

# ***ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΗ ΣΤΑΘΜΙΣΗ Φ/Β ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ***

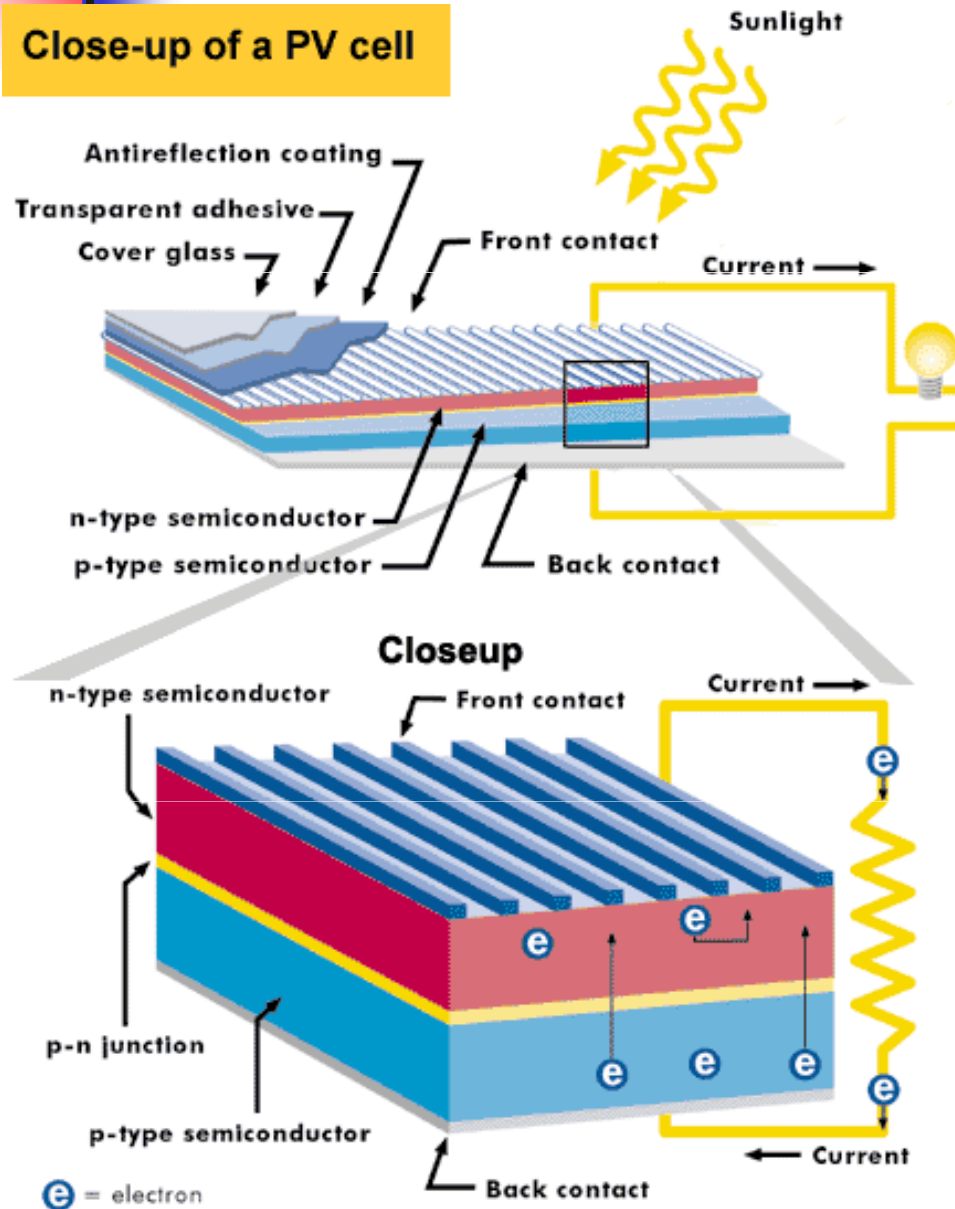
***Δρ. Φώτης Στεργιόπουλος***

***Καθ. Εφαρμογών***

***Τμήμα Αυτοματισμού ΑΤΕΙΘ***

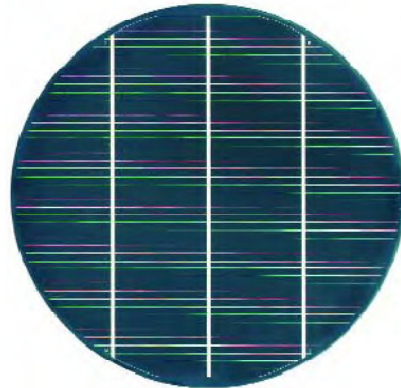
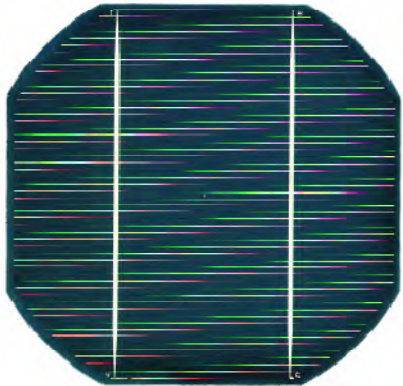
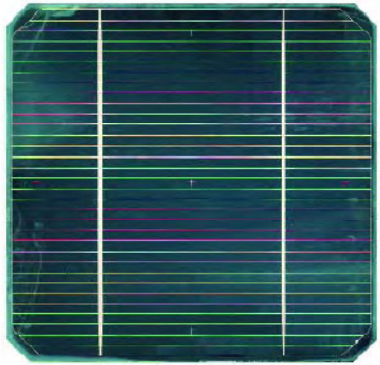
# Το Φ/Β κελί

## Close-up of a PV cell



- 1839: Ο Endmund Becquerel ανακαλύπτει ότι κάποια υλικά παράγουν σπινθήρες ηλεκτρισμού όταν υποβάλλονται σε ηλιακή ακτινοβολία
- Τέλη 18<sup>ου</sup> αιώνα: Πρωτόγονα κελιά από σελήνιο
- 1950ς: Επιστήμονες από τα Bell Labs φτιάχνουν τα πρώτα κελιά με βάση το πυρίτιο (απόδοση 4%)

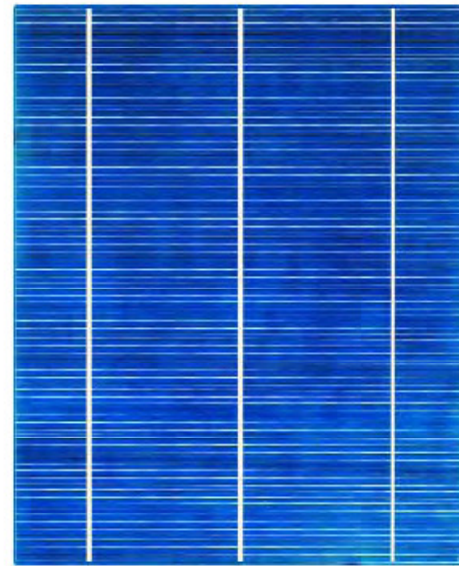
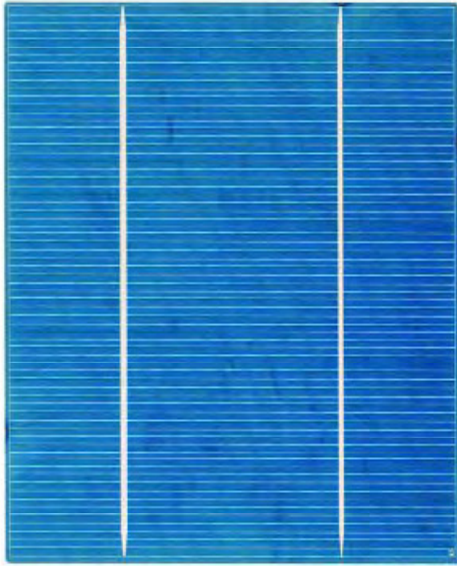
# Ηλιακά κελιά κρυσταλλικού πυριτίου



Μονοκρυσταλλικό πυρίτιο (mono-cSi): κατασκευή από ένα μεγάλο κρυσταλλικό δίσκο (wafer) πυριτίου

- Απόδοση 15-18%
- Υψηλότερο κόστος
- Χρώμα: βαθύ μπλε ή μαύρο με αντι-ανακλαστική επίστρωση (AR) ή γκρι (χωρίς AR)

# Ηλιακά κελιά κρυσταλλικού πυριτίου

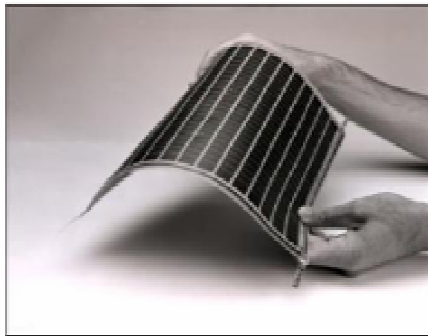


Πολυκρυσταλλικό πυρίτιο (poly-cSi): κατασκευή από δίσκους πυριτίου κομμένους από τετραγωνισμένους ράβδους πυριτίου

- Απόδοση 13-16%
- Χρώμα: μπλε με αντι-ανακλαστική επίστρωση (AR) ή γκρι-ασημί (χωρίς AR)

# Ηλιακά κελιά λεπτού υμενίου (thin film)

- Κελιά μικρότερης απόδοσης (5-7%) αλλά μικρότερου κόστους με χρήση μικρής ποσότητας πυριτίου  
Κυριότεροι τύποι:
- Αμόρφου πυριτίου (a-Si):



- CdTe: Υποχρεωτική ανακύκλωση μετά το πέρας ζωής
- Cu(In,Ga)Se<sub>2</sub>: υποσχόμενη τεχνολογία (απόδοση 19,9%)



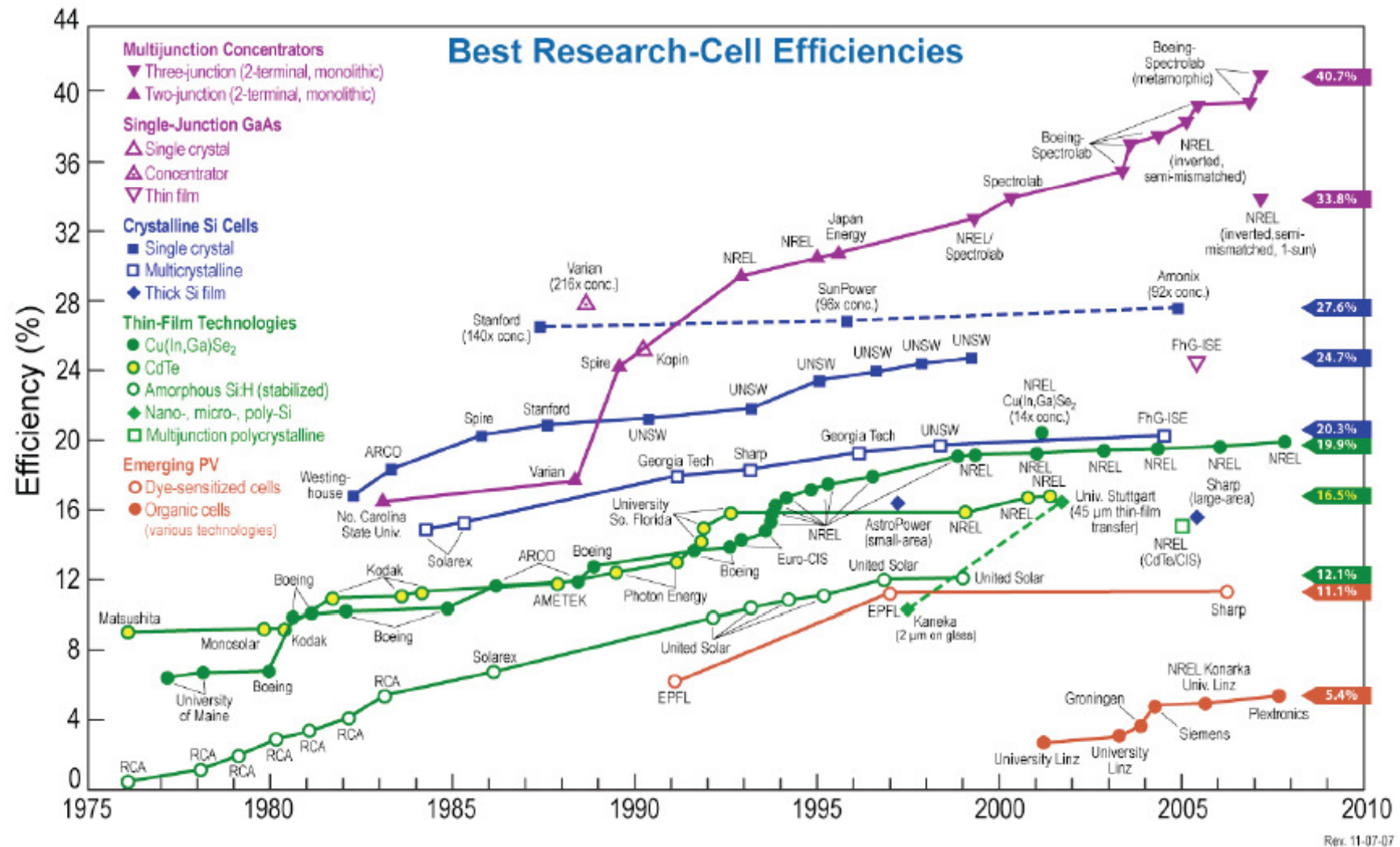
# Άλλοι τύποι ηλιακών κελιών

---

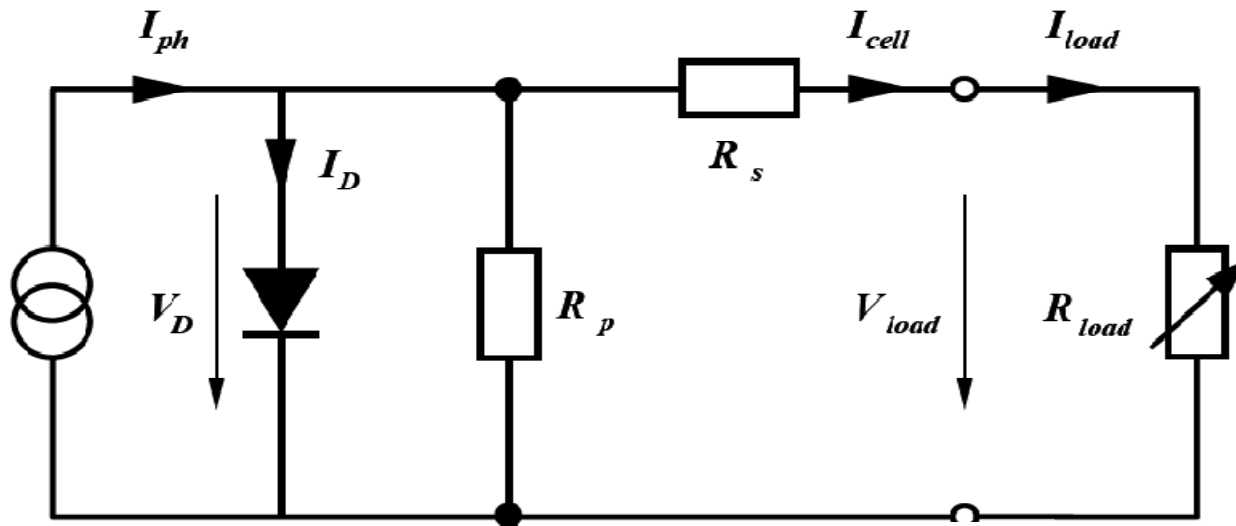
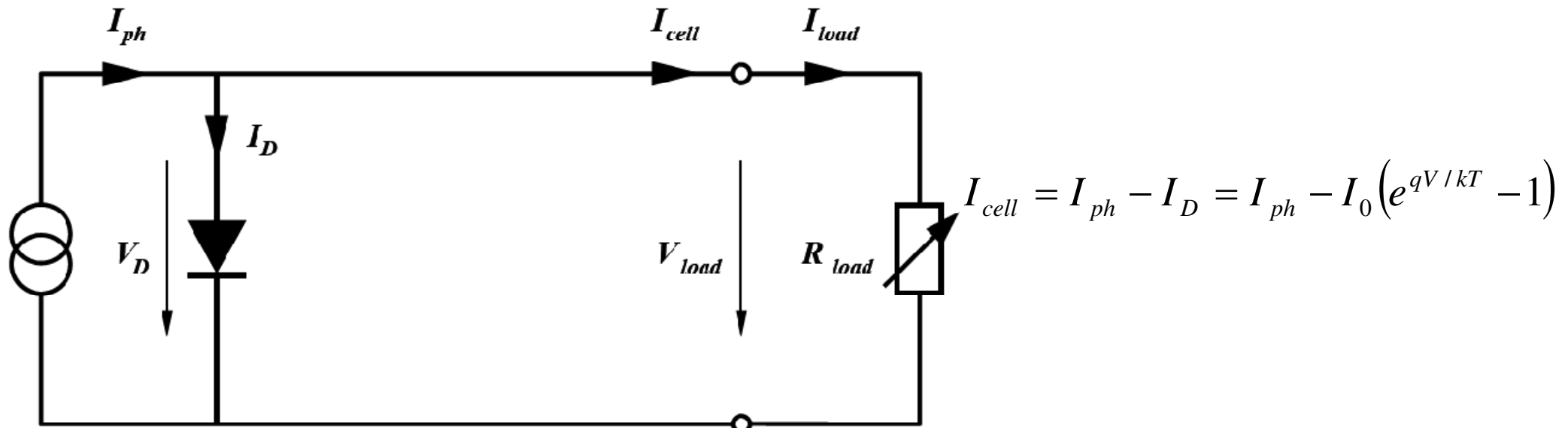
- GaAs: κελιά υψηλής απόδοσης (έως 40%) αλλά πολύ ακριβά.
- Κελιά από οργανικά/πολυμερή υλικά: αντί ημιαγώγιμων υλικών p-n γίνεται χρήση οργανικών ή πολυμερών υλικών ως δότες και δέκτες ηλεκτρονίων, με κατασκευή ηλιακών κελιών σε υποστρώματα από πλαστικό. Απόδοση της τάξης του 5-6%, αλλά βρίσκονται σε επίπεδο εντατικής έρευνας.



# Τεχνολογίες ηλιακών κελιών



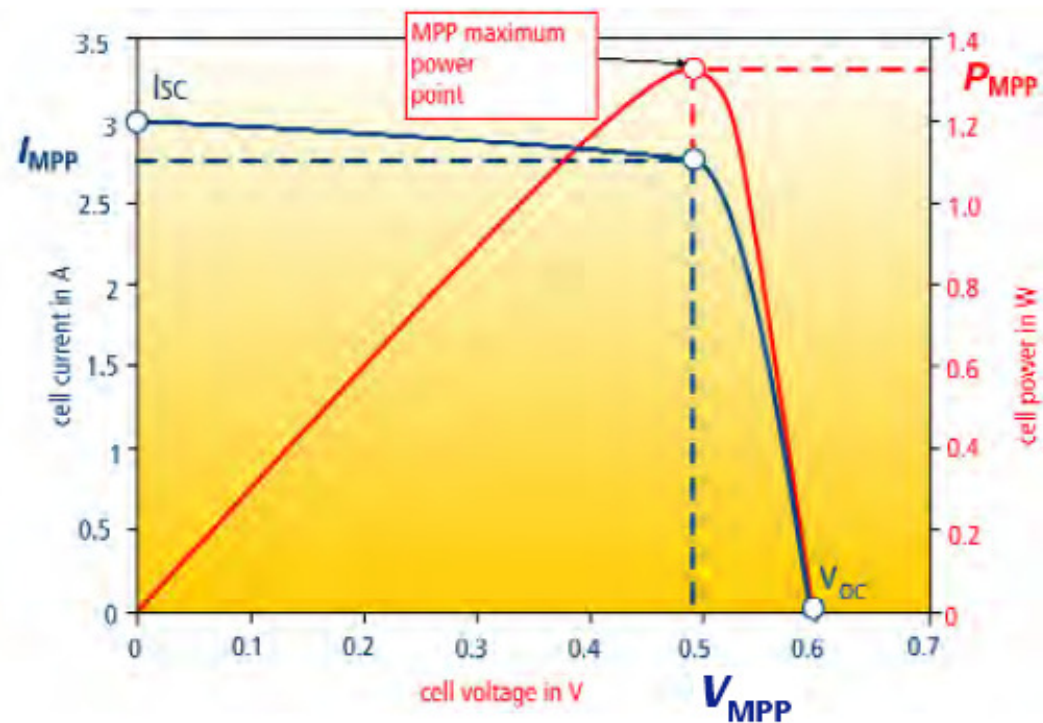
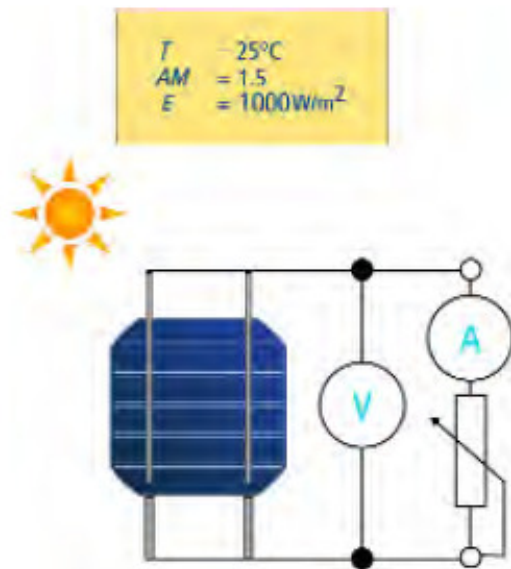
# Μοντελοποίηση ηλιακών κελιών



$$I_{cell} = I_{ph} - I_0 \cdot \left( e^{\frac{q}{k \cdot T} \cdot (V_{load} + I_{cell} \cdot R_s)} - 1 \right) - \frac{V_{load} + I_{cell} \cdot R_s}{R_p}$$

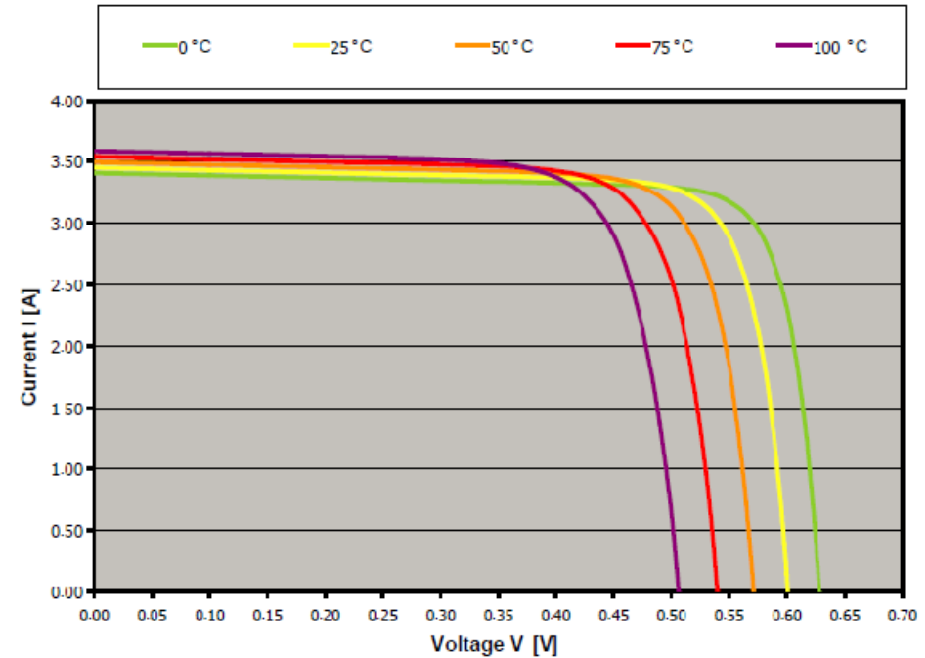
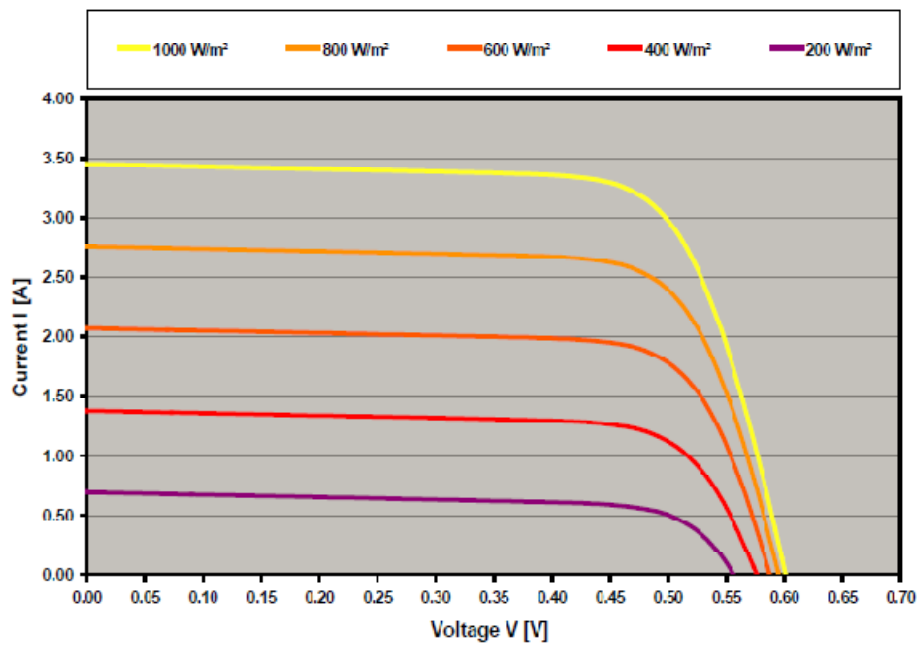


# Χαρακτηριστικές κελιού

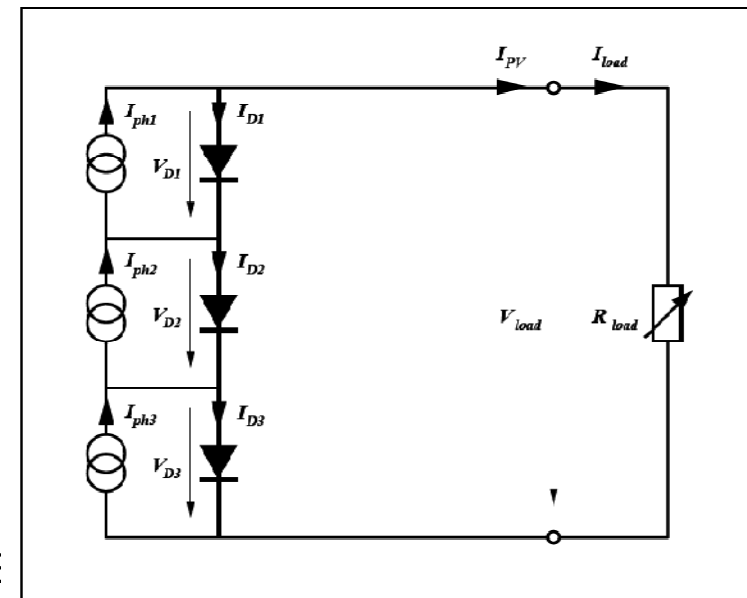
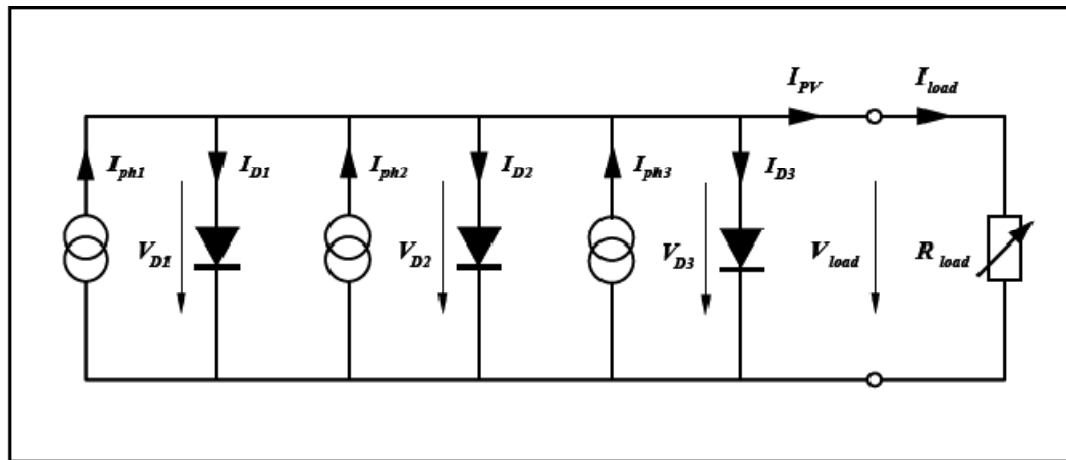
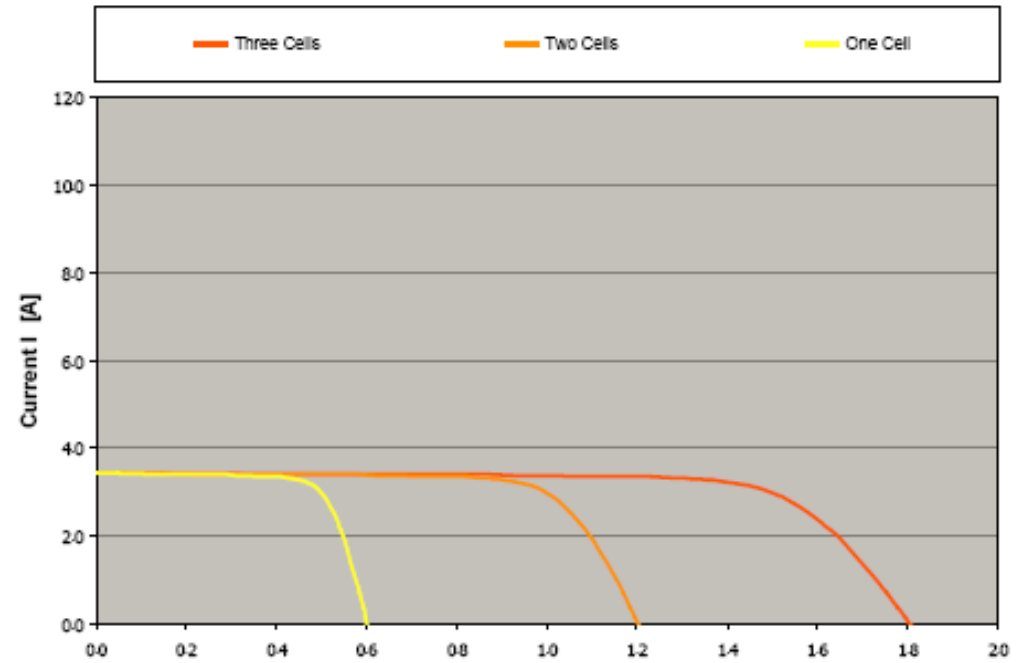
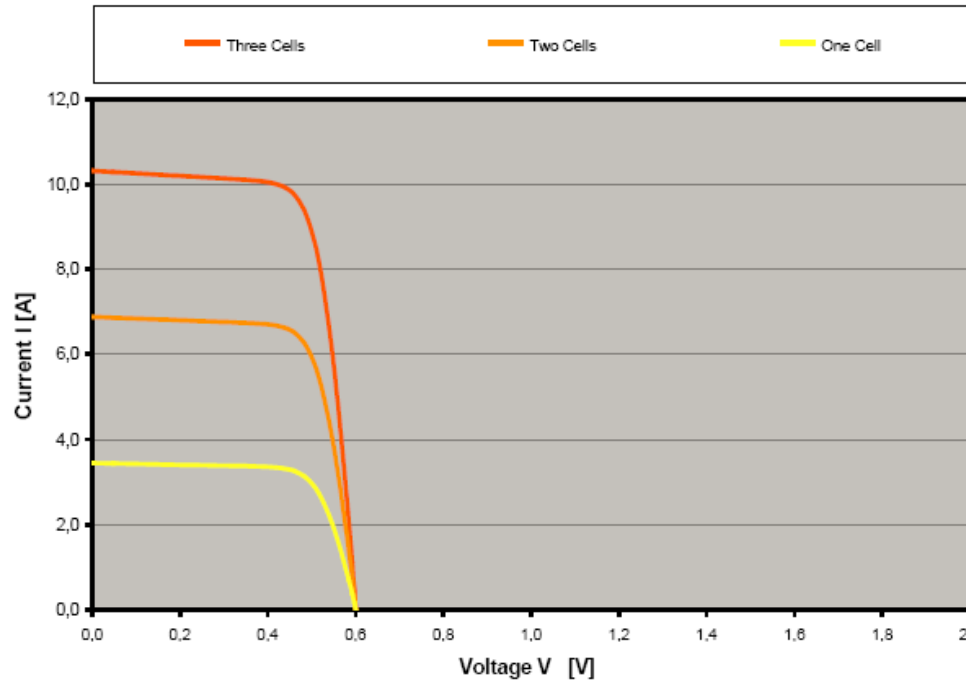


NOCT (Normal Operating Cell Temperature): Θερμοκρασία κελιού 45-48 βαθμούς Κελσίου για ένταση ηλιακής ακτινοβολίας  $800\text{W/m}^2$ ,  $AM=1,5$  και ταχύτητα ανέμου  $1\text{m/sec}$ .

# Επίδραση ηλιακής ακτινοβολίας-θερμοκρασίας



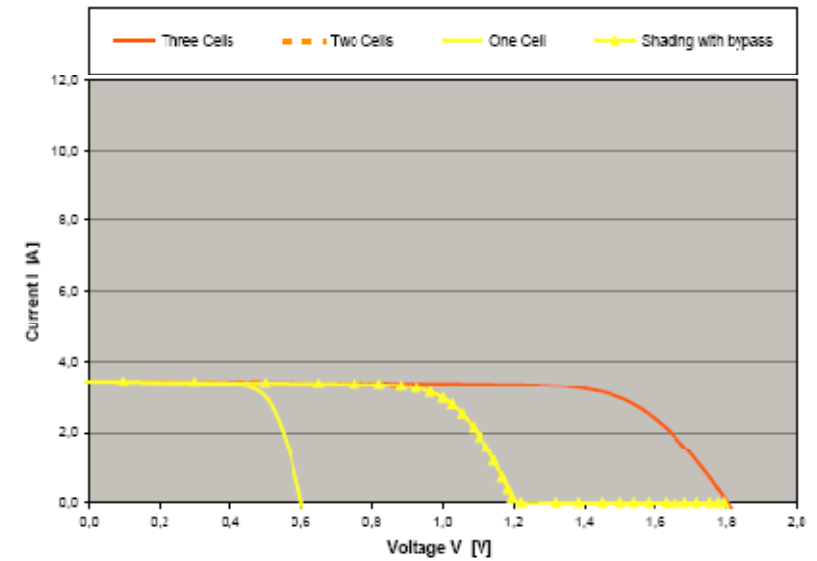
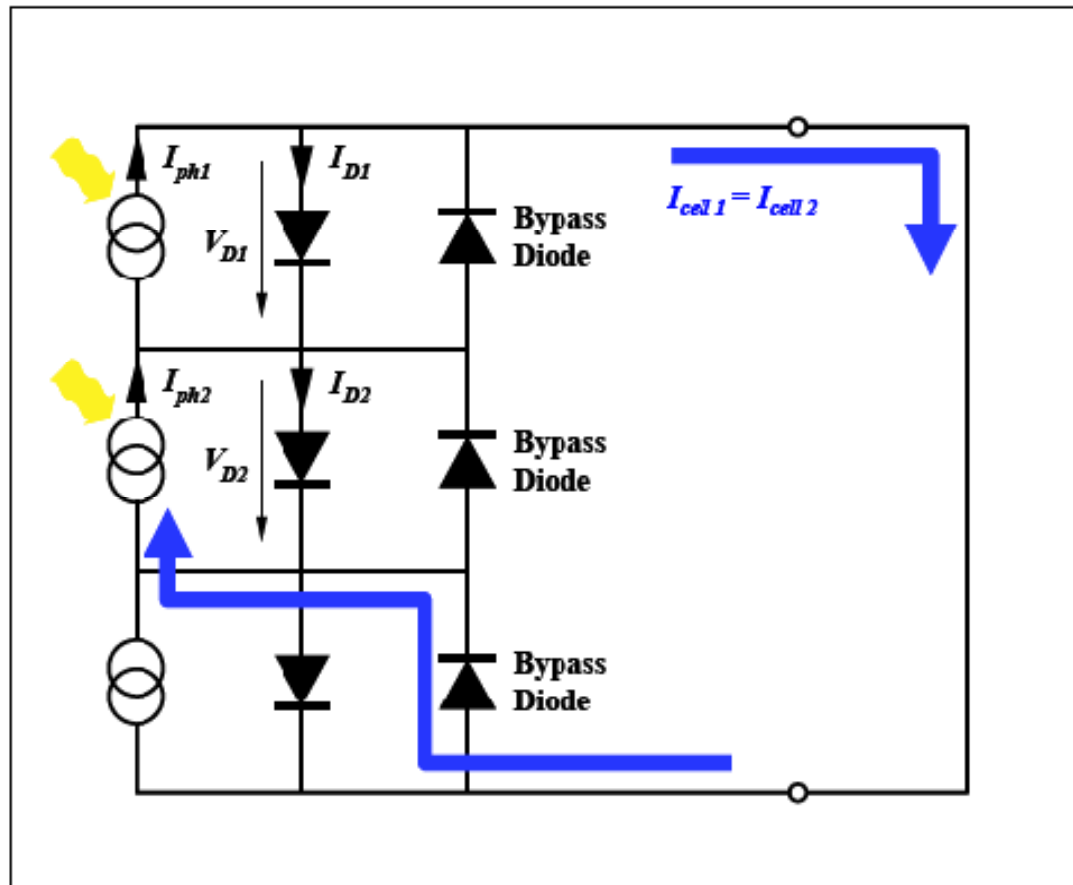
# Από τα ηλιακά κελιά στα ηλιακά πάνελ



20/5/2011

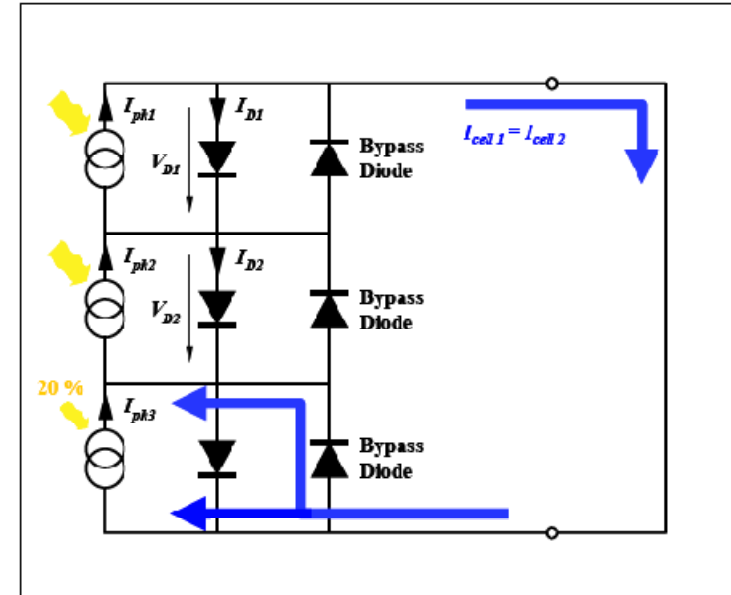
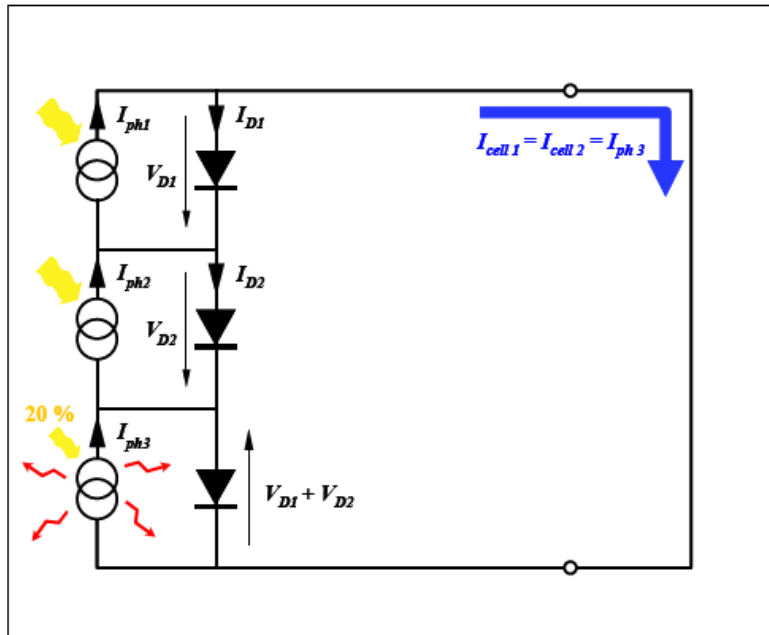
Ημερίδα ΤΕΕ

# Η επίδραση της σκίασης

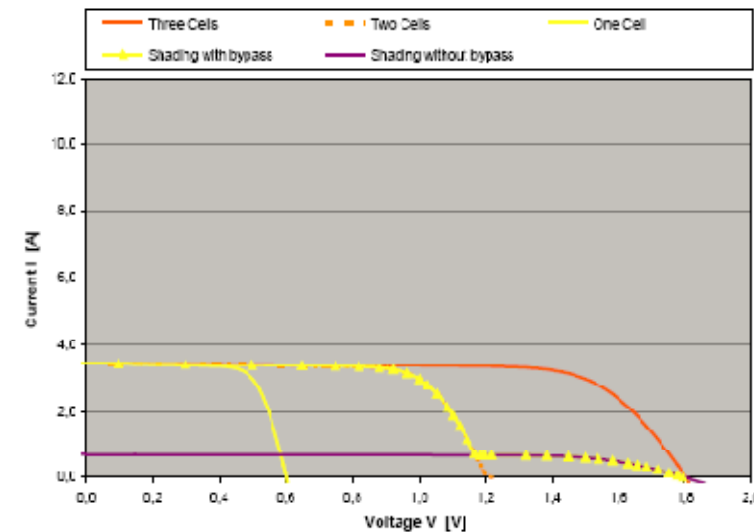


Πλήρης σκίαση κελιού

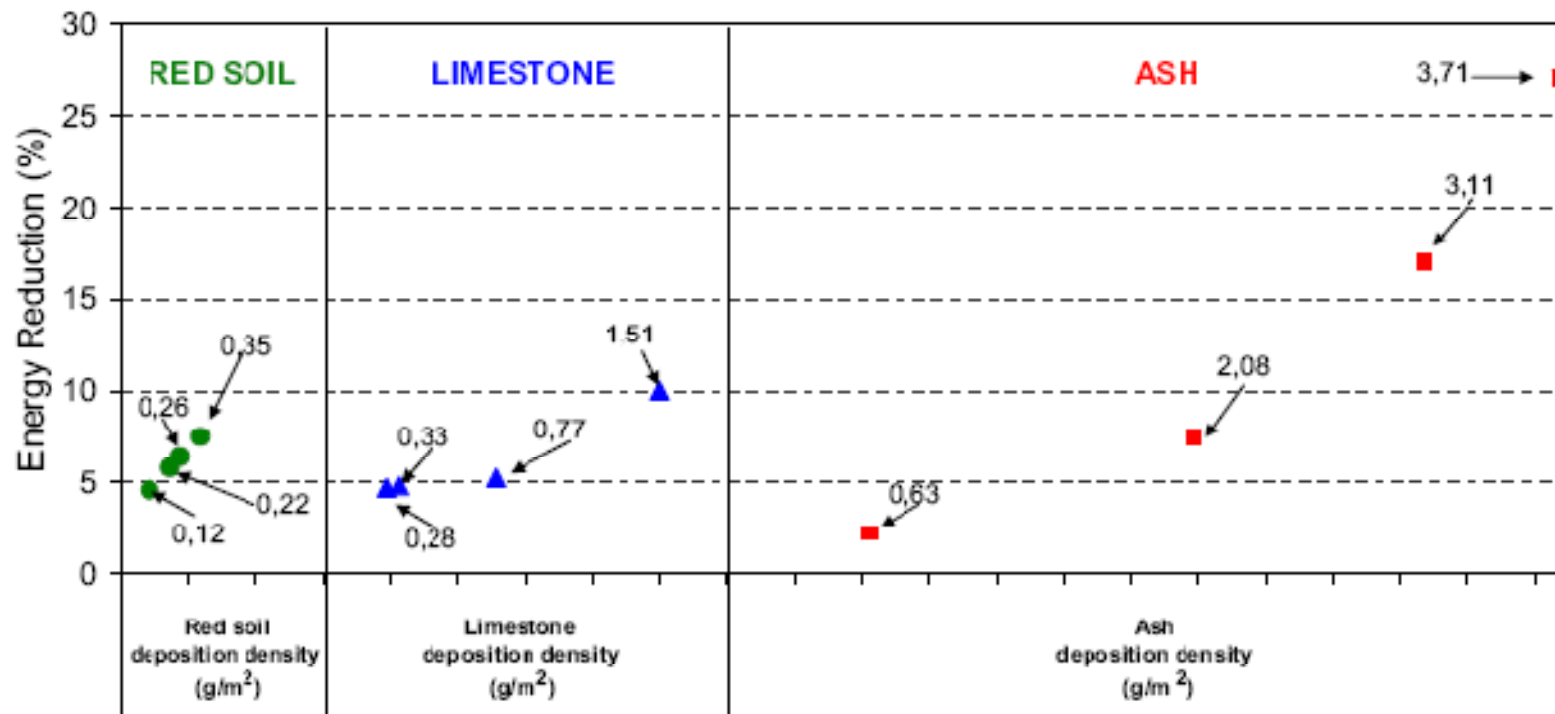
# Η επίδραση της σκίασης



Μερική σκίαση κελιού



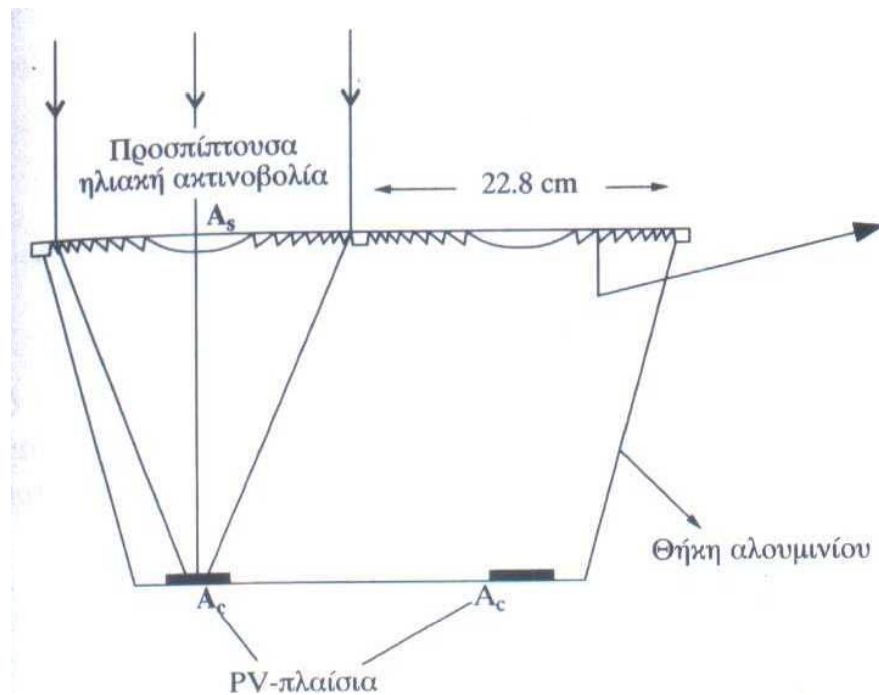
# Η επίδραση...της σκόνης (\*)



(\*) Πηγή: J.K.Kaldellis et al. "Systematic experimental study of the pollution deposition impact on the energy yield of photovoltaic installations",2011

# Τεχνητή επαύξηση της έντασης ακτινοβολίας

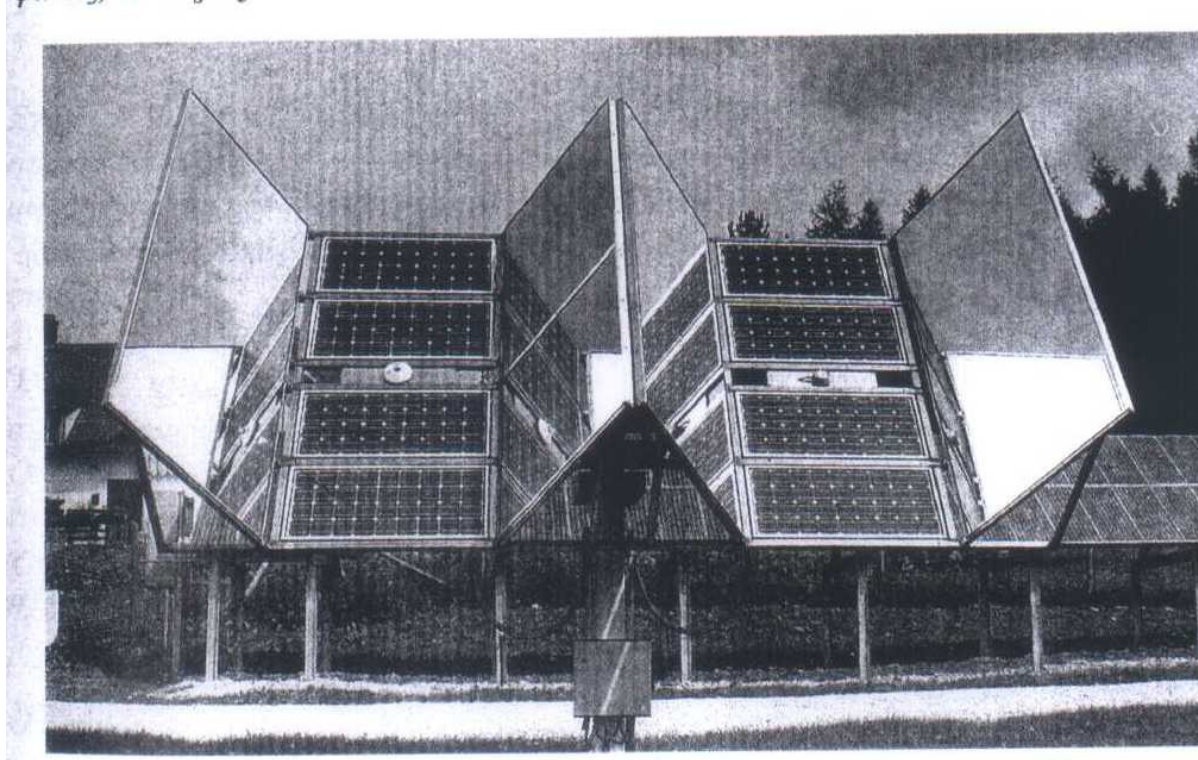
Φακοί Fresnel (επιμήκεις ή κυκλικοί) (\*)



(\*) Πηγή: Σ.Ν. Καπλάνης, «Μηχανική των Φωτοβολταϊκών Συστημάτων»



# Τεχνητή επαύξηση της έντασης ακτινοβολίας



Πηγή: Σ.Ν. Καπλάνης, «Μηχανική των Φωτοβολταϊκών Συστημάτων»

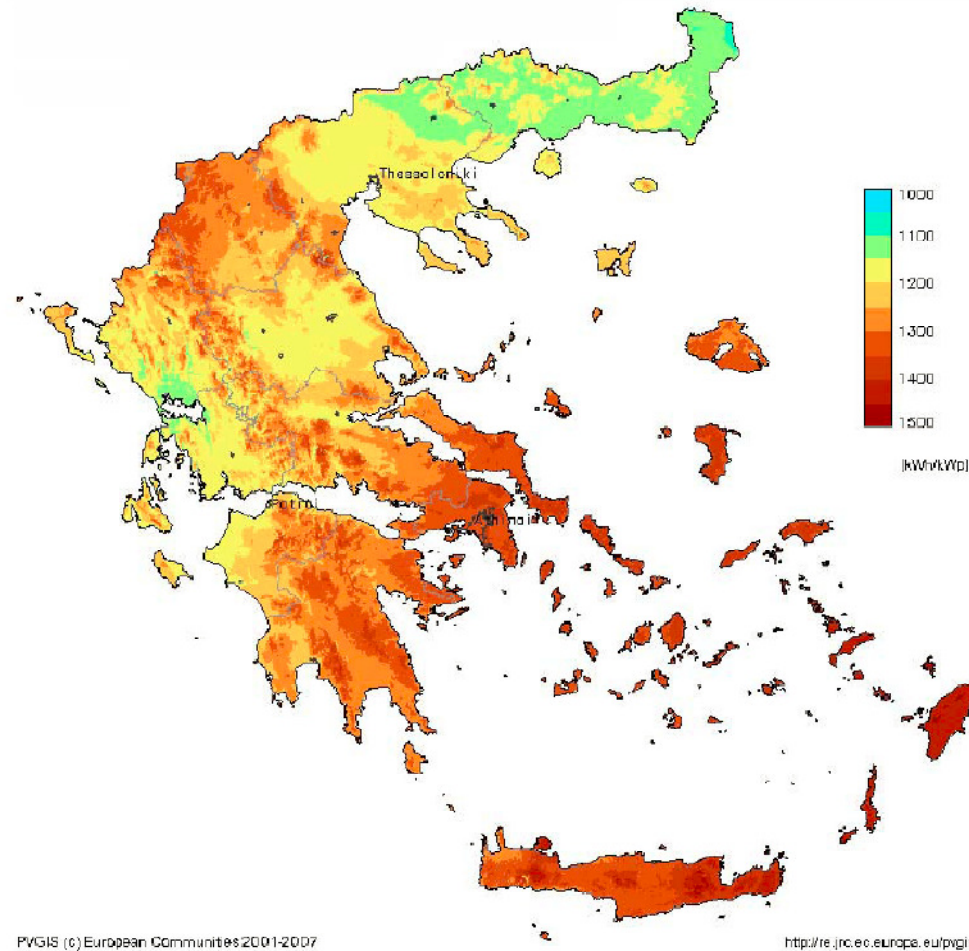


## Άλλοι τύποι πάνελ

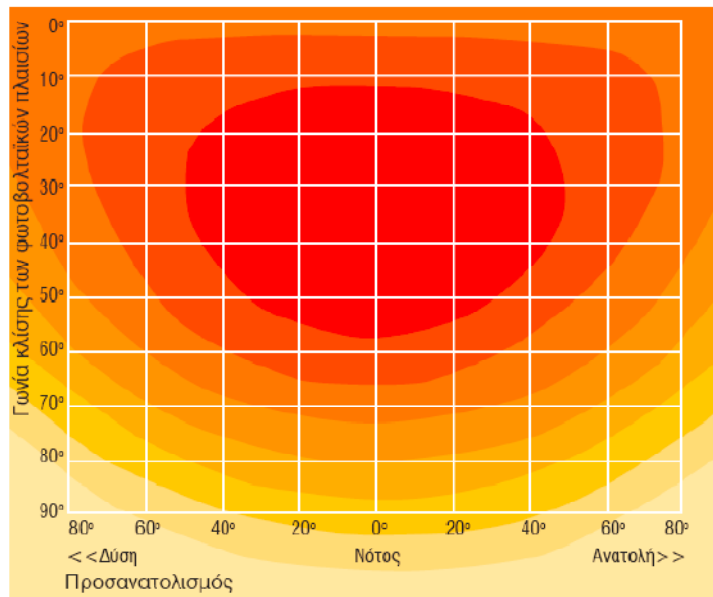
---

- Πάνελ δύο όψεων (bifacial): παραγωγή ενέργειας και από την πίσω πλευρά του πάνελ.
- Πάνελ συνδυασμού με θερμικές εφαρμογές (PVT)

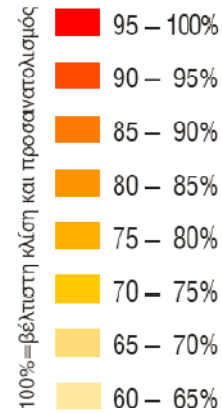
# Χωροθέτηση πάνελ



# Χωροθέτηση πάνελ



Απόδοση ανάλογα με την κλίση και τον προσανατολισμό



Προσανατολισμός	Κλίση ως προς το οριζόντιο επίπεδο		
	0 °	30 °	90 °
Ανατολικός - Δυτικός	90	85	50
Νοτιοανατολικός- Νοτιοδυτικός	90	95	60
Νότιος	90	100	60
Βορειοανατολικός- Βορειοδυτικός	90	67	30
Βόρειος	90	60	20

Πηγή: ΣΕΦ

# Συστήματα ιχνηλάτησης της πορείας του ήλιου (tracker)



Διάταξη μονού άξονα



Διάταξη διπλού άξονα





# Σημαντικοί παράγοντες

---

- Αυξημένο κόστος – απαιτήσεις επιφάνειας
- Στατική επάρκεια
- Αντοχή σε ανεμοπιέσεις
- Κατανάλωση ενέργειας
- Συντήρηση (after sales support)
- Αντικεραυνική προστασία
- Ευκολία επέμβασης (για αλλαγή πάνελ, καθαρισμό κτλ).



# Αντιστροφείς (Inverters)

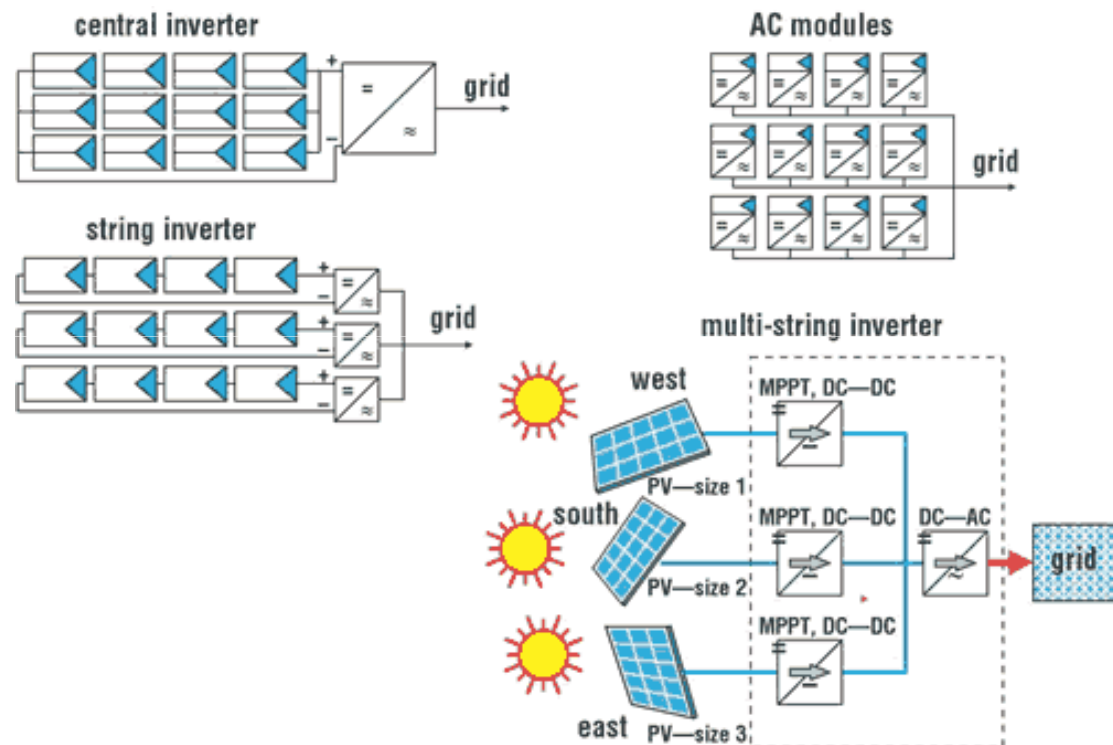
---

- Βασικές Κατηγορίες:
  - Μονοφασικοί – Τριφασικοί
  - Με μετασχηματιστή – χωρίς μετασχηματιστή (TL)



# Τύποι αντιστροφών

- Κεντρικοί αντιστροφείς (Central Inverters)
- Αντιστροφείς κλάδων (string inverters)
- Αντιστροφείς πολλαπλών κλάδων (multi-string inverters)
- Αντιστροφείς με ενσωμάτωση σε πάνελ (module integrated, micro inverters)



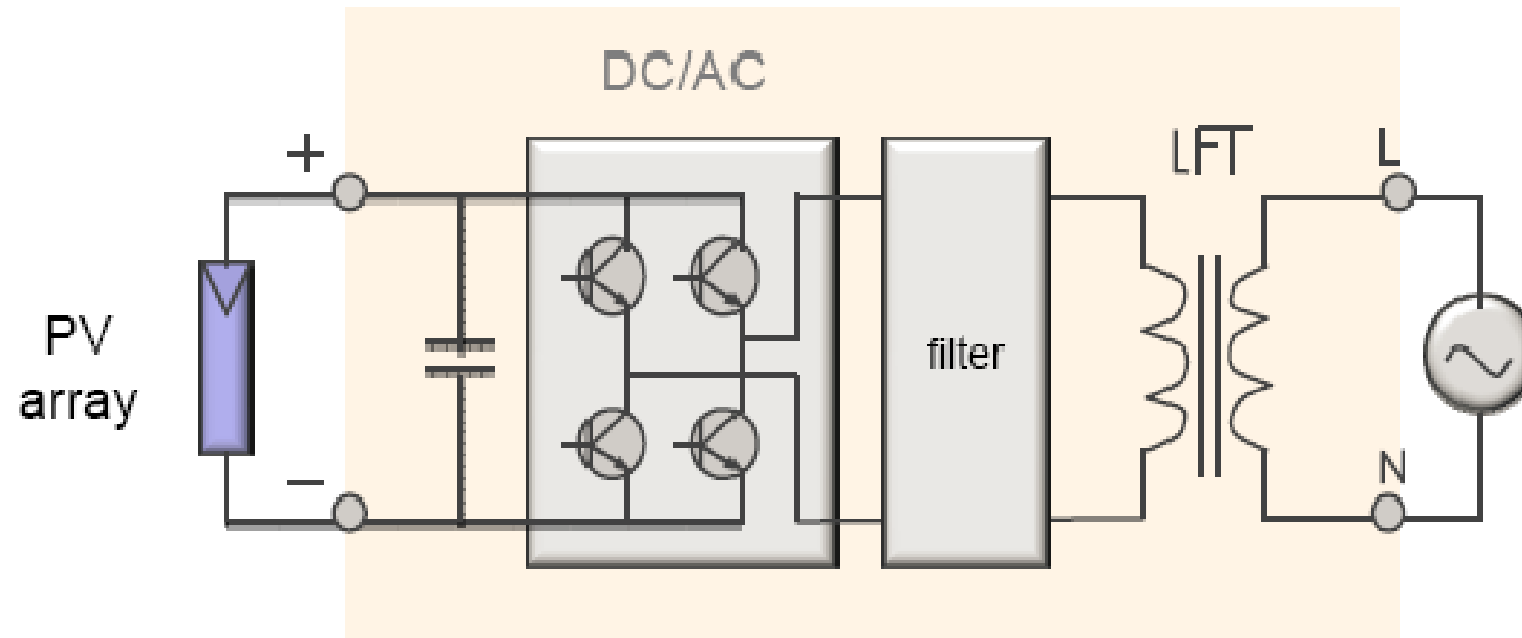
# Micro inverters



# Αντιστροφείς με/χωρίς Μ/Σ

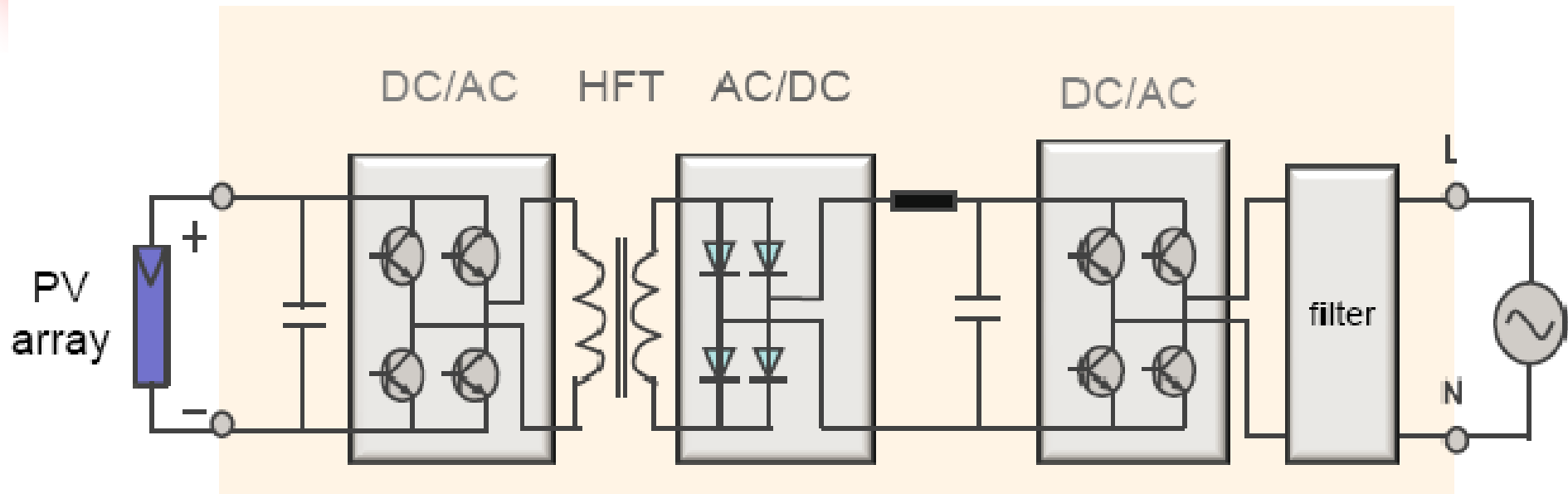
	<b>Αντιστροφείς με μετασχηματιστή (with transformer)</b>	<b>Αντιστροφείς χωρίς μετασχηματιστή (transformerless-TL)</b>
<b>Χαρακτηριστικά</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Οι τάσεις εισόδου και εξόδου είναι γαλβανικά απομονωμένες</li> <li>- Ευρεία χρήση</li> <li>- Κυρίως χρήση σε υψηλότερα επίπεδα ισχύος</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Η τάση των Φ/Β πάνελ πρέπει είτε να είναι σημαντικά υψηλότερη από το πλάτος της τάσης δικτύου, ή να χρησιμοποιηθούν DC/DC μετατροπείς ανύψωσης</li> </ul>
<b>Πλεονεκτήματα</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Ασφάλεια</li> <li>- Πολλά χρόνια λειτουργίας</li> <li>- Μείωση ηλεκτρομαγνητικών παρεμβολών</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Μεγαλύτερη απόδοση (σε συσκευές χωρίς DC/DC μετατροπείς</li> <li>- Μικρότερος όγκος και βάρος</li> </ul>
<b>Μειονεκτήματα</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Απώλειες μετασχηματιστή (μαγνητικές και ωμικές)</li> <li>- Αυξημένος όγκος και βάρος</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Μεγαλύτερες απαιτήσεις ασφάλειας</li> <li>- Μεγαλύτερη ευαισθησία σε ασυμμετρίες</li> <li>- Μεταβολές του σημείου λειτουργίας</li> </ul>

# Τοπολογίες (μονοφασικών) αντιστροφών



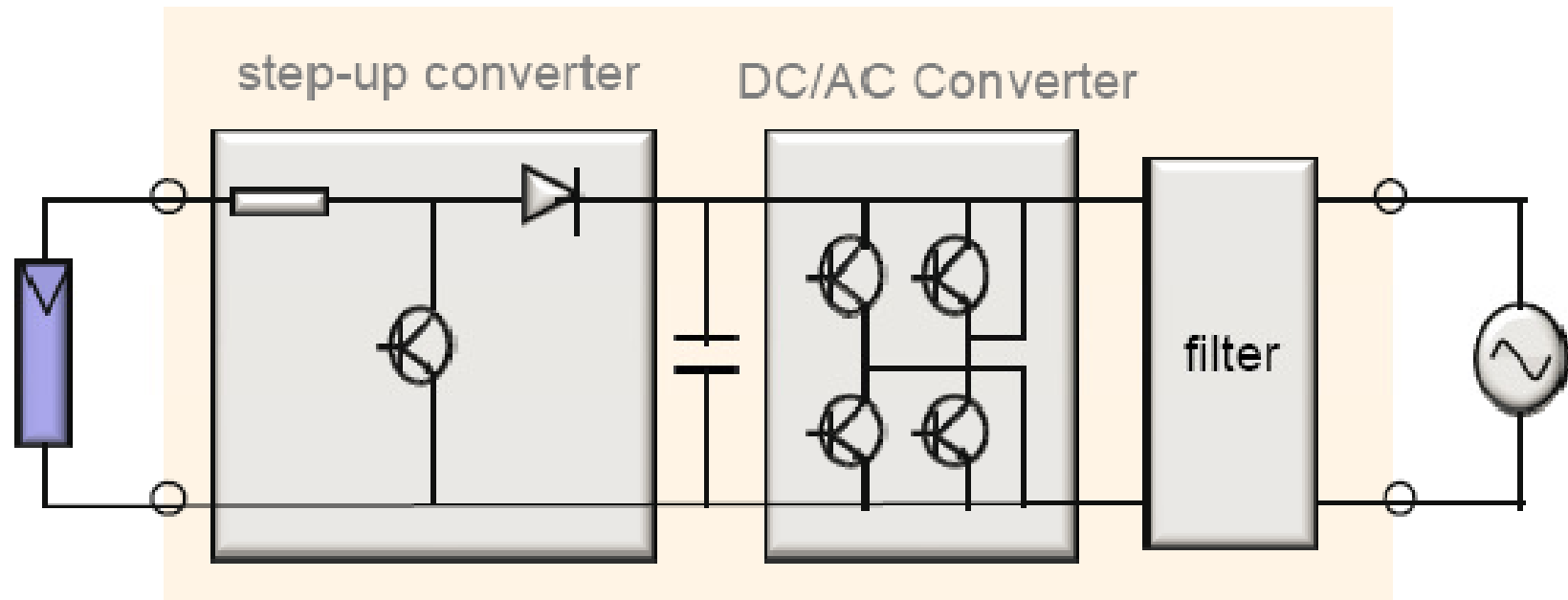
- Τοπολογία με Μ/Σ χαμηλής συχνότητας

# Τοπολογίες (μονοφασικών) αντιστροφών



- Τοπολογία με Μ/Σ υψηλής συχνότητας

# Τοπολογίες (μονοφασικών) αντιστροφών



- Τοπολογία χωρίς Μ/Σ

# Σημαντικοί παράγοντες

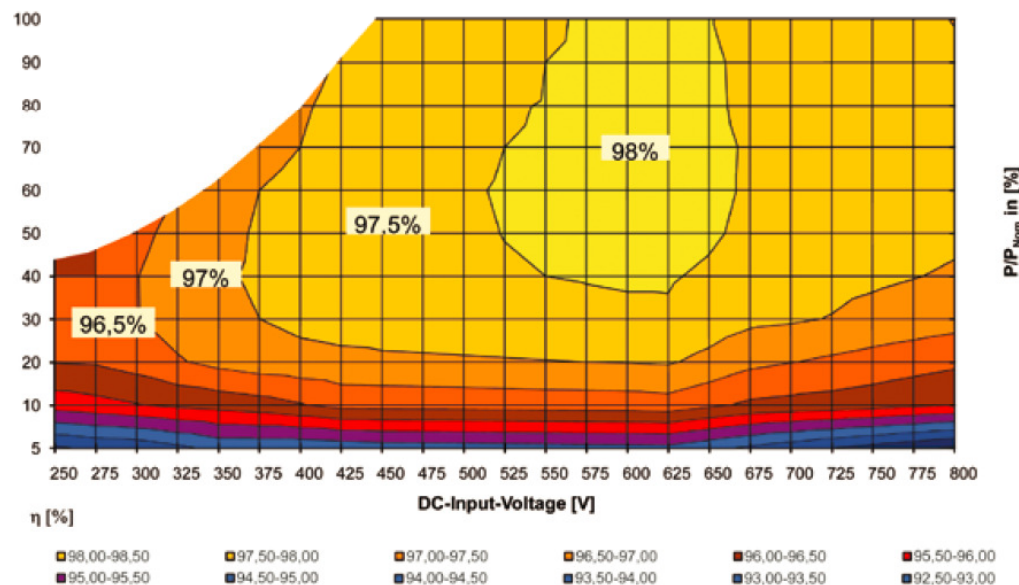
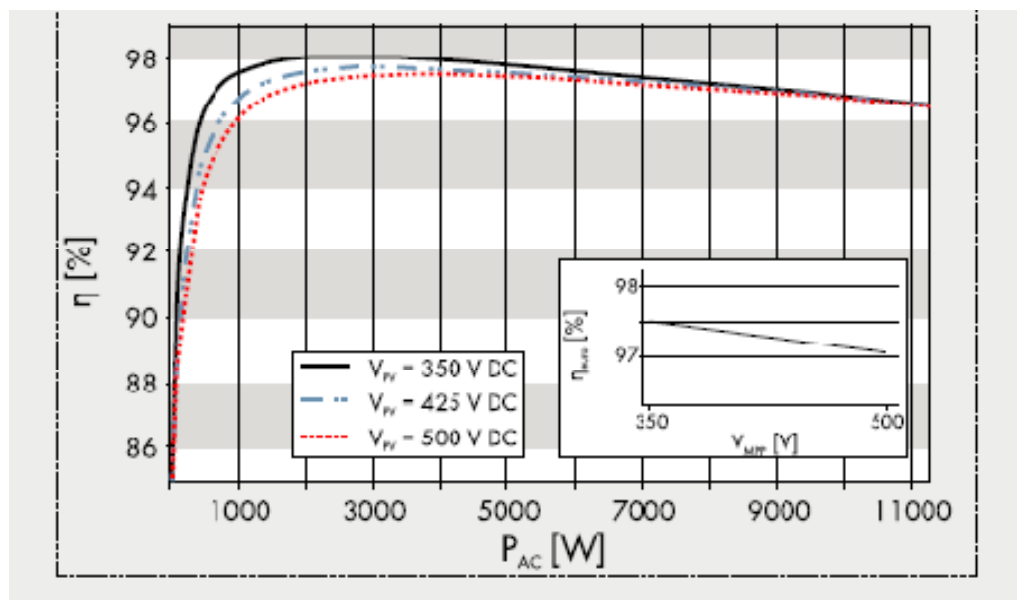
- Συμμόρφωση με τις προδιαγραφές ΔΕΗ (όρια τάσης/συχνότητας, αρμονικές, έγχυση DC ρεύματος, νησιδοποίηση)
- Βαθμός απόδοσης: ο μέγιστος βαθμός απόδοσης αντιστοιχεί σε ένα μόνο σημείο λειτουργίας!
- Βαθμός απόδοσης παρακολούθησης μέγιστου σημείου λειτουργίας (MPPT)

$$\eta_{MPPT} = \frac{\int_0^t P_{DC}(t) dt}{\int_0^t P_{MAX}(t) dt}$$



# Βαθμός απόδοσης

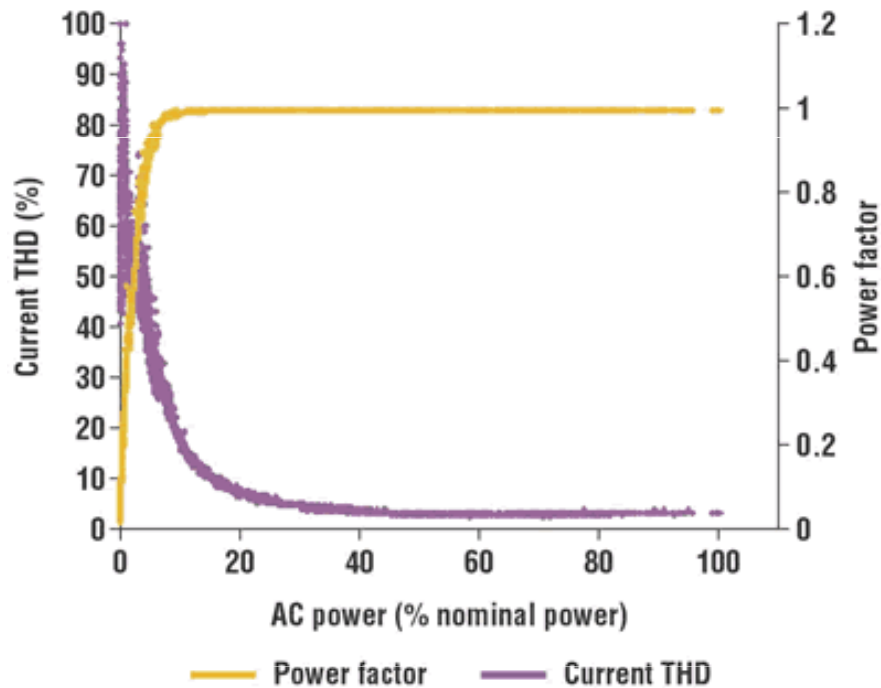
## ■ Καμπύλη βαθμού απόδοσης:



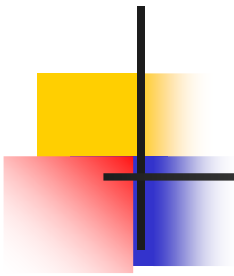
Ευρωπαϊκός βαθμός απόδοσης:

$$\eta = 0.03\eta(5\%) + 0.06\eta(10\%) + 0.13\eta(20\%) + 0.1\eta(30\%) + 0.48\eta(50\%) + 0.2\eta(100\%)$$

# Συντελεστής ισχύος - αρμονικές



- Στη Γερμανία οι αντιστροφείς που τροφοδοτούν ενέργεια στο δίκτυο MT θα πρέπει να είναι σε θέση να λειτουργούν και σε μη μοναδιαίο συντελεστή ισχύος για υποστήριξη του δικτύου.



***Σας ευχαριστώ για την προσοχή σας  
fstergio@autom.teithe.gr***