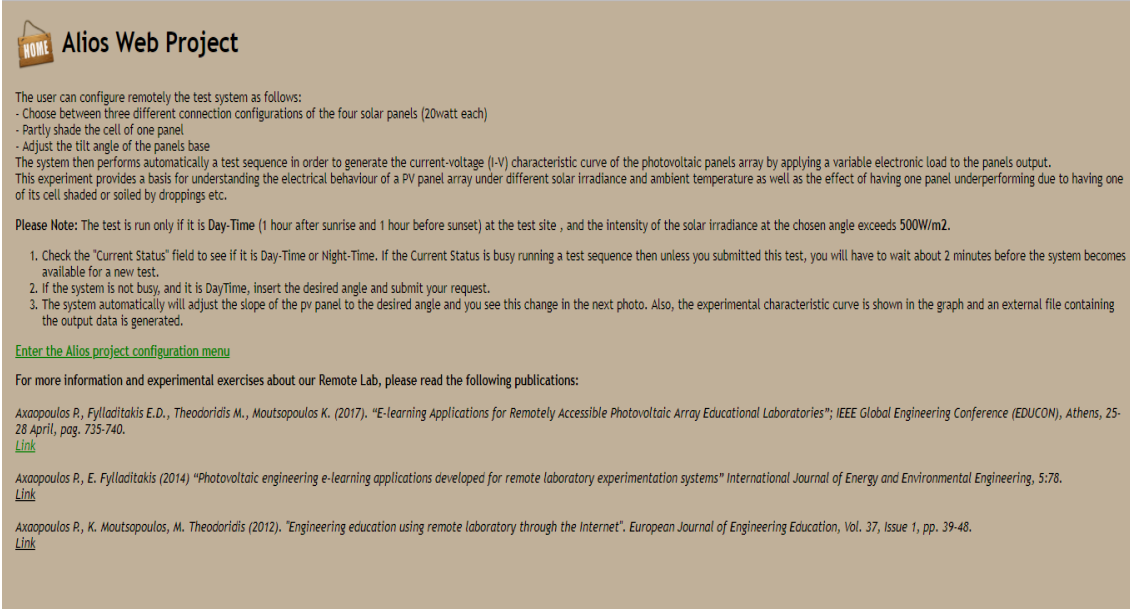
Εικόνα 3.1: Αρχική σελίδα εφαρμογής

Για την διεξαγωγή πειραματικών μετρήσεων ο χρήστης πρέπει να επιλέξει στην επιλογή **Remote PV Lab**.

Στην συγκεκριμένη σελίδα βρίσκονται και άλλες γενικές πληροφορίες όπως τους συνεργάτες του προγράμματος (project), επιλέγοντας την επιλογή Partners(συνεργάτες).

Επίσης υπάρχει και η περιγραφή του έργου(project description).

Έπειτα, αν ο χρήστης επιλέξει την παραπάνω επιλογή (Remote PV Lab) τότε θα εμφανιστεί στην οθόνη του η επόμενη σελίδα (Εικόνα 3.2).



HOME Alios Web Project

The user can configure remotely the test system as follows:

- Choose between three different connection configurations of the four solar panels (20watt each)
- Partly shade the cell of one panel
- Adjust the tilt angle of the panels base

The system then performs automatically a test sequence in order to generate the current-voltage (I-V) characteristic curve of the photovoltaic panels array by applying a variable electronic load to the panels output. This experiment provides a basis for understanding the electrical behaviour of a PV panel array under different solar irradiance and ambient temperature as well as the effect of having one panel underperforming due to having one of its cell shaded or soiled by droppings etc.

Please Note: The test is run only if it is Day-Time (1 hour after sunrise and 1 hour before sunset) at the test site, and the intensity of the solar irradiance at the chosen angle exceeds 500W/m².

1. Check the "Current Status" field to see if it is Day-Time or Night-Time. If the Current Status is busy running a test sequence then unless you submitted this test, you will have to wait about 2 minutes before the system becomes available for a new test.
2. If the system is not busy, and it is DayTime, insert the desired angle and submit your request.
3. The system automatically will adjust the slope of the pv panel to the desired angle and you see this change in the next photo. Also, the experimental characteristic curve is shown in the graph and an external file containing the output data is generated.

[Enter the Alios project configuration menu](#)

For more information and experimental exercises about our Remote Lab, please read the following publications:

Axaropoulos P., Fylladitakis E.D., Theodoridis M., Moutsopoulos K. (2017), "E-learning Applications for Remotely Accessible Photovoltaic Array Educational Laboratories"; IEEE Global Engineering Conference (EDUCON), Athens, 25-28 April, pag. 735-740.
[Link](#)

Axaropoulos P., E. Fylladitakis (2014) "Photovoltaic engineering e-learning applications developed for remote laboratory experimentation systems" International Journal of Energy and Environmental Engineering, 5:78.
[Link](#)

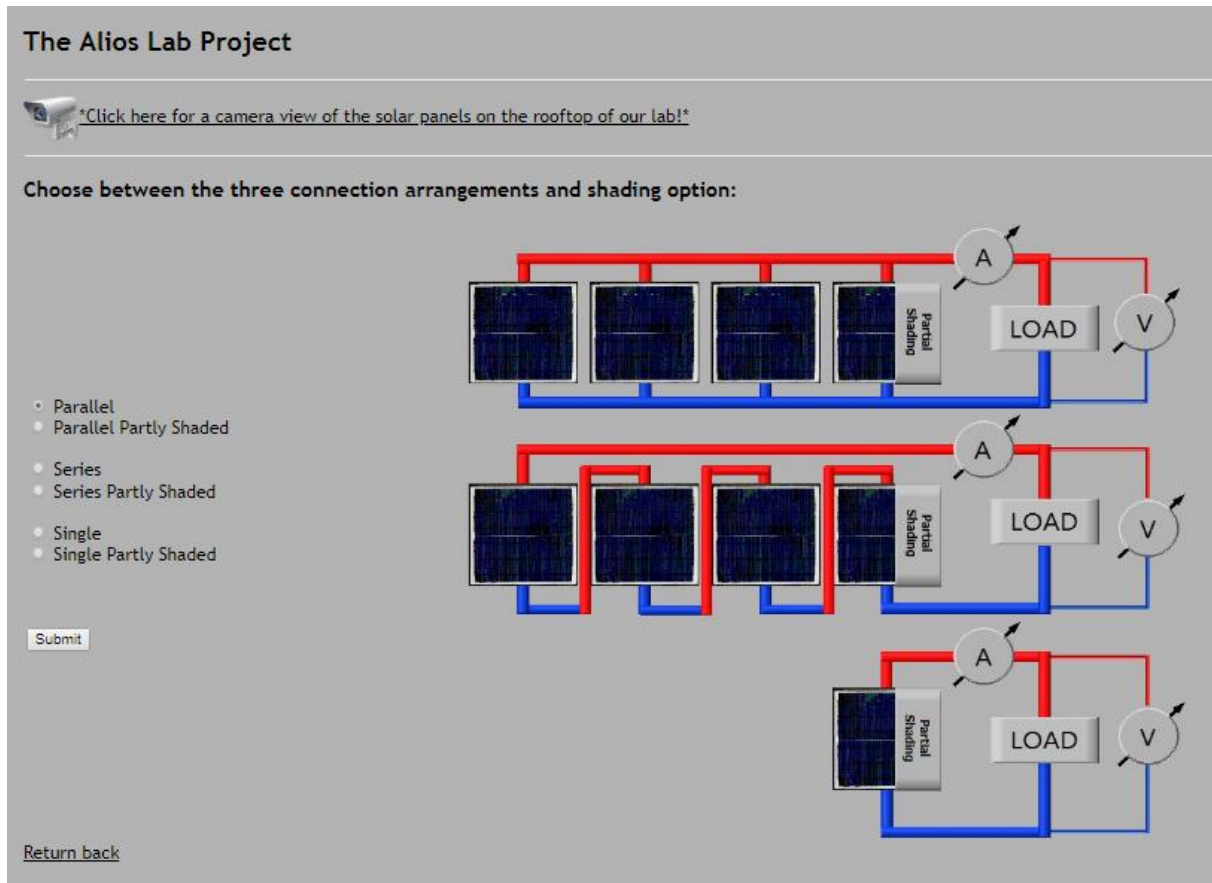
Axaropoulos P., K. Moutsopoulos, M. Theodoridis (2012). "Engineering education using remote laboratory through the Internet". European Journal of Engineering Education, Vol. 37, Issue 1, pp. 39-48.
[Link](#)

Εικόνα 3.2: Εισαγωγή στο σύστημα διεξαγωγής πειραματικών μετρήσεων

Σε αυτήν την σελίδα βρίσκονται κάποιες οδηγίες σχετικά με την ώρα διεξαγωγής των πειραμάτων αλλά και τρεις σύνδεσμοι "link" που περιέχουν περισσότερες πληροφορίες και πειραματικές ασκήσεις.

Για την διεξαγωγή πειραματικών μετρήσεων ο χρήστης πρέπει να επιλέξει την επιλογή [Enter the Alios project configuration menu](#)

Αν ο χρήστης επιλέξει την παραπάνω επιλογή (**Enter the Alios project configuration menu**) τότε θα εμφανιστεί στην οθόνη του η εξής νέα σελίδα (Εικόνα 3.3).



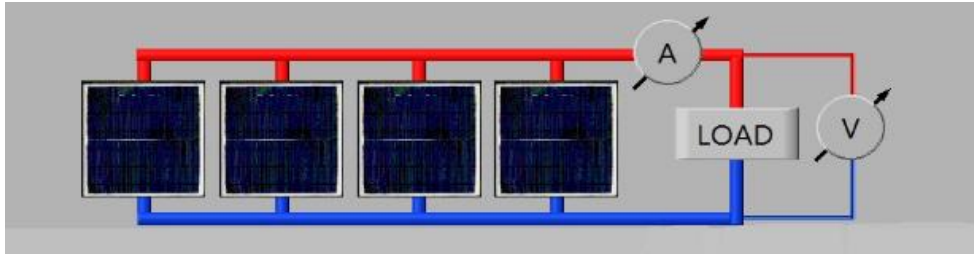
Εικόνα 3.3: Επιλογές εκτέλεσης πειραματικών μετρήσεων

Σε αυτήν την σελίδα ο χρήστης μπορεί να λειτουργήσει εξ αποστάσεως το σύστημα δοκιμής ως εξής:

Δίνεται η δυνατότητα να επιλέξει ανάμεσα σε τρεις διαφορετικές διαμορφώσεις σύνδεσης των τεσσάρων φ/β (20watt το καθένα) και σε κάθε μια από αυτές τις τρεις μπορεί επίσης να επιλέξει να σκιάσει το ένα από τα τέσσερα όπως φαίνεται παραπάνω.(εικόνα2.3).

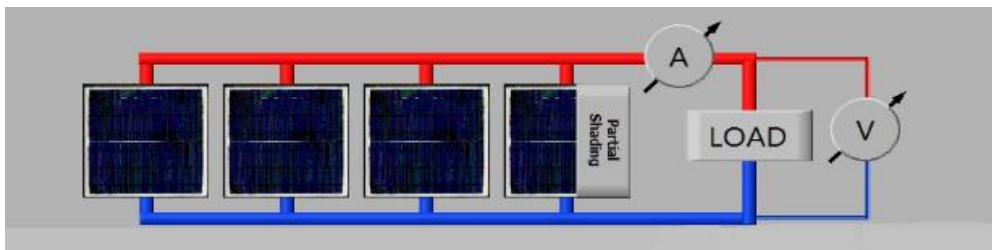
Αναλυτικότερα:

- Με την επιλογή **“Parallel”** (παράλληλα) τα τέσσερα όμοια φ/β συνδέονται παράλληλα μεταξύ τους όπως φαίνεται παρακάτω (Εικόνα 3.4).



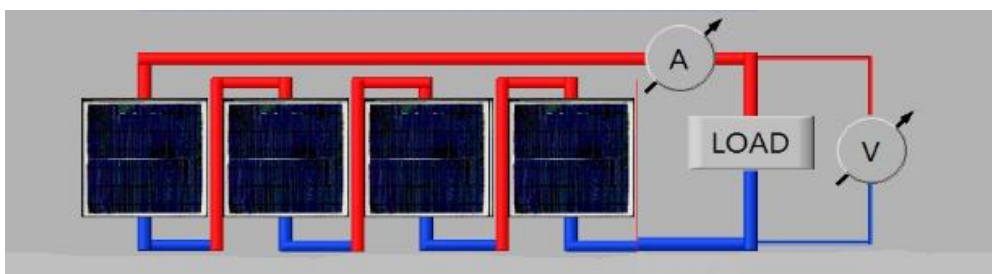
Εικόνα 3.4: Σύνδεση παράλληλα

- Με την επιλογή **“Parallel Partly Shaded”** (παράλληλα μερικώς σκιασμένη) τα τέσσερα όμοια φ/β συνδέονται παράλληλα μεταξύ τους όπως και παραπάνω αλλά με την μονή διαφορά ότι το ένα από τα τέσσερα είναι μερικώς σκιασμένο (περίπου το ¼) με ένα χαρτόνι (Εικόνα 3.5).



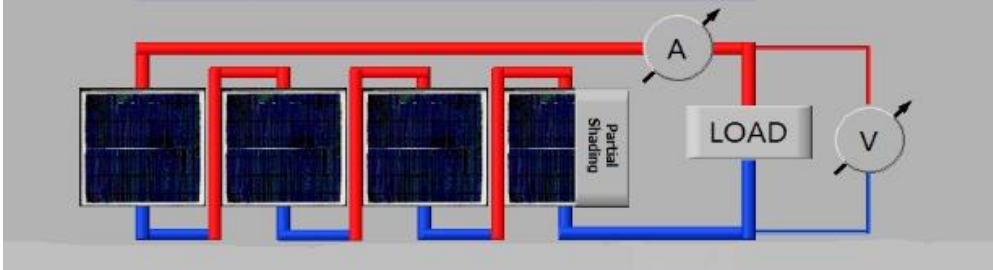
Εικόνα 3.5: Σύνδεση παράλληλα με το ένα φ/β μερικώς σκιασμένο

- Με την επιλογή **“Series”** (σειρά) τα τέσσερα όμοια φ/β συνδέονται σε σειρά μεταξύ τους όπως φαίνεται παρακάτω (Εικόνα 3.6).



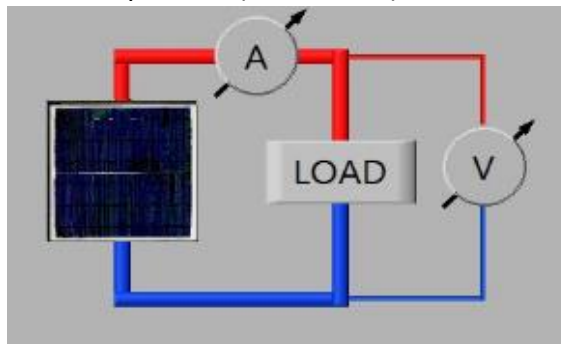
Εικόνα 3.6: Σύνδεση σε σειρά

- Με την επιλογή **“Series Partly Shaded”** (σε σειρά μερικώς σκιασμένη) τα τέσσερα όμοια φ/β συνδέονται σε σειρά μεταξύ τους όπως και παραπάνω αλλά με την μονή διαφορά ότι το ένα από τα τέσσερα είναι μερικώς σκιασμένο(περίπου το ¼) με ένα χαρτόνι (Εικόνα 3.7).



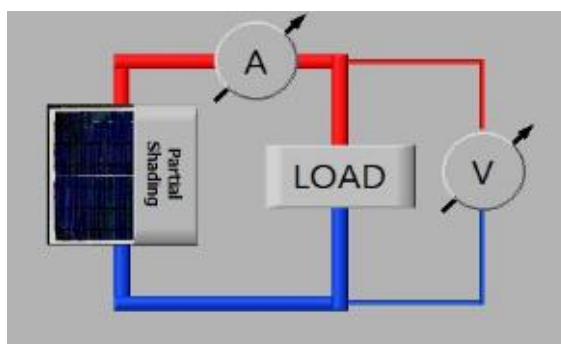
Εικόνα 3.7: Σύνδεση σε σειρά με το ένα φ/β μερικώς σκιασμένο

- Με την επιλογή **“Single”** (ένα) η εφαρμογή διεξάγει τα πειράματα με ένα μόνο φ/β πλαίσιο όπως φαίνεται και παρακάτω (Εικόνα 3.8).



Εικόνα 3.8: Ένα φ/β πλαίσιο

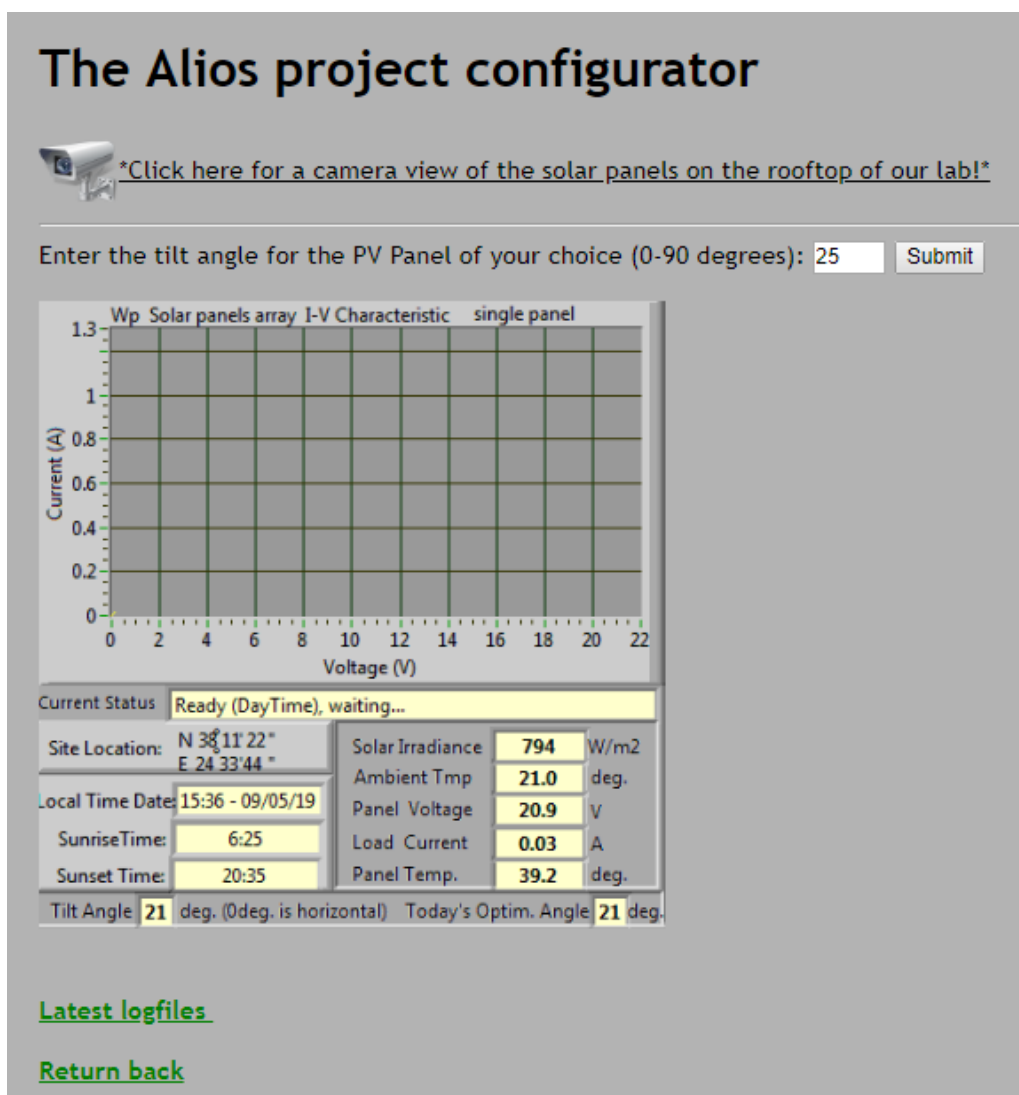
- Με την επιλογή **“Single Partly Shaded”** (ένα μερικώς σκιασμένο) η εφαρμογή διεξάγει τα πειράματα με ένα μόνο φ/β πλαίσιο αλλά μερικώς σκιασμένο όπως φαίνεται και παρακάτω (Εικόνα 3.9).



Εικόνα 3.9: Ένα φ/β πλαίσιο μερικώς σκιασμένο

Όταν ο χρήστης επιλέξει την μια από τις εξής παραπάνω επιλογές μπορεί να προχωρήσει στην εκτέλεση του πειράματος πατώντας το κουμπί "submit" (υποβολή) συνεχίζετε.

Πατώντας το κουμπί "submit" (υποβολή) θα προχωρήσει στην επόμενη σελίδα (Εικόνα 3.10).

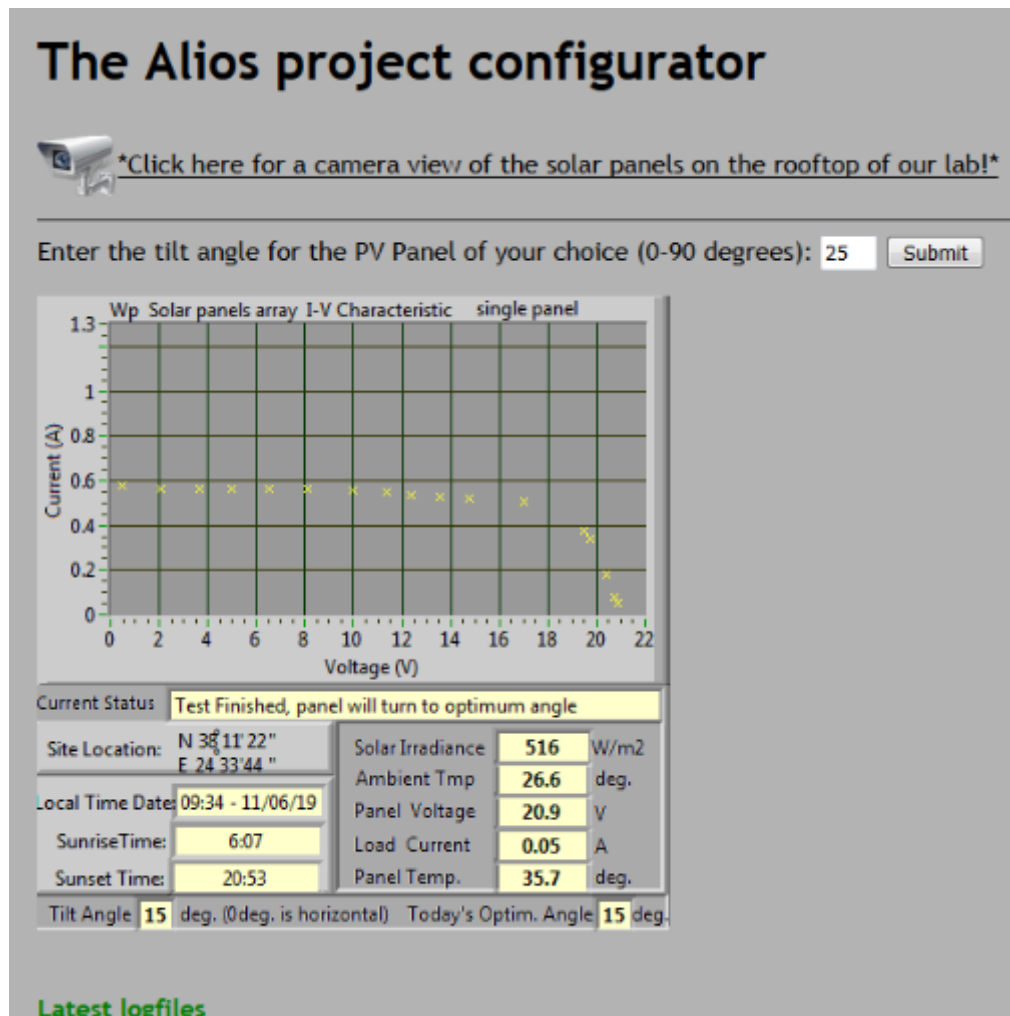


Εικόνα 3.10: Διεξαγωγή πειραματικών μετρήσεων

Για την διεξαγωγή πειράματος πρέπει αρχικά να γραφτούν οι μοίρες στις οποίες θέλει ο χρήστης να τοποθετηθούν τα φ/β πλαίσια. Το σύστημα θα ρυθμίσει αυτόματα την κλίση του πάνελ ρν στην επιθυμητή γωνία.

Αφού γίνει αυτό πατώντας "submit" (υποβολή) ξεκινάνε οι μετρήσεις.

Πατώντας το κουμπί **“submit”** (υποβολή) την ώρα που διεξάγεται το πείραμα παρατηρούνται πάνω στο γράφημα I-V με κίτρινα στίγματα τα σημεία της χαρακτηριστικής καμπύλης, όπως παρατηρείται και στην παρακάτω εικόνα (Εικόνα 3.11).



Εικόνα 3.11: Σημεία χαρακτηριστικής καμπύλης I-V

Στην συνέχεια παράγεται ένα εξωτερικό αρχείο που περιέχει τα δεδομένα εξόδου. Πατώντας **“latest logfiles”** (πιο πρόσφατα αρχεία καταγραφής) και βρίσκοντας την ημερομηνία διεξαγωγής του πειράματος ο χρήστης μπορεί να χρησιμοποιήσει αυτά τα δεδομένα και να βγάλει τα αντίστοιχα συμπεράσματα.

Επιπλέον το σύστημα δίνει στον χρήστη όλες τις απαραίτητες πληροφορίες που μπορεί να χρειαστεί για την διεξαγωγή των πειραμάτων του καθώς και εξαγωγή ορθών συμπερασμάτων. Οι πληροφορίες που δίνει είναι αναλυτικά στον παρακάτω πίνακα 2.ΙΙ :

Πίνακας 2.ΙΙ: Ενδείξεις της εγκατάστασης [1]

ΕΝΔΕΙΞΕΙΣ	ΜΕΤΑΦΡΑΣΜΕΝΕΣ ΕΝΔΕΙΞΕΙΣ	ΜΟΝΑΔΕΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ
Solar Irradiance	Ηλιακή ακτινοβολία	W/m ²
Ambient Temp	Θερμοκρασία Περιβάλλοντος	deg
Panel Voltage	Τάση των φ/β πλαισίων	V
Load Current	Φορτίο ρεύματος	A
Panel Temp	Θερμοκρασία του φωτοβολταϊκού πλαισίου	deg
Tilt Angle	Κλίση του φωτοβολταϊκού πλαισίου	deg
Today's Optim.Angle	Βέλτιστη κλίση του φωτοβολταϊκού πλαισίου	deg
Site Location	Συντεταγμένες της εγκατάστασης του απομακρυσμένου εργαστηρίου	
Local Time Date	Ώρα και μέρα του πειράματος	
Sunrise Time	Ώρα ανατολής ηλίου την ημέρα του πειράματος	
Sunset Time	Ώρα δύσης ηλίου την ημέρα του πειράματος	

Το σύστημα εκτελεί αυτόματα μια ακολουθία δοκιμής για να παράγει την χαρακτηριστική καμπύλη ρεύματος τάσης (I-V) της συστοιχίας των φωτοβολταϊκών πλαισίων.

Η δοκιμή εκτελείται μόνο εάν είναι η ημερήσια ώρα (1 ώρα μετά την ανατολή και 1 ώρα πριν το ηλιοβασίλεμα) στο χώρο της δοκιμής και η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας στην επιλεγμένη γωνία υπερβαίνει τα 500 w/m^2 .

Έτσι για να γίνει το πείραμα θα πρέπει το σύστημα να μην είναι κατελιημμένο και να είναι "DayTime"(ημέρα). Αυτό φαίνεται στην γραμμή "current status"(τρέχουσα κατάσταση)

Πιο αναλυτικά:

- Εμφανίζοντας στην γραμμή "current status"(τρέχουσα κατάσταση) το μήνυμα **"Ready (DayTime),waiting..."** το σύστημα είναι έτοιμο για την διεξαγωγή πειράματος.
- Εμφανίζοντας στην γραμμή "current status"(τρέχουσα κατάσταση) το μήνυμα **"Busy-please wait for the panel to adjust"** το σύστημα ρυθμίζεται στις τιμές που του δόθηκαν και ο χρήστης πρέπει να περιμένει.
- Εμφανίζοντας στην γραμμή "current status"(τρέχουσα κατάσταση) το μήνυμα **"Busy-Conducting test"** το σύστημα έχει ξεκινήσει να κάνει τις μετρήσεις και ο χρήστης πρέπει να περιμένει.
- Εμφανίζοντας στην γραμμή "current status"(τρέχουσα κατάσταση) το μήνυμα **"Test Finished,panel will turn to optimum angle"** τότε οι πειραματικές μετρήσεις έχουν τελειώσει και τα φ/β πλαίσια επιστρέφουν στην αρχική τους θέση.
- Εμφανίζοντας στην γραμμή "current status"(τρέχουσα κατάσταση) το μήνυμα **"NightTime,System is resting.."** τότε σημαίνει ότι είναι νυχτερινή ώρα και το σύστημα ξεκουράζεται.

Το χρονικό διάστημα διεξαγωγής ενός πειράματος δεν είναι ίδιο για όλες τις συνδεσμολογίες. Στο πίνακα 2.III που ακολουθεί φαίνεται σε κάθε περίπτωση ο χρόνος που απαιτείται.

Πίνακας 2.III: Χρονικό διάστημα διεξαγωγής πειραμάτων [1]

ΧΡΟΝΙΚΟ ΔΙΑΣΤΗΜΑ ΔΙΕΞΑΓΩΓΗΣ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ	
Ένα φ/β	20 sec
Σύνδεση φ/β πλαισίων παράλληλα	25 sec
Σύνδεση φ/β πλαισίων σε σειρά	35 sec

Ο χρόνος που απαιτείται για να σκεπαστεί και αντίστοιχα να ξεσκεπαστεί το 1/4 του φ/β πλαισίου της εγκατάστασης από το χαρτόνι είναι ίδιος και είναι 150 sec.

Επίσης παρέχεται η δυνατότητα στον χρήστη να δει οποιαδήποτε στιγμή την πειραματική εγκατάσταση σε πραγματικό χρόνο πατώντας στον σύνδεσμο με την κάμερα:

“*Click here for a camera view of the solar panels on the rooftop of our lab!*”



Εικόνα 3.12: Εικόνα κάμερας εγκατάστασης

3.2 Διεξαγωγή πειραμάτων

3.2.1 Προσδιορισμός της μέγιστης ισχύος εξόδου του φ/β πλαισίου

Στόχοι: Στο συγκεκριμένο πείραμα [2] ο κυρίως στόχος είναι ο φοιτητής να μπορεί να εντοπίσει μέσα από μια σειρά μετρήσεων πως προσδιορίζεται και σε ποιο σημείο βρίσκεται η μέγιστη ισχύς.

Πειράματα : Παρακάτω φαίνονται τα χαρακτηριστικά του πειράματος για ένα φ/β πλαίσιο καθώς και οι μετρήσεις που πάρθηκαν.

→ Δεδομένα 1^{ης} μέτρησης :

Helios Lab I-V χαρακτηριστική ενός ενιαίου φ/β πλαισίου 20W με κλίση: 15 μοίρες (0 μοίρες είναι οριζόντια)
Η διάταξη σύνδεσης είναι: ένα φ/β πλαίσιο
Θερμοκρασία πάνελ (°C) κατά την διάρκεια του πειράματος: 40.0
Ημερομηνία: 11/06/19 Τοπική ώρα: 10:16:49 pm
Τοποθεσία πειράματος: N38:11:22 - E24:33:44

Πίνακας 3.1: μετρήσεις ενός φ/β με 687 W/m² ηλιακή ακτινοβολία[1]

Τάση[V]	Ένταση[A]	Ακτινοβολία[W/m ²]	Ισχύς[W]
0,564	0,826	687,03	0,465
2,892	0,826	687,03	2,388
5,268	0,826	687,03	4,351
7,272	0,826	687,03	6,006
9,576	0,826	687,03	7,909
11,748	0,826	687,03	9,703
14,376	0,806	687,79	11,587
16,546	0,747	687,03	12,355
17,304	0,719	687,03	12,441
17,976	0,691	687,03	12,421
18,427	0,576	687,03	10,609
18,936	0,481	687,03	9,089
19,896	0,346	687,03	6,884
20,436	0,182	687,03	3,712
20,688	0,077	687,03	1,592
19,752	0,384	687,03	7,584
20,784	0,048	687,03	0,997

→ Δεδομένα 2^{ης} μέτρησης :

Helios Lab I-V χαρακτηριστική ενός ενιαίου φ/β πλαισίου 20W με κλίση: 15 μοίρες (0 μοίρες είναι οριζόντια)

Η διάταξη σύνδεσης είναι: ένα φ/β πλαίσιο

Θερμοκρασία πάνελ (°C) κατά την διάρκεια του πειράματος: 44.3

Ημερομηνία: 11/06/19 Τοπική ώρα: 11:29:30 ρμ

Τοποθεσία πειράματος: N38:11:22 - E24:33:44

Πίνακας 3.11: Μετρήσεις ενός φ/β με 878 W/m² ηλιακή ακτινοβολία

Τάση[V]	Ένταση[A]	Ακτινοβολία[W/m ²]	Ισχύς[W]
0,721	1,075	877,616	0,774
3,756	1,075	877,616	4,037
6,852	1,075	877,616	7,365
9,456	1,066	877,616	10,080
12,528	1,066	878,384	13,354
15,156	1,036	878,384	15,701
17,043	0,921	878,384	15,693
17,832	0,845	878,384	15,068
18,216	0,787	878,384	14,335
18,552	0,723	878,384	13,357
18,816	0,662	878,384	12,456
19,143	0,566	878,384	10,833
19,836	0,336	878,384	6,664
20,232	0,182	878,384	3,682
20,484	0,077	878,384	1,577
19,704	0,384	878,384	7,566
20,544	0,048	878,384	0,986

→ Δεδομένα 3^{ης} μέτρησης :

Helios Lab I-V χαρακτηριστική ενός ενιαίου φ/β πλαισίου 20W με κλίση: 15 μοίρες (0 μοίρες είναι οριζόντια)

Η διάταξη σύνδεσης είναι: ένα φ/β πλαίσιο

Θερμοκρασία πάνελ (°C) κατά την διάρκεια του πειράματος: 43.8

Ημερομηνία: 11/06/19 Τοπική ώρα: 12:33:10 μμ

Τοποθεσία πειράματος: N38:11:22 - E24:33:44

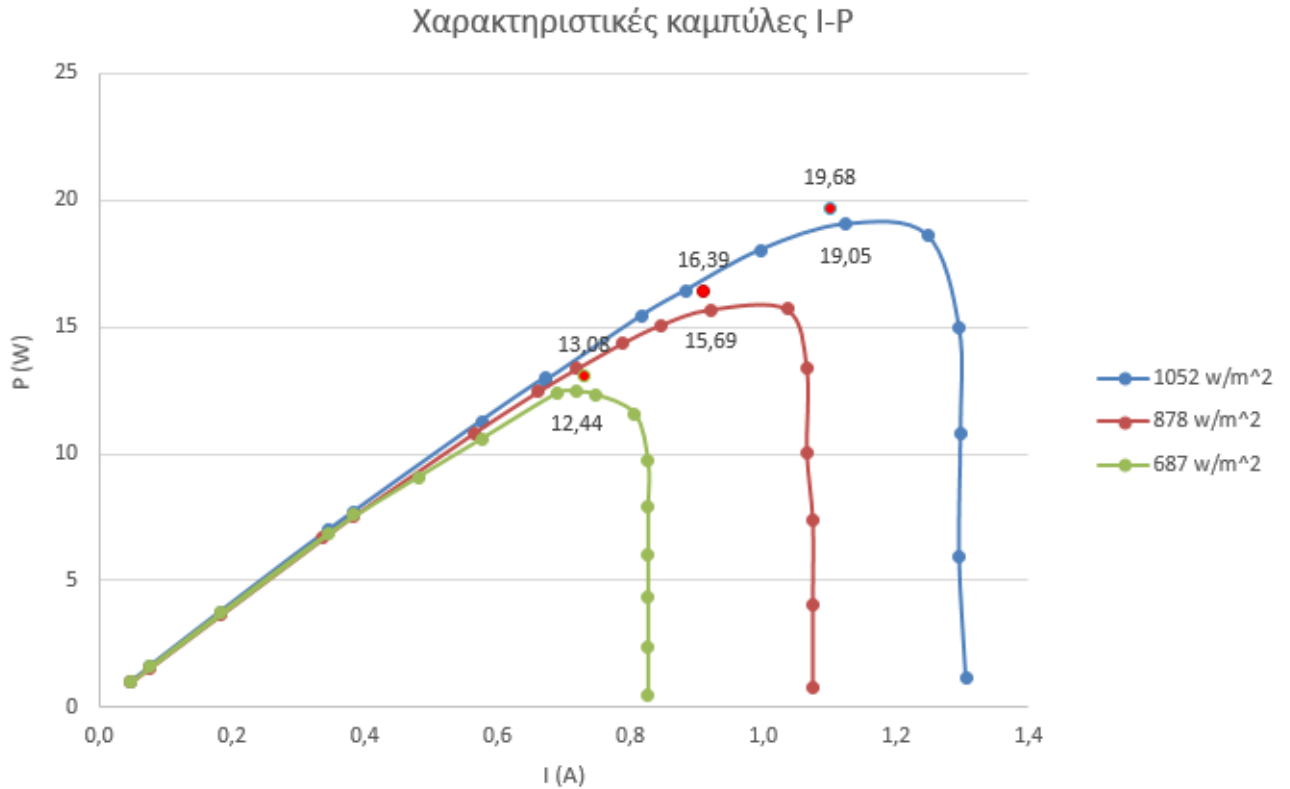
Πίνακας 3.III: Μετρήσεις ενός φ/β με 1052 W/m² ηλιακή ακτινοβολία

Τάση[V]	Ένταση[A]	Ακτινοβολία[W/m ²]	Ισχύς[W]
0,864	1,306	1051,294	1,128
4,572	1,296	1051,294	5,925
8,346	1,298	1051,294	10,825
11,532	1,296	1052,063	14,945
14,943	1,247	1051,294	18,630
16,944	1,124	1052,063	19,045
18,084	0,998	1052,063	18,047
18,632	0,883	1052,063	16,423
18,888	0,816	1052,063	15,412
19,141	0,672	1052,831	12,862
19,332	0,672	1052,831	12,991
19,596	0,576	1052,831	11,287
20,196	0,346	1052,831	6,987
20,544	0,182	1052,831	3,739
20,767	0,077	1052,831	1,598
20,064	0,384	1053,631	7,704
20,808	0,048	1052,831	0,998

Στους παραπάνω πίνακες διεξάγοντας τα πειράματα βρίσκεται η τάση(V), η ένταση(A) και η ηλιακή ακτινοβολία (W/m²).

Η πειραματική ισχύς βρίσκεται από τον ακόλουθο τύπο $P=V \times I$.

Στο σχήμα 3.1 απεικονίζονται οι τρεις διαφορετικές χαρακτηριστικές καμπύλες. Στον άξονα χ είναι το ρεύμα ενώ στον άξονα ψ είναι η ισχύς :



Σχήμα 3.1: Χαρακτηριστικές καμπύλες I-P [1]

Τόσο από το διάγραμμα όσο και από τους πίνακες με τις μετρήσεις υπολογίζεται ο παρακάτω πίνακας 3.IV :

Πίνακας 3.IV: Μετρήσεις ενός φ/β με 1052 W/m² ηλιακή ακτινοβολία

Ηλιακή ακτινοβολία	V _{max}	I _{max}	P _{max}
689 w/m ²	17,304 V	0,719 A	12,441 W
878 w/m ²	15,156 V	1,036 A	15,701 W
1052 w/m ²	16,944 V	1,124 A	19,045 W

Από τον πίνακα 2.1 που αναγράφονται τα δεδομένα του φ/β πλαισίου υπολογίζεται η θεωρητική ισχύ με βάση τα χαρακτηριστικά που δίνει ο κατασκευαστής.

Ο τύπος για τον υπολογισμό της θεωρητικής ισχύς είναι:

$$P_{mp} = P_{mp,r} \times \left(\frac{G_t}{G_{t,r}}\right) \times [1 - \mu_{mp} \times (T_c - T_{c,r})]$$

Όπου $P_{mp,r} = V_{mp} \times I_{mp} = 17,82 \times 1,14 = 20,3148 \text{ W}$

G_t : η ηλιακή ακτινοβολία την δεδομένη στιγμή του πειράματος

$G_{t,r}$: η ηλιακή ακτινοβολία σε συνθήκες αναφοράς

μ_{mp} : συντελεστή θερμοκρασίας του ρεύματος στο σημείο μέγιστης ισχύος

T_c : θερμοκρασία του φ/β πλαισίου την δεδομένη στιγμή του πειράματος

$T_{c,r}$: θερμοκρασία του φ/β πλαισίου σε συνθήκες αναφοράς (25 °C)

Αντικαθιστώντας τον παραπάνω τύπο υπολογίζονται οι τρεις διαφορετικές μέγιστες ισχύς:

Για την 1η μέτρηση για 687 w/m² ηλιακή ακτινοβολία:

$$P_{mp} = 20,3148 \times \left(\frac{687}{1000}\right) \times [1 - 0,0042 \times (40 - 25)] = \mathbf{13,077 \text{ W}}$$

Για την 2η μέτρηση για 878 w/m² ηλιακή ακτινοβολία:

$$P_{mp} = 20,3148 \times \left(\frac{878}{1000}\right) \times [1 - 0,0042 \times (44,3 - 25)] = \mathbf{16,390 \text{ W}}$$

Για την 3η μέτρηση για 1052 W/m² ηλιακή ακτινοβολία :

$$P_{mp} = 20,3148 \times \left(\frac{1052}{1000}\right) \times [1 - 0,0042 \times (43,8 - 25)] = \mathbf{19,683 \text{ W}}$$

Συμπεράσματα:

Συγκρίνοντας τις πειραματικές ισχύς με τις θεωρητικές παρατηρούμε:

→ Για την 1η μέτρηση για 687 W/m^2 ηλιακή ακτινοβολία:

$$\frac{P_{\text{πειραματική}}}{P_{\text{θεωρητική}}} = \frac{12,441}{13,077} = 0,951$$

→ Για την 2η μέτρηση για 878 W/m^2 ηλιακή ακτινοβολία:

$$\frac{P_{\text{πειραματική}}}{P_{\text{θεωρητική}}} = \frac{15,701}{16,390} = 0,957$$

→ Για την 3η μέτρηση για 1052 W/m^2 ηλιακή ακτινοβολία :

$$\frac{P_{\text{πειραματική}}}{P_{\text{θεωρητική}}} = \frac{19,045}{19,683} = 0,967$$

Παρατηρείται ότι όσο πιο μεγάλη είναι ηλιακή ακτινοβολία τόσο καλύτερη απόδοση έχει το φ/β πλαίσιο.

Ακόμα παρατηρείται ότι η μέγιστη πειραματική ισχύς από την θεωρητική ισχύς και στις τρεις περιπτώσεις έχει απόκλιση περίπου **5%**.

Αυτό συμβαίνει γιατί η θεωρητική ισχύς θεωρείται ότι παράγεται υπό ιδανικές συνθήκες, πράγμα που δεν γίνεται να επιτευχθεί στην πραγματικότητα.

Επίσης σημαντικό παράγοντας είναι η θερμοκρασία, που στις περιπτώσεις όπου έχει μεγάλη απόκλιση από την ονομαστική θερμοκρασία έχει ως αποτέλεσμα να πέφτει η απόδοση. Το φ/β μπορεί να επηρεάζεται από πολλούς παράγοντες όπως ακόμα και από την ρύπανση. Η απόδοση ενός φ/β, ιδίως εκείνου που έχει μικρή κλίση μειώνεται λόγω της ρύπανσης της επιφάνειάς του, από παραμονή σκόνης, φύλλων, χιονιού, αλατιού θάλασσας, ακαθαρσιών των πουλιών.

Επιπλέον, ένας παράγοντας μείωσης της ισχύος αποτελεί και η γήρανση. Η απόδοση ενός φ/β μειώνεται λόγω της αλλοίωσης των υλικών κατασκευής των φ/β στοιχείων του πλαισίου όπως έχει γίνει και εκτενή αναφορά στο κεφάλαιο 1.8.

Τέλος ο παράγοντας της σκίασης είναι πολύ σημαντικός για την απόδοση ενός φ/β πλαισίου. Όπως έχει αναφερθεί και στο κεφάλαιο 1.7.

Αξίζει να σημειωθεί πως οι μετρήσεις πάρθηκαν για βέλτιστη γωνία την συγκεκριμένη ημέρα.

3.2.2 Σύγκριση των καμπυλών I-V:

Στόχοι: Στο συγκεκριμένο πείραμα οι χρήστες της εφαρμογής alioslab να μάθουν πως να εξάγουν τις πραγματικές I-V καμπύλες μιας φ/β μονάδας και να τις συγκρίνουν με αυτές που παρέχονται από τον κατασκευαστή.

Πειράματα : Στο συγκεκριμένο πείραμα πήραμε μετρήσεις στο ένα φ/β πλαίσιο. Εξάγαμε την πειραματική καμπύλη, από τις μετρήσεις που πήραμε και έπειτα εξάγαμε την αντίστοιχη θεωρητική καμπύλη έτσι ώστε να συγκριθούν και να δούμε πόσο συμβάλλουν άλλοι παράγοντες στην μείωση της απόδοσης ενός φ/β πλαισίου. Παρακάτω φαίνονται τα χαρακτηριστικά του πειράματος για ένα φ/β πλαίσιο καθώς και οι μετρήσεις που πάρθηκαν.

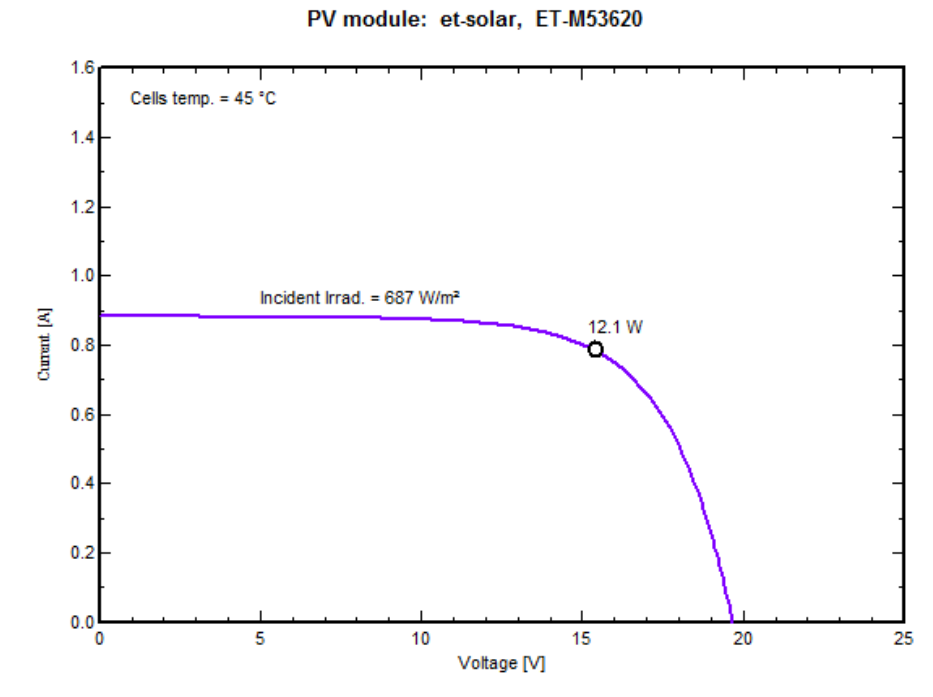
→ Δεδομένα 1^{ης} μέτρησης :

Helios Lab I-V χαρακτηριστική ενός ενιαίου φ/β πλαισίου 20W με κλίση: 15 μοίρες (0 μοίρες είναι οριζόντια)
Η διάταξη σύνδεσης είναι: ένα φ/β πλαίσιο
Θερμοκρασία πάνελ (°C) κατά την διάρκεια του πειράματος: 40.0
Ημερομηνία: 11/06/19 Τοπική ώρα: 10:16:49 pm
Τοποθεσία πειράματος: N38:11:22 - E24:33:44

Πίνακας 3. V: Μετρήσεις ενός φ/β με 687 W/m² ηλιακή ακτινοβολία

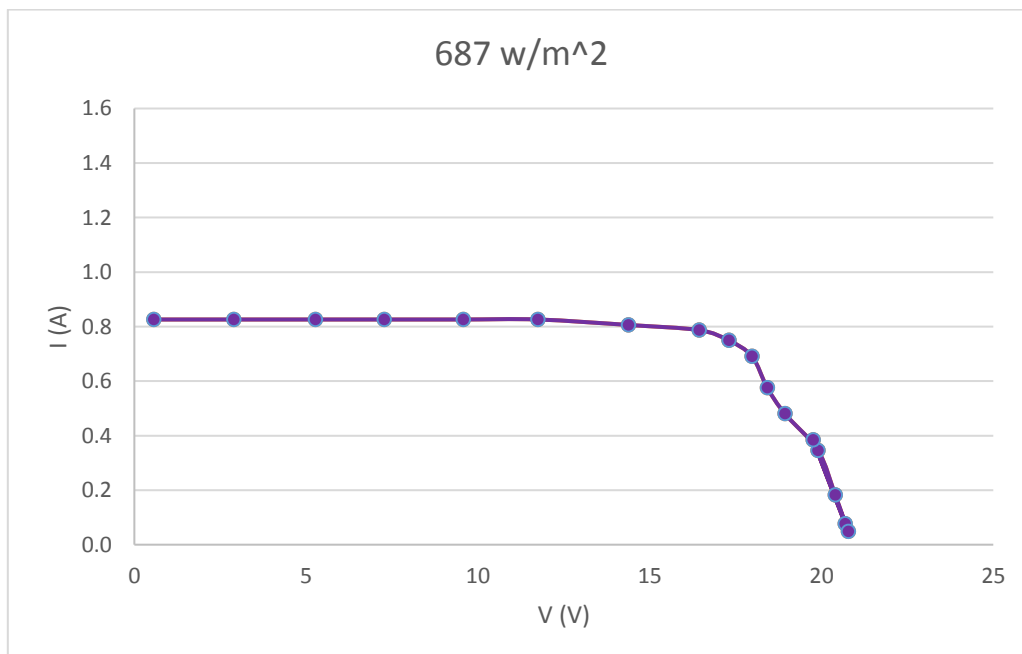
Τάση[V]	Ένταση[A]	Ακτινοβολία[W/m ²]	Ισχύς[W]
0,564	0,826	687,03	0,465
2,892	0,826	687,03	2,388
5,268	0,826	687,03	4,351
7,272	0,826	687,03	6,006
9,576	0,826	687,03	7,909
11,748	0,826	687,03	9,703
14,376	0,806	687,79	11,587
15,241	0,787	687,03	11,993
15,264	0,749	687,03	11,432
16,306	0,691	687,03	11,264
18,421	0,576	687,03	10,609
18,936	0,481	687,03	9,089
19,896	0,346	687,03	6,884
20,434	0,182	687,03	3,712
20,688	0,077	687,03	1,592
19,752	0,384	687,03	7,584
20,784	0,048	687,03	0,997

Στο σχήμα 3.2 είναι το θεωρητικό διάγραμμα έντασης-τάσης, για ηλιακή ακτινοβολία 687 W/m^2 , με θερμοκρασία πάνελ $45 \text{ }^\circ\text{C}$ και $V_{\text{max}}=12,1 \text{ W}$:



Σχήμα 3.2: Θεωρητική χαρακτηριστική καμπύλη I-V για 687 W/m^2

Στο σχήμα 3.3 είναι η πειραματική καμπύλη έντασης-τάσης, για ηλιακή ακτινοβολία 687 W/m^2 , με θερμοκρασία πάνελ $40 \text{ }^\circ\text{C}$ και $V_{\text{max}}=11,9 \text{ W}$:



Σχήμα 3.3: Πειραματική χαρακτηριστική καμπύλη I-V για 687 W/m^2

→ Δεδομένα 2^{ης} μέτρησης :

Helios Lab I-V χαρακτηριστική ενός ενιαίου φ/β πλαισίου 20W με κλίση: 15 μοίρες (0 μοίρες είναι οριζόντια)

Η διάταξη σύνδεσης είναι: ένα φ/β πλαίσιο

Θερμοκρασία πάνελ (°C) κατά την διάρκεια του πειράματος: 44.3

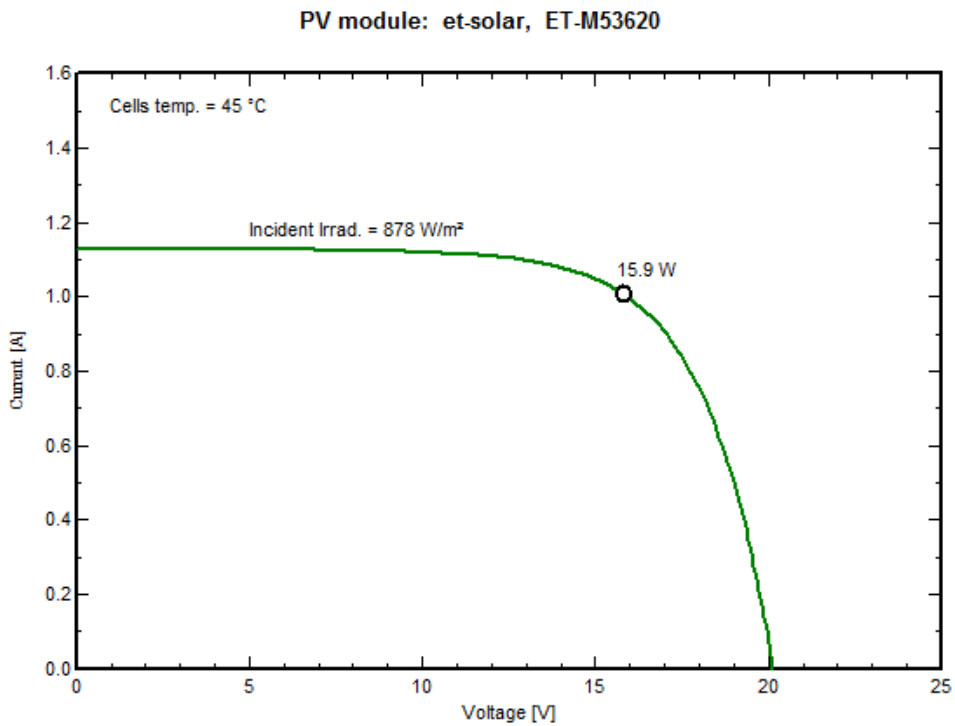
Ημερομηνία: 11/06/19 Τοπική ώρα: 11:29:30 ρμ

Τοποθεσία πειράματος: N38:11:22 - E24:33:44

Πίνακας 3.VII: Μετρήσεις ενός φ/β με 877 W/m² ηλιακή ακτινοβολία

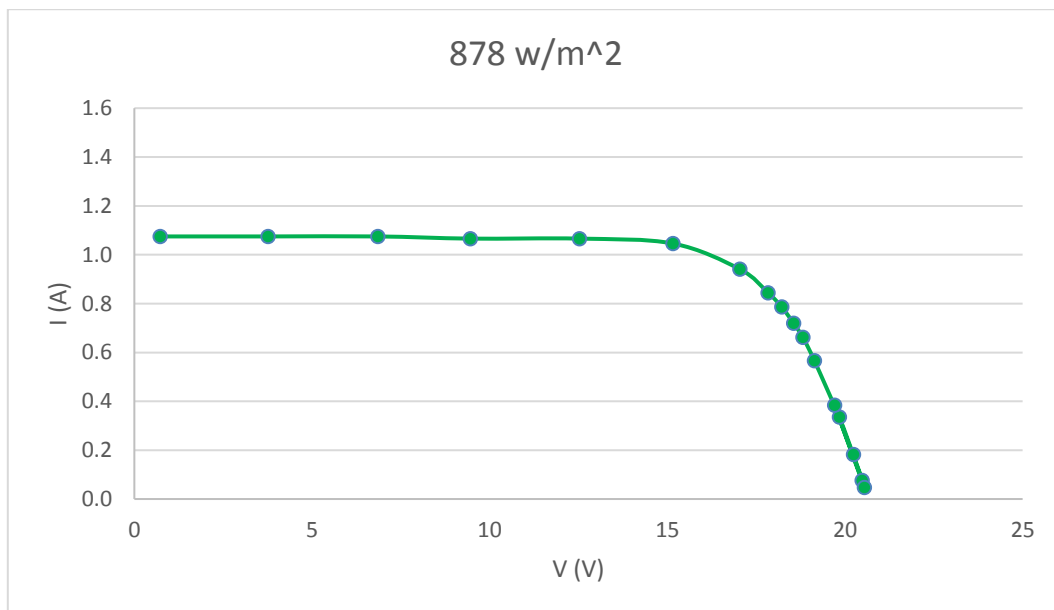
Τάση[V]	Ένταση[A]	Ακτινοβολία[W/m ²]	Ισχύς[W]
0,721	1,075	877,616	0,774
3,756	1,075	877,616	4,037
6,852	1,075	877,616	7,361
9,456	1,066	877,616	10,080
12,528	1,066	878,384	13,354
15,156	1,046	878,384	15,853
16,501	0,941	878,384	15,522
17,832	0,845	878,384	15,068
18,216	0,787	878,384	14,335
18,552	0,727	878,384	13,357
18,816	0,662	878,384	12,456
19,144	0,566	878,384	10,833
19,836	0,336	878,384	6,664
20,232	0,182	878,384	3,682
20,484	0,077	878,384	1,577
19,704	0,384	878,384	7,566
20,544	0,048	878,384	0,986

Στο σχήμα 3.4 είναι το θεωρητικό διάγραμμα έντασης-τάσης, για ηλιακή ακτινοβολία 878 W/m^2 , με θερμοκρασία πάνελ $45 \text{ }^\circ\text{C}$ και $V_{\text{max}}=15,9 \text{ W}$:



Σχήμα 3.4: Θεωρητική χαρακτηριστική καμπύλη I-V για 878 W/m^2

Στο σχήμα 3.5 είναι η πειραματική καμπύλη έντασης-τάσης, για ηλιακή ακτινοβολία 878 W/m^2 , με θερμοκρασία πάνελ $44,3 \text{ }^\circ\text{C}$ και $V_{\text{max}}=15,8 \text{ W}$:



Σχήμα 3.5: πειραματική χαρακτηριστική καμπύλη I-V για 878 W/m^2

→ Δεδομένα 3^{ης} μέτρησης :

Helios Lab I-V χαρακτηριστική ενός ενιαίου φ/β πλαισίου 20W με κλίση: 15 μοίρες (0 μοίρες είναι οριζόντια)

Η διάταξη σύνδεσης είναι: ένα φ/β πλαίσιο

Θερμοκρασία πάνελ (°C) κατά την διάρκεια του πειράματος: 43.8

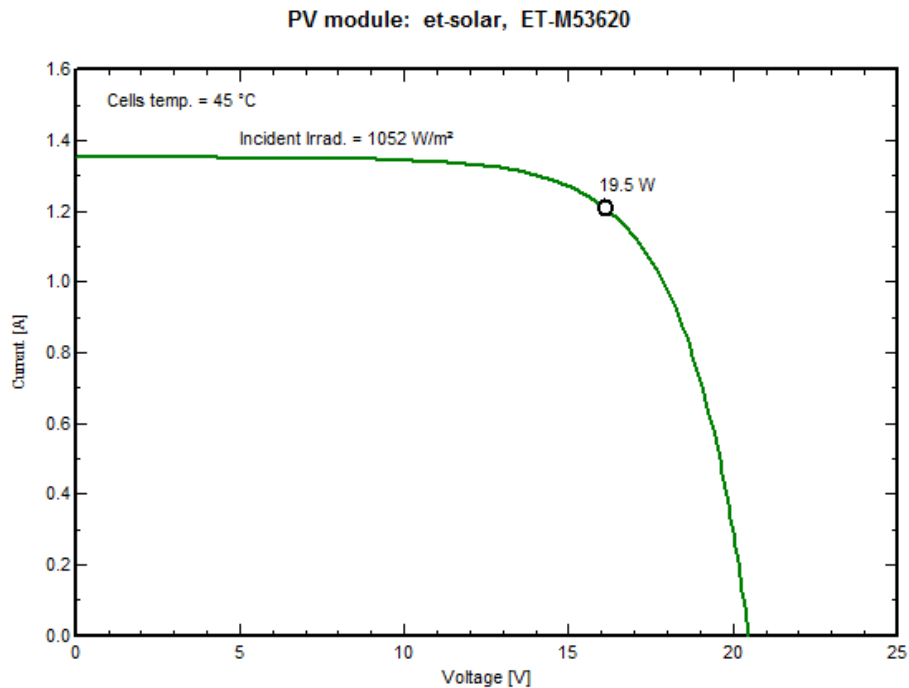
Ημερομηνία: 11/06/19 Τοπική ώρα: 12:33:10 μμ

Τοποθεσία πειράματος: N38:11:22 - E24:33:44

Πίνακας 3.VIII: Μετρήσεις ενός φ/β με 1052 W/m² ηλιακή ακτινοβολία

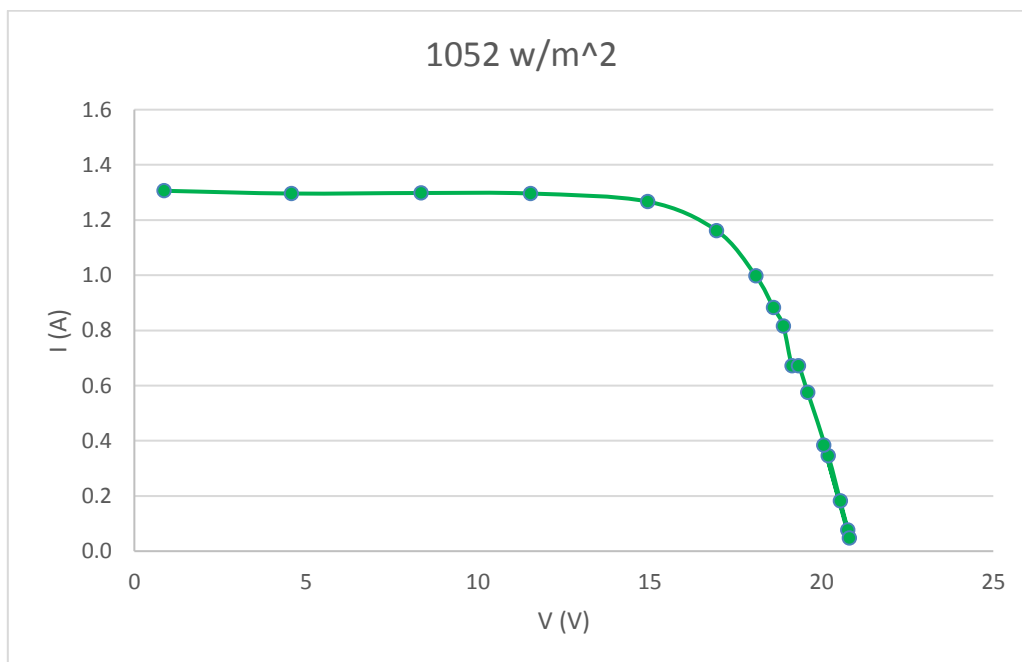
Τάση[V]	Ένταση[A]	Ακτινοβολία[W/m ²]	Ισχύς[W]
0,864	1,306	1051,294	1,128
4,572	1,296	1051,294	5,925
8,341	1,298	1051,294	10,825
11,532	1,296	1052,063	14,945
14,940	1,267	1051,294	18,928
16,544	1,162	1052,063	19,224
18,084	0,998	1052,063	18,047
18,684	0,883	1052,063	16,423
18,888	0,816	1052,063	15,412
19,145	0,672	1052,831	12,862
19,332	0,672	1052,831	12,991
19,596	0,576	1052,831	11,287
20,196	0,346	1052,831	6,987
20,544	0,182	1052,831	3,739
20,763	0,077	1052,831	1,598
20,064	0,384	1053,631	7,704
20,808	0,048	1052,831	0,998

Στο σχήμα 3.6 είναι το θεωρητικό διάγραμμα έντασης-τάσης, για ηλιακή ακτινοβολία 1052 W/m^2 , με θερμοκρασία πάνελ $45 \text{ }^\circ\text{C}$ και $V_{\text{max}}=19,5 \text{ W}$:



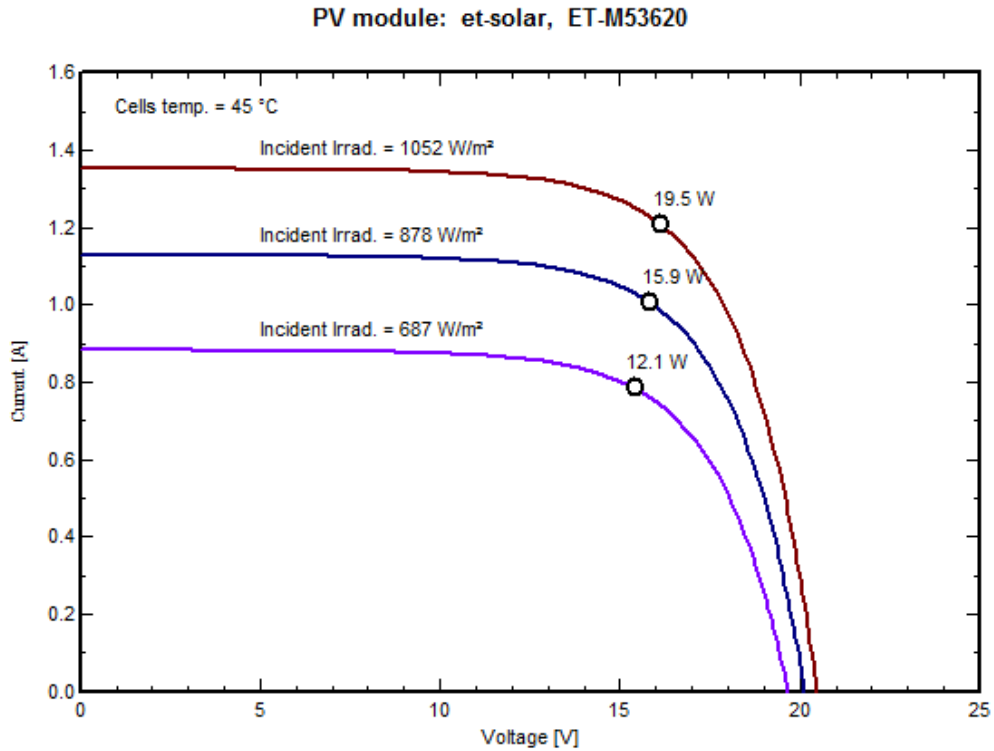
Σχήμα 3.6: Θεωρητική χαρακτηριστική καμπύλη I-V για 1052 W/m^2

Στο σχήμα 3.7 είναι η πειραματική καμπύλη έντασης-τάσης, για ηλιακή ακτινοβολία 1052 W/m^2 , με θερμοκρασία πάνελ $43,8 \text{ }^\circ\text{C}$ και $V_{\text{max}}=19,22 \text{ W}$:



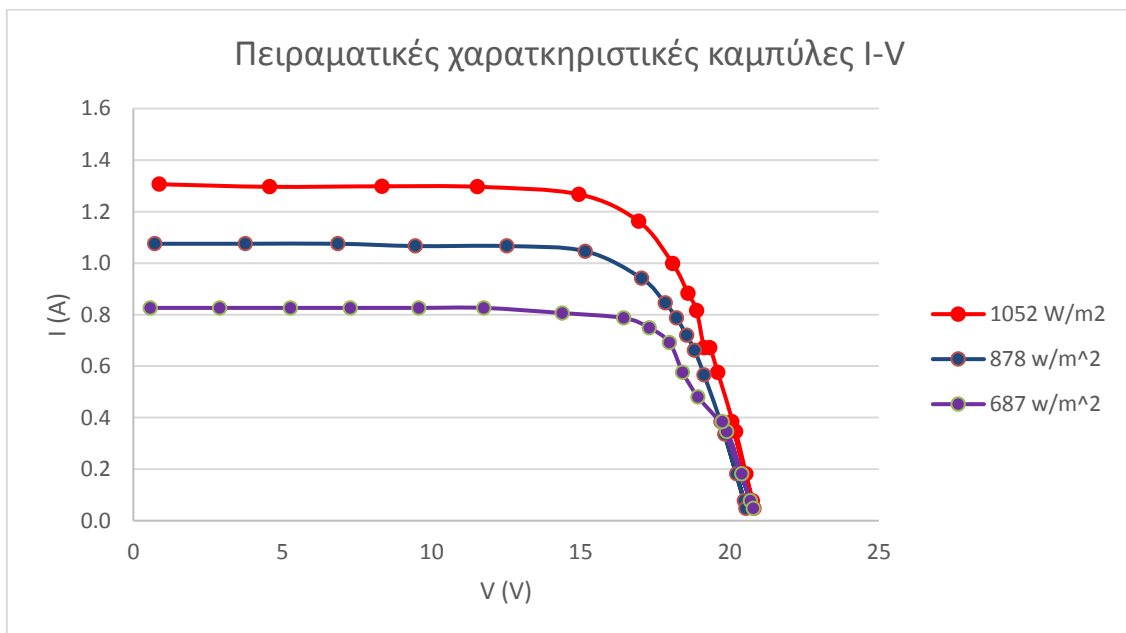
Σχήμα 3.7: Πειραματική χαρακτηριστική καμπύλη I-V για 1052 W/m^2

Στο σχήμα 3.8 είναι το θεωρητικό διάγραμμα έντασης-τάσης, των τριών πειραμάτων μαζί:



Σχήμα 3.8: Θεωρητικές χαρακτηριστικές καμπύλες I-V

Στο σχήμα 3.9 είναι οι θεωρητικές χαρακτηριστικές καμπύλες έντασης-τάσης, των τριών πειραμάτων μαζί:



Σχήμα 3.9: Πειραματικές χαρακτηριστικές καμπύλες I-V

Συμπεράσματα:

Αρχικά από το σχήμα 3.8 και το σχήμα 3.9 παρατηρείται όπως και στο προηγούμενο πείραμα ότι όσο πιο μεγάλη είναι η ηλιακή ακτινοβολία τόσο μεγαλύτερη τάση και ένταση έχουμε στο ϕ/β πλαίσιο.

Συγκρίνοντας την πειραματική με την θεωρητική καμπύλη παρατηρείται μια εμφανή διαφορά, παρουσιάζοντας μια πολύ μικρή πτώση της μέγιστης ισχύος. Αυτό ήταν αναμενόμενο μιας και η θεωρητική καμπύλη αντικατοπτρίζει συνθήκες ιδανικές κάτι που θεωρείται πολύ δύσκολο να επιτευχθεί σε πραγματικές συνθήκες.

Επίσης η πτώση αυτή, μπορεί να οφείλεται και στην γήρανση των κυψελών του ϕ/β πλαισίου.

3.2.3 Προσδιορισμός της μέγιστης ισχύος σε ένα σκιασμένο φ/β

Στόχοι: Ο σκοπός του πειράματος για τον χρήστη είναι να κατανοήσει την σοβαρή επίδραση της σκίασης για την παραγωγή φ/β ενέργειας. Ο στόχος είναι να προσδιοριστεί η μέγιστη ισχύς του σκιασμένου φ/β πλαισίου, καθώς αυτή προέρχεται από την πειραματική μέτρηση υπό πραγματικές καιρικές συνθήκες, και στη συνέχεια να συγκριθεί με τη θεωρητική ισχύ.

Πειράματα : Για να επιτευχθεί το πείραμα χρειάστηκε να παρθούν μετρήσεις για ένα σκιασμένο φ/β.

→ Δεδομένα 1^{ης} μέτρησης :

Helios Lab I-V χαρακτηριστική ενός ενιαίου φ/β πλαισίου 20W με κλίση: 25 μοίρες (0 μοίρες είναι οριζόντια)
Η διάταξη σύνδεσης είναι: ένα φ/β πλαίσιο σκιασμένο
Θερμοκρασία πάνελ (°C) κατά την διάρκεια του πειράματος: 65,3
Ημερομηνία: 30/06/17 Τοπική ώρα: 12:51:21 μμ
Τοποθεσία πειράματος: N38:11:22 - E24:33:44

Πίνακας 3.1X: Μετρήσεις ενός σκιασμένου φ/β με 853 W/m² ηλιακή ακτινοβολία

Τάση[V]	Ένταση[A]	Ακτινοβολία[W/m ²]	Ισχύς[W]
0,024	0,077	853,024	0,001
0,168	0,077	853,024	0,012
0,312	0,077	853,024	0,024
0,424	0,077	853,024	0,032
0,541	0,077	853,024	0,041
0,672	0,077	853,024	0,051
0,816	0,077	853,024	0,062
0,936	0,077	853,024	0,072
1,032	0,077	853,024	0,079
1,146	0,077	853,024	0,087
1,248	0,067	853,792	0,083
1,452	0,077	853,792	0,111
2,472	0,067	853,792	0,165
2,472	0,067	853,792	0,165
2,460	0,067	853,792	0,164
2,460	0,067	853,792	0,164
2,460	0,067	853,792	0,164

→ Δεδομένα 2^{ης} μέτρησης :

Helios Lab I-V χαρακτηριστική ενός ενιαίου φ/β πλαισίου 20W με κλίση: 0 μοίρες (0 μοίρες είναι οριζόντια)
Η διάταξη σύνδεσης είναι: ένα φ/β πλαίσιο σκιασμένο
Θερμοκρασία πάνελ (°C) κατά την διάρκεια του πειράματος: 18,4
Ημερομηνία: 29/03/19 Τοπική ώρα: 1:17:16 μμ
Τοποθεσία πειράματος: N38:11:22 - E24:33:44

Πίνακας 3.Χ: Μετρήσεις ενός σκιασμένου φ/β με 1121 W/m² ηλιακή ακτινοβολία

Τάση[V]	Ένταση[A]	Ακτινοβολία[W/m ²]	Ισχύς[W]
22,584	0,019	1113,542	0,429
22,584	0,019	1113,542	0,429
22,584	0,019	1114,311	0,429
22,584	0,019	1115,079	0,429
22,572	0,019	1116,616	0,428
22,572	0,019	1116,616	0,428
22,572	0,019	1118,153	0,428
22,572	0,019	1119,691	0,428
22,572	0,019	1121,227	0,428
22,572	0,019	1121,995	0,428
22,572	0,019	1124,301	0,428
22,572	0,019	1125,838	0,428
22,548	0,019	1125,838	0,428
22,548	0,019	1125,838	0,427
22,548	0,019	1118,921	0,427
22,416	0,019	1118,921	0,425
22,332	0,019	1103,552	0,424

→ Η **πειραματική ισχύς** βρίσκεται από τον ακόλουθο τύπο $P=V \times I$.

Έτσι με βάση τις παραπάνω μετρήσεις παρατηρείται:

Για το 1^ο πείραμα η μέγιστη ισχύς : $V_{\max}=2,472 \text{ V}$ με $I=0,067 \text{ A}$

$$\text{Άρα } P=V \times I=2,472 \times 0,067=0,165624 \text{ W}$$

Για το 2^ο πείραμα η μέγιστη ισχύς : $V_{\max}=22,584 \text{ V}$ με $I=0,019 \text{ A}$

$$\text{Άρα } P=V \times I=22,584 \times 0,019=0,429096 \text{ W}$$

→ Από τον πίνακα 2.1 που αναγράφονται τα δεδομένα του φ/β πλαισίου υπολογίζεται η **θεωρητική ισχύ** με βάση τα χαρακτηριστικά που δίνει ο κατασκευαστής.

Ο τύπος για τον υπολογισμό της θεωρητικής ισχύς είναι:

$$P_{mp} = P_{mp,r} \times \left(\frac{G_t}{G_{t,r}} \right) \times [1 - \mu_{mp} \times (T_c - T_{c,r})]$$

Όπου $P_{mp,r} = V_{mp} \times I_{mp} = 17,82 \times 1,14 = 20,3148 \text{ W}$

G_t : η ηλιακή ακτινοβολία την δεδομένη στιγμή του πειράματος

$G_{t,r}$: η ηλιακή ακτινοβολία σε συνθήκες αναφοράς

μ_{mp} : συντελεστή θερμοκρασίας του ρεύματος στο σημείο μέγιστης ισχύος

T_c : θερμοκρασία του φ/β πλαισίου την δεδομένη στιγμή του πειράματος

$T_{c,r}$: θερμοκρασία του φ/β πλαισίου σε συνθήκες αναφοράς (25 °C)

Έτσι με τον παραπάνω τύπο και αντικαθιστώντας υπολογίζονται οι δύο διαφορετικές μέγιστες ισχύς:

Για την 1^ο πείραμα για 853 [W/m²] ηλιακή ακτινοβολία:

$$P_{mp} = 20,3148 \times \left(\frac{853}{1000} \right) \times [1 - 0,0042 \times (65,3 - 25)] = \mathbf{14,395 \text{ Watt}}$$

Για την 2^ο πείραμα για 1121 [W/m²] ηλιακή ακτινοβολία:

$$P_{mp} = 20,3148 \times \left(\frac{1121}{1000} \right) \times [1 - 0,0042 \times (18,4 - 25)] = \mathbf{23,404 \text{ Watt}}$$

Συμπεράσματα:

Η σκίαση πρέπει να λαμβάνεται πολύ σοβαρά κατά την εγκατάσταση των φ/β πλαισίων καθώς η ισχύς που παράγει το σκιασμένο φ/β πλαίσιο είναι αμελητέο συγκριτικά με την μέγιστη ισχύ που δύναται να παράγει.

Αρχικά και από τα δυο πειράματα παρατηρείται όπως ήταν αναμενόμενο ότι η μέγιστη πειραματική ισχύς του φ/β είναι πολύ μικρή.

Συγκρίνοντας την θεωρητική ισχύ του κατασκευαστή με την ισχύ ενός σκιασμένου φ/β πλαισίου παρατηρείται πως η μέγιστη θεωρητική ισχύς προκύπτει πολύ μεγαλύτερη από την μέγιστη πειραματική.

Ένα φ/β πλαίσιο αποτελείται από εν σειρά όμοια φ/β στοιχεία. Η σκίαση ή βλάβη έστω κι ενός από τα στοιχεία θα έχει εώς αποτέλεσμα την αχρήστευση όλου το πλαισίου. Αν το σκιασμένο στοιχείο που συμπεριφέρεται κατά βάση ως μια απλή δίοδος σιάζεται, το παραγόμενο ηλεκτρικό ρεύμα τείνει στο μηδέν, ενώ ταυτόχρονα δέχεται το άθροισμα των τάσεων όλων των άλλων στοιχείων ανάστροφα. Αν τα υπόλοιπα φωτιζόμενα στοιχεία του πλαισίου είναι πολλά στο πλήθος, τότε αυτή η τάση μπορεί να φτάσει την τάση διάσπασης της σκιασμένης δίοδου και να προκαλέσει την καταστροφή της.

Επίσης παρατεταμένη σκίαση ενός στοιχείου σε συνδυασμό με έντονο φωτισμό των υπολοίπων μπορεί να οδηγήσει σε καταστροφή του στοιχείου αυτού και κατά συνέπεια αχρήστευση όλου του πλαισίου, λόγω ότι δεν υπάρχει δυνατότητα αντικατάστασης του κατεστραμμένου στοιχείου.

Αξίζει να σημειωθεί πως οι μετρήσεις πάρθηκαν για βέλτιστη γωνία τη συγκεκριμένη ημέρα.

3.2.4 Χαρακτηριστική καμπύλη φ/β πλαισίων που συνδέονται σε σειρά και παράλληλα

Στόχοι: Στόχος του πειράματος είναι, οι χρήστες της εφαρμογής alioslab, να εξάγουν την καμπύλη I-V φ/β πλαισίων που συνδέονται σε σειρά και παράλληλα και να την συγκρίνουν με εκείνη ενός ενιαίου φ/β πλαισίου καθώς και να καταλάβουν την χρησιμότητα της σύνδεσης φ/β πλαισίων παράλληλα σε σειρά.

Πειράματα : Για να επιτευχθεί το πείραμα χρειάστηκε να παρθούν μετρήσεις για τέσσερα φ/β πλαίσια που μπορούν να συνδεθούν παράλληλα και σε σειρά.

1^ο ΠΕΙΡΑΜΑ

→ Δεδομένα 1^{ης} μέτρησης με ένα φ/β πλαίσιο:

Helios Lab I-V χαρακτηριστική ενός ενιαίου φ/β πλαισίου 20W με κλίση: 25 μοίρες (0 μοίρες είναι οριζόντια)
Η διάταξη σύνδεσης είναι: ένα
Θερμοκρασία πάνελ (°C) κατά την διάρκεια του πειράματος: 46,6
Ημερομηνία: 21/04/19 Τοπική ώρα: 12:42:47 μμ
Τοποθεσία πειράματος: N38:11:22 - E24:33:44

Πίνακας 3.ΧΙ: Μετρήσεις ενός φ/β με 1088 W/m² ηλιακή ακτινοβολία

Τάση[V]	Ένταση[A]	Ακτινοβολία[W/m ²]
0,792	1,286	1087,413
4,512	1,286	1087,413
8,292	1,248	1088,182
11,496	1,248	1088,182
14,868	1,258	1088,182
16,776	1,056	1088,182
17,881	0,979	1088,182
18,384	0,864	1088,951
18,661	0,768	1088,951
18,924	0,712	1090,487
19,104	0,576	1089,719
19,368	0,557	1089,719
19,956	0,326	1089,719
20,304	0,163	1089,719
20,520	0,058	1089,719
19,848	0,288	1090,487
20,58	0,029	1089,719

→ Δεδομένα 2^{ης} μέτρησης με σύνδεση σε σειρά :

Helios Lab I-V χαρακτηριστική ενός ενιαίου φ/β πλαισίου 20W με κλίση: 15 μοίρες (0 μοίρες είναι οριζόντια)

Η διάταξη σύνδεσης είναι: σε σειρά

Θερμοκρασία πάνελ (°C) κατά την διάρκεια του πειράματος: 42,0

Ημερομηνία: 11/6/19 Τοπική ώρα: 12:32:30 μμ

Τοποθεσία πειράματος: N38:11:22 - E24:33:44

Πίνακας 3.ΧΙΧ: Μετρήσεις φ/β συνδεδεμένων σε σειρά με 1048 W/m² ηλιακή ακτινοβολία

Τάση[V]	Ένταση[A]	Ακτινοβολία[W/m ²]
0,864	1,248	1046,683
10,248	1,248	1047,452
12,636	1,296	1046,683
23,582	1,248	1047,452
26,124	1,248	1046,683
35,328	1,248	1047,452
37,683	1,248	1046,683
48,444	1,277	1048,221
50,592	1,277	1047,452
59,448	1,267	1048,222
62,112	1,258	1047,452
65,942	1,152	1048,221
67,428	1,152	1048,221
68,412	1,162	1047,452
70,152	1,123	1048,221
73,262	0,998	1048,989
75,662	0,874	1048,989
76,572	0,806	1049,757
78,708	0,576	1048,989
80,388	0,384	1049,757
81,684	0,317	1049,757
82,296	0,251	1049,757
83,132	0,134	1049,757
83,256	0,115	1049,757
83,688	0,124	1049,757

→ Δεδομένα 3^{ης} μέτρησης με σύνδεση παράλληλα:

Helios Lab I-V χαρακτηριστική ενός ενιαίου φ/β πλαισίου 20W με κλίση: 15 μοίρες (0 μοίρες είναι οριζόντια)

Η διάταξη σύνδεσης είναι: παράλληλα

Θερμοκρασία πάνελ (°C) κατά την διάρκεια του πειράματος: 39,9

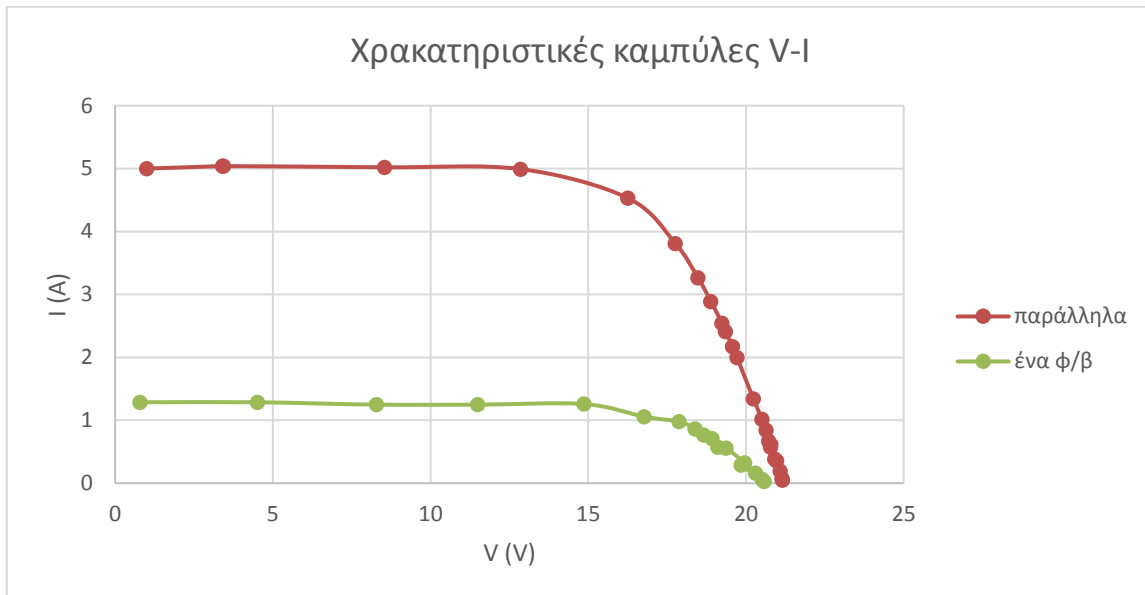
Ημερομηνία: 11/6/19 Τοπική ώρα: 12:31:36 μμ

Τοποθεσία πειράματος: N38:11:22 - E24:33:44

Πίνακας 3.ΧΧ: Μετρήσεις φ/β συνδεδεμένων παράλληλα με 1041 W/m² ηλιακή ακτινοβολία

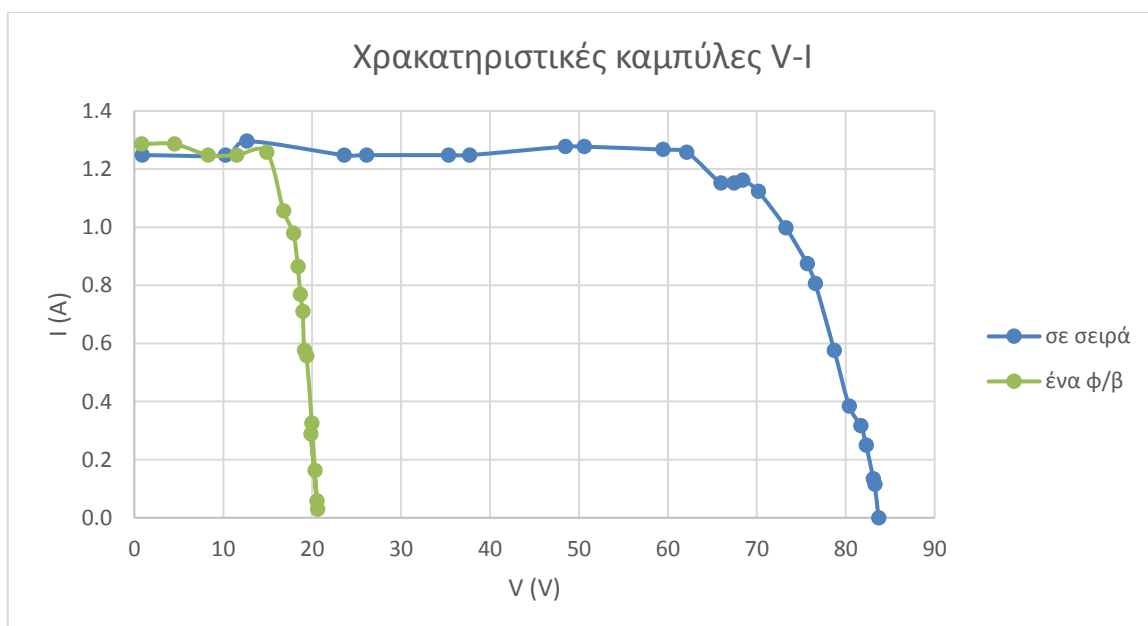
Τάση[V]	Ένταση[A]	Ακτινοβολία[W/m ²]
3,408	5,041	1042,072
3,444	5,041	1040,535
8,544	5,021	1040,535
12,852	4,992	1041,304
16,261	4,531	1041,304
17,763	3,811	1041,304
18,481	3,264	1041,304
18,888	2,892	1041,304
19,236	2,544	1041,304
19,356	2,413	1041,304
19,572	2,177	1041,304
19,716	1,997	1041,304
20,232	1,344	1041,304
20,508	1,018	1041,304
20,643	0,845	1042,072
20,724	0,672	1042,072
20,784	0,576	1042,072
20,796	0,614	1042,841
20,916	0,384	1044,378
20,976	0,355	1042,841
21,084	0,192	1043,609
21,144	0,077	1044,378
21,156	0,048	1044,378

Στο σχήμα 3.10 απεικονίζεται με κόκκινο χρώμα η χαρακτηριστική καμπύλη τεσσάρων ομοίων φ/β πλαισίων που είναι συνδεδεμένα παράλληλα και με πράσινο χρώμα ένα φ/β πλαίσιο μόνο του για ηλιακή ακτινοβολία 1040 W/m^2 . Στον άξονα χ είναι η τάση ενώ στον άξονα ψ είναι το ρεύμα :



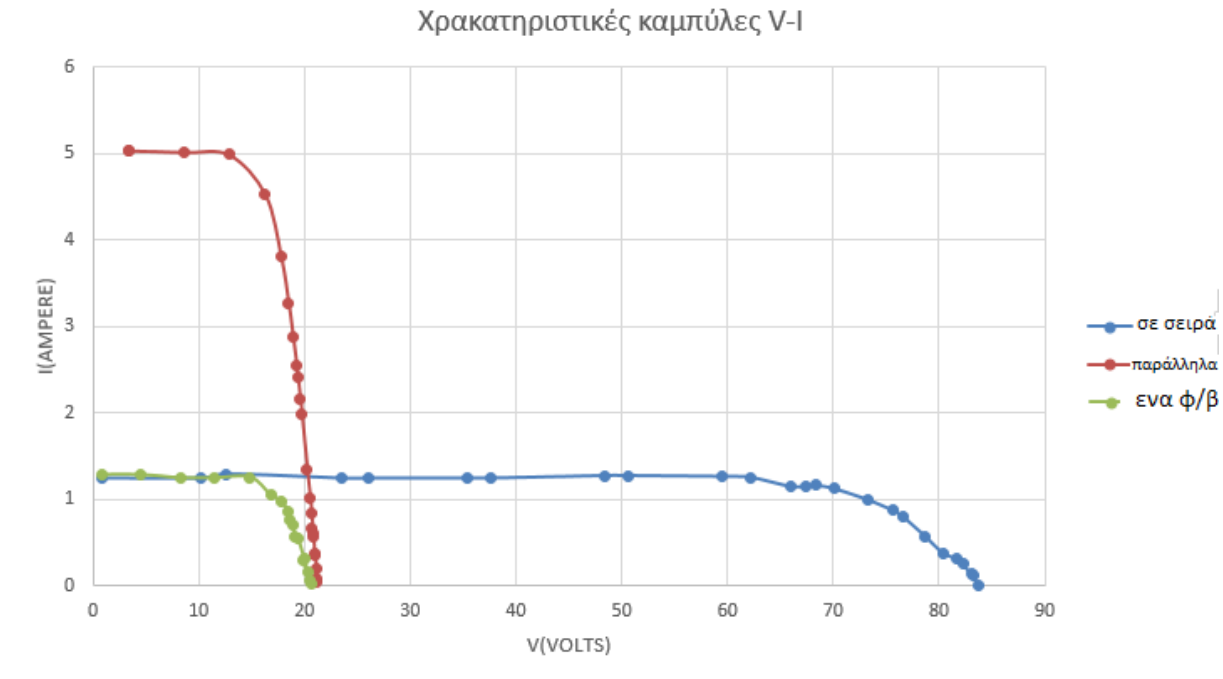
Σχήμα 3.10: Χαρακτηριστικές καμπύλες V-I για 1040 W/m^2

Στο σχήμα 3.11 απεικονίζεται με μπλέ χρώμα η χαρακτηριστική καμπύλη τεσσάρων ομοίων φ/β πλαισίων που είναι συνδεδεμένα σε σειρά και με πράσινο χρώμα ένα φ/β πλαίσιο μόνο του για ηλιακή ακτινοβολία 1040 W/m^2 . Στον άξονα χ είναι η τάση ενώ στον άξονα ψ είναι το ρεύμα :



Σχήμα 3.11: Χαρακτηριστικές καμπύλες V-I για 1040 W/m^2

Στο σχήμα 3.12 απεικονίζεται με κόκκινο χρώμα η χαρακτηριστική καμπύλη τεσσάρων ομοιών ϕ/β πλαισίων που είναι συνδεδεμένα παράλληλα, με μπλέ χρώμα η καμπύλη τεσσάρων ομοιών ϕ/β πλαισίων που είναι συνδεδεμένα σε σειρά και με πράσινο χρώμα ένα ϕ/β πλαίσιο μόνο του, για ηλιακή ακτινοβολία 600 W/m^2 . Στον άξονα x είναι η τάση ενώ στον άξονα y είναι το ρεύμα:



Σχήμα 3.12: Χαρακτηριστικές καμπύλες V-I για 1040 W/m^2

2^ο ΠΕΙΡΑΜΑ

→ Δεδομένα 1^{ης} μέτρησης με ένα φ/β πλαίσιο:

Helios Lab I-V χαρακτηριστική ενός ενιαίου φ/β πλαισίου 20W με κλίση: 19 μοίρες (0 μοίρες είναι οριζόντια)

Η διάταξη σύνδεσης είναι: ένα

Θερμοκρασία πάνελ (°C) κατά την διάρκεια του πειράματος: 37,2

Ημερομηνία: 26/07/19 Τοπική ώρα: 9:59:37 πμ

Τοποθεσία πειράματος: N38:11:22 - E24:33:44

Πίνακας 3.ΧΧΧ: Μετρήσεις ενός φ/β με 620 W/m² ηλιακή ακτινοβολία

Τάση[V]	Ένταση[A]	Ακτινοβολία[W/m ²]
0,444	0,664	620,171
2,472	0,672	620,171
4,536	0,672	620,171
6,276	0,672	620,171
8,292	0,672	620,171
10,128	0,672	620,171
12,336	0,672	620,171
14,136	0,672	620,171
15,504	0,672	620,171
17,172	0,576	620,171
17,944	0,576	620,171
18,684	0,484	620,171
19,908	0,288	620,171
20,472	0,182	620,171
20,796	0,131	620,171
19,716	0,384	620,171
20,892	0,158	620,171

→ Δεδομένα 2^{ης} μέτρησης με σύνδεση σε σειρά :

Helios Lab I-V χαρακτηριστική ενός ενιαίου φ/β πλαισίου 20W με κλίση: 19 μοίρες (0 μοίρες είναι οριζόντια)

Η διάταξη σύνδεσης είναι: σε σειρά

Θερμοκρασία πάνελ (°C) κατά την διάρκεια του πειράματος: 37,6

Ημερομηνία: 26/7/19 Τοπική ώρα: 9:58:30 πμ

Τοποθεσία πειράματος: N38:11:22 - E24:33:44

Πίνακας 3.Χ1: Μετρήσεις φ/β συνδεδεμένων σε σειρά με 610 W/m² ηλιακή ακτινοβολία

Τάση[V]	Ένταση[A]	Ακτινοβολία[W/m ²]
0,441	0,673	610,181
6,852	0,672	610,181
14,172	0,672	610,951
20,528	0,672	610,951
5,556	0,672	610,951
12,744	0,672	610,950
19,236	0,672	610,951
27,588	0,672	611,718
34,512	0,672	611,718
40,776	0,672	611,718
26,316	0,672	611,718
32,645	0,672	610,955
39,504	0,672	612,487
38,016	0,672	613,255
43,512	0,672	611,718
50,976	0,681	613,255
59,304	0,672	614,023
63,965	0,672	614,023
73,188	0,576	614,023
77,496	0,384	614,023
80,045	0,288	614,792
81,084	0,192	614,792
82,392	0,096	615,565
82,668	0,096	615,567
83,341	0,069	615,567

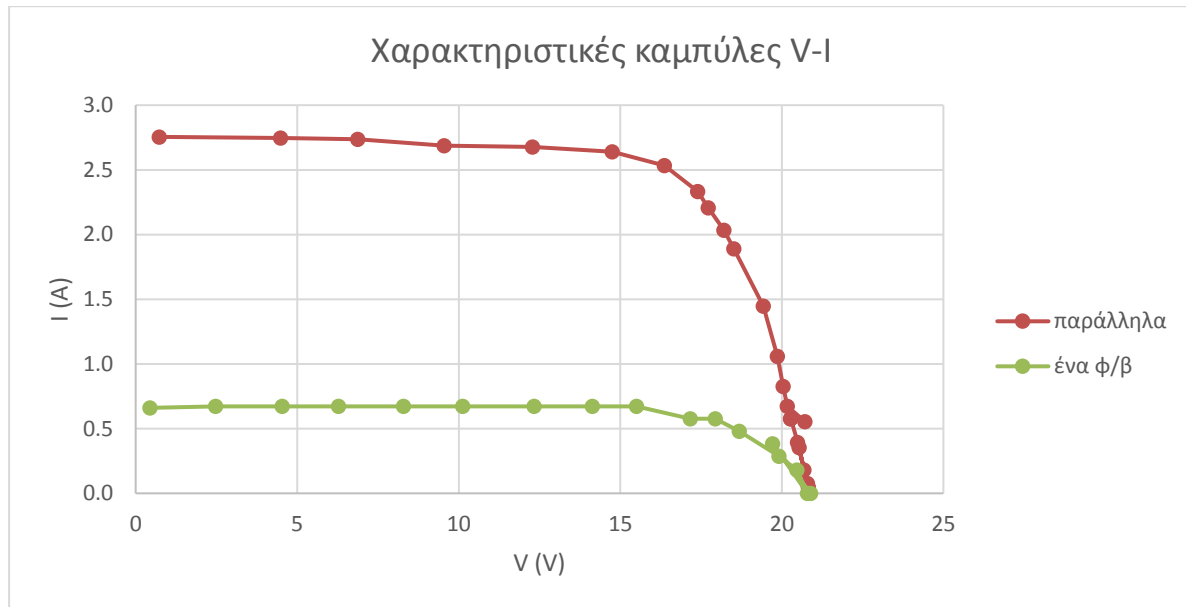
→ Δεδομένα 3^{ης} μέτρησης με σύνδεση παράλληλα:

Helios Lab I-V χαρακτηριστική ενός ενιαίου φ/β πλαισίου 20W με κλίση: 19 μοίρες (0 μοίρες είναι οριζόντια)
Η διάταξη σύνδεσης είναι: παράλληλα
Θερμοκρασία πάνελ (°C) κατά την διάρκεια του πειράματος: 38,2
Ημερομηνία: 26/07/19 Τοπική ώρα: : 9:56:49 πμ
Τοποθεσία πειράματος: N38:11:22 - E24:33:44

Πίνακας 3.1: Μετρήσεις φ/β συνδεδεμένων παράλληλα με 605 W/m² ηλιακή ακτινοβολία

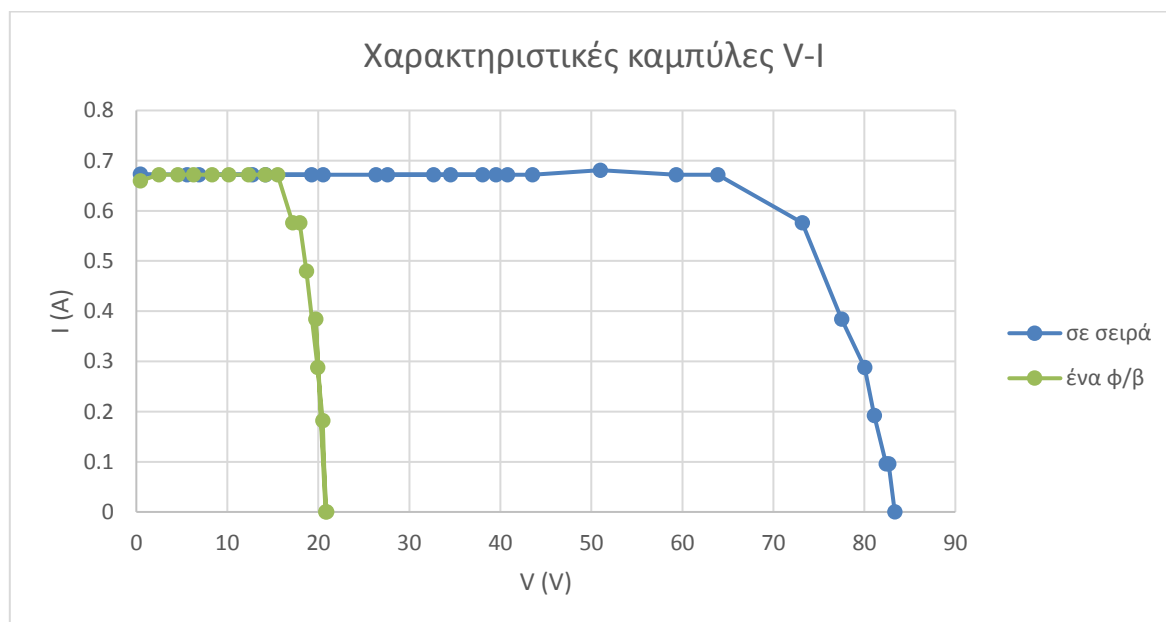
Τάση[V]	Ένταση[A]	Ακτινοβολία[W/m ²]
0,728	2,755	604,802
4,488	2,746	605,576
6,876	2,736	604,802
9,552	2,688	605,572
12,288	2,678	605,571
14,748	2,647	605,571
16,368	2,534	605,571
17,447	2,333	605,571
17,724	2,208	605,571
18,204	2,035	605,571
18,516	1,891	605,571
19,428	1,448	605,571
19,863	1,067	605,571
20,043	0,826	605,571
20,172	0,672	605,571
20,716	0,555	605,571
20,268	0,576	605,571
20,287	0,576	606,339
20,532	0,355	606,339
20,688	0,182	606,339
20,796	0,077	607,107
20,484	0,394	607,107
20,829	0,048	607,107

Στο σχήμα 3.13 απεικονίζεται με κόκκινο χρώμα η χαρακτηριστική καμπύλη τεσσάρων ομοίων φ/β πλαισίων που είναι συνδεδεμένα παράλληλα και με πράσινο χρώμα ένα φ/β πλαίσιο μόνο του, για ηλιακή ακτινοβολία 600 W/m^2 . Στον άξονα χ είναι η τάση ενώ στον άξονα ψ είναι το ρεύμα:



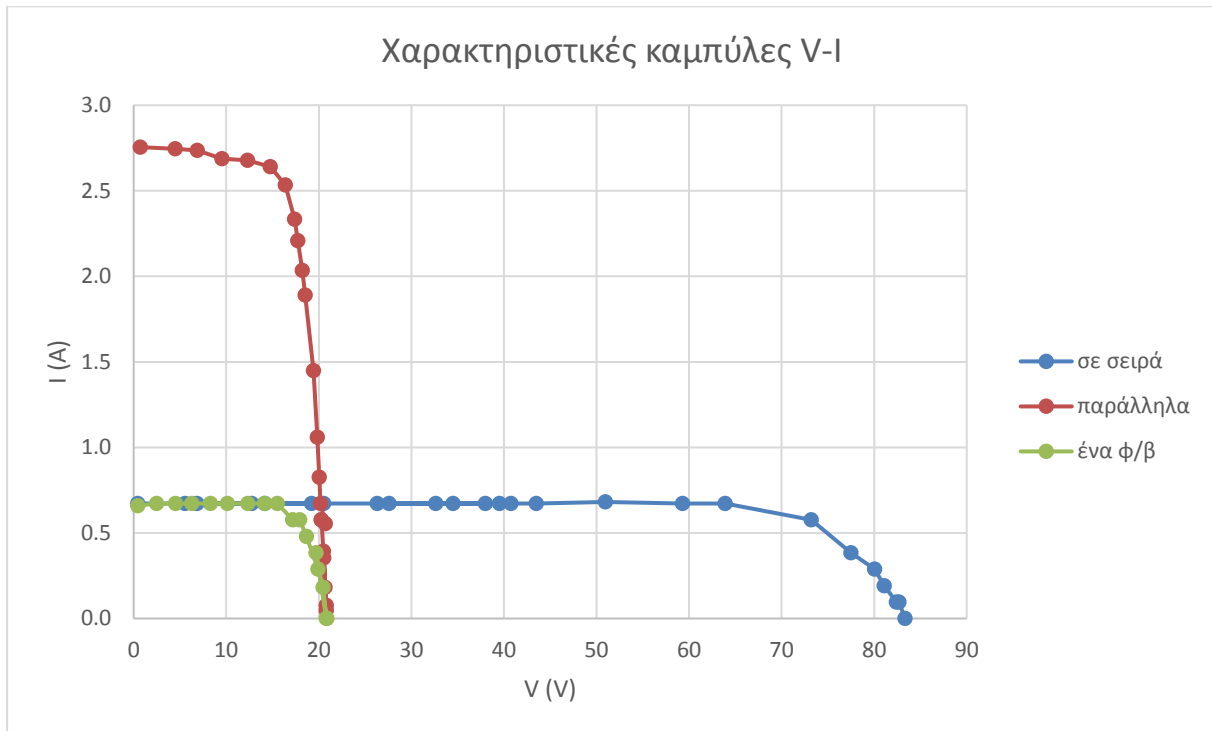
Σχήμα 3.13: Χαρακτηριστικές καμπύλες V-I για 600 W/m^2

Στο σχήμα 3.14 απεικονίζεται με μπλέ χρώμα η χαρακτηριστική καμπύλη τεσσάρων ομοίων φ/β πλαισίων που είναι συνδεδεμένα σε σειρά και με πράσινο χρώμα ένα φ/β πλαίσιο μόνο του για ηλιακή ακτινοβολία 600 W/m^2 . Στον άξονα χ είναι η τάση ενώ στον άξονα ψ είναι το ρεύμα :



Σχήμα 3.14: Χαρακτηριστικές καμπύλες V-I για 600 W/m^2

Στο σχήμα 3.15 απεικονίζεται με κόκκινο χρώμα η χαρακτηριστική καμπύλη τεσσάρων ομοιών ϕ/β πλαισίων που είναι συνδεδεμένα παράλληλα, με μπλέ χρώμα η καμπύλη τεσσάρων ομοιών ϕ/β πλαισίων που είναι συνδεδεμένα σε σειρά και με πράσινο χρώμα ένα ϕ/β πλαίσιο μόνο του, για ηλιακή ακτινοβολία 600 W/m^2 . Στον άξονα x είναι η τάση ενώ στον άξονα y είναι το ρεύμα:



Σχήμα 3.15: Χαρακτηριστικές καμπύλες V-I για 600 W/m^2

Συμπεράσματα:

Παρατηρείται από τα παραπάνω διάγραμμα ότι όταν γίνεται σύνδεση σε σειρά το ρεύμα μένει ίδιο ενώ η τάση τετραπλασιάζεται σε σχέση με την χρήση ενός μόνο φ/β πλαισίου (αφού είναι τέσσερα όμοια φ/β πλαίσια συνδεδεμένα).

Αντίστοιχα όταν γίνεται σύνδεση παράλληλα η τάση παραμένει ίδια ενώ το ρεύμα τετραπλασιάζεται σε σχέση με την χρήση ενός μόνο φ/β πλαισίου (αφού είναι τέσσερα όμοια φ/β πλαίσια συνδεδεμένα). Αυτό συμβαίνει γιατί: στην περίπτωση της σύνδεσης εν σειράς οι τάσεις αθροίζονται ενώ στην περίπτωση της παράλληλης σύνδεσης τα ρεύματα αθροίζονται.

Συνεπώς, ανάλογα με την χρήση που θέλουμε να κάνουμε πράττουμε αναλόγως όσον αφορά την συνδεσμολογία των φ/β πλαισίων.

Αξίζει να σημειωθεί πως οι μετρήσεις πάρθηκαν για βέλτιστη γωνία την συγκεκριμένη ημέρα.

3.2.5 Προσδιορισμός του συντελεστή πλήρωσης

Στόχοι: Ο στόχος της παρούσας άσκησης είναι να χρησιμοποιηθεί το σύστημα πειραματισμού εξ αποστάσεως για να προσδιοριστεί ο συντελεστής πλήρωσης μιας φ/β εγκατάστασης.

Πειράματα : Παρακάτω φαίνονται τα χαρακτηριστικά του πειράματος για ένα φ/β πλαίσιο καθώς και οι μετρήσεις που πάρθηκαν.

1^ο ΠΕΙΡΑΜΑ

Helios Lab I-V χαρακτηριστική ενός ενιαίου φ/β πλαισίου 20W με κλίση: 25 μοίρες (0 μοίρες είναι οριζόντια)

Η διάταξη σύνδεσης είναι: ένα φ/β πλαίσιο

Θερμοκρασία πάνελ (°C) κατά την διάρκεια του πειράματος: 46,6

Ημερομηνία: 21/4/19 Τοπική ώρα: 12:42:47 μμ

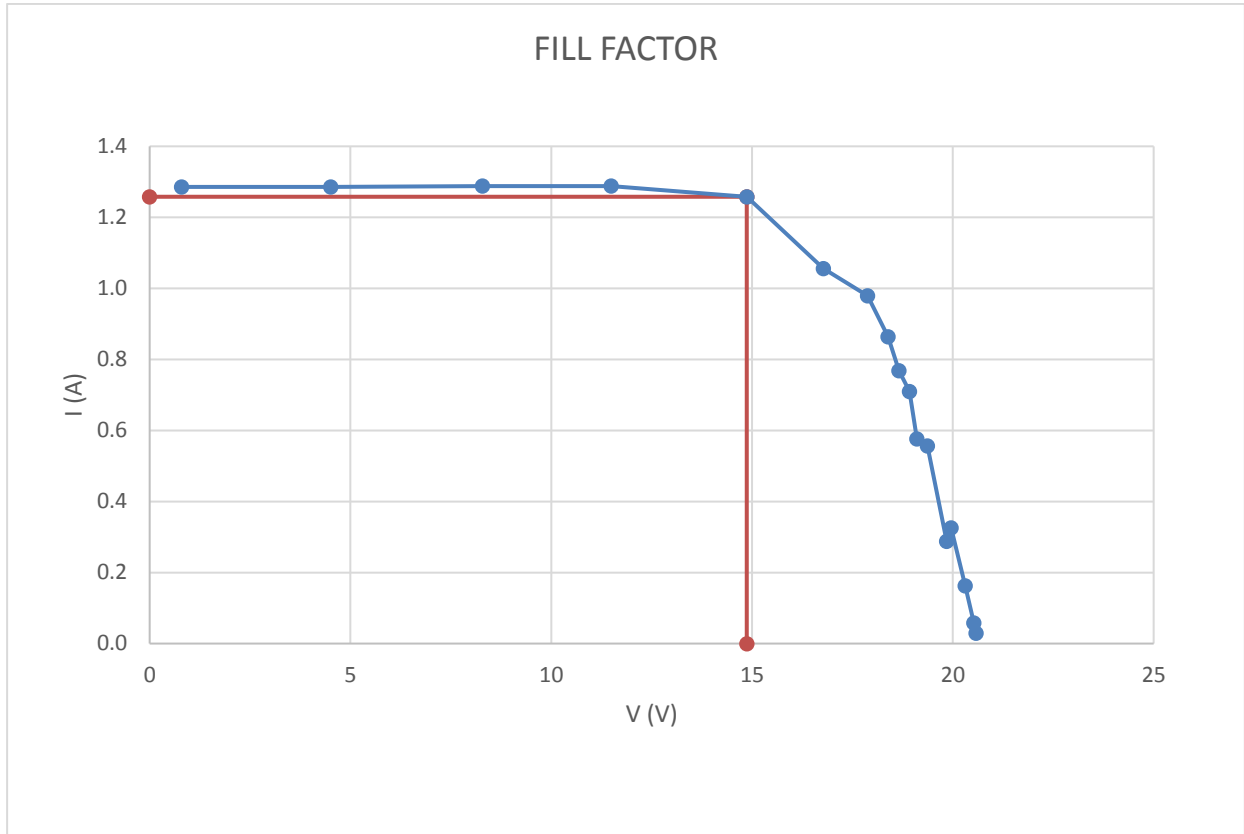
Τοποθεσία πειράματος: N38:11:22 - E24:33:44

Πίνακας 3.ΛΧ: Μετρήσεις ενός φ/β με 1087 W/m² ηλιακή ακτινοβολία

Τάση[V]	Ένταση[A]	Ακτινοβολία[W/m ²]	Ισχύς[W]
0,792	1,286	1087,413	1,018
4,512	1,286	1087,413	5,802
8,292	1,288	1088,182	10,680
11,496	1,288	1088,182	14,806
14,868	1,258	1088,182	18,703
16,776	1,056	1088,182	17,715
17,881	0,979	1088,182	17,504
18,384	0,864	1088,952	15,883
18,662	0,768	1088,952	14,330
18,924	0,710	1090,487	13,436
19,104	0,576	1089,719	11,003
19,368	0,557	1089,719	10,787
19,848	0,288	1090,487	5,716
19,956	0,326	1089,719	6,505
20,304	0,163	1089,719	3,309
20,523	0,058	1089,719	1,190
20,582	0,029	1089,719	0,596

Μέγιστη ισχύς P_{max}=18,703944

Στο σχήμα 3.16 παρατηρούμε γραφικά έναν συντελεστή πλήρωσης που φαίνεται να είναι σε ένα ικανοποιητικό στάδιο, πράγμα που φανερώνει την καλή συμπεριφορά του φ/β πλαισίου.



Σχήμα 3.16: Διάγραμμα συντελεστή πλήρωσης για 1087 W/m^2

Συγκεκριμένα βάση της σχέσης από την θεωρία ο συντελεστής πλήρωσης θα υπολογιστεί ως εξής.

$$FF = \frac{V_{\text{mpp}} \times I_{\text{mpp}}}{V_{\text{oc}} \times I_{\text{sc}}} = \frac{14,868 \times 1,258}{20,58 \times 1,288} = 0,7056 \text{ ή } 70,56\%$$

2^ο ΠΕΙΡΑΜΑ

Helios Lab I-V χαρακτηριστική ενός ενιαίου φ/β πλαισίου 20W με κλίση: 15 μοίρες (0 μοίρες είναι οριζόντια)

Η διάταξη σύνδεσης είναι: ένα φ/β πλαίσιο

Θερμοκρασία πάνελ (°C) κατά την διάρκεια του πειράματος: 54,4

Ημερομηνία: 5/6/18 Τοπική ώρα: 12:13:13 μμ

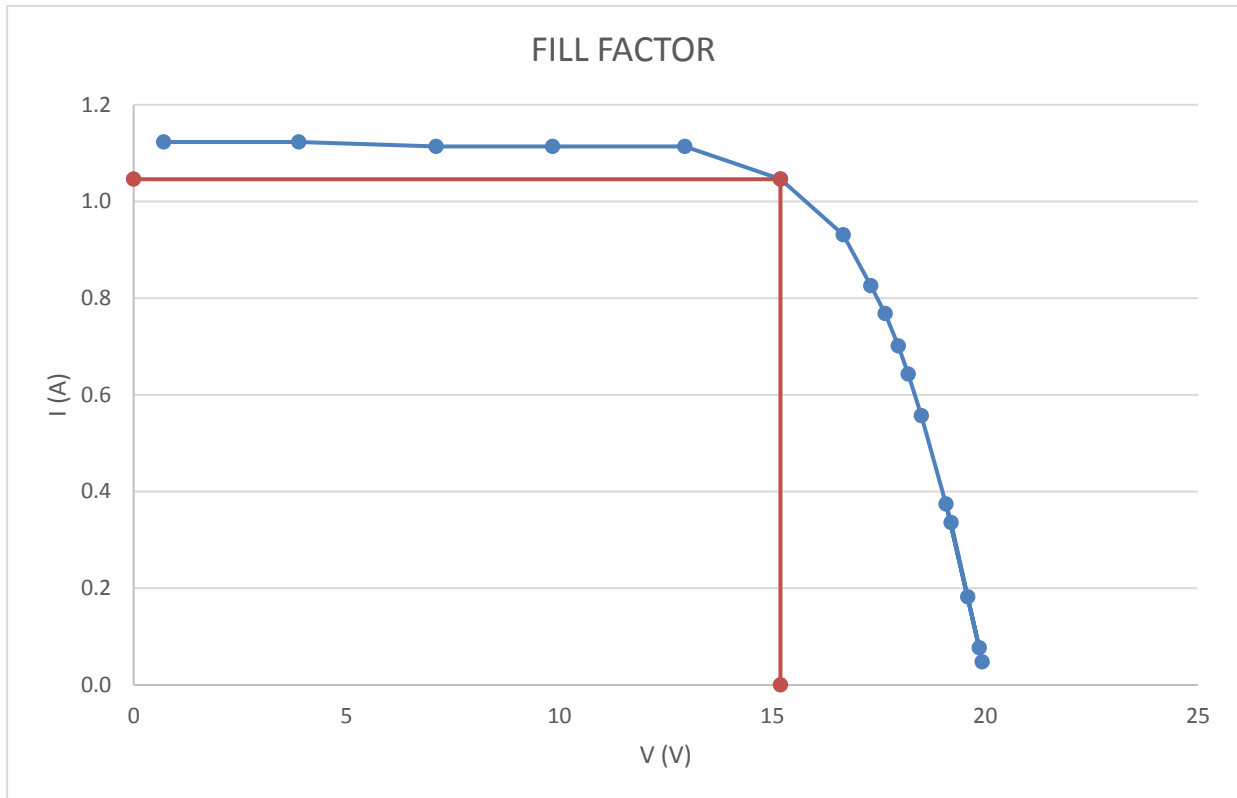
Τοποθεσία πειράματος: N38:11:22 - E24:33:44

Πίνακας 3.ΧC: Μετρήσεις ενός φ/β με 872 W/m² ηλιακή ακτινοβολία

Τάση[V]	Ένταση[A]	Ακτινοβολία[W/m ²]	Ισχύς[W]
0,708	1,123	872,236	0,795
3,876	1,123	872,236	4,352
7,104	1,114	872,236	7,913
9,841	1,114	872,236	10,961
12,948	1,114	872,236	14,424
15,192	1,046	872,236	15,890
16,668	0,931	872,236	15,517
17,316	0,826	872,236	14,303
17,652	0,768	872,236	13,556
17,964	0,701	872,236	12,592
18,192	0,643	872,236	11,697
18,504	0,557	872,236	10,306
19,221	0,336	872,236	6,451
19,596	0,182	872,236	3,566
19,860	0,077	872,236	1,529
19,081	0,374	872,236	7,135
19,932	0,048	871,468	0,956

Μέγιστη ισχύς P_{max}=15,89083

Στο σχήμα 3.17 παρατηρούμε γραφικά έναν συντελεστή πλήρωσης που φαίνεται να είναι σε ένα ικανοποιητικό στάδιο, πράγμα που φανερώνει την καλή συμπεριφορά του φ/β πλαισίου.



Σχήμα 3.17: Διάγραμμα συντελεστή πλήρωσης για 872 W/m^2

Συγκεκριμένα βάση της σχέσης από την θεωρία ο συντελεστής πλήρωσης θα υπολογιστεί ως εξής.

$$FF = \frac{V_{mpp} \times I_{mpp}}{V_{oc} \times I_{sc}} = \frac{15,192 \times 1,046}{19,932 \times 1,123} = 0,7099 \text{ ή } 70,99\%$$

Συμπεράσματα:

Από την θεωρία τα όρια για τους κρυσταλλικούς ηλιακούς συλλέκτες καθώς τα όρια είναι από 0,75 έως 0,85.

Ο συντελεστής πλήρωσης που υπολογίστηκε και στις δυο παραπάνω περιπτώσεις παρατηρείται ότι είναι εκτός των ορίων, αφού στην πρώτη περίπτωση το $FF=70,56$ και στην δεύτερη περίπτωση $FF=70,99$

Αυτό, ίσως συμβαίνει λόγω γήρανσης του ϕ/β , σε τυχόν σφάλματα σε υπολογισμούς ή μετρήσεις. Παρόλα τα, η απόκλιση είναι μικρή και όχι τόσο ανησυχητική.

Αξίζει να σημειωθεί πως οι μετρήσεις πάρθηκαν για βέλτιστη γωνία την συγκεκριμένη ημέρα.

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Τα φωτοβολταϊκά είναι μία από τις πολλά υποσχόμενες τεχνολογίες της νέας εποχής που ανατέλλει στο χώρο της ενέργειας. Είναι λειτουργικά καθώς προσφέρουν επεκτασιμότητα της ισχύος τους και δυνατότητα αποθήκευσης της παραγόμενης ενέργειας (στο δίκτυο ή σε συσσωρευτές) αναιρώντας έτσι το μειονέκτημα της ασυνεχούς παραγωγής ενέργειας. Χάρη του μικρού τους όγκου και της ευελιξίας τους μπορούν να εφαρμοστούν εύκολα εκτός από μεγάλα εμπορικά κτήρια και υπαίθριους σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής και σε επίπεδο κατοικίας. Ο καταναλωτής μπορεί να έχει τον απόλυτο έλεγχο του συστήματος και ανα πάσα στιγμή άμεση πρόσβαση στα στοιχεία που αφορούν την παραγμένη ενέργεια στο σύστημα.

Μια τέτοια εφαρμογή είναι το σύστημα alioslab, το οποίο ,δεν απευθύνεται μόνο σε σπουδαστές αλλά σε οποιονδήποτε θελήσει να ασχοληθεί και να πειραματιστεί επάνω σε πραγματικές φ/β μονάδες από όλον τον πλανήτη. Αυτό είναι κάτι που το καθιστά μοναδικό. Ξοδεύοντας ελάχιστο χρόνο το εργαστήριο alioslab παρέχει την δυνατότητα στον χρήστη να κάνει κάποιο πείραμα που τον ενδιαφέρει και να εξάγει τα συμπεράσματα του.

Χάρη στο πρόγραμμα alioslab οι μετρήσεις γίνονται πολύ γρήγορα με αποτέλεσμα να ξοδεύεται λιγότερος χρόνος. Επίσης παρά την μη ύπαρξη ηλιοφάνειας τις βραδινές ώρες οι χρήστες μπορούν να επεξεργάζονται δεδομένα από μια σειρά πολλών μετρήσεων που έχουν πραγματοποιηθεί στο παρελθόν. Επίσης οι χρήστες μπορούν να επεξεργαστούν δεδομένα από όλες τις εποχές με τα υπάρχοντα αρχεία καθώς σε κάθε αρχείο ξεχωριστά αναγράφεται η ώρα και η ημερομηνία που πραγματοποιήθηκαν.

Στην παρούσα πτυχιακή ερμηνεύτηκαν τρόποι με τους οποίους τα φωτοβολταϊκά πλαίσια μπορούν να συνδεθούν, δυσμενείς συνθήκες που αντιμετωπίζουν τα φωτοβολταϊκά πλαίσια όπως η σκίαση , και χρησιμοποιήθηκε λογισμικό για φωτοβολταϊκά που χρησιμοποιείται από μηχανικούς .

Μια τέτοια εγκατάσταση απαιτεί κάποιες ανάγκες. Παρόλου που τα φ/β είναι ευέλικτα συστήματα, απαιτούν πολύ προσοχή κατά την εγκατάσταση και στην εφαρμογή τους. Πριν γίνει η εγκατάσταση οποιαδήποτε φ/β πλαισίου πρέπει να ληφθούν υπόψη τα προβλήματα κυρίως μιας σκίασης ,από την θεωρία και από τα περάματα φαίνεται ποσό επιβλαβή μπορεί να είναι για το φ/β σύστημα. Επίσης ιδιαίτερη προσοχή απαιτεί η κλίση που θα δοθεί αλλά και ο τρόπος σύνδεσης τους ανάλογα με το τι χρειάζεται σε κάθε περίπτωση ξεχωριστά.

Βιβλιογραφία

1. Πρόγραμμα Εφαρμογής Διεξαγωγής Πειραματικών Μετρήσεων
<http://alioslab.stef.teiath.gr/project.htm>
2. **Prof. Petros Axaopoulos**, Experimental exercises on pv system, University of West Attica, Greece
3. **Petros J. Axaopoulos**, **May 2015**, «Solar thermal conversion», Athens
4. **Axaopoulos P. J 1995**, “Renewable energy sources” in Greek. Course notes.
5. **Πυρανόμετρο**, <https://el.wikipedia.org/wiki/Πυρανόμετρο>
6. **Βολτόμετρο**, <https://el.wikipedia.org/wiki/Βολτόμετρο>
7. **Αμπερόμετρο**, <https://el.wikipedia.org/wiki/Αμπερόμετρο>
8. **Σύνδεσμος εταιριών φωτοβολταϊκών, Ιανουάριος 2011.**
Φωτοβολταϊκά<<Ένας πρακτικός τεχνικός οδηγός>>
9. **ET Solar PV Module** https://www.bajadanewenergy.com/wp-content/uploads/2013/03/ET_Solar_PV_Module_ETM53620.pdf
10. **Σ.Δ. Περδίας, Αθήνα 2007**, «Φωτοβολταϊκές Εγκαταστάσεις»,
11. **Solar Panel Wikipedia**, https://en.wikipedia.org/wiki/Solar_panel
12. **Solar Power Wikipedia**, https://en.wikipedia.org/wiki/Solar_power
13. **Δρ. Πέτρος Καράισας, ΙΜΕ ΓΣΕΒΕΕ, 2014**, Φωτοβολταϊκα συστήματα και ανανεώσιμες πηγες ενέργειας
14. **Αυθινού Αικατερίνη-Μαρία, 2016**, Μελέτη της γήρανσης φωτοβολταϊκών πλαισίων και εκτίμηση της ηλεκτρικής υποβάθμισης αυτών
15. **Green Energy Plus**, συνδεσμολογία ενός φωτοβολταϊκού συστήματος, http://greenenergyplus.blogspot.com/2011/12/blog-post_5655.html