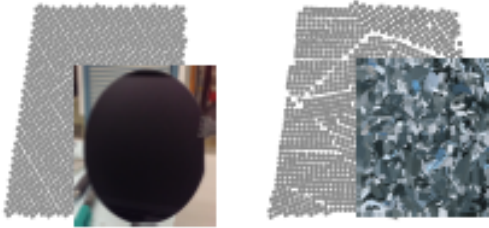


Photovoltaic Systems

Modelling the power output of PVs

Main PV technologies

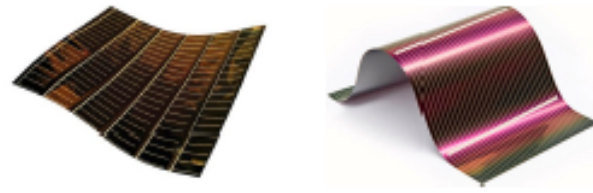
1st generation



Poly-
Crystalline Silicon

Mono-
Silicon

2nd generation

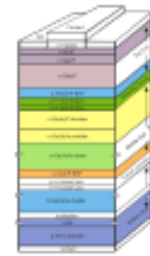


CdTe

CIGS

Thin film

3rd generation

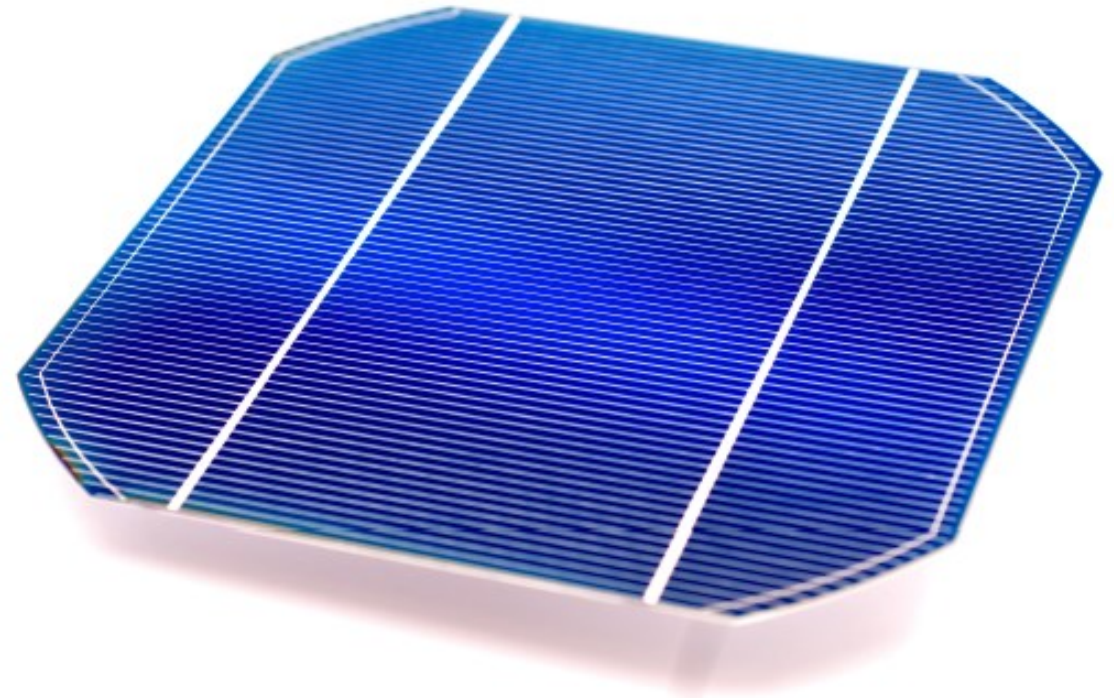


Multi-
junction

Silicon ingots

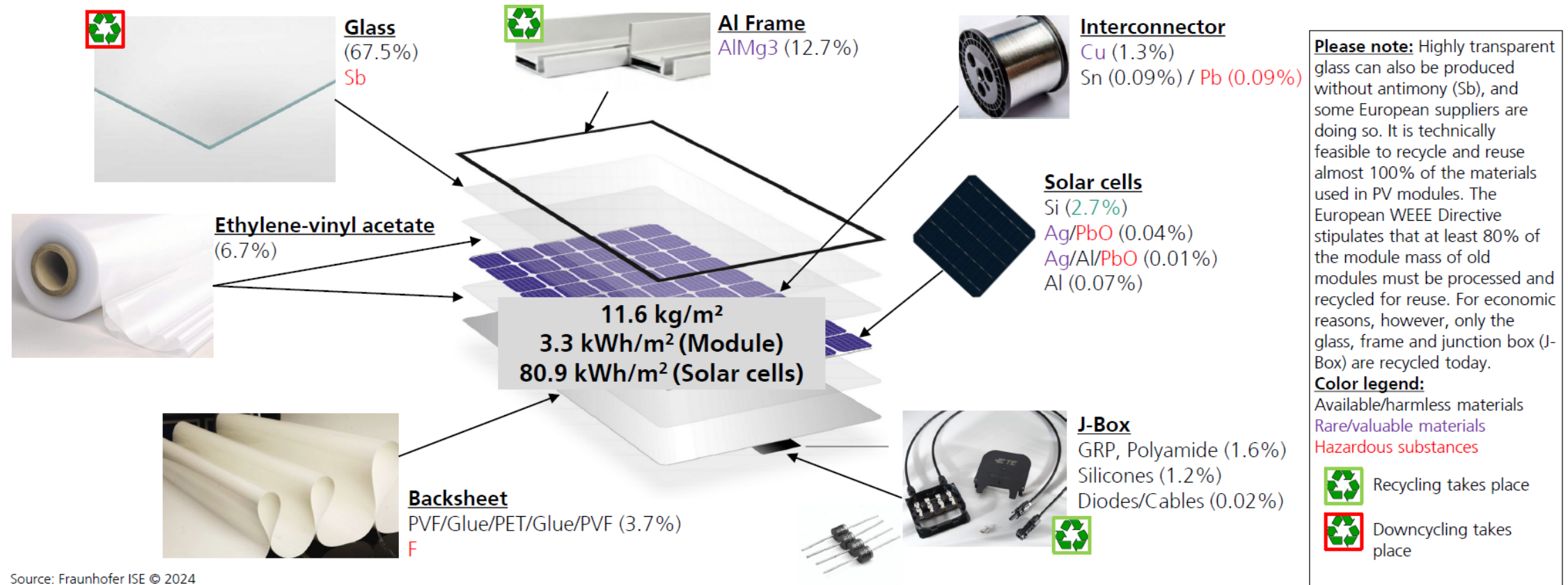


Solar Cell



PV-Module

Materials and Components



Source: Fraunhofer ISE © 2024

Quick Facts

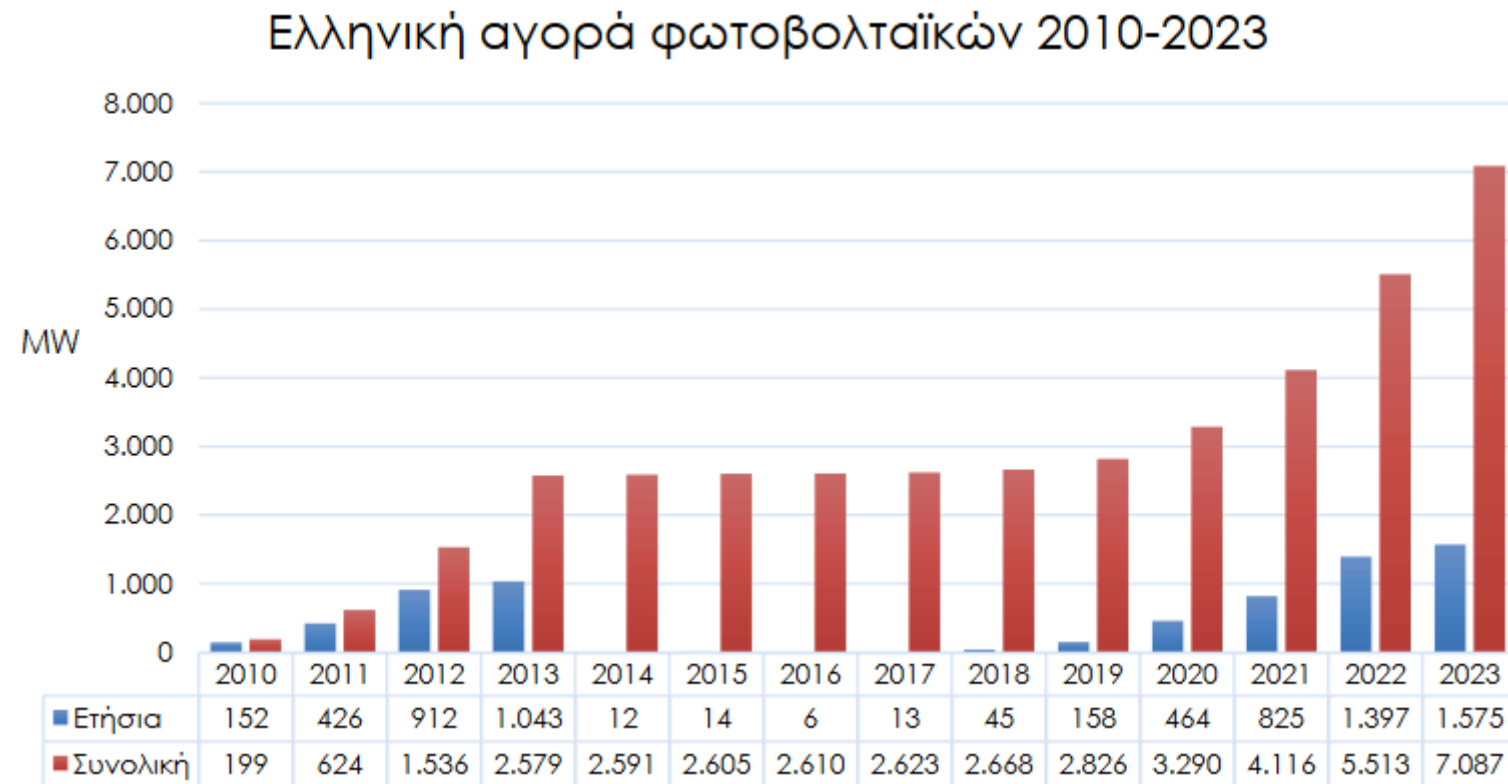
<https://www.ise.fraunhofer.de/en/publications/studies/photovoltaics-report.html>

Parameter	Value	Status	Reference	Date of data
Germany / EU27 / Worldwide				
PV installation market [GW]	7.5 / 41.4 / 240 GW 15.1 / 55.9 / 407 GW	End of 2022 End of 2023	BNA / SPE / IEA BNA / SPE / IEA	03/2023; 01/2023; 04/2023 06/2024; 12/2023; 04/2024
Cumulative installation [GW]	67.6 / 207 / 1,185 GW 82.7 / 263 / 1,581 GW	End of 2022 End of 2023	ISE / SPE / IEA ISE / SPE / IEA	03/2023; 12/2023; 04/2023 06/2024; 12/2023; 04/2024
PV power generation [TWh]	54.3 _{net} / 209.1 _{gross} / 1,321.9 _{gross} 53.9 _{net} / 246.8 _{gross} / 1,641.6 _{gross}	2022 2023	ISE / EI / EI ISE / EI / EI	06/2024; 06/2024; 06/2024 06/2024; 06/2024; 06/2024
PV electricity share	11.0% _{net} / 7.4% _{gross} / 4.5% _{gross} 12.5% _{net} / 9.0% _{gross} / 5.5% _{gross}	2022 2023	ISE / EI / EI ISE / EI / EI	06/2024; 06/2024; 06/2024 06/2024; 06/2024; 06/2024
Worldwide				
c-Si share of production	97%	2023	ITRPV	04/2024
Record solar cell efficiency: III-V MJ (conc.)/mono-Si/CIGS/multi-Si/CdTe	47.6 / 27.3 / 23.4 / 24.4 / 21.0%	06/2024	Green et al.	06/2024
Germany				
Price PV rooftop system (3 to 10 kWp)	1,450 to 2,000 €/kWp	2023	BSW	11/2023
LCOE PV power plant	3.1 to 5.7 ct€/ kWh	2021	ISE	
Lowest/Latest PV-Tender Price (average, volume-weighted value)	4.33/5.17 ct€/ kWh	02/2018; 12/2023	BNA	12/2023

public

Εγκατεστημένη Ισχύς Διασυνδεδεμένων ΦΒ Συστημάτων

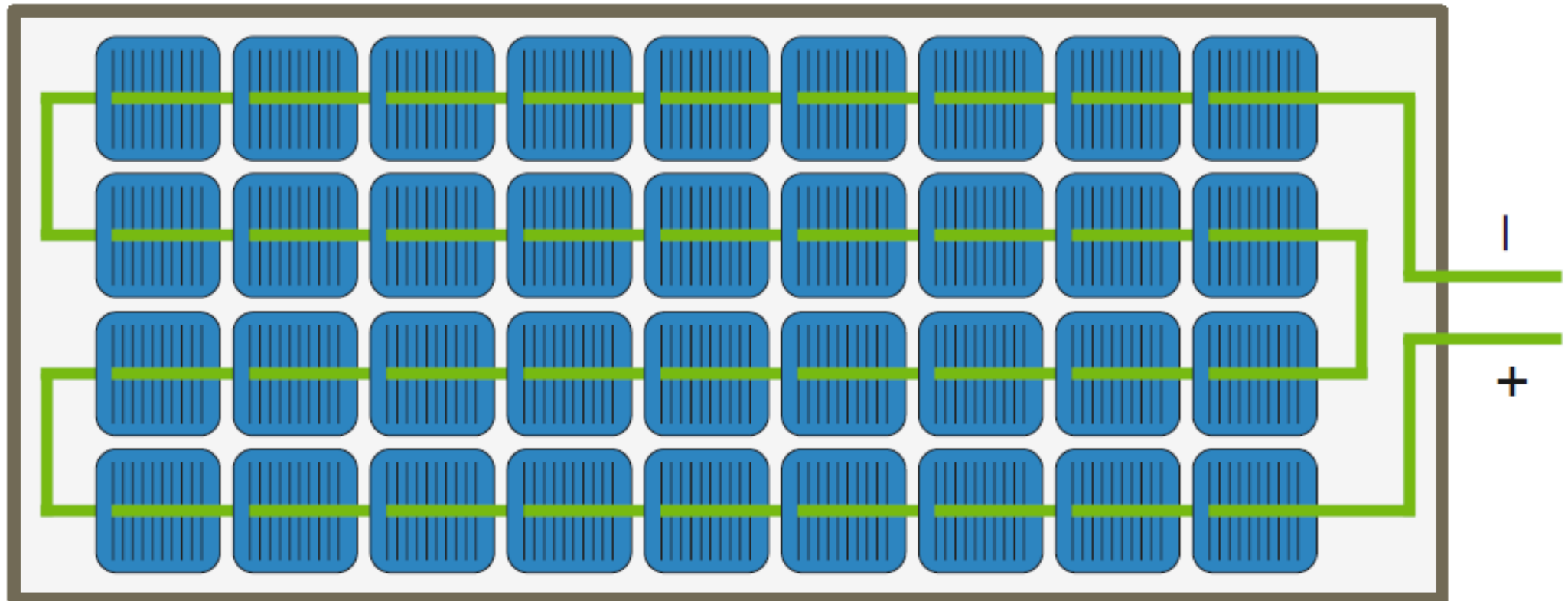
<https://helapco.gr/statistika-agoras/>



PV Module ή ΦΒ Στοιχείο (ή πανέλο / πλαίσιο / μονάδα)

$$V_{OCcell} = 0.6 \text{ V}$$
$$I_{SCcell} = 5 \text{ A}$$

$$V_{OCmodule} = 21.6 \text{ V}$$
$$I_{SCmodule} = 5 \text{ A}$$

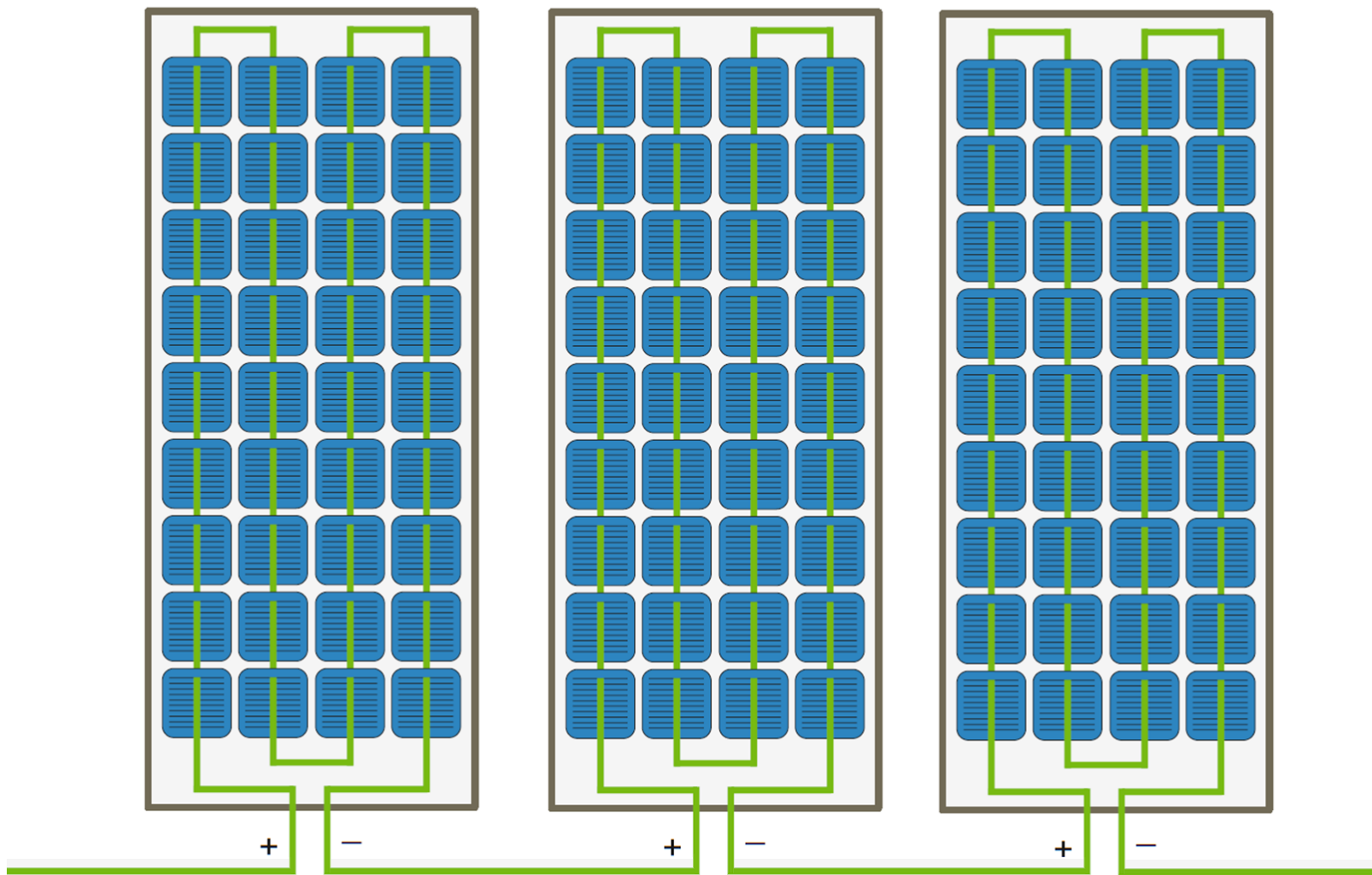


PV String - ΦΒ Στοιχειοσειρά

$$V_{OCcell} = 0.6 \text{ V}$$
$$I_{SCcell} = 5 \text{ A}$$

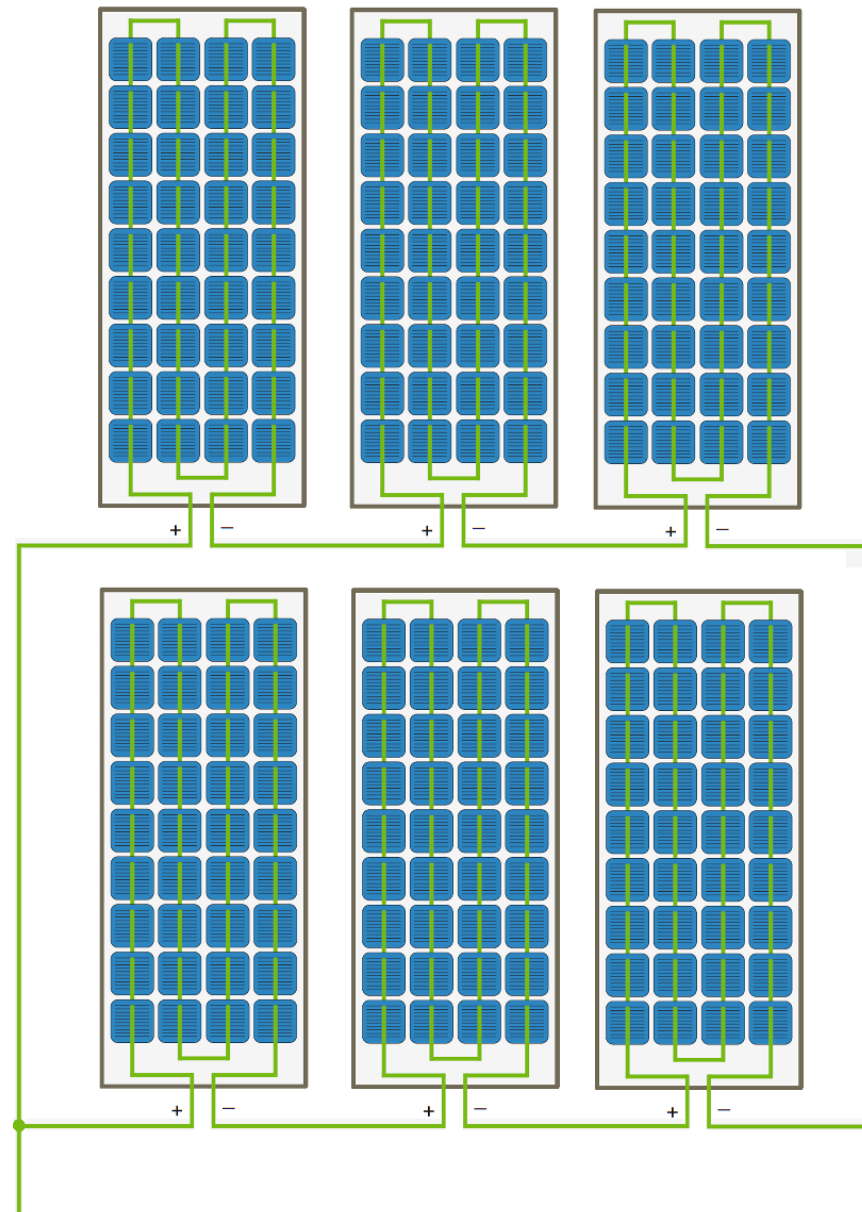
$$V_{OCmodule} = 21.6 \text{ V}$$
$$I_{SCmodule} = 5 \text{ A}$$

$$V_{OCstring} = 64.8 \text{ V}$$
$$I_{SCstring} = 5 \text{ A}$$



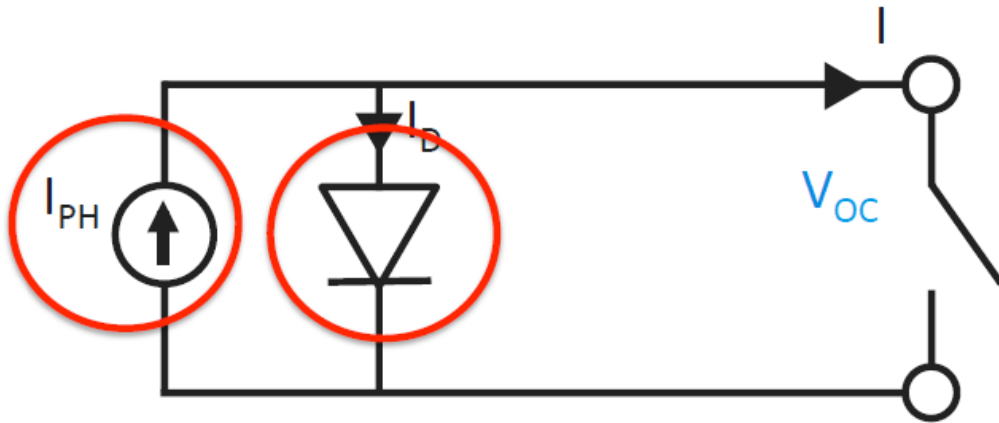
PV Array - ΦΒ Συστοιχία

$V_{OCcell} = 0.6 \text{ V}$ $V_{OCmodule} = 21.6 \text{ V}$ $V_{OCstring} = 64.8 \text{ V}$ $V_{OCarray} = 64.8 \text{ V}$
 $I_{SCcell} = 5 \text{ A}$ $I_{SCmodule} = 5 \text{ A}$ $I_{SCstring} = 5 \text{ A}$ $I_{SCarray} = 10 \text{ A}$

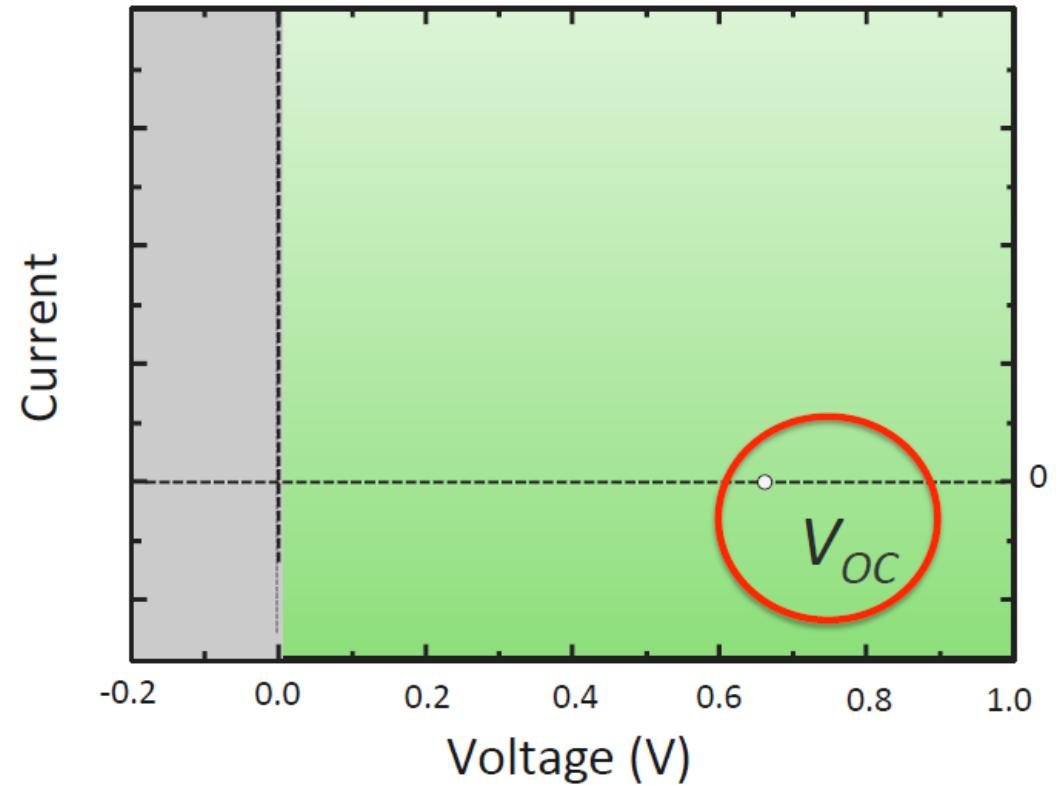


Φωτόρευμα, Δίοδος, Τάση Ανοιχτού Κυκλώματος

Open circuit voltage V_{oc}

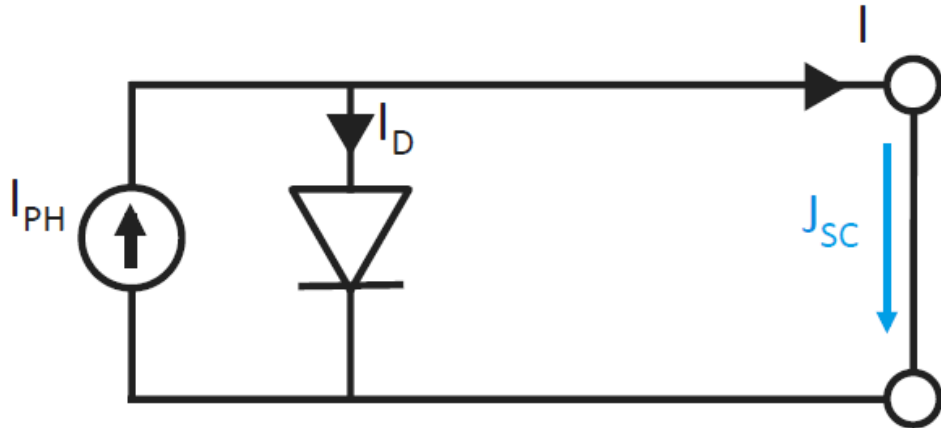


Basic IV-Curve

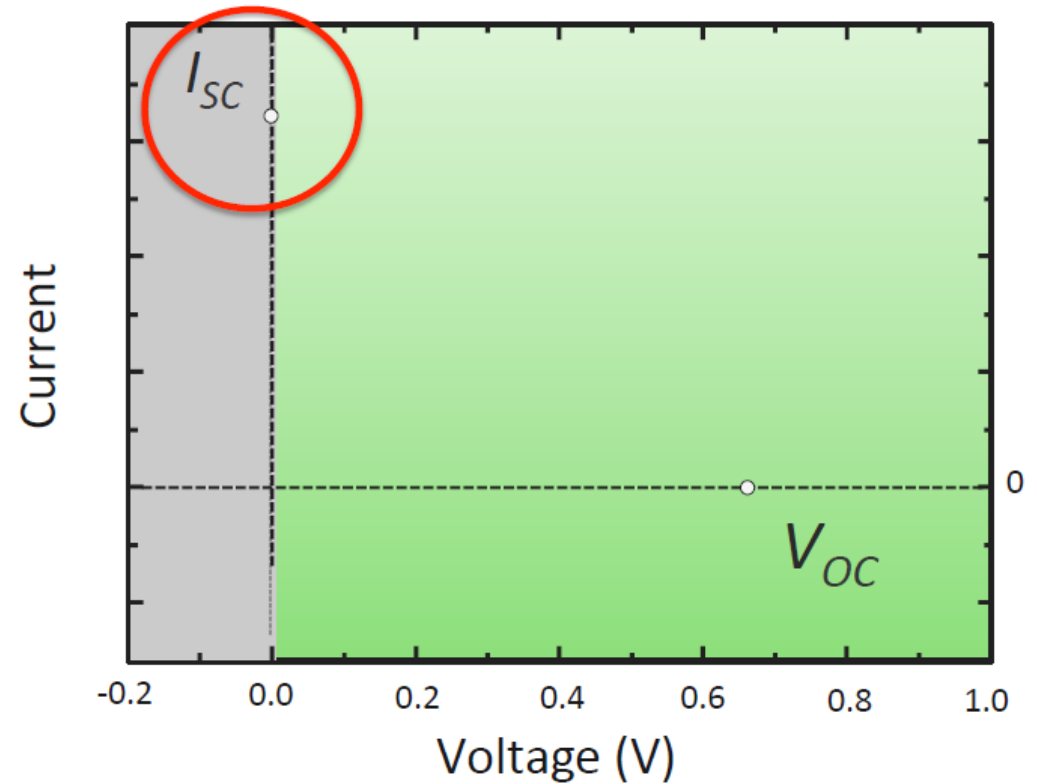


Ρεύμα Βραχυκύκλωσης

Short circuit current J_{sc}

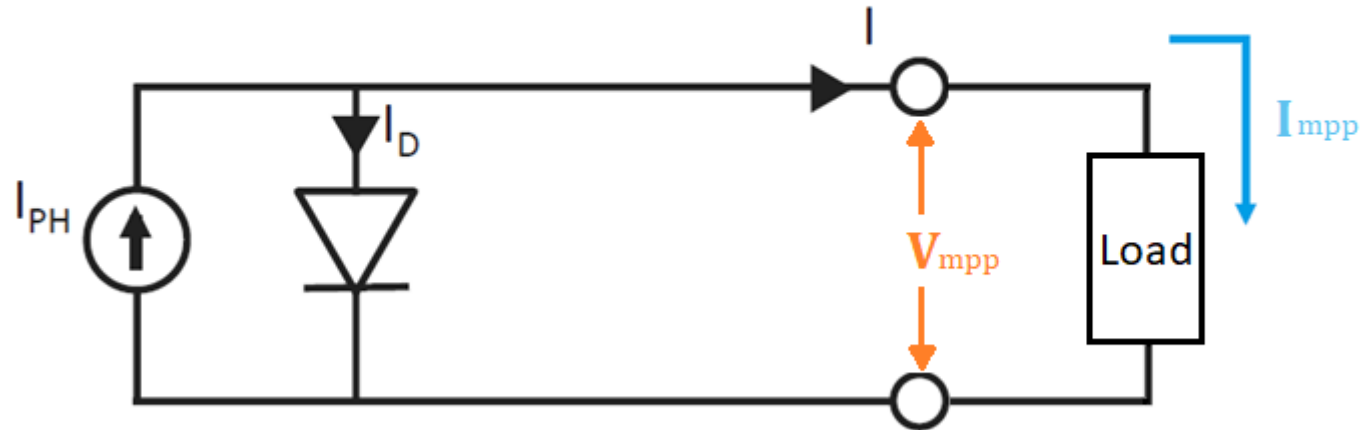


Basic IV-Curve



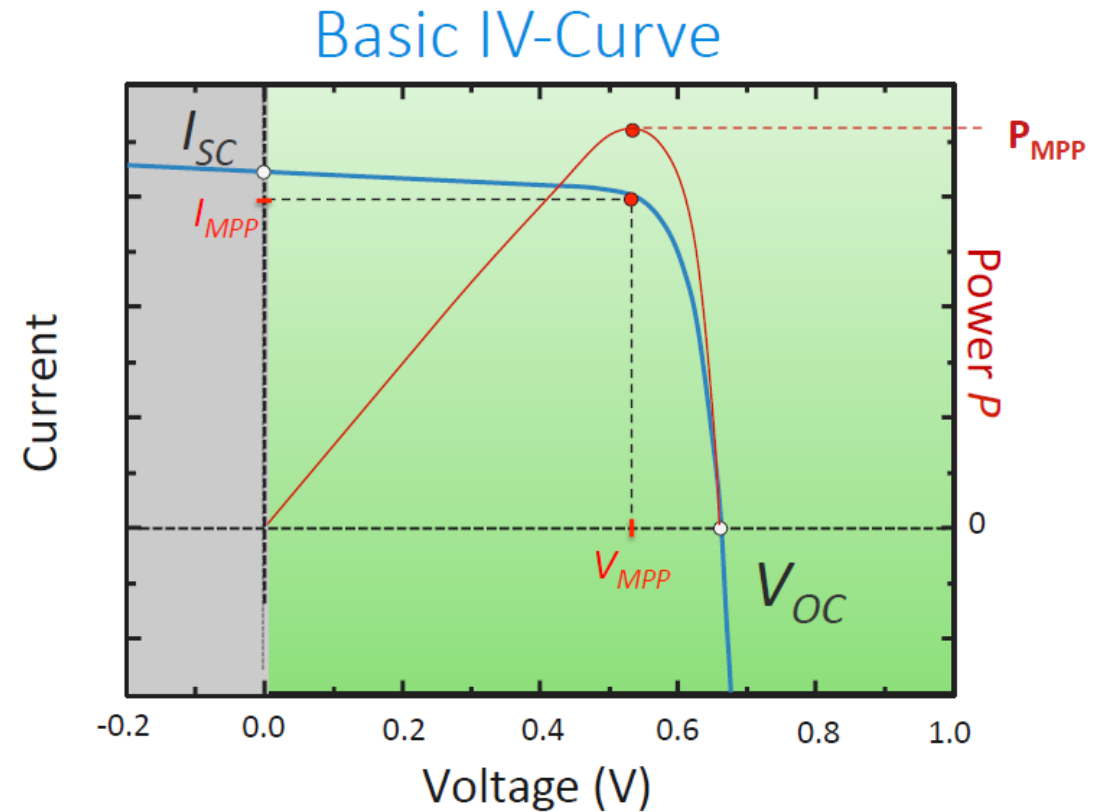
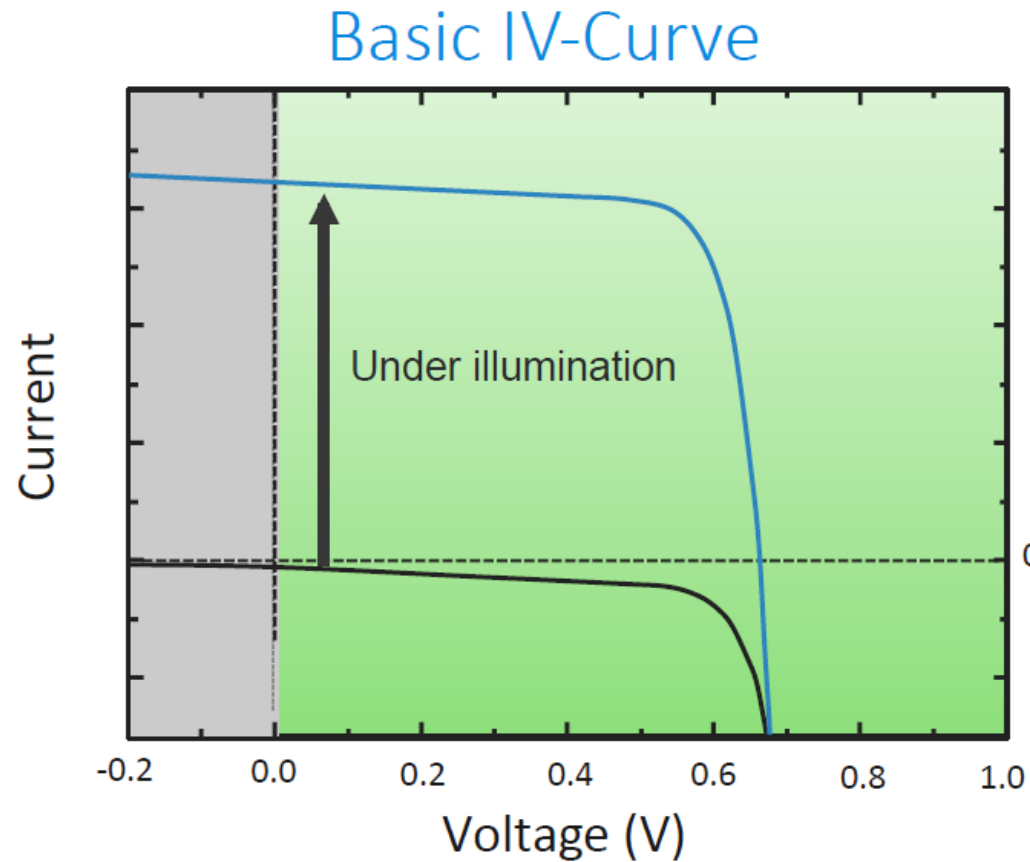
Τάση και Ένταση μεγίστου σημείου ισχύος υπό φορτίο

Maximum Power Point



Βασική καμπύλη Έντασης- Τάσης

Καμπύλη Ισχύος $P = V * I$



Μπορεί μια ΦΒ μονάδα να τροφοδοτήσει ένα φορτίο από μόνη της; (χωρίς ηλεκτρονικά ισχύος)

Η απάντηση είναι γενικά όχι.

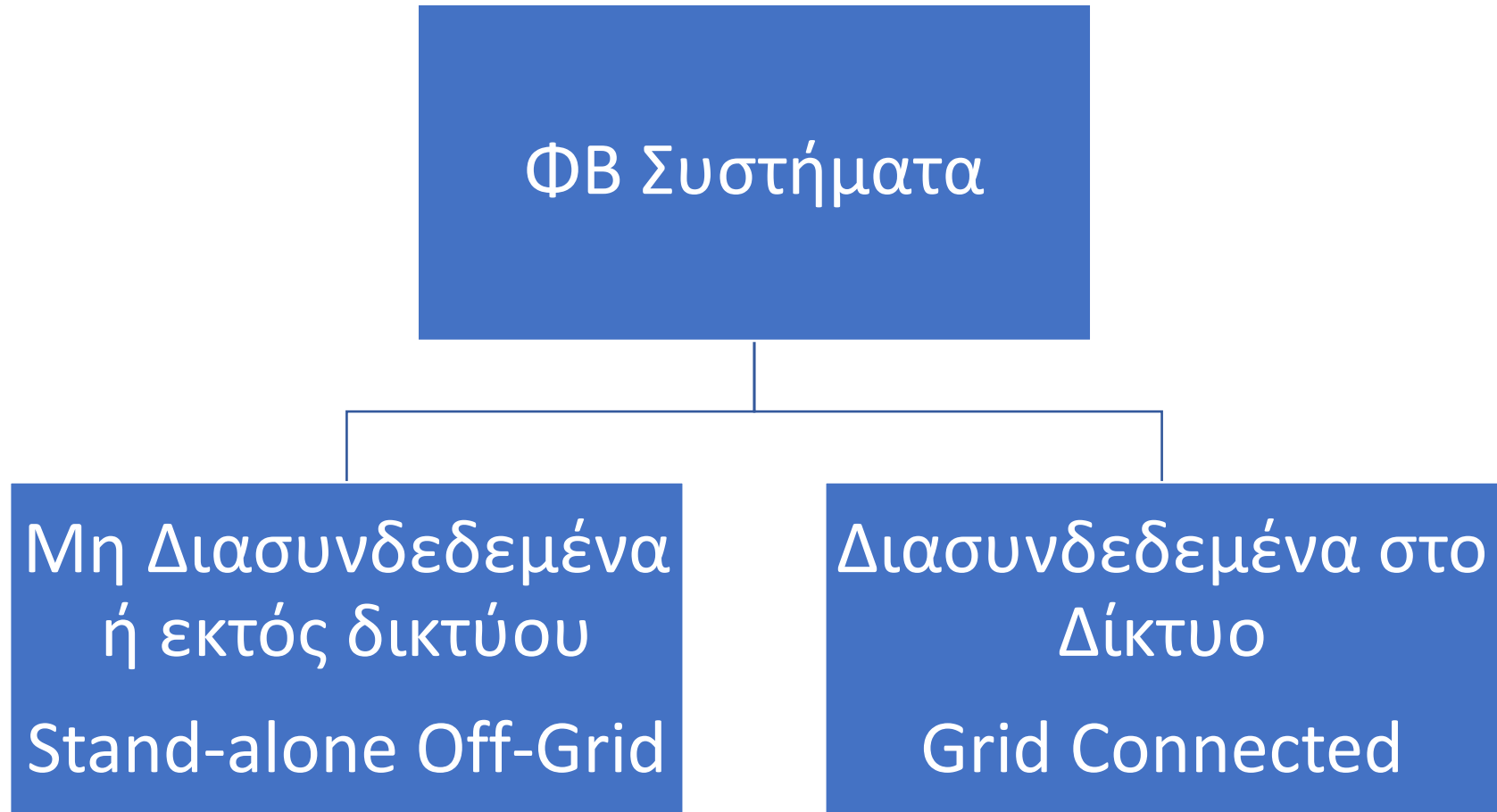
- Τα **Φωτοβολταϊκά πάνελ (ΦΒ)** μετατρέπουν το ηλιακό φως σε συνεχές ρεύμα (DC). Η τάση και το ρεύμα που παράγουν είναι μεταβλητά και εξαρτώνται από την ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας.
- Οι περισσότερες ηλεκτρικές καταναλώσεις (**Φορτία**) που χρησιμοποιούμε στην καθημερινή ζωή (π.χ. λαμπτήρες, ηλεκτρικές συσκευές) λειτουργούν με εναλλασσόμενο ρεύμα (AC) και απαιτούν συγκεκριμένη τάση και συχνότητα.

Υπάρχουν εξαιρέσεις;

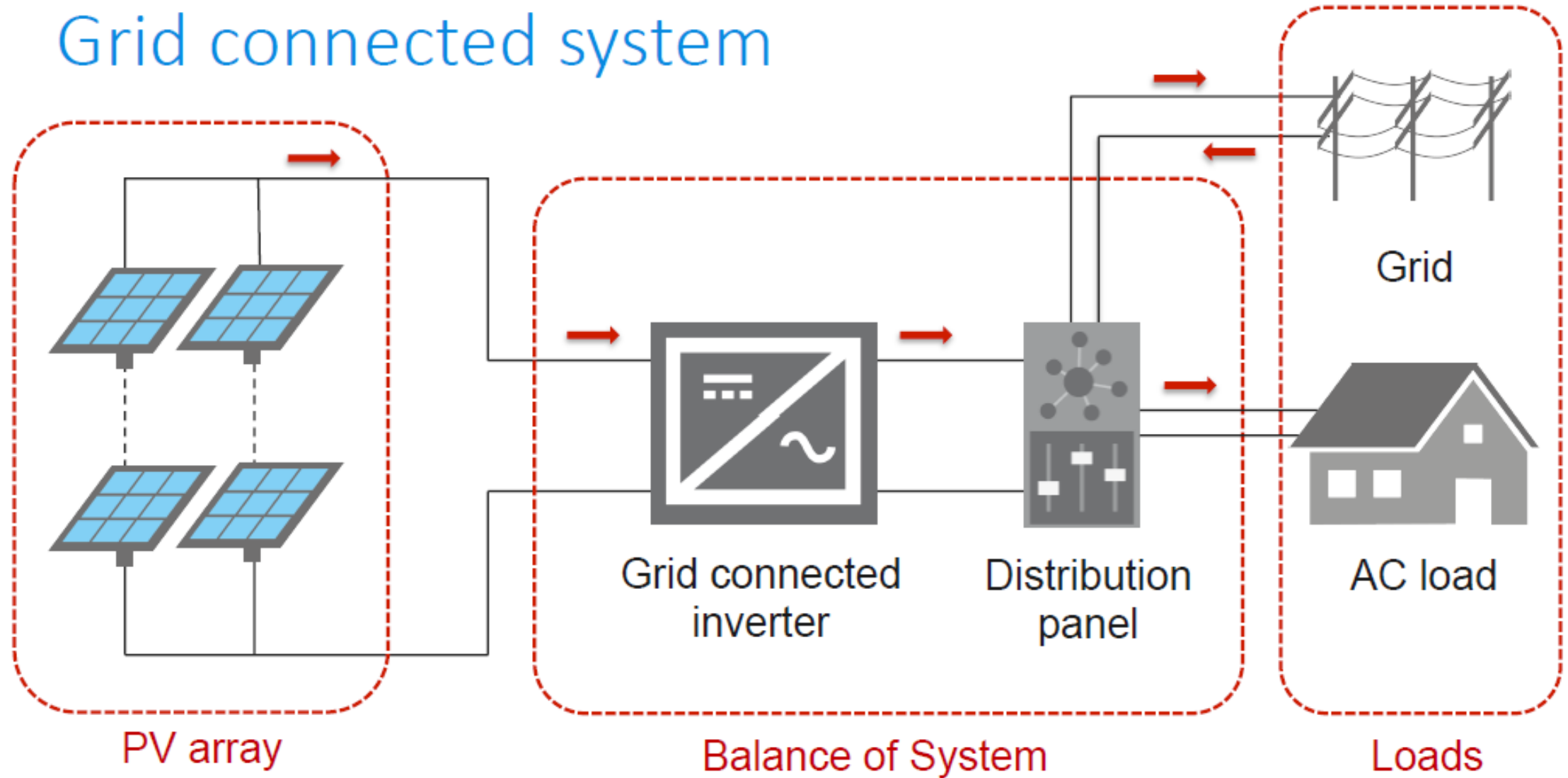
- **Μικρά φορτία DC:** Υπάρχουν ορισμένα πολύ απλά φορτία που λειτουργούν απευθείας με συνεχές ρεύμα, όπως οι μικρές λυχνίες LED. Σε αυτές τις περιπτώσεις, μπορεί να μην χρειαστεί μετατροπέας, αλλά η τάση πρέπει να ρυθμιστεί ώστε να ταιριάζει με τις απαιτήσεις του φορτίου.
- **Φορτιστές μπαταριών:** Οι φορτιστές μπαταριών μπορούν να λειτουργήσουν απευθείας με το συνεχές ρεύμα των ΦΒ πάνελ, αλλά και πάλι χρειάζονται ηλεκτρονικά κυκλώματα για να ρυθμίσουν την τάση και το ρεύμα φόρτισης.

Ενώ σε ορισμένες απλές εφαρμογές μπορεί να είναι δυνατό να τροφοδοτήσουμε ένα φορτίο απευθείας από μια ΦΒ μονάδα χωρίς μετατροπέα, στις περισσότερες περιπτώσεις τα ηλεκτρονικά ισχύος είναι απαραίτητα για τη σωστή λειτουργία και προστασία του συστήματος.

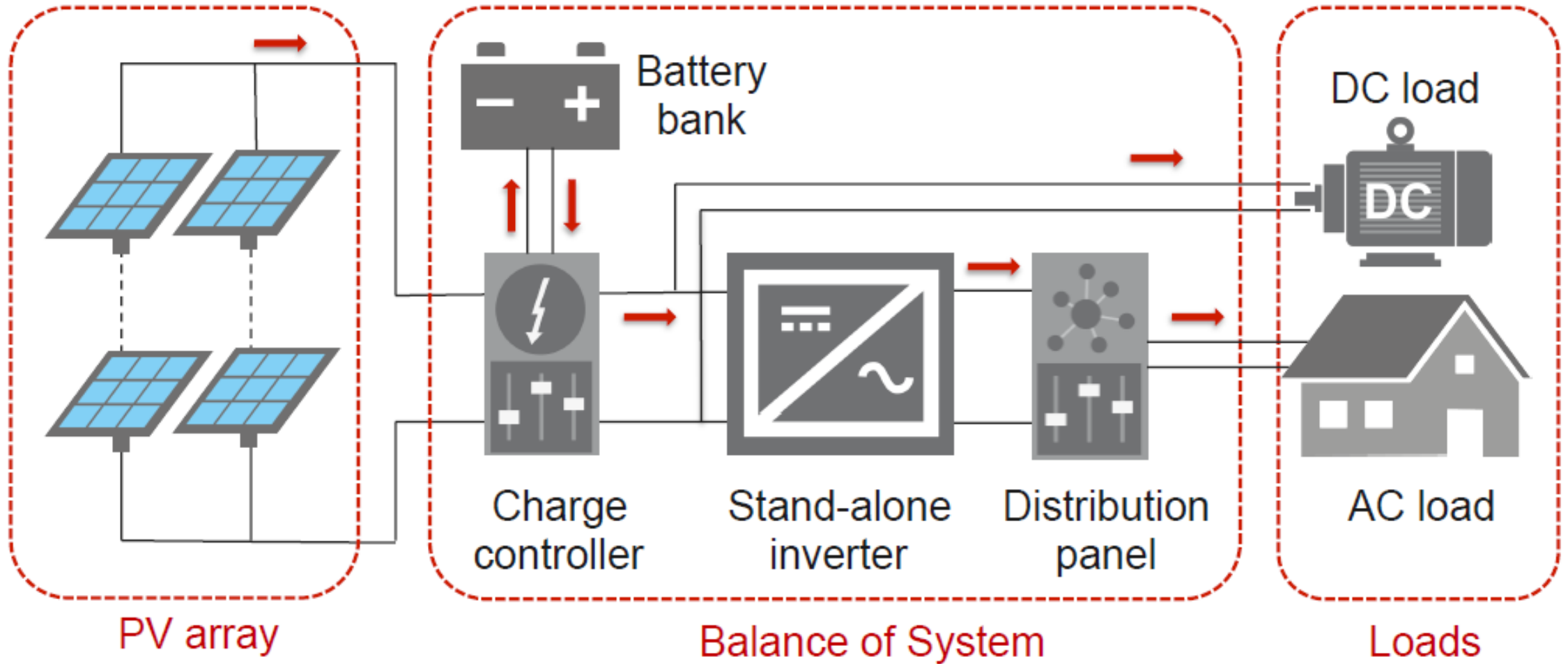
Διαχωρισμός ΦΒ συστημάτων



Grid connected system



Off-grid system



Εμπορικά πακέτα λογισμικού για την προσομοίωση ΦΒ Συστημάτων

aurora



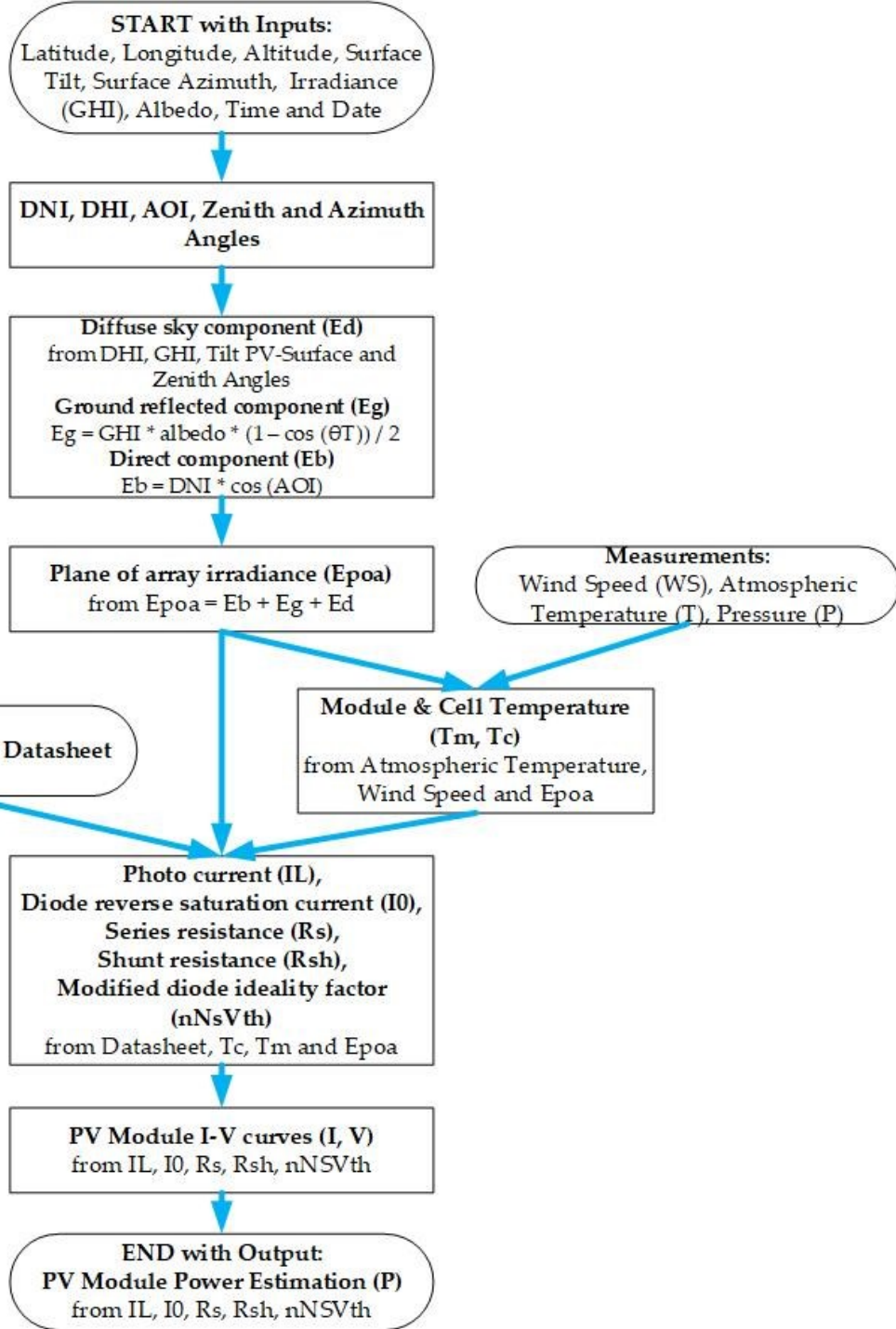
Ελεύθερα πακέτα λογισμικού για την προσομοίωση ΦΒ Συστημάτων

 **NREL** System Advisor Model (SAM)
NATIONAL RENEWABLE ENERGY LABORATORY

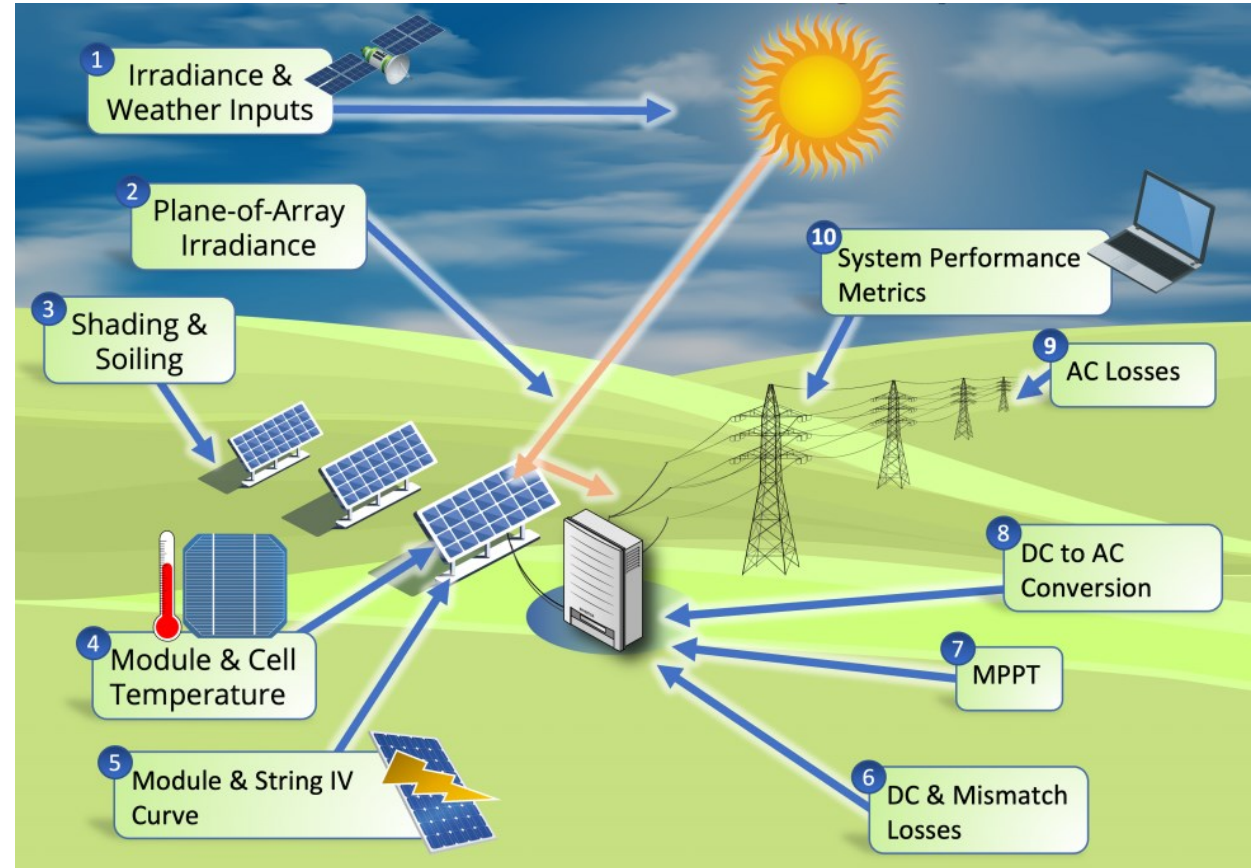


pvlib python



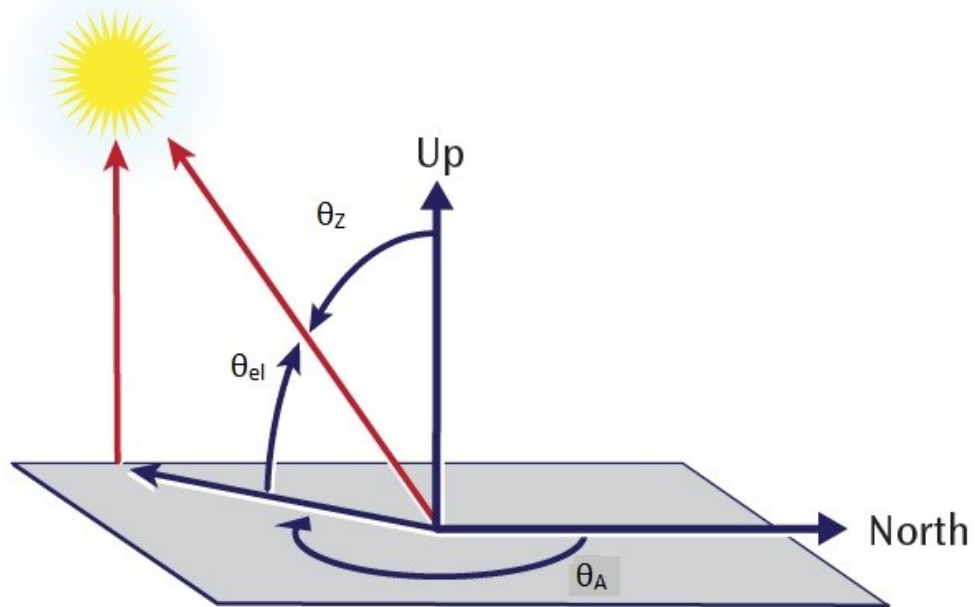


Βήματα για τον υπολογισμό της ΦΒ παραγωγής



* Πηγή Εικόνας <https://pvpmc.sandia.gov/>

Θέση του Ήλιου



θ_{el} = elevation angle,
measured up from
horizon

θ_z = zenith angle,
measured from
vertical

θ_A = azimuth angle,
measured from
North

Για να προσδιορίσουμε τη απόδοση ΦΒ συστημάτων είναι απαραίτητο να γνωρίζουμε την τρέχουσα θέση του ήλιου σε σχέση με έναν παρατηρητή στην επιφάνεια της Γης. Για την περιγραφή της ηλιακής θέσης χρησιμοποιούμε τις ακόλουθες γωνίες:

Ζενιθιακή Γωνία (θ_z)

Αζιμουθιακή Γωνία(θ_A)

Γωνία Ηλιακού Ύψους ($\theta_{el} = 90 - \theta_z$)

Αλγόριθμος SPA (Solar Position Algorithm)

- Οι Reda και Andreas, από το Εθνικό Εργαστήριο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας των ΗΠΑ, δημοσίευσαν το 2008 έναν αλγόριθμο θέσης ήλιου με αναφερόμενη αβεβαιότητα +/- 0,0003 μοίρες.
- Για τον προσδιορισμό της ηλιακής θέσης, δηλαδή των γωνιών θ_z και θ_A , ο αλγόριθμος χρησιμοποιεί τις **γεωγραφικές συντεταγμένες** της υπόψη τοποθεσίας, το **υψόμετρο**, την **ατμοσφαιρική πίεση**, την **θερμοκρασία** και την **ημερομηνία** και **ώρα**.
- [1] I. Reda, A. Andreas, and A. A. Nrel, "Solar Position Algorithm for Solar Radiation Applications (Revised)," 2008. <https://rredc.nrel.gov/solar/codesandalgorithms/spa/>
- Στο διαδίκτυο υπάρχουν δημοσιευμένες, έτοιμες προς χρήση, συναρτήσεις λογισμικού σε Python και Matlab. <https://pvlib-python.readthedocs.io/en/latest/>
- Επίσης, για τον προσδιορισμό ηλιακής θέσης χρησιμοποιούνται οι αλγόριθμοι "Basic Solar Position Model" και "Sandia's Ephemeris Model"

Ένταση Ηλιακής Ακτινοβολίας (Irradiance)

- Τα μαθηματικά μοντέλα που περιγράφουν την απόδοση ΦΒ συστημάτων βασίζονται και χρησιμοποιούν **δεδομένα καιρού και ηλιακής ακτινοβολίας** στην είσοδό τους.
- Αυτά τα δεδομένα μπορεί να είναι **πειραματικές μετρήσεις** ή δεδομένα τα οποία εξήχθησαν από πειραματικές μετρήσεις **ή** και **δεδομένα** που προήλθαν από προσομοιώσεις άλλων **μοντέλων**.
- Η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας (Irradiance) είναι μια στιγμιαία τιμή της ηλιακής ισχύος που δέχεται κάποια περιοχή. Μονάδα μέτρησης είναι το Watt/m^2 οριζόντιας επιφάνειας και διαχωρίζεται χονδρικά στις εξής συνιστώσες:
 - **Άμεση κανονική ακτινοβολία.**
 - **Διάχυτη ακτινοβολία**
 - **Ανακλώμενη ακτινοβολία**

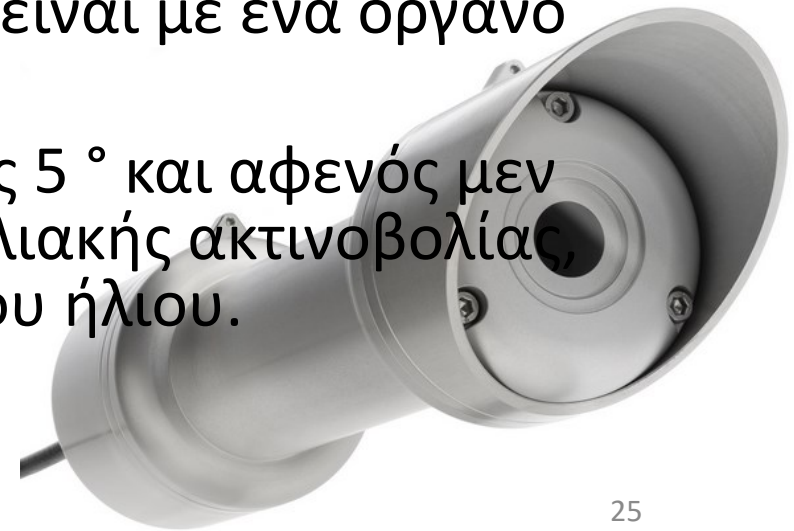
Ένταση Ηλιακής Ακτινοβολίας (Irradiance)

- Αντίστοιχα ταξινομούνται και **οι μετρήσεις ηλιακής ακτινοβολίας**, ήτοι
 - **Direct Normal Irradiance (DNI)**
 - **Diffuse Horizontal Irradiance (DHI)**
 - **Global Horizontal Irradiance (GHI)**
- Για κάθε μέτρηση της ηλιακής ακτινοβολίας, καθορίζεται μια επίπεδη επιφάνεια συλλογής της ηλιακής ακτινοβολίας. Η επιφάνεια συλλογής μπορεί να είναι σταθερή π.χ. οριζόντια στην επιφάνεια της Γης ή να αλλάζει τη θέση της.
- Οι μετρήσεις έντασης ηλιακής ακτινοβολίας υποδεικνύουν το οπτικό πεδίο του εκάστοτε αισθητήρα (οργάνου) ηλιακής ακτινοβολίας που πρέπει να χρησιμοποιηθεί. Γενικά, οι μετρήσεις της DNI απαιτούν αισθητήρα με πεδίο οπτικής $\leq 5^\circ$. Μετρήσεις άμεσης και διάχυτης ακτινοβολίας μπορούν να ληφθούν με όργανα που χρησιμοποιούν οπτικό πεδίο 180° .

Μέτρηση

Άμεσης Κανονικής Ηλιακής Ακτινοβολίας (DNI)

- Η άμεση κανονική ακτινοβολία (DNI) μπορεί να μετρηθεί απευθείας μέσω ραδιομέτρου απόλυτης κοιλότητας (Absolut Cavity Radiometer).
- Θεωρείται η πιο ακριβής μέθοδος μέτρησης της ηλιακής ακτινοβολίας βάση της Παγκόσμιας Ραδιομετρικής Αναφοράς (WRR). Αυτά τα όργανα ωστόσο δεν είναι σχεδιασμένα για συνεχή, μη επιτηρούμενη, χρήση σε εξωτερικούς χώρους.
- Οπότε, η επικρατέστερη μέθοδος μέτρησης της DNI είναι με ένα όργανο που ονομάζεται **Πυρηλιόμετρο (Pyrheliometer)**.
- Ο οπτικό πεδίο αυτού του οργάνου περιορίζεται στις 5° και αφενός μεν επιτρέπει τη μέτρηση της άμεσης συνιστώσας της ηλιακής ακτινοβολίας, αφετέρου δε παρακολουθεί την ημερήσια πορεία του ήλιου.



Υπολογισμός

Άμεσης Κανονικής Ηλιακής Ακτινοβολίας (DNI)

- **Όταν δεν υπάρχουν μετρήσεις DNI**, χρησιμοποιούμε μαθηματικά μοντέλα για την εκτίμηση DNI μέσω της ολικής οριζόντιας ακτινοβολίας (GHI) και κάποιους άλλους περιβαλλοντικούς παράγοντες.
- Δύο δημοφιλή μοντέλα που αναπτύχθηκαν είναι τα DISC και DIRINT
- [2] R. Perez, “Article Dynamic global-to-direct irradiance conversion models,” *Ashrae*, vol. 98, no. 1, pp. 354–369, 2015.
- [3] E. L. Maxwell, “A quasi-physical model for converting hourly global to direct normal insolation,” no. SERI/TR-215-3087. pp. 35–46, 1987.

Μέτρηση Ολικής Οριζόντιας Ηλιακής Ακτινοβολίας (GHI)



- Η ολική οριζόντια ηλιακή ακτινοβολία (**GHI**) είναι η ποσότητα της ηλιακής ακτινοβολίας που προσπίπτει σε μια οριζόντια επιφάνεια της γης.
- Το πιο συνηθισμένο όργανο που χρησιμοποιείται για τη μέτρηση της GHI είναι το **πυρανόμετρο** και έχει ημισφαιρική γωνία θέασης δηλαδή οπτικό πεδίο 180 °.

Υπολογισμός Ολικής Οριζόντιας Ηλιακής Ακτινοβολίας (GHI)

- Εάν η GHI δεν μπορεί να μετρηθεί άμεσα, τότε μπορεί να υπολογιστεί από την άμεση κανονική ακτινοβολία (DNI) και τη διάχυτη οριζόντια ακτινοβολία (DHI) χρησιμοποιώντας την ακόλουθη εξίσωση:
- **$GHI = DHI + DNI * \cos(\theta_z)$**
- Συνήθως, μετριέται η GHI και χρησιμοποιείται ένα από τα μοντέλα DISC ή DIRINT, για την εκτίμηση της DNI ή DHI

Διάχυτη Οριζόντια Ηλιακή Ακτινοβολία (DHI)

- Η διάχυτη οριζόντια ακτινοβολία (**DHI**) είναι η ακτινοβολία που έχει διασκορπιστεί από την ατμόσφαιρα και που λαμβάνεται σε οριζόντια επιφάνεια στην γη.
- Είναι το μέρος της ολικής οριζόντιας ακτινοβολίας που δεν προέρχεται από την ακτίνα του ηλίου.
- Η DHI συνήθως μετριέται με ένα ειδικό πυρανόμετρο.
- Εάν η διάχυτη οριζόντια ακτινοβολία δεν μετρηθεί άμεσα, μπορεί να υπολογιστεί με τρόπο παρόμοιο με την ολική οριζόντια ακτινοβολία.

Σχετική Μάζα Αέρα (AM)

- Η μάζα αέρα, είναι ένα μέτρο του οπτικού μήκους της ατμόσφαιρας. Στη επίπεδο της θάλασσας, όταν ο ήλιος βρίσκεται κάθετα στο επίπεδο της γης (ζενίθ γωνία = 0), η μάζα αέρα είναι ίση με $AM = 1$.
- Καθώς αυξάνεται η ζενιθιακή γωνία, η διαδρομή του φωτός μέσα στην ατμόσφαιρα γίνεται μεγαλύτερη όποτε αυξάνεται και η μάζα αέρα.
- Ο υπολογισμός του AM μπορεί να αναχθεί σε μια τριγωνομετρική συνάρτηση της ζενιθιακής γωνίας εφόσον θεωρήσουμε πως η γη και η ατμόσφαιρα είναι απολύτως σφαιρικές.
- Για $\theta_z < 80^\circ$ ισχύει $AM = 1 / \cos(\theta_z)$

Μετρήσεις στην ατμόσφαιρα

- Γενικά, οι μετρήσεις στην ατμόσφαιρα βελτιώνουν την απόδοση των μαθηματικών μοντέλων εκτίμησης ισχύος ΦΒ.
- Ωστόσο υπάρχουν και φυσικά μεγέθη όπως η **ατμοσφαιρική πίεση** που μπορεί απλά να εκτιμηθεί με βάση την τοποθεσία και το υψόμετρο, καθώς η διακυμάνσεις της πίεσης είναι σχετικά μικρές.
- Αντίθετα, οι μετρήσεις **θερμοκρασίας** και **ταχύτητας του αέρα**, οι παρουσιάζουν μεγαλύτερες διακυμάνσεις και παίζουν σημαντικό ρόλο στην απόδοση των ΦΒ συστημάτων.



Barometric Pressure Sensor

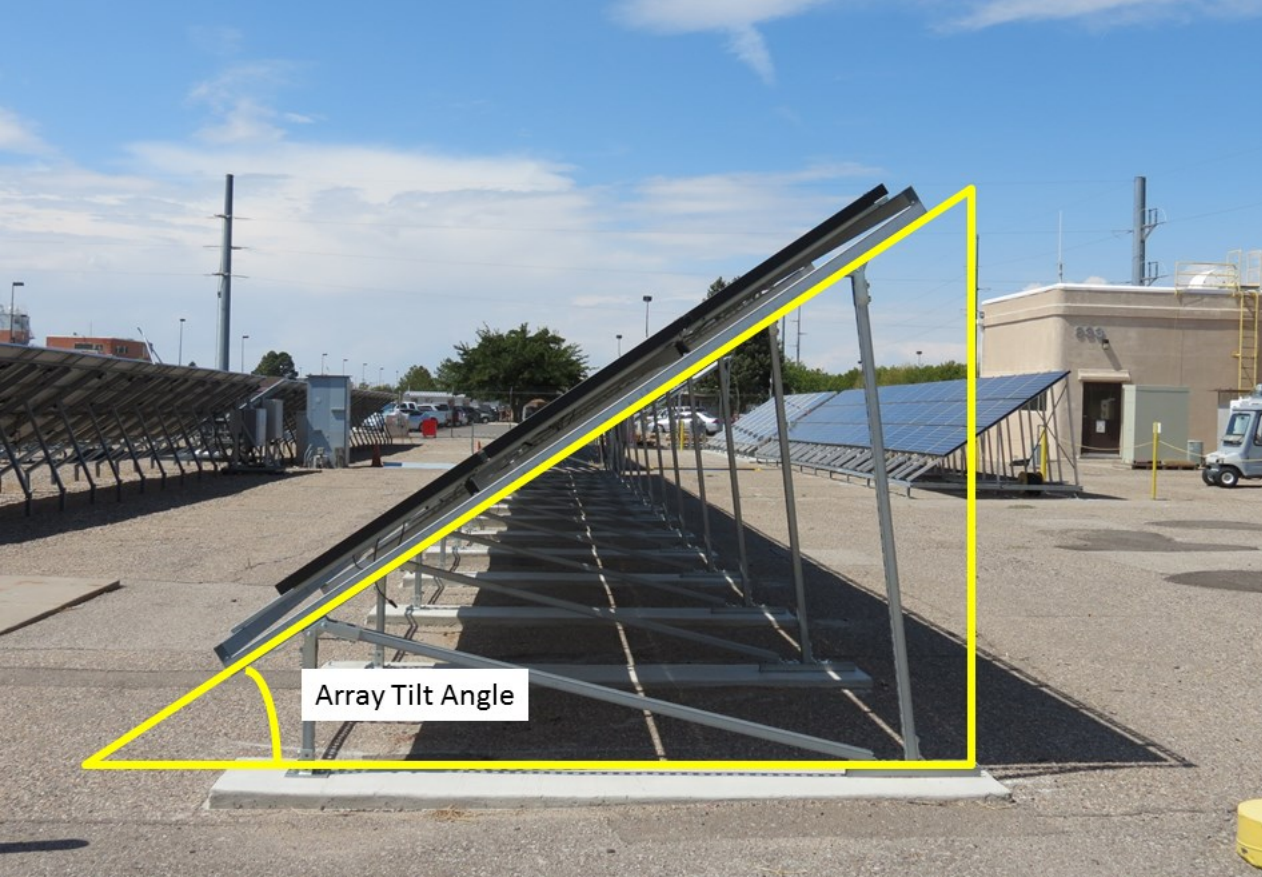
Temperature Sensor & Radiation Shield

Wind Speed & Direction Sensors

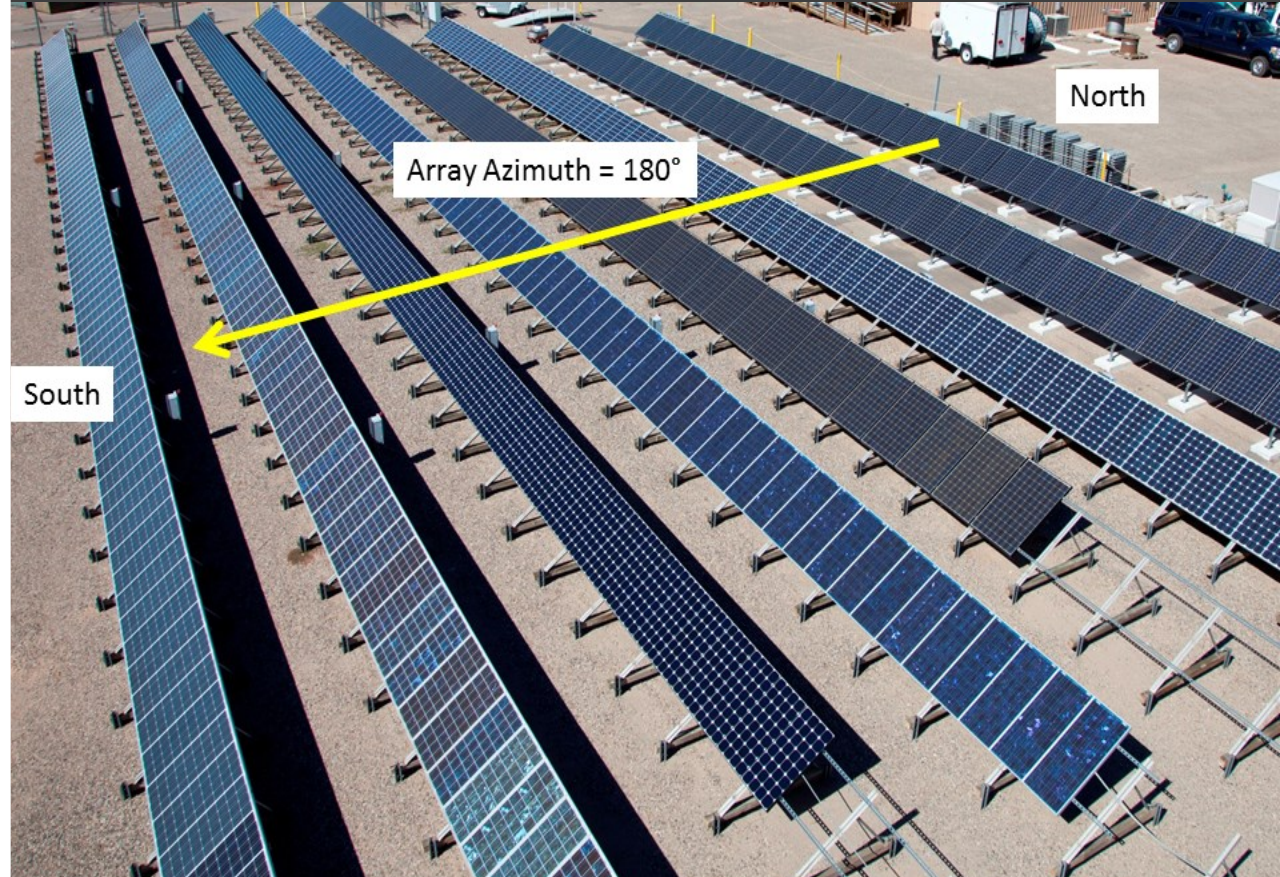
Μετρήσεις στην ατμόσφαιρα

Προσανατολισμός ΦΒ Συστοιχίας

- Ο προσανατολισμός μιας ΦΒ συστοιχίας αποτελεί σημαντική παράμετρο σε κάθε υπολογισμό απόδοσης ΦΒ συστημάτων. Υπάρχουν ΦΒ συστοιχίες με σταθερή κλίση και ΦΒ συστοιχίες με χρονικά μεταβαλλόμενη κλίση (Fixed Tilt or Tracked).
- Οι συστοιχίες με μεταβαλλόμενη κλίση αλλάζουν προσανατολισμό με το χρόνο καθώς ένας μηχανισμός ιχνηλασίας κινεί τη συστοιχία με σκοπό να μειώσει τη γωνία πρόσπτωσης μεταξύ του ήλιου και της συστοιχίας.
- Ο προσανατολισμός μιας συστοιχίας περιγράφεται από τα διανύσματα των γωνιών της ΦΒ επιφάνειας (πλαίσιο) με το έδαφος (θ_T) και των αζιμουθιακών γωνιών της συστοιχίας (θ_A, array), για κάθε χρονικό διάστημα.



θ_T



$\theta_{A,array}$

Προσανατολισμός ΦΒ Συστοιχίας Σταθερής κλίσης (Fixed Tilt)



Προσανατολισμός ΦΒ Συστοιχίας
Single axis tracking



Προσανατολισμός ΦΒ Συστοιχίας
Two-axis tracking

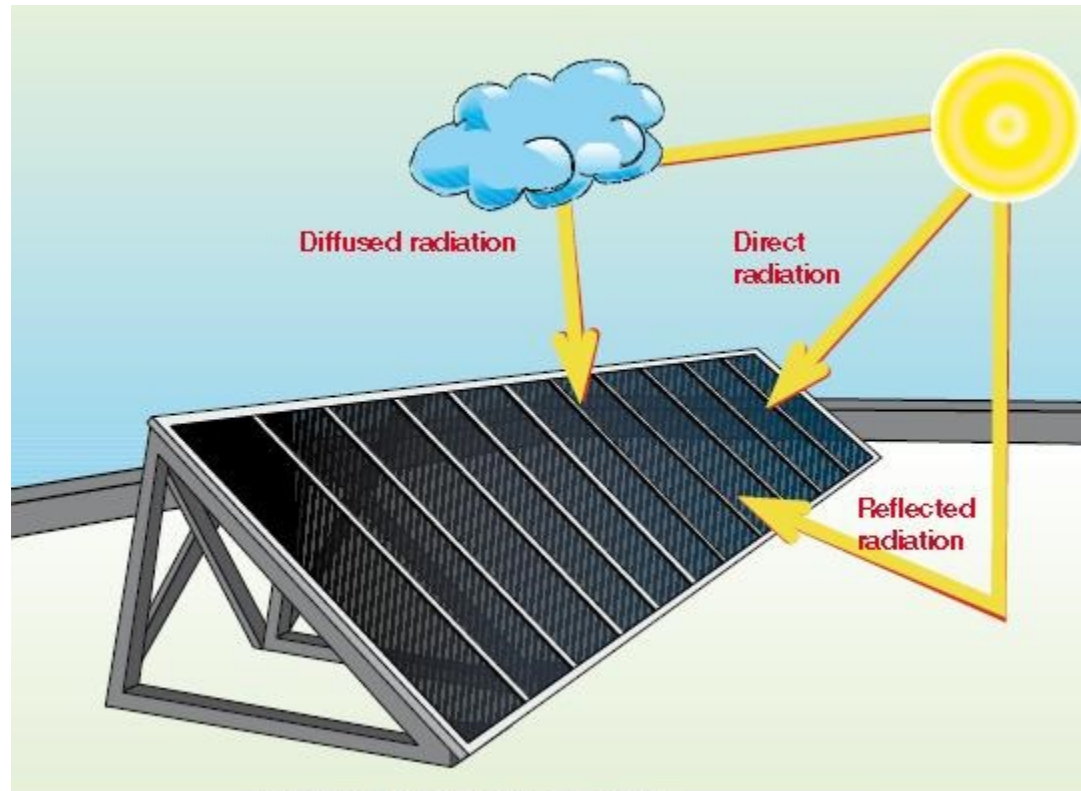


Plane of Array Irradiance, $E_{p,oa}$

- Για να εκτιμήσουμε με την χρήση μαθηματικών μοντέλων την απόδοση των ΦΒ συστημάτων πρέπει να υπολογίσουμε πρώτα την **προσπίπτουσα ακτινοβολία στο επίπεδο της συστοιχίας**. Σε αυτό το στάδιο, τα δεδομένα ακτινοβολίας μεταφέρονται στο επίπεδο της συστοιχίας.
- Δηλαδή προσδιορίζουμε τον προσανατολισμό της συστοιχίας, και υπολογίζουμε την συνεισφορά των εκάστοτε μερών της ηλιακής ακτινοβολίας, ήτοι
 - της άμεσης συνιστώσας της ηλιακής ακτινοβολίας (E_b),
 - της διάχυτης συνιστώσας της ηλιακής ακτινοβολίας (E_d),
 - Και της ανακλώμενης συνιστώσας της ηλιακής ακτινοβολίας (E_g)

Plane of Array Irradiance, $E_{p\alpha}$

- $E_{p\alpha} = E_b + E_d + E_g$



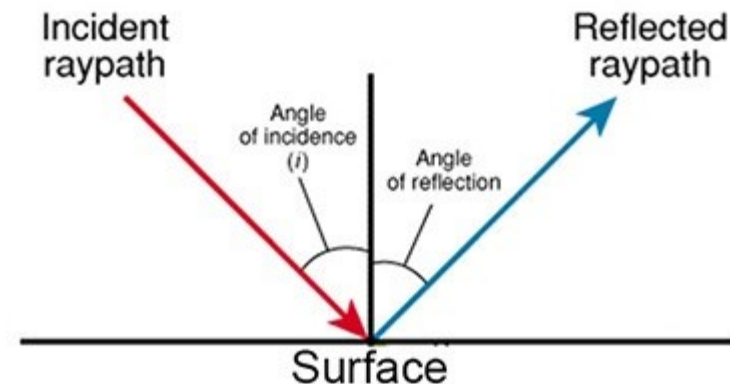
- Η συνολική ακτινοβολία ($E_{p\alpha}$) που δέχεται μια ΦΒ επιφάνεια, εξαρτάται από την **Θέση του Ήλιου**, τον **προσανατολισμό της συστοιχίας**, το **Albedo** και την **Σκίαση**.
- Υπάρχουν πολλά μοντέλα για την εκτίμηση της ακτινοβολίας $E_{p\alpha}$ από τα τυποποιημένα στοιχεία (GHI, DNI και DHI). Παρακάτω θα περιγράψουμε μερικά από τα πιο δημοφιλή.

Η συνιστώσα της άμεσης ακτινοβολίας (E_d) στο επίπεδο συστοιχίας

- Η συνιστώσα της άμεσης ακτινοβολίας (E_d) υπολογίζεται διορθώνοντας την άμεση κανονική ακτινοβολία (DNI) με το συνημίτονο της γωνίας πρόσπτωσης (AOI) όπως φαίνεται δίπλα:

$$E_b = DNI * \cos(AOI)$$

- AOI: Angle of Incidence



$$AOI = \cos^{-1} [\cos(\theta_z) * \cos(\theta_T) + \sin(\theta_z) * \sin(\theta_T) * \cos(\theta_A - \theta_{A,array})]$$

Η συνιστώσα της αντανακλώμενης ακτινοβολίας E_g στο επίπεδο συστοιχίας

- Η ανακλώμενη από το έδαφος ακτινοβολία σε κεκλιμένη επιφάνεια υπολογίζεται ως συνάρτηση της ακτινοβολίας GHI, το albedo, και της κλίσης της ΦΒ συστοιχίας (θ_T):

$$E_g = GHI * albedo * (1 - \cos(\theta_T)) / 2$$

- Όπου:
- GHI: Global horizontal irradiance, λαμβάνεται μέτρηση από πυρανόμετρο
- albedo: Μέτρο ανακλαστικότητας, ίσο με 0 όταν η επιφάνεια είναι μαύρη και ίσο με 1 όταν η επιφάνεια είναι λευκή. Συνήθως 0.33 για κεραμοσκεπή

Η συνιστώσα της διάχυτης ακτινοβολίας E_d στο επίπεδο συστοιχίας

- Το ιστροπικό μοντέλο υπολογισμού της διάχυτης συνιστώσας της ακτινοβολίας είναι το απλούστερο από τα μαθηματικά μοντέλα διάχυσης και αποτελεί την βάση για άλλα ακριβέστερα μοντέλα.
- Προϋποθέτει ότι η διάχυτη ακτινοβολία είναι ομοιόμορφα κατανεμημένη στον ουράνιο θόλο και πως υπολογίζεται ως κλάσμα της διάχυτης οριζόντιας ακτινοβολίας (DHI) ως εξής:

$$E_d = DHI * (1 + \cos(\theta_T)) / 2$$

- Μια παραλλαγή του ιστροπικού μοντέλου αποτελεί η παρακάτω εξίσωση, του D. King των Εργαστηρίων Sandia, όπου προσθέτουμε έναν διορθωτικό όρο που αφορά τις επιδράσεις του φωτός στον ορίζοντα.

$$E_d = DHI * (1 + \cos(\theta_T)) / 2 + GHI * (0.012 * \theta_z - 0.04) * (1 - \cos(\theta_T)) / 2$$

Email Address

Password

Sign In

[Create Account](#)
[Forgot Password](#)

HOME

ABOUT US

MAPS

WEB SERVICES

RADIATION

ALTITUDE

ASTRONOMY

ATMOSPHERE

METEOROLOGICAL DATA

MERRA

GFS forecasts

TYPICAL YEARS

VALIDATION

SODA PRODUCTS

RESEARCH

TRAININGS

HELP

CONTACT

GFS FORECASTS

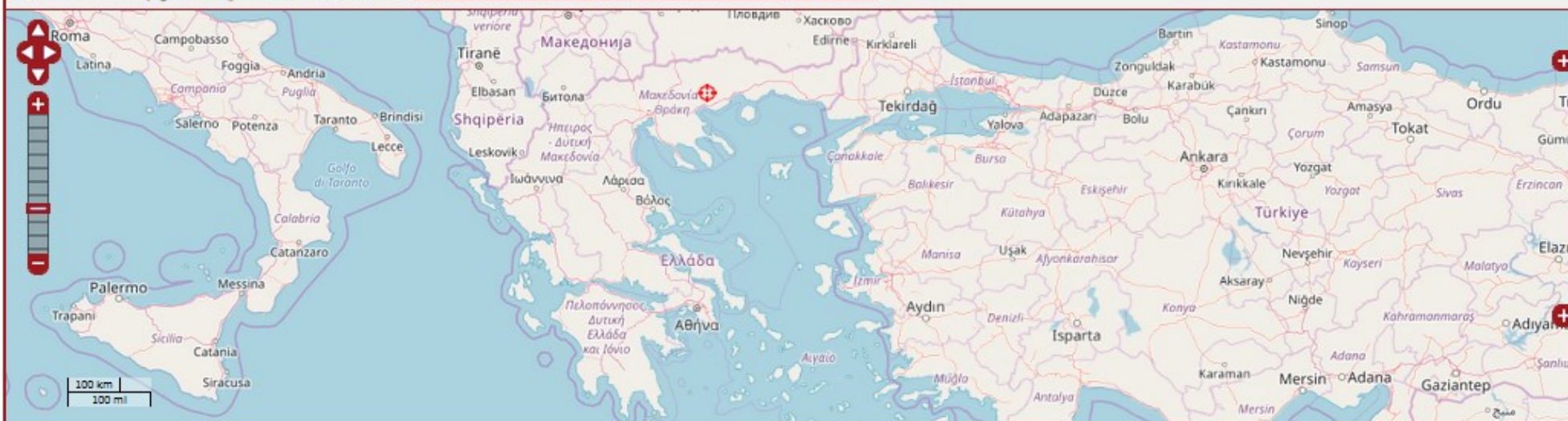
Last update: Jul. 2017

The **Global Forecast System (GFS) forecasts** Web service, available **worldwide**, delivers time series of **Temperature** (at 2 m), **Relative Humidity** (at 2 m), **Pressure** (at 2 m), **Wind speed and direction** (at 10 m), **Rainfall**, **Snowfall**, **Snow depth**, and **Short-wave irradiation (GHI)**. Time steps range from **1 min up to 1 month** (original data are every 3 hours). The spatial resolution is **0.25°** (approx. 28 km). Data are available **from 1 month ago up to day+3**.

GFS is a weather forecast model produced by the National Centers of Environmental Prediction (NCEP). More information at ncdc.noaa.gov/data-access/model-data/model-datasets/global-forecast-system-gfs

 [More information >>](#)

GFS FORECASTS 0.25°

[Max Extent](#) | [Back](#) | [Next](#) | Search Address:


Coord: x = 1191, y = 49 | lat = 41.28799, lon = 38.47632 | zoom = 6

Latitude (in [-90°, 90°]):

Start date (today - 2 months):

Time Step:

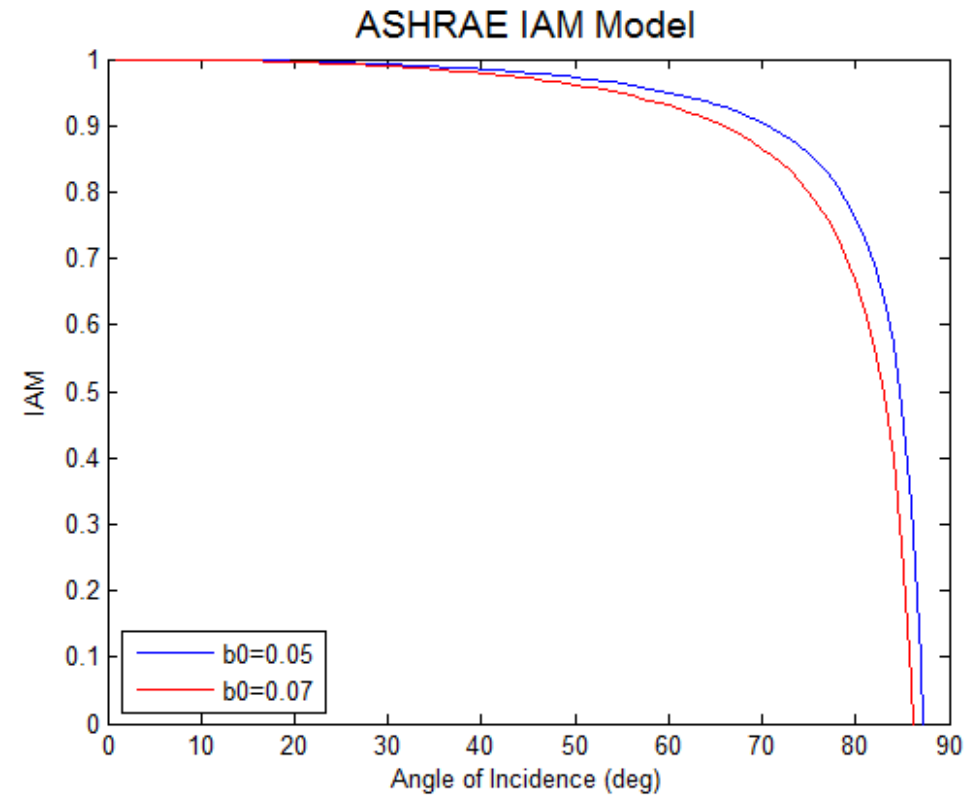
Longitude (in [-180°, 180°]):

End date (up to d+3):

Output Format:

Συντελεστής απώλειας λόγω γωνίας πρόσπτωσης (IAM)

- Η άμεση ακτινοβολία που προσπίπτει πάνω στη συστοιχία μειώνεται περαιτέρω λόγω απωλειών αντανάκλασης.
- Πιο συγκεκριμένα, όταν η γωνία πρόσπτωσης (AOI) είναι μεγαλύτερη από το μηδέν, υπάρχουν οπτικές απωλειές, λόγω των αυξημένων αντανακλάσεων από τα υλικά του ΦΒ πλαισίου, τις οποίες οφείλουμε να συνυπολογίζουμε, εφόσον επιθυμούμε ακριβέστερο υπολογισμό.



$$IAM = 1 - b_0 * [(1/\cos(AOI)) - 1]$$

Glass-Foil-Module: SOLARWATT BLUE 60P



Made in Dresden

- SOLARWATT solar modules are exclusively produced in Germany.
- 100% protection against PID
- 255Wp – 265Wp (100% plus sorting)

Standard Warranty

- 10 year product warranty
- Linear performance warranty covering 25 years

Extended warranty by purchasing SOLARWATT Full Coverage insurance

- 12 year product warranty
- All risk insurance

SOLARWATT Service



SOLARWATT Total Protection

optional (up to 1.000 kWp)



Take-back service

as per Delivery Terms for SOLARWATT Solar Modules



Country of origin

Quality made in Germany

Product Quality



SOLARWATT GmbH | Maria-Reiche-Str. 2a | 01109 Dresden | Germany
Tel. +49 351 8895-0 | Fax +49 351 8895-111 | www.solarwatt.de
Certified acc. to DIN EN ISO 9001 und 14001 | BS OHSAS 18001:2007



Product-warranty


as per Special Warranty Conditions for SOLARWATT Solar Modules



Performance-warranty

as per Special Warranty Conditions for SOLARWATT Solar Modules

Χαρακτηριστικά ΦΒ πλαισίων

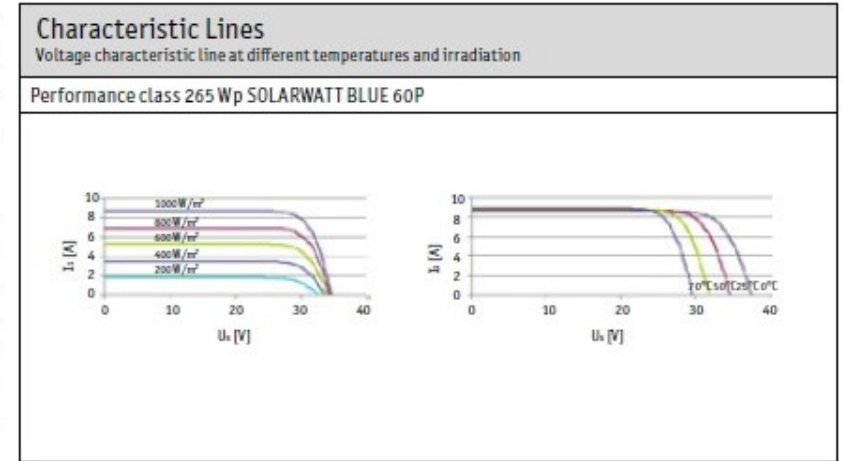


L x B x D	1680 x 990 x 40 mm (+/-2 mm)
Connection technology	Cabels 2 x 1,0 m/4 mm ² , PV4 - Connector, Plug in arrangement analog MC4
Weight	ca. 19 kg

Electrical Data (STC)			
STC: Standard Test Conditions: Irradiation intensity 1000W/m ² , spectral distribution AM 1.5 temperatur 25±2 °C, in accordance EN 60904-3			
Nominal power P_n	255 Wp	260 Wp	265 Wp
Nominal voltage U_{mpp}	30,4 V	30,6 V	30,7 V
Nominal current I_{mp}	8,39 A	8,50 A	8,63 A
Open circuit voltage U_{oc}	37,8 V	38,0 V	38,1 V
Short circuit current I_{sc}	8,77 A	8,86 A	8,99 A
IR*	20 A		
Measurement tolerance in reference to P _{max} ±5%; Reduction of module efficiency when irradiance is reduced from 1000W/m ² to 200W/m ² (at 25 °C): 4±2% (relative) / -0,6±0,3% (absolute). * Reverse- current power rating: Operating modules with an external power source is only permissible if using a phase fuse with a tripping current of < 20 A.			

Electrical Data (NOCT)

Mechanical Ratings as per IEC 61215 Ed.	Suction load up to 2,400 Pa Applied load up to 5,400 Pa
Approved stress load as per SOLARWATT Installation Instructions	Applied load up to 3.500 Pa (when installed crosswise ¹⁾) Test condition: sliding load of 5,400 Pa (conditions take into account safety factors for snow overhang and ice load per Eurocode 1.) ¹⁾ Please refer to the specifications in the installation instructions.
Qualifications	IEC 61215 Ed.2 IEC 61730 (including Protection Class II)



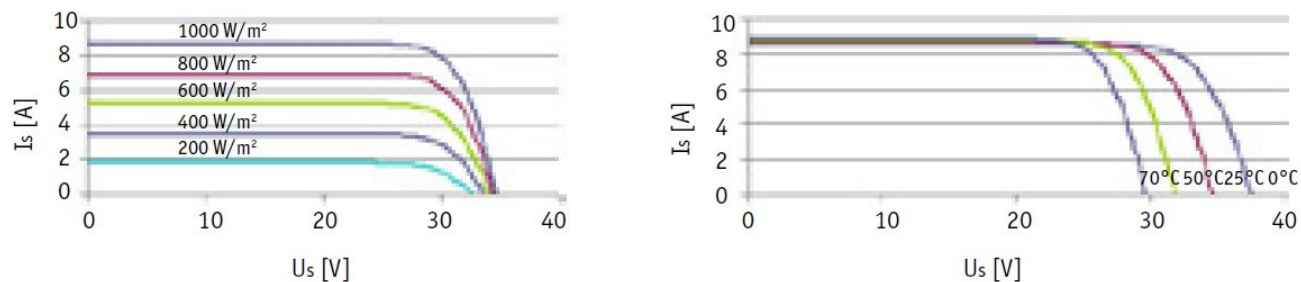
Thermal Features	
	SOLARWATT BLUE 60P

Χαρακτηριστικά ΦΒ Πλαισίων

Characteristic Lines

Voltage characteristic line at different temperatures and irradiation

Performance class 265 Wp SOLARWATT BLUE 60P



Χαρακτηριστικές καμπύλες
Έντασης – Τάσης ΦΒ πλαισίων

- Από τη χαρακτηριστική καμπύλη ρεύματος – τάσης ορίζονται η τάση ανοικτού κυκλώματος V_{oc} και το ρεύμα βραχυκύκλωσης I_{sc} .
- Η V_{oc} είναι η μέγιστη τάση στην έξοδο της ΦΒ μονάδας όταν στα άκρα της δεν συνδέεται φορτίο και επομένως το ρεύμα τότε είναι μηδενικό.
- Το I_{sc} , είναι μέγιστο όταν οι ακροδέκτες του ΦΒ είναι βραχυκυκλωμένοι.
- Το σημείο μέγιστης ισχύος βρίσκεται στο γόνατο της καμπύλης ρεύματος- τάσης, όπου $P_{mp} = V_{mp} * I_{mp}$

Καμπύλη I-V και θερμοκρασία ΦΒ μονάδας

- Πειραματικά η καμπύλη έντασης – τάσης δημιουργείται όταν εκθέτουμε μια ΦΒ μονάδα, εργαστηριακά, σε πρότυπες συνθήκες (STC, $E_{\text{ροα}} = 1000\text{W/m}^2$, $AM = 1.5$, $T = 25\text{C}$)
- Ωστόσο για να εκτιμήσουμε την καμπύλη έντασης - τάσης είναι καταρχάς απαραίτητη η μέτρηση ή η εκτίμηση της θερμοκρασίας του ΦΒ πλαισίου και κατ' επέκταση η θερμοκρασία των ΦΒ κυψελών.
- Η ΦΒ παραγωγή εξαρτάται από:
 1. *την θερμοκρασία της ΦΒ μονάδας και κατ' επέκταση από την θερμοκρασία του αέρα,*
 2. *την προσπίπτουσα ακτινοβολία $E_{\text{ροα}}$,*
 3. *την ταχύτητα του ανέμου και τα υλικά της μονάδας.*

Μαθηματικό μοντέλο εκτίμησης θερμοκρασιών T_m και T_c (Sandia Model)

- Οι θερμοκρασία των ΦΒ μονάδων μπορεί να μετρηθεί με **αισθητήρα θερμοκρασίας** ο οποίος επικολλάται στην πλάτη ενός ΦΒ πλαισίου μιας συστοιχίας.
- Ωστόσο αν γνωρίζουμε την θερμοκρασία του αέρα, η θερμοκρασία του ΦΒ πλαισίου δύναται να εκτιμηθεί και από την παρακάτω σχέση:

$$T_m = E_{poa} * e^{(A + B - WS)} + T_a$$

- Και αντίστοιχα η θερμοκρασία των ΦΒ κυψελών προκύπτει από την επόμενη σχέση:

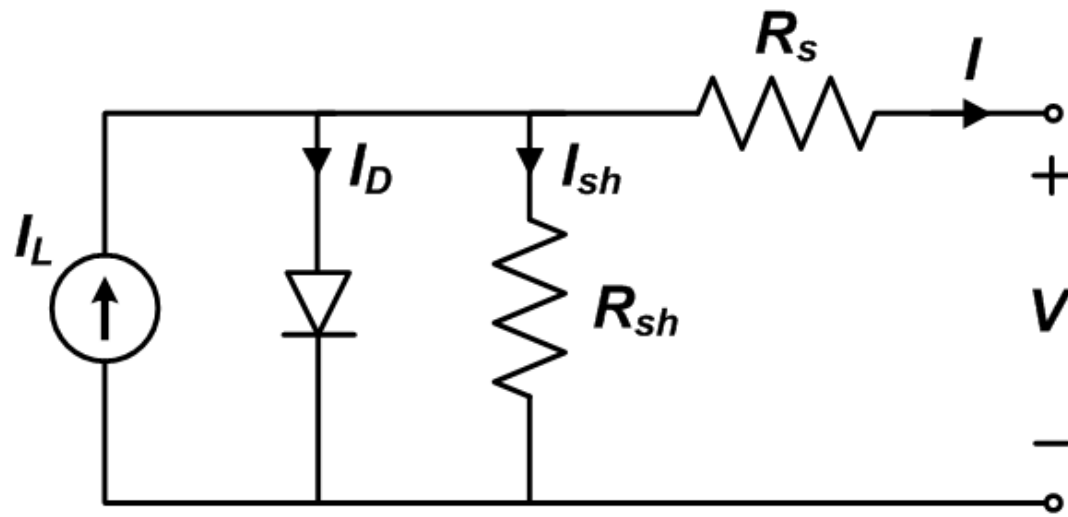
$$T_c = T_m + (E_{poa} / 1000) * \Delta T$$

Μαθηματικό μοντέλο εκτίμησης θερμοκρασιών T_m και T_c (Sandia Model)

- Όπου: **(A)** και **(B)** είναι πειραματικά εξακριβωμένοι συντελεστές ανώτατης θερμοκρασίας πλαισίου σε συνθήκες χαμηλών ταχυτήτων ανέμου και έντονης ακτινοβολίας,
- **(WS)** είναι μετρηθείσα ταχύτητα ανέμου σε ύψος 10m,
- **(Ta)** είναι η μετρηθείσα θερμοκρασία στην ατμόσφαιρα και
- **(ΔT)** είναι η διαφορά θερμοκρασίας ΦΒ πλάτης και ΦΒ κυψέλης σε συνθήκες 1000 W/m²

Module Type	Mount	A	B
Glass/cell/glass	Open rack	-3.47	-.0594
Glass/cell/glass	Close roof mount	-2.98	-.0471
Glass/cell/polymer sheet	Open rack	-3.56	-.0750
Glass/cell/polymer sheet	Insulated back	-2.81	-.0455
Polymer/thin-film/steel	Open rack	-3.58	-.113
22X Linear Concentrator	Tracker	-3.23	-.130

Ισοδύναμο κύκλωμα της ΦΒ μονάδας



- Από τον νόμο του Kirchhoff

$$I = I_L - I_D - I_{sh}$$

Όπου:

- I_L : Photo current (A)
- I_D : Diode current (A)
- I_{sh} : Shunt current (A)
- R_s : Series resistance (Ω)
- R_{sh} : Shunt resistance (Ω),

ΦΒ Μοντέλο Μονής Διόδου

Για 1 ΦΒ κυψέλη

- $I_D = I_0 * [e^{((V+I*Rs)/(n*VT))} - 1]$
- I_0 = Diode Reverse Saturation Current
- n = Diode Ideality Factor (between 1 and 2)
- $V_T = k*T_c/q$
- $k = 1.381 * 10^{-23}$ J/K και $q = 1.6 * 10^{-19}$ Coulomb
- $I_{sh} = (V + I*Rs)/R_{sh}$
- $I = I_L - I_0 * [e^{((V + I * Rs)/(n*VT))} - 1] - (V + I*Rs) / R_{sh}$

Για N_s ΦΒ κυψέλες σε σειρά

- Ισχύει ότι:

- $I_{mod} = I_{cell}$

- $V_{mod} = N_s * V_{cell}$

- $$I_{mod} = I_L - I_0 * [e^{((V_{mod} + I_{mod} * N_s * R_s)/(n * N_s * VT))} - 1] - \frac{(V_{mod} + I_{mod} * N_s * R_s)}{(N_s * R_{sh})}$$

Σχέση από την οποία λαμβάνονται καμπύλες I-V και εκτιμήσεις ισχύος ($P = V * I$)

ΦΒ μοντέλο πέντε παραμέτρων

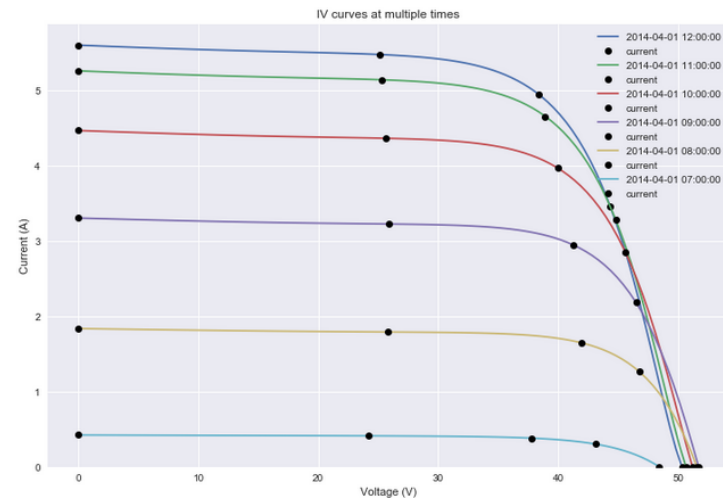
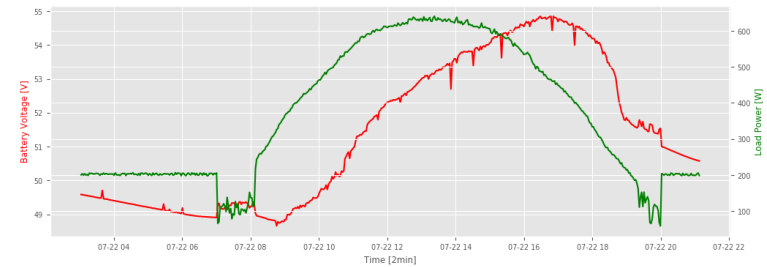
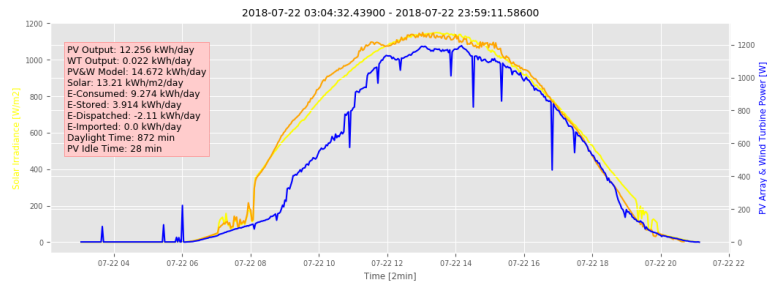
- Όπως είδαμε πρωτίτερα κάθε ΦΒ πλαίσιο συνοδεύεται από ένα φύλλο δεδομένων του κατασκευαστή με τα επιμέρους χαρακτηριστικά του.
- Το μοντέλο πέντε παραμέτρων χρησιμοποιεί ως είσοδο τα στοιχεία από το **φύλλο δεδομένων μαζί με τα E_{roa} , T_c , T_m** για να εξάγει το
 - 1) το φωτόρεύμα (I_L),
 - 2) το ανάστροφο ρεύμα κορεσμού της διόδου (I_0),
 - 3) την αντίσταση σε σειρά (R_s),
 - 4) την παράλληλη αντίσταση (R_p) και
 - 5) τον τροποποιημένο συντελεστή ιδεατότητας διόδου (nN_sV_{th}).
- Αυτές οι παράμετροι αποτελούν το ευρέως καθιερωμένο Μοντέλο Μονής Δίοδος [6] [7] για φωτοβολταϊκά στοιχεία από τα οποία λαμβάνονται καμπύλες I-V και εκτιμήσεις ισχύος

ΦΒ μοντέλο πέντε παραμέτρων



Solarwatt Blue 60P_265 Photovoltaic Module Manufacturer's Datasheet					
'T_NOCT'	45	'A_c'	1.663	'Ns'	60
'I_sc_ref'	8.99	'V_oc_ref'	38.1	'I_mp_ref'	8.63
'V_mp_ref'	30.7	'beta_oc'	-0.13385	'gamma_r'	-0.41
'I_L_ref'	8.99	'I_o_ref'	0.0000000 00111	'R_s'	0.282
'a_ref'	1.52	'R_sh_ref'	213.31	'alpha_isc'	0.004637

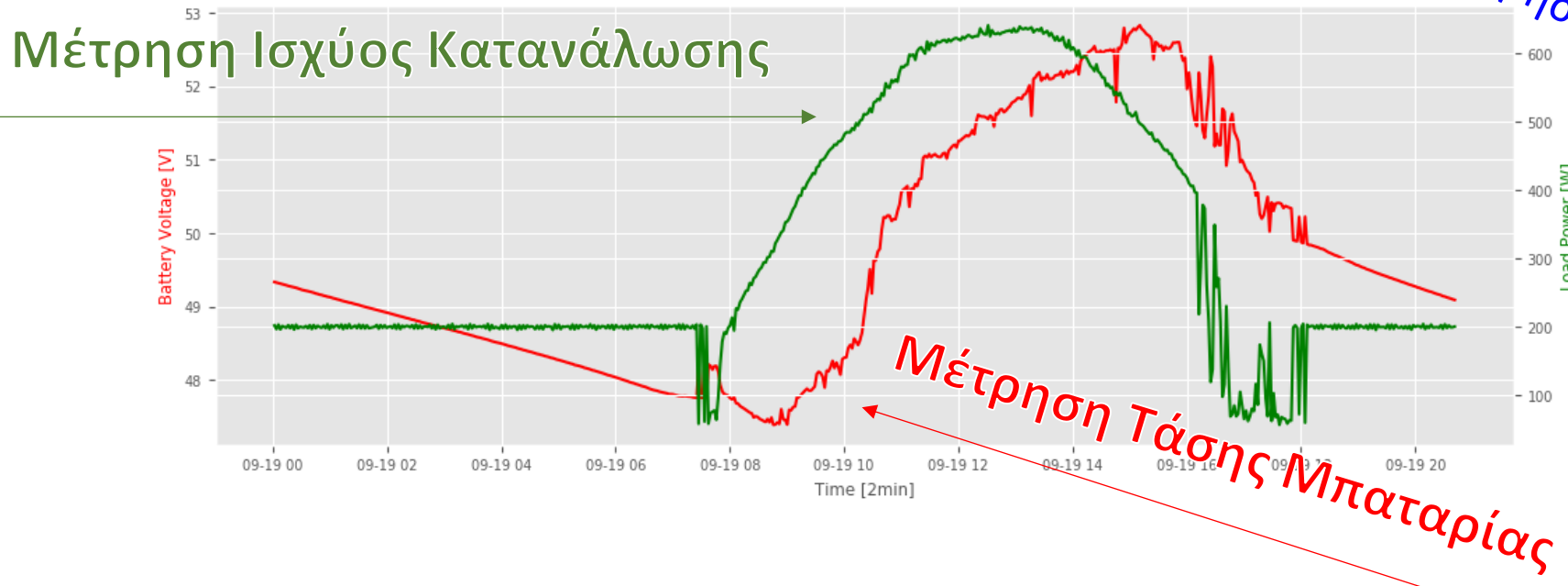
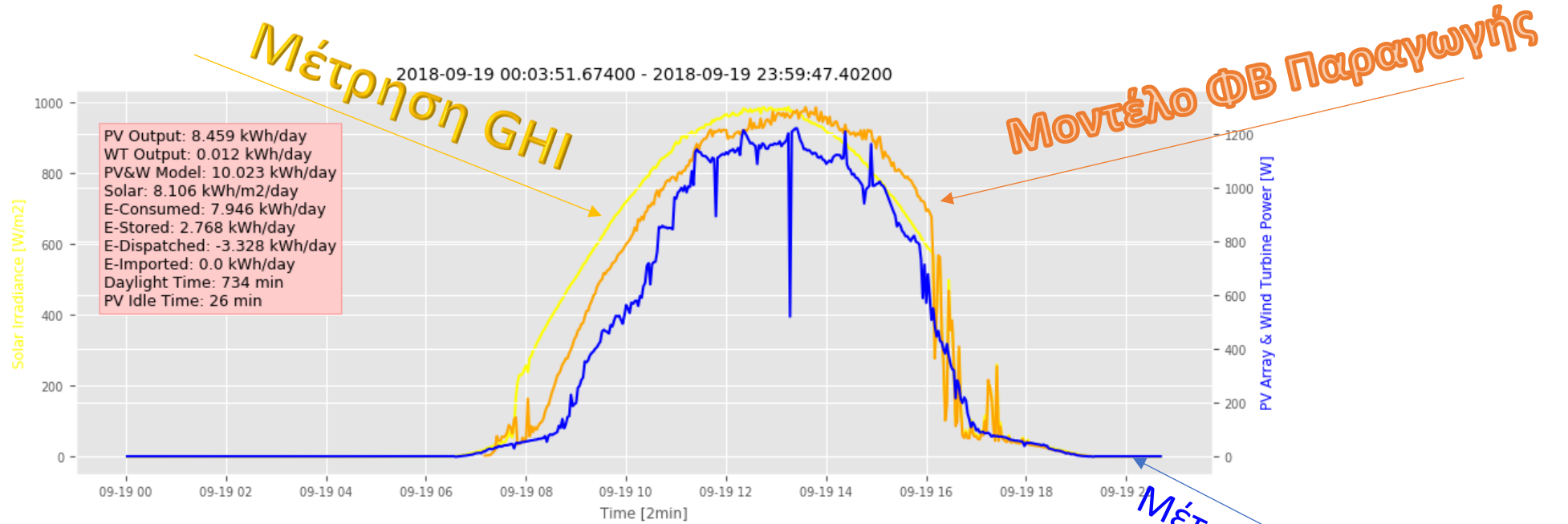
- $IL = (E_{poa} / 1000) * AM * (IL_{ref} + alpha_{isc} * (T_{cell_K} - T_{ref_K}))$
- $I_0 = I_0_{ref} * ((T_{cell_K} / T_{ref_K})^3) * e^{(E_{gRef} / (k * (T_{ref_K})) - (E_g / (k * (T_{cell_K}))))}$
- $R_s = R_{s_ref}$
- $R_{sh} = R_{sh_ref} * (irrad_{ref} / E_{poa})$
- $nNsV_{th} = a_{ref} * (T_{cell_K} / T_{ref_K})$



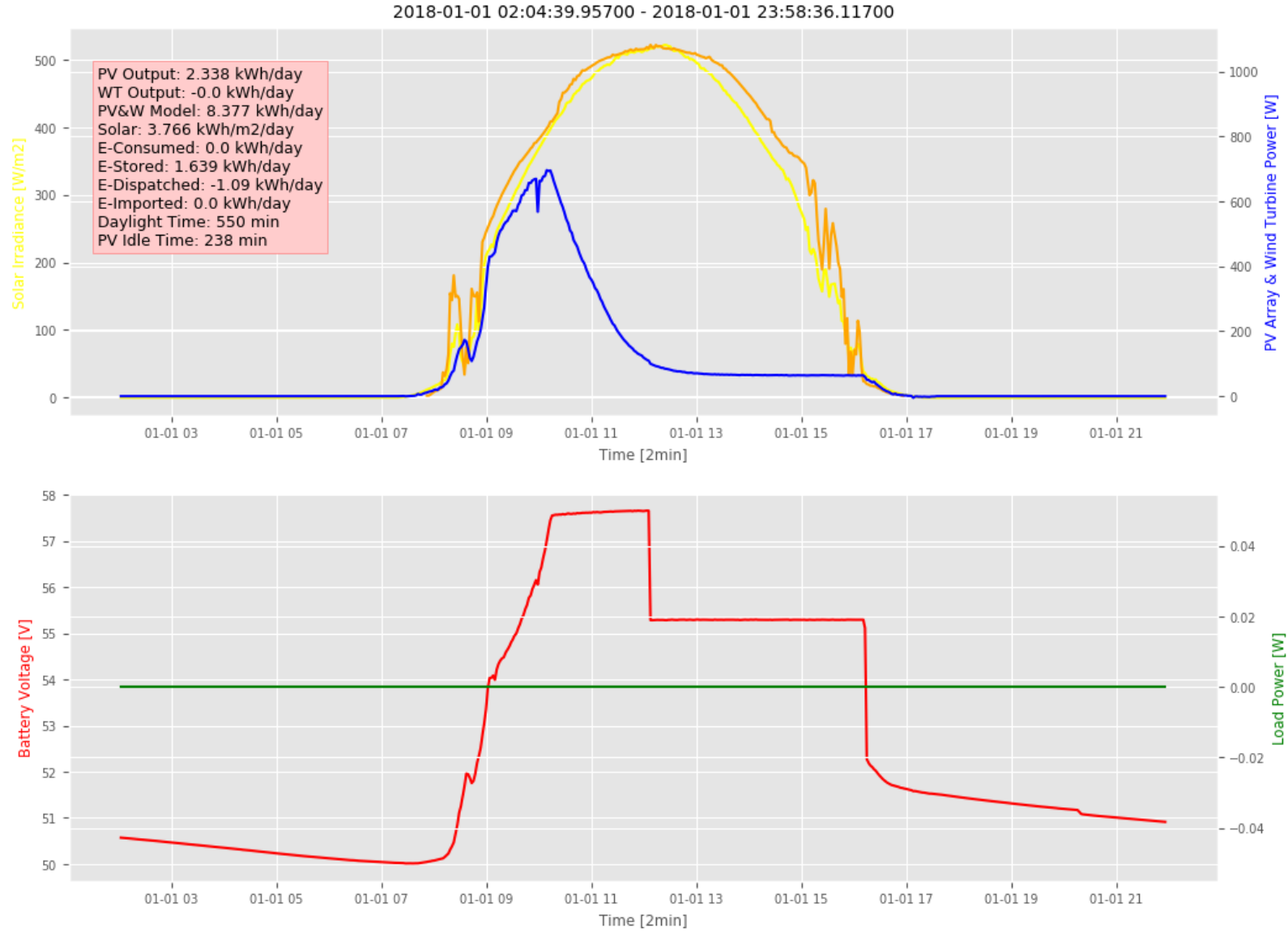
PV_LIB Toolbox

- Το PV_LIB Toolbox, είναι ένα λογισμικό σύνολο ελεύθερα διαθέσιμων βιβλιοθηκών.
- Παρέχει ένα σύνολο καλά τεκμηριωμένων λειτουργιών για την προσομοίωση της απόδοσης των φωτοβολταϊκών συστημάτων.
- Η εργαλειοθήκη αναπτύχθηκε στα Sandia National Laboratories και είναι διαθέσιμη σε εκδόσεις Matlab και Python.
- Με την χρήση προγραμματιστικών εργαλείων, όπως το PVLIB, μας δίνεται η δυνατότητα να παράγουμε προσομοιώσεις με μεγάλη λεπτομέρεια και ακρίβεια. Έτσι, βελτιστοποιούμε την λειτουργία των ΦΒ συστημάτων, στα πλαίσια της αποδοτικότερης Διαχείρισης Ενέργειας.

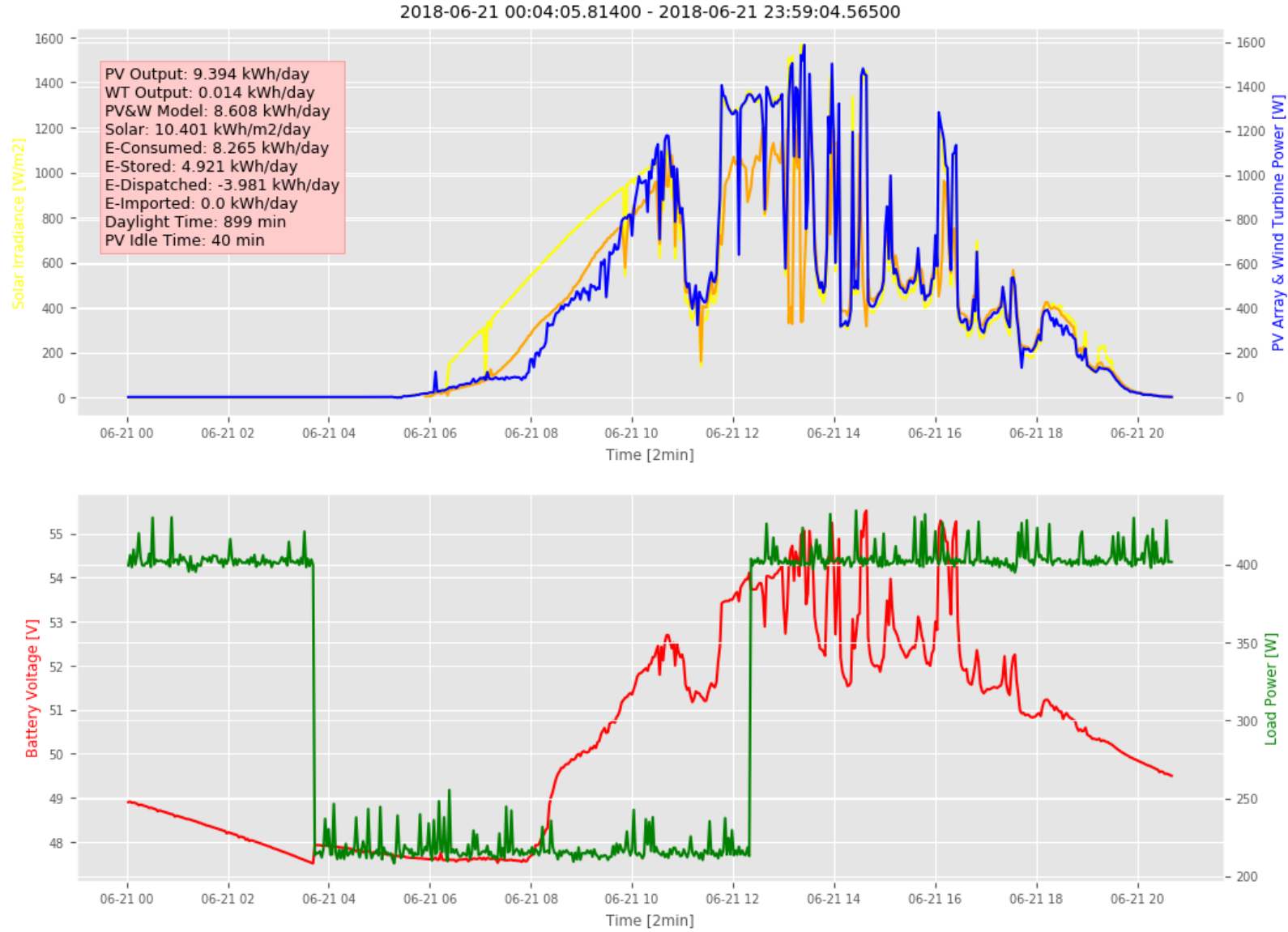
Διάγραμμα μεταβολής του μαθηματικού ομοιώματος της ΦΒ παραγωγής συναρτήσει βασικών παραμέτρων και μεγεθών Παράδειγμα 1 από 3



Διάγραμμα μεταβολής του μαθηματικού ομοιώματος της ΦΒ παραγωγής συναρτήσει βασικών παραμέτρων και μεγεθών
Παράδειγμα 2 από 3



Διάγραμμα μεταβολής του μαθηματικού ομοιώματος της ΦΒ
παραγωγής συναρτήσει βασικών παραμέτρων και μεγεθών
Παράδειγμα 3 από 3



Άσκηση 2.1

- Έχουμε στην διάθεσή μας πολλές ίδιες ΦΒ κυψέλες μόνο-κρυσταλλικού πυριτίου με τα εξής χαρακτηριστικά, $I_{sc}=3.5A$ και $V_{oc}=0.7V$ σε STC. Ποια θα είναι η τάση ανοιχτού κυκλώματος και η ένταση βραχυκυκλώματος σε STC, δυο (2) συνδεδεμένων ΦΒ μονάδων σε σειρά, αποτελούμενο το καθένα από 60 κυψέλες σε σειρά; Θεωρήστε ότι οι πτώση τάσης λόγω των διασυνδέσεων είναι αμελητέες.

Άσκηση 2.2

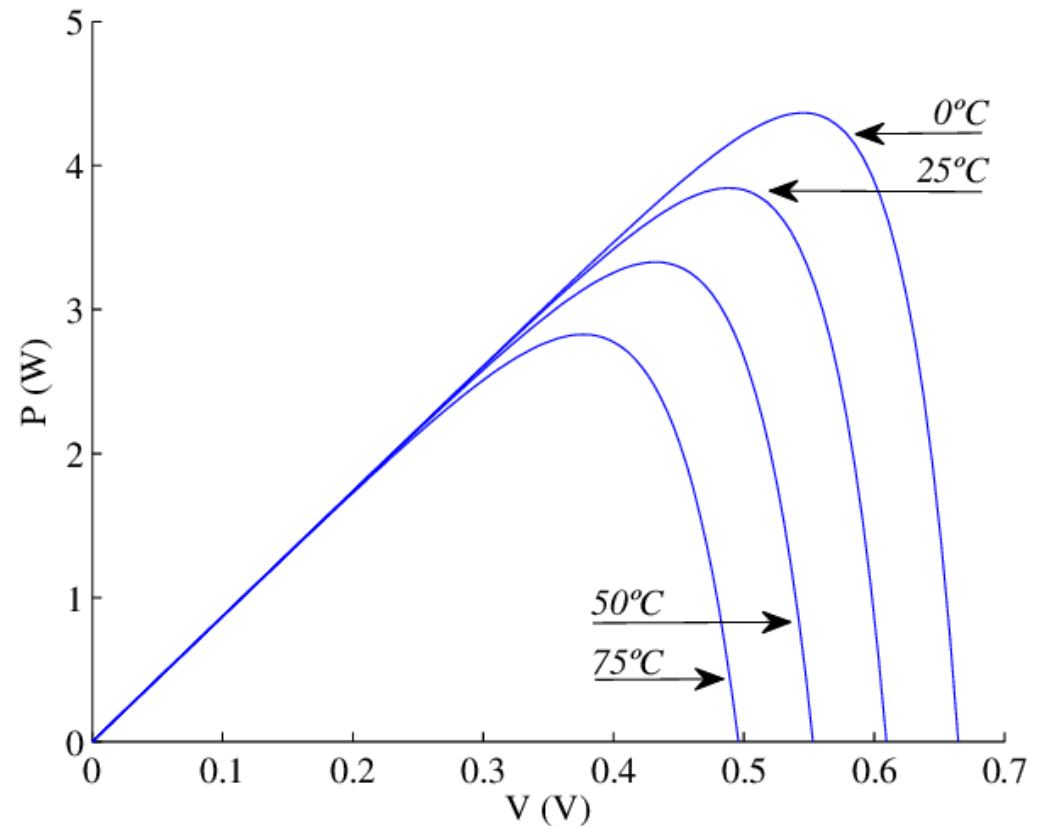
- Μία πολυ-κρυσταλλική ΦΒ μονάδα αποτελείται από 54 κυψέλες. Η τάση ανοιχτού κυκλώματος της ΦΒ μονάδας είναι 16.2V. Πως είναι διασυνδεδεμένες οι κυψέλες εφόσον η $V_{oc} = 0.6V$ και $I_{sc} = 3A$;

Άσκηση 2.3

- a) Υπολογίστε την μέγιστη ισχύ μιας ΦΒ μονάδας όταν $I_{mprr} = 7A$ και $V_{mprr} = 0.65V/cell$, εφόσον η ΦΒ μονάδα αποτελείται από 60 κυψέλες σε σειρά.
- b) Υπολογίστε αντίστοιχα την μέγιστη ισχύ, τάση και ένταση της ΦΒ στοιχειοσειράς που αποτελείται από τρεις (3) τέτοιες ΦΒ μονάδες σε σειρά.
- c) Υπολογίστε την μέγιστη ισχύ, τάση και ένταση της ΦΒ συστοιχίας που αποτελείται από τέσσερις (4) αντίστοιχες στοιχειοσειρές συνδεδεμένες παράλληλα.

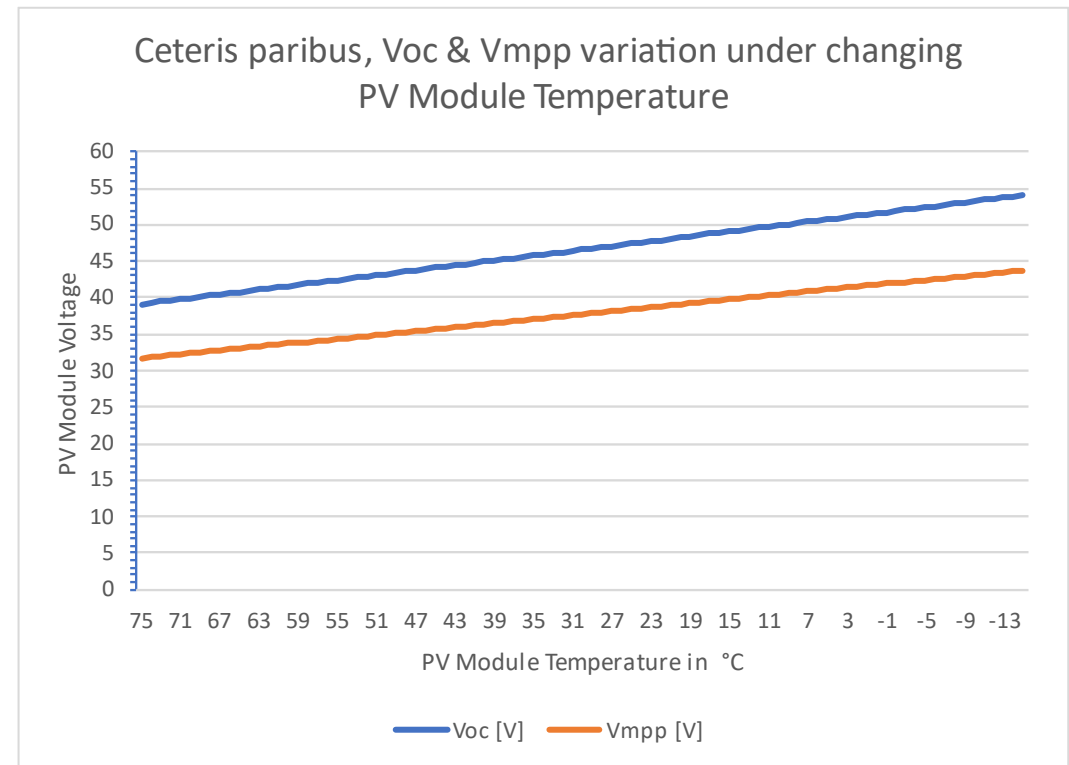
Εξάρτηση των ημιαγωγικών υλικών από την θερμοκρασία.

- Τα φωτοβολταϊκά κυττάρια είναι συνήθως κατασκευασμένα από ημιαγωγικά υλικά όπως το πυρίτιο. Αυτά τα υλικά εμφανίζουν αρνητικό συντελεστή θερμοκρασίας για την τάση.
- Αυτό σημαίνει ότι όσο αυξάνεται η θερμοκρασία των φωτοβολταϊκών κυττάρων, τόσο μειώνεται η τάση εξόδου, ενώ όσο μειώνεται η θερμοκρασία, τόσο αυξάνεται η τάση εξόδου.



Μεταβολή των V_{oc} & V_{mpp} συναρτήσεως της Θερμοκρασίας

- Η τάση ανοικτού κυκλώματος (V_{oc}) είναι η τάση που παράγεται από ένα φωτοβολταϊκό πάνελ όταν δεν αντλείται ρεύμα από αυτό. Σε ιδανικές συνθήκες, είναι σχετικά σταθερή υπό μεταβαλλόμενη φωτεινότητα. Ωστόσο, όσο αυξάνεται η θερμοκρασία, η τάση κυττάρου στο σημείο ανοικτού κυκλώματος μειώνεται.
- Η τάση σημείου μέγιστης ισχύος (V_{mpp}) είναι η τάση στην οποία ένα φωτοβολταϊκό πάνελ παράγει τη μέγιστη ηλεκτρική ισχύ. Αυτή η τάση μειώνεται επίσης με την αύξηση της θερμοκρασίας.
- [TempCoefs.xlsx](#)



Συντελεστές Θερμοκρασίας ΦΒ μονάδων (V_Tcoef & I_Tcoef)

- Πρέπει να σημειωθεί ότι τα φωτοβολταϊκά συστήματα σχεδιάζονται για να λειτουργούν σε ένα συγκεκριμένο εύρος θερμοκρασίας, και υπάρχουν στρατηγικές για τη διαχείριση των επιπτώσεων της θερμοκρασίας, όπως η επιλογή υλικών με καλύτερους **συντελεστές θερμοκρασίας**.
- Η κατανόηση και ο υπολογισμός των επιπτώσεων της θερμοκρασίας είναι κρίσιμη για τον σχεδιασμό και τη βελτιστοποίηση της απόδοσης των συστημάτων φωτοβολταϊκής ενέργειας σε διάφορα κλίματα και περιβάλλοντα.

THERMAL FEATURES

Operating temperature range	-40 ... +85 °C
Ambient temperature range	-40 ... +45 °C
Temperature coefficient P_N	-0,41%/K
Temperature coefficient U_{oc}	-0,31%/K
Temperature coefficient I_{sc}	0,05%/K

Άσκηση 2.4

- Έχουμε στην διάθεσή μας τρία (3) ίδια ΦΒ πανέλα μόνο- κρυσταλλικού πυριτίου με τα εξής χαρακτηριστικά, σε STC:
 - $I_{sc} = 11.62 \text{ A}$
 - $V_{oc} = 41.08 \text{ V}$
 - $V_{tcoef} = -0.263 \text{ \%/C}$
 - $I_{tcoef} = 0.057 \text{ \%/C}$
- A. Ποια θα είναι η τάση ανοιχτού κυκλώματος και η ένταση βραχυκυκλώματος της ΦΒ στοιχειοσειράς των τριών (3) πανέλων σε STC;
- B. Ποια θα είναι η τάση ανοιχτού κυκλώματος και η ένταση βραχυκυκλώματος της ίδιας ΦΒ στοιχειοσειράς, (με την ίδια προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία και Μάζα Ατμόσφαιρας), στους 23 βαθμούς κελσίου;

Άσκηση 2.4 (Λύση)

A. Αρχικά υπολογίζουμε V_{oc} και I_{sc} σε τυπικές συνθήκες STC (25°C):

$$V_{oc_string} = n_mod * V_{oc} = 3 * 41.08 = 123.24V \text{ και}$$

$$I_{sc_string} = 11.62A$$

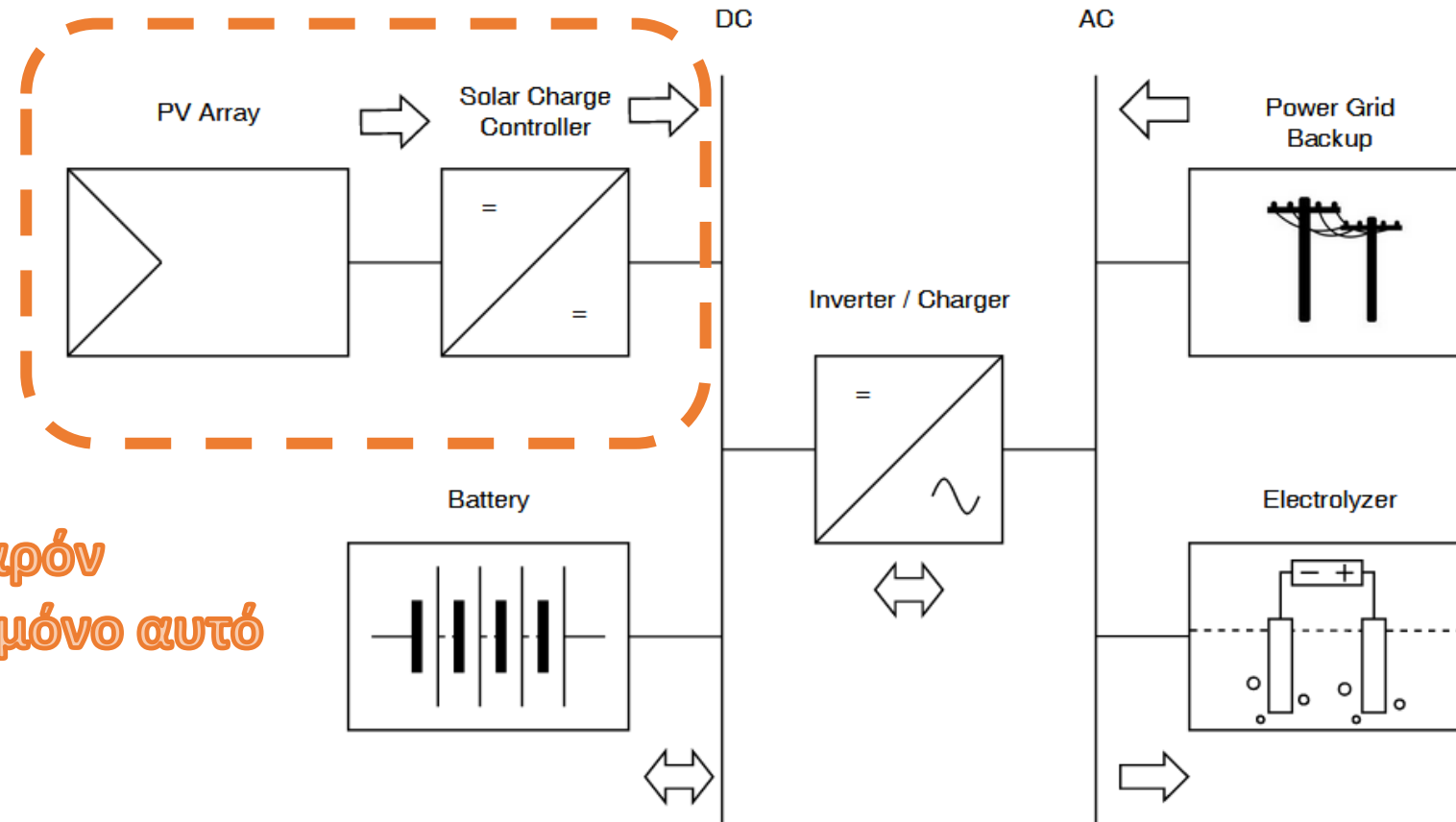
B. Ακολούθως υπολογίζουμε V_{oc} και I_{sc} στις ζητούμενες συνθήκες (23°C):

$$\begin{aligned} V_{oc_string_23} &= n_mod * (V_{oc} + \Delta T * V_{oc} * V_{tcoef} / 100) = \\ &= 3 * (41.08 + (23 - 25) * 41.08 * (-0.263) / 100) = 123.89V \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I_{sc_string_23} &= I_{sc} - \Delta T * I_{sc} * I_{tcoef} / 100 = \\ &= 11.62 - (-2) * 11.62 * 0.057 / 100 = 11.63A \end{aligned}$$

Παράδειγμα Σχεδίασης ΦΒ Συστοιχίας...

Αποσαφήνιση Αρχιτεκτονικής Συστήματος και των Ενεργειακών Ροών



Προς το παρόν
μας ενδιαφέρει μόνο αυτό

Παράδειγμα Σχεδίασης ΦΒ
Συστοιχίας...

Καθορισμός

Τεχνικών

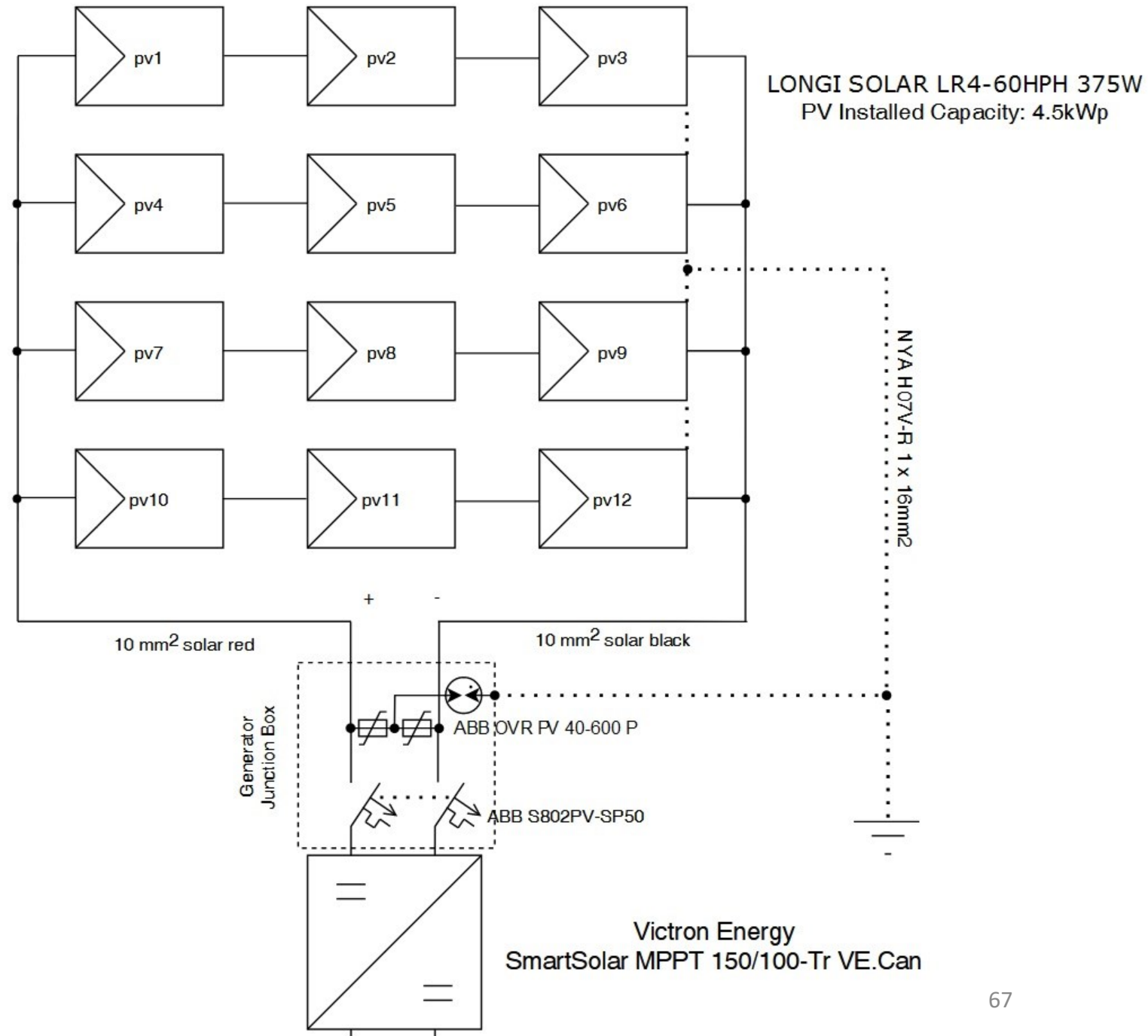
Χαρακτηριστικών

των ΦΒ μονάδων,

του Ρυθμιστή

φόρτισης και της

Συνδεσμολογίας



Παράδειγμα Σχεδίασης ΦΒ Συστοιχίας...

Υπολογισμός Μεγίστων Τάσεων και Εντάσεων της ΦΒ συστοιχίας σύμφωνα με τις προδιαγραφές του Ρυθμιστή φόρτισης

PV & Battery System:

1. PV Module:

1.1 Name = LONGI SOLAR LR4-60HPH 375W

1.2 Type = Mono-Si PERC

1.3 Cells = $6 \times 20 = 120$

1.4 $\eta = 20.6 \%$

2. Specifications (STC):

2.1 $P_{mpp} = 375 \text{ W}$

2.2 $V_{mpp} = 34.6 \text{ V}$

2.3 $I_{mpp} = 10.84 \text{ A}$

2.4 $V_{OC} = 41.1 \text{ V}$

2.5 $I_{SC} = 11.6 \text{ A}$

2.6 $T_{coef_pmpp} = -0.35 \%/^{\circ}\text{C}$

2.7 $T_{coef_voc} = -0.27 \%/^{\circ}\text{C}$

2.8 $T_{coef_isc} = +0.048 \%/^{\circ}\text{C}$

2.9 $A = 1.038 \times 1.755 = 1.822 \text{ m}^2$

3. PV Array:

3.1 String = 3 modules in series

3.2 Array = 4 strings in parallel

3.3 $P_{arraymax-10C} = 12 \times 375 + (-35) \times 12 \times 375 \times (-0.35) / 100 = 5051.25 \text{ W}$

3.4 $V_{stringmax-10C} = 3 \times (41.1 + (-35) \times 41.1 \times (-0.27) / 100) = 134.95 \text{ V}$

3.5 $I_{stringmax-10C} = 11.6 - (-35) \times 11.6 \times 0.048 / 100 = 11.79 \text{ A}$

3.6 $P_{arraympp} = 4500 \text{ W}$

3.7 $V_{stringmpp} = 3 \times 34.6 = 103.8 \text{ V}$

3.8 $I_{arraympp} = 4 \times 10.84 = 43.4 \text{ A}$

4. Solar Charge Controller:

4.1 VE MPPT 150 V / 100 A

4.2 $I_{scoutmax} = 4500 \times 0.98 / 47 = 94 \text{ A}$

Δείτε στο eclass...

- Εφαρμογή ΦΒ σκεπής
- Εφαρμογή Ποτιστικής Αντλίας ηλεκτροδοτούμενη από ΦΒ