

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΠΕΙΡΑΙΑ  
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ  
ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΙΑΣ

### ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

<<Πλήρης Τεχνοοικονομική Μελέτη Διασυνδεδεμένου Φωτοβολταϊκού Σταθμού Παράγωγης Ηλεκτρικής Ενέργειας 400KW Σε Συγκεκριμένη Περιοχή>>



Όλσι Κυριάζη & Νταή Φλωριάν

Επιβλέπων: Πάχος Παύλος, Καθηγητής Εφαρμογών

Αθήνα 2012

## Περίληψη

Στην παρούσα εργασία γίνεται τεχνικο-οικονομική μελέτη ενός διασυνδεδεμένου φωτοβολταϊκού σταθμού 400KW με την ΔΕΗ. Η μελέτη έγινε για 2 διαφορετικές τοπολογίες, μία με string 3φ αντιστροφείς των 17KW και η άλλη τοπολογία με κεντρικό αντιστροφήα των 400KW ενσωματωμένο σε οικίσκο μαζί με Μ/Σ για τροφοδοσία κατευθείαν στη Μέση Τάση.

## Περιεχόμενα

### **Κεφάλαιο 1**

<b>1.1</b> Εισαγωγή .....	σελ. 2
<b>1.2</b> Ηλιακή ακτινοβολία .....	σελ. 4
<b>1.3</b> Ηλιακή Ενέργεια .....	σελ. 5
<b>1.4</b> Ηλιακή Γεωμετρία .....	σελ. 6
<b>1.5</b> Προσανατολισμός του Συλλέκτη .....	σελ. 9
<b>1.6</b> Πρακτικοί κανόνες για την συλλογή της μέγιστης ηλιακής ακτινοβολίας..	σελ. 11
<b>1.7</b> Το φωτοβολταϊκό φαινόμενο .....	σελ. 16
1.7.1 Χαρακτηριστικά ημιαγωγών.....	σελ. 17
<b>1.8</b> Λειτουργία φωτοβολταϊκού στοιχείου .....	σελ. 20
<b>1.9</b> Τεχνολογίες φωτοβολταϊκών στοιχείων .....	σελ. 22
<b>1.10</b> Ισοδύναμο ηλεκτρικό κύκλωμα μιας φωτοβολταϊκής κυψέλης & χαρακτηριστικές του .....	σελ. 28

### **Κεφάλαιο 2 : Διασυνδεδεμένο Φωτοβολταϊκό Σύστημα 400KW**

<b>2.1</b> Εισαγωγή .....	σελ. 33
<b>2.2</b> Τα σημαντικότερα στοιχεία που αποτελούν την γεννήτρια του φωτοβολταϊκού συστήματος .....	σελ. 33
<b>2.2.1</b> Φωτοβολταϊκά πλαίσια .....	σελ. 33
<b>2.2.2</b> Βάσεις στηρίξεις .....	σελ. 39
<b>2.2.3</b> DC πινάκες & Συσκευές παραλληλισμού στοιχειοσειρών.....	σελ. 45
<b>2.2.4</b> Αντιστροφείς (dc/ac) (inverter) .....	σελ. 49

### **Κεφάλαιο 3 : Σχεδίαση διασυνδεδεμένου Φ/β συστήματος με SMA SMC 11000 TL & Sunny Central SC 400MV-11**

<b>3.1</b> Εισαγωγή .....	σελ. 56
<b>3.2</b> Σχεδίαση διασυνδεδεμένου φ/β συστήματος με STP 17000TL.....	σελ. 57
<b>3.2.1</b> Τοποθέτηση των Φ/Β συλλεκτών με βέλτιστη κλίση και την κατάλληλη απόσταση μεταξύ των συστοιχιών.....	σελ. 61
<b>3.2.2</b> Συστοιχίες.....	σελ. 65
<b>3.3</b> Σχεδίαση διασυνδεδεμένου Φ/Β συστήματος με SMA Sunny Central SC 400MV-11 .....	σελ. 68
<b>3.3.1</b> Συστοιχίες .....	σελ. 75

### **Κεφάλαιο 4: Ηλεκτρολογική Μελέτη Φ/Β Συστήματος με Μικρούς Αντιστροφείς (STP 17000TL-10)**

<b>4.1</b> Εισαγωγή .....	σελ. 81
<b>4.2</b> Γενική περιγραφή της τοπολογίας.....	σελ. 82
<b>4.3</b> Καλωδίωση Φ/Β πλαισίων .....	σελ. 84
4.3.1 Όδευση καλωδίων – απαιτούμενο μήκος καλωδίων DC.....	σελ. 84
4.3.2 Τύπος καλωδίου .....	σελ. 86
4.3.3 Πτώση τάσης και απώλειες ισχύος στο καλώδιο DC .....	σελ. 87
4.3.4 Μέγιστη επιτρεπόμενη διαρκής φόρτιση καλωδίου DC .....	σελ. 88
<b>4.4</b> Προστασία στη DC πλευρά πριν τον αντιστροφέα .....	σελ. 89
4.4.1 Υλικά που περιλαμβάνει ο dc πίνακας .....	σελ. 91
<b>4.5</b> Σύστημα επιτήρησης δικτύου.....	σελ. 93
<b>4.6</b> Διασύνδεση αντιστροφέων σε πίνακα Χαμηλής Τάσης .....	σελ. 93
<b>4.7</b> Πίνακες Χαμηλής Τάσης .....	σελ. 96
<b>4.8</b> Σύνδεση πινάκων AC X.T με το γενικό πίνακα X.T στο Y/Σ .....	σελ. 98

ανύψωσης.....	
<b>4.9 Υ/Σ Ανύψωσης 0,4/20KV (οικίσκος ΜΤ/ΧΤ).....</b>	<b>σελ.101</b>
4.9.1 Τεχνική περιγραφή.....	σελ.101
4.9.2 Μ/Σ Ελαίου 0.4/20KV .....	σελ.107
4.9.3 Διαμέρισμα Χαμηλής Τάσης .....	σελ.109
4.9.4 Διαμέρισμα Μέσης Τάσης.....	σελ.110
4.9.5 Γενικά στοιχεία για τα πεδία τύπου SM6.....	σελ.113
<b>4.10 Διασύνδεση του Υ/Σ ανύψωσης με το δίκτυο Μέσης Τάσης.....</b>	<b>σελ.116</b>

## **Κεφάλαιο 5: Ηλεκτρολογική Μελέτη Φ/Β Συστήματος με Κεντρικό Αντιστροφέα 400kW (SC 400MV)**

<b>5.1</b> Εισαγωγή .....	<b>σελ.119</b>
<b>5.2</b> Γενική περιγραφή της τοπολογίας.....	<b>σελ.120</b>
<b>5.3</b> Καλωδίωση Φ/Β πλαισίων με τις διάταξης παραλληλισμού.....	<b>σελ.121</b>
5.3.1 Όδευση καλωδίων – απαιτούμενο μήκος καλωδίων DC.....	σελ.121
5.3.2 Τύπος καλωδίου .....	σελ.122
5.3.3 Πτώση τάσης και απώλειες ισχύος στο καλώδιο DC .....	σελ.123
5.3.4 Μέγιστη επιτρεπόμενη διαρκής φόρτιση καλωδίου DC .....	σελ.124
<b>5.4</b> Περιγραφή διάταξης παραλληλισμού (Sunny String Monitor SSM).....	<b>σελ.125</b>
<b>5.5</b> Καλωδίωση των διατάξεων παραλληλισμού με τους πίνακες DC .....	<b>σελ.127</b>
<b>5.6</b> Γενικοί πίνακες DC .....	<b>σελ.128</b>
<b>5.7</b> Καλωδίωση των πινάκων DC με τον αντιστροφέα.....	<b>σελ.129</b>
<b>5.8</b> Διασύνδεση αντιστροφέα Sunny Central 400MV-11 με το δίκτυο μέσης τάσης.....	<b>σελ.131</b>

## **Κεφάλαιο 6: Αντικεραυνική προστασία και γείωση Φ/Β πάρκου**

<b>6.1</b> Εισαγωγή .....	σελ.138
<b>6.2</b> Γείωση Φ/Β σταθμού .....	σελ.139
6.2.1 Προσδιορισμός ειδικής αντίστασης εδάφους .....	σελ.139
<b>6.3</b> Κατασκευή γείωσης στο Φ/Β πάρκο 400KW .....	σελ.141
<b>6.4</b> Αντικεραυνική προστασία .....	σελ.142
6.4.1 Πρότυπα Συστήματος Αντικεραυνικής Προστασίας .....	σελ.144
<b>6.5</b> Αντικεραυνική προστασία στο Φ/Β πάρκο 400KW.....	σελ.145
<b>6.6</b> Προστασία των ηλεκτρικών και ηλεκτρονικών συσκευών από κρουστικές υπερτάσεις στο Φ/Β πάρκο 400KW .....	σελ.147

## **Κεφάλαιο 7: Σύστημα επιτήρησης Φ/Β σταθμού**

<b>7.1</b> Εισαγωγή .....	σελ.151
<b>7.2</b> Περιγραφή της εγκατάστασης για Φ/Β σταθμό με τριφασικούς αντιστροφείς SMA STP 17000TL.....	σελ.152
<b>7.3</b> Περιγραφή της εγκατάστασης για Φ/Β σταθμό με κεντρικό αντιστροφέα των 400KW (SMA SC 400MV) .....	σελ.153
<b>7.4</b> Τηλεπιτήρηση και τηλεσυντήρηση .....	σελ.155

## **Κεφάλαιο 8: Αδειοδότηση Φωτοβολταϊκών Συστημάτων**

<b>8.1</b> Αδειοδότηση Φωτοβολταϊκών Συστημάτων .....	σελ.157
---	---------

8.2	Συστήματα ως 10 kWp σε στέγες κτιρίων .....	σελ.157
8.3	Οικιακοί Παραγωγοί .....	σελ.159
8.4	Μικρές Επιχειρήσεις .....	σελ.159
8.5	Φωτοβολταϊκά Συστήματα σε Βιομηχανικές Στέγες (>10kWp) .....	σελ.160
8.6	Φωτοβολταϊκά Συστήματα επί εδάφους.....	σελ.161
8.7	Παλιές Αιτήσεις (N.3468) .....	σελ.161
8.8	Γενικά Αδειοδοτικά.....	σελ.162
8.9	Περί κατασκευής Φωτοβολταϊκών Συστημάτων σε Γαίες Υψηλής Παραγωγικότητας.....	σελ.163
8.10	Περί Συμβάσεως Αγοραπωλησίας .....	σελ.164

## **Κεφάλαιο 9: Κόστος Φ/Β Σταθμού**

9.1	Εισαγωγή .....	σελ.167
9.2	Πίνακας κόστους κατασκευής Φ/Β σταθμού με τριφασικούς αντιστροφείς SMA STP 17000TL-10 των 17KW .....	σελ.168
9.3	Πίνακας κόστους κατασκευής Φ/Β σταθμού με κεντρικό αντιστροφή SMA SC 400MV των 400KW .....	σελ.175
9.4	Συμπεράσματα .....	σελ.180

## **Κεφάλαιο 10**

	Συμπεράσματα .....	σελ.183
	Βιβλιογραφία.....	σελ.185

# **Κεφάλαιο 1**



## 1.1 Εισαγωγή

### Γενικά

Στον τομέα της ενέργειας, τα πράγματα έχουν δυσκολέψει. Με τους ορυκτούς πόρους που χρησιμοποιούμε και με τον τρόπο που τους χρησιμοποιούμε, η όξινη βροχή, το νέφος των πόλεων, η υπερθέρμανση του πλανήτη, μαζί με τον επικίνδυνο περιορισμό των ενεργειακών πόρων, απειλούν ολόκληρη την ανθρωπότητα.

Οι αρνητικές επιπτώσεις που προκαλούν οι συμβατικές μορφές ενέργειας (πετρέλαιο, άνθρακας, λιγνίτης, φυσικό αέριο) στο περιβάλλον, έχουν στρέψει το ενδιαφέρον τόσο των επιστημόνων όσο και των κυβερνήσεων στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας.

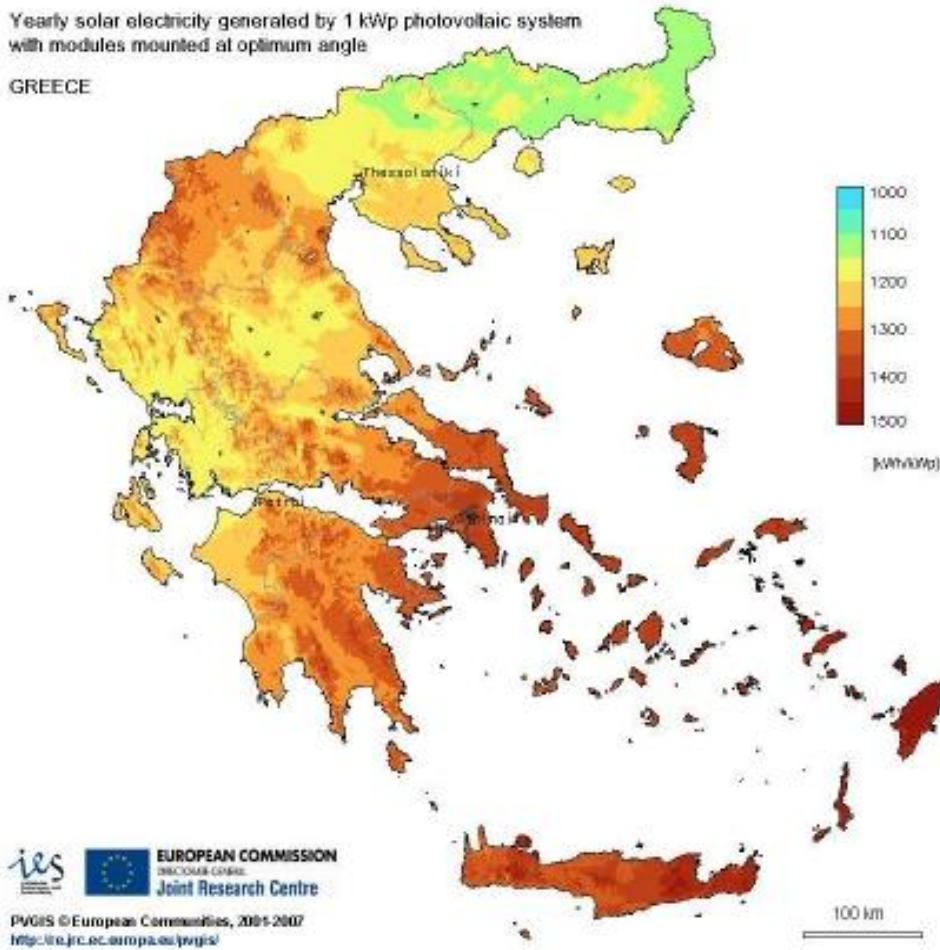
Μία εκ των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας είναι και τα φωτοβολταϊκά τα οποία μετατρέπουν απευθείας της ηλιακής ακτινοβολίας σε ηλεκτρικό ρεύμα με τη χρήση φωτοβολταϊκών (Φ/Β ) πλαισίων και θεωρούνται από τα πιο αβλαβή συστήματα παγκοσμίως, συμβάλλουν σοβαρά στη μείωση των εκπεμπόμενων ρύπων αφού όχι μόνον παρουσιάζουν μηδενικές εκπομπές ρύπων, αλλά και η ηλεκτρική ενέργεια που παράγουν αντικαθιστά ίση παραγόμενη ενέργεια από άλλες ρυπογόνες τεχνολογίες.

Επίσης, χρησιμοποιούν ως πηγή ενέργειας την ανεξάντλητη ηλιακή ακτινοβολία, συμβάλλοντας στην ενεργειακή ανεξάρτηση της χώρας από τις συμβατικές περιορισμένες πηγές ενέργειας.

Η Ελλάδα είναι μια από τις ιδανικότερες χώρες για την εξάπλωση των φωτοβολταϊκών συστημάτων λόγω παρουσιάζει έντονη ηλιοφάνεια κατά τη διάρκεια όλου του έτους.

Yearly solar electricity generated by 1 kWp photovoltaic system  
with modules mounted at optimum angle

GREECE



Για αυτούς τους λόγους η προώθηση της χρήσης Φ/Β συστημάτων στην ηλεκτροπαραγωγή, είναι πρωταρχικός στόχος τόσο της πολιτικής της χώρας μας, όσο και της Ευρωπαϊκής Ένωσης στον τομέα της Ενέργειας.

### Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα Φ/Β διατάξεων

Σε σχέση με τις υπόλοιπες μορφές ενέργειας, η μετατροπή της ηλιακής ενέργειας σε ηλεκτρική παρουσιάζει τα ακόλουθα πλεονεκτήματα:

- Παρουσιάζει μηδενική ρύπανση και επιβάρυνση του περιβάλλοντος
- Δεν χρησιμοποιούνται διατάξεις με περιστρεφόμενα μέρη κάτι που συνεπάγεται τηναθόρυβη λειτουργία, την αξιοπιστία και ελάχιστες ανάγκες συντήρησης
- Η διάρκεια ζωής των Φ/Β στοιχείων είναι μεγάλη (20 με 25 χρόνια)
- Υπάρχει δυνατότητα τόσο για αυτόνομη όσο και για διασυνδεδεμένη λειτουργία των Φ/Β σταθμών

- Τα Φ/Β στοιχεία μπορούν να χρησιμοποιηθούν ανάλογα με τις ανάγκες σε μεγάλο εύρος εφαρμογών, από μερικά Watt έως και δεκάδες MW

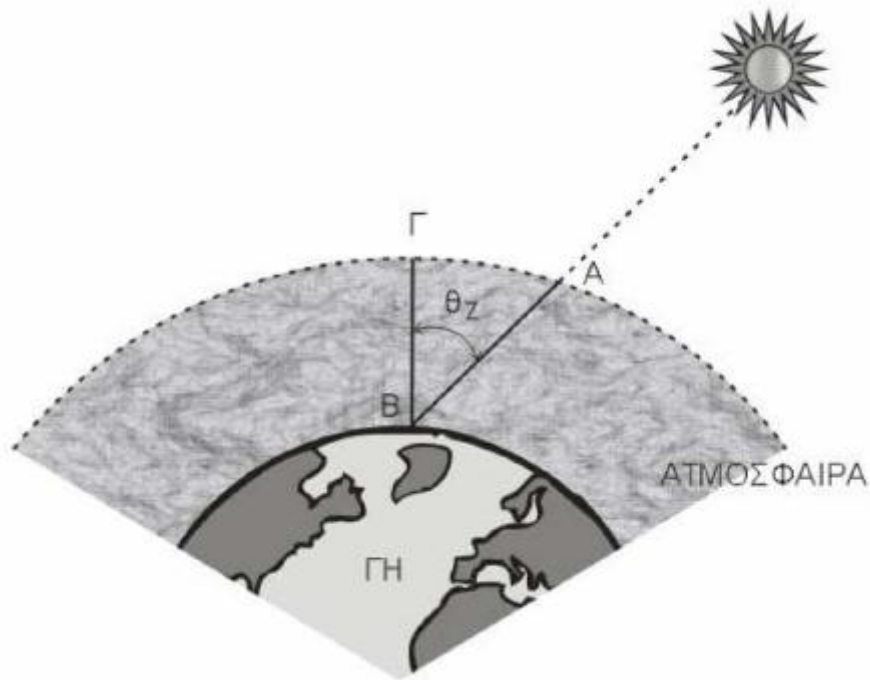
Παρόλα αυτά παρουσιάζουν και μειονεκτήματα όπως:

- Χαμηλή απόδοση μετατροπής για κοινά Φ/Β πλαίσια κάτι που σημαίνει ότι απαιτούνται μεγάλες εκτάσεις για την τοποθέτησή τους
- Ακριβός εξοπλισμός με αποτέλεσμα υψηλό αρχικό κόστος εγκατάστασης
- Η αποθήκευση της ηλεκτρικής ενέργειας γίνεται με μεγάλους συντελεστές απωλειών κάνοντάς την μη αποδοτική. Επιπλέον, οι συσσωρευτές αποθήκευσης έχουν μεγάλο κόστος.
- Η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας είναι άμεση συνδεδεμένη με τις παρούσες καιρικές συνθήκες, παράγοντας ο οποίος δεν μπορεί να προβλεφθεί με ακρίβεια.

## 1.2 Ηλιακή ακτινοβολία

Η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας που φθάνει στο έδαφος επηρεάζεται από το μήκος της ατμόσφαιρας που διαπερνά. Όσο μεγαλύτερη είναι αυτή η διαδρομή των ηλιακών ακτίνων στην ατμόσφαιρα τόσο μειωμένη είναι η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας. Η μεγαλύτερη διαδρομή της ηλιακής ακτινοβολίας για να φθάσει στην επιφάνεια της γης είναι νωρίς το πρωί και αργά το απόγευμα. Για την μείωση αυτή της ακτινοβολίας χρησιμοποιείται ο όρος της σχετικής μάζας του αέρα ή απλά όπως συνηθίζεται μάζα του αέρα. Μάζα του αέρα ( $m$ )\*, ορίζεται ο λόγος της μάζας της αερίου στήλης της διαδρομής των ηλιακών ακτίνων, για ανέφελο ουρανό, προς την αντίστοιχη μάζα για κατακόρυφο ήλιο (Σχήμα 1.2).

Όταν η ζενίθια γωνία του ήλιου δε έχει μεγάλες τιμές και αν δεν ληφθεί υπ' όψιν η καμπυλότητα της γης και η διάθλαση, που επηρεάζει ελαφρά το μήκος της πλάγιας διαδρομής AB, τότε το τόξο AB μπορεί να θεωρηθεί ευθύγραμμο τμήμα και κατά συνέπεια το τρίγωνο ABΓ ορθογώνιο. Οπότε ο λόγος των αντίστοιχων μαζών θα είναι και ο λόγος των διαδρομών AB προς ΒΓ και κατά συνέπεια η μάζα του αέρα ( $m$ ) θα εξαρτάται από τη ζενίθια γωνία του ήλιου  $\theta_Z$ , οπότε:



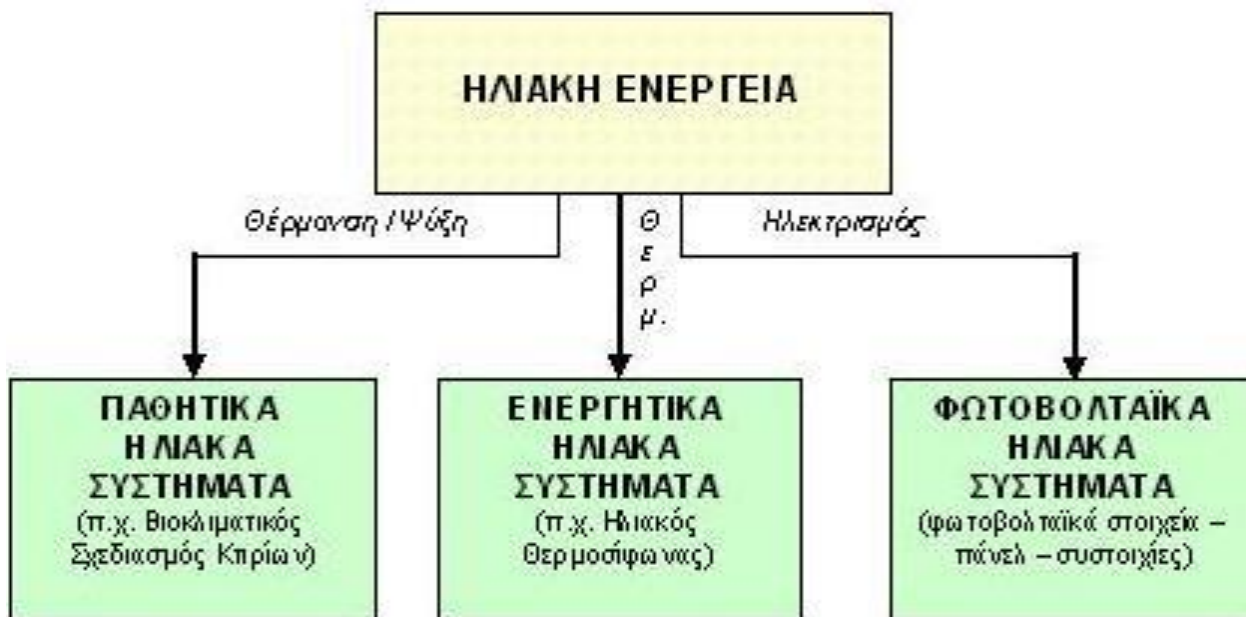
Σχήμα1.2

### 1.3 Ηλιακή Ενέργεια

**Ηλιακή ενέργεια** χαρακτηρίζεται το σύνολο των διαφόρων μορφών ενέργειας που προέρχονται από τον Ήλιο. Τέτοιες είναι το φως ή φωτεινή ενέργεια, η θερμότητα ή θερμική ενέργεια καθώς και διάφορες ακτινοβολίες ή ενέργεια ακτινοβολίας.

Η ηλιακή ενέργεια στο σύνολό της είναι πρακτικά ανεξάντλητη, αφού προέρχεται από τον ήλιο, και ως εκ τούτου δεν υπάρχουν περιορισμοί χώρου και χρόνου για την εκμετάλλευσή της.

Όσον αφορά την εκμετάλλευση της ηλιακής ενέργειας, θα μπορούσαμε να πούμε ότι χωρίζεται σε τρεις κατηγορίες εφαρμογών: τα παθητικά ηλιακά συστήματα, τα ενεργητικά ηλιακά συστήματα, και τα φωτοβολταϊκά συστήματα. Τα παθητικά και τα ενεργητικά ηλιακά συστήματα εκμεταλλεύονται τη θερμότητα που εκπέμπεται μέσω της ηλιακής ακτινοβολίας, ενώ τα φωτοβολταϊκά συστήματα στηρίζονται στη μετατροπή της ηλιακής ακτινοβολίας σε ηλεκτρικό ρεύμα μέσω του φωτοβολταϊκού φαινομένου.



## 1.4 Ηλιακή Γεωμετρία

Ο σημαντικότερος παράγοντας που διαμορφώνει την ισχύ της ηλιακής ακτινοβολίας είναι η θέση του ήλιου σε σχέση με το σημείο της γης που δέχεται την ακτινοβολία. Στο κεφάλαιο που ακολουθεί περιγράφονται οι βασικές αρχές ηλιακής γεωμετρίας.

### Ηλιακή σταθερά $G_{sc}$

Ως ηλιακή σταθερά ορίζεται η ροή της ηλιακής ακτινοβολίας που προσπίπτει σε μία μοναδιαία επιφάνεια κάθετη στις ακτίνες του ήλιου στο όριο της ατμόσφαιρας:

$$G_{sc} = 1353 \text{ W / m}^2 \quad (0.1)$$

Λόγω της μεταβολής της απόστασης ήλιου-γης κατά την διάρκεια του έτους χρησιμοποιείται η ακόλουθη σχέση για τον υπολογισμό της διαχρονικής μεταβολής της ηλιακής σταθερά

$$G_{on} = G_{sc} \left[ 1 + 0.0033 \cos \frac{360 \times n}{365} \right] \quad (0.2)$$

Όπου:

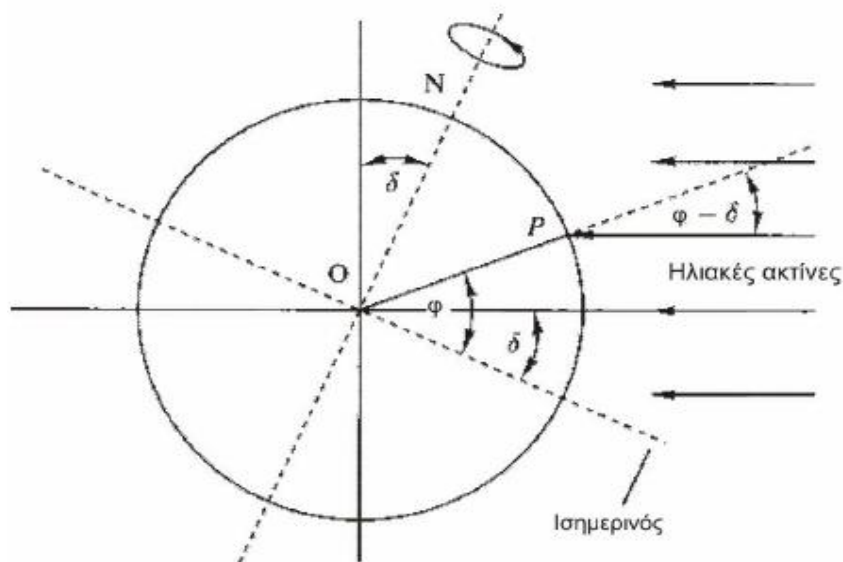
n οι ημέρες του έτους  $n=1,2,3,\dots,365$

$G_{on}$  η ακτινοβολία που δέχεται επίπεδο εκτός ατμόσφαιρας και κάθετο στις ακτίνες του ήλιου.

## Απόκλιση του ήλιου $\delta$

Κατά τη διάρκεια ενός έτους, η θέση του ήλιου παίρνει πολύ διαφορετικές τιμές σαν αποτέλεσμα της μεταβολής της απόκλισης ( $\delta$ ), δηλαδή της γωνίας που σχηματίζεται ανάμεσα στη ευθεία που ενώνει το κέντρο της γης με το κέντρο του ήλιου, και στο επίπεδο του ισημερινού (Σχ.1). Οι τιμές της απόκλισης του ήλιου είναι θετικές για το βόρειο ημισφαίριο και αρνητικές για το νότιο. Οι ακραίες τιμές είναι  $+23.450$  στις 21 Ιουνίου (θερινό ηλιοστάσιο για το βόρειο ημισφαίριο) και  $-23,450$  στις 21 Δεκεμβρίου (χειμερινό ηλιοστάσιο). Άμεση συνέπεια των διαφορετικών τιμών της απόκλισης του ήλιου κατά τη διάρκεια του έτους είναι οι κυκλικές τροχιές που διαγράφονται βορειότερα στο ουρανό το καλοκαίρι, με νωρίτερη ανατολή και αργότερη δύση στο βόρειο ημισφαίριο, ενώ το χειμώνα συμβαίνει το αντίθετο. Παράλληλα διαμορφώνονται οι αντίστοιχες μετεωρολογικές και κλιματολογικές συνθήκες που επικρατούν σε διάφορες εποχές του έτους.

Ιδιαίτερα χρήσιμα μεγέθη για τη γενική εκτίμηση της καθημερινής και της εποχιακής διακύμανσης της ακτινοβολίας σε ένα τόπο, είναι η θεωρητική ηλιοφάνεια, δηλαδή το χρονικό διάστημα από την ανατολή μέχρι τη δύση του ήλιου, καθώς και η μέση πραγματική ηλιοφάνεια που δείχνει το μέσο όρο των ωρών που ο ήλιος δεν καλύπτεται από σύννεφα. Επίσης, ο αριθμός των ημερών με ηλιοφάνεια, στη διάρκεια των οποίων ο ήλιος δεν καλύπτεται από σύννεφα, καθώς και των ανήλιων ημερών, που ο ήλιος καλύπτεται από σύννεφα σε ολόκληρο το διάστημα της ημέρας.



Σχ.1. Η απόκλιση του Ήλιου

Η απόκλιση του ήλιου δίνεται από την εξίσωση:

$$\delta = 23.45 \sin\left(\frac{360(284+n)}{365}\right) \quad (0.3)$$

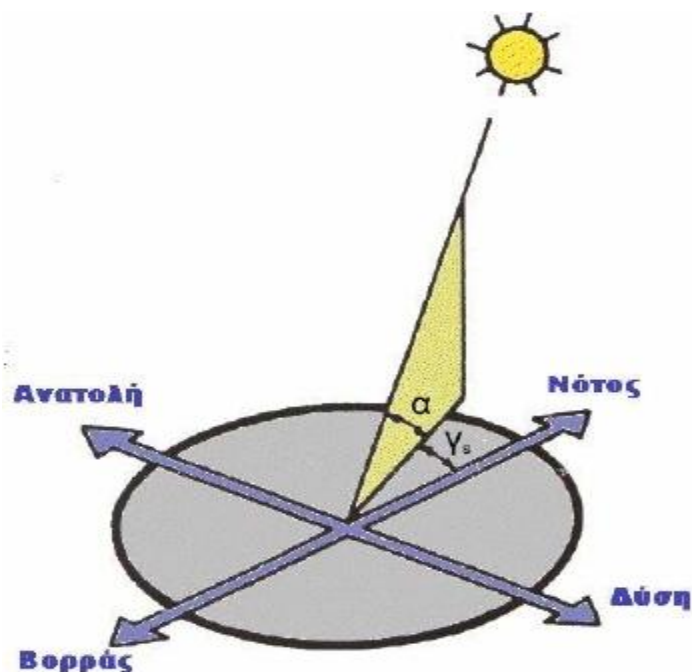
### Ύψος και αζιμούθιο ήλιου

Η θέση του ήλιου στον ουρανό ενός τόπου περιγράφεται συνήθως με δύο γωνίες : το ύψος του ήλιου ( $\alpha$ ) και το αζιμούθιο του ήλιου ( $\gamma$ ). Το ύψος του ήλιου ( $\alpha$ ) είναι η γωνία που σχηματίζεται ανάμεσα στην κατεύθυνση του ήλιου και στον ορίζοντα (Σχ.2). Αζιμούθιο  $\gamma$  είναι η γωνία που σχηματίζεται πάνω στο οριζόντιο επίπεδο ανάμεσα στη προβολή της κατεύθυνσης του ήλιου και στον τοπικό μεσημβρινό βορρά - νότου. Προς τα δεξιά από τον νότο, το ηλιακό αζιμούθιο παίρνει θετικές τιμές, και προς τα αριστερά αρνητικές τιμές. Κατά την διάρκεια της ημέρας, το ύψος του ήλιου και το αζιμούθιο μεταβάλλονται συνεχώς καθώς ο ήλιος διατρέχει τον ουρανό. Το αζιμούθιο είναι:

Για νότιο προσανατολισμό  $\gamma=0$

Για γωνίες δυτικά από το νότο παίρνει θετικές τιμές.

Για γωνίες ανατολικά από το νότο παίρνει αρνητικές τιμές



Σχ.2. Το ύψος ( $\alpha$ ) και το αζιμούθιο του ήλιου ( $\gamma$ )

## Ζενιθιακή γωνία του ήλιου

Αντί για το ύψος, χρησιμοποιείται επίσης συχνά η συμπληρωματική του γωνία, δηλαδή η γωνία ανάμεσα στην κατεύθυνση του ήλιου και στην κατακόρυφο, που ονομάζεται ζενιθιακή απόσταση (ή ζενιθιακή γωνία) του ήλιου ( $\theta_z$ ). Ζενίθ είναι το σημείο του ουρανού που συναντά η κατακόρυφος ενός τόπου, και ο όρος προέρχεται από την αραβική λέξη **Senit** που σημαίνει ευθεία οδός.

## Ωριαία γωνία του ήλιου

ορίζεται ως ωριαία γωνία ( $\omega$ ) του ήλιου η γωνιακή απόσταση του ηλίου από την ηλιακή μεσημβρία λόγω περιστροφής της γης περί τον άξονά της. Στην ηλιακή μεσημβρία  $\omega=0^\circ$  ενώ κάθε ώρα η  $\omega$  μεταβάλλεται κατά  $15^\circ$ . Τις πρωινές ώρες η  $\omega$  είναι θετική (+) και κατά τις απογευματινές γίνεται αρνητική (-).

## 1.5 Προσανατολισμός του συλλέκτη

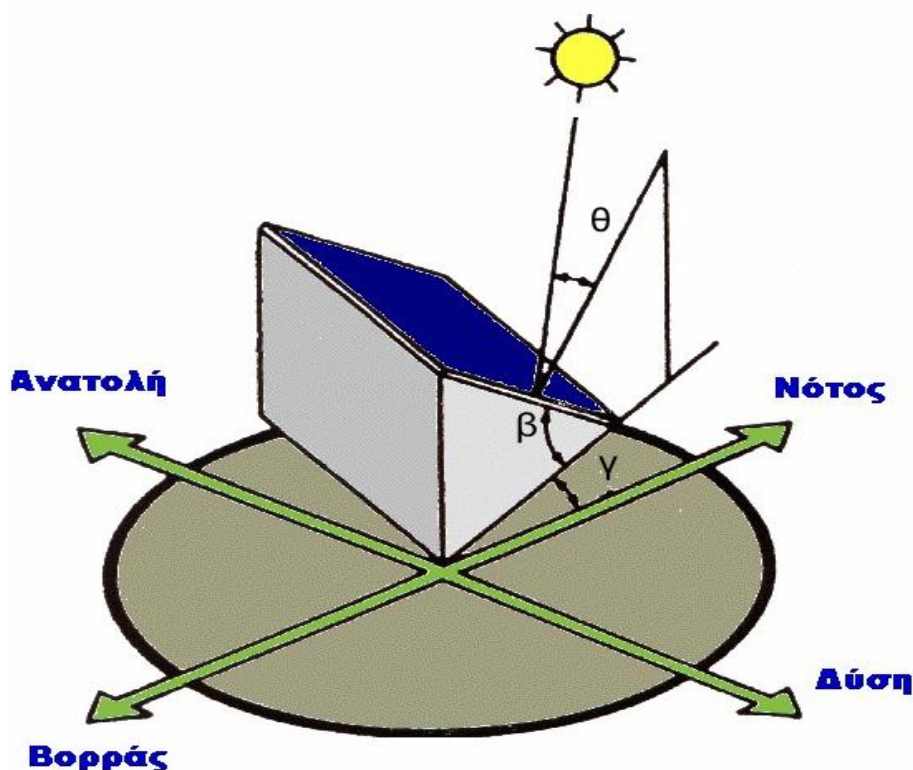
Ένα από τα σημαντικότερα στοιχεία κάθε συστήματος που εκμεταλλεύεται την ηλιακή ενέργεια είναι ο προσανατολισμός του ηλιακού συλλέκτη σε σχέση με την κατεύθυνση της ηλιακής ακτινοβολίας. Όπως η θέση του ήλιου στον ουρανό, έτσι και ο προσανατολισμός ενός επίπεδου στην επιφάνεια της γης περιγράφεται από δύο γωνίες : την κλίση και την αζιμούθια γωνία. Η κλίση του συλλέκτη ( $\beta$ ) είναι η διέδρη γωνία που σχηματίζεται ανάμεσα στο επίπεδο του συλλέκτη και στον ορίζοντα και μπορεί να πάρει τιμές από  $0^\circ$  μέχρι  $180^\circ$ . Για γωνίες  $\beta > 90^\circ$  το επίπεδο του συλλέκτη είναι στραμμένο προς τα κάτω (Σχ.3).

Η αζιμούθια γωνία του συλλέκτη ( $\gamma$ ) είναι η γωνία που σχηματίζεται πάνω στο οριζόντιο επίπεδο ανάμεσα στην προβολή της κατακόρυφου του συλλέκτη και στον τοπικό μεσημβρινό βορρά-νότου. Παίρνει τιμές από  $-180^\circ$  μέχρι  $+180^\circ$ . Η γωνία  $-180^\circ$  (που συμπίπτει με την  $+180^\circ$ ) αντιστοιχεί σε τοποθέτηση του συλλέκτη προς το βορρά, η γωνία  $-90^\circ$  προς την ανατολή, η γωνία  $0^\circ$  προς το νότο και η γωνία  $+90^\circ$  προς τη δύση.

Προφανώς, η πυκνότερη ισχύς μιας δέσμης ηλιακής ακτινοβολίας, πάνω σε ένα επίπεδο συλλέκτη θα πραγματοποιείται όταν η επιφάνεια του είναι κάθετη προς τη κατεύθυνση της ακτινοβολίας, δηλαδή όταν η γωνία πρόσπτωσης ( $\theta$ ) είναι  $0^\circ$ . Η συνθήκη όμως αυτή δεν είναι εύκολο να εξασφαλιστεί καθώς ο ήλιος συνεχώς μετακινείται στον ουρανό κατά τη διάρκεια της ημέρας. Έχουν κατασκευαστεί



μηχανικές διατάξεις που επαναπροσανατολίζουν συνεχώς τον συλλέκτη (π.χ. με τη βοήθεια υπολογιστή ή φωτοκύτταρων) ώστε η επιφάνεια του να αντικρίζει πάντα κάθετα τον ήλιο. Οι διατάξεις όμως αυτές είναι πολύπλοκες και δαπανηρές. Έτσι, η χρήση τους δικαιολογείται μόνον σε περιπτώσεις εφαρμογών, όπως στα συστήματα συγκεντρωμένης ακτινοβολίας με φακούς ή κάτοπτρα.



Σχ.3. Η κλίση του συλλέκτη ( $\beta$ ), το αζιμούθιο του συλλέκτη ( $\gamma$ ) και η γωνία πρόσπτωσης των ηλιακών ακτίνων στο συλλέκτη ( $\theta$ )

Στις συνηθισμένες περιπτώσεις οι συλλέκτες τοποθετούνται σε σταθερή κλίση και αζιμούθια γωνία, που επιλέγονται ώστε η γωνία της πρόσπτωσης της ηλιακής ακτινοβολίας να είναι όσο το δυνατό μικρότερη, κατά τη διάρκεια του έτους. Η γωνία πρόσπτωσης της ηλιακής ακτινοβολίας συνδέεται με τις άλλες γωνίες της ηλιακής γεωμετρίας, που αναφέρθηκαν παραπάνω, με τη σχέση :

$$\begin{aligned} \cos \theta = & \sin \delta \times \sin \Phi \times \cos \beta - \sin \delta \times \cos \Phi \times \sin \beta \times \cos \gamma + \\ & + \cos \delta \times \cos \Phi \times \cos \beta \times \cos \omega + \cos \delta \times \sin \Phi \times \sin \beta \times \cos \gamma \times \cos \omega + \\ & + \cos \delta \times \sin \beta \times \sin \omega \times \sin \gamma \end{aligned}$$

Οι επίπεδοι συλλέκτες χρησιμοποιούν την άμεση και τη διάχυτη ακτινοβολία και συνήθως τοποθετούνται υπό σταθερή κλίση και προσανατολισμό κατά τη διάρκεια του έτους. Η επιλογή του ευνοϊκού προσανατολισμού και της κλίσης του συλλέκτη είναι το σημαντικότερο μέτρο για τη βελτίωση του ηλιακού κέρδους. Η θέση του συλλέκτη (προσανατολισμός και κλίση) επηρεάζει την απόδοσή του κατά δύο τρόπους. Πρώτα επηρεάζει σημαντικά το ποσό της ηλιακής ενέργειας που προσπίπτει στην επιφάνεια του συλλέκτη. Ακόμα η θέση του συλλέκτη επηρεάζει τον συντελεστή διάβασης των διαφανών καλυμμάτων και τον συντελεστή απορρόφησης του απορροφητήρα, αφού οι δύο συντελεστές είναι συναρτήσεις της γωνίας, που η ακτινοβολία προσπίπτει στην επιφάνεια του συλλέκτη.

Γενικά η μεγαλύτερη ποσότητα της ηλιακής ενέργειας, λαμβάνεται σε μία Νότια προσανατολισμένη κλίση. Εάν η επιφάνεια του συλλέκτη δεν αντικρίζει ακριβώς το νότο, το ποσό της ωφέλιμης ενέργειας, μειώνεται ελαφρά σε μία γωνία  $30^\circ$  ανατολικά, δυτικά ή νότια. Η κλίση για συστήματα που λειτουργούν όλο το χρόνο είναι  $45^\circ$  ενώ αντίθετα για συστήματα που λειτουργούν καλοκαιρινούς μήνες π.χ. ξενοδοχεία η κλίση λαμβάνεται μικρότερη περίπου  $25^\circ$ . Έτσι είναι δυνατόν να αξιολογηθεί ορθά η εγκατάσταση ηλιακών συστημάτων (π.χ. ηλιακοί συλλέκτες) ώστε να βελτιστοποιηθεί η απόδοσή τους.

## 1.6 Πρακτικοί κανόνες για την συλλογή της μέγιστης ηλιακής ακτινοβολίας

Στο βόρειο ημισφαίριο, η βέλτιστη κλίση του συλλέκτη, για τη διάρκεια του έτους, είναι ίση με τον γεωγραφικό παράλληλο του τόπου, και η αζιμούθια γωνία είναι  $0^\circ$  (προς το νότο). Λόγων όμως της μεταβολής της απόκλισης του ήλιου στη διάρκεια του έτους, η βέλτιστη κλίση του συλλέκτη είναι διαφορετική για κάθε εποχή (Σχ.4). Έτσι, αν επιδιώκεται να παράγει το σύστημα όσο το δυνατόν περισσότερη ενέργεια στη διάρκεια του καλοκαιριού, η κλίση του συλλέκτη επιλέγεται περίπου  $10^\circ$  ως  $15^\circ$  μικρότερη από την παράλληλο του τόπου, ενώ για τον χειμώνα η κλίση επιλέγεται περίπου  $10^\circ$  ως  $15^\circ$  μεγαλύτερη από την παράλληλο του τόπου. Στο (Σχ.5) δίνεται ένα παράδειγμα της βέλτιστης κλίσης για τον ηλιακό συλλέκτη στις χαρακτηριστικές ημερομηνίες του έτους.

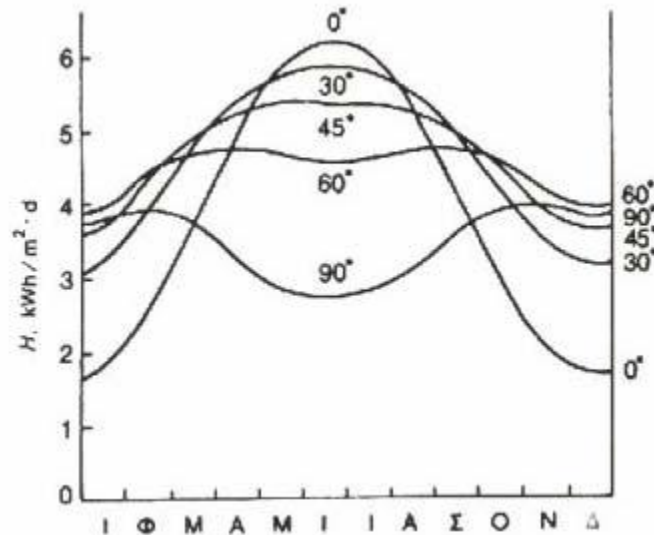
Συνοψίζοντας:

Η βέλτιστη γωνία κλίσης ( $\beta$ ) θα πρέπει να είναι περίπου ίση με το γεωγραφικό πλάτος του τόπου ( $\varphi$ ).

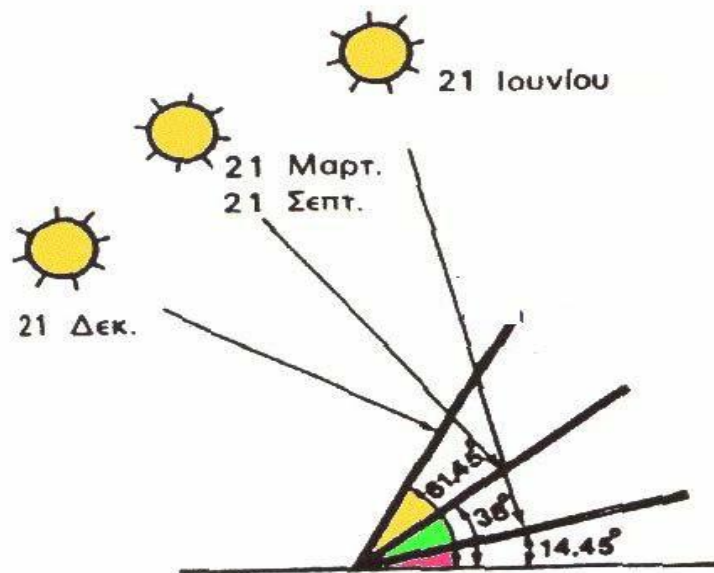
Κατά την διάρκεια της θερινής περιόδου: Η βέλτιστη γωνία κλίσης ( $\beta$ ) πρέπει να είναι περίπου  $10^\circ$ - $15^\circ$  μικρότερη από το γεωγραφικό πλάτος του τόπου ( $\varphi$ ).

Κατά την διάρκεια της χειμερινής περιόδου: Η βέλτιστη γωνία κλίσης ( $\beta$ ) πρέπει να είναι περίπου 10ο-15ο μεγαλύτερη από το γεωγραφικό πλάτος του τόπου ( $\phi$ ). Αν στο έδαφος υπάρχει επιφάνεια με μεγάλο συντελεστή ανάκλασης (π.χ. χιόνι) απαιτείται μεγαλύτερη κλίση.

Ο βέλτιστος προσανατολισμός (αζιμούθιο  $\gamma$ ) είναι νότιος ( $\gamma=0$ ), ενώ απόκλιση κατά 20°-30° από νότο έχει μικρή επίδραση στην ετήσια συλλεγόμενη ενέργεια.



Σχ.4. Ηλιακή ακτινοβολία που προσπίπτει σε συλλεκτικές επιφάνειες καθ' όλη τη διάρκεια του έτους



Σχ.5. Βέλτιστες κλίσεις συλλέκτη

Τα παραπάνω ισχύουν για τη συλλογή της άμεσης ηλιακής ακτινοβολίας που έρχεται σαν δέσμη από τον ήλιο. Για τις άλλες, από ενεργειακή άποψη λιγότερο σημαντικές, μορφές της ηλιακής ακτινοβολίας, ο κυριότερος παράγοντας είναι η απόλυτη τιμή της κλίσης του συλλέκτη, ανεξάρτητα από τη θέση του ήλιου. Έτσι, όσο η κλίση απέχει περισσότερο από το οριζόντιο, τόσο μεγαλύτερο ποσό ανακλώμενης ακτινοβολίας από το έδαφος δέχεται ο συλλέκτης, αλλά και τόσο μικρότερο ποσό διάχυτης ακτινοβολίας από τον ουρανό.

Για παράδειγμα, σε περιοχές με υγρό κλίμα, όπου λόγω των σταγονιδίων του νερού στην ατμόσφαιρα, ένα μεγάλο μέρος της ηλιακής ακτινοβολίας διαχέεται στον ουρανό, η βέλτιστη κλίση του ηλιακού συλλέκτη για τη διάρκεια ολόκληρου του έτους είναι περίπου 10 - 15% μικρότερη από τη γωνία του τοπικού γεωγραφικού πλάτους. Έτσι, ο συλλέκτης αντικρίζει περισσότερο τον ουρανό και δέχεται αφθονότερα τη διάχυτη ακτινοβολία.

Η ποσότητα της ανακλώμενης ηλιακής ακτινοβολίας εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από το υλικό που καλύπτει την επιφάνεια που δέχεται την ακτινοβολία. Η ικανότητα της ανάκλασης εκφράζεται από ένα συντελεστή που κυμαίνεται από 0, για πλήρη απορρόφηση της ακτινοβολίας, μέχρι 1, για πλήρη ανάκλαση. Στον Πίνακα 2 δίνονται ενδεικτικές τιμές του συντελεστή ανάκλασης για ορισμένα από τα είδη επιφανειών που συμβαίνει να έχει το περιβάλλον στις περιοχές, όπου τοποθετούνται οι ηλιακοί συλλέκτες.

**Πίνακας .2. Συντελεστής ανάκλασης της ηλιακής ακτινοβολίας για διάφορα είδη επιφάνειας**

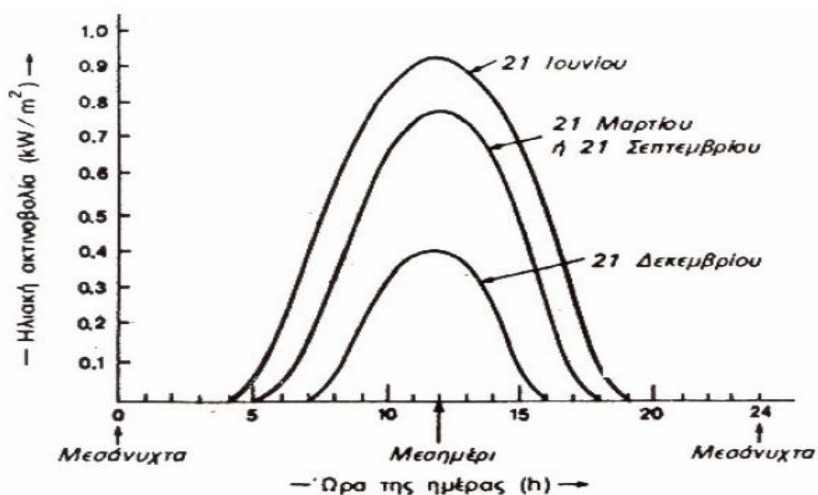
Είδος επιφάνειας	Συντελεστής ανάκλασης
Επιφάνεια νερού, Θάλασσα	0.05
Ασφαλτόστρωμα	0.07
Αγρός με σκοτεινόχρωμα χώμα	0.08
Πράσινος αγρός	0.15
Βραχώδη επιφάνεια	0.20
Επιφάνεια παλαιού τσιμέντου	0.24
Επιφάνεια νέου τσιμέντου	0.30
Χιόνι	0.60

### Η διακύμανση της ηλιακής ακτινοβολίας

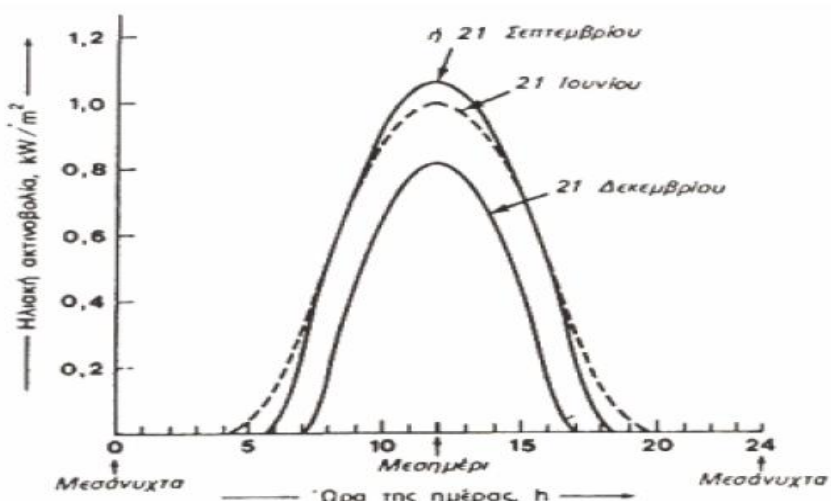
Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, η ηλιακή ακτινοβολία παρουσιάζει μεγάλες διακυμάνσεις.

Στα Σχ.6 και Σχ.7 φαίνονται παραδείγματα της ομαλής μεταβολής της έντασης της ηλιακής ακτινοβολίας κατά τη διάρκεια της ημέρας για 3 ενδεικτικές ημερομηνίες

(καλοκαίρι, άνοιξη και φθινόπωρο, χειμώνα) σε συνθήκες ιδανικά καθαρού ουρανού. Χαρακτηριστικό μέγεθος είναι η τιμή της έντασης της ηλιακής ακτινοβολίας (ένταση αιχμής), που μετράται στο ηλιακό μεσημέρι, δηλαδή όταν ο ήλιος βρίσκεται στο μεγαλύτερο ύψος του ορίζοντα, το οποίο δεν είναι αναγκαστικό να συμπίπτει με το ωρολογιακό μεσημέρι. π.χ. στην Αθήνα έχουμε ηλιακό μεσημέρι όταν το ρολόι δείχνει 12:25 τον χειμώνα, και 13:25 το καλοκαίρι, όταν ισχύει η θερινή ώρα.

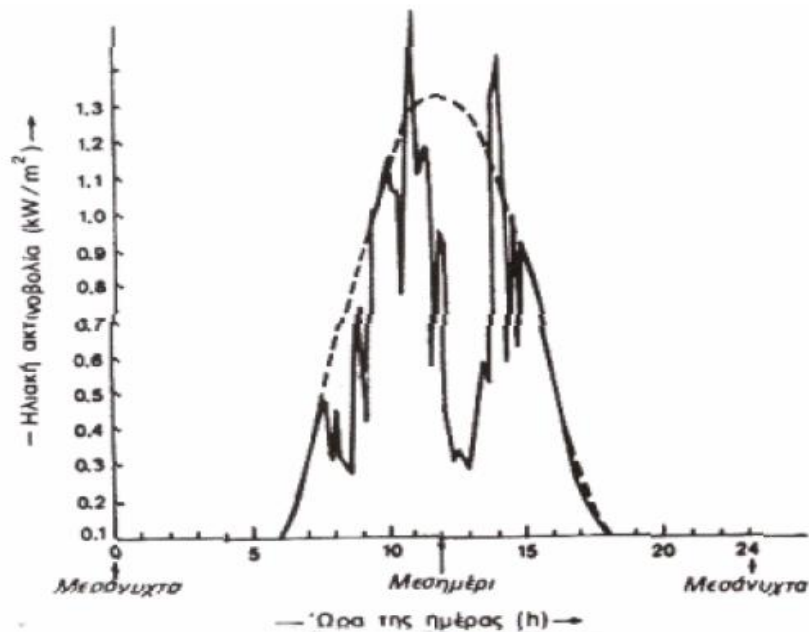


Σχ.6. Διακύμανση της έντασης της ηλιακής ακτινοβολίας που δέχεται μία οριζόντια επιφάνεια στη διάρκεια τριών χαρακτηριστικών ημερών του έτους (οι ώρες είναι σε ηλιακές τιμές)



Σχ.7. Διακύμανση της έντασης της ηλιακής ακτινοβολίας με τον ηλιακό συλλέκτη σε κλίση ίση με το γεωγραφικό πλάτος του τόπου

Έχουμε ήδη τονίσει ότι η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας που δέχεται μια επίπεδη επιφάνεια γίνεται σημαντικά μεγαλύτερη όταν βρίσκεται σε κατάλληλη κλίση, ώστε η πρόσπτωση των ακτινών να γίνεται κάθετα. Στην περίπτωση αυτή, όπως αναφέρθηκε παραπάνω, η μέγιστη ισχύς της ακτινοβολίας το ηλιακό μεσημέρι στις ευνοϊκότερες ημέρες του έτους, δεν διαφέρει παρά πολύ από τόπο σε τόπο και η τιμή  $1 \text{ kW/m}^2$  αποτελεί μια πολύ χονδρική, αλλά πάντως γενικά αποδεκτή προσέγγιση.



**Σχ.8. Διακύμανση της έντασης της ηλιακής ακτινοβολίας στη διάρκεια των ωρών μιας ημέρας με μερική νέφωση. Η ασυνεχής καμπύλη δείχνει την αντίστοιχη διακύμανση για καθαρό ουρανό**

Όταν ο ουρανός έχει σύννεφα, η μεταβολή της έντασης της ηλιακής ακτινοβολίας στην επιφάνεια της γης γίνεται ανώμαλη, όπως φαίνεται στο Σχ.8. Οι παρατηρούμενες απότομες πτώσεις της έντασης οφείλονται στην παρεμβολή ενός νέφους που μετακινεί ο άνεμος. Επίσης, το γρήγορο πέρασμα ενός σμήνους πουλιών ή ενός αεροπλάνου μέσα από τη δέσμη του ηλιακού φωτός που δέχεται ο συλλέκτης καταγράφεται σε μία πολύ οξεία στιγμιαία πτώση της έντασης της ακτινοβολίας. Παρατηρούμε, ακόμη, εξάρσεις που ξεπερνούν τις κανονικές τιμές της ηλιακής ακτινοβολίας σε συνθήκες καθαρού ουρανού. Προφανώς στα αντίστοιχα χρονικά διαστήματα θα συμβαίνει αθροιστική επίδραση της άμεσης ακτινοβολίας από τον ήλιο, μέσα από ένα άνοιγμα των νεφών, και της ανακλώμενης από τα σύννεφα.

Στη διάρκεια του έτους, στο βόρειο ημισφαίριο, ο αριθμός των φωτεινών ωρών της ημέρας, η μέγιστη ισχύς καθώς και συνολική ημερήσια ενέργεια που δέχεται μια οριζόντια επιφάνεια, φτάνουν στις μέγιστες τιμές τους στις 21 Ιουνίου

(θερινόηλιοστάσιο) και πέφτουν στις αντίστοιχές ελάχιστες τιμές τους στις 21 Δεκεμβρίου (χειμερινό ηλιοστάσιο). Στις επιφάνειες, όμως π.χ. που βρίσκονται σε κλίση ίση με τον γεωγραφικό παράλληλο του τόπου, η μέγιστη τιμή της ισχύος της ηλιακής ακτινοβολίας είναι στα ηλιακά μεσημέρια των ισημεριών (21 Μαρτίου και 21 Σεπτεμβρίου), διότι τότε δέχονται κάθετα τις ακτίνες του ήλιου.

### **Διαπερατότητα της ακτινοβολίας**

Η διαπερατότητα, η ανακλαστικότητα και η απορροφητικότητα της ηλιακής ακτινοβολίας από τα ποίκιλα μέρη ενός ηλιακού συλλέκτη, είναι σπουδαίοι παράμετροι για τον προσδιορισμό της απόδοσης του ηλιακού συλλέκτη. Οι τρεις αυτές παράμετροι αποτελούν λειτουργίες της εισερχόμενης ηλιακής ακτινοβολίας και εξαρτώνται τόσο από τον συντελεστή απόσβεσης  $K$  όσο και από το μήκος κύματος της ακτινοβολίας.

### **Μέση μηνιαία απορροφώμενη ακτινοβολία**

Μέθοδοι υπολογισμού της απόδοσης ηλιακών συστημάτων, για μακρά χρονική περίοδο, απαιτούν τον μέσο όρο της απορροφώμενης ακτινοβολίας από τον συλλέκτη, υπολογισμένη σε μηνιαίες περιόδους.

Η διαπερατότητα και η απορροφητικότητα εξαρτώνται από την γωνία κατά την οποία η ηλιακή ακτινοβολία χτυπά τον συλλέκτη. Ο Klein ήταν ο πρώτος που υπολόγισε τη μέση μηνιαία απορροφώμενη ακτινοβολία από έναν συλλέκτη. Η εξίσωση υπολογισμού είναι:

$$S = H_r(\tau\alpha) = HR(\tau\alpha) \quad (0.6)$$

$S$ : απορροφώμενη ηλιακή ακτινοβολία [ $\text{MJ}/\text{m}^2$ ]

$H$ : μέση μηνιαία τιμή της ολικής ακτινοβολίας σε οριζόντιο συλλέκτη . [ $\text{MJ}/\text{m}^2$ ]  $H_r$ : μέση μηνιαία τιμή της ολικής ακτινοβολίας σε κεκλιμένο συλλέκτη [ $\text{MJ}/\text{m}^2$ ].

## **1.7 Φωτοβολταϊκό φαινόμενο**

Το "φωτοβολταϊκό φαινόμενο" είναι η βασική φυσική διαδικασία μέσω της οποίας ένα ηλιακό κύτταρο μετατρέπει το ηλιακό φως σε ηλεκτρική ενέργεια. Το 1839, δεκαεννέα ετών, Edmund Becquerel, μια γαλλική πειραματική φυσικός, ανακάλυψε το φωτοβολταϊκό φαινόμενο, ενώ πειραματίζεται με ηλεκτρολυτικές κύτταρο που αποτελείται από δύο ηλεκτρόδια μετάλλων.

Το φωτοβολταϊκό φαινόμενο και η λειτουργία του φωτοβολταϊκού συστήματος στηρίζεται στις βασικές ιδιότητες των ημιαγωγών υλικών σε ατομικό επίπεδο.

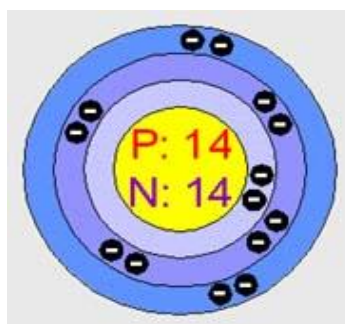
Όταν το φως προσπίπτει σε μια επιφάνεια είτε ανακλάται, είτε την διαπερνά (διαπερατότητα) είτε απορροφάται από το υλικό της επιφάνειας. Η απορρόφηση του φωτός ουσιαστικά σημαίνει την μετατροπή του σε μια άλλη μορφή ενέργειας (σύμφωνα με την αρχή διατήρησης της ενέργειας) η οποία συνήθως είναι η θερμότητα.

Παρόλα αυτά όμως υπάρχουν κάποια υλικά τα οποία έχουν την ιδιότητα να μετατρέπουν την ενέργεια των προσπιπτόντων φωτονίων σε ηλεκτρική ενέργεια. Αυτά τα υλικά είναι οι ημιαγωγοί και σε αυτά οφείλεται επίσης η τεράστια τεχνολογική πρόοδος που έχει συντελεστεί στον τομέα της ηλεκτρονικής και συνεπακόλουθα στον ευρύτερο χώρο της πληροφορικής και των τηλεπικοινωνιών.

Γενικότερα τα υλικά στην φύση σε σχέση με τα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά τους εμπίπτουν σε τρεις κατηγορίες, τους **αγωγούς** του ηλεκτρισμού, τους **μονωτές** και τους **ημιαγωγούς**. Ένας ημιαγωγός έχει την ιδιότητα να μπορεί να ελεγχθεί η ηλεκτρική του αγωγιμότητα είτε μόνιμα είτε δυναμικά.

### 1.7.1 Χαρακτηριστικά Ημιαγωγών

Το χαρακτηριστικό στοιχείο ενός ημιαγωγού που το διαφοροποιεί από τα υπόλοιπα υλικά είναι ο αριθμός των ηλεκτρονίων ενός ατόμου που βρίσκεται στην **εξωτερική του στοιβάδα** (σθένους). Ο περισσότερο γνωστός ημιαγωγός είναι το πυρίτιο (Si).



Πυρίτιο (Si)

Το πυρίτιο έχει **ατομικό αριθμό 14** και έχει στην εξωτερική του στοιβάδα 4 ηλεκτρόνια. Όλα τα άτομα που έχουν λιγότερα ή περισσότερα ηλεκτρόνια στην εξωτερική στοιβάδα (είναι "γενικά" συμπληρωμένη με 8 e) ψάχνουν άλλα άτομα με



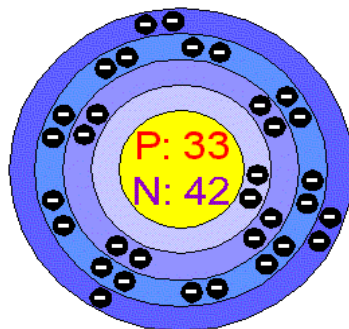
τα οποία μπορούν να ανταλλάξουν ηλεκτρόνια ή να μοιραστούν κάποια με σκοπό τελικά να αποκτήσουν συμπληρωμένη εξωτερική στοιβάδα σθένους.

Σε αυτήν την τάση οφείλεται και η κρυσταλλική δομή του πυριτίου αφού όταν συνυπάρχουν πολλά άτομα μαζί διατάσσονται με τέτοιο τρόπο ώστε να συνεισφέρουν ηλεκτρόνια με όλα τα γειτονικά τους άτομα και τελικά με αυτόν τον τρόπο να αποκτούν μια συμπληρωμένη εξωτερική στοιβάδα και **κρυσταλλική δομή**. Αυτή είναι και η καθοριστική ιδιότητα που έχουν τα κρυσταλλικά υλικά.

Στην κρυσταλλική του μορφή όμως το πυρίτιο είναι σταθερό. Δεν έχει ανάγκη ούτε να προσθέσει ούτε να διώξει ηλεκτρόνια κάτι που ουσιαστικά του δίνει ηλεκτρικά χαρακτηριστικά πολύ κοντά σε αυτά ενός μονωτή αφού δεν υπάρχουν ελεύθερα ηλεκτρόνια για την δημιουργία ηλεκτρικού ρεύματος στο εσωτερικό του.

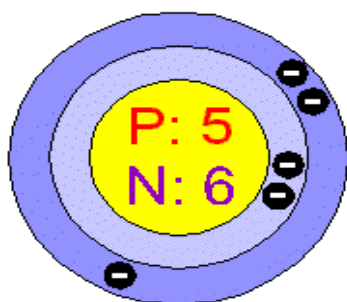
Δημιουργία ηλεκτρικά φορτισμένων ημιαγωγών Τις **ημιαγωγές ιδιότητες** του το πυρίτιο τις αποκτά με τεχνικό τρόπο. Αυτό πρακτικά γίνεται **με την πρόσμειξη** με άλλα στοιχεία τα οποία είτε έχουν ένα ηλεκτρόνιο περισσότερο είτε ένα λιγότερο στην στοιβάδα σθένους των. Αυτή η πρόσμειξη τελικά κάνει τον κρύσταλλο δεκτικό είτε σε θετικά φορτία (υλικό **τύπου p**) είτε σε αρνητικά φορτία (υλικό **τύπου n**)

Για να φτιαχτεί λοιπόν ένας ημιαγωγός **τύπου n** ή αλλιώς ένας αρνητικά φορτισμένος κρύσταλλος πυριτίου θα πρέπει να γίνει πρόσμειξη ενός υλικού με 5e στην εξωτερική του στοιβάδα όπως για παράδειγμα το **Αρσένιο (As)**.



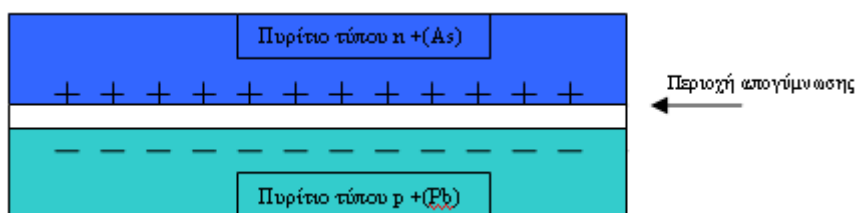
**Αρσένιο (As)**

Αντίστοιχα για να δημιουργήσουμε έναν ημιαγωγό **τύπου p** η αλλιώς θετικά φορτισμένος κρύσταλλος πυριτίου χρειάζεται να γίνει πρόσμειξη στον κρύσταλλο κάποιου υλικού όπως το **βόριο (B)** που έχει 3e στην εξωτερική του στοιβάδα.



**Βόριο (B)**

Δημιουργία της επαφής (του ηλεκτρικού πεδίου) Εάν φέρουμε σε επαφή δύο κομμάτια πυριτίου **τύπου n** και **τύπου p** το ένα απέναντι από το άλλο δημιουργείται μια δίοδος η αλλιώς ένα ηλεκτρικό πεδίο στην επαφή των δύο υλικών το οποίο επιτρέπει την κίνηση ηλεκτρονίων προς μια κατεύθυνση μόνο.



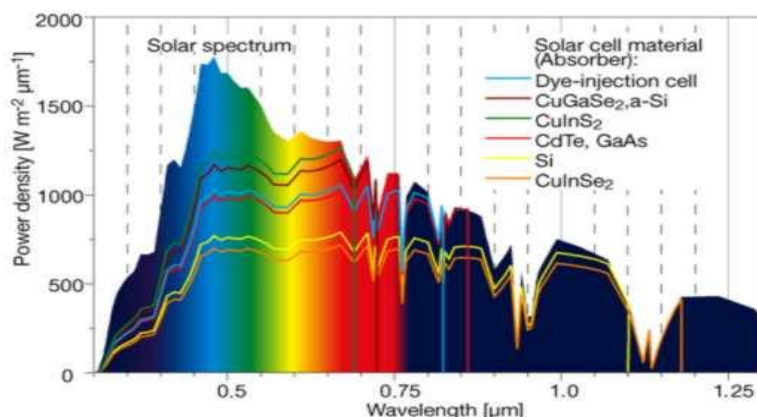
Τα επιπλέον ηλεκτρόνια της επαφής **n** έλκονται από τις «οπές» τις επαφής **p**. Αυτό το ζευγάρι των δύο υλικών είναι το **δομικό στοιχείο** του φωτοβολταϊκού κελιού και η βάση της φωτοβολταϊκής τεχνολογίας.

### Η επίδραση της Ηλιακής ακτινοβολίας

Η ηλιακή ακτινοβολία έρχεται με την μορφή πακέτων ενέργειας ή φωτονίων. Τα φωτόνια όταν προσπίπτουν σε μια διάταξη φβ κελιού περνούν αδιατάραχτα την επαφή **τύπου n** και χτυπούν τα άτομα της περιοχής **τύπου p**. Τα ηλεκτρόνια της περιοχής **τύπου p** αρχίζουν και κινούνται μεταξύ των οπών ώσπου τελικά φτάνουν στην περιοχή της δίοδου όπου και έλκονται πλέον από το θετικό πεδίο της εκεί περιοχής.

Αφού ξεπεράσουν το **ενεργειακό χάσμα** αυτής της περιοχής μετά είναι αδύνατον να επιστρέψουν. Στο κομμάτι της επαφής (**n**) πλέον έχουμε μια περίσσεια ηλεκτρονίων που μπορούμε να εκμεταλλευτούμε. Αυτή η περίσσεια των ηλεκτρονίων μπορεί να **παράγει ηλεκτρικό ρεύμα** εάν τοποθετήσουμε μια διάταξη όπως ένας μεταλλικός αγωγός στο πάνω μέρος της επαφής **n** και στο κάτω της επαφής (**p**) και ένα φορτίο ενδιάμεσα με τέτοιο τρόπο ώστε να κλείσει ένας αγωγίμος δρόμος για το ηλεκτρικό ρεύμα που παράγεται. Αυτή είναι απλοποιημένα η γενική αρχή λειτουργίας του φωτοβολταϊκού φαινομένου.

Γιατί όμως δεν μπορούμε να εκμεταλλευτούμε όλη την προσπίπτουσα ηλιακή ενέργεια; Το κάθε ημιαγωγό υλικό αντιδρά σε **διαφορετικά μήκη κύματος** της ακτινοβολίας. Κάποια υλικά αντιδρούν σε ευρύτερα **φάσματα ακτινοβολίας** από κάποια άλλα.



Έτσι ανάλογα με το υλικό που χρησιμοποιούμε μπορούμε να εκμεταλλευτούμε μόνο εκείνο το φάσμα της ακτινοβολίας που αντιδρά με το συγκεκριμένο υλικό. Το ποσοστό της ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται σε σχέση με την προσπίπτουσα ηλιακή ενέργεια συμβολίζει τον **συντελεστή απόδοσης** του υλικού. Οι δύο βασικοί παράγοντες για την απόδοση ενός φωτοβολταϊκού υλικού είναι το ενεργειακό χάσμα του υλικού και ο συντελεστής μετατροπής.

## 1.8 Λειτουργία Φωτοβολταϊκού Στοιχείου

Τα φωτοβολταϊκά στοιχεία είναι ημιαγωγικές διόδους που η επάνω τους επιφάνεια (n-πλευρά) καλύπτεται από ένα πλέγμα μεταλλικών επαφών για τη συλλογή του ηλεκτρισμού και η κάτω τους επιφάνεια (p-πλευρά) καλύπτεται από ένα λεπτό στρώμα μετάλλου. Ο ήλιος φωτοβολεί την επάνω πλευρά (n) και τα φωτόνια που εισέρχονται στον n-ημιαγωγό ελευθερώνουν ηλεκτρόνια τα οποία κάτω από την επίδραση του εγγενούς ηλεκτροστατικού δυναμικού της διόδου δημιουργούν την φωτοβολταϊκή τάση του στοιχείου η οποία μπορεί να τροφοδοτήσει με ηλεκτρικό ρεύμα ένα εξωτερικό κύκλωμα.

Η συμπεριφορά ενός φωτοβολταϊκού στοιχείου για διάφορα εξωτερικά φορτία είναι μη-γραμμική. Στο παρακάτω διάγραμμα φαίνεται η καμπύλη απόκρισης ενός τυπικού φωτοβολταϊκού στοιχείου για διάφορες εξωτερικούς παραμέτρους. Για σχεδόν

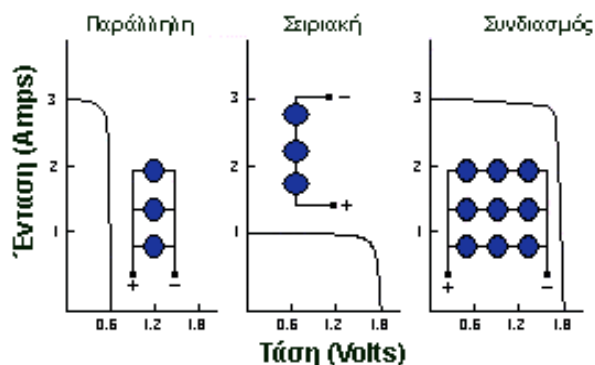
μηδενικό εξωτερικό φορτίο (ανοιχτό κύκλωμα) και κατά συνέπεια μηδενικό ηλεκτρικό ρεύμα το φωτοβολταϊκό στοιχείο παρουσιάζει την μέγιστη τάση-τάση ανοιχτού κυκλώματος-  $V_{oc}$ .

Αντίθετα για μηδενική τάση στοιχείου (βραχυκυκλωμένο στοιχείο) το ηλεκτρικό ρεύμα που παράγει το φωτοβολταϊκό στοιχείο είναι μέγιστο-ρεύμα βραχυκυκλώματος- $I_{sc}$ . Η μέγιστη λοιπόν παραγόμενη ισχύς είναι κάπου ενδιάμεσα και για την ακρίβεια στο γόνατο της καμπύλης απόκρισης. Είναι προφανές ότι με την κατάλληλη ρύθμιση του εξωτερικού φορτίου μπορεί να επιλεγεί ακριβώς αυτό το σημείο λειτουργίας ώστε να αριστοποιηθεί η απόδοση του φωτοβολταϊκού στοιχείου. Στο διάγραμμα επίσης φαίνεται, όπως αναμένεται άλλωστε, η απόδοση του φωτοβολταϊκού στοιχείου να αυξάνεται με την ένταση της γήινης ηλιακής ακτινοβολίας κατά κύριο λόγο και με την ελάττωση της θερμοκρασίας λειτουργίας του στοιχείου κατά δεύτερο.

Τυπική απόδοση φωτοβολταϊκών στοιχείων είναι της τάξης του 16%, απόδοση αρκετά χαμηλή συγκρινόμενη αυτής της μετατροπής ενέργειας από συμβατικά καύσιμα.

Δεδομένου ότι η τάση ενός φωτοβολταϊκού στοιχείου υπαγορεύεται από τις κατασκευαστικές (κβαντομηχανικές) σταθερές του σύμπαντος μας, η αύξηση του μεγέθους ενός φωτοβολταϊκού στοιχείου δεν επιφέρει αύξηση της τάσης του αλλά μόνο αύξηση της έντασης του παραγόμενου ηλεκτρικού ρεύματος και μάλιστα γραμμικά. Αύξηση της τάσης επιβάλλει την συνδεσμολογία των φωτοβολταϊκών στοιχείων σε σειριακή διάταξη.

Το παρακάτω σχήμα δείχνει την απόκριση διαφόρων τέτοιων σχηματισμών.



Τα φωτοβολταϊκά στοιχεία (ισχύος 1W) λοιπόν, συναρμολογούνται σε σειριακούς σχηματισμούς (χορδές) και αυτοί με τη σειρά τους με παράλληλη σύνδεση σχηματίζουν ένα πλαίσιο (panel) (εμπορικό προϊόν) με επιθυμητά χαρακτηριστικά τάσης και έντασης (ισχύος 50-315W). Συνδυασμός πλαισίων σε σειριακή και παράλληλη διάταξη σχηματίζουν μια συστοιχία (array) (ισχύος ~kW) ενώ μια σύνθεση από συστοιχίες δημιουργεί ένα πεδίο (field) φωτοβολταϊκών (ισχύος ~MW).

Τα βασικά χαρακτηριστικά ενός φωτοβολταϊκού πλαισίου είναι: Ονομαστική ισχύς ( $P_{nom}$ ) / Τάση στο σημείο μεγ. ισχύος ( $U_{mp}$ ) / Ρεύμα στο σημείο μεγ. ισχύος ( $I_{mp}$ ) / Τάση ανοιχτού κυκλώματος ( $U_{oc}$ ) / Ρεύμα βραχυκύκλωσης ( $I_{sc}$ ) / Μέγιστη τάση συστήματος / Μέγιστο αντίστροφο ρεύμα (IR) / Βαθμός απόδοσης

## 1.9 Τεχνολογίες Φ/Β Στοιχείων

Το υλικό που χρησιμοποιείται περισσότερο για να κατασκευαστούν **φωτοβολταϊκά στοιχεία** στην βιομηχανία είναι το πυρίτιο. Είναι ίσως και το μοναδικό υλικό που παράγεται με τόσο μαζικό τρόπο. Το πυρίτιο σήμερα αποτελεί την πρώτη ύλη για το **90% της αγοράς** των φωτοβολταϊκών.

Τα σημαντικότερα πλεονεκτήματα του πυριτίου είναι:

- Μπορεί να βρεθεί πάρα πολύ εύκολα στην φύση. Είναι το δεύτερο σε αφθονία υλικό που υπάρχει στον πλανήτη μετά το οξυγόνο. Το διοξείδιο του πυριτίου (**SiO<sub>2</sub>**) (ή κοινώς η άμμος) και ο χαλαζίτης αποτελούν το 28% του φλοιού της γης. Είναι ιδιαίτερα φιλικό προς το περιβάλλον.
- Μπορεί εύκολα να λιώσει και να μορφοποιηθεί. Επίσης είναι σχετικά εύκολο να μετατραπεί στην μονοκρυσταλλική του μορφή.
- Οι ηλεκτρικές του ιδιότητες μπορούν να διατηρηθούν μέχρι και στους **125°C** κάτι που επιτρέπει την χρήση του πυριτίου σε ιδιαίτερα δύσκολες περιβαλλοντικές συνθήκες. Αυτός είναι και ο λόγος που τα φωτοβολταϊκά στοιχεία πυριτίου ανταπεξέρχονται σε ένα ιδιαίτερα ευρύ φάσμα θερμοκρασιών.
- Πολύ σημαντικό στοιχείο, που συνέβαλε στην γρήγορη ανάπτυξη τα φωτοβολταϊκά στοιχεία τα τελευταία χρόνια, ήταν η ήδη αναπτυγμένη τεχνολογία, στην βιομηχανία της επεξεργασίας του πυριτίου, στον τομέα της **ηλεκτρονικής** (υπολογιστές, τηλεοράσεις κλπ). Το 2007 μάλιστα ήταν η πρώτη χρονιά που υπήρχε μεγαλύτερη

ζήτηση (σε τόνους κρυσταλλικού πυριτίου) στην αγορά των φωτοβολταϊκών στοιχείων σε σχέση με αυτήν των ημιαγωγών της ηλεκτρονικής.

- Μια κατηγοριοποίηση για τα φωτοβολταϊκά στοιχεία θα μπορούσε να γίνει με βάση το πάχος του υλικού που χρησιμοποιείται.

### Τύποι φωτοβολταϊκών συστημάτων πυριτίου «μεγάλου πάχους»

#### 1. Φωτοβολταϊκά στοιχεία μονοκρυσταλλικού πυριτίου (SingleCrystalline Silicon, sc-Si )



Το πάχος τους είναι γύρω στα 0,3 χιλιοστά. Η απόδοση τους στην βιομηχανία κυμαίνεται από 15 - 18% για το πλαίσιο. Στο εργαστήριο έχουν επιτευχθεί ακόμα μεγαλύτερες αποδόσεις έως και 24,7%. Το **μονοκρυσταλλικά φωτοβολταϊκά στοιχεία** χαρακτηρίζονται από το πλεονέκτημα της **καλύτερης σχέση απόδοσης/επιφάνειας** ή "ενεργειακής πυκνότητας". Ένα άλλο χαρακτηριστικό είναι το υψηλό κόστος κατασκευής σε σχέση με τα πολυκρυσταλλικά. Βασικές τεχνολογίες παραγωγής μονοκρυσταλλικών φωτοβολταϊκών είναι η μέθοδος CZ (**Czochralski**) και η μέθοδος FZ (**float zone**). Αμφότερες βασίζονται στην ανάπτυξη ράβδου πυριτίου. Το μονοκρυσταλλικό φωτοβολταϊκό με την υψηλότερη απόδοση στο εμπόριο σήμερα, είναι της **SunPower** με απόδοση πλαισίου 18,5%. Είναι μάλιστα το μοναδικό που έχει τις μεταλλικές επαφές στο πίσω μέρος του πάνελ αποκομίζοντας έτσι μεγαλύτερη επιφάνεια αλληλεπίδρασης με την ηλιακή ακτινοβολία.

#### 2.Φωτοβολταϊκα κελιά πολυκρυσταλλικού πυριτίου (MultiCrystalline Silicon, mc-Si)



Το πάχος τους είναι επίσης περίπου 0,3 χιλιοστά. Η μέθοδος παραγωγής τους είναι φθηνότερη από αυτήν των μονοκρυσταλλικών γι' αυτό και η τιμή τους είναι συνήθως λίγο χαμηλότερη. Οπτικά μπορεί κανείς να παρατηρήσει τις επιμέρους μονοκρυσταλλικές περιοχές. Όσο μεγαλύτερες είναι σε έκταση οι μονοκρυσταλλικές περιοχές τόσο μεγαλύτερη είναι και η απόδοση για τα πολυκρυσταλλικά φωτοβολταϊκά κελιά.

Σε εργαστηριακές εφαρμογές έχουν επιτευχθεί αποδόσεις έως και 20% ενώ στο εμπόριο τα πολυκρυσταλλικά στοιχεία διατίθενται με αποδόσεις από 13 έως και 15% για τα φωτοβολταϊκά πλαίσια (πάνελ). Βασικότερες τεχνολογίες παραγωγής είναι: η μέθοδος απ' ευθείας στερεοποίησης DS (directional solidification), η ανάπτυξη λιωμένου πυριτίου ("χύτευση"), και η ηλεκτρομαγνητική χύτευση EMC.

### 3.Φωτοβολταϊκά στοιχεία ταινίας πυριτίου (Ribbon Silicon)



Πρόκειται για μια σχετικά νέα τεχνολογία φωτοβολταϊκών στοιχείων. Αναπτύσσεται από την **Evergreen Solar**. Προσφέρει έως και 50% μείωση στην χρήση του πυριτίου σε σχέση με τις "παραδοσιακές τεχνικές" κατασκευής μονοκρυσταλλικών και πολυκρυσταλλικών φωτοβολταϊκών κυψελών πυριτίου.

Η απόδοση για τα φωτοβολταϊκά στοιχεία του έχει φτάσει πλέον γύρω στο 12-13% ενώ το πάχος του είναι περίπου 0,3 χιλιοστά. Στο εργαστήριο έχουν επιτευχθεί αποδόσεις της τάξης του 18%.

### Φωτοβολταϊκά υλικά λεπτών επιστρώσεων, thin film

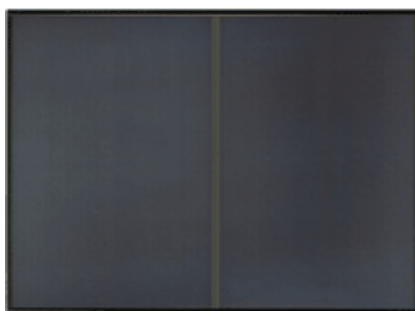
#### 1. Δισεληνοϊνδιούχος χαλκός (CuInSe<sub>2</sub> ή CIS, με προσθήκη γαλλίου CIGS)



Ο Δισεληνοϊνδιούχος Χαλκός έχει εξαιρετική απορροφητικότητα στο προσπίπτον φως αλλά παρόλα αυτά η απόδοση του με τις σύγχρονες τεχνικές κυμαίνεται στο 11% (πλαίσιο).

Εργαστηριακά έγινε εφικτή απόδοση στο επίπεδο του **18,8%** η οποία είναι και η μεγαλύτερη που έχει επιτευχθεί μεταξύ των φωτοβολταϊκών τεχνολογιών λεπτής επιστρώσεως. Με την πρόσμιξη γάλλιου η απόδοση του μπορεί να αυξηθεί ακόμα περισσότερο CIGS. Το πρόβλημα που υπάρχει είναι ότι το ίδιο υπάρχει σε περιορισμένες ποσότητες στην φύση. Στα επόμενα χρόνια πάντως αναμένεται το κόστος του να είναι αρκετά χαμηλότερο.

## 2. Φωτοβολταϊκά στοιχεία άμορφου πυριτίου (Amorphous ή Thin film Silicon, a-Si)



Τα φωτοβολταϊκά στοιχεία αυτά, έχουν αισθητά χαμηλότερες αποδόσεις σε σχέση με τις δύο προηγούμενες κατηγορίες. Πρόκειται για ταινίες λεπτών επιστρώσεων οι οποίες παράγονται με την εναπόθεση ημιαγωγού υλικού (πυρίτιο στην περίπτωση μας) πάνω σε υπόστρωμα υποστήριξης, χαμηλού κόστους όπως γυαλί ή αλουμίνιο. Έτσι και λόγω της μικρότερης ποσότητας πυριτίου που χρησιμοποιείται η τιμή τους είναι γενικότερα αρκετά χαμηλότερη.

Ο χαρακτηρισμός *άμορφο φωτοβολταϊκό* προέρχεται από τον τυχαίο τρόπο με τον οποίο είναι διατεταγμένα τα άτομα του πυριτίου. Οι επιδόσεις που επιτυγχάνονται με χρησιμοποιώντας φωτοβολταϊκα **thin films** πυριτίου κυμαίνονται για το πλαίσιο από 6 έως 8% ενώ στο εργαστήριο έχουν επιτευχθεί αποδόσεις ακόμα και 14%.

Το σημαντικότερο **πλεονέκτημα** για το φωτοβολταϊκό στοιχείο a-Si είναι το γεγονός ότι δεν επηρεάζεται πολύ από τις **υψηλές θερμοκρασίες**. Επίσης, πλεονεκτεί στην αξιοποίηση της απόδοσης του σε σχέση με τα κρυσταλλικά ΦΒ, όταν υπάρχει διάχυτη ακτινοβολία (συννεφιά).



Το **μειονέκτημα** των άμορφων πλαισίων είναι η χαμηλή τους ενεργειακή πυκνότητα κάτι που σημαίνει ότι για να παράγουμε την ίδια ενέργεια χρειαζόμαστε σχεδόν **διπλάσια επιφάνεια** σε σχέση με τα κρυσταλλικά φωτοβολταϊκα στοιχεία. Επίσης υπάρχουν αμφιβολίες όσον αφορά την **διάρκεια ζωής** των άμορφων πλαισίων μιας και δεν υπάρχουν στοιχεία από παλιές εγκαταστάσεις αφού η τεχνολογία είναι σχετικά καινούρια. Παρόλα αυτά οι κατασκευαστές πλέον δίνουν εγγυήσεις απόδοσης 20 ετών. Το πάχος του πυριτίου είναι περίπου 0,0001 χιλιοστά ενώ το υπόστρωμα μπορεί να είναι από 1 έως 3 χιλιοστά.

### 3. Τελουριούχο Κάδμιο (CdTe)



Το Τελουριούχο Κάδμιο έχει ενεργειακό διάκενο γύρω στο 1eV το οποίο είναι πολύ κοντά στο ηλιακό φάσμα κάτι που του δίνει σοβαρά πλεονεκτήματα όπως την δυνατότητα να απορροφά το 99% της προσπίπτουσας ακτινοβολίας. Οι σύγχρονες τεχνικές όμως μας προσφέρουν αποδόσεις πλαισίου γύρω στο 6-8%. Στο εργαστήριο η απόδοση στα φωτοβολταϊκά στοιχεία έχει φθάσει το 16%.

Μελλοντικά αναμένεται το κόστος του να πέσει αρκετά. Σημαντικότερος κατασκευαστής για φωτοβολταϊκά στοιχεία **CdTe** είναι η **First Solar**. Τροχοπέδη για την χρήση του αποτελεί το γεγονός ότι το κάδμιο σύμφωνα με κάποιες έρευνες είναι καρκινογόνο με αποτέλεσμα να προβληματίζει το ενδεχόμενο της εκτεταμένης χρήσης του. Ήδη η **Greenpeace** έχει εναντιωθεί στην χρήση του. Επίσης προβληματίζει η **έλλειψη του Τελλουρίου**. Σημαντικότερη χρήση του είναι ή ενθυλάκωση του στο γυαλί ως δομικό υλικό (**BIPV Building Integrated Photovoltaic**).

#### 4. Αρσενικούχο Γάλλιο (GaAs)



Το Γάλλιο είναι ένα παραπροϊόν της ρευστοποίησης άλλων μετάλλων όπως το αλουμίνιο και ο ψευδάργυρος. Είναι πιο σπάνιο ακόμα και από τον χρυσό. Το Αρσενικό δεν είναι σπάνιο αλλά έχει το μειονέκτημα ότι είναι δηλητηριώδες. Το αρσενικούχο γάλλιο έχει ενεργειακό διάκενο 1,43eV που είναι ιδανικό για την απορρόφηση της ηλιακής ακτινοβολίας.

Η απόδοση του στην μορφή πολλαπλών συνενώσεων (multijunction) είναι η υψηλότερη που έχει επιτευχθεί και αγγίζει το 29%. Επίσης τα φωτοβολταϊκά στοιχεία **GaAs** είναι εξαιρετικά ανθεκτικά στις υψηλές θερμοκρασίες γεγονός που επιβάλλει σχεδόν την χρήση τους σε εφαρμογές **ηλιακών συγκεντρωτικών συστημάτων (solar concentrators)**. Τα φωτοβολταϊκά στοιχεία **GaAs** έχουν το πλεονέκτημα ότι αντέχουν σε πολύ υψηλές ποσότητες ηλιακής ακτινοβολίας, για αυτό αλλά και λόγω της πολύ υψηλής απόδοσης του ενδείκνυται για **διαστημικές εφαρμογές**. Το μεγαλύτερο μειονέκτημα αυτής της τεχνολογίας είναι το υπερβολικό κόστος του μονοκρυσταλλικού GaAs υποστρώματος.

#### **Υβριδικά Φωτοβολταϊκά Στοιχεία**

Ένα υβριδικό φωτοβολταϊκό στοιχείο αποτελείται από στρώσεις υλικών διαφόρων τεχνολογιών.

- HIT (Heterojunction with Intrinsic Thin-layer). Τα πιο γνωστά εμπορικά **υβριδικά φωτοβολταϊκά** στοιχεία αποτελούνται από δύο στρώσεις άμορφου πυριτίου (πάνω και κάτω) ενώ ενδιάμεσα υπάρχει μια στρώση μονοκρυσταλλικού πυριτίου.

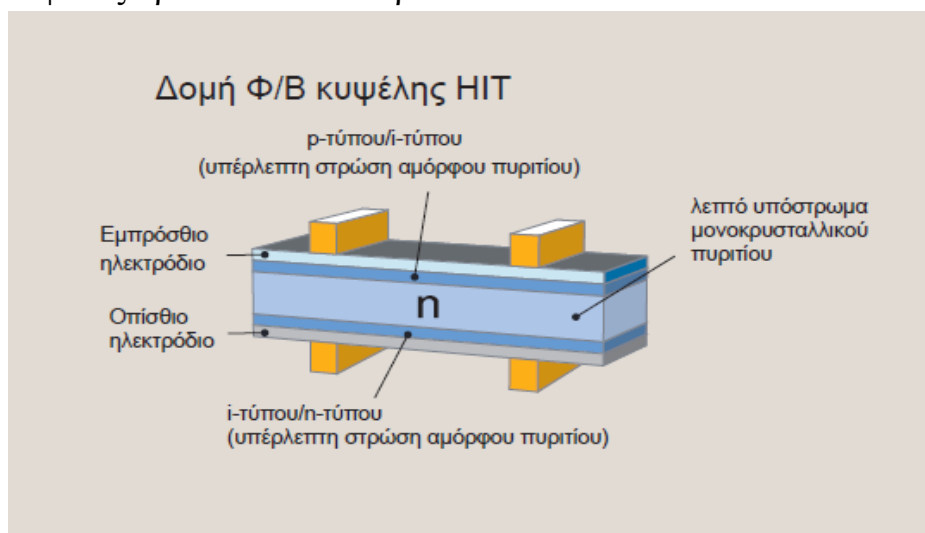
Κατασκευάζεται από την **Sanyo Solar**. Το μεγάλο πλεονέκτημα αυτής της τεχνολογίας είναι ο υψηλός βαθμός απόδοσης του πλαισίου που φτάνει σε εμπορικές εφαρμογές στο **17,3%** και το οποίο σημαίνει ότι χρειαζόμαστε μικρότερη επιφάνεια για να έχουμε την ίδια εγκατεστημένη ισχύ. Τα αντίστοιχα φωτοβολταϊκά στοιχεία

έχουν απόδοση 19,7%. Αλλα πλεονεκτήματα για τα υβριδικά φωτοβολταϊκά στοιχεία είναι η **υψηλή τους απόδοση** σε υψηλές θερμοκρασίες αλλά και η μεγάλη τους απόδοση στην διαχεόμενη ακτινοβολία. Φυσικά, αφού προσφέρει τόσα πολλά, το υβριδικό φωτοβολταϊκό είναι και κάπως ακριβότερο σε σχέση με τα συμβατικά φωτοβολταϊκά πλαίσια.

Χαρακτηριστικά και πλεονεκτήματα

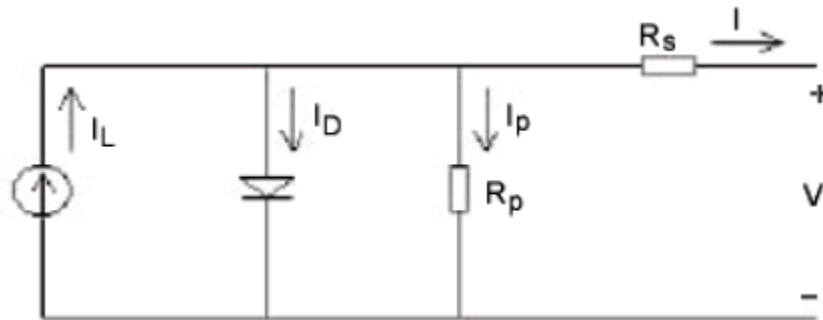
- Υψηλή απόδοση: Οι κυψέλες και τα πάνελ HIT παρουσιάζουν πολύ υψηλές αποδόσεις σε μαζική παραγωγή (πάνελ έως 17,3%, κυψέλη έως 20,0%).
- Υψηλή απόδοση σε υψηλές θερμοκρασίες: Ακόμη και σε υψηλές θερμοκρασίες, οι κυψέλες HIT παρουσιάζουν υψηλότερη απόδοση από τις συμβατικές κυψέλες κρυσταλλικού πυριτίου.
- Περισσότερη καθαρή ενέργεια:

Οι κυψέλες HIT παράγουν περισσότερη καθαρή ενέργεια από τις υπόλοιπες συμβατικές κυψέλες κρυσταλλικού πυριτίου.



### 1.10 Ισοδύναμο ηλεκτρικό κύκλωμα μιας φωτοβολταϊκής κυψέλης & χαρακτηριστικές

Το ισοδύναμο κύκλωμα μιας φωτοβολταϊκής κυψέλης φαίνεται στο σχήμα 3.3. Η πηγή ρεύματος αναπαριστά το φωτορεύμα (IL), το οποίο παράγεται στην επαφή, από τα φωτόνια που έχουν αρκετή ενέργεια για να παράγουν ζεύγη ηλεκτρονίων οπών. Η δίοδος αναπαριστά την επαφή PN με το ανάστροφο ρεύμα κορεσμού (ID). Οι απώλειες Joule και τα ρεύματα διαρροής αναπαρίστανται από τα ρεύματα μέσω της αντίστασης σειράς ( $R_s$ ) και την παράλληλη αντίσταση ( $R_p$ ) αντίστοιχα.



**Σχήμα 3.3** – Ισοδύναμο κύκλωμα μιας φωτοβολταϊκής κυψέλης

Εάν εφαρμοστεί πρώτος νόμος του Kirchoff σε έναν από τους κόμβους του ισοδύναμου κυκλώματος, το ρεύμα που θα παρέχεται από μια κυψέλη, για μια δεδομένη θερμοκρασία θα δίνεται από την σχέση:

$$I = I_L - I_D - I_P = I_L - I_0 \left( \exp \left( \frac{e(V + IR_s)}{NmKT_{cel}} \right) - 1 \right) - \frac{V + IR_s}{R_p}$$

Όπου:

**I** είναι το ρεύμα εξόδου

**I<sub>L</sub>** είναι το φωτορεύμα

**I<sub>D</sub>** είναι το ρεύμα της διόδου

**I<sub>P</sub>** είναι το ρεύμα διαρροής

**I<sub>0</sub>** είναι το ανάστροφο ρεύμα κόρου

**N** είναι ο αριθμός των κυψελών σε σειρά

**m** είναι ο παράγοντας ιδανικότητας της διόδου, που είναι μεταξύ 1 και 2 για το μονοκρυσταλλικό πυρίτιο.

**K** είναι η σταθερά Boltzman

**T<sub>cel</sub>** είναι η θερμοκρασία της κυψέλης

**e** είναι το φορτίο του ηλεκτρονίου

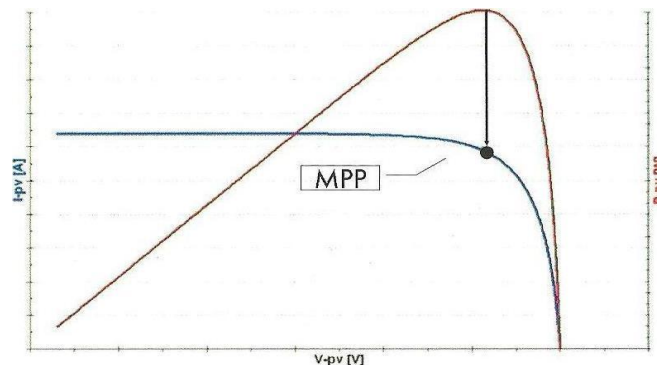
**V** είναι η τάση των ακροδεκτών

**R<sub>S</sub>** είναι η αντίσταση σειράς

**R<sub>P</sub>** είναι η παράλληλη αντίσταση

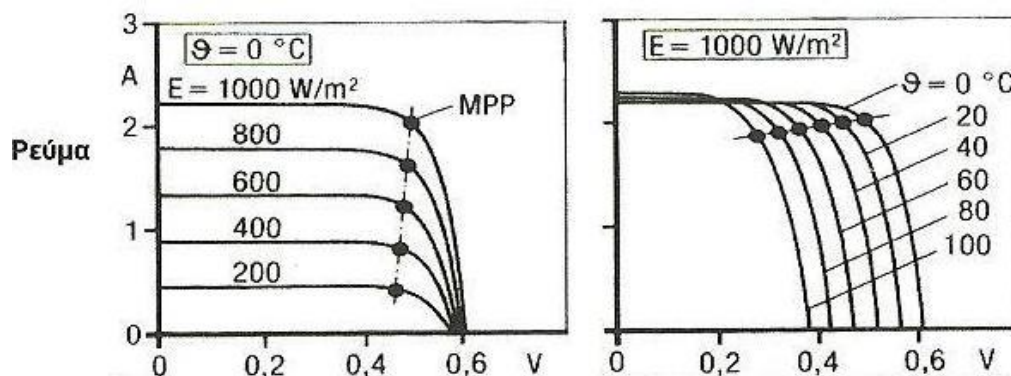
Στην περίπτωση που έχουμε ένωση πολλών κυψελών (φωτοβολταϊκά πανελ), N είναι ο αριθμός των κυψελών που είναι συνδεδεμένες σε σειρά. Τα περισσότερα από τα πάνελ που είναι διαθέσιμα στην αγορά αποτελούνται από 30 έως 36 κυψέλες.

Χαρακτηριστικές καμπύλες μιας φωτοβολταϊκής κυψέλης:

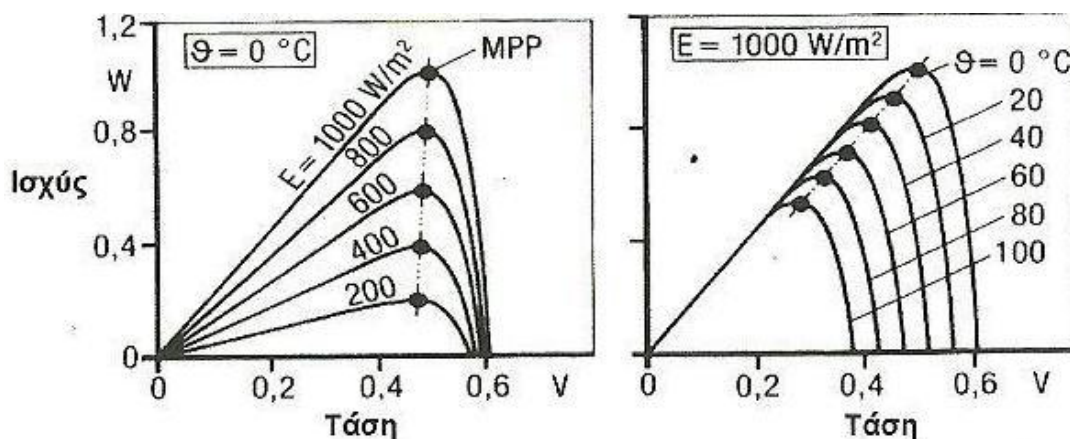


Σχήμα 3.4 – χαρακτηριστική καμπύλη ενός φωτοβολταϊκού πάνελ.

Παρακάτω βλέπουμε καμπύλες τάσης - ρεύματος (V-I) για διάφορες θερμοκρασίες και για διάφορες εντάσεις προσπίπτοντος ακτινοβολίας



Σχήμα 3.5 – Χαρακτηριστικές V-I φωτοβολταϊκής κυψέλης για διάφορες θερμοκρασίες και εντάσεις προσπίπτουσας ακτινοβολίας



Θ-Θερμοκρασία κυψέλης

E- Ηλιακή ακτινοβολία

Σχήμα 3.6 – Χαρακτηριστικές καμπύλες ισχύος – τάσης εξόδου για χαρακτηριστικές τιμές έντασης προσπίπτουσας ακτινοβολίας και θερμοκρασίας.

Τα τρία πιο σημαντικά ηλεκτρικά χαρακτηριστικά ενός Φ/Β πλαισίου είναι το ρεύμα βραχυκύκλωσης  $I_{SC}$ , η τάση ανοιχτού κυκλώματος  $V_{OC}$  και το σημείο μέγιστης ισχύος **MPP**.

1.Ανοιχτό κύκλωμα: αυτό το σημείο λαμβάνεται όταν οι επαφές του module είναι αποσυνδεδεμένες. Τότε το module έχει στα άκρα του μια τάση η οποία καλείται “open circuit voltage”  $V_{oc}$ .

2.Βραχυκύκλωμα: αυτό το σημείο λαμβάνεται όταν οι επαφές του module είναι συνδεδεμένες με έναν ιδανικό αγωγό. Τότε ρέει ένα ρεύμα το οποίο ονομάζεται “short circuit current”  $I_{sc}$ . Σε αυτή την περίπτωση η τάση μεταξύ των ακροδεκτών είναι μηδέν.

3.Μέγιστη ισχύς: είναι το σημείο στο οποίο το γινόμενο τάσης –ρεύματος είναι μέγιστο  $P_{max}$ .

Για να βρούμε την τάση ανοικτού κυκλώματος  $oc$   $V$  , μετρώντας την τάση στους ανοιχτούς ακροδέκτες σε πλήρη ηλιοφάνεια. Το ρεύμα βραχυκυκλώματος  $I_{sc}$  το βρίσκουμε βραχυκυκλώνοντας την έξοδο σε πλήρη ηλιοφάνεια.

Επίσης αν θέλουμε να κάνουμε μια πρόχειρη εκτίμηση της ποιότητας των φωτοβολταϊκών κυψελών μπορούμε να υπολογίσουμε τον λόγο της μέγιστης ισχύος προς το γινόμενο  $I_{oc} \cdot V_{oc}$  για μια δεδομένη ένταση προσπίπτουσας ακτινοβολίας. Ο λόγος αυτός είναι γνωστός σαν «παράγοντας πλήρωσης» ή Fill Factor (FF) και δίνεται από την σχέση:

$$FF = \frac{V_{MP} \times I_{MP}}{V_{OC} \times I_{OC}}$$

Μια τυπική τιμή για υψηλής ποιότητας ηλιακές κυψέλες είναι 70-80%. Ο FF εξαρτάται ασθενώς από την  $R_{sh}$ , αλλά έντονα από την  $R_s$ . Έτσι όταν  $R_s \downarrow \Rightarrow FF \uparrow$  , οπότε εξαρτάται άμεσα από την κατασκευή του φωτοβολταϊκού.

Επίσης η απόδοση της κυψέλης θα δίνεται από την σχέση:

$$n = \frac{P_{out \text{ ηλεκτρικη}}}{P_{in \text{ ηλεκτρικη}}} \times 100\%$$

$$n = \frac{P_{MPP}}{A_c \times E}$$

Η απόδοση έχει τυπική τιμή για υψηλής ποιότητας ηλιακές κυψέλες τις τάξης του 10-25%. Το  $n$  εξαρτάται από την θερμοκρασία και όταν  $T \downarrow \Rightarrow V_{oc} \uparrow \Rightarrow n \uparrow$  . Η εξάρτηση αυτή ισχύει υπό συνηθισμένες συνθήκες και είναι αποτέλεσμα της μεταβολής των συνθηκών λειτουργίας.

## **Κεφάλαιο 2**

### **Διασυνδεδεμένο Φωτοβολταϊκό Σύστημα 400KW**

## 2.1 Εισαγωγή

Διασυνδεδεμένο Φωτοβολταϊκό Σύστημα λέγεται το φωτοβολταϊκό σύστημα που είναι συνδεδεμένο στο δίκτυο της ΔΕΗ. Έτσι, ο παραγωγός ηλεκτρικής ενέργειας από τον ήλιο πωλεί στη ΔΕΗ το παραγόμενο ηλεκτρικό ρεύμα, έναντι προσυμφωνημένης τιμής.

Στο διασυνδεδεμένο σύστημα δεν απαιτούνται μπαταρίες αφού το ρεύμα διοχετεύεται ("αποθηκεύεται") στο δίκτυο της ΔΕΗ με αποτέλεσμα το κόστος ενός διασυνδεδεμένου φωτοβολταϊκού συστήματος να είναι σημαντικά χαμηλότερο από το κόστος ενός αυτόνομου φωτοβολταϊκού συστήματος που απαιτεί τη χρήση ακριβών συσσωρευτών.

## 2.2 Τα σημαντικότερα στοιχεία που αποτελούν την γεννήτρια του φωτοβολταϊκού συστήματος είναι:

- Τα Φ/Β πλαίσια
- Βάση στηρίξεις των πλαισίων
- DC πινάκες ή συσκευές παραλληλισμού στοιχειοσειρών
- Αντιστροφείς (Inverters)

### 2.2.1 Φωτοβολταϊκά πλαίσια

Όπως είπαμε και στο κεφαλαίο 1 φ/β πλαίσια είναι τα στοιχεία εκείνα που μετατρέπουν την ηλιακή ακτινοβολία σε συνεχές ρεύμα και δημιουργούνται από διαφορές τεχνολογίες σε διαφορετικές διαστάσεις και αποδόσεις από τις εταιρίες παράγωγης.

Τα σημαντικότερα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά ενός Φ/Β πλαισίου είναι το ρεύμα βραχυκύκλωσης  $I_{sc}$ , η τάση ανοιχτού κυκλώματος  $V_{oc}$  και το σημείο μέγιστης ισχύος **MPP**. Κυρίως μας ενδιαφέρει η μεταβολή των παραπάνω μεγεθών σε σχέση με τη θερμοκρασία και την προσπίπτουσα ακτινοβολία.

Για τα Φ/Β πλαίσια της παρούσας εργασίας ο θερμοκρασιακός συντελεστής της  $V_{oc}$  δίνεται από τα φυλλάδια του κατασκευαστή και είναι  $-0,109V/^\circ C$ . Είναι σημαντικό εδώ να αναφέρουμε ότι η τάση ενός πλαισίου καθορίζεται από τη θερμοκρασία των Φ/Β κυττάρων κατά τη λειτουργία τους η οποία διαφέρει από τη θερμοκρασία περιβάλλοντος.



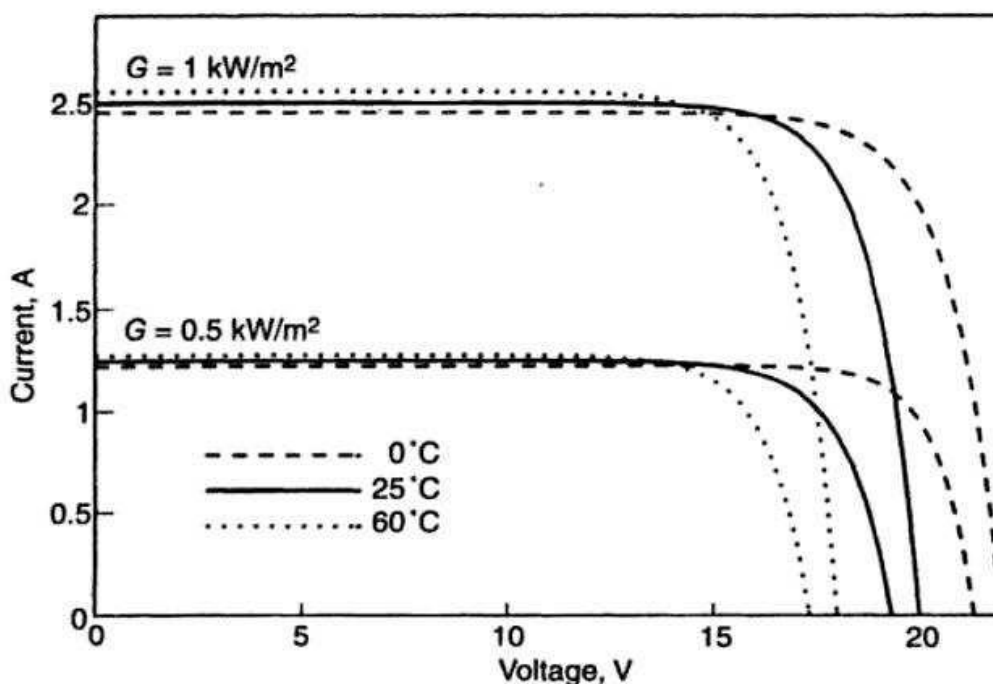
Για την ποσοτικοποίηση των επιδόσεων των ηλιακών κυψελών έχει διεξαχθεί πλήθος εργαστηριακών δοκιμών και έχουν καθιερωθεί κάποιες συνθήκες ως βιομηχανικά πρότυπα για τις δοκιμές, οι Πρότυπες Συνθήκες Δοκιμών (ΠΣΔ), συγκεκριμένα:

- Πυκνότητα ακτινοβολίας:  $1\text{ kW/m}^2$
- Μάζα αέρα: 1,5 AM
- Θερμοκρασία περιβάλλοντος:  $20^\circ\text{C}$
- Μέση ταχύτητα αέρα:  $> 1\text{ m/sec}$

Για το ρεύμα βραχυκύκλωσης ο θερμοκρασιακός συντελεστής έχει θετικό πρόσημο και είναι της τάξης των  $+6\mu\text{A}/^\circ\text{C}$  ανά τετραγωνικό εκατοστό της επιφάνειας του πλαισίου. Το πλαίσιο της παρούσας εργασίας έχει θερμοκρασιακό συντελεστή  $I_{sc}$  περίπου  $+2,21\text{ mA}/^\circ\text{C}$ .

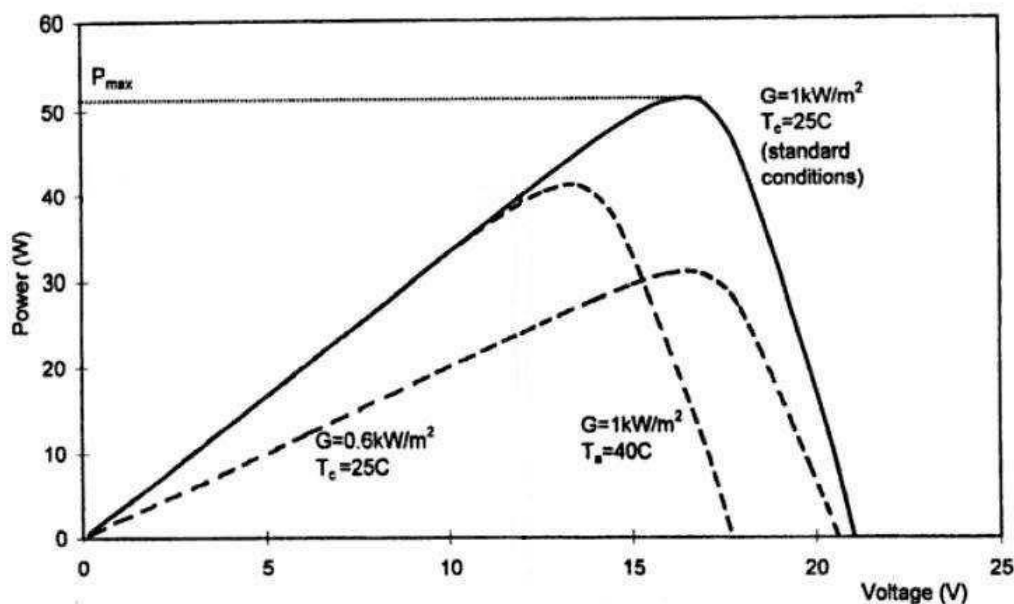
Η πυκνότητα ακτινοβολίας έχει σημαντική επίδραση στο ρεύμα βραχυκύκλωσης. Συγκεκριμένα, το  $I_{sc}$  είναι ευθέως ανάλογο με της πυκνότητα της ακτινοβολίας και κατά τη διάρκεια της ημέρας μεταβάλλεται όπως και αυτή. Δίνεται από τη σχέση:

$$I_{SC}(G) = I_{SC}(1\text{ kW} / \text{m}^2) \times G(\text{ kW} / \text{m}^2)$$



**Σχήμα 2.2.1** Εξάρτηση της καμπύλης I-V ενός Φ/Β πλαισίου από την θερμοκρασία και την ακτινοβολία.

Η λειτουργία ενός Φ/Β πλαισίου πρέπει να είναι όσο πιο κοντά γίνεται στο σημείο μέγιστης ισχύος. Όπως φαίνεται και στο σχήμα 2.2.2, το σημείο αυτό μεταβάλλεται πολύ με τις διαφοροποιήσεις της θερμοκρασίας και της ακτινοβολίας.



**Σχήμα 2.2.2** Εξάρτηση της παραγόμενης ισχύος ενός Φ/Β πλαισίου από την τάση σαν συνάρτηση της θερμοκρασίας περιβάλλοντος και της ακτινοβολίας

Είναι σημαντικό να αναφέρουμε ότι η τάση μέγιστης ισχύος είναι σχεδόν ανεξάρτητη από την ακτινοβολία. Η μέση τιμή της κατά τη διάρκεια της ημέρας είναι περίπου 80% της VOC, μια ιδιότητα πολύ καθοριστική για τον αριθμό των πλαισίων που θα σχηματίζουν μια στοιχειοσειρά. Η ισχύς PMPP μειώνεται με την αύξηση της θερμοκρασίας και για τα πλαίσια που χρησιμοποιούμε στην εργασία ο θερμοκρασιακός συντελεστής είναι  $-0,30\%/^{\circ}\text{C}$  ή  $-0,72\text{W}/^{\circ}\text{C}$ .

Συμπερασματικά λοιπόν μπορούμε να πούμε ότι οι μεταβολές της θερμοκρασίας επηρεάζουν κυρίως της τάση VOC και VMPP ενώ μεταβολές στην ακτινοβολία το ISC. Αυτό φαίνεται ξεκάθαρα στο σχήμα 2.2.1 όπου βλέπουμε πως αλλάζουν οι παραπάνω παράμετροι. Σε πρακτικές εφαρμογές λαμβάνουμε υπ' όψιν μας μόνο τις παραπάνω εξαρτήσεις (αμελούμε δηλαδή την εξάρτηση της τάσης από την ακτινοβολία και του ρεύματος από τη θερμοκρασία). Κατά τη διάρκεια μιας ημέρας, η ακτινοβολία μεταβάλλεται πολύ πιο έντονα από την θερμοκρασία, συνεπώς περιμένουμε το ρεύμα να μεταβάλλεται πολύ πιο έντονα από την τάση. Τέλος, στο σχήμα 2.2.2 παρατηρούμε ότι για την ίδια θερμοκρασία περιβάλλοντος ( $T_a=25^{\circ}\text{C}$ ) διαφοροποιήσεις στην ακτινοβολία αλλάζουν τη μέγιστη αποδιδόμενη ισχύ του πλαισίου. Όμως, η μέγιστη αυτή ισχύς αποδίδεται για την ίδια περίπου τάση VMPP

(17,5V περίπου). Επομένως είναι αναγκαία η ύπαρξη μιας ηλεκτρονικής διάταξης που να ελέγχει την τάση του πλαισίου ή της στοιχειοσειράς ώστε να έχουμε πάντα μέγιστη απόδοση.

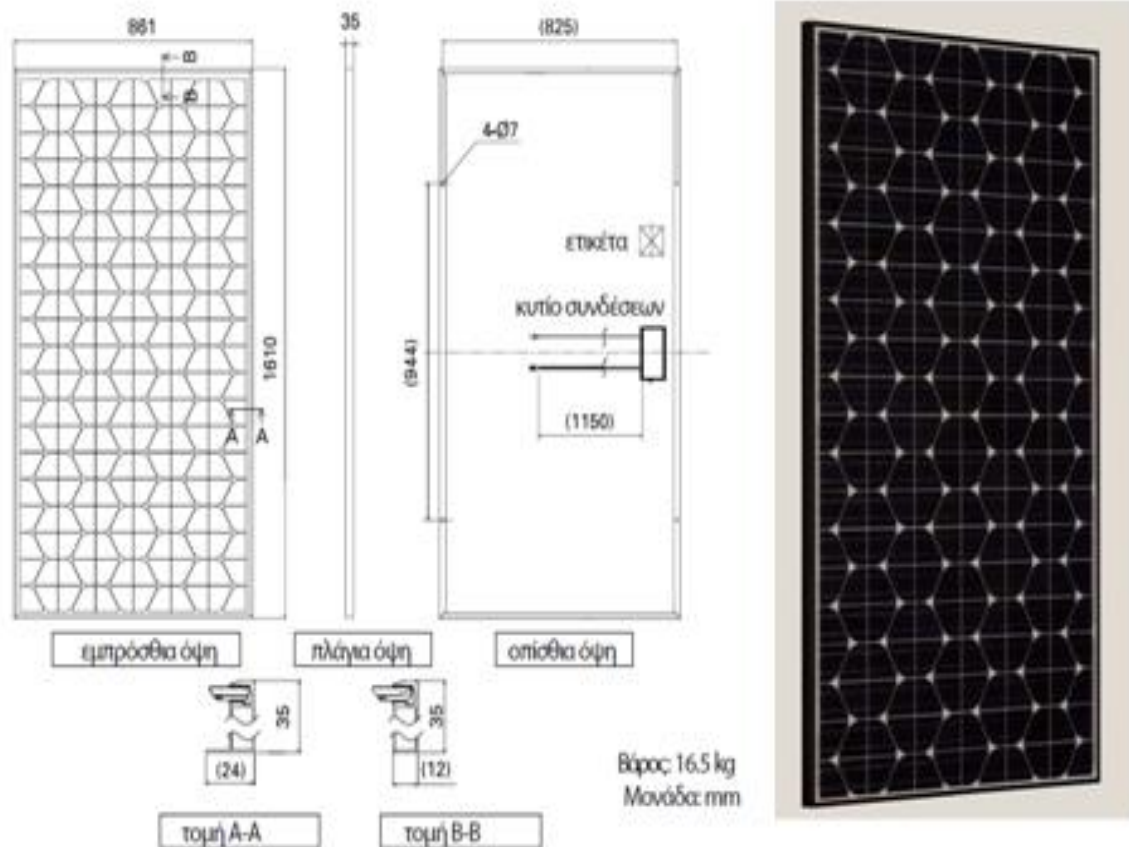
Στο φ/β σταθμό των 400KW επιλέξαμε υβριδικά Φ/Β πάνελ (HIT-240HDE4) υψηλής απόδοσης (17,3%) της εταιρίας Sanyo των οποίων το κόστος είναι περίπου λίγο παραπάνω από τα μονοκρυσταλλικά. Λόγο της υψηλής απόδοσης τους ο απαιτούμενος χώρος εγκατάστασης είναι μικρότερος με αποτέλεσμα να μειώνει και το κόστος εγκατάστασης.

Τα χαρακτηριστικά του φ/β πλαισίου είναι:

<b>Ηλεκτρικά χαρακτηριστικά</b>	<b>HIT-240HDE4</b>
Ονομαστική ισχύς (P <sub>nom</sub> )	240 Wp
Ανοχή ισχύος	+ 10 / - 5 %
Τάση στο σημείο μεγ. ισχύος (U <sub>mp</sub> )	35,5 V
Ρεύμα στο σημείο μεγ. ισχύος (I <sub>mp</sub> )	6,77 A
Τάση ανοιχτού κυκλώματος (U <sub>oc</sub> )	43,6 V
Ρεύμα βραχυκύκλωσης (I <sub>sc</sub> )	7,37 A
Μέγιστη τάση συστήματος	1000 VDC
Μέγιστο αντίστροφο ρεύμα (IR)	15 A
Βαθμός απόδοσης	17,30%

<b>Θερμοκρασιακοί συντελεστές</b>	<b>HIT-240HDE4</b>
Ισχύος TK (P <sub>n</sub> )	- 0,30 %/°C
Τάσης ανοιχτού κυκλώματος TK (U <sub>oc</sub> )	- 0,109 V/°C
Ρεύματος βραχυκύκλωσης TK (I <sub>sc</sub> )	+ 2,21 mA/°C

<b>Μηχανικά χαρακτηριστικά</b>	<b>HIT-240HDE4</b>
Διαστάσεις	1610 mm x 861 mm x 35 mm
Βάρος	16,5 kg
Κυψέλες	HIT: Υβριδικές μονοκρυσταλλικές κυψέλες περικλειόμενες από υπέρλεπτες στρώσεις αμόρφου πυριτίου
Καλώδια εξόδου	Ακροδέκτες MC4, μήκος καλωδίου 1150 mm για κάθε πόλο, καλώδιο 4 mm <sup>2</sup>



**Σχήμα 2.2** Φωτοβολταϊκό πλαίσιο HIT-240HDE4 240 Wp και μηχανολογικά του χαρακτηριστικά.

Οι παράμετροι σύμφωνα με τις οποίες έγινε η επιλογή των πλαισίων ήταν η αξιοπιστία και η τεχνογνωσία της κατασκευάστριας εταιρίας, η μέγιστη ισχύς που παράγουν και η απόδοσή.

**Πίνακας2 .1 Συγκριτικός πίνακας των υλικών που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή φ/β στοιχείων**

<b>Υλικό φ/β στοιχείων</b>	<b>Απόδοση φ/β στοιχείων του εμπορίου</b>	<b>Πλεονεκτήματα</b>	<b>Μειονεκτήματα</b>
<b>Μονοκρυσταλλικό Πυρίτιο</b>	<b>14 - 18%</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ομοιόμορφη μοριακή δομή</li> <li>• Μεγάλος βαθμός απόδοσης</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Υψηλό κόστος παραγωγής</li> <li>• Μεγάλες απώλειες κατά τη διαδικασία κοπής</li> <li>• Ενεργοβόρα διαδικασία παραγωγής</li> </ul>
<b>Πολυκρυσταλλικό Πυρίτιο</b>	<b>13 - 15%</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Οικονομικότερη παραγωγική διαδικασία από το μονοκρυσταλλικό πυρίτιο</li> <li>• Τετραγωνικά δισκίδια επιτρέπουν μεγαλύτερο δείκτη κάλυψης</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Χαμηλότερη απόδοση συγκρινόμενη με το μονοκρυσταλλικό πυρίτιο</li> <li>• Μεγάλες απώλειες κατά τη διαδικασία κοπής</li> </ul>
<b>Ribbon Πυρίτιο</b>	<b>12 - 13%</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Λιγότερες απώλειες πυριτίου στην παραγωγή</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Χειρότερη ποιότητα πυριτίου από αυτή του μον/κού</li> <li>• Περιορισμένες εμπορική παραγωγή μέχρι σήμερα</li> </ul>
<b>Άμορφο Πυρίτιο</b>	<b>6 - 9%</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Χαμηλό κόστος παραγωγής συγκρινόμενο με το κρυσταλλικό πυρίτιο</li> <li>• Υψηλό επίπεδο απορρόφησης της ηλιακής ακτινοβολίας</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Μικρός βαθμός απόδοσης</li> <li>• Βαθμιαία μείωση της απόδοσης με την πάροδο του χρόνου</li> </ul>
<b>Αρσενικούχο γάλλιο</b>	<b>25 - 29%</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Μεγάλος βαθμός απόδοσης</li> <li>• Υψηλή θερμική αδράνεια</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Υψηλό κόστος παραγωγής (5πλασιο του κρυσταλλικού πυριτίου)</li> </ul>
<b>Υβριδικά τεχνολογίας (HIT)</b>	<b>17 - 20%</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Μεγάλος βαθμός απόδοσης</li> <li>• Υψηλή απόδοση σε υψηλές θερμοκρασίες</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Υψηλό κόστος παραγωγής (ελάχιστα ακριβότερο την τεχνολογία μονοκρυσταλλικού πυριτίου)</li> </ul>

## 2.2.2 Βάσεις Στήριξης

Οι βάσεις στήριξης είναι από τα πρώτα που εγκαταστώνται σε ένα Φ/Β σταθμό και περιλαμβάνουν εργασίες εκσκαφής, θεμελίωσης και σκυροδέτησης. Η κατασκευή τους πρέπει να είναι ανθεκτική τόσο στο βάρος των πλαισίων, των καλωδίων διασύνδεσης και πολλές φορές και μικρών αντιστροφών, όσο και στις αντίξοες καιρικές συνθήκες που μπορεί να επικρατούν στην περιοχή. Τα υλικά από τα οποία κατασκευάζονται είναι κυρίως γαλβανισμένο ατσάλι ή αλουμίνιο. Το πλεονέκτημα του αλουμινίου, αν και πιο ακριβό, είναι ότι είναι πιο ελαφρύ και εύκολο στην επεξεργασία.

### Τύποι βάσεων στήριξης

#### 1. Σταθερές βάσεις

Ο απλούστερος τύπος στήριξης φωτοβολταϊκών πλαισίων είναι ο σταθερός (fixed), ο οποίος έχει το πλεονέκτημα των ακίνητων τμημάτων και το μειονέκτημα ότι δεν εκμεταλλεύεται με τον μέγιστο βαθμό την ηλιακή ακτινοβολία. Τα πλαίσια τοποθετούνται με νότιο προσανατολισμό (για το Βόρειο ημισφαίριο) και έχουν μια κλίση ως προς το οριζόντιο επίπεδο κατάλληλη ώστε να μεγιστοποιείται η πρόσληψη ηλιακής ακτινοβολίας, ανάλογα με το χρονικό διάστημα που είναι επιθυμητό. Το ελαφρό τους βάρος και η απλότητά τους, τις καθιστά χρήσιμες για μια πληθώρα εφαρμογών. Οι σταθερές βάσεις κατασκευάζονται συνήθως από αλουμίνιο ή ανοξείδωτο χάλυβα (χάλυβα γαλβανισμένο εν θερμώ). Συνήθως κατασκευάζονται μετά από τεχνική μελέτη ώστε να διαπιστωθεί η στατική τους επάρκεια και η αντοχή τους σε ανεμοπιέσεις ή φορτία χιονιού.

Οι βάσεις τοποθετούνται επί του εδάφους είτε με σκυροδέτηση είτε απευθείας με εδαφόμεληξη. Η σκυροδέτηση των βάσεων γίνεται συνήθως σε δοκάρια (δηλαδή σε όλη τη σειρά των βάσεων) από οπλισμένο σκυρόδεμα, είτε σε πέσματα από σκυρόδεμα, τοποθετημένα κατάλληλα ώστε να επιτρέπουν το βίδωμα των υποδοχών των βάσεων. Η εδαφόμεληξη γίνεται συνήθως σε βάθη τυπικά του 0,5-1,5 μέτρα, όπου τοποθετούνται πάσσαλοι, επί των οποίων στη συνέχεια εδράζεται η βάση.

#### 2. Στρεφόμενες βάσεις

Για να βελτιωθεί η απόδοση συγκέντρωσης της ηλιακής ακτινοβολίας, μπορούν να χρησιμοποιηθούν βάσεις με κινητά πλαίσια, τα οποία θα παρακολουθούν την κίνηση του ηλίου. Για να μεγιστοποιηθεί η προσλαμβανόμενη ηλιακή ακτινοβολία απαιτείται

η κίνηση των βάσεων τόσο στον οριζόντιο άξονα (άξονας ανύψωσης) όσο και στον πολικό άξονα (αζιμούθιος άξονας). Χωρίζονται σε δύο κατηγορίες ανάλογα με το αν κινούνται σε έναν άξονα ή δύο άξονες.

#### α. Στρεφόμενες βάσεις ενός άξονα

Στις στρεφόμενες βάσεις ενός άξονα ως άξονας κίνησής τους μπορεί να επιλεγεί είτε ο οριζόντιος είτε ο πολικός. Ο πολικός άξονας πλεονεκτεί όσον αφορά την συγκομιδή ετήσιας ηλιακής ακτινοβολίας έναντι του οριζόντιου άξονα κάνει όμως την εγκατάσταση πιο περίπλοκη μηχανικά.

#### β. Περιστροφικές βάσεις δύο αξόνων

Αποτελούν την πλειοψηφία των στρεφόμενων βάσεων και επιτυγχάνουν την μέγιστη δυνατή συγκέντρωση ηλιακής ακτινοβολίας. Η καθοδήγηση των μηχανισμών γίνεται με την βοήθεια θερμοϋδραυλικών διατάξεων, μικροϋπολογιστών για την πρόβλεψη της θέσης του ήλιου και ηλιακών αισθητήρων, όπως φωτοαντιστάσεις και φωτοτρανζίστορ.



### 3. Βάσεις με ανακλαστήρες/κάτοπτρα

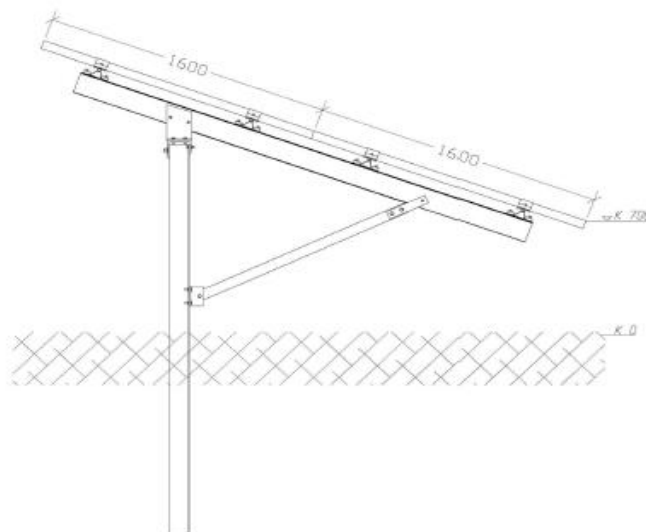
Ένας άλλος σχεδιασμός που βοηθά στην αύξηση της απόδοσης ενός φ/β συστήματος επιτυγχάνεται με την χρήση ανακλαστήρων/κατόπτρων.

Κατασκευάζονται σε διάφορες μορφές (κοίλα, παραβολικά, ελλειπτικά, τριγωνικά, κωνικά, κ.α.) και σκοπός τους είναι να ενισχύουν και να εστιάζουν το ποσό του ηλιακού φωτός προς τα φ/β στοιχεία.

## Στήσιμο βάσεων

Ο τύπος βάσεων στήριξης φωτοβολταϊκών πλαισίων που διαλέξαμε στο Φ/Β σταθμό των 400KW είναι ο σταθερός με αζιμούθιο γωνία  $0^{\circ}$  μοίρες (νότιος προσανατολισμός). Όσον αφορά τη βέλτιστη κλίση των φ/β πλαισίων για το γεωγραφικό πλάτος της περιοχής, απαιτεί την χρήση χρονοσειρών της ηλιακής ακτινοβολίας ( $W/m^2$ ) και γενικότερα μετεωρολογικών δεδομένων και μια μεγάλη σειρά πράξεων από τύπους που είναι δύσκολο να βρεθούν. Για αυτό χρησιμοποιώντας το προγράμμα (RETScreen) και εισάγοντας σε αυτό τα στοιχεία από το Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS). Συγκρίνοντας την ετήσια παράγωγη ανάλογα με την κλίση των πλαισίων, διαλέγουμε την καλύτερη κλίση όπου στην περίπτωση μας είναι  $30^{\circ}$  μοίρες.

Οι βάσεις που διαλέξαμε είναι της γερμανικής εταιρείας “SCHLETTER” και συγκεκριμένα το σύστημα FS2V.

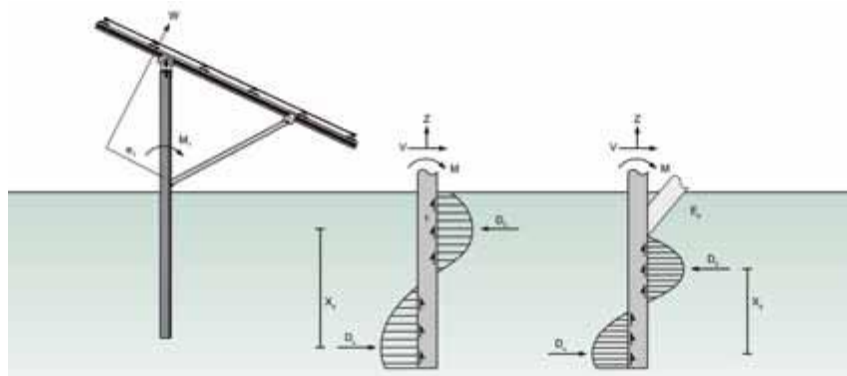
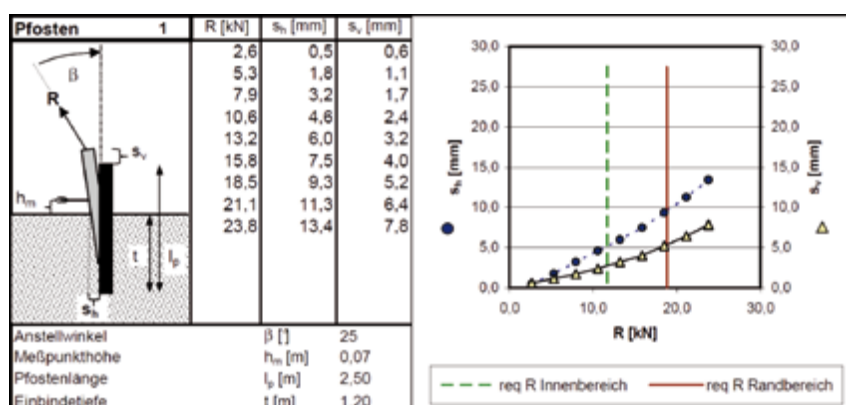


Το σύστημα στήριξης FS2V καθιστά δυνατή την γρήγορη και οικονομική κατάρτιση σχεδίων για μεγάλα Φ/Β έργα με τους επιθυμητούς τύπους πλαισίων. Ταυτόχρονα εγγυώνται μεγάλη διάρκεια ζωής, βέλτιστη στερέωση στο έδαφος, ελάχιστη στεγανοποίηση της επιφάνειας του εδάφους καθώς και καλή πρόσβαση για την κατοπινή φροντίδα της εγκατάστασης.



Πρώτο βήμα στον σχεδιασμό μιας σωστής εγκατάστασης είναι η γεωλογική εξέταση, στην διάρκεια της οποίας διεξάγονται πολλές δοκιμές και χρησιμοποιούνται δείγματα του εδάφους για να διευκρινιστούν το είδος, η δομή του και η εδαφική ποσοτική αντίσταση:

- Διαγώνιες εξολκεύσεις
- Οριζόντια δοκιμή συμπίεσης
- Δειγματοληψία εδάφους
- Χημική ανάλυση σε εργαστήριο



### Μηχανική διαγώνια εξόλκευση υπεδάφους

Η βασική ιδέα των δοκιμαστικών διαγώνιων εξολκεύσεων βασίζεται στο ότι η κατεύθυνση του ανέμου που σημειώνεται δεν είναι αποκλειστικά κάθετη ή οριζόντια στο έδαφος αλλά σχεδόν κάθετη στην επιφάνεια των πάνελ. Έτσι προκύπτει μια τιμή πίεσης επαφής, από το σημείο που ξεκινάει η ροπή καταπόνησης, σε μορφή ζεύγους δυνάμεων. Η αντίσταση κατά της τριβής μεταξύ των πασσάλων και του εδάφους, σε γωνίες κλίσης μεγαλύτερες από 15°, είναι κατά κανόνα υψηλότερη από την εξωτερική τριβή, συνεπώς προκύπτει υψηλότερη αντίσταση εξόλκευσης.

Για την εγκατάσταση χρησιμοποιούνται γαλβανισμένοι εν θερμό τραπεζοειδείς πάσσαλοι σε διάφορα μεγέθη. Η ειδικά σχεδιασμένη μορφή έχει βέλτιστη διείσδυση στο έδαφος και ταυτόχρονα την μέγιστη αντίσταση κάμψεως. Συνεπώς πετυχαίνεται η μεταφορά των εσωτερικών δυνάμεων στην κορυφή της εγκατάστασης, χαρακτηριστικό το οποίο προσδίδει στην βάση στήριξης την μεγαλύτερη δυνατή σταθερότητα ενάντια σε δυνατούς ανέμους και χιονοπτώσεις.



Η έμπηξη των πασσάλων στο έδαφος γίνεται με ειδικά, φιλικά προς το έδαφος, υδραυλικά μηχανήματα. Ειδικά για μεγάλες εγκαταστάσεις, αυτή η τεχνική πασσαλόμπηξης είναι η καταλληλότερη. Ένα μηχάνημα, ανάλογα με το έδαφος, μπορεί να φτάσει σε απόδοση περίπου 100kW/Ημέρα. Ακόμα και στην περίπτωση δύσκολου εδάφους (πετρώδες, κλπ), υπάρχει λύση. Αν το υπέδαφος είναι ιδιαίτερα πετρώδες, τοποθετείται στο μηχάνημα ειδικό τρυπάνι. Διαδικασία πραγματοποιήσιμη και σε πλαγιές επίσης.



Το αξίωμα της στατικής επάρκειας όλων των κατασκευών FS είναι η χρήση των βέλτιστων γεωμετρικών σταθερών. Σύμφωνα με το μέγεθος της βάσης του επιθυμητού πάνελ, χρησιμοποιείται είτε μονοπάσσαλη βάση στήριξης είτε ένα «δίκτυο» πασσάλων στήριξης. Βασική αρχή όμως παραμένει ο κάθε πάσσαλος να κάνει την καλύτερη δυνατή χρήση των γεωμετρικών σταθερών της κατασκευής και να έχει την μεγαλύτερη δυνατή αντίσταση κάμψης σε στιγμές καταπόνησης. Χάρη στη συνεχόμενη δομή των πασσάλων της βάσης η οποία διατηρείται μέχρι και την κορυφή της κατασκευής, αποφεύγονται τυχόν σημεία διάβρωσης (επιπλέον μηχανικές διεργασίες).



### 2.2.3 DC πινάκες & Συσκευές παραλληλισμού στοιχειοσειρών

Ο πίνακας DC τοποθετείται πριν από την είσοδο των καλωδίων συνεχώς ρεύματος στον Inverter και συναρμολογείται ανάλογα με τις στοιχειοσειρές, το ρεύμα και την τάση που δέχεται ο μετατροπέας.

Οι πίνακες αυτοί αντιστοιχούν ένας σε κάθε Inverter. Χωροταξικά τοποθετούνται δίπλα σε κάθε Inverter και είναι εξωτερικού χώρου με βαθμό προστασίας IP 65. Η λειτουργία τους είναι διπλή. Αρχικά συγκεντρώνουν όλη την ενέργεια από τους επιμέρους κλάδους (strings) των φωτοβολταϊκών γεννητριών κάθε inverter και αφού ασφαλιστούν κατάλληλα δίνουν την DC τροφοδοσία σε αυτόν.

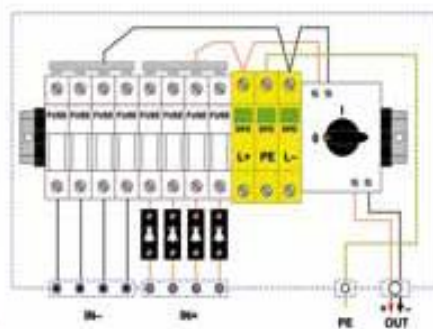
Ο πίνακας DC προστατεύει το μετατροπέα (inverter) από υπερτάσεις, περιορίζοντας στο μέγιστο βαθμό τις επιδράσεις των κρουστικών ρευμάτων που εμφανίζονται στις φωτοβολταϊκές διατάξεις (string) εξαιτίας των άμεσων ή και έμμεσων διηλεκτρικών εκκενώσεων.

Με τις ασφάλειες που παρέχει ο πίνακας προστατεύονται οι φωτοβολταϊκές διατάξεις (strings) από ανάστροφα ρεύματα τα οποία αναπτύσσονται λόγω σκιάσεων ή άλλων επιδράσεων του περιβάλλοντος.

Η κάθε διάταξη εξασφαλίζεται ξεχωριστά και όλες είναι παράλληλα συνδεδεμένες, με αποτέλεσμα αν δημιουργηθεί κάποιο σφάλμα υπερέντασης να απομονωθούν οι ελαττωματικές διατάξεις και το υπόλοιπο Φωτοβολταϊκό Σύστημα να λειτουργεί κανονικά.

Ο πίνακας DC αποτελείται από τα παρακάτω υλικά:

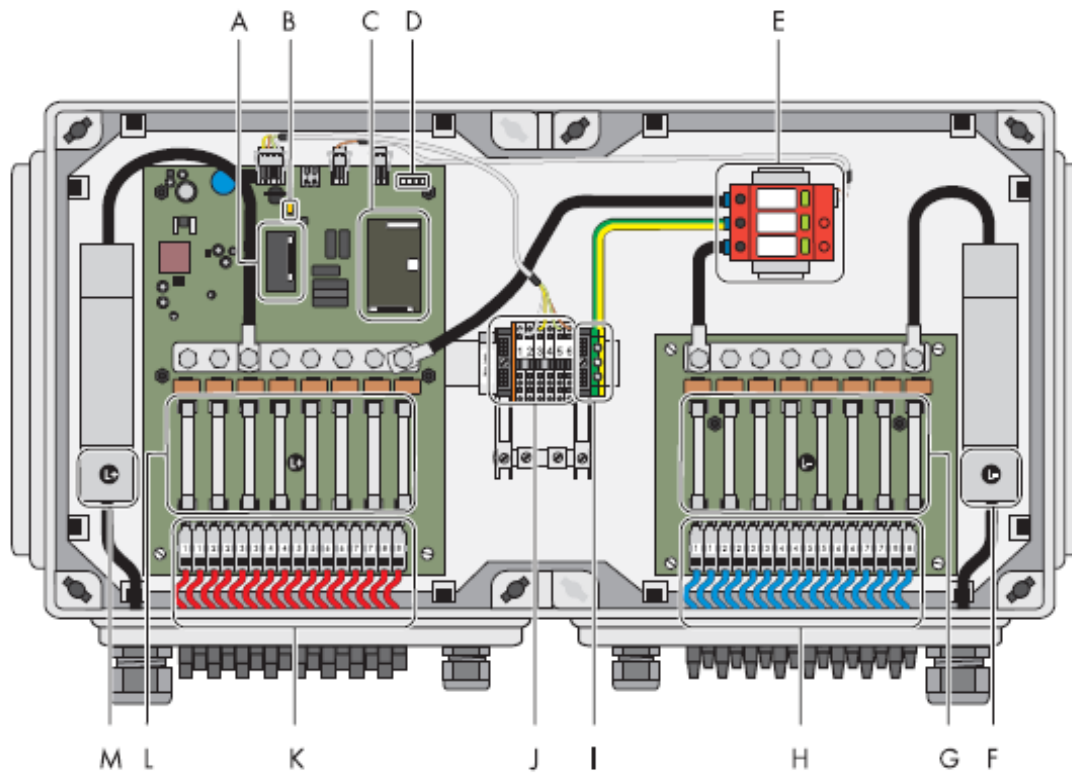
- Αντικεραυνικό
- Ασφαλειοθήκες με ασφαλείς DC
- Διακόπτη DC
- Κλέμες





### Συσκευή παραλληλισμού στοιχειοσειρών

Οι στοιχειοσειρές μιας συστοιχίας είναι απαραίτητο να παραλληλιστούν πριν οδηγηθούν στην είσοδο του αντιστροφέα. Στις περιπτώσεις με κεντρικό αντιστροφέα χρησιμοποιούνται πινάκες παραλληλισμού πόλων εισόδων οποίοι φέρουν όλες τις απαραίτητες διατάξεις προστασίας και παρακολούθησης των ηλεκτρικών παραμέτρων τους.



## Εξαρτήματα

- A Rigggy-Back επικοινωνίας
- B Βραχυκυκλωτήρας για επικοινωνία
- C Επεξεργασία δεδομένων Rigggy-Back
- D Λυχνίες LED για ένδειξη κατάστασης λειτουργίας
- E Απαγωγός υπέρτασης
- F Κύριο καλώδιο DC αρνητικού πόλου
- G Ασφάλειες DC
- H Συνδέσεις στοιχειοσειρών DC αρνητικού πόλου
- I Συνδετήρας γείωσης
- J Σύνδεση επικοινωνίας
- K Συνδέσεις στοιχειοσειρών DC θετικού πόλου
- L Ασφάλειες DC
- M Κύριο καλώδιο DC θετικού πόλου

## 2.2.4 Αντιστροφέας (DC/AC) (inverter)

Η βασική λειτουργία των μετατροπέων είναι η μετατροπή του συνεχούς ρεύματος (DC) που παράγεται από τα φωτοβολταϊκά πλαίσια σε εναλλασσόμενο (AC), χρησιμοποιώντας στο ενδιάμεσο αυτό στάδιο διατάξεις που αποτελείται από ημιαγωγούς ισχύος (IGBTs, MOSFETs) καθώς και ηλεκτρονικά κυκλώματα ελέγχου. Υπάρχει μια μεγάλη γκάμα μετατροπέων (στοιχειοσειράς ή κεντρικούς) διαφόρων βαθμίδων ισχύος και τεχνολογιών οι οποίοι πληρούν όλους τους διεθνείς και ευρωπαϊκούς κανονισμούς καθώς και όλες τις απαιτήσεις της ΔΕΗ για τη σύνδεση με το δίκτυο.

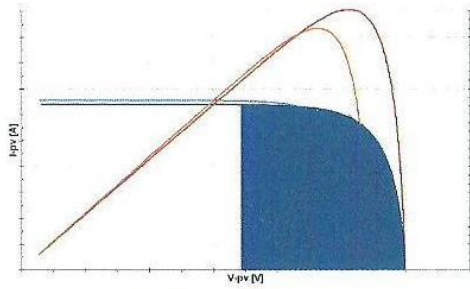
Οι μετατροπείς (Inverters) χάρις την πρωτοποριακή τεχνολογία επιτυγχάνουν βαθμό απόδοσης πάνω από 98 %. Αυτό σημαίνει ότι το ρεύμα που παράγεται από τις φωτοβολταϊκές μονάδες μπορεί να μετατραπεί σχεδόν σε αναλογία 1:1 σε εναλλασσόμενο ρεύμα, κατάλληλο για το δίκτυο ρεύματος, και να τροφοδοτηθεί στο δημόσιο δίκτυο.

Οι σύγχρονοι μετατροπείς (Inverters) είναι εξοπλισμένοι με τα πιο σύγχρονα συστήματα ασφαλείας για όλες τις εργασίες, τόσο στη φωτοβολταϊκή εγκατάσταση όσο και στο δίκτυο εναλλασσόμενης τάσης.

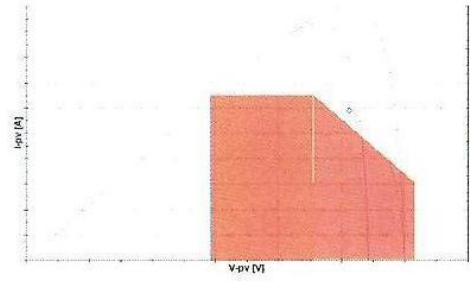
### Εύρος λειτουργίας Φ/Β - Μετατροπέα

Το εύρος λειτουργίας των Φ/Β και του μετατροπέα δεν είναι εναρμονισμένα. Θα πρέπει να υπολογίσουμε σωστά τα παρακάτω:

- 1) Τάση MPP των Φ/Β στις υψηλές θερμοκρασίες
- 2) Τάση ανοιχτού κυκλώματος των φ/β στις χαμηλές θερμοκρασίες
- 3) Μεγίστη ισχύ Φ/Β γεννήτριας

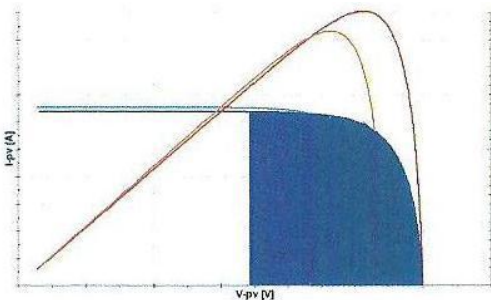


Φ/Β γεννήτρια

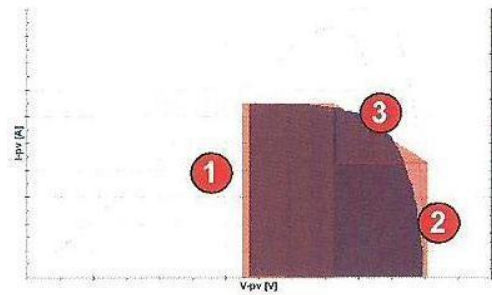


Μετατροπέας

Σχ. . Ο μετατροπέας ταιριάζει με την Φ/Β γεννήτρια.



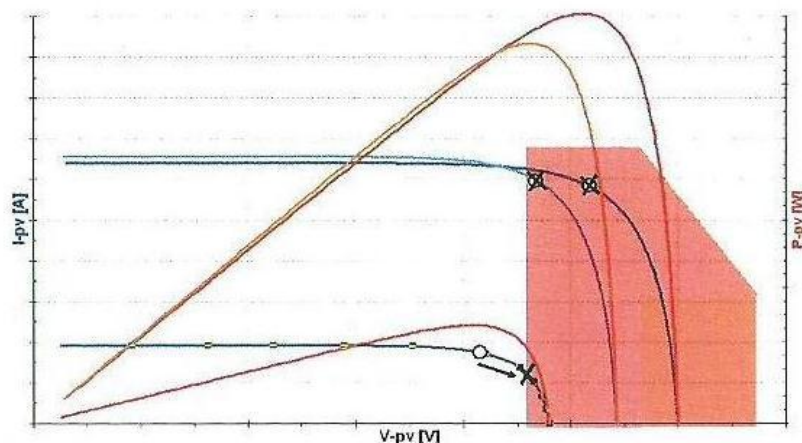
Φ/Β γεννήτρια



Μετατροπέας

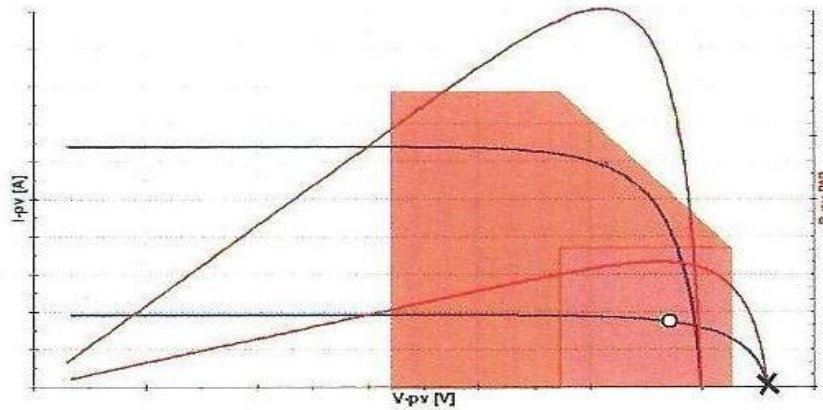
Σχ. . Ο μετατροπέας δεν ταιριάζει με την Φ/Β γεννήτρια.

(1).Περίπτωση όταν η τάση MPP της Φ/Β γεννήτριας είναι μικρότερη από την minimum τάση εισόδου του μετατροπέα τότε ο μετατροπέας λειτουργεί παράγοντας και τροφοδοτώντας το δίκτυο με ενέργεια που παράγεται σε τάση μακριά από το σημείο MPP των Φ/Β.

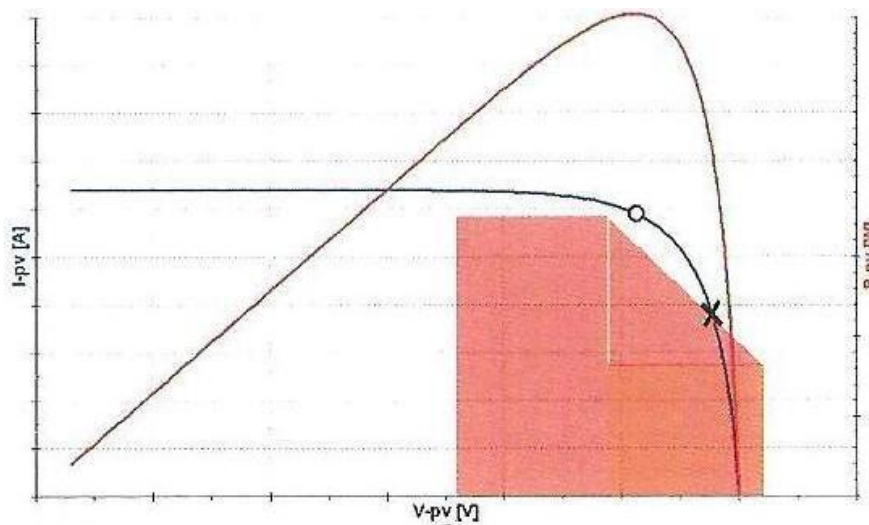




(2).Περίπτωση όταν η τάση ανοικτού κυκλώματος των φωτοβολταϊκών είναι μεγαλύτερη από την μέγιστη επιτρεπτή τάση εισόδου του μετατροπέα, τότε ο μετατροπέας δεν λειτουργεί. Ανάλογα την τάση και την θερμοκρασία μπορεί να οδηγηθούμε σε καταστροφή του μετατροπέα.



(3).Περίπτωση όταν τα  $\Phi/B$  μπορούν να παράγουν περισσότερη ισχύ και να δώσουν περισσότερο ρεύμα από τον μετατροπέα. Τότε ο μετατροπέας θα συνεχίσει να τροφοδοτεί το δίκτυο με την μέγιστη ισχύ του.



Άρα κανόνες λειτουργίας μετατροπέα, Φ/Β πάρκου είναι:

- +70 °C : Τάση – MPP > min. Τάση εισόδου του Inverter.
- -10 °C : Τάση ανοικτού κυκλώματος < max. Τάση εισόδου του Inverter.
- Ο λόγος ισχύος να είναι 90....110% Ανάλογα με τις τοπικές συνθήκες ( Λόγος ισχύος = Ισχύς μετατροπέα / Μεγίστη ισχύ Φ/Β)

Στην εργασία μας θα αναπτύξουμε την τοπολογία του φωτοβολταϊκού σταθμού με δύο τρόπους. Με τεχνολογία string χρησιμοποιώντας τριφασικούς Inverter των 17 kW και με κεντρικό inverter των 400kW.

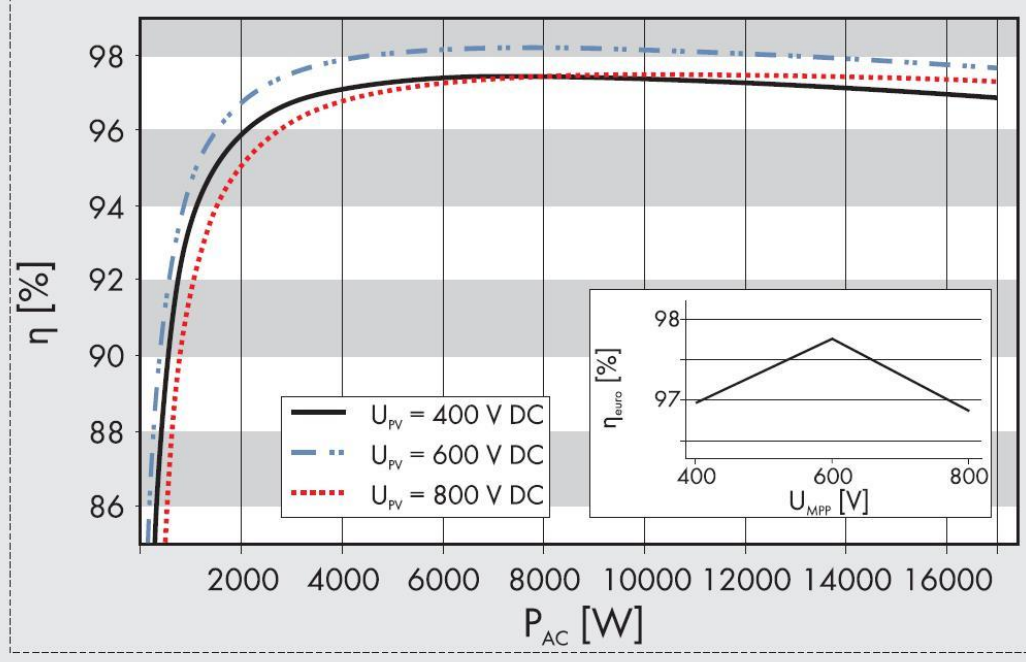


(α) SMA Sunny Tripower 17000TL-10 (β) SMA Sunny Central SC 400MV-11

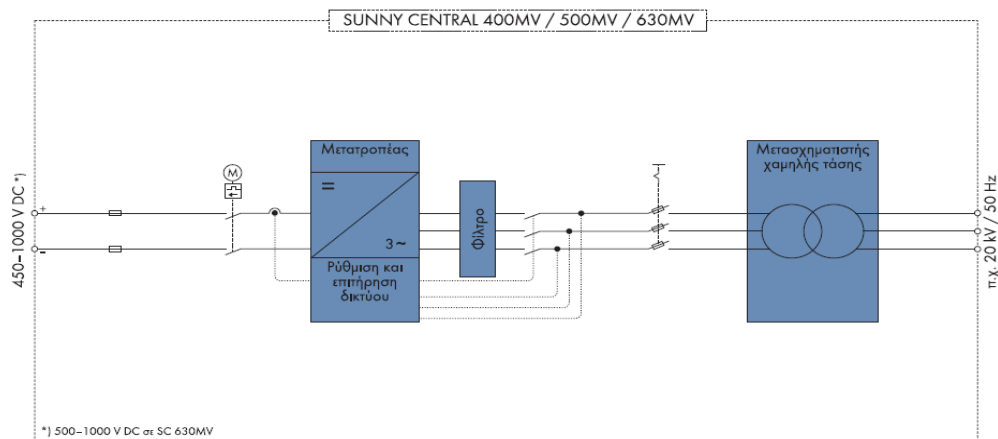
Παρακάτω φαίνονται τα τεχνικά χαρακτηριστικά από τα εγχειρίδια του κατασκευαστή.

Τεχνικά χαρακτηριστικά	Sunny Tripower 17000TL
<b>Είσοδος (DC)</b>	
Μέγιστη ισχύς DC (@ $\cos \varphi = 1$ )	17410 W
Μέγιστη τάση DC	1000 V
Εύρος τάσης σημείου μέγιστης ισχύος (MPP)	400 V - 800 V
Ονομαστική τάση DC	600 V
Ελάχιστη τάση DC / Τάση εκκίνησης	150 V / 188 V
Μέγιστο ρεύμα εισόδου / ανά στοιχειοσειρά	A: 33 A, B: 11 A / 33 A
Αριθμός ανχνευτών MPP / Στοιχειοσειρές ανά ανχνευτή MPP	2 / A: 5, B: 1
<b>Έξοδος (AC)</b>	
Ονομαστική ισχύς AC (@ 230 V, 50 Hz)	17000 W
Μέγιστη φαινόμενη ισχύς AC	17000 VA
Ονομαστική τάση, περιοχή τάσεων AC	
Συχνότητα δικτύου, εύρος AC	50, 60 Hz, -6 Hz, +5 Hz
Μέγιστο ρεύμα εξόδου	24,6 A
Συντελεστής ισχύος ( $\cos \varphi$ )	1
Φάσεις τροφοδοσίας / Φάσεις σύνδεσης / Power Balancing	3 / 3 / -
<b>Βαθμός απόδοσης</b>	
Μέγιστος βαθμός απόδοσης / Euro-Eta (EBA)	98,2 % / 97,8 %
<b>Διατάξεις προστασίας</b>	
Προστασία από αντιστροφή πόλων DC / προστασία από ανάστροφη τάση	● / ηλεκτρονικές
Αποζεύκτης φορτίου DC ESS	●
Αντοχή σε βραχυκύκλωμα AC	●
Επιτήρηση βραχυκυκλώματος προς τη γη	●
Επιτήρηση δικτύου (SMA grid guard)	●
Γαλβανική απομόνωση / μονάδα επιτήρησης ρεύματος σφάλματος ευαίσθητη σε όλα τα ρεύματα	- / ●
Απαγωγοί υπέρτασης DC (τύπου II)	○
Εντοπισμός βλάβης στοιχειοσειρών	●
Κατηγορία προστασίας / Κατηγορία υπέρτασης	I / III
<b>Γενικά χαρακτηριστικά</b>	
Διαστάσεις (Π / Υ / Β) σε mm	665 / 690 / 265
Βάρος	65 kg
Εύρος τιμών θερμοκρασίας λειτουργίας	-25 °C ... +60 °C
Εκπομπή θορύβου, τυπική	www.SMA-Solar.com
Ιδία κατανάλωση (νύχτα)	1 W
Τοπολογία	Χωρίς μετασχηματιστή
Τρόπος ψύξης	OptiCool
Είδος προστασίας ηλεκτρονικού συστήματος / Περιοχή σύνδεσης (κατά το πρότυπο IEC 60529)	IP65 / IP54
Κατηγορία κλίματος (κατά το πρότυπο IEC 60721-3-4)	4K4H
<b>Εξοπλισμός</b>	
Σύνδεση DC: SUNCLIX	●
Σύνδεση AC: Κοχλιωτός συνδετήρας / Ελατηριωτός συνδετήρας	- / ●
Οθόνη: Γραμμή κειμένου / Γραφικά	- / ●
Διεπαφές: RS485 / Bluetooth®	○ / ●
Εγγύηση: 5 / 10 / 15 / 20 / 25 χρόνια	● / ○ / ○ / ○ / ○
Πιστοποιητικά και εγκρίσεις (περισσότερα κατόπιν αιτήματος)	
* Δεν ισχύει για όλα τα εθνικά προσαρτήματα του προτύπου EN 50438	
● Βασικός εξοπλισμός ○ Προαιρετικά - Δεν διατίθεται	
Προσωρινά στοιχεία, κατάσταση Ιανουάριος 2011 - Στοιχεία με ονομαστικές συνδέσεις	
Χειρισμός	STP 17000TL-10

Καμπύλη βαθμού απόδοσης SUNNY TRIPOWER 17000TL



Τεχνικά χαρακτηριστικά		Sunny Central 400 MV
<b>Τιμές εισόδου</b>		
Ονομαστική ισχύς DC		408 kW
Μέγ. Φωτοβολταϊκή ισχύς (συνίσταται), ( $P_{\text{φωτοβολταϊκής εγκατάστασης}}$ )		450 kW <sub>p</sub>
Περιοχή τάσεων DC, MPPT ( $U_{\text{DC}}$ )		450 V - 820 V 5)
Μέγ. επιτρεπόμενη τάση DC ( $U_{\text{DC, max.}}$ )		1000 V
Μέγ. επιτρεπόμενο ρεύμα DC ( $I_{\text{DC, max.}}$ )		1000 A
Διακύμανση φωτοβολταϊκής τάσης ( $U_{\text{SS}}$ )		< 3 %
Αριθμός ασφαλισμένων εισόδων DC		2 συνδέσεις για εξ
<b>Μεγέθη εξόδου</b>		
Ονομαστική ισχύς AC ( $P_{\text{AC}}$ )		400 kW <sup>6)</sup>
Τάση εξόδου $\pm 10$ % ( $U_{\text{AC}}$ )		20 kV
Ονομαστικό ρεύμα AC ( $I_{\text{AC, nom}}$ )		11,6 A
Συχνότητα εξόδου ( $f_{\text{AC}}$ )		50 Hz / 60 Hz
Συντελεστής αρμονικής παραμόρφωσης ρεύματος ( $K_{\text{IAC}}$ )		< 3 % σε ονομαστική ισχύ
Συντελεστής ισχύος ( $\cos \varphi$ )		1
<b>Βαθμός απόδοσης <sup>2)</sup></b>		
Μέγιστος βαθμός απόδοσης $P_{\text{AC}}$ , μέγ. ( $\eta$ )		97,5 %
Euro Eta ( $\eta$ )		97,1 %
<b>Διαστάσεις και βάρος</b>		
Πλάτος / Ύψος / Βάθος σε mm (Π / Υ / Β) με διάταξη ζεύξης		5300 / 3600 / 2500
Πλάτος / Ύψος / Βάθος σε mm (Π / Υ / Β) χωρίς διάταξη ζεύξης		4800 / 3600 / 2500
Βάρος κατά προσέγγιση (m)		30 t
<b>Κατανάλωση ισχύος</b>		
Ιδία κατανάλωση στη λειτουργία ( $P_{\text{ημέρας}}$ ) <sup>4)</sup>		< 2800 W
Ιδία κατανάλωση σε κατάσταση αναμονής ( $P_{\text{night}}$ )		< περ. 100 W + 720 W
Εξωτερική βοηθητική τάση τροφοδοσίας / μορφή δικτύου		3 x 400 V, 50/60 Hz / TN-S, TN-C ή δίκτυο TT
Εξωτερική προκαταρκτική ασφάλεια για εφεδρική τροφοδοσία		B 20 A, 3 πόλων
<b>Διεπαφές SCC (Sunny Central Control)</b>		
Επικοινωνία (NET Riggy Back, προαιρετικά)		αναλογικό, ISDN, Ethernet
Αναλογικές εισοδοί		1 x Pt 100, 3 x A <sub>στο</sub> <sup>3)</sup>
Προστασία από υπέρταση για αναλογικές εισόδους		προαιρετικά
Σύνδεση Sunny String Monitor (COM1)		RS485
Σύνδεση H/Y (COM3)		RS232
Εξωτερική επαφή ένδειξης σφάλματος		1



## **Κεφάλαιο 3**

**Σχεδίαση διασυνδεδεμένου Φ/β συστήματος με SMA Sunny  
Tripower 17000 TL & Sunny Central SC 400MV-11**

### 3.1 Εισαγωγή

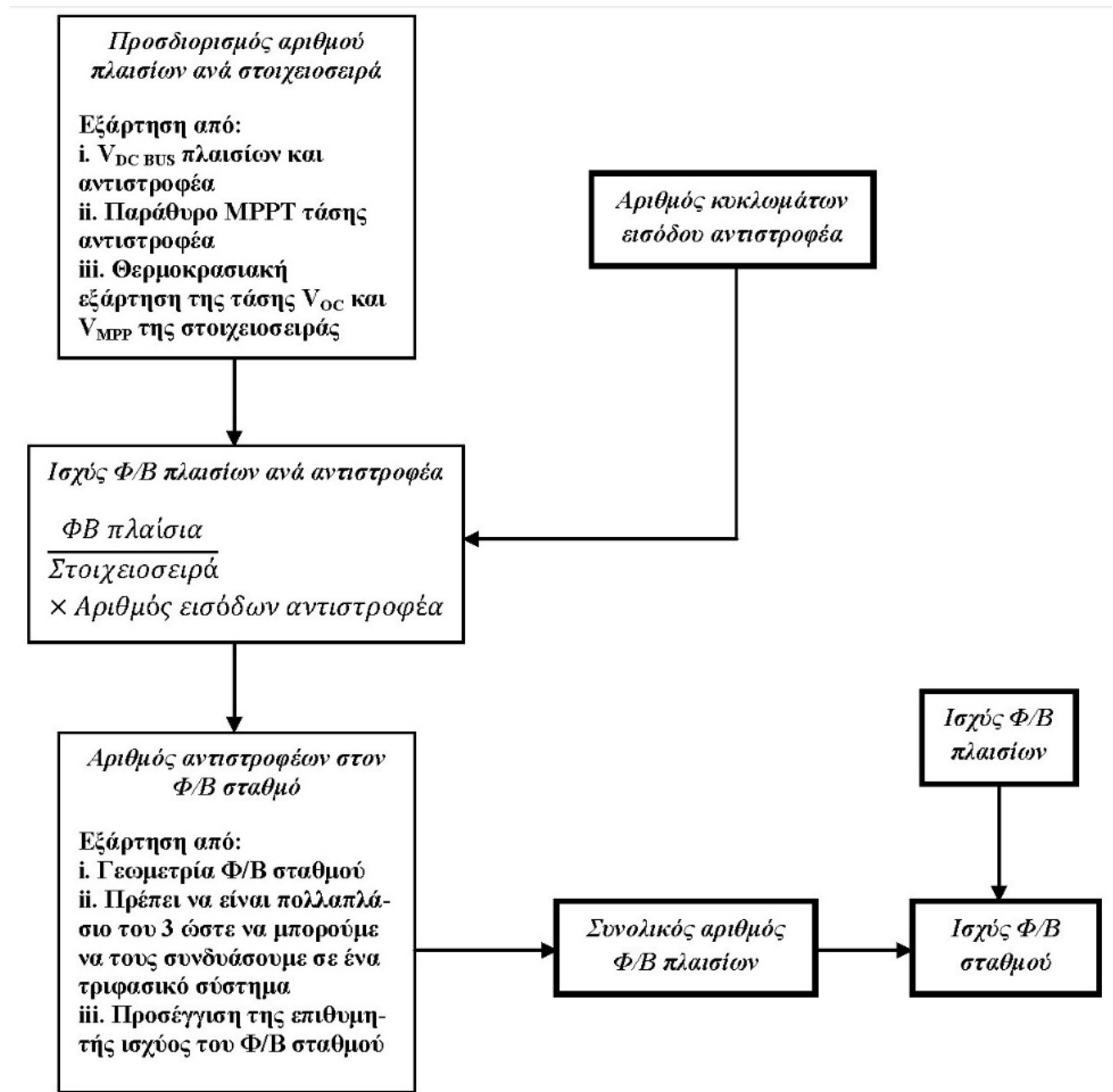
Στο κεφαλαίο αυτό γίνεται αναφορά στα βήματα και στο τρόπο για τη σωστή σχεδίαση και λειτουργία της φωτοβολταϊκής γεννήτριας. Βλέπουμε τη διαδικασία προσαρμογής των φωτοβολταϊκών πλαισίων στον αντιστροφέα, γίνεται αναφορά στο σύστημα στήριξης των συστοιχιών και τέλος καταλήγουμε στη βέλτιστη κατασκευή ανάλογα με το μήκος, το ύψος από το έδαφος, τη διάταξη τοποθέτησης των πλαισίων και το μήκος καλωδίωσης τους.

**Φ/Β συστοιχία:** Είναι ο αριθμός των στοιχειοσειρών που συνδέονται παράλληλα σε ειδική διάταξη και στη συνέχεια καταλήγουν στον αντιστροφέα.

**Στοιχειοσειρά:** Είναι ο αριθμός των φ/β πλαισίων συνδεδεμένα σε σειρά

**Φ/Β γεννήτρια:** Το πλήθος όλων των συστοιχιών

### 3.2 Σχεδίαση διασυνδεδεμένου φ/β συστήματος με Sunny Tripower 17000TL



Σχήμα 2 Βασικά βήματα σχεδιασμού φ/β συστήματος με μικρούς αντιστροφείς



Στο έργο μας θα χρησιμοποιήσουμε Sunny Tripower 17000TL της εταιρείας SMA, τα χαρακτηριστικά του φαίνονται στο παρακάτω πίνακα.

<b>Sunny Tripower 17000TL</b>	
<b>Είσοδος (DC)</b>	
Μέγιστη ισχύς DC (cos φ= 1)	17410 W
Μέγιστη τάση DC	1000 V
Εύρος τάσης σημείου μέγιστης ισχύος (MPP)	400 V – 800 V
Ονομαστική τάση DC	600 V
Ελάχιστη τάση DC / Τάση εκκίνησης	150 V / 188 V
Μέγιστο ρεύμα εισόδου	A: 33 A, B: 11 A
Αριθμός ανιχνευτών MPP / Στοιχειοσειρές ανά ανιχνευτή MPP	2 / A: 5, B: 1
<b>Έξοδος (AC)</b>	
Ονομαστική ισχύς AC (@ 230 V, 50 Hz)	17000 W
Μέγιστη φαινόμενη ισχύς AC	17000 VA
Ονομαστική τάση AC	3 / N / PE, 230 V / 400 V
Συχνότητα δικτύου AC / εύρος	50, 60 Hz/ –6 Hz.....+5 Hz
Μέγιστο ρεύμα εξόδου	24,6 A
Συντελεστής ισχύος σε ονομαστική ισχύ / Ρυθμιζόμενος συντελεστής πρόσφυσης	1 / 0,8 υπερδιέγερση ... 0,8 υποδιέγερση
Φάσεις τροφοδοσίας / Φάσεις σύνδεσης / Power Balancing	3 / 3 / –
<b>Βαθμός απόδοσης</b>	
Μέγιστος βαθμός απόδοσης / Euro-Eta (EBA)	98,2 % / 97,8 %
<b>Διατάξεις προστασίας</b>	
Προστασία από αντιστροφή πόλων DC / προστασία από ανάστροφη τάση	ναι / ηλεκτρονικές
Αποζεύκτης φορτίου DC ESS	ναι
Αντοχή σε βραχυκύκλωμα AC	ναι
Επιτήρηση βραχυκυκλώματος προς τη γη	ναι
Επιτήρηση δικτύου (SMA grid guard)	ναι
Γαλβανική απομόνωση / μονάδα επιτήρησης ρεύματος σφάλματος ευαίσθητη σε όλα τα ρεύματα	– / ναι
Απαγωγοί υπέρτασης DC (τύπου II)	προαιρ.
Εντοπισμός βλάβης στοιχειοσειρών	ναι
Κατηγορία προστασίας / Κατηγορία υπέρτασης	I / III
<b>Γενικά χαρακτηριστικά</b>	

Διαστάσεις (Π / Υ / Β) σε mm	665 / 690 / 265
Βάρος	64 kg
Εύρος τιμών θερμοκρασίας λειτουργίας	-25 °C ... +60 °C
Εκπομπή θορύβου, τυπική	www.SMA-Solar.com
Ιδία κατανάλωση (νύχτα)	1 W
Τοπολογία	Χωρίς μετασχηματιστή
Τρόπος ψύξης	OptiCool
Είδος προστασίας ηλεκτρονικού συστήματος / Περιοχή σύνδεσης (κατά το πρότυπο IEC 60529)	IP65 / IP54
Κατηγορία κλίματος (κατά το πρότυπο IEC 60721-3-4)	4K4H
<b>Εξοπλισμός</b>	
Σύνδεση DC: SUNCLIX	ναι
Σύνδεση AC: Κοχλιωτός συνδετήρας / Ελατηριωτός συνδετήρας	— / ναι
Οθόνη: Γραμμή κειμένου / Γραφικά	— / ναι
Διεπαφές: RS485 / Bluetooth	προαιρ. / ναι
Εγγύηση: 5 / 10 / 15 / 20 / 25 χρόνια	ναι / προαιρ. / προαιρ. / προαιρ. / προαιρ.
Πιστοποιητικά και εγκρίσεις (περισσότερα κατόπιν αιτήματος)	CE, VDE 0126-1-1, DK 5940, G83/1-1, PPC, AS4777, EN 50438*, C10/C11, IEC 61727, Enel-GUIDA

Οι φωτοβολταϊκοί συλλέκτες που έχουμε επιλέξει είναι οι HIT SANYO 240 HDE 4 της εταιρείας SANYO με βαθμό απόδοσης 17,30% και τα παρακάτω χαρακτηριστικά

- Ονομαστική ισχύς (P<sub>nom</sub>): 240 Wp
- Ανοχή ισχύος: + 10 / - 5 %
- Τάση στο σημείο μεγ. ισχύος (U<sub>mp</sub>): 35,5 V
- Ρεύμα στο σημείο μεγ. ισχύος (I<sub>mp</sub>): 6,77 A
- Τάση ανοιχτού κυκλώματος (U<sub>oc</sub>): 43,6 V
- Ρεύμα βραχυκύκλωσης (I<sub>sc</sub>): 7,37 A
- Μέγιστη τάση συστήματος: 1000 VDC
- Μέγιστο αντίστροφο ρεύμα (IR): 15 A

Με τα συγκεκριμένα πάνελ μπορούν να συνδεθούν ανά στοιχειοσειρά 5 έως 21 πάνελ σε σειρά, αυτό επειδή ο Inverter μας έχει τάση εκκίνησης 188V και μέγιστη τάση DC 1000V. Με βάση το μέγιστο ρεύμα εισόδου του Inverter ανά MPPT μπορούμε να συνδέσουμε μέχρι και 4 παράλληλες σειρές στο A(MPPT) και 1 στο B(MPPT).

Συνολικά στο έργο μας με Inverter των 17KW θα χρησιμοποιηθούν 23 Inverter ( $400.000W/17410=22,97$ ). Ο αριθμός των Φ/Β πλαισίων που θα τοποθετηθούν είναι  $400.000W / 240 W = 1666$  πλαίσια, άρα το σύστημα μας θα είναι  $1666*240 W = 399,84 KWp$ .

Άρα τα 1666 Φ/Β πλαίσια θα πρέπει να χωριστούν σε 23 Inverter ( $1666/23=72,4$ ), επόμενος θα συνδεθούν 72 πάνελ σε 13 inverter και 73 πάνελ σε 10 inverter ( $72*13 + 73*10 = 1666$ ).

Στον αντιστροφέα με τα 72 πάνελ η σύνδεση στη είσοδο του είναι 3 παράλληλες σειρές των 20 πάνελ στο A.MPPT και 12 σε σειρά πάνελ στο B.MPPT.

Στον αντιστροφέα με τα 73 πάνελ η σύνδεση στη είσοδο του είναι 3 παράλληλες σειρές των 20 πάνελ στο A.MPPT και 13 σε σειρά πάνελ στο B.MPPT.

Με αυτήν τη διάταξη σύνδεσης των Φ/Β πλαισίων στους Inverter έχουμε:

A) Στην περίπτωση του Inverter με 72 Φ/Β πλαίσια

- Τάση MPP στοιχειοσειράς στους  $70^{\circ} C$  είναι (A.MPPT 612 V) (B.MPPT 367 V)
- Τάση ανοικτού κυκλώματος στοιχειοσειράς στους  $-10^{\circ} C$  είναι (A.MPPT 949 V) (B.MPPT 569 V)
- Μέγιστο ρεύμα Φ/Β γεννήτριας (A.MPPT  $3*6,77 A = 20,3$  ) και (B.MPPT 6,77 A )
- Λόγος ονομαστικής ισχύος  $17410W/(3*20*240 + 12*240W) = 17410W/17280W = 1.01*100 = 101\%$

Άρα με βάση τα χαρακτηριστικά στοιχεία του μετατροπέα (στοιχεία εισόδου) και η μέγιστη τάση και μέγιστο ρεύμα είναι μέσα στη περιοχή λειτουργίας του Inverter. Επίσης ο λόγος ονομαστικής ισχύος βρίσκεται μέσα στο πρότυπο εύρος (95%-115%).

B) Στην περίπτωση του Inverter με 73 Φ/Β πλαίσια

- Τάση MPP στοιχειοσειράς στους  $70^{\circ} C$  είναι (A.MPPT 612 V) (B.MPPT 398 V)
- Τάση ανοικτού κυκλώματος στοιχειοσειράς στους  $-10^{\circ} C$  είναι (A.MPPT 949 V) (B.MPPT 617 V)

- Μέγιστο ρεύμα Φ/Β γεννήτριας (A.MPPT 3\*6,77 A = 20,3 ) και (B.MPPT 6,77 A )
- Λόγος ονομαστικής ισχύος  $17410W / (3*20*240 + 13*240W) = 17410W / 17520W = 0.99 * 100 = 99\%$

Άρα με βάση τα χαρακτηριστικά στοιχεία του μετατροπέα (στοιχεία εισόδου) και η μέγιστη τάση και μέγιστο ρεύμα είναι μέσα στη περιοχή λειτουργίας του Inverter. Επίσης ο λόγος ονομαστικής ισχύος βρίσκεται μέσα στο πρότυπο εύρος (95%-115%).

### 3.2.1 Τοποθέτηση των Φ/Β συλλεκτών με βέλτιστη κλίση και την κατάλληλη απόσταση μεταξύ των συστοιχιών.

Η βέλτιστη κλίση για την περιοχή που θα εγκατασταθεί το έργο μας είναι  $\beta = 30^\circ$

ΠΡΟΣΑΝΑΤΟΛΙΣΜΟΣ	ΓΩΝΙΑ ΚΛΙΣΗΣ $\beta$		
	0°	30°	90°
Ανατολικός - Δυτικός	90%	90%	50%
Νοτιοανατολικός - Νοτιοδυτικός	90%	95%	60%
Νότιος	90%	100%	80%
βορειοανατολικός - βορειοδυτικός	90%	70%	40%
Βόρειος	90%	60%	30%

Πινάκας (1).. Απόδοση Φ/Β πλαισίων (%) σε διαφορές γωνίες κλίσης και προσανατολισμούς

Το γεωγραφικό πλάτος της περιχέει που θα εγκατασταθεί το έργο μας είναι ( $38^\circ 30'$ ) όπως φαίνεται και στο παρακάτω πινάκα

ΠΟΛΗ	ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΟ ΠΛΑΤΟΣ $\varphi(^{\circ})$
Σιδηρόκαστρο, Διδυμότειχο, Ορεστιάδα	41°30'
Φλώρινα, Έδεσσα, Γιαννιτσά, Κιλκίς, Σέρρες, Δράμα, Καβαλά, Ξανθή, Κομοτηνή, Αλεξανδρούπολη.	41°

Καστόρια, Πτολεμαΐδα, Κοζάνη, Νάουσα, Βέροια, Κατερίνη, Θεσσαλονίκη, Πολύγυρος, Σαμοθράκη.	40°30'
Κόνιτσα, Γρεβενά, Λιτόχωρο, Κασσάνδρα, Λήμνος.	40°
Κέρκυρα, Ηγουμενίτσα, Ιωάννινα, Μέτσοβο, Τρίκαλα, Καρδίτσα, Λάρισα, Βόλος.	39°30'
Λευκάδα, Πρέβεζα, Άρτα, Καρπενήσι, Λάμια, Σκύρος, Μυτιλήνη.	39°
Κεφαλλήνια, Ιθάκη, Αγρίνιο, Μεσολόγγι, Πάτρα, Άμφισσα, Λειβαδιά, Θήβα, Χαλκίδα, Ζάκυνθος, Αμαλιάδα, Καλάβρυτα, Κόρινθος, Μέγαρο, Ελευσίνα, Αθήνα. Ραφήνα.	38°30'
Κάρυστος, Άνδρος, Ικάρια, Σάμος.	38°
Πύργος, Μεγαλούπολη, Τρίπολη, Αργος, Ναύπλιο, Πάρος, Σύρος, Πάτμος.	37°30'
Πύλας, Καλαμάτα, Σπαρτή, Πάρος, Νάξος, Κάλυμνος, Κως.	37°
Γύθειο, Μήλος, Σαντορίνη, Ρόδος.	36°30'
Κύθηρα, Καστελλόριζο.	36°
Χάνια, Ρέθυμνο, Ηράκλειο, Κάσσος, Κάρπαθος.	35°30'
Χωρά Σφακιών, Ιεράπετρα, Αγ. Νικόλαος Κρήτης.	35°

Πινάκας (2).. Γεωγραφικό πλάτος διαφόρων ελληνικών πόλεων

Η οριζόντια απόσταση μεταξύ των στοιχειοσειρών γίνεται λαμβάνοντας υπ' όψιν, κατά κύριο λόγο, τη σκίαση που προκαλείται από τις αμέσως νοτιότερες στοιχειοσειρές αλλά και λειτουργικούς παράγοντες όπως η διακίνηση οχημάτων για τη συντήρηση του σταθμού. Ο υπολογισμός της ελάχιστης απόστασης ( $\alpha$ ) μεταξύ δύο γειτονικών σειρών γίνεται με τον ακόλουθο τρόπο:

1. Υπολογισμός της επικάλυψης του ύψους της κατασκευής στήριξης

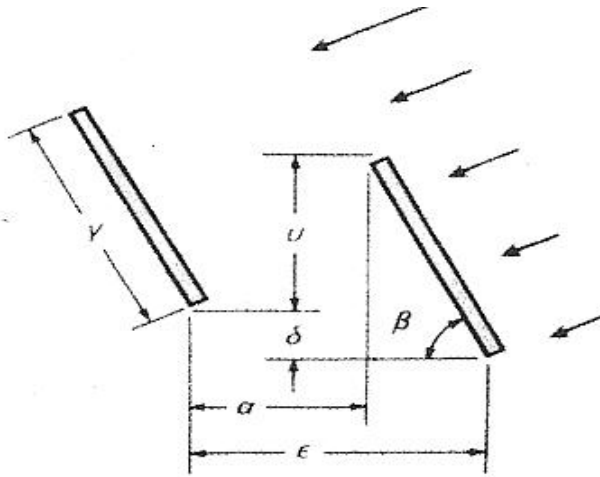
$$v = \gamma \eta \mu \beta - \delta \text{ [m]} = 3,24 \eta \mu 30 - 0 = 3,24 \times 0.5 = 1.62 \text{ m}$$

όπου:

$$\gamma \text{ [m]} \rightarrow \text{μήκος } \Phi\text{B} \text{ πλαισίων } (1.61\text{m} + 1.61\text{m} + 0.02\text{m} = 3.24 \text{ m})$$

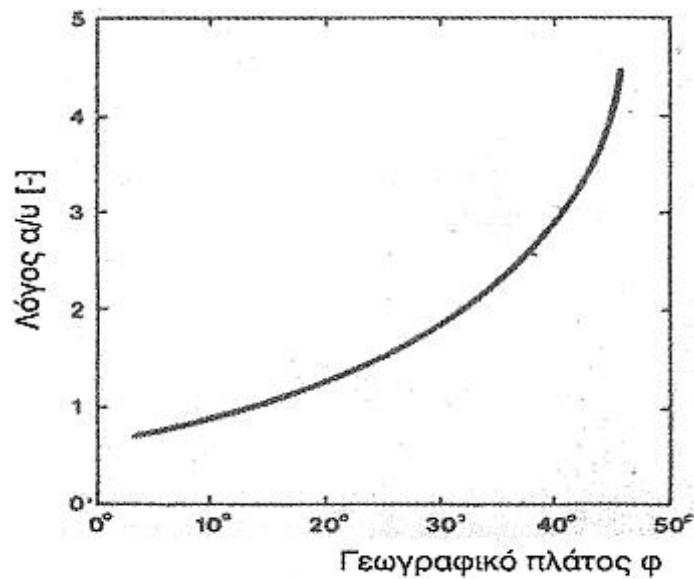
$$\beta \rightarrow \text{γωνία κλίσης } \Phi\text{B} \text{ πλαισίων}$$

$$\delta \text{ [m]} \rightarrow \text{υψομετρική διαφορά ανάμεσα στα στηρίγματα δύο σειρών } \Phi\text{B} \text{ πλαισίων } (\delta = 0 \text{ για στήριξη στο ίδιο επίπεδο)}$$



Το σχήμα αυτό μας δείχνει όλες τις παραμέτρους τοποθέτησης των φ/β πλαισίων, παρατηρούμε και την υψομετρική διάφορα ( $\delta$ ).

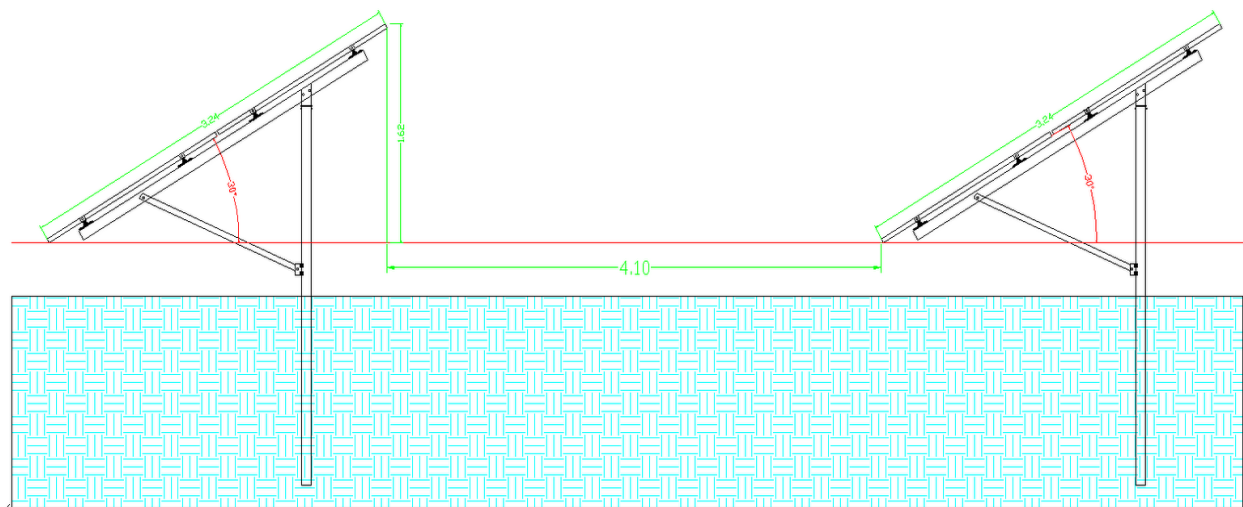
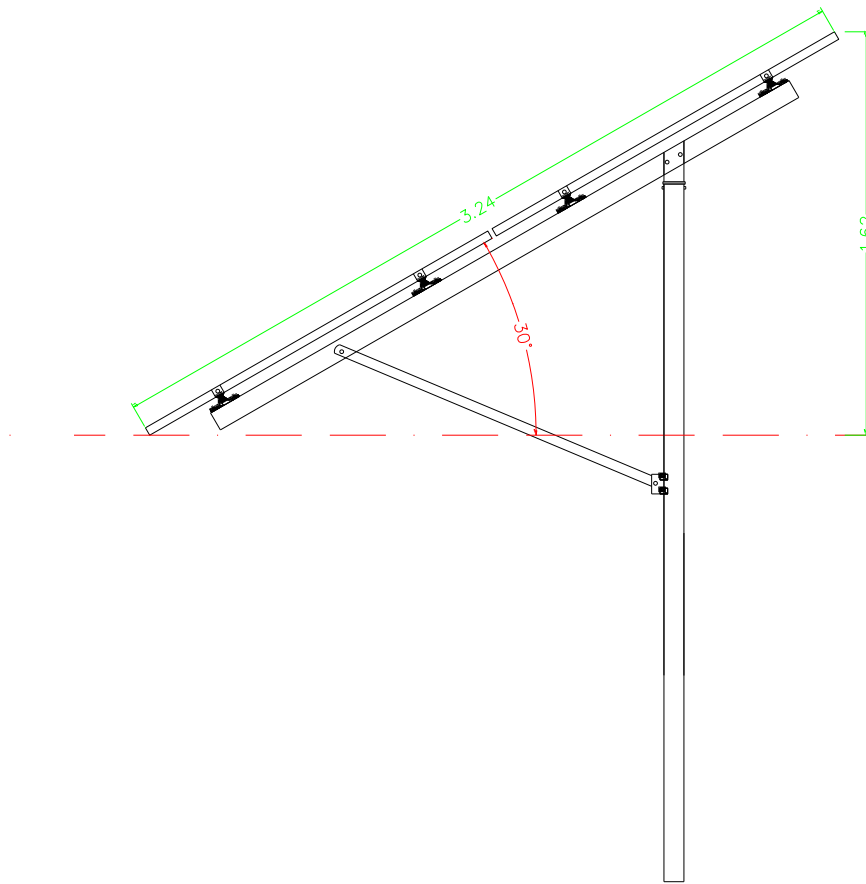
Η ελεύθερη απόσταση  $\alpha$  προκύπτει από τον λόγο  $\alpha/\upsilon$ , τον οποίο υπολογίζουμε από το παρακάτω διάγραμμα:



Άρα για την κατάλληλη απόσταση ( $\alpha$ ) μεταξύ των συστοιχιών στο έργο μας είναι :

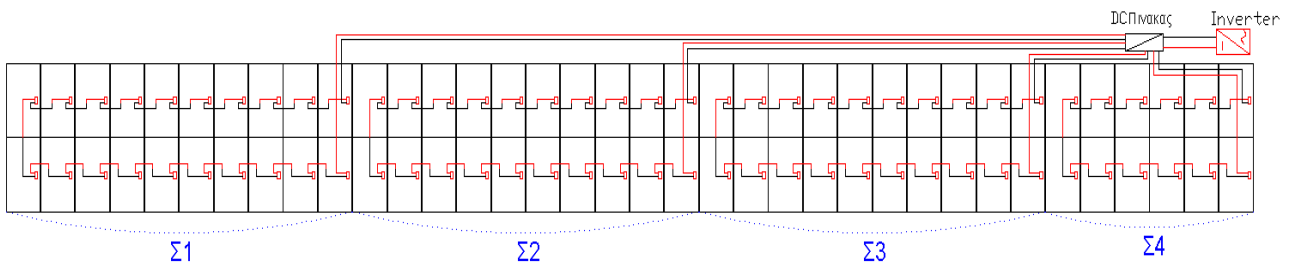
$\frac{\alpha}{\upsilon} = 2,53$  το όποιο πρόεκυψε διάγραμμα 1 χρησιμοποιώντας το γεωγραφικό πλάτος  $\phi$  της περιοχής εγκατάστασης του φ/β συστήματος ( $38^\circ$ ).

Επόμενος  $\alpha = \upsilon \times 2,53 = 1,62 \times 2,53 = 4,10m$

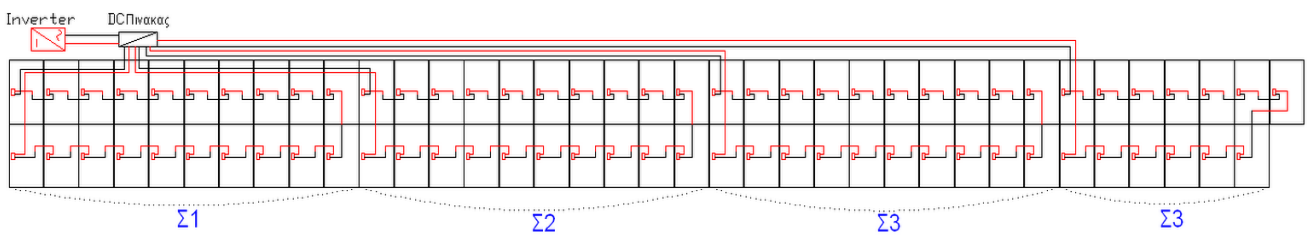


### 3.2.2 Συστοιχίες

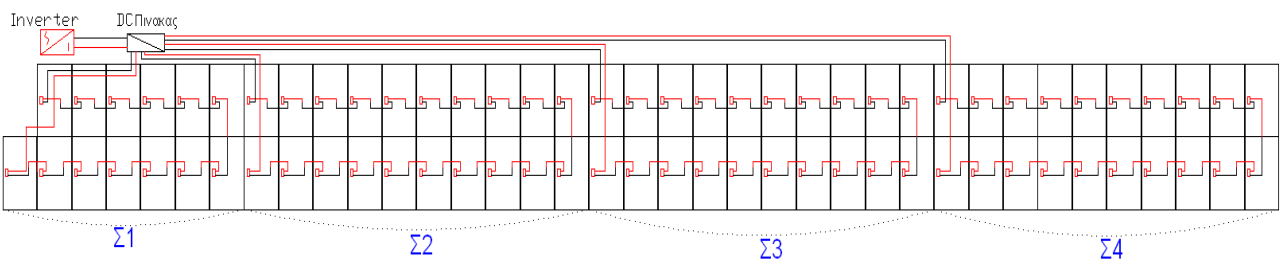
Στη σχεδίαση με Sunny Tripower αντιστροφείς, κάθε συστοιχία θα αποτελείται από 4 στοιχειοσειρές που θα στέλνουν την ενέργεια τους σε έναν αντιστροφέα STP 17000TL-10. Παρακάτω φαίνονται σχέδια της συστοιχίας.



13 Συστοιχίες (Α) (20\*3 + 12\*1)

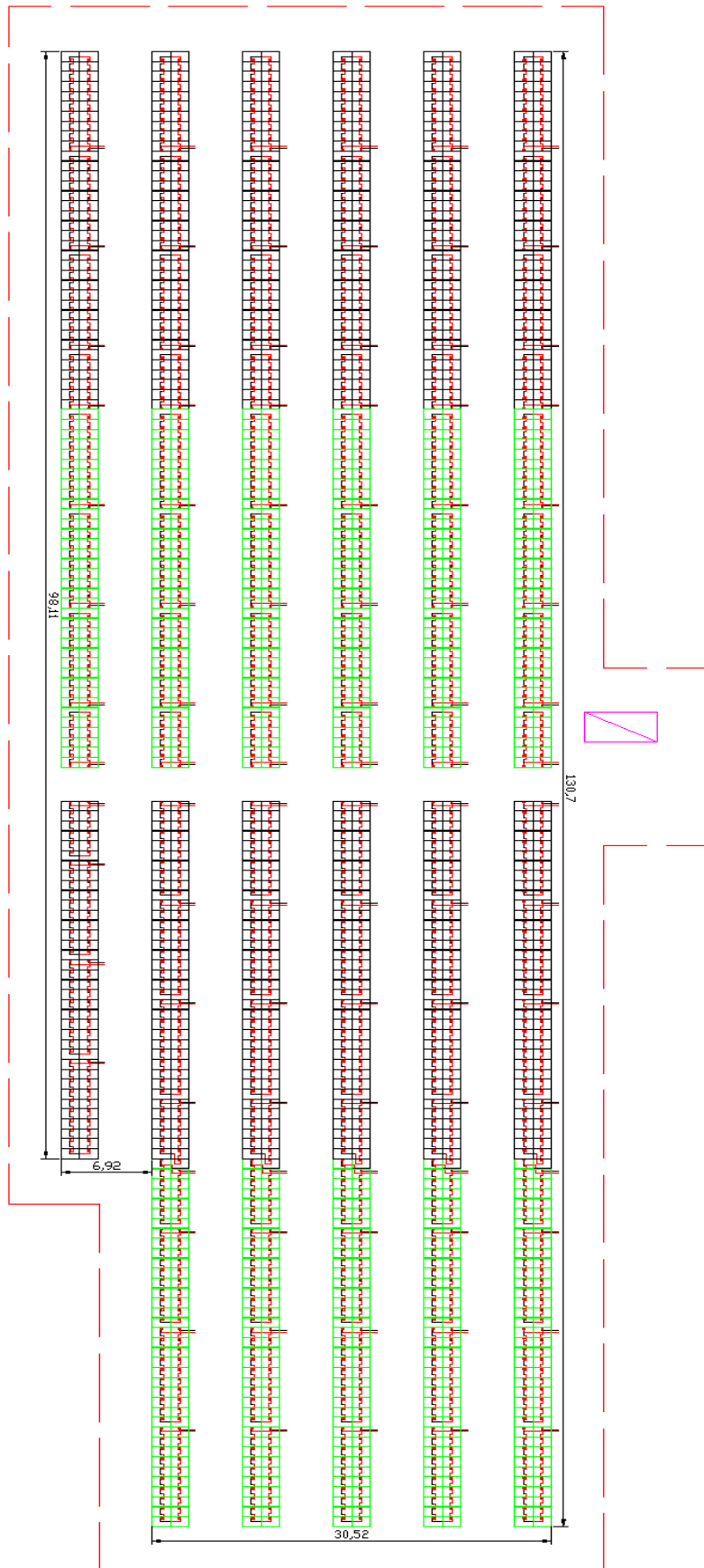


5 Συστοιχίες (Β) (20\*3 + 13\*1)



5 Συστοιχίες (Γ) (20\*3 + 13\*1)





Σχ.2. Όλες οι συστοιχίες

Η συνολική έκταση που θα καλύψει η τοποθέτηση των 1666 πλαισίων (όπως φαίνεται στο παραπάνω σχήμα), θα είναι:

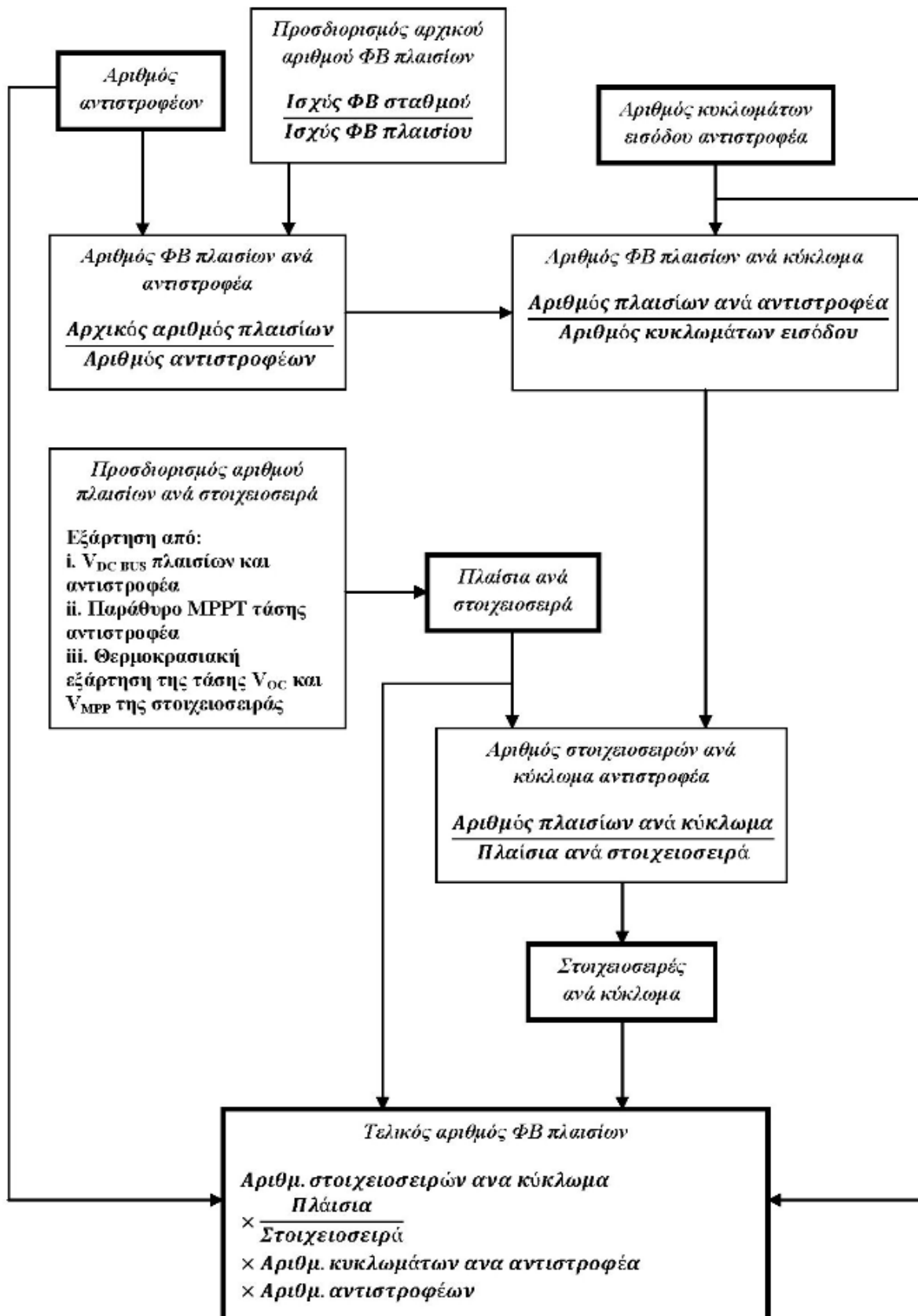
$$F_s = (98,11 \times 6,92) + (130,7 \times 30,52) = 4667,88 \text{τμ}$$

Επειδή για λόγους ασφαλείας θα έχουμε περίφραξη περιμετρικά του χώρου τοποθέτησης των συλλεκτών, καθώς και του χώρου που θα καταλαμβάνει ο οικίσκος, θα πρέπει:

- Περιμετρικά των συλλεκτών θα τοποθετηθεί περίφραξη σε απόσταση τουλάχιστον διπλάσια από το ύψος των πάνελ από το έδαφος, το οποίο είναι 2m. Άρα απόσταση μεταξύ πάνελ και περίφραξης θα είναι 4m έτσι θα υπάρχει και ελεύθερος χώρος για άνετη κυκλοφορία ενός οχήματος για έλεγχο και συντήρηση.
- Επιπλέον ελεύθερος χώρος στην βόρεια πλευρά για την κατασκευή του οικίσκου που θα έχει διαστάσει (3,82m x 2,12m)

Η συνολική έκταση του χώρου που απαιτείται για την Φ/Β εγκατάσταση και που θα πρέπει να είναι περιφραγμένη σύμφωνα με τους κανονισμούς είναι 6205τμ.

### 3.3 Σχεδίαση διασυνδεδεμένου φ/β συστήματος με SMA SC 400MV-11



Σχήμα .3. Βασικά βήματα σχεδιασμού φ/β συστήματος με Central αντιστροφείς

Για το σχεδιασμό του έργου μας με Central Inverter επιλέξαμε το Sunny Central SC 400MV-11 της γερμανικής εταιρίας SMA. Ο συγκεκριμένος Inverter διαθέτει ενσωματωμένο μετασχηματιστή για τη κατευθείαν σύνδεση του με το δίκτυο μέσης τάσης των 20KV. Τα χαρακτηριστικά του Inverter φαίνονται παρακάτω:

Τεχνικά χαρακτηριστικά	SUNNY CENTRAL 400MV
<b>Τιμές εισόδου</b>	
Ονομαστική ισχύς DC	408 kW
Εύρος τάσης σημείου μέγιστης ισχύος (MPP)	450 V - 820 V <sup>4)</sup>
Μέγιστη τάση DC	1000 V
Μέγιστο ρεύμα DC	993 A
Αριθμός εισόδων DC	(8 + 8) + 2 DCHV
<b>Τιμές εξόδου</b>	
Ονομαστική ισχύς AC @ 45 °C	400 kVA
Συνεχής ισχύς AC @ 25 °C	440 kVA
Ονομαστική τάση AC	20000 V
Ονομαστικό ρεύμα AC	11,55 A
Συχνότητα δικτύου AC 50 Hz	●
Συχνότητα δικτύου AC 60 Hz	●
Συντελεστής ισχύος (cos φ)	1
Μέγιστος συντελεστής παραμόρφωσης	< 3 %
<b>Κατανάλωση ισχύος</b>	
Ίδια κατανάλωση κατά τη λειτουργία	< 1500 W <sup>3)</sup>
Κατανάλωση σε κατάσταση αναμονής (μετατροπέας + μετασχηματιστής)	< 100 W + 720W
Εξωτερική τάση βοηθητικής τροφοδοσίας	3 x 230 V, 50/60 Hz
Εξωτερική εφεδρική ασφάλεια για βοηθητική τάση	B 20 A, 3 πόλων
<b>Διαστάσεις και βάρος</b>	
Ύψος	4100 mm
Πλάτος	5050 mm
Βάθος	2600 mm
Βάρος	9825 kg
<b>Βαθμός απόδοσης<sup>1)</sup></b>	
Μέγιστος βαθμός απόδοσης	97,5 %
Euro-eta	97,1 %
<b>Είδος προστασίας και περιβαλλοντικές συνθήκες</b>	
Είδος προστασίας (σύμφωνα με το πρότυπο IEC 60529)	IP54
Εύρος τιμών θερμοκρασίας λειτουργίας	-20 °C ... +45 °C
Σχετική υγρασία ατμόσφαιρας	15 % ... 95 %
Απαιτούμενη ποσότητα καθαρού αέρα	6200 m <sup>3</sup> /h
Μέγιστο ύψος πάνω από τη στάθμη της θάλασσας (NN)	1000 m

<b>Εξοπλισμός</b>	
Οθόνη: Γραμμή κειμένου / Γραφικά	●/–
Επιτήρηση βραχυκυκλώματος προς τη γη	●
Θέρμανση	●
Διακόπτης απενεργοποίησης ανάγκης	●
Διακόπτης ισχύος πλευρά AC	Αποζεύκτης φορτίου Si
Διακόπτης ισχύος πλευρά DC	Αποζεύκτης φορτίου με κινητήρα
Επιτηρούμενος απαγωγός υπέρτασης AC / DC	●/●
Επιτηρούμενοι απαγωγείς υπέρτασης βοηθητικής τροφοδοσίας	●
<b>Διεπαφές SCC (Sunny Central Control)</b>	
Επικοινωνία (NET Piggy Back, προαιρετικά)	Αναλογική, ISDN, Ethernet
Αναλογικές εισοδοί	5 x A <sub>in</sub> <sup>2)</sup>
Προστασία από υπέρταση για αναλογικές εισόδους	○
Σύνδεση Sunny String Monitor (COM1)	RS485
Σύνδεση PC (COM3)	RS232
Εξωτερική επαφή ένδειξης σφάλματος	1
<b>Πιστοποιητικά / Λίστες</b>	
Ηλεκτρομαγνητική συμβατότητα (EMV)	EN 61000-6-2, EN 61000-6-4
Πιστότητα CE	●
BDEW-MSRL / FGW / TR8 <sup>3)</sup>	●
RD 1633 / 2000	●
Arrêté du 23 / 04 / 08	●
● Βασικός εξοπλισμός    ○ Προαιρετικά    – Δεν διατίθεται	
Χειρισμός	SC 400MV-11-GR

HE: Μετατροπείς υψηλής απόδοσης (High Efficiency), χωρίς γαλβανική μόνωση για τη σύνδεση σε μετασχηματιστή μέσης τάσης (αυτό ισχύει για μετασχηματιστές μέσης τάσης που πληρούν τις προδιαγραφές της SMA).

Συνδυασμός των πάνελ στην είσοδο του κεντρικού αντιστροφέα ώστε να φτάσουμε πολύ κοντά στην ισχύ που θέλουμε να εγκαταστήσουμε.

Ο αριθμός των φωτοβολταϊκών πλαισίων που χρειάζονται για να φτιαχτεί 400KW σταθμός είναι:

$$\frac{400000W}{240W} \approx 1666$$

Τα 1666 πλαίσια θα συνδεθούν στην είσοδο του Sunny Central 400MV

Τα 1666 πλαίσια πρέπει να συνδεθούν σε παράλληλες στοιχειοσειρές τα όποια θα αποτελούνται από πλαίσια συνδεδεμένα σε σειρά.

Για τον προσδιορισμό του αριθμού των φ/β πλαισίων που θα συνδεθούν σε σειρά ανά στοιχειοσειρά λαμβάνουμε υπόψη τα παρακάτω:

- Την μέγιστη DC τάση του συστήματος
- Την περιοχή  $M_{pp}$  του αντιστροφέα (450V – 820V)
- Θερμοκρασιακή εξάρτηση της  $V_{oc}$  και  $V_{mpp}$

Επόμενος αν επιλέξουμε 17 φ/β πλαίσια ανά στοιχειοσειρά, υπολογίζουμε την τάση  $V_{oc}$  και  $V_{mpp}$  για το εύρος θερμοκρασιών που μας ενδιαφέρει από τους παρακάτω τύπους:

$$V_{oc}(T_{mod}) = V_{oc}(25^{\circ}C) + (T_{mod} - 25) \times V_{oc,TK}$$

$$V_{mpp}(T_{mod}) = V_{mpp}(25^{\circ}C) + (T_{mod} - 25) \times V_{oc,TK}$$

Υπολογίζουμε για  $T=-10^{\circ}C$  και για  $T=+70^{\circ}C$  με στοιχειά φ/β πλαισίου τα παρακάτω:

- Ονομαστική ισχύς ( $P_{nom}$ ): 240 Wp
- Ανοχή ισχύος: + 10 / - 5 %
- Τάση στο σημείο μεγ. ισχύος ( $U_{mpp}$ ): 35,5 V
- Ρεύμα στο σημείο μεγ. ισχύος ( $I_{mpp}$ ): 6,77 A
- Τάση ανοιχτού κυκλώματος ( $U_{oc}$ ): 43,6 V
- Ρεύμα βραχυκύκλωσης ( $I_{sc}$ ): 7,37 A
- Μέγιστη τάση συστήματος: 1000 VDC
- Μέγιστο αντίστροφο ρεύμα (IR): 15 A
- Θερμοκρασιακός συντελεστής τάσης: - 0,109 V/°C

	17 πλαίσια ανά στοιχειοσειρά	
	-10°C	+70°C
Voc	807V	657,8V
Vmp	668V	520V

Όπως βλέπουμε οι τιμές των τάσεων Voc και Vmp που πήραμε για 17 φ/β πλαίσια ανά στοιχειοσειρά δεν ξεφεύγουν από το εύρος της περιοχής (450V – 820V), επόμενος τα 17 πλαίσια είναι τα κατάλληλα για να συνδεθούν σε σειρά ανά στοιχειοσειρά.

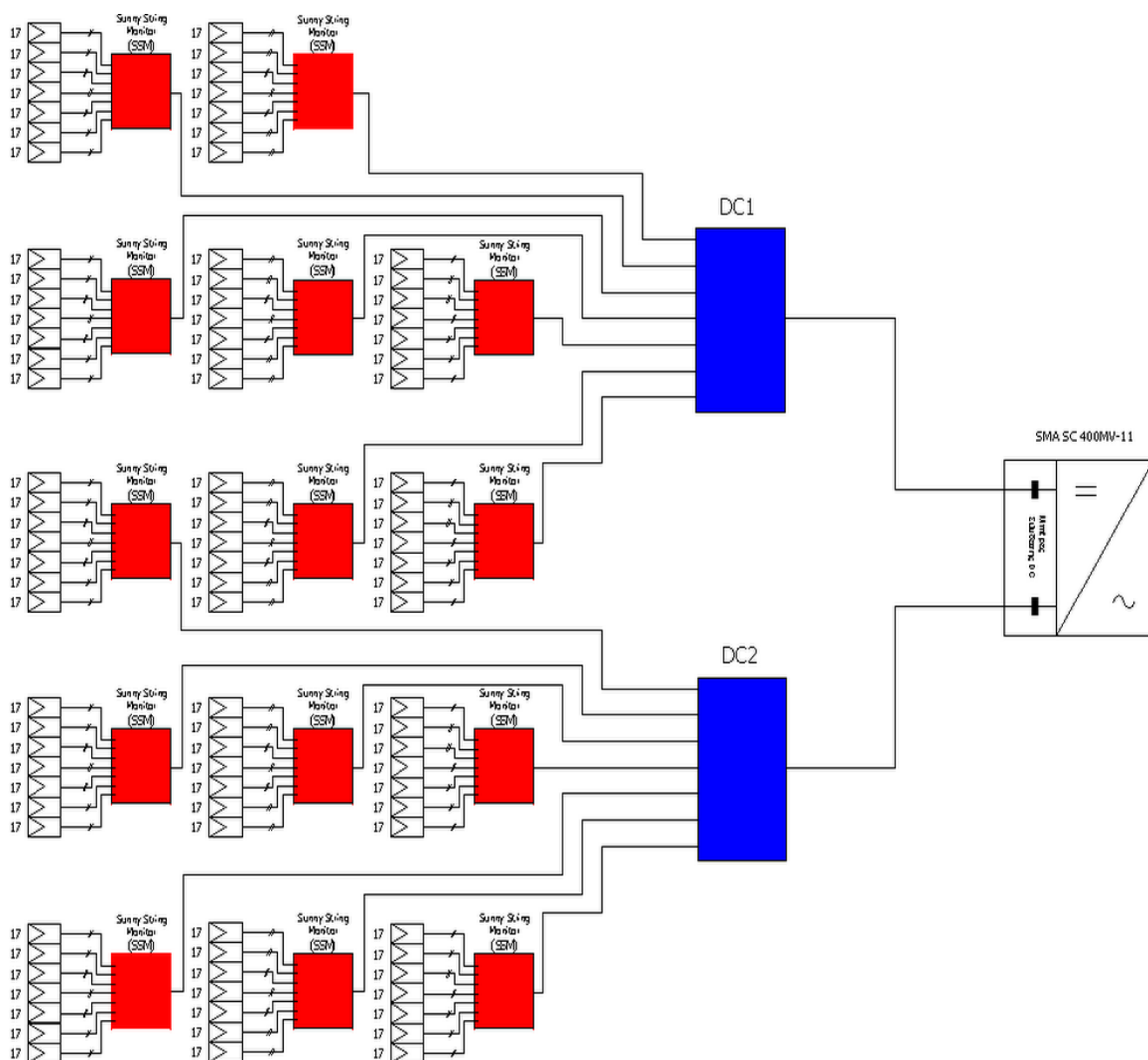
Τώρα με βάση το μέγιστο επιτρεπτό ρεύμα εισόδου του Inverter (1000A) πρέπει να βρούμε πόσες παράλληλες στοιχειώσεις θα συνδεθούν.

Πρώτα διαιρούμε το συνολικό αριθμό πλαισίων με τον αριθμό πλαισίων ανά στοιχειοσειρά για να δούμε αν θα χιαστεί να αφαιρέσουμε φ/β πλαίσια. Άρα  $1666/17=98$

Επόμενος 98 παράλληλες στοιχειοσειρές οι οποίες μας δίνουν ένα μέγιστο ρεύμα φ/β γεννήτριας  $98 \times 6,77A = 663,5A$

Το ρεύμα που βρήκαμε είναι αρκετά χαμηλό από το μέγιστο επιτρεπτό ρεύμα εισόδου του Inverter (1000A).

Τα 1666 φ/β πλαίσια θα χωριστούν σε 98 παράλληλες σειρές τα όποια θα παραλληλιστούν με Sunny String Monitor, ο οποίος θα δέχεται 7 στοιχειοσειρές στην είσοδο του. Άρα προκύπτει να χρησιμοποιήσουμε 14 SSM κυκλώματα για τη σύνδεση των 98 παράλληλων σειρών των 17 πλαισίων όπως φαίνεται και στο παρακάτω σχέδιο:



Με την παραπάνω διάταξη σύνδεσης των φ/β πλαισίων στον Inverter έχουμε:

- Τάση MPP στοιχειοσειράς στους 70° C είναι 520V
- Τάση ανοικτού κυκλώματος στοιχειοσειράς στους -10° C είναι 807V
- Μέγιστο ρεύμα Φ/Β γεννήτριας 98 x 6,77 A = 663,5 A
- Λόγος ονομαστικής ισχύς  $408000W / (98 * 17 * 240W) = 408000W / 399840W = 1,02 * 100\% = 102\%$

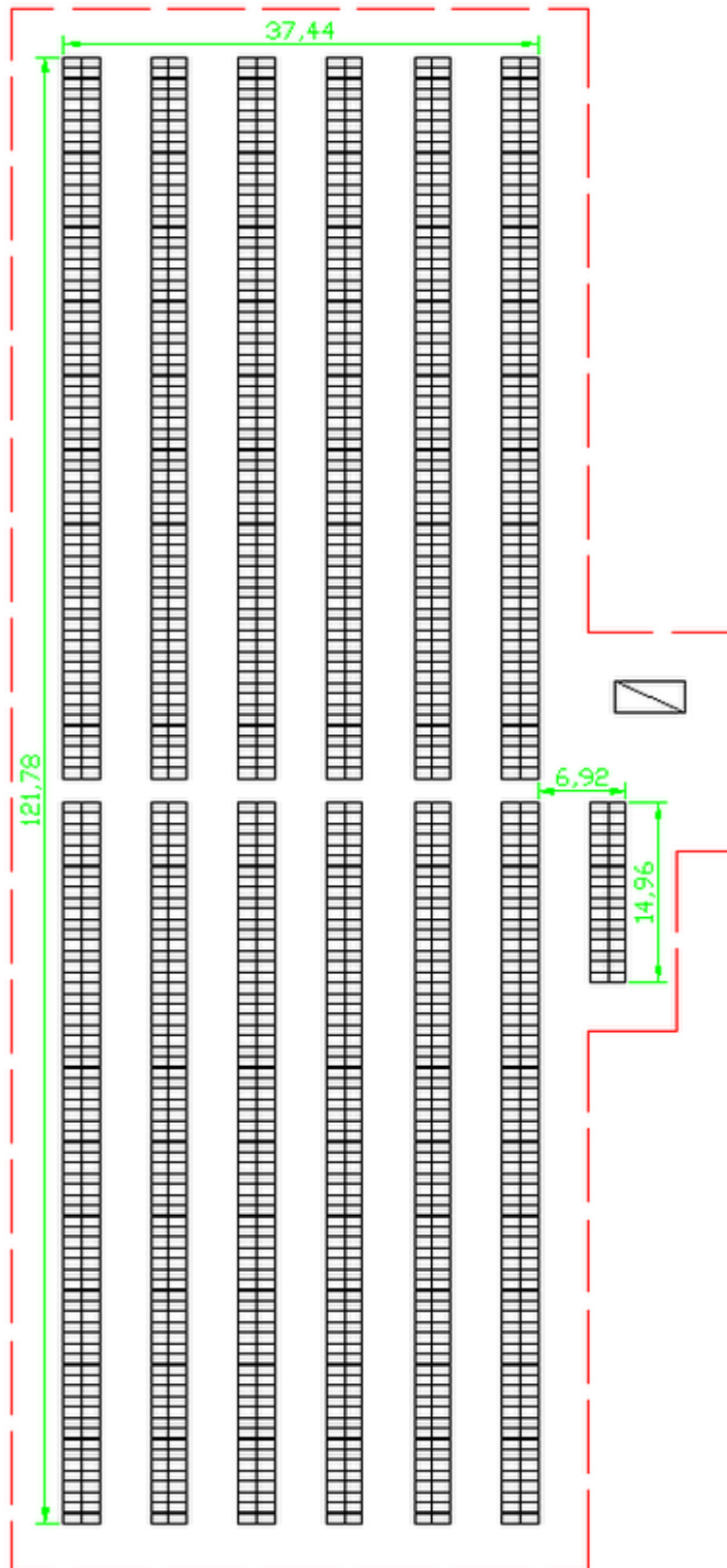


Άρα με βάση τα χαρακτηριστικά στοιχεία του μετατροπέα (στοιχεία εισόδου) και η μέγιστη τάση και μέγιστο ρεύμα είναι μέσα στη περιοχή λειτουργίας του Inverter. Επίσης ο λόγος ονομαστικής ισχύος βρίσκεται μέσα στο πρότυπο εύρος (95%-115%).

Η τοποθέτηση των φ/β πλαισίων, ο προσανατολισμός, ο τρόπος στηρίξεις η αποστάσεις μεταξύ των συστοιχιών είναι το ίδιο με την παραπάνω περίπτωση με SMA STP 17000TL.

Στην περίπτωση εδώ με Central Inverter έχουμε διαφορετικές συστοιχίες και διαφορετική χωροθέτηση.

### 3.3.1 Συστοιχίες



Σχ.2. Όλες οι συστοιχίες

Η συνολική έκταση που θα καλύψει η τοποθέτηση των 1666 πλαισίων (όπως φαίνεται στο παραπάνω σχήμα) ώστε να μην έχουμε σκίαση σε καμία ημέρα του έτους, θα είναι:

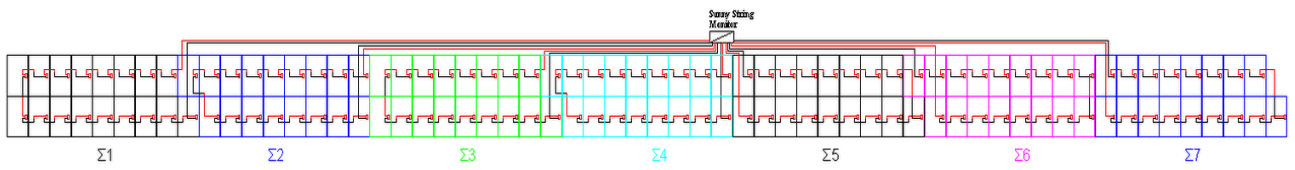
$$F_s = (121,78 \times 37,44) + (6,92 \times 14,96) = 4663\tau\mu$$

Επειδή για λόγους ασφαλείας θα έχουμε περίφραξη περιμετρικά του χώρου τοποθέτησης των συλλεκτών, καθώς και του χώρου που θα καταλαμβάνει ο οικίσκος, θα πρέπει:

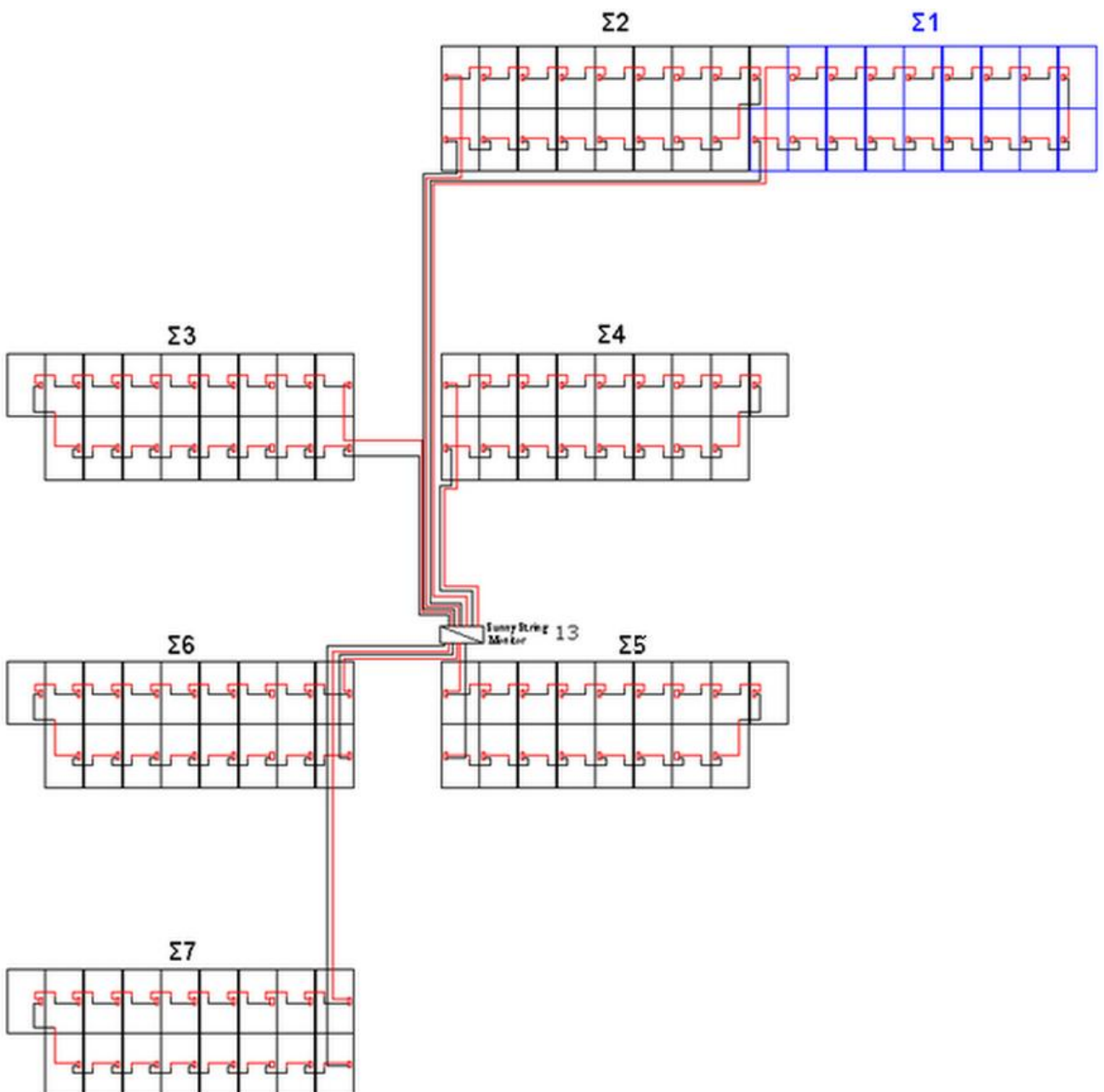
- Περιμετρικά των συλλεκτών θα τοποθετηθεί περίφραξη σε απόσταση τουλάχιστον διπλάσια από το ύψος των πάνελ από το έδαφος, το οποίο είναι 2m. Άρα απόσταση μεταξύ πάνελ και περίφραξης θα είναι 4m έτσι θα υπάρχει και ελεύθερος χώρος για άνετη κυκλοφορία ενός οχήματος για έλεγχο και συντήρηση.
- Επιπλέον ελεύθερος χώρος στην βόρεια πλευρά για την τοποθέτηση του Central Inverter που θα έχει διαστάσει (3,82m x 2.12m)

Η συνολική έκταση του χώρου που απαιτείται για την Φ/Β εγκατάσταση και που θα πρέπει να είναι περιφραγμένη σύμφωνα με τους κανονισμούς είναι 6209,2τμ.

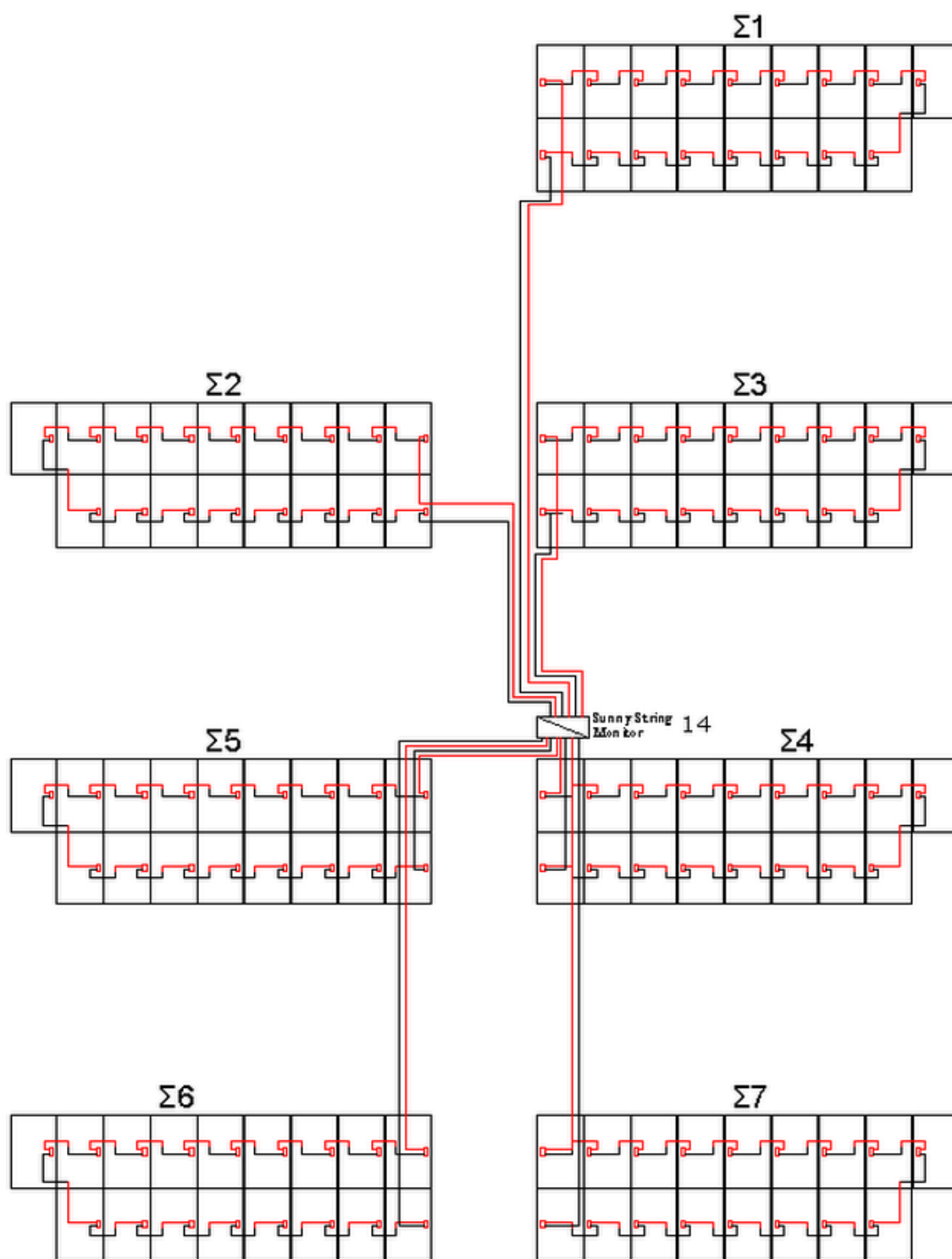
Η τοποθέτηση της περίφραξης θα πρέπει να γίνει με βάση την ισχύουσα νομοθεσία που αναφέρεται στις Φ/Β εγκαταστάσεις.



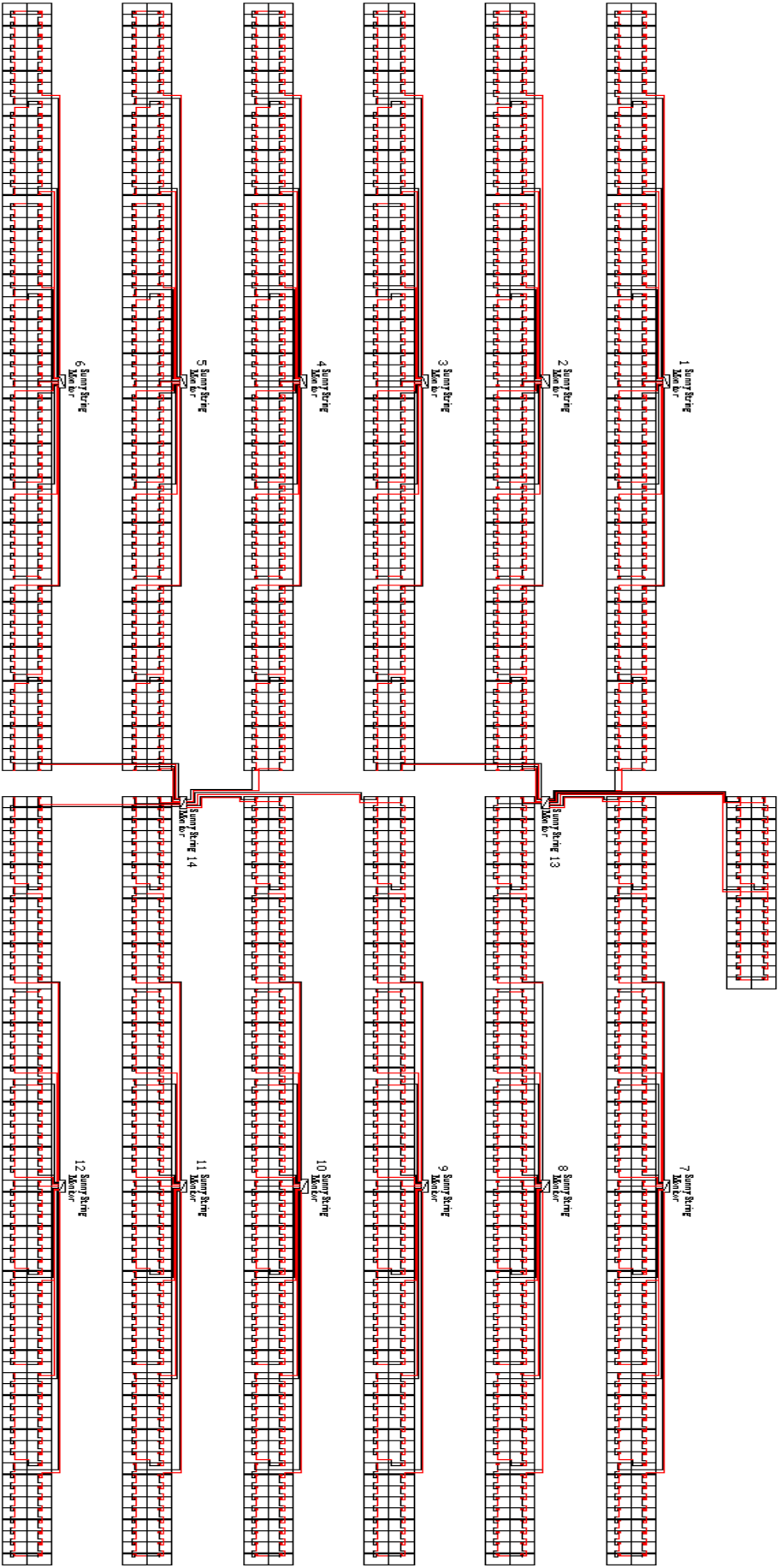
Σχ.1. Sunny String Monitor (1-12)



Σχ.2. Sunny String Monitor (13)



Σχ.3. Sunny String Monitor (14)



## **Κεφάλαιο 4**

Ηλεκτρολογική Μελέτη Φ/Β Συστήματος με Μικρούς  
Αντιστροφείς (STP 17000TL-10)

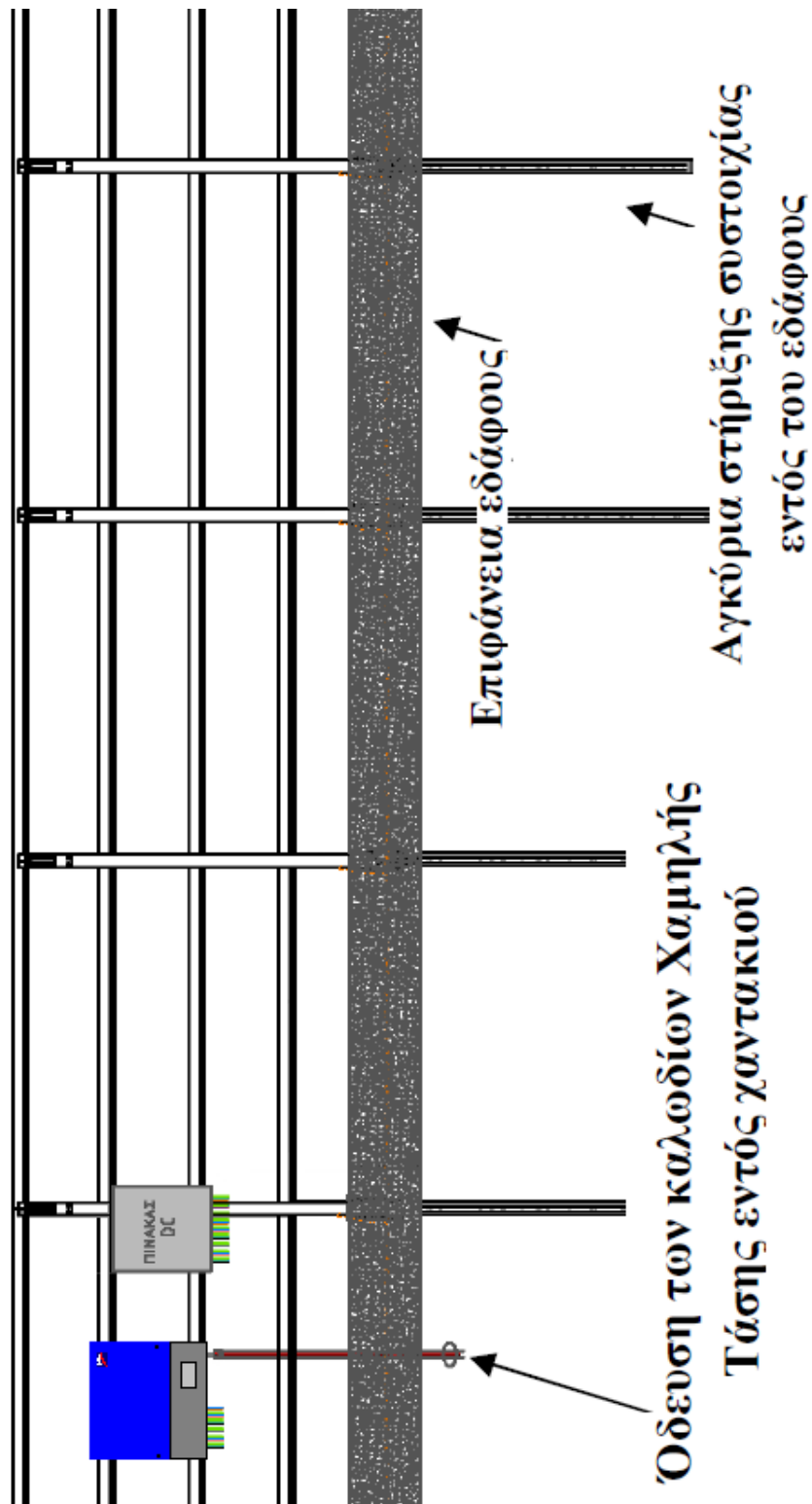
## 4.1 Εισαγωγή

Στο κεφάλαιο αυτό περιγράφουμε τη διασύνδεση των διαφόρων τμημάτων του Φ/Β συστήματος. Με τη βοήθεια διαγραμμάτων απεικονίζεται η χωροθέτηση του χρησιμοποιούμενου εξοπλισμού, οι ηλεκτρολογικές συνδέσεις πινάκων Μέσης, Χαμηλής και DC τάσης. Ειδικότερη αναφορά γίνεται στα χρησιμοποιούμενα καλώδια, τον τύπο τους και τον τρόπο επιλογής της διατομής του. Τέλος γίνεται περιγραφή του υποσταθμού ανύψωσης τάσης.



## 4.2 Γενική περιγραφή της τοπολογίας

Στην τοπολογία αυτή ο σταθμός αποτελείται από συνολικά 1666 πλαίσια της εταιρείας SANYO τύπου HIT SANYO 240 HDE 4 ονομαστικής ισχύος 240Wp. Τα πλαίσια αυτά ομαδοποιούνται σε 23 συστοιχίες. Κάθε συστοιχία τροφοδοτεί από έναν αντιστροφέα των 17KW τύπου STP 17000TL-10 της εταιρείας SMA, στους οποίους θα συνδεθούν 72 πάνελ σε 13 αντιστροφείς και 73 πάνελ σε 10 αντιστροφείς ( $72 \cdot 13 + 73 \cdot 10 = 1666$ ). Οι αντιστροφείς συνδέονται ηλεκτρικά ανά 8 (σε 1 περίπτωση 7) σε τρεις τριφασικούς πίνακες Χαμηλής Τάσης. Τέλος η ισχύς κάθε τριφασικού πίνακα τροφοδοτεί την είσοδο του Υ/Σ ανύψωσης 0,4/20kV. Οι αντιστροφείς τοποθετούνται στη βόρεια πλευρά των συστοιχιών και στην άκρη κάθε συστοιχίας για να είναι πιο κοντά στον αντίστοιχο πίνακα Χαμηλής Τάσης. Η όδευση των καλωδίων DC γίνεται πάνω στο μεταλλικό σκελετό των βάσεων μέχρι το σημείο των πινάκων DC και αντιστροφέων. Τα καλώδια AC X.T. διέρχονται από το έδαφος μέσω φρεατίων από τους αντιστροφείς προς τους υποπίνακες AC και από τους υποπίνακες AC προς το Υ/Σ ανύψωσης. Στη βόρεια πλευρά του σταθμού για λόγους αποφυγής της σκίασης, έχουμε τοποθετήσει το Υ/Σ ανύψωσης. Τέλος, το υπόγειο δίκτυο Μέσης Τάσης πηγαίνει προς τη πλησιέστερη κολόνα τις ΔΕΗ για να συνδεθεί στη μέση τάση 20KV.



Σχήμα 4.1 Τοποθέτηση του αντίστροφα στη βόρεια όψη της συστοιχίας

### 4.3 Καλωδίωση Φ/Β πλαισίων

#### 4.3.1 Όδευση καλωδίων – απαιτούμενο μήκος καλωδίων DC

Τα καλώδια που συνδέουν τη στοιχειοσειρά με τον πίνακα DC οδεύουν οριζόντια πάνω στο μεταλλικό σκελετό των βάσεων.

Με τη βοήθεια του Τοπογραφικού διαγράμματος 1 μπορούμε να υπολογίσουμε το απαιτούμενο μήκος των καλωδίων DC. Τα αποτελέσματα των επιμετρήσεων δίνονται στους ακόλουθους πίνακες:

Συστοιχία (Α) (20*3 + 12*1)	
Στοιχειοσειρά 1	(25 x 2) m
Στοιχειοσειρά 2	(17 x 2) m
Στοιχειοσειρά 3	(9 x 2) m
Στοιχειοσειρά 4	(6 x 2) m
Σύνολο	114 m

Συστοιχία (Β) (20*3 + 13*1)	
Στοιχειοσειρά 1	(6 x 2) m
Στοιχειοσειρά 2	(9 x 2) m
Στοιχειοσειρά 3	(17 x 2) m
Στοιχειοσειρά 4	(25 x 2) m
Σύνολο	114 m

Συστοιχία (Γ) (20*3 + 13*1)	
Στοιχειοσειρά 1	(6 x 2) m
Στοιχειοσειρά 2	(8,5 x 2) m
Στοιχειοσειρά 3	(16 x 2) m
Στοιχειοσειρά 4	(25 x 2) m
Σύνολο	111 m

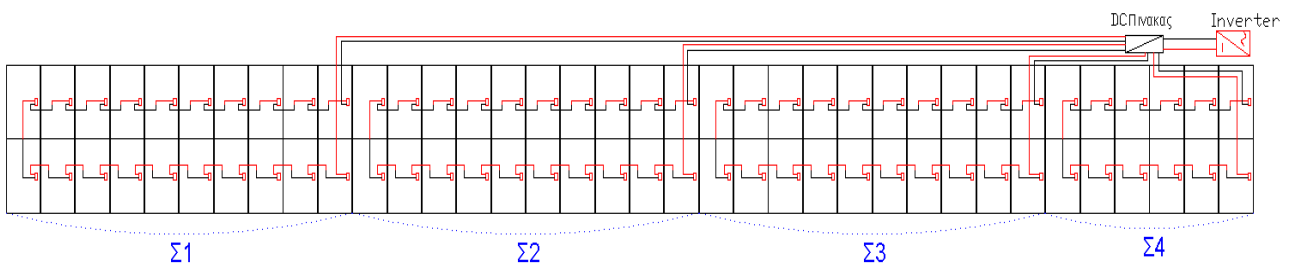
Έχουμε 13 συστοιχίες (Α), 5 συστοιχίες (Β) και 5 συστοιχίες (Γ).

Άρα το συνολικό μήκος καλωδίου DC που χρειαζόμαστε για το σταθμό είναι:

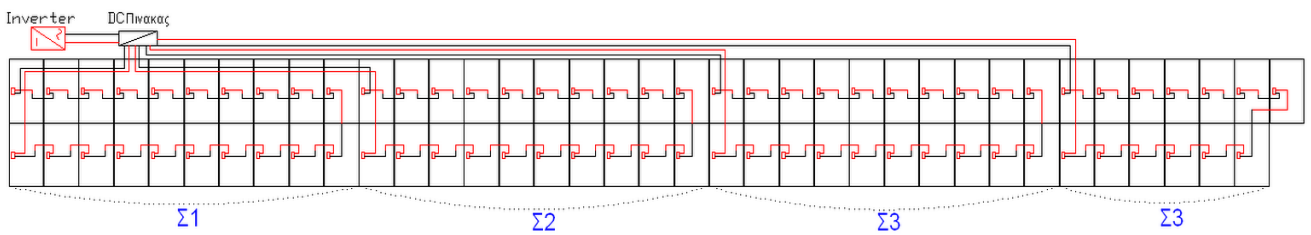
$$(13 \times 114) + (5 \times 114) + (5 \times 111) = 1482 + 570 + 555 = 2607m$$

(2615 μετρά από τα φ/β πλαίσια έως τους DC πίνακες και από τους DC πίνακες έως τους αντιστροφείς 300 μετρά)

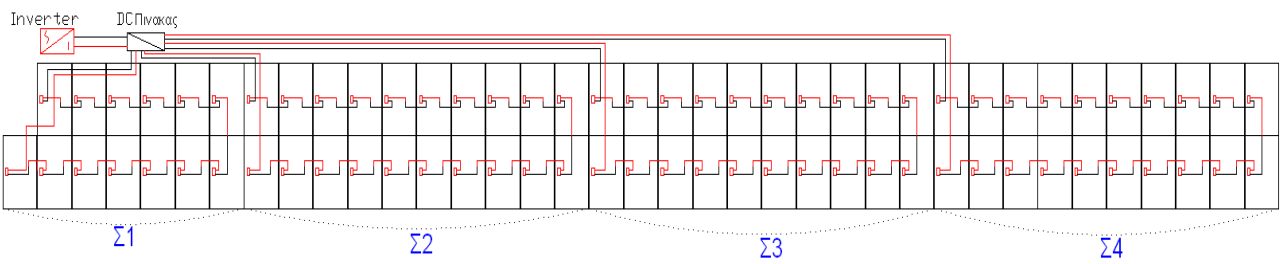
**Σύνολο (2907 m)**



σχ..1.Συστοιχία (Α)  $(20 \times 3 + 12 \times 1)$



σχ..1.Συστοιχία (Β)  $(20 \times 3 + 13 \times 1)$



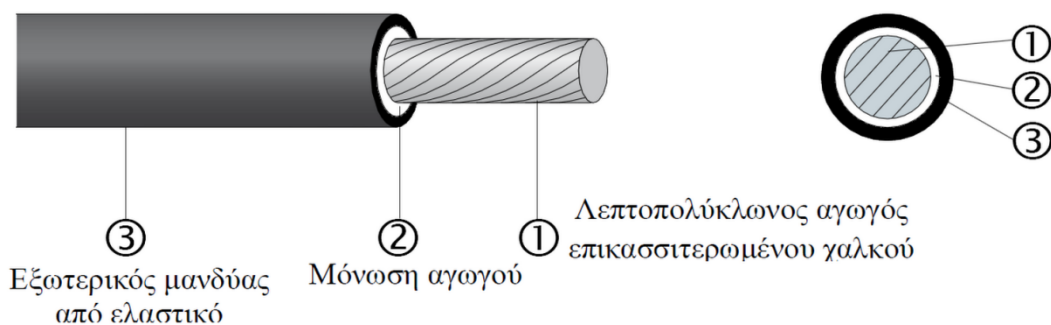
σχ..1.Συστοιχία (Γ)  $(20 \times 3 + 13 \times 1)$

### 4.3.2 Τύπος καλωδίου

Για την διασύνδεση των πλαισίων χρησιμοποιούνται ειδικά καλώδια εξωτερικού χώρου τα οποία πρέπει να είναι ανθεκτικά τόσο σε μηχανικές καταπονήσεις όσο και στην ηλιακή ακτινοβολία. Ο τύπος που επιλέξαμε είναι τα RADOX SOLAR cable μονού πύρινα, της εταιρίας HUBER+SUNER και έχει τις ακόλουθες προδιαγραφές:

- Ελεγμένα και πιστοποιημένα από τα Εργαστήρια VDE και TÜV της Γερμανίας.
- Καθορισμένοι με ακρίβεια και περιεκτικοί κανονισμοί για τις δοκιμές (Tests) των καλωδίων καθώς και των μονωτικών μειγμάτων.
- Επιτρεπτή τάση λειτουργίας συστήματος μέχρι 2kV DC. Τάση δοκιμής AC 6,5kV / DC 15kV.
- Εύρος θερμοκρασιών λειτουργίας από -40°C έως +120°C.
- Ανθεκτικά στην υπεριώδη ακτινοβολία (UV) και στο όζον.
- Πληροί το IEC 60332-1
- Ονομαστική τάση 900V – 1800V
- Διατομή 1.5 - 150 mm<sup>2</sup>

RADOX®



### 4.3.3 Πτώση τάσης και απώλειες ισχύος στο καλώδιο DC

Η επιλογή της διατομής του αγωγού σχετίζεται με την ανάγκη όσο το δυνατόν μικρότερων απωλειών αλλά και πτώσης τάσης κατά μήκος του. Πρακτικά, η καλωδίωση των πλαισίων γίνεται με καλώδια διατομών 4mm<sup>2</sup> ή 6mm<sup>2</sup> για να συνδέονται με τους connectors των πλαισίων. Στη συνέχεια, θα δούμε το ποσοστό της πτώσης τάσης που επιφέρει κάθε μία από τις παραπάνω διατομές. Σύμφωνα με το γερμανικό προσχέδιο **VDE** προτείνεται η πτώση τάσης να μην είναι μεγαλύτερη του **1%** της ονομαστικής DC τάσης συστήματος. Το ρεύμα που ρέει σε κάθε στοιχειοσειρά εξαρτάται κυρίως από την ακτινοβολία και είναι σχεδόν πάντα μικρότερο του ρεύματος **IMPP**. Στη συγκεκριμένη περίπτωση, το ρεύμα **IMPP** είναι **6,77A** και βάση αυτού θα γίνουν οι παρακάτω έλεγχοι.

Μας ενδιαφέρει η πτώση τάσης που έχουμε πάνω στον μακρύτερο αγωγό ο οποίος είναι **2\*25m**. Η ωμική αντίσταση του καλωδίου σε θερμοκρασία 20°C δίνεται από το φυλλάδιο του κατασκευαστή και είναι **5,09 Ω/km** και **3,39 Ω/km** για αγωγούς 4mm<sup>2</sup> και 6mm<sup>2</sup> αντίστοιχα. Η μέγιστη θεοκρασία αγωγού κατά τη λειτουργία το καλοκαίρι μπορεί να φτάσει **70°C**. Για το λόγο αυτό είναι αναγκαίο να γίνει διόρθωση στις τιμές των ωμικών αντιστάσεων για τη θερμοκρασία λειτουργίας βάση του τύπου:

$$R_{70^{\circ}C} = R_{20^{\circ}C} \times \left[ 1 + a_{20^{\circ}C} \times (\theta_{\lambdaειτ} - 20) \right]$$

όπου **a20=0,00393** για αγωγούς χαλκού και **0,00403** για αγωγούς αλουμινίου. Σύμφωνα με την παραπάνω σχέση έχουμε:

Αντίσταση καλωδίου R στους 70oC (Ω/km)	
4mm <sup>2</sup>	6,09
6mm <sup>2</sup>	4,056

Η πτώση τάσης κατά μήκος του καλωδίου δίνεται από τη παρακάτω σχέση:

$$V_{Drop} = I_{MPP} \times R_{70^{\circ}C} (\Omega / km) \times L(km)$$

Η τάση του συστήματος μας η όποια είναι **710V**

Διατομή	Πτώση τάσης (V)	% Πτώση τάσης
<b>4mm<sup>2</sup></b>	2,06V	0,29
<b>6mm<sup>2</sup></b>	1,37V	0,19

Από τα πιο πάνω αποτελέσματα φαίνεται ότι τις συνθήκες ικανοποιούν και οι δυο διατομές, επόμενος διαλέγουμε τη διατομή **6mm<sup>2</sup>** γιατί δεν έχει μεγάλη διάφορα στη τιμή και έχουμε πιο μικρές απώλειες.

Οι απώλειες ισχύος δίνονται από την παρακάτω σχέση και τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στον πίνακα 4.4. Η ισχύς μιας στοιχειοσειράς είναι 4800Wp.

$$P_{loss} = I_{MPP}^2 \times R_{70^{\circ}C} (\Omega / km) \times L(km)$$

$$P_{loss\%} = \frac{P_{loss}}{P_{nom}} \times 100\%$$

Διατομή	Απώλειες (W)	% Απώλειες
<b>4mm<sup>2</sup></b>	14	0,291
<b>6mm<sup>2</sup></b>	9,3	0,193

#### 4.3.4 Μέγιστη επιτρεπόμενη διαρκής φόρτιση καλωδίου DC

Ο προσδιορισμός του μέγιστου επιτρεπόμενου ρεύματος σε εγκαταστάσεις καλωδίων Χαμηλής Τάσης γίνεται με τη βοήθεια του προτύπου HD 384.5.523. Στη

συγκεκριμένη εγκατάσταση τα καλώδια DC οδεύουν εκτός εδάφους και στηρίζονται στο δομικό υλικό (αλουμίνιο) των Βάσεων. Το μέγιστο επιτρεπόμενο ρεύμα δίνεται από τη σχέση:

$$I = I_0 \times f_{\theta} \times f_n$$

όπου  $I_0$  η επιτρεπόμενη συνεχής φόρτιση του καλωδίου στους 30°C,  $f_{\theta}$  ο συντελεστής θερμοκρασίας περιβάλλοντος διαφορετική των 30°C και  $f_n$  ο συντελεστής πλήθους κυκλωμάτων ή αγωγών. Από το HD384.52-K1 και για θερμοκρασία 30°C, η επιτρεπόμενη συνεχής φόρτιση του καλωδίου για διατομή 6mm<sup>2</sup> είναι περίπου **54A**. Επιπλέον, στο σημείο όπου αυτά συγκεντρώνονται για να οδεύσουν στο δομικό υλικό έχουμε συνολικά 3 κυκλώματα με αντίστοιχο συντελεστή διόρθωσης που δίνεται από τον πίνακα HD384.52-E1 και είναι **0,7**. Τέλος, η θερμοκρασία που επικρατεί στο χώρο της Φ/Β εγκατάστασης τους θερινούς μήνες (δυσμενέστερη περίπτωση) είναι περίπου 40°C με αντίστοιχο συντελεστή μείωσης **0,91** για καλώδια με μόνωση από ελαστικό. Συγκεντρωτικά, το μέγιστο επιτρεπόμενο ρεύμα του καλωδίου είναι:

$$I = I_0 \times f_{\theta} \times f_n = 54 \times 0,91 \times 0,70 = 34,4A$$

Το ρεύμα του  $I_{mpv}$  (6,77A) είναι μικρότερη για αυτό και η διατομή αυτή είναι η κατάλληλη.

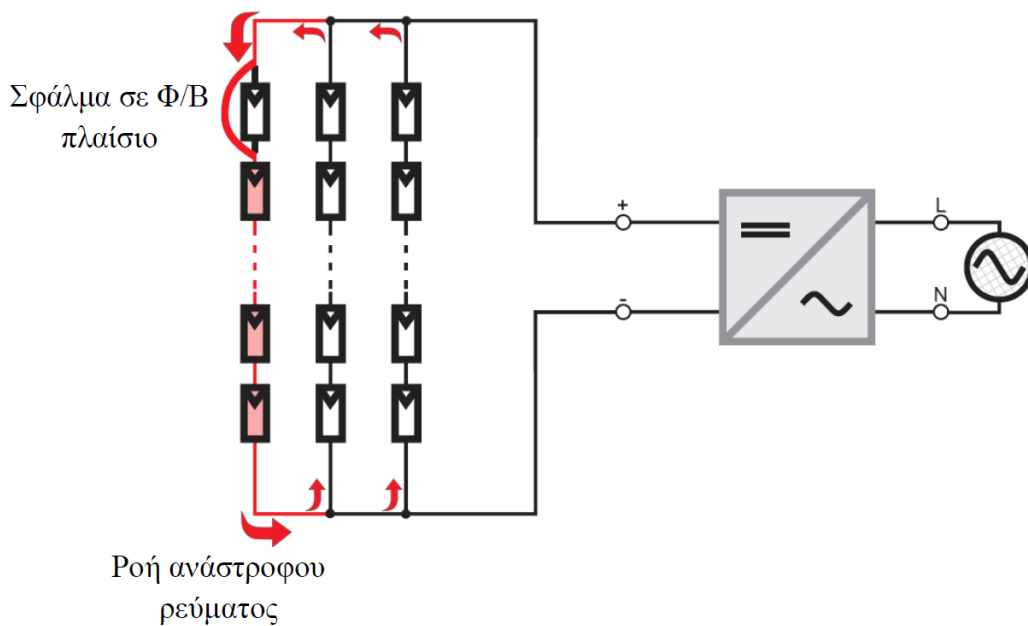
#### **4.4 Προστασία στη DC πλευρά πριν τον αντιστροφέα.**

Στη DC πλευρά του αντιστροφέα προστατεύουμε το μετατροπέα (inverter) από υπερτάσεις, περιορίζοντας στο μέγιστο βαθμό τις επιδράσεις των κρουστικών ρευμάτων που εμφανίζονται στις φωτοβολταϊκές διατάξεις (string) εξαιτίας των άμεσων ή και έμμεσων διηλεκτρικών εκκενώσεων.

Με τις ασφάλειες που παρέχει ο πίνακας προστατεύονται οι φωτοβολταϊκές διατάξεις (strings) από ανάστροφα ρεύματα τα οποία αναπτύσσονται λόγω σκιάσεων ή άλλων επιδράσεων του περιβάλλοντος.



Το μέγιστο ανάστροφο ρεύμα που μπορεί να δεχτεί ένα πλαίσιο δίνεται από στοιχεία του κατασκευαστή και για τη περίπτωση μας είναι 15A.



**Σχήμα 4.4** δημιουργία ανάστροφου ρεύματος στα Φ/Β πλαίσια

Όπως φαίνεται και στο σχήμα 4.4, ανάστροφο ρεύμα μπορεί να δημιουργηθεί λόγω βραχυκυκλώματος σε ένα ή περισσότερα πλαίσια ενός string της συστοιχίας. Είναι πιθανό, το σύνολο των ρευμάτων βραχυκύκλωσης όλων των strings που λειτουργούν κανονικά να ρέει στη στοιχειοσειρά που παρουσιάζει βλάβη αντί να ρέει προς τον αντιστροφέα. Η τιμή του ανάστροφου ρεύματος δίνεται από τη σχέση:

$$I_{\max} = (n - 1) \times I_{SC, string}$$

όπου  $n$  ο αριθμός των παράλληλων στοιχειοσειρών και  $I_{sc}$  είναι το ρεύμα βραχυκύκλωσης.

Στην παρούσα περίπτωση έχουμε:

$$I_{\max} = (n - 1) \times I_{SC, string} = (3 - 1) 7,37 = 14,74A$$

και μέγιστο ανάστροφο ρεύμα πλαισίων από τον κατασκευαστή **15A**.

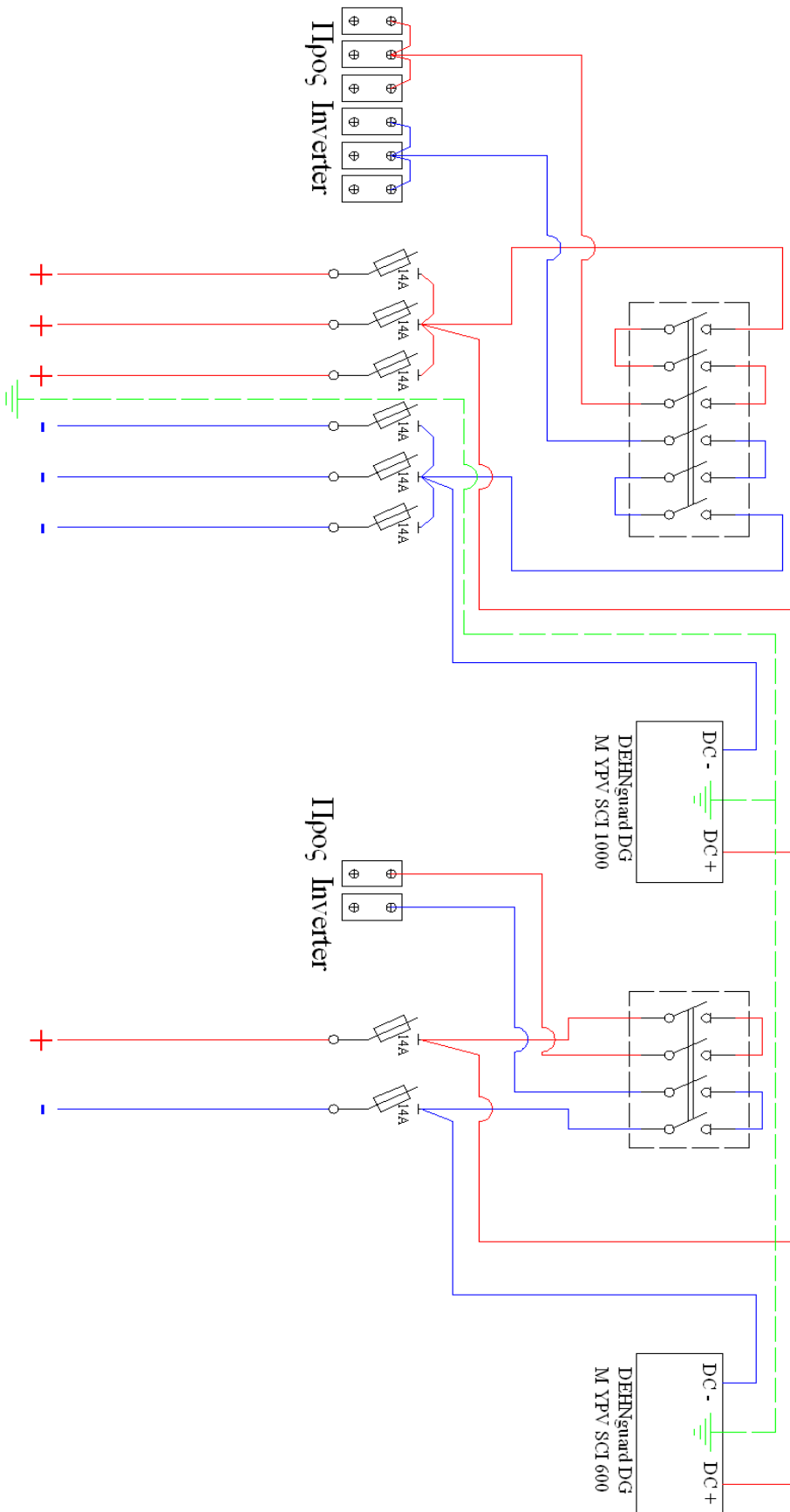
#### 4.4.1 Υλικά που περιλαμβάνει ο DC πίνακας

Ο Κάθε πίνακας DC που τοποθετείτε πριν από τον αντιστροφέα θα περιλαμβάνει δυο διαφορετικά κυκλώματα, ένα για το πρώτο Mpp tracker και ένα για το δεύτερο, εφόσον ο αντιστροφέας μας διαθέτει δυο Mpp tracker. Επόμενος για το πρώτο Mpp στο οποίο θα παραλληλιστούν 3 σειρές των 20 φ/β πλαίσίων έχουμε:

- 6 Ασφαλειοθήκες με 14A ασφάλεια DC των 1000V η κάθε μια.
- Εξαπολικό διακόπτη φορτίου των 32A DC/1000V
- Προστασία υπερτάσεων DEHNguard DG M YPV SCI 1000
- Κλέμμες

Για το δεύτερο Mpp στο οποίο θα συνδεθεί μια σειρά με 13 φ/β πλαίσια:

- 2 Ασφαλειοθήκες με 14A ασφάλεια DC των 1000V η κάθε μια.
- Τετραπολικό διακόπτη φορτίου των 25A DC/800V
- DEHNguard DG M YPV SCI 600
- Κλέμμες



Σχήμα 4.4.1 Πίνακας DC πριν από κάθε STP 17000TL-10

#### 4.5 Σύστημα επιτήρησης δικτύου

Για διασυνδεδεμένα συστήματα είναι αναγκαίο να υπάρχει δυνατότητα αυτόματης απομόνωσης των αντιστροφέων από το δίκτυο διανομής. Η απομόνωση αυτή γίνεται με χρήση αυτόματης διεπαφής απομόνωσης δικτύου όπως περιγράφεται από το πρότυπο **DIN VDE 0126 (ENS) του 1999**. Έτσι παρέχεται ασφάλεια ανάμεσα στην εγκατάσταση παρα- γωγής και στο δίκτυο διανομής. Επιπλέον, παρέχεται προστασία τόσο για το προσωπικό κατά τη διεξαγωγή εργασιών συντήρησης όσο και για τους καταναλωτές από απαγορευτικά επίπεδα τάσης και συχνότητας.

Η αυτόματη διεπαφή απομόνωσης αποτελείται από δύο ανεξάρτητα μεταξύ τους συστήματα συνδεδεμένα σε σειρά, κάθε ένα από τα οποία επιτηρεί σε συνεχή βάση την ποιότητα του συνδεδεμένου δικτύου, ελέγχοντας την τάση, τη συχνότητα και τη σύνθετη αντίστασή του. Το παραπάνω πρότυπο έχει αναθεωρηθεί και σήμερα ισχύει το **VDE 0126- 1-1** το οποίο προβλέπει διεύρυνση των ορίων ενεργοποίησης της διεπαφής (δηλαδή διεύρυνση των ορίων σύνθετης αντίστασης, τάσης και συχνότητας δικτύου). Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την αυξημένη διαθεσιμότητα των αντιστροφέων και συνεπώς την αυξημένη απόδοση της συνολικής εγκατάστασης.

#### 4.6 Διασύνδεση αντιστροφέων σε πίνακα Χαμηλής Τάσης

Η κάθε ομάδα των αντιστροφέων συνδέεται ηλεκτρικά σε τριφασικό πίνακα Χαμηλής Τάσης ο οποίος θα περιλαμβάνει διακόπτες, ασφάλειες, απαγωγείς κρουστικών υπερτάσεων DEHN Guard M TT 275. Το μονογραμμικό διάγραμμα των συνδέσεων φαίνεται στο σχέδιο "**Μονογραμμικό διάγραμμα με STP 17000TL-10**".

Η σύνδεση του κάθε αντιστροφέα στον πίνακα γίνεται με καλώδιο Χαμηλής Τάσης τύπου **JIVV-R**. Το καλώδιο αυτό έχει τις ακόλουθες προδιαγραφές:

- **J**: το καλώδιο χαρακτηρίζεται κατά IEC (IEC 502)
- **1**: το καλώδιο είναι κατασκευασμένο για τάσεις λειτουργίας 600/1000V
- **V**: η μόνωση του αγωγού είναι από PVC
- **V**: ο εξωτερικός μανδύας είναι από PVC



1. Αγωγός.
2. Μόνωση PVC.
3. Εσωτερική επικάλυψη.
4. Εξωτερικός μανδύας.

**Σχήμα 4.5** Τομή καλωδίου NYYP (J1VV-R)

Το καλώδιο αυτό χαρακτηρίζεται από τα πρότυπα ΕΛΟΤ 843, ΕΛΟΤ 1099 και IEC 60502. Είναι βαρέως τύπου και κατασκευασμένα να αντέχουν σε ενταφιασμό, στο νερό και στον αέρα σε συνθήκες εξωτερικού χώρου όπως στην παρούσα εφαρμογή.

Το αναμενόμενο ρεύμα που θα διαρρέει το καλώδιο αυτό είναι:

$$P_{AC} = \sqrt{3} \times V_{\Pi} \times I \times \cos(\varphi) \Rightarrow I_{\Pi} = \frac{17000}{1,73 \times 400 \times 1} = 24,5A$$

Η μέγιστη επιτρεπόμενη διαρκής φόρτιση του καλωδίου εξαρτάται από τους παρακάτω συντελεστές:

- $f_e$  συντελεστής που εξαρτάται από την ειδική αγωγιμότητα του εδάφους
- $f_{\theta}$  συντελεστής που εξαρτάται από τη θερμοκρασία του εδάφους
- $f_i$  συντελεστής που εξαρτάται από το πλήθος των καλωδίων

Από το πρότυπο HD384 βρίσκουμε ότι:

- $f_{\theta}$  ίσο με **0,95** για θερμοκρασία εδάφους 25°C και μόνωση από PVC
- $f_i$  ίσο με **0,8** διότι βρίσκονται στο έδαφος μέσα σε οχετούς με πλήθος κυκλωμάτων 6 και σε απόσταση μεταξύ τους 25cm.
- $f_e$  ίσο με **1** για ειδική θερμική αντίσταση εδάφους 2.5 K.m/W

Επομένως χρειαζόμαστε καλώδιο που να αντέχει σε διαρκή φόρτιση ίση με:

$$\frac{24,5}{0,95 \times 0,8 \times 1} = 32,3A$$

Το καλώδιο που είναι κατάλληλο γι' αυτή την εφαρμογή θα έχει 5 αγωγούς (τρεις φάσεις, ουδέτερο και γείωση) ενώ οι ενεργοί του αγωγοί θα είναι οι τρεις φάσεις. Σύμφωνα με τους πίνακες του προτύπου HD 384 η κατάλληλη διατομή καλωδίου τοποθετημένο στο έδαφος είναι το **6mm<sup>2</sup> & 10mm<sup>2</sup>** εμείς επιλέξαμε το **10mm<sup>2</sup>** με όριο φόρτισης τα **52A** για να έχουμε ποιο μικρή πτώση τάσης.

Η απόσταση μεταξύ αντιστροφών και του υποπίνακα AC χαμηλής τάσης, έχει μετρηθεί με τη βοήθεια του τοπογραφικού και φαίνονται στο παρακάτω πίνακα:

Υποπίνακας AC 1		Υποπίνακας AC 2		Υποπίνακας AC 3	
Inverter 1	4m	Inverter 1	4m	Inverter 1	4m
Inverter 2	35m	Inverter 2	35m	Inverter 2	35m
Inverter 3	40m	Inverter 3	40m	Inverter 3	40m
Inverter 4	9m	Inverter 4	9m	Inverter 4	9m
Inverter 5	9m	Inverter 5	9m	Inverter 5	9m
Inverter 6	40m	Inverter 6	40m	Inverter 6	35m
Inverter 7	35m	Inverter 7	35m	Inverter 7	4m
Inverter 8	4m	Inverter 8	4m		

Πρέπει να δούμε όμως και την πτώση τάσης που θα έχουμε με τη συγκεκριμένη διατομή, για αυτό εξετάζουμε το μεγαλύτερο απαιτούμενο μήκος που είναι 40m με τη παρακάτω σχέση:

$$\Delta U = L(km) \times R_{70^{\circ}C} (\Omega / km) \times I$$

$L$  το μήκος καλωδίου

$I$  το ρεύμα που διαρρέει τον αγωγό  $I = 24,5$

$R_{70^{\circ}C}$  η αντίσταση λειτουργίας στους  $70^{\circ}C$

$$R_{70^{\circ}C} = R_{20^{\circ}C} \times \left[ 1 + a_{20^{\circ}C} \times (\theta_{\lambdaειτ} - 20) \right] = 1,83 \times \left[ 1 + 0,00393 \times (70 - 20) \right] = 2,19 \Omega / km$$

$$\Delta U = 0,04 \times 2,19 \times 24,5 = 2,15V$$

$$\Delta U(\%) = \left( 1 - \frac{V_{\Pi} - \Delta U_{\Pi}}{V_{\Pi}} \right) \times 100\% = \left( 1 - \frac{400 - 2,15}{400} \right) \times 100\% = 0,54\%$$

Βλέπουμε ότι διατομή που επιλέξαμε είναι αποδεκτή εφόσον η πτώση τάσης είναι κάτω των 4% σύμφωνα με το πρότυπο HD384.

Ενώ απώλειες ισχύος που θα έχουμε είναι:

$$P_{loss} = 3 \times I^2 \times R_{70^\circ C} (\Omega / km) \times L(km) = 3 \times 24,5^2 \times 2,19 \times 0,04 \approx 158W$$

$$P_{loss} (\%) = \frac{158}{17000} \times 100\% = 0.93\%$$

#### 4.7 Πίνακες Χαμηλής Τάσης

Στο εξωτερικό χώρο της εγκατάστασης μας θα τοποθετηθούν τρεις πίνακες χαμηλής τάσης. Στους δυο από τους τρεις πίνακες καταλήγουν ανά 8 αντιστροφής STP 17000TL ενώ σε ένα πίνακα Χ.Τ καταλήγουν 7 αντιστροφείς.

Άρα η AC πλέθρα του αντιστροφέα θα συνδέεται με J1VV-R 5\*10mm<sup>2</sup> και θα καταλήγει στο πίνακα Χ.Τ που έχει κοντά του ώστε να απομονωθεί και να προστατευτεί από το υπόλοιπο σύστημα.

Τα υλικά που θα περιλαμβάνει ο υποπίνακας Χ.Τ είναι:

- Μικροαυτοματους τετραπολικους διακόπτες
- Απαγωγείς κρουστικών υπερτάσεων
- Διακόπτη φορτίου
- Διαφορές κλέμμες και λυχνίες

Το κάθε καλώδιο που έρχεται από τον Inverter στον ac πίνακα συνδέεται πρώτα σένα τετραπολικό μικροαυτοματο διακόπτη με απόζευξη (απόζευξη τριών φάσεων και ουδέτερου). Οι μικροαυτοματοι που επιλέξαμε είναι ονομαστικού ρεύματος λειτουργίας In μεγαλύτερη από του αντιστροφέα, δηλαδή 40A.

Τα χαρακτηριστικά του μικροαυτόματου είναι τα παρακάτω

#### Μικροαυτόματος διακόπτης iC60N της Schneider Electric

- Ονομαστική τιμή ρεύματος 40A
- Καμπύλη ενεργοποίησης τύπου B
- Συμμόρφωση με πρότυπα: IEC EN 60898 ή IEC 60947-2
- Κατάλληλοι για απομόνωση σύμφωνα με τα πρότυπα: IEC 60947
- Τάση λειτουργίας: έως και 440Vac, τάση μόνωσης: 500V
- Προαιρετικές πρόσθετες μονάδες διαρροής προς τη γη: C60 Vigi
- Θερμική επαφή που φέρει προστατεύει το καλώδιο από υπερφόρτιση ή βραχυκύκλωμα.



**Σχήμα 4.6** Σχηματική απεικόνιση μικροαυτόματου

Από τους μικροαυτοματους οι αγωγοί φάσεων και ουδέτερου συνδέονται στις μπάρες φάσεων και ουδέτερου (8\*L1 στη μπάρα 1, 8\*L2 στη μπάρα 2, 8\*L3 στη μπάρα 3, 8\*N στη μπάρα 4,).

Πριν το γενικό αυτόματο διακόπτη έχουμε την τοποθέτηση διατάξεων DEHN Guard M TT 275, 4 πόλοι, παράλληλα από τις φάσεις και τον ουδέτερο έναντι γείωσης, για την προστασία των εξόδων AC των 3Φ inverter. Η διάταξη απάγει έμμεσα κεραυνικά πλήγματα από το δίκτυο του εναλλασσόμενου ρεύματος μέχρι 40kA κυματομορφής 8/20μsec αφήνοντας παραμένονσα τάση  $\leq 1,25\text{kV}$

Τέλος έχουμε τον αυτόματο διακόπτη ισχύος κλειστού τύπου που θα απομονώνει τον πίνακα AC χ.τ από το υπόλοιπο κύκλωμα πρέπει να έχει μεγαλύτερο ονομαστικό ρεύμα από το σύνολο των 8 inverter ( $24,5\text{A} * 8 = 196\text{A}$ ).

Επιλέξαμε ένα αυτόματο διακόπτη ισχύος κλειστού τύπου της Schnider Electrc σειράς EasyPact (EZC250H44250).

Τα χαρακτηριστικά του αυτομάτου διακόπτη ισχύος φαίνονται παρακάτω:

- Ονομαστικό ρεύμα λειτουργίας  $I_{th} = 250\text{A}$
- Ονομαστική τάση λειτουργίας  $690\text{V}$
- Αριθμός πόλων  $4$
- Συμμόρφωση με πρότυπα  $\text{EN 60947-2, JIS C8201-2-1, IEC 60947-3}$
- Ικανότητα διακοπής βραχυκυκλώματος από  $36\text{kA}$  στα  $400/415\text{V}$





**Σχήμα 4.7** Διακόπτης ισχύος της σειράς EasyPact (EZC250H44250)

Τέλος μετά τον αυτόματο διακόπτη φορτίου

#### **4.8 Σύνδεση πινάκων AC X.T με το γενικό πινάκα X.T στο Y/Σ ανύψωσης.**

Για τη σύνδεση των AC υποπινάκων χαμάλης τάσης με το γενικό πινάκα X.T που βρίσκεται στο εσωτερικό του υπαίθριου υποσταθμού ανύψωσης τάσης, χρησιμοποιούμε καλώδια J1VV-R , τα όποια οδεύουν σε οχετούς μέσα στο έδαφος. Στο σημείο κοντά στον Y/Σ θα έχουμε τρία κυκλώματα καλωδίων αποτελούμενα από τέσσερεις αγωγούς (τρεις φάσεις και ουδέτερος).

Για να βρούμε την κατάλληλη διατομή καλωδίου πάμε αντίστοιχα όπως και με τα καλώδια inverter – AC υποπίνακα, οπού θα ξαναβάλουμε τους αντίστοιχους συντελεστές μειώσεις  $f_{\theta}$  ,  $f_c$  και  $f_i$  από το πρότυπο HD384.

Το μέγιστο ρεύμα που θα διαρρέει την κάθε φάση θα είναι 8 φορές μεγαλύτερη από το ονομαστικό ρεύμα του αντιστροφέα στις περιπτώσεις που έχουμε 8 αντιστροφείς στο AC υποπίνακα X.T.

δηλαδή  $I_0 = 8 * 24,5 = 196 \text{ A}$

Ενώ στη περίπτωση με 7 αντιστροφείς έχουμε  $I_0 = 7 * 24,5 = 171,5 \text{ A}$

Επόμενος η μέγιστη επιτρεπόμενη διαρκής φόρτιση του καλωδίου θα είναι για:

- $f_{\theta}$  ίσο με **0,95** για θερμοκρασία εδάφους  $25^{\circ}\text{C}$  και μόνωση από PVC
- $f_i$  ίσο με **0,8** διότι βρίσκονται στο έδαφος τοποθετημένα σε οχετούς με πλήθος κυκλωμάτων 6 και σε 25 cm απόσταση μεταξύ τους.
- $f_c$  ίσο με **1** για ειδική θερμική αντίσταση εδάφους  $2,5 \text{ K.m/W}$

Άρα για τη περίπτωση με 8 αντιστροφείς:

$$\frac{196}{0,95 \times 0,8 \times 1} = 257,9 \text{ A}$$

Από τον πίνακα του πρότυπου HD384 για καλώδια τοποθετημένα στο έδαφος με μόνωση από PVC και πλήθος φορτισμένων αγωγών 3, βρίσκουμε ότι η κατάλληλη διατομή καλωδίου είναι  **$185\text{mm}^2$**  με επιτρεπόμενο ρεύμα **258A**.

Ενώ στη περίπτωση με 7 αντιστροφείς έχουμε:

$$\frac{171,5}{0,95 \times 0,8 \times 1} = 225,6 \text{ A}$$

Σε αυτή τη περίπτωση βρίσκουμε ότι η κατάλληλη διατομή καλωδίου είναι  **$150\text{mm}^2$**  με επιτρεπόμενο ρεύμα **230A**.

Ενώ η διατομή του ουδέτερου θα είναι περίπου το μισό από αυτό των φάσεων. Άρα τα καλώδια που έχουμε είναι  $3 \times 185\text{mm}^2 + 95\text{mm}^2$  και στη περίπτωση με 7 αντιστροφείς  $3 \times 150\text{mm}^2 + 70\text{mm}^2$ .

Η απόσταση μεταξύ υποπινάκων AC και του υποσταθμού ανύψωσης τάσης, έχει μετρηθεί με τη βοήθεια του τοπογραφικού και είναι:

Υποπίνακας 1  $\rightarrow$  Υ/Σ ( 6m)  $\rightarrow$   $3 \times 185\text{mm}^2 + 95\text{mm}^2$

Υποπίνακας 2  $\rightarrow$  Υ/Σ ( 19m)  $\rightarrow$   $3 \times 185\text{mm}^2 + 95\text{mm}^2$

Υποπίνακας 3  $\rightarrow$  Υ/Σ ( 33m)  $\rightarrow$   $3 \times 150\text{mm}^2 + 70\text{mm}^2$

Για τον υπολογισμό της πτώσης τάσεως και των απωλειών ισχύος γνωρίζουμε ότι η ανάσταση του καλωδίου στους  $20^{\circ}\text{C}$  είναι  $R_{20}=0,0991\Omega/\text{km}$  για το  $185\text{mm}^2$  και  $R_2=0,124$  για το  $150\text{mm}^2$ . Ενώ για  $70^{\circ}\text{C}$ :

$$R_{70^{\circ}C} = R_{20^{\circ}C} \times [1 + a_{20^{\circ}C} \times (\theta_{\lambda\epsilon\iota\tau} - 20)] = 0,0991 \times [1 + 0,00393 \times (50)] \approx 0,119 \Omega / km$$

$$R_{70^{\circ}C} = R_{20^{\circ}C} \times [1 + a_{20^{\circ}C} \times (\theta_{\lambda\epsilon\iota\tau} - 20)] = 0,124 \times [1 + 0,00393 \times (50)] \approx 0,148 \Omega / km$$

Επόμενος η πτώση τάσης στο  $185\text{mm}^2$  για 19m είναι:

$$\Delta U = L(km) \times R_{70^{\circ}C} (\Omega / km) \times I_{\Pi} = 0,019 \times 0,119 \times 340 \approx 0,77V$$

$$\Delta U(\%) = \left(1 - \frac{V_{\Pi} - \Delta U}{V_{\Pi}}\right) \times 100\% = \left(1 - \frac{400 - 0,77}{400}\right) \times 100\% = 0,2\%$$

$$P_{loss} = 3 \times I^2 \times R_{70^{\circ}C} (\Omega / km) \times L(km) = 3 \times 196^2 \times 0,119 \times 0,019 \approx 260W$$

$$P_{loss}(\%) = \frac{260}{136000} \times 100\% \approx 0,2\%$$

Στο  $185\text{mm}^2$  για 6m είναι:

$$\Delta U = 0,25V \rightarrow \Delta U(\%) = 0,06\%$$

$$P_{loss} = 82,3W \rightarrow P_{loss}(\%) = 0,06\%$$

Στο  $150\text{mm}^2$  για 33m είναι:

$$\Delta U = L(km) \times R_{70^{\circ}C} (\Omega / km) \times I_{\Pi} = 0,033 \times 0,148 \times 297 = 1,45V$$

$$\Delta U(\%) = 0,36\%$$

$$P_{loss} = 3 \times I^2 \times R_{70^{\circ}C} (\Omega / km) \times L(km) = 3 \times 171,5^2 \times 0,148 \times 0,033 = 431W$$

$$P_{loss}(\%) = 0,36\%$$

Όπως βλέπουμε η πτώση τάσης είναι κάτω των 4% και γενικός η πτώση τάσης στο ποιο απομακρυσμένο αντιστροφέα παραμένει κάτω του 4% σύμφωνα με το πρότυπο HD384.

## **4.9 Υ/Σ Ανύψωσης 0,4/20KV (οικίσκος ΜΤ/ΧΤ)**

### **4.9.1 Τεχνική περιγραφή**

#### **Γενική περιγραφή**

Ο οικίσκος είναι σχεδιασμένος ειδικά προκειμένου να στεγάσει ηλεκτρονικό ηλεκτρολογικό εξοπλισμό.

Η κατασκευή της οροφής, εξασφαλίζει την πλήρη στεγανότητα του οικίσκου.

Ο οικίσκος μπορεί να τοποθετηθεί σε βάση από μπετόν επί της οποίας πακτώνεται με βύσματα.

Είναι κατασκευασμένος εξολοκλήρου από λαμαρίνα και επενδυμένος εξωτερικά από γαλβανισμένη εν θερμώ λαμαρίνα επικαλυμμένη από πολυεστερική βαφή η οποία εξασφαλίζει ελάχιστες εργασίες συντήρησης και αντοχή έναντι της οξείδωσης.

Η μεταφορά του γίνεται με ανάρτηση από τέσσερα (4) σταθερά σημεία που βρίσκονται στη βάση του οικίσκου.

#### **Διαστάσεις οικίσκου**

Ο προσφερόμενος οικίσκος είναι συνολικών εξωτερικών διαστάσεων (ΜxΠxΥ) 4.58x2.33x2.25 m, και αποτελείται από δύο διαμερίσματα:

- Διαμέρισμα πινάκων ΜΤ/ΧΤ (εσωτερικές διαστάσεις 2.69x2.25 m)
- Διαμέρισμα Μ/Σ (εσωτερικές διαστάσεις 1.77x2.25 m)

#### **Δάπεδο**

Η βάση του οικίσκου είναι κατασκευασμένη από γαλβανισμένη εν θερμώ λαμαρίνα πάχους 4mm και φέρει εγκάρσιες τραβέρσες πάχους 4mm ώστε να αναλαμβάνεται ασφαλώς, χωρίς υπέρβαση του επιτρεπόμενου βέλους κάμψεως, το προβλεπόμενο φορτίο.

Στο διαμέρισμα του Μ/Σ, το δάπεδο είναι κατάλληλα διαμορφωμένο για την εύκολη μετακίνηση του Μ/Σ σε περίπτωση συντήρησης.

## **Σκελετός**

Στις τέσσερις (4) γωνίες του οικίσκου βιδώνονται ορθοστάτες, από προφίλ γαλβανισμένης εν θερμώ λαμαρίνας πάχους 3mm, οι οποίοι συνδέονται μεταξύ τους με τραβέρσες από προφίλ λαμαρίνας σχηματίζοντας έτσι ένα άκαμπτο ικρίωμα επί του οποίου στερεώνονται τα τοιχώματα του οικίσκου.

## **Τοιχώματα**

Τα τοιχώματα του οικίσκου αποτελούνται από θερμομονωτικά panel πολυουρεθάνης πάχους 40mm (πυκνότητα πολυουρεθάνης 42kg/m<sup>3</sup>) με συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας  $K < 0,39 \text{ Kcal/m}^2\text{hC}$  και συνδέονται μεταξύ τους στεγανά.

Η εξωτερική και η εσωτερική λαμαρίνα των panel είναι γαλβανισμένες εν θερμώ, πάχους 0.5mm και βαμμένες με πολυεστερική βαφή λευκής απόχρωσης.

## **Οροφή**

Η οροφή είναι κατασκευασμένη από τραπεζοειδούς διατομής panel πολυουρεθάνης (πυκνότητα πολυουρεθάνης 42kg/m<sup>3</sup>) μέσου πάχους 50mm με συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας  $K < 0,32 \text{ Kcal/m}^2\text{hC}$ , των οποίων η εξωτερική και η εσωτερική λαμαρίνα του panel είναι γαλβανισμένες εν θερμώ, πάχους 0.5mm και βαμμένες με πολυεστερική βαφή λευκής απόχρωσης.

Τα panel της οροφής συνδέονται μεταξύ τους, έτσι ώστε να αποτελούν ένα ενιαίο τεμάχιο, το οποίο τοποθετείται σαν καπάκι στα τοιχώματα του οικίσκου εξασφαλίζοντας τη στεγανότητα και την απορροή των υδάτων. Μεταξύ της οροφής και των πλευρικών τοιχωμάτων τοποθετείται «μονωτικός πηλός» (μαστίχα) υψηλής αντοχής στις μεταβολές θερμοκρασίας και στην πάροδο του χρόνου. Τέλος ο αρμός οροφής - τοιχωμάτων καλύπτεται περιμετρικά με ειδικό στεγανοποιητικό υλικό (τύπου CERESIT-CP42).

## **Πόρτα**

Ο οικίσκος είναι εξοπλισμένος με:

- μία (1) μμονόφυλλη πόρτα 1200x2200mm (MxY) στο διαμέρισμα του Μ/Σ.
- μία (1) δίφυλλη πόρτα 2000x2200mm (MxY) στο διαμέρισμα ΜΤ/ΧΤ.

Η πόρτα και ο σκελετός της κατασκευάζονται από προφίλ αλουμινίου βαρέως τύπου, εντός των οποίων τοποθετείται ειδικό μονωτικό υλικό για την αποφυγή θερμογεφυρών.

## **Ηλεκτρολογική Εγκατάσταση**

Ο οικίσκος είναι εξοπλισμένος με δύο φωτιστικά εξωτερικού χώρου, ένα στο κάθε διαμέρισμα.

Τα κυκλώματα φωτισμού κατασκευάζονται με αγωγούς διατομής 1,5mm<sup>2</sup>.

Γενικά οι γραμμές οδεύουν στα οριζόντια τμήματα σε πλαστικό κανάλι τύπου “Κουβίδη”.

## **Γειώσεις**

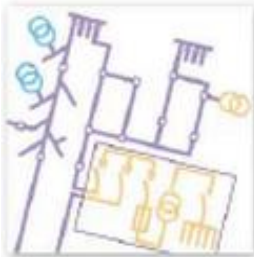
Ο οικίσκος φέρει εξωτερικά δυο εμφανή σημεία γείωσης.

Περιμετρικά στην οροφή του οικίσκου εγκαθίσταται σύστημα αντικεραυνικής προστασίας (τύπου κλωβού), που περιλαμβάνει την τοποθέτηση περιμετρικά στην οροφή συλλεκτήριου αγωγού φ10 και τέσσερις απαγωγούς (αγωγούς καθόδου ) φ10.

Εσωτερικά του οικίσκου και πίσω από τον πίνακα ΧΤ τοποθετείται χάλκινος αγωγός ορθογωνικής διατομής, διαστάσεων 25x5mm. Ο αγωγός επεκτείνεται μέχρι το τέλος της κατά μήκους πλευράς (απέναντι από την πόρτα) του οικίσκου. Υπάρχει ένας ακόμη όμοιος αγωγός ο οποίος τοποθετείται στο χάρισμα των δύο διαμερισμάτων, από την πλευρά του Μ/Σ. Επιπλέον, τοποθετείται και ένας κάθετος αγωγός μήκους δύο μέτρων πίσω από τον πίνακα της ΜΤ

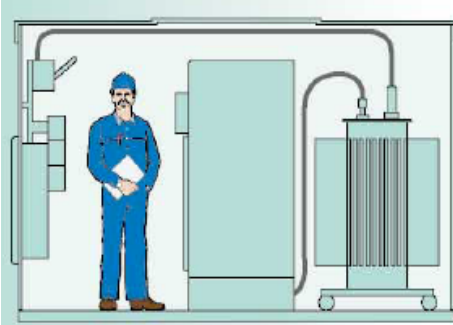
# LR73: 1-24 kV

## Συνεπτυγμένος Υπαίθριος Υποσταθμός Μ.Τ./Χ.Τ



Ο LR73 αποτελεί ένα προϊόν μεγάλων δυνατοτήτων στους υπαίθριους υποσταθμούς ΜΤ/ΧΤ, το οποίο συνδυάζει τόσο τη γενική διανομή όσο και τις απαιτήσεις βιομηχανικών δικτύων ανά τον κόσμο. Επικοινωνήστε με τον αντιπρόσωπο της Schneider Electric για περισσότερες λεπτομέρειες.





Υποσταθμός LR73 με εσωτερικό χειρισμό

Οι υποσταθμοί του τύπου LR73 παρέχουν έως 1000 kVA ηλεκτρικής ισχύος σε δίκτυα Χ.Τ. και είναι:

- Εργοστασιακά κατασκευασμένοι και ελεγμένοι
- έτοιμοι για απευθείας σύνδεση με το δίκτυο
- σχεδιασμένοι για εσωτερικό χειρισμό
- σε συμφωνία με το IEC 1330

### Περιγραφή του υποσταθμού LR73

Ο υποσταθμός LR 73 αποτελείται από:

- Περιβλήμα κατασκευασμένο από γαλβανισμένη λαμαρίνα πάχους 2 mm που στερεώνεται σε γαλβανισμένη έν θερμώ χαλύβδινη βάση πάχους 4 mm. Η πρόσβαση στο χώρο χειρισμού και του μετασχηματιστή επιτυγχάνεται μέσω δύο ανεξάρτητων θυρών.

#### ■ Πίνακα Μέσης Τάσης:

Συνεπτυγμένος πίνακας τύπου RM6/MERLIN GERIN

#### ■ Μετασχηματιστή ελαίου ΕΛΒΗΜ,

Οι μέγιστες παραδεκτές διαστάσεις είναι: μήκος 1700 mm, πλάτος 940 mm, ύψος 1700 mm

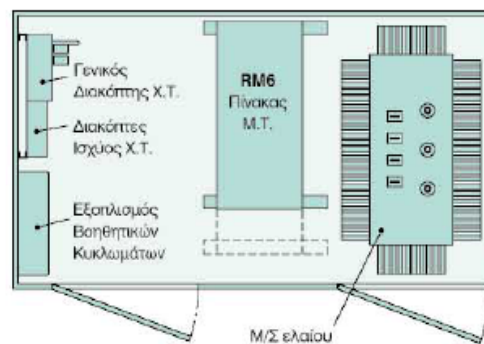
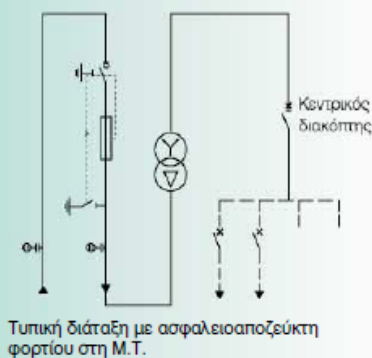
#### ■ Πίνακα Χαμηλής Τάσης: (Δύο επιλογές)

1. Γενικός διακόπτης ισχύος τύπου Compact NS
2. Πλαίσιο εξοπλισμένο με διακόπτη ισχύος τύπου Compact NS (γενικός διακόπτης προστασίας) και αναχωρήσεις προστατευμένες από διακόπτες ισχύος (κατόπιν αίτησης του πελάτη)

#### ■ Συνδέσεις Μέσης και Χαμηλής Τάσης

- Μέτρηση ηλεκτρικών μεγεθών στη Χαμηλή Τάση
- Εσωτερικός φωτισμός

### Παραδείγματα διαφόρων εσωτερικών διατάξεων



Υποσταθμός LR73 που περιλαμβάνει πίνακα ΜΤ τύπου RM6 και πίνακα ΧΤ



## Χαρακτηριστικά των υποσταθμών LR73

### Γενικά χαρακτηριστικά

Θερμοκρασία περιβάλλοντος	Κανονικές συνθήκες λειτουργίας	-25 °C έως +40 °C
	Λειτουργία σε πολύ θερμά κλίματα	+50 °C ή +60 °C <i>(συμβουλευθείτε την εταιρεία μας)</i>
Χρώμα		RAL 1001(κρεμ)
Εσωτερικός χειρισμός		Ναι
Διαμερισματοποιημένο		Όχι
Τύπος εξαερισμού		Φυσικός
Βαθμός προστασίας	Βασικός	IP34
	Λοιποί	<i>(συμβουλευθείτε την εταιρεία μας)</i>
Προδιαγεγραμμένη κλάση περιβλήματος		10

### Ηλεκτρικά χαρακτηριστικά

Ονομαστική τάση (kV)		24
Στάθμη μόνωσης	kV rms, 50 Hz 1 min	50
	kV, 1,2/50μs	125
Ονομαστική συχνότητα (Hz)		50

### Αποζευκτης φορτίου

Ονομαστικό ρεύμα (A)		630
Αντοχή σε ρεύμα βραχείως χρόνου	kA rms - 1s	16
	kA peak	40

### Μετασχηματιστής προστατευμένος από ασφαλειοαποζευκτη φορτίου ή αυτόματο διακότη ισχύος (Α.Δ.Ι.)

Ονομαστικό ρεύμα (A)		200 ή 630
Ικανότητα διακοπής (A)	Μετασχηματιστή εν κενώ	16
	Καλωδίου εν κενώ	30
Ικανότητα διακοπής βραχυκυκλώματος (kA rms)	Ασφαλειοαποζευκτης	16
	Α.Δ.Ι.	16
Ικανότητα ζεύξης (kA peak)	Ασφαλειοαποζευκτης	40
	Α.Δ.Ι.	40

### Μετασχηματιστής

Ονομαστική ισχύς (kVA)		50 έως 1000
Ονομαστική τάση δευτερεύοντος (V)		220 έως 400
Συνδεσμολογία		Dyn 11
Ρύθμιση τάσης (%)		±2,5 / ±5

### Εξοπλισμός Χαμηλής Τάσης

Ο πίνακας ΧΤ περιλαμβάνει:

- Γενικό διακόπτη προστασίας τύπου Compact NS μέχρι 1600A (ανάλογα με την ισχύ του Μ/Σ)
- Αναχωρήσεις με αυτόματους διακόπτες τύπου Compact NS από 100 έως 800A (κατ' επιλογήν)
- Μετρήσεις με αναλογικά ή ψηφιακά όργανα
- Σταθερή αντιστάθμιση (κατ' επιλογήν)
- Πίνακα σφαλμάτων του Μ/Σ (κατ' επιλογήν)

Συμφωνία με τα Πρότυπα	IEC 60439-1, BC EN 60439 μέρος 1ο, IEC 947-1 και 947-2
------------------------	--

### Προδιαγραφές

Οι υποσταθμοί LR73 συμφωνούν με τα Πρότυπα κατά IEC 1330 (1η έκδοση, Νοέμβριος 1995), ενώ τα κύρια εξαρτήματα του υποσταθμού συμφωνούν με διάφορα Πρότυπα και προδιαγραφές: IEC, BS, VDE, UTE, HN,...



Εσωτερικός χειρισμός του αποτελούμενου από υπομονάδες πίνακα ΜΤ, ΣΜ6



Εύκολη πρόσβαση στο Μ/Σ

#### 4.9.2 Μ/Σ Ελαίου 0.4/20KV

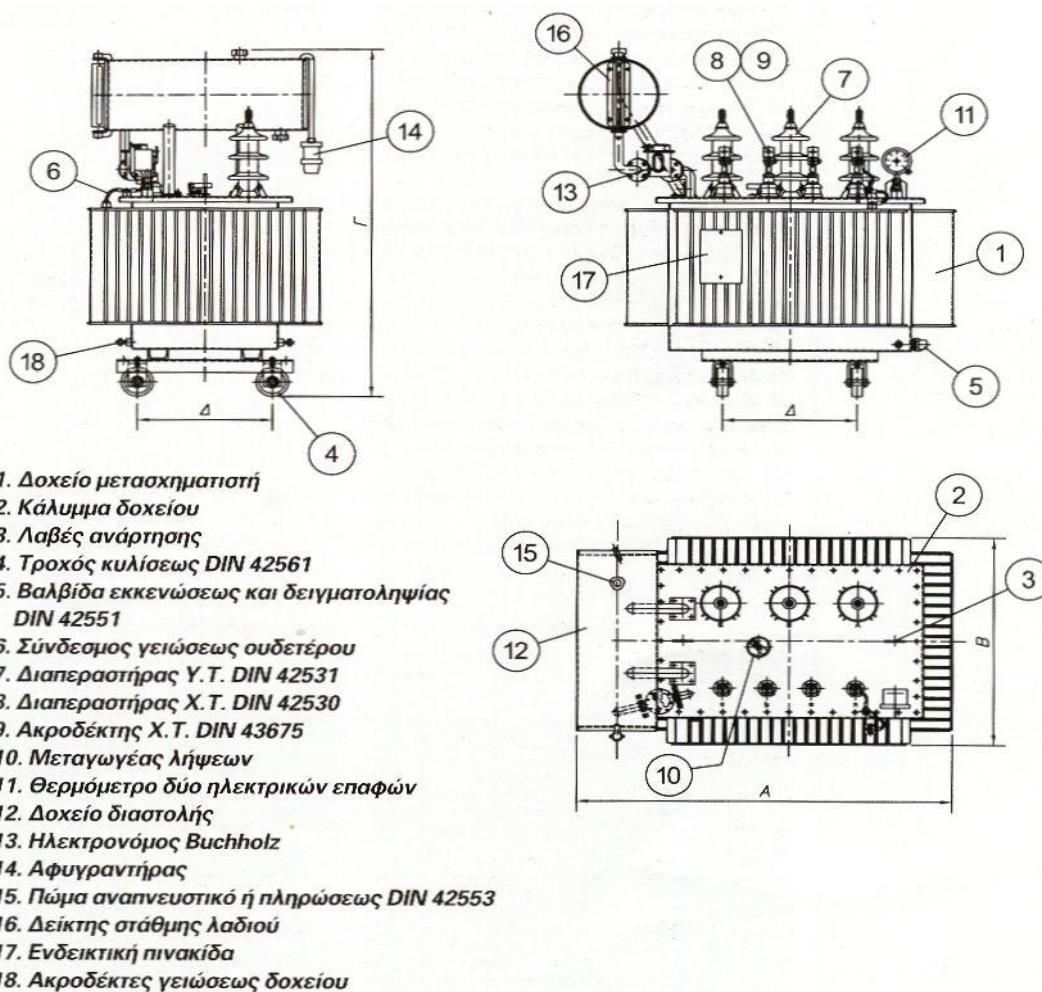
Ο Μ/Σ ελαίου σειράς ΕΛΒΗΜ της Schneider Electric, 500kVA 0.4/20kV, χαμηλών απωλειών, με τα ακόλουθα τεχνικά χαρακτηριστικά:

##### ΤΕΧΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ

POWER (KVA)	500	
PHASES	3	
PRIMARY VOLTAGE (KV) / CONNECTION	20	
SECONDARY VOLTAGE (KV) / CONNECTION	0.4	
FREQUENCY (Hz)	50	
VECTOR GROUP	Dyn11	
COOLING TYPE	ONAN	
VOLTAGE REGULATION (%)	± 2 x 2.5	
OIL MAX. TEMPERATURE RISE (K)	55	
WINDING MAX. TEMPERATURE RISE (K)	60	
IMPEDANCE VOLTAGE (%)	4	
IRON LOSSES (W)	<b>720</b>	
COPPER LOSSES (W)	<b>4600</b>	
T/F DIMENSIONS	LENGTH (mm)	1700
	WIDTH (mm)	870
	HEIGHT (mm)	1750
	WEIGHT (kg)	2300

Τα πρότυπα από τα οποία περιγράφεται ένας μετασχηματιστής συγκεντρώνονται στον ακόλουθο πίνακα:

Προδιαγραφές κατασκευής Μετασχηματιστών	
IEC 76-1	Μ/Σ ισχύος: γενικά
IEC 76-2	Μ/Σ ισχύος: ανύψωση θερμοκρασίας
IEC 76-3	Μ/Σ ισχύος: επίπεδα μόνωσης και διηλεκτρικές δοκιμές
IEC 76-5	Μ/Σ ισχύος: δυνατότητα αντοχής σε βραχυκυκλώματα
IEC 137	Διαπεραστήρες για εναλλασσόμενες τάσεις πάνω από 1000V
IEC 354	Οδηγός φόρτισης Μ/Σ λαδιού
IEC 726	Μ/Σ ισχύος ξηρού τύπου
IEC 905	Οδηγός φόρτισης Μ/Σ ξηρού τύπου



Σχήμα 4.9.2 : Τριφασικοί Μ/Σ ελαίου 250 έως 1600 kVA 20/0,4 kV kv χαμηλών απωλειών (Schneider)

Για τη διαστασιολόγηση της ισχύος του Μ/Σ λαμβάνουμε υπ' όψιν τόσο το φορτίο που αυτός πρέπει να διαχειριστεί όσο και τις συνθήκες λειτουργίας του. Στη συγκεκριμένη εφαρμογή υποθέτουμε ότι δε θα γίνει επέκταση της ισχύος του σταθμού. Η ονομαστική ισχύς του Μ/Σ είναι και η ισχύς μέγιστης επιτρεπόμενης διαρκούς φόρτισής του (VDE0532) για τις ακόλουθες συνθήκες:

- Θερμοκρασία περιβάλλοντος μικρότερη των 40°C
- Μέση ημερήσια θερμοκρασία μικρότερη των 30°C
- Μέση ετήσια θερμοκρασία μικρότερη των 20°C
- Υψόμετρο εγκατάστασης μέχρι 1000m.

Ο Υ/Σ διαχειρίζεται ισχύ 400 kWp. Αυτό σημαίνει ότι η επιλογή ενός Μ/Σ των 400 KVA καλύπτει οριακά τις ανάγκες του σταθμού με επιπρόσθετο κίνδυνο τη δυσλειτουργία του ή και την καταστροφή του σε περίπτωση που οι συνθήκες θερμοκρασίας περιβάλλοντος δεν είναι οι κατάλληλες. Για το λόγο αυτό θα επιλεγεί Μ/Σ μιας μεγαλύτερης κλίμακας, δηλαδή ονομαστικής ισχύος **500kVA**.

### 4.9.3 Διαμέρισμα Χαμηλής Τάσης

Εδώ βρίσκεται ο γενικός πίνακας Χαμηλής Τάσης όπου καταλήγουν τα κυκλώματα των υποπινάκων. Για την προστασία από βραχυκυκλώματα ή υπερφόρτιση χρησιμοποιούνται 3 αυτόματοι διακόπτες ισχύος. Οι διακόπτες ισχύος χρησιμοποιούνται σαν μέσο ζεύξης και έχουν την ικανότητα να διακόψουν ή να ζεύξουν ένα φορτίο τόσο σε συνθήκες ομαλής λειτουργίας όσο και σε συνθήκες βραχυκυκλώματος. Οι διακόπτες αυτοί πρέπει να είναι ονομαστικού ρεύματος λειτουργίας πάνω από 196,5A. Επίσης, η τάση λειτουργίας πρέπει να είναι πάνω από 400V. Άρα επιλέγονται Α.Δ.Ι Χαμηλής τάσης (αναχωρήσεις) σειράς COMPACT της SCHNEIDER ELECTRIC σταθερού τύπου (fixed), NS250N/3P, εξοπλισμένοι με:

- Θερμομαγνητική μονάδα ελέγχου TM100D.
- Βοηθητικές επαφές: 1x C/O (θέσεως) και μεταγωγική: 1 X SDE (σφάλματος).

Βασικά χαρακτηριστικά:



Χαρακτηριστικά διακόπτη MG Compact NS 250N	
Πρότυπα κατασκευής	IEC 60947-2, EN 60947-3
Αριθμός πόλων	3P
Ονομαστικό ρεύμα In	250A
Τάση λειτουργίας Ue	690AC/500DC
Συστήματα ενεργοποίησης	Θερμικό & Ηλεκτρομαγνητικό
Ρεύμα βραχυκύκλωσης Icu	36kA/1sec

Μετά τον παραλληλισμό των 3 κυκλωμάτων παρεμβάλλεται πολυόργανο για τον παρακολούθηση ηλεκτρικών μεγεθών. Το πολυόργανο είναι της σειράς POWERLOGIC PM210 της SCHNEIDER ELECTRIC συνοδεύεται από τους αντίστοιχους μετασχηματιστές τάσης και έντασης με τη βοήθεια των οποίων καταγράφονται οι μετρήσεις.



Χαρακτηριστικά MG Powerlogic PM210
1) Μέτρηση ρεύματος (I1, I2, I3, IN)
2) Μέτρηση ρεύματος μεγίστου
3) Μέτρηση πολικής τάσης
4) Μέτρηση συχνότητας
5) Μέτρηση συνημιτόνου cosφ
6) Μέτρηση ενεργού, αέργου και φαινόμενης ισχύος
7) Μέτρηση (ενεργού, αέργου και φαινόμενης) ενέργειας

Τέλος έχουμε το γενικό αυτόματο διακόπτη ισχύος και το αντικεραυνικό DEHN Shield DSH TT 255, 4 πόλοι. Ο διακόπτης αυτός είναι επίσης της σειράς Compact της SCHNEIDER ELECTRIC σταθερού τύπου (fixed), NS800N/3P εξοπλισμένος με:

- Ηλεκτρονική μονάδα Ελέγχου MICROLOGIC 2.0
- Βοηθητικές επαφές: 1x C/O (θέσεως) και μεταγωγική: 1 X SDE (σφάλματος). - Πηνίο εργασίας.

Βασικά χαρακτηριστικά:



<b>Χαρακτηριστικά διακόπτη MG Compact NS 8000N</b>	
Πρότυπα κατασκευής	IEC 60947-2, EN 60947-2
Αριθμός πόλων	3P
Ονομαστικό ρεύμα In	800A
Ταση λειτουργίας Ue	690AC
Ρεύμα βραχυκύκλωσης Icu	50kA/1sec
Μονάδα ελέγχου	Micrologic 2.0

#### 4.9.4 Διαμέρισμα Μέσης Τάσης

Στο διαμέρισμα αυτό έχουν τοποθετηθεί οι πίνακες Μέσης Τάσης οι οποίοι είναι τύπου SM6 της εταιρείας Schneider-Electric.

Οι κυψέλες τύπου SM6 συνιστούν μια σειρά λειτουργικών μονάδων, κάθε μία από τις οποίες περιλαμβάνει:

- Διακοπτικό εξοπλισμό (διακόπτης φορτίου, αυτόματος διακόπτης ισχύος, ρελέ, αποζεύκτης) σταθερού τύπου ή συρόμενου φορείου, ο οποίος βρίσκεται είτε σε περιβάλλον εξαφθοριούχου θείου (SF6) είτε σε κενό όπως συμβαίνει με τους διακόπτες αυτόματου ισχύος Enox.
- Προκατασκευασμένο, μεταλλοενδεδυμένο (metal enclosed) πεδίο που χρησιμοποιεί ως διηλεκτρικό μέσο μαρών τον αέρα και περιέχει τον παραπάνω διακοπτικό εξοπλισμό.

Τα προϊόντα της σειράς SM6 ικανοποιούν τις απαιτήσεις που αφορούν την ασφάλεια του προσωπικού, την εγκατάσταση, την σωστή διαδοχή χειρισμών καθώς και την περιβαλλοντική προστασία.

Ο εξοπλισμός έχει σχεδιαστεί, κατασκευαστεί και ελεγχθεί σύμφωνα με τα πρότυπα:

<b>Πρότυπα κατασκευής, σχεδιασμού και δοκιμών Πεδίων M.T. SM6</b>	
IEC 60694	Κοινές προδιαγραφές για πίνακες Μέσης Τάσης
IEC 60298	Πίνακες Μέσης Τάσης με μεταλλικό περίβλημα
IEC 60129	Αποζεύκτης και γειωτής
IEC 60265	Διακόπτης φορτίου Μέσης Τάσης AC
IEC 60420	Συνδυασμένοι διακόπτες με ασφάλειες
IEC 62271-100	Αυτόματος διακόπτης ισχύος Μέσης Τάσης AC
IEC 60470	Ρελέ Μέσης Τάσης AC
IEC 60282-1	Ασφάλειες Μέσης Τάσης
IEC 60060	Διαδικασίες δοκιμών Υψηλής Τάσης
IEC 60044-2	Μετασχηματιστές τάσης
IEC 60044-1	Μετασχηματιστές έντασης
IEC 60420	Συνδυασμένοι διακόπτες με ασφάλειες Μέσης Τάσης
IEC 60255	Ηλεκτρονόμοι προστασίας
IEC 5329	Δείκτης προστασίας περιβλημάτων

### Χαρακτηριστικά ηλεκτρικών μεγεθών

<b>Γενικά</b>	
Ονομαστική τάση, kV	24
Τάση λειτουργίας, kV	20
Μέγεθος μπαρών In, A	630
Συχνότητα Hz	50
Σύστημα γείωσης ουδέτερου	-
Τάση μόνωσης	24
Αντοχή σε τάση βιομηχανικής συχνότητας, 50 Hz 1 mn kV rms	50
Αντοχή σε τάση κρουστικής μορφής, 1,2/50 μs kV peak	125
Αντοχή σε ρεύμα βραχυκύκλωσης 1s, kA	16
Αντοχή σε δοκιμή εσωτερικού τόξου kA	12.5kA / 0.7 sec
Δείκτης προστασίας περιβλήματος IP	IP 2XC
Θερμοκρασία περιβάλλοντος (για τα ονομαστικά χαρ/κα)	-5 C ~ 40 °C
Τάση βοηθητικών κυκλωμάτων	-

<b>Ικανότητα διακοπής</b>	
Διακόπτης φορτίου A	630
Μονάδα ασφαλειοαποζεύκτη kA	16
Αυτόματος διακόπτης ισχύος kA	-
Ρελέ kA	-
Ρελέ με ασφάλειες kA	-

SM6	Περιγραφή Κυψέλης	Πεδίο Σύνδεσης με το δίκτυο	Πεδίο Μετρήσεων	Πεδίο Προστασίας Μ/Σ
	Ποσότητα	1	1	1
	Τύπος Κυψέλης	<b>IM375/LA</b>	<b>CM375</b>	<b>DM1-A</b>
<b>Διαστάσεις</b>	Ύψος (mm)	1700	1700	2050
	Βάθος (mm)	940	940	1220
	Πλάτος (mm)	375	375	750
	Βάρος (kg)	120	190	400
<b>Μηχανισμός Λειτουργίας</b>	Αυτόματος Διακόπτης Ισχύος / A	-	-	1 / 630 (SF1)
	Ασφάλειες / A	-	3 / 6.3	-
	Διακόπτης Φορτίου / A	1 / 630	-	-
	Ρελέ-Ασφάλεια / A	-	-	-
	Αποζεύκτης / A	-	1 / 50	1 / 630
	Ονομαστικό ρεύμα μπαρών / A	630	630	630
	Γειωτής	1	1	2
	Πηνίο ανοίγματος	-	-	1
	Πηνίο κλεισίματος	-	-	1
	Επιλογή τηλεχειρισμού	-	-	NAI (230VAC)
	Βοηθητικές Επαφές	2O+3C (ΔΦ) 1O+1C (Γ)	1O+2C (AZ)	2O+3C (AZ) 1O+1C (Γ) 4O+4C (ΑΔΙ)
	<b>ΜΣ Έντασης</b>	Ποσότητα	-	-
Πρωτεύον		-	-	25-50
Δευτερεύον		-	-	5-5A 7.5VA cI0.5 5VA 5P10
<b>ΜΣ Τάσης</b>	Ποσότητα	-	3	-
	Πρωτεύον	-	20/√3 kV	-
	Δευτερεύον	-	100/√3 V 30VA cI 0.5	-
<b>Εξοπλισμός ΧΤ</b>	Κομβία / Λυχνίες/Επιλογικός διακόπτης	-	-	2 / 2 / 1
	Μονάδα μέτρησης ενέργειας	-	-	SEPAM S40
	Μονάδα προστασίας SEPAM	-	-	SEPAM S40
	Κάρτα εισόδων/εξόδων SEPAM	-	-	1 x MES114
	Κάρτα επικοινων. SEPAM	-	-	1 x RS485
	Ρελέ VIP	3 x 21kV / 5kA	-	-
	Αλεξικέραυνα	-	-	-
Τοροειδής μετασχηματιστής ΧΤ	-	-	-	
<b>Διάφορος Εξοπλισμός</b>	Βάθρο ανύψωσης 350 mm	-	-	-
	Λυχνίες ένδειξης τάσης	NAI	-	NAI

Αναλυτικά στοιχεία του πίνακα ΜΤ.

#### **4.9.5 Γενικά στοιχεία για τα πεδία τύπου SM6**

##### **Πεδία SM6**

Ο εξοπλισμός ικανοποιεί τα κριτήρια όπως αυτά αναγράφονται στην παράγραφο 3.102.2 της έκδοσης 1990-12 του πρότυπου IEC60298, σχετικά με πίνακες εσωτερικής εγκατάστασης, διαμερισματοποιημένους και μεταλλοεπενδεδυμένους. Οι κυψέλες έχουν σχεδιαστεί με πέντε τμήματα στεγασμένα σε ένα πλαίσιο και τα οποία αναφέρονται ονομαστικά στη συνέχεια. Τα διαμερίσματα είναι:

- Διαμέρισμα διακοπτικού εξοπλισμού
- Διαμέρισμα μπαρών
- Διαμέρισμα συνδέσεως καλωδίων ισχύος
- Διαμέρισμα μηχανισμού λειτουργίας
- Διαμέρισμα χαμηλής τάσης

##### **Ασφαλειο-διακόπτες**

Οι διακόπτες που χρησιμοποιούν το SF<sub>6</sub> ως μονωτικό και διακοπτικό μέσο, χαρακτηρίζονται από την κατασκευαστική τους ιδιότητα να μην απαιτείται γέμισμα καθ' όλη τη διάρκεια ζωής τους, κατά τα πρότυπα IEC

Ο διακόπτης έχει 3 θέσεις : κλειστός /ανοιχτός/ γειωμένος.

Συνδυάζει λειτουργίες απόζευξης και διακοπής. Ο γειωτής έχει ικανότητα ζεύξης σε βραχυκύκλωνα.

Στην περίπτωση κυψέλης ασφαλειο-διακόπτη φορτίου (QM) η τήξη της ασφάλειας προκαλεί το άνοιγμα του διακόπτη φορτίου.

##### **Αυτόματοι Διακόπτες Ισχύος SF**

Οι αυτόματοι διακόπτες ισχύος, που χρησιμοποιούν το SF<sub>6</sub> ως μονωτικό και διακοπτικό μέσο, είναι κλειστού τύπου και τηρούν τα πρότυπα IEC. Δεν υφίσταται η ανάγκη για αναπλήρωση με SF<sub>6</sub> καθ' όλη τη διάρκεια ζωής της μονάδας. Ο αυτόματος διακόπτης ισχύος είναι εξοπλισμένος με μηχανισμό λειτουργίας (τανύσματος ελατηρίου, χειροκίνητα ή με χρήση κινητήρα), πηνία ανοίγματος και κλεισίματος (κατ' επιλογή) και βοηθητικές επαφές για ένδειξη θέσης (προαιρετικός εξοπλισμός). Οι Α.Δ.Ι μπορεί να είναι σταθερού ή συρόμενου τύπου.



## **Αυτόματοι Διακόπτες Ισχύος Evolis**

Την ίδια ακριβώς λειτουργία έχουν και οι αυτόματοι διακόπτες EVOLIS με τη διαφορά ότι οι τελευταίοι χρησιμοποιούν το κενό ως διακοπτικό μέσο. Διαθέτουν και αυτοί μηχανισμό λειτουργίας (τανύσματος ελατηρίου, χειροκίνητα ή με χρήση κινητήρα), πηνία ανοίγματος και κλεισίματος (κατ' επιλογή) και βοηθητικές επαφές για ένδειξη θέσης (προαιρετικός εξοπλισμός). Οι Α.Δ.Ι EVOLIS είναι σταθερού τύπου.

## **Αυτόματοι Διακόπτες - Ρελέ Ισχύος ROLLARC**

Ο αυτόματος διακόπτης - ρελέ ισχύος ROLLARC χρησιμοποιεί SF<sub>6</sub> ως μονωτικό και διακοπτικό μέσο και είναι κλειστού τύπου. Οι προδιαγραφές του έρχονται σε συμφωνία με τα πρότυπα IEC. Είναι εξοπλισμένος με ηλεκτρικό μηχανισμό λειτουργίας που διαθέτει μαγνητική συγκράτηση, πηνία ανοίγματος και κλεισίματος (κατ' επιλογή) και βοηθητικές επαφές για ένδειξη θέσης(προαιρετικός εξοπλισμός). Ο αυτόματος διακόπτης είναι σταθερού τύπου.

## **Σύστημα προστασίας και ελέγχου - SEPAM**

Ανάλογα με την επιλογή του τύπου κυψέλης και του διακοπτικού μηχανισμού, γίνεται και η κατάλληλη επιλογή της μονάδας ελέγχου και προστασίας SEPAM, η οποία αποτελεί τη πρόταση της Schneider Electric στους ηλεκτρονόμους δευτερογενούς προστασίας.

Η σειρά SEPAM 1000+ χρησιμοποιείται στις περισσότερες απλές και συνήθεις εφαρμογές. Αποτελεί μια συσκευή με πολλαπλές λειτουργίες όπως:

- Προστασία του δικτύου και του φορτίου που τροφοδοτεί.
- Έλεγχος του συνεργαζόμενου αυτόματου διακόπτη ισχύος ή ρελέ ισχύος.
- Μέτρηση ηλεκτρικών μεγεθών
- Ένδειξη μηνυμάτων λειτουργίας

Η μονάδα προστασίας SEPAM 1000+ διακρίνεται για τις διαφορετικές δυνατότητες που προσφέρει σε συνάρτηση με τις απαιτήσεις της κάθε εφαρμογής:

- Διαχωρισμός τύπων μονάδος και λειτουργιών ανάλογα με τη ζητούμενη προστασία: τύπος S για υποσταθμούς, τύπος B για μπάρες, τύπος T για μετασχηματιστές, τύπος G για γεννήτριες και τύπος M για κινητήρες.

- Επιλογή μεταξύ δύο User Machine Interface (UMI): του βασικού (basic) και του εξελιγμένου (advanced). Η δεύτερη επιλογή περιλαμβάνει οθόνη LCD με γραφήματα και πληκτρολόγιο. Η advanced έκδοση μπορεί να εγκατασταθεί απομακρυσμένα ενώ υπάρχει η δυνατότητα επιλογής γλώσσας λειτουργίας.
- Δυνατότητα χρησιμοποίησης extra modules κατ' επιλογή:
  - i) Κάρτες εισόδων-εξόδων (MES)
  - ii) Κάρτα σειριακής επικοινωνίας (RS 485).
  - iii) Κάρτα αναλογικής εξόδου 4-20 mA (MSA)
  - iv) Κάρτα 8 εισόδων αισθητήρων θερμοκρασίας (MET)

Οι κυψέλες SM6 στις οποίες χρησιμοποιούνται μονάδες SEPAM 1000+ έχουν διακοπτικό μηχανισμό λειτουργίας αυτόματους διακόπτες ισχύος SF6 (SF1), αυτόματους διακόπτες κενού (EVOLIS) καθώς και αυτόματους διακόπτες - ρελέ ισχύος ROLLARC.

### **Ρελέ προστασίας - VIP300**

Το ρελέ προστασίας VIP 300 είναι σχεδιασμένο για χρήση δίκτυα διανομής. Έχει τη δυνατότητα χρήσης για προστασία μετασχηματιστών και εισόδου ή τροφοδότησης δικτύου. Ανάλογα με τις προστασίες που παρέχει, διακρίνεται σε δύο επιμέρους τύπους:

- VIP 300P: Προστατεύει από σφάλμα μεταξύ φάσεων (phase to phase)
- VIP 300LL: Προστατεύει από σφάλμα μεταξύ φάσεων (phase to phase) και ως προς γη(phase to earth fault)

Το VIP 300 δεν χρειάζεται βοηθητική τάση και συνεργάζεται με κατάλληλους αισθητήρες ρέματος. Σε περίπτωση σφάλματος ενεργοποιεί μέσω ενός πηνίου χαμηλής κατανάλωσης (MITOP) τον μηχανισμό ανοίγματος του διακόπτη.

Οι κυψέλες SM6 στις οποίες χρησιμοποιούνται μονάδες SEPAM 1000+ έχουν διακοπτικό μηχανισμό λειτουργίας αυτόματους διακόπτες ισχύος SF6, τύπου SFSET.

### **Μετασχηματιστές έντασης**

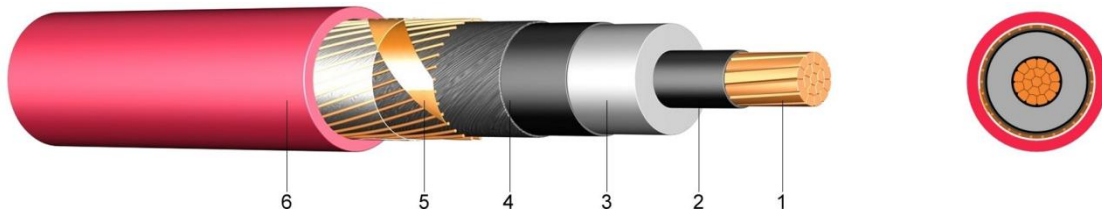
Οι Μ/Σ έντασης που χρησιμοποιούνται για προστασία είναι τυπικού τύπου μέσης τάσης με πυρήνα χαμηλής τάσης. Μπορούν να χρησιμοποιηθούν για μετρήσεις ενώ συνεργάζονται άριστα με τον ηλεκτρονόμο προστασίας SEPAM.

### **Μετασχηματιστές τάσης**

Οι μετασχηματιστές τάσης είναι τυπικοί και σύμφωνα με τα πρότυπα IEC. Είναι διαθέσιμοι τόσο με ασφάλειες όσο και χωρίς.

#### 4.10 Διασύνδεση του Υ/Σ ανύψωσης με το δίκτυο Μέσης Τάσης

Το δίκτυο Μέσης Τάσης του Φ/Β σταθμού συνδέεται με το δίκτυο Μέσης Τάσης της ΔΕΗ μέσω υπόγειας γραμμής όπου ο ενταφιασμός του καλωδίου γίνεται μέσα σε σωλήνες για πρόσθετη μηχανική προστασία και σε τριγωνική διάταξη. Ο τύπος του καλωδίου που χρησιμοποιείται είναι N2XSΥ, είναι συμβατό με το πρότυπο IEC 60502-2



**Σχήμα 4.16** Τομή καλωδίου N2XSΥ: **1)** πολύκλωνος στρογγυλός αγωγός χαλκού, **2)** εσωτερικό ημιαγωγικό στρώμα από XLPE (δικτυωμένο πολυαιθυλένιο), **3)** μόνωση XLPE, **4)** εξωτερικό ημιαγωγικό στρώμα XLPE, **5)** ηλεκτρική θωράκιση αποτελούμενη από σύρματα χαλκού τυλιγμένα ελικοειδώς, **6)** μανδύας PVC.

Το μήκος του απαιτούμενου καλωδίου και για τις τρεις φάσεις είναι 81m με 27m καλώδιο ανά φάση.

Το μέγιστο ρεύμα που αναμένουμε στο καλώδιο είναι:

$$I_n = \frac{S}{\sqrt{3} \times V_\pi} = \frac{400000}{\sqrt{3} \times 20000} = 11,55 \text{ A}$$

Η διατομή που επιλέξαμε είναι η ελάχιστη διατομή που διατίθεται σε αυτό το είδος καλωδίου ( $35 \text{ mm}^2$ ), με επιτρεπόμενη συνεχή φόρτιση 185A, όπως φαίνεται στα στοιχεία του κατασκευαστή.

ΟΝΟΜΑΣΤΙΚΗ ΔΙΑΤΟΜΗ ΚΑΛΩΔΙΟΥ & ΘΩΡΑΚΙΣΗΣ	ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ ΚΑΛΩΔΙΟΥ (ΠΕΡΙΠΟΥ)	ΒΑΡΟΣ ΚΑΛΩΔΙΟΥ (ΠΕΡΙΠΟΥ)	ΜΕΓΙΣΤΗ ΩΜΙΚΗ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ ΣΕ DC ΣΕ 20 °C	ΕΠΙΤΡΕΠΟΜΕΝΗ ΣΥΝΕΧΗΣ ΦΟΡΤΙΣΗ	
				ΣΤΟ ΕΔΑΦΟΣ	ΣΤΟΝ ΑΕΡΑ
mm <sup>2</sup>	mm	kg/km	Ω/km	A	A
1x35/16	25,5	935	0,524	185	198

Με βάση το πρότυπο VDE DIN 0298 πρέπει να διορθώσουμε το ρεύμα φόρτισης με τους ανάλογους συντελεστές:

$$I_{\max} = I_0 \times f_1 \times f_2 \times f_3 \times f_4 \times f_5$$

Οπου:

**f<sub>1</sub>**: για  $\theta_{\text{εδάφους}} = 25^{\circ}\text{C}$ ,  $\sigma = 1,0\text{K} \cdot \text{m/W}$ ,  $\theta_{\text{μόνωσης}} = 90^{\circ}\text{C}$  και συντελεστή φόρτωσης 0,5 προκύπτει **f<sub>1</sub>=1,02**

**f<sub>2</sub>**: συντελεστής για περισσότερα του ενός συστήματος. Εδώ έχουμε πάντα ένα τριφασικό σύστημα επομένως **f<sub>2</sub>=1,13**

**f<sub>3</sub>**: επειδή το καλώδιο βρίσκεται σε σωλήνα άνω των 6m **f<sub>3</sub>=0,85**

**f<sub>4</sub>**: Επειδή δεν υπάρχουν προστατευτικά ή σκεπάσματα που να εγκλείουν αέρα, **f<sub>4</sub>=1**

**f<sub>5</sub>**: Δεν υπάρχουν πολυπολικά καλώδια με περισσότερους των τριών αγωγών. **f<sub>5</sub>=1**

$$I_{\max} = I_0 \times f_1 \times f_2 \times f_3 \times f_4 \times f_5 = 185 \times 1.02 \times 1.13 \times 0.85 \times 1 \times 1 = 176\text{A}$$

Από ότι βλέπουμε η διατομή του καλωδίου που έχουμε επιλέξει είναι υπεραρκετή για το χαμηλό ρεύμα που θα περάσει.

Το μήκος καλωδίου **N2XS-Y** που χρειάζεται για τη διασύνδεση του Υ/Σ ανύψωσης με το δίκτυο Μέσης Τάσης είναι περίπου 81m.

## **Κεφάλαιο 5**

Ηλεκτρολογική Μελέτη Φ/Β Συστήματος με Κεντρικό  
Αντιστροφέα 400kW (SMA SC 400MV)

## 5.1 Εισαγωγή

Στο κεφάλαιο αυτό περιγράφουμε τη διασύνδεση των διαφόρων τμημάτων του Φ/Β συστήματος, αυτή τη φορά όχι με χρήση πολλών αντιστροφών αλλά με κεντρικό αντιστροφήα των 400kW. Με τη βοήθεια διαγραμμάτων απεικονίζεται η χωροθέτηση του χρησιμοποιούμενου εξοπλισμού, οι ηλεκτρολογικές συνδέσεις Μέσης, Χαμηλής και DC τάσης. Ειδικότερη αναφορά γίνεται στα χρησιμοποιούμενα καλώδια, τον τύπο τους και τον τρόπο επιλογής της διατομής του. Τέλος γίνεται περιγραφή των οικίσκου – υποσταθμού ανύψωσης τάσης.

## 5.2 Γενική περιγραφή της τοπολογίας

Στην τοπολογία αυτή ο σταθμός αποτελείται από συνολικά 1666 πλαίσια της εταιρείας SANYO τύπου HIT SANYO 240 HDE 4 ονομαστικής ισχύος 240Wp. Τα πλαίσια αυτά ομαδοποιούνται σε 98 στοιχειοσειρές όπου η κάθε στοιχειοσειρά αποτελείται από 17 φ/β πλαίσια, ανά 7 στοιχειοσειρές πηγαίνουν σε μια διάταξη παραλληλισμού (Sunny String Monitor SSM). Συνολικά έχουμε 14 διατάξεις παραλληλισμού όπου χωρίζονται ανά 7 σε δυο DC πίνακες. Η ομαδοποίηση όλων των στοιχειοσειρών τροφοδοτεί έναν αντιστροφέα 400kW τύπου (SC 400MV-11) της γερμανικής εταιρίας SMA. Τέλος η έξοδος του αντιστροφέα που είναι μέσης τάσης 20kV οδηγάτε προς τη κολόνα τις ΔΕΗ.

Στο **"Τοπογραφικό διάγραμμα 2"**, φαίνεται η χωροταξική τοποθέτηση του εξοπλίζου. Η όδευση των καλωδίων DC γίνεται πάνω στις μεταλλικές βάσεις των συστοιχιών μέχρι τις συσκευές παραλληλισμού (SSM), ενώ το κεντρικό καλώδιο DC από τις συσκευές παραλληλισμού (SSM) οδεύουν μέσω κατάλληλων χαντακιών μέχρι τον αντιστροφέα.

### 5.3 Καλωδίωση Φ/Β πλαισίων με τις διάταξης παραλληλισμού

#### 5.3.1 Όδευση καλωδίων – απαιτούμενο μήκος καλωδίων DC

Τα καλώδια που συνδέουν τα Φ/Β πλαίσια με τις συσκευές παραλληλισμού των στοιχειοσειρών οδεύουν μόνο πάνω στις συστοιχίες οριζόντια. Το μήκος καλωδίου για κάθε συστοιχία το υπολογίσαμε στο κεφαλαίο 3 και είναι:

Sunny String Monitor (1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,12)	
Σ1	(24,6 + 23,7)m
Σ2	(17,5 + 16,6)m
Σ3	(9,6 + 8,7)m
Σ4	(3 + 2)m
Σ5	(4 + 3)m
Σ6	(10,3 + 9,4)m
Σ7	(17,4 + 16,5)m
Σύνολο	166,3 m

Sunny String Monitor 13	
Σ1	(24 + 25)m
Σ2	(16 + 17)m
Σ3	(12 + 13)m
Σ4	(10 + 11)m
Σ5	(2 + 3)m
Σ6	(7 + 8)m
Σ7	(13 + 14)m
Σύνολο	175 m

Sunny String Monitor 14	
Σ1	(16 + 17)m
Σ2	(12 + 13)m
Σ3	(10 + 11)m
Σ4	(2 + 3)m
Σ5	(7 + 8)m
Σ6	(15 + 16)m
Σ7	(13 + 14)m
Σύνολο	157 m

Συνολικά για την καλωδίωση των πλαισίων θα χρειαστούν  $(12 \cdot 166,3) + 175 + 157 = 2328$  m καλώδιο.

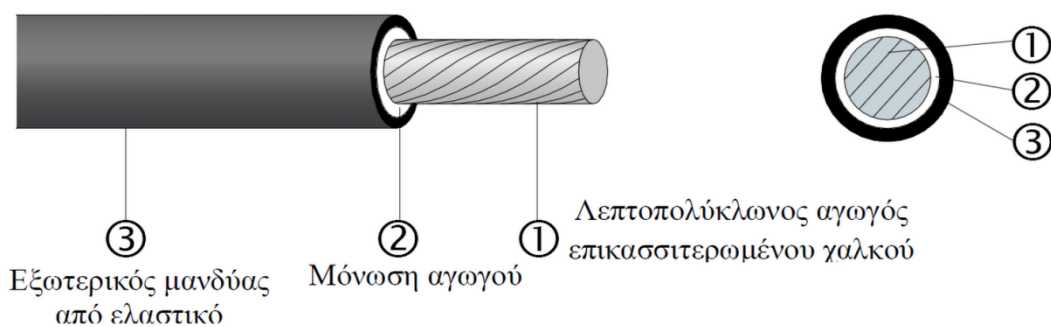


### 5.3.2 Τύπος καλωδίου

Για την διασύνδεση των πλαισίων χρησιμοποιούνται ειδικά καλώδια εξωτερικού χώρου τα οποία πρέπει να είναι ανθεκτικά τόσο σε μηχανικές καταπονήσεις όσο και στην ηλιακή ακτινοβολία. Ο τύπος που επιλέξαμε είναι τα RADOX SOLAR cable μονού πύρινα, της εταιρίας HUBER+SUNER και έχει τις ακόλουθες προδιαγραφές:

- Ελεγμένα και πιστοποιημένα από τα Εργαστήρια VDE και TÜV της Γερμανίας.
- Καθορισμένοι με ακρίβεια και περιεκτικοί κανονισμοί για τις δοκιμές (Tests) των καλωδίων καθώς και των μονωτικών μειγμάτων.
- Επιτρεπτή τάση λειτουργίας συστήματος μέχρι 2kV DC. Τάση δοκιμής AC 6,5kV / DC 15kV.
- Εύρος θερμοκρασιών λειτουργίας από -40°C έως +120°C.
- Ανθεκτικά στην αμμωνία.
- Ανθεκτικά στην υπεριώδη ακτινοβολία (UV) και στο όζον.
- Πληροί το IEC 60332-1
- Ονομαστική τάση 900V – 1800V
- Διατομή 1.5 - 150 mm<sup>2</sup>

**RADOX®**



### 5.3.3 Πτώση τάσης και απώλειες ισχύος στο καλώδιο DC

Η επιλογή της διατομής του αγωγού σχετίζεται με την ανάγκη όσο το δυνατόν μικρότερων απωλειών αλλά και πτώσης τάσης κατά μήκος του. Πρακτικά, η καλωδίωση των πλαισίων γίνεται με καλώδια διατομών 4mm<sup>2</sup> ή 6mm<sup>2</sup>. Στη συνέχεια, θα δούμε το ποσοστό της πτώσης τάσης που επιφέρει κάθε μία από τις παραπάνω διατομές. Σύμφωνα με το γερμανικό προσχέδιο **VDE** προτείνεται η πτώση τάσης να μην είναι μεγαλύτερη του **1%** της ονομαστικής DC τάσης συστήματος. Το ρεύμα που ρέει σε κάθε στοιχειοσειρά εξαρτάται κυρίως από την ακτινοβολία και είναι σχεδόν πάντα μικρότερο του ρεύματος **IMPP**. Στη συγκεκριμένη περίπτωση, το ρεύμα **IMPP** είναι **6,77A** και βάση αυτού θα γίνουν οι παρακάτω έλεγχοι.

Μας ενδιαφέρει η πτώση τάσης που έχουμε πάνω στον μακρύτερο αγωγό ο οποίος είναι 2\***25m**. Η ωμική αντίσταση του καλωδίου σε θερμοκρασία 20°C δίνεται από το φυλλάδιο του κατασκευαστή και είναι **5,09 Ω/km** και **3,39 Ω/km** για αγωγούς 4mm<sup>2</sup> και 6mm<sup>2</sup> αντίστοιχα. Η μέγιστη θεοκρασία αγωγού κατά τη λειτουργία το καλοκαίρι μπορεί να φτάσει **70°C**. Για το λόγο αυτό είναι αναγκαίο να γίνει διόρθωση στις τιμές των ωμικών αντιστάσεων για τη θερμοκρασία λειτουργίας βάση του τύπου:

$$R_{70^{\circ}C} = R_{20^{\circ}C} \times \left[ 1 + a_{20^{\circ}C} \times (\theta_{\lambdaειτ} - 20) \right]$$

όπου **a<sub>20</sub>=0,00393** για αγωγούς χαλκού και **0,00403** για αγωγούς αλουμινίου. Σύμφωνα με την παραπάνω σχέση έχουμε:

Αντίσταση καλωδίου R στους 70oC (Ω/km)	
4mm <sup>2</sup>	6,09
6mm <sup>2</sup>	4,056

Η πτώση τάσης κατά μήκος του καλωδίου δίνεται από τη παρακάτω σχέση:

$$V_{Drop} = I_{MPP} \times R_{70^{\circ}C} (\Omega / km) \times L (km)$$

Η τάση του συστήματος μας η όποια είναι **Umpp=603.5V** και **Uoc=741V**

Διατομή	Πτώση τάσης (V)	% Πτώση τάσης
<b>4mm<sup>2</sup></b>	2,06V	0,29
<b>6mm<sup>2</sup></b>	1,37V	0,19

Από τα πιο πάνω αποτελέσματα φαίνεται ότι τις συνθήκες ικανοποιούν και οι δυο διατομές, επόμενος διαλέγουμε τη διατομή **6mm<sup>2</sup>** γιατί δεν έχει μεγάλη διάφορα στη τιμή και έχουμε πιο μικρές απώλειες.

Οι απώλειες ισχύος δίνονται από την παρακάτω σχέση. Με ισχύς μιας στοιχειοσειράς είναι 4080Wp και  $I_{MPP}=6,77A$ .

$$P_{loss} = I_{MPP}^2 \times R_{70^{\circ}C} (\Omega / km) \times L (km)$$

$$P_{loss\%} = \frac{P_{loss}}{P_{nom}} \times 100\%$$

Διατομή	Απώλειες (W)	% Απώλειες
<b>4mm<sup>2</sup></b>	14	0,35
<b>6mm<sup>2</sup></b>	9,3	0,23

#### 5.3.4 Μέγιστη επιτρεπόμενη διαρκής φόρτιση καλωδίου DC

Ο προσδιορισμός του μέγιστου επιτρεπόμενου ρεύματος σε εγκαταστάσεις καλωδίων Χαμηλής Τάσης γίνεται με τη βοήθεια του προτύπου HD 384.5.523. Στη συγκεκριμένη εγκατάσταση τα καλώδια DC οδεύουν εκτός εδάφους και στηρίζονται στο δομικό υλικό (αλουμίνιο) των συστοιχιών. Το μέγιστο επιτρεπόμενο ρεύμα δίνεται από τη σχέση:

$$I = I_0 \times f_{\theta} \times f_n$$

όπου  $I_0$  η επιτρεπόμενη συνεχής φόρτιση του καλωδίου στους 30°C,  $f_\theta$  ο συντελεστής θερμοκρασίας περιβάλλοντος για θερμοκρασίες διάφορες των 30°C και  $f_n$  ο συντελεστής πλήθους κυκλωμάτων ή αγωγών. Από το HD384.52-K1 και για θερμοκρασία 30°C, η επιτρεπόμενη συνεχής φόρτιση του καλωδίου για διατομή 6mm<sup>2</sup> είναι περίπου **54A**. Επιπλέον, στο σημείο όπου αυτά συγκεντρώνονται για να οδεύσουν στο δομικό υλικό έχουμε συνολικά 3 κυκλώματα με αντίστοιχο συντελεστή διόρθωσης που δίνεται από τον πίνακα HD384.52-E1 και είναι **0,7**. Τέλος, η θερμοκρασία που επικρατεί στο χώρο της Φ/Β εγκατάστασης τους θερινούς μήνες (δυσμενέστερη περίπτωση) είναι περίπου 40°C με αντίστοιχο συντελεστή μείωσης **0,91** για καλώδια με μόνωση από ελαστικό. Συγκεντρωτικά, το μέγιστο επιτρεπόμενο ρεύμα του καλωδίου είναι:

$$I = I_0 \times f_\theta \times f_n = 54 \times 0,91 \times 0,7 = 34,4A$$

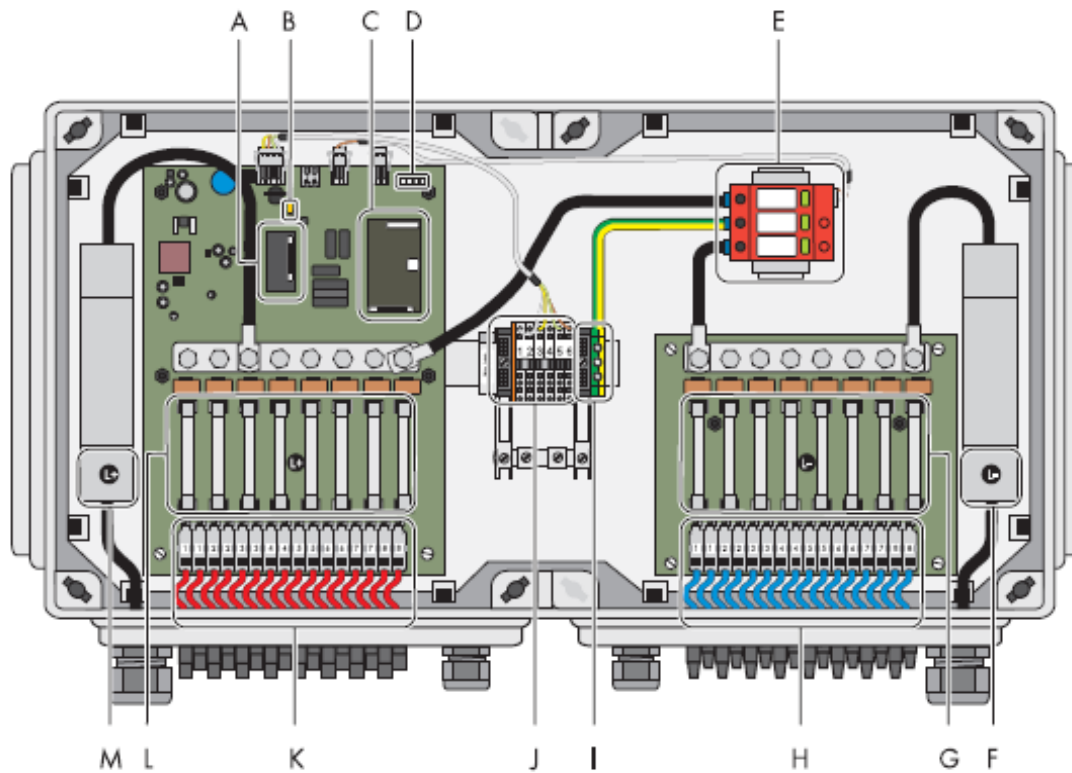
Το ρεύμα του  $I_{mprr}$  (6,77A) είναι μικρότερη για αυτό και η διατομή αυτή είναι η κατάλληλη.

#### 5.4 Περιγραφή διάταξης παραλληλισμού (Sunny String Monitor SSM)

Η διάταξη παραλληλισμού είναι στην πραγματικότητα ένας πίνακας στον οποίο παραλληλίζονται 7 στοιχειοσειρές. Επιπλέον, ο πίνακας αυτός φέρει διατάξεις προστασίας των Φ/Β πλαισίων και καλωδίων, απόζευξης από τον αντιστροφέα καθώς και προστασίας από υπερτάσεις. Τέλος, γίνεται παρακολούθηση των ρευμάτων των στοιχειοσειρών μέσω ηλεκτρονικού κυκλώματος.

Η παρακολούθηση των στοιχειοσειρών είναι δυνατή και από απόσταση αφού προβλέπεται σύστημα μεταφοράς δεδομένων μέσω του προτύπου RS485 και καλωδίου που θα οδεύει στα χαντάκια μαζί με τα κεντρικά καλώδια DC. Με τον τρόπο, εκτός από άμεση εποπτεία, εξασφαλίζεται και γρήγορη ανίχνευση βλαβών σε περίπτωση που υπάρχει δυσλειτουργία σε κάποιο από τα Φ/Β πλαίσια. Τα στοιχεία που έχει το Sunny String Monitor για την περίπτωση μας είναι:

- Μέγιστη επιτρεπτή τάση DC θα είναι 1000 V,
- Μέγιστο επιτρεπτό ρεύμα DC 130 A,
- Μέγιστο ρεύμα στοιχειοσειρών ανά κανάλι μέτρησης 16,25A,
- Ονομαστικό ρεύμα ασφάλειας στοιχειοσειράς 16A.



## Εξαρτήματα

- A Rigggy-Back επικοινωνίας
- B Βραχυκυκλωτήρας για επικοινωνία
- C Επεξεργασία δεδομένων Rigggy-Back
- D Λυχνίες LED για ένδειξη κατάστασης λειτουργίας
- E Απαγωγός υπέρτασης
- F Κύριο καλώδιο DC αρνητικού πόλου
- G Ασφάλειες DC
- H Συνδέσεις στοιχειοσειρών DC αρνητικού πόλου
- I Συνδετήρας γείωσης
- J Σύνδεση επικοινωνίας
- K Συνδέσεις στοιχειοσειρών DC θετικού πόλου
- L Ασφάλειες DC
- M Κύριο καλώδιο DC θετικού πόλου

## 5.5 Καλωδίωση των διατάξεων παραλληλισμού με τους πίνακες DC

Από την έξοδο της διάταξης παραλληλισμού οδηγούμαστε μέσω κατάλληλων καλωδίων DC, στους αντίστοιχους πίνακες DC. Ο τρόπος σύνδεσης φαίνεται στο "Μονογραμμικό σχέδιο". Τα καλώδια είναι τύπου RADOX® Solar cable single core, και θα οδεύουν μέσω χαντακιών έως τους πίνακες DC. Το συνολικό μήκος του καλωδίου που χρειάζεται φαίνεται στον ακόλουθο πίνακα:

Αποστάσεις καλωδίων μεταξύ των συσκευών παραλληλισμού (SSM) και των πινάκων DC			
SSM 1	30m	SSM8	30m
SSM 2	42m	SSM9	42m
SSM 3	49,5m	SSM10	49,5m
SSM 4	13m	SSM11	13m
SSM 5	36m	SSM12	36m
SSM 6	44m	SSM13	44m
SSM 7	51m	SSM14	51m
Συνολικό μήκος			531m

Για τον υπολογισμό της πτώσης τάσης και των απωλειών ισχύος χρησιμοποιούμε τη μεγαλύτερη απόσταση και προσδιορίζουμε την κατάλληλη διατομή του καλωδίου. Έχοντας 7 παράλληλες στοιχειοσειρές στο SSM, το ρεύμα που αναμένουμε είναι  $I_{mpp} = 7 \cdot I_{mpp} \approx 47,4A$ . Επιπλέον η τάση στα άκρα της διάταξης παραλληλισμού είναι  $V_{mpp} = 603,5V$  και  $V_{oc} = 741V$  ενώ η ισχύς  $28560W_p$ . Η πτώση τάσης και οι απώλειες ισχύος δίνονται από τις παρακάτω σχέσεις :

$$V_{Drop} = I'_{MPP} \times R_{70^{\circ}C} (\Omega / km) \times L (km)$$

$$V_{Drop\%} = \frac{V_{Drop}}{V_{nom}} \times 100\%$$

$$P_{loss} = I'^2_{MPP} \times R_{70^{\circ}C} (\Omega / km) \times L (km)$$

$$P_{loss\%} = \frac{P_{loss}}{P_{nom}} \times 100\%$$

Για διάφορες διατομές καλωδίων έχουμε τα ακόλουθα αποτελέσματα:

Πτώση τάσης και απώλειες ισχύος στο καλώδιο DC μεταξύ SSM&DC πίνακα					
Διατομή (mm <sup>2</sup> )	Αντίσταση στους 70°C (Ω/km)	Vdrop (V)	Vdrop (%)	Ploss (W)	Ploss (%)
25	0,95	4,5	0,75	215	0,75
35	0,67	3,2	0,53	150	0,52
50	0,48	2,28	0,38	108	0,38
70	0,335	1,58	0,26	75,2	0,26

Βλέπουμε ότι καλώδιο διατομής 25 mm<sup>2</sup> και 35mm<sup>2</sup> έχουν απώλειες ισχύος και πτώσης τάσης κάτω του 1%. Για να έχουμε όσο γίνεται μικρότερες απώλειες διαλέγουμε το 35mm<sup>2</sup>.

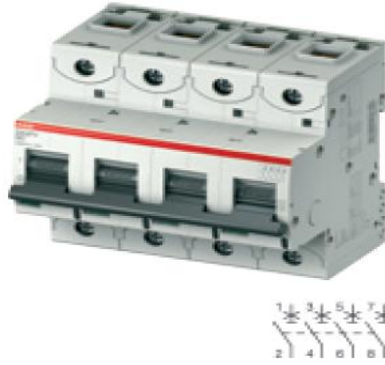
Για το μέγιστο επιτρεπόμενο ρεύμα, πρέπει να προσδιορίσουμε τους αντίστοιχους συντελεστές  $f\theta$ ,  $f_c$  και  $f_i$  του προτύπου HD384 για καλώδια που οδεύουν στο έδαφος. Το μέγιστο ρεύμα που θα διαρρέει τον κάθε αγωγό θα είναι  **$I_0=47.4A$** . Ο συντελεστής  $f_c$ , που εξαρτάται από την ειδική αγωγιμότητα του εδάφους έχει τιμή **1**. Ο συντελεστής  $f\theta$ , για θερμοκρασία εδάφους 25°C και για καλώδιο με μόνωση από ελαστικό, έχει τιμή **0,96**. Τέλος, ο συντελεστής  $f_i$  προσδιορίζεται για μέγιστο αριθμό κυκλωμάτων (5) του οδεύουν σε οχετούς μέσα στο έδαφος και σε 25cm απόσταση μεταξύ τους. Ο συντελεστής διόρθωσης είναι περίπου **0,8**. Άρα έχουμε:

$$\frac{47,4A}{1 \times 0,96 \times 0,8} \approx 62A$$

Για το συγκεκριμένο τύπο καλωδίου και διατομή 35mm<sup>2</sup> η επιτρεπόμενη συνεχής φόρτιση στο έδαφος είναι 146A, πολύ μεγαλύτερη των 62A.

## 5.6 Γενικοί πίνακες DC.

Στον πίνακα αυτόν καταλήγουν οι 7 παροχές καλώδιο DC Huber+Suhner single core 35mm<sup>2</sup> τα όποια έρχονται από τις διατάξεις παραλληλισμού. Με τη άφιξη των καλωδίων στον πίνακα DC, προστατεύονται διέκοπτες ισχύος κατάλληλους για DC κυκλώματα. Ο διακόπτης πρέπει να έχει χαρακτηριστικά τέτοια ώστε να αντέχει σε τάση μεγαλύτερη των **750V** και ονομαστικό ρεύμα μεγαλύτερο των **47,4A**. Ενδεικτικά προτείνεται ο μικροαυτόματος διακόπτης S802PV-S63 της εταιρείας ABB:



Χαρακτηριστικά μικροαυτόματου διακόπτη S804PV-S63	
Πρότυπα κατασκευής	IEC 60947-2
Αριθμός πόλων	4P
Ονομαστικό ρεύμα $I_n$	63A
Ταση λειτουργίας $U_e$	1200V DC

Μετά τους διακόπτες ισχύος γίνεται παραλληλισμός σε ένα κατάλληλο γενικό διακόπτη ισχύος, από τον οποίο θα αναχωρήσουν τα καλώδια για τις DC μπάρες σύνδεσης του αντιστροφέα. Ο διακόπτης αυτός πρέπει να είναι ονομαστικού ρεύματος τουλάχιστον **350A (47,4A • 7 SSM)** και ονομαστικής τάσης τουλάχιστον **1000V**. Ο διακόπτης φορτίου Tmax-PV T5D: Ζεύξη-απόζευξη υπό πλήρες φορτίο και τάση λειτουργίας έως 1.100 VDC με βασικά χαρακτηριστικά:



Χαρακτηριστικά διακόπτη φορτίου TmaxPV T5D	
Πρότυπα κατασκευής	IEC 60947-2, EN 60947-3
Αριθμός πόλων	4P
Ονομαστικό ρεύμα $I_n$	630A
Ταση λειτουργίας $U_e$	1100V DC

## 5.7 Καλωδίωση των πινάκων DC με τον αντιστροφέα.

Από την έξοδο των πινάκων DC θα οδεύουν μέσω χαντακιών τα κατάλληλα καλώδια προς τις μπάρες σύνδεσης DC κυκλωμάτων του αντιστροφέα (2 μπάρες χαλκού). Τα



καλώδια είναι τύπου Huber+Suhner single core, μονοπολικά με μόνωση από ελαστικό και θα οδεύουν στα χαντάκια. Το μήκος του καλωδίου που χρειάζεται είναι: DC1 → Inverter = 15m & DC2 → Inverter = 35m

Για τον υπολογισμό της πτώσης τάσης και των απωλειών ισχύος χρησιμοποιούμε τη μεγαλύτερη απόσταση και προσδιορίζουμε την κατάλληλη διατομή του καλωδίου. Έχοντας 7 παράλληλες συστοιχίες, το ρεύμα που αναμένουμε είναι  $I'_{mpp} = 7 \cdot I_{mpp} = 7 \cdot 47,4A = 331,8A$ . Ενώ η τάση θα είναι **603,5V** και η ισχύς **199920Wp**. Η πτώση τάσης και οι απώλειες ισχύος βρίσκονται όπως στη παράγραφο 5.5.

Πτώση τάσης και απώλειες ισχύος στο κεντρικό καλώδιο DC					
Διατομή (mm <sup>2</sup> )	Αντίσταση στους 70°C (Ω/km)	Vdrop (V)	Vdrop (%)	Ploss (W)	Ploss (%)
240	0,093	2,16	0,35	716,7	0,35
300	0,077	1,78	0,29	593,4	0,29

Επομένως, καλώδιο διατομής 240mm<sup>2</sup> έχει ως αποτέλεσμα οι απώλειες ισχύος και η πτώση τάσης να είναι κάτω του 1% προσθέτοντας και τις προηγούμενες απώλειες.

Για το μέγιστο επιτρεπόμενο ρεύμα, πρέπει να προσδιορίσουμε τους αντίστοιχους συντελεστές  $f_{\theta}$ ,  $f_c$  και  $f_i$  του προτύπου HD384 για καλώδια που οδεύουν στο έδαφος. Το μέγιστο ρεύμα που θα διαρρέει τον κάθε αγωγό θα είναι  **$I_o = 331,8A$** . Ο συντελεστής  $f_c$ , που εξαρτάται από την ειδική αγωγιμότητα του εδάφους έχει τιμή **1**. Ο συντελεστής  $f_{\theta}$ , για θερμοκρασία εδάφους 25°C και για καλώδιο με μόνωση από PVC, έχει τιμή **0,95**. Τέλος, ο συντελεστής  $f_i$  προσδιορίζεται για μέγιστο αριθμό κυκλωμάτων (5) του οδεύουν σε οχετούς μέσα στο έδαφος και σε 25cm απόσταση μεταξύ τους. Ο συντελεστής διόρθωσης είναι περίπου **0,8**. Άρα έχουμε:

$$\frac{331,8A}{1 \times 0,95 \times 0,8} = 436,5A$$

Άρα η διατομή 240mm<sup>2</sup> με 419A επιτρεπόμενη συνεχή φόρτιση στο έδαφος δεν μας κάνει. Επόμενος διαλέγουμε τη διατομή **300mm<sup>2</sup>** με επιτρεπόμενη συνεχή φόρτιση στο έδαφος **474A**, μεγαλύτερη των 436,5A.

Τέλος τα καλώδια αυτά θα συνδεθούν στις μπάρες εισόδου του αντιστροφέα οπού θα ακολουθήσουν οι προστασίες του αντιστροφέα στα κυκλώματα εισόδου.

Συγκεκριμένα προβλέπονται:

- Απαγωγέας υπερτάσεων για το ζευγάρι ράβδων εισόδου
- Επιτηρητής μόνωσης για το ζευγάρι ράβδων εισόδου
- Κεντρικός διακόπτης φορτίου εφοδιασμένος με μοτέρ για αυτόματο κλείσιμο

## 5.8 Διασύνδεση αντιστροφέα Sunny Central 400MV-11 με το δίκτυο μέσης τάσης.

Ο **Sunny Central** σταθμός των 400kW τροφοδοτεί απευθείας το δίκτυο μέσης τάσης 20KV γιατί είναι εξοπλιζόμενος με έναν κεντρικό μετατροπέα της νέας σειράς HE της SMA και ένα μετασχηματιστή μέσης τάσης, με αποτέλεσμα να έχουμε υψηλότερη απόδοση του φωτοβολταϊκού συστήματος ενώ παράλληλα μειώνεται το κόστος κτήσης του μετατροπέα. Για την εγκατάσταση σε εξωτερικό χώρο, ο Sunny Central MV παραδίδεται πλήρης συναρμολογημένος ως μονάδα σκυροδέματος.



Τα χαρακτηριστικά του σταθμού **Sunny Central MV** φαίνονται στο παρακάτω πίνακα:

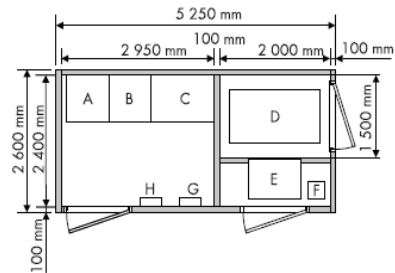
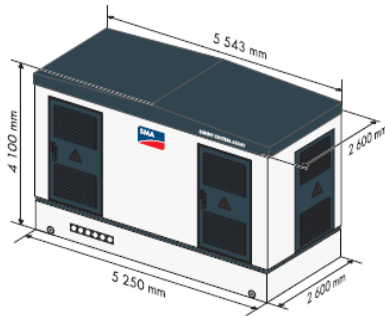
<b>Sunny Central 400MV</b>	
<b>Τιμές εισόδου</b>	
Ονομαστική ισχύς DC	408 kW
Εύρος τάσης σημείου μέγιστης ισχύος (MPP)	450 V – 820 V

Μέγιστη τάση DC	1000 V
Μέγιστο ρεύμα DC	993 A
Αριθμός εισόδων DC	(8 + 8) + 2 DCHV
<b>Τιμές εξόδου</b>	
Ονομαστική ισχύς AC @ 45 °C	400 kVA
Συνεχής ισχύς AC @ 25 °C	440 kVA
Ονομαστική τάση AC	20000 V
Ονομαστικό ρεύμα AC	11,55 A
Συχνότητα δικτύου AC	50 Hz
Συντελεστής ισχύος (cos φ)	1 ή (0,9 Υπερδιέγερση 0,9 με υποδιέγερση )
Μέγιστος συντελεστής παραμόρφωσης	< 3 %
<b>Κατανάλωση ισχύος</b>	
Ιδία κατανάλωση κατά τη λειτουργία	< 1500 W
Κατανάλωση σε κατάσταση αναμονής (μετατροπέας + μετασχηματιστής)	< 100 W + 720W
Εξωτερική τάση βοηθητικής τροφοδοσίας	3 x 230 V, 50/60 Hz
Εξωτερική εφεδρική ασφάλεια για βοηθητική τάση	B 20 A, 3 πόλων
<b>Διαστάσεις και βάρος</b>	
Ύψος	3600 mm
Πλάτος	5300 mm
Βάθος	2500 mm
Βάρος	30000 kg
<b>Βαθμός απόδοσης</b>	
Μέγιστος Βαθμός απόδοσης	97,50%
Euro-eta	97,10%
<b>Είδος προστασίας και περιβαλλοντικές συνθήκες</b>	
Είδος προστασίας (σύμφωνα με το πρότυπο IEC 60529)	IP54
Εύρος τιμών θερμοκρασίας λειτουργίας	20 °C ... +45 °C
Σχετική υγρασία ατμόσφαιρας	15 % ... 95 %
Απαιτούμενη ποσότητα καθαρού αέρα	6200 m <sup>3</sup> /h
Μέγιστο ύψος πάνω από τη στάθμη της θάλασσας (NN)	1000 m
<b>Εξοπλισμός</b>	
Οθόνη: Γραμμή κειμένου / Γραφικά	ναι/—
Επιτήρηση βραχυκυκλώματος προς τη γη	ναι
Θέρμανση	ναι
Διακόπτης απενεργοποίησης ανάγκης	ναι
Διακόπτης ισχύος πλευρά AC	Αποζεύκτης φορτίου Si
Διακόπτης ισχύος πλευρά DC	Αποζεύκτης φορτίου με κινητήρα

Επιτηρούμενος απαγωγός υπέρτασης AC / DC	ναι/ναι
Επιτηρούμενοι απαγωγείς υπέρτασης βοηθητικής τροφοδοσίας	ναι
<b>Διεπαφές SCC (Sunny CentralControl)</b>	
Επικοινωνία (NET Piggy Back, προαιρετικά)	Αναλογική, ISDN, Ethernet
Αναλογικές εισοδοί	5 x Ain 2)
Προστασία από υπέρταση για αναλογικές εισόδους	προαιρ.
Σύνδεση Sunny String Monitor (COM1)	RS485
Σύνδεση PC (COM3)	RS232
Εξωτερική επαφή ένδειξης σφάλματος	1
<b>Πιστοποιητικά / λίστες</b>	
Ηλεκτρομαγνητική συμβατότητα (EMV)	EN 61000-6-2, EN 61000-6-4
Πιστότητα CE	ναι
BDEW-MSRL / FGW / TR8 5)	ναι
RD 1633 / 2000	ναι
Arrêté du 23 / 04 / 08	ναι

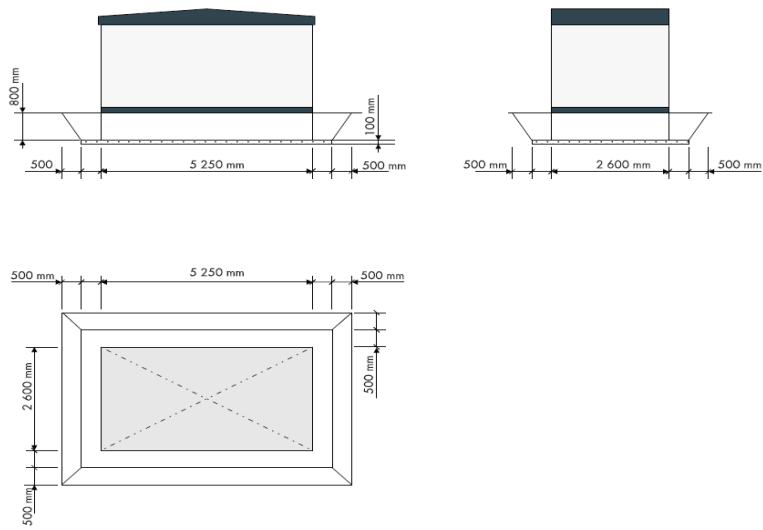
### Μηχανικά μεγέθη

#### Sunny Central 400MV/500MV/630MV με διάταξη ζεύξης μέσης τάσης

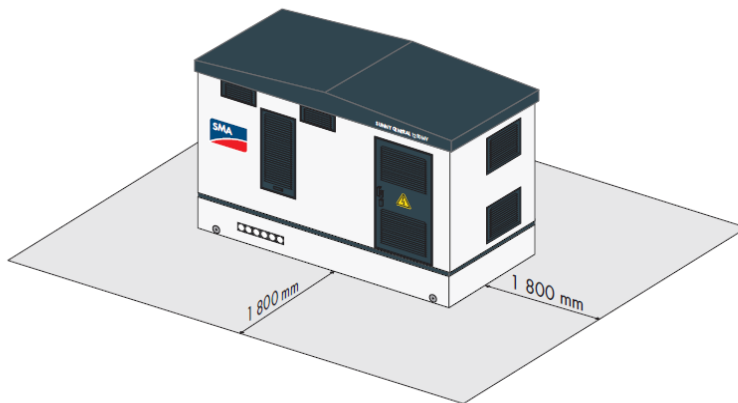


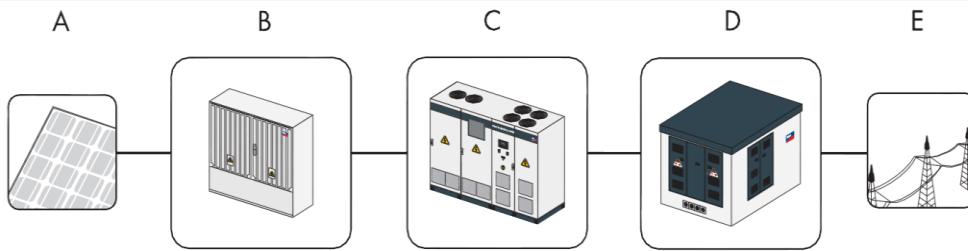
- |   |  |
|---|--|
| <p>A Sunny Central, πίνακας DC</p> <p>C Sunny Central, πίνακας AC</p> <p>E Διάταξη ζεύξης μέσης τάσης</p> <p>G COM-B, προαιρετικά</p> | <p>B Sunny Central, πίνακας WR</p> <p>D Μετασχηματιστής</p> <p>F Μετασχηματιστής ιδιοτροφοδοσίας, προαιρετικά</p> <p>H Υποκατανομή σταθμού</p> |
|---|--|

**Sunny Central 400MV/500MV/630MV με διάταξη ζεύξης μέσης τάσης**



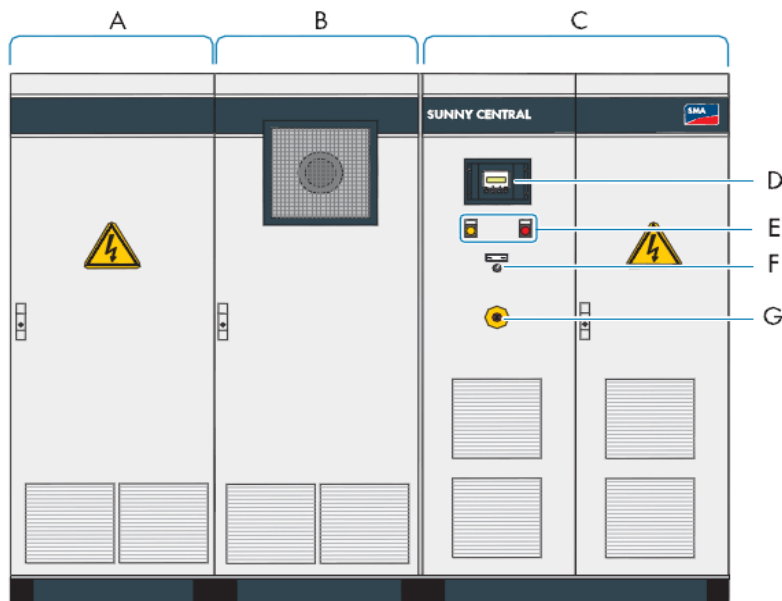
Σε όλες τις πλευρές πρέπει να τηρείται ελάχιστος ελεύθερος χώρος 1 800 mm. Πρέπει να τηρείται απόσταση ασφαλείας 5 000 mm από αντικείμενα που είναι εύφλεκτα ή που μπορεί να προκαλέσουν φωτιά.





Εικόνα 1: Αρχή λειτουργίας μιας φωτοβολταϊκής εγκατάστασης με Sunny Central συνδεδεμένης στο δίκτυο

Αντικείμενο	Περιγραφή
A	Φωτοβολταϊκές μονάδες
B	Sunny String-Monitor
C	Sunny Central
D	Μετασχηματιστής μέσης τάσης, π.χ. Transformer Compact Station
E	Δημόσιο ηλεκτρικό δίκτυο



Εικόνα 2: Sunny Central 400HE (παράδειγμα)

Θέση	Περιγραφή
A	Πίνακας DC
B	Πίνακας μετατροπέα
C	Πίνακας AC
D	Sunny Central Control
E	Φωτεινές ενδείξεις
F	Διακόπτης με κλειδί
G	Διακόπτης απενεργοποίησης έκτακτης ανάγκης με κλειδί

Στο τμήμα DC υπάρχουν τέσσερις ράβδοι για τη σύνδεση των DC κυκλωμάτων του αντιστροφέα 2 για τον θετικό και 2 για τον αρνητικό πόλο της γεννήτριας. Σε κάθε ράβδο υπάρχουν 4 θέσεις για 4 παράλληλα κυκλώματα.

Η έξοδος του αντιστροφέα είναι τριφασική στα 270V και για να συνδεθεί με το δίκτυο Μέσης Τάσης, πρέπει να μετασχηματιστεί στα 20kV με τη βοήθεια Μ/Σ 0,27/20kV ο οποίος βρίσκεται δεξιά του πίνακα AC σε ξεχωριστό δώμα (D).

Ο μετασχηματιστής και η διάταξη ζεύξης μέσης τάσης του SC 400MV, φέρουν τις απαραίτητες διατάξεις προστασίας, διακοπής – σύνδεσης τροφοδοσίας, ενημέρωσης.

## **Κεφάλαιο 6**

### Αντικεραυνική προστασία και γείωση Φ/Β πάρκου



## **6.1 Εισαγωγή**

Στο κεφάλαιο αυτό, θα γίνει αναφορά στη δομή του συστήματος γείωσης και αντικεραυνική προστασίας ενός Φ/Β σταθμού, στο σχεδιασμό και εγκατάσταση του ΣΑΠ, εξετάζοντας αναλυτικά τα μετρά για την προστασία της εγκατάστασης.

## 6.2 Γείωση Φ/Β σταθμού

Το δυναμικό της γης θεωρείται συμβατικά μηδέν. Έτσι, κάθε αγωγός που συνδέει κάποιο σημείο ενός κυκλώματος ή ένα μεταλλικό αντικείμενο με το έδαφος ονομάζεται γειωμένος και το σημείο ή το αντικείμενο αποκτούν το ίδιο δυναμικό με τη Γη. Η αγωγή συνδέση του σημείου ή του αντικειμένου με το έδαφος ονομάζεται γείωση και ο αγωγός που τοποθετείται μέσα στο έδαφος και στο επάνω μέρος του συνδέεται με τον γειωμένο αγωγό, λέγεται γειωτής.

Τα ΦΒ συστήματα πρέπει να γειώνονται για τους παρακάτω λόγους:

- Αποφυγή ζημιών που μπορεί να υποστεί ο ηλεκτρονικός εξοπλισμός λόγω κρουστικών υπερτάσεων, δηλαδή, λόγω απότομων αυξήσεων της απόλυτης τιμής του δυναμικού από μερικά Volts μέχρι χιλιάδες Volts των οποίων η διάρκεια κυμαίνεται από  $10^{-6}$  s έως  $10^{-3}$  s. Οι κρουστικές υπερτάσεις δημιουργούνται από κεραυνούς, αστραπές, χειρισμούς διακοπών, βραχυκυκλώματα κ.λπ.
- Ασφάλεια του προσωπικού συντήρησης από ηλεκτροπληξία λόγω διαρροής ρευμάτων.
- Διατήρηση του αρνητικού πόλου του συσσωρευτή σε όλο το μήκος της καλωδίωσης, σε δυναμικό μηδέν.

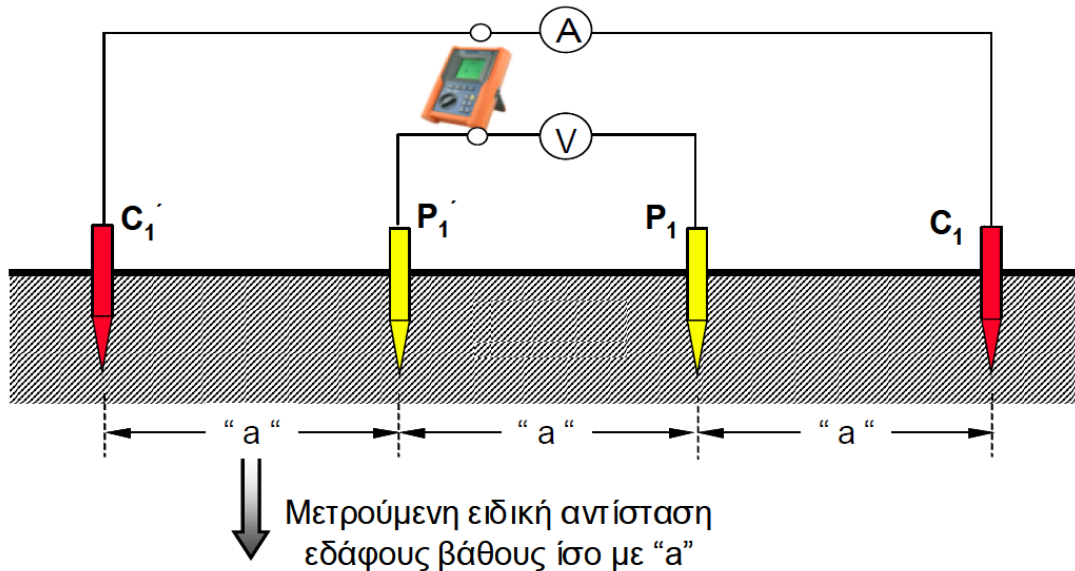
### 6.2.1 Προσδιορισμός ειδικής αντίστασης εδάφους

Αποτελεί αρχικό στάδιο μιας μελέτης γείωσης μιας και η γείωση εξαρτάται άμεσα από την ειδική αντίσταση του εδάφους το οποίο επηρεάζεται από τα εξής:

1. **Είδος του εδάφους:** Για παράδειγμα ελώδες έδαφος έχει πολύ μικρότερη αντίσταση σε σχέση με τον ξηρό βράχο.
  - Ελώδες υγρό έχει 5-40 ( $\Omega \cdot m$ )
  - Άργιλος πηλός έχει 20-200 ( $\Omega \cdot m$ )
  - Υγρή άμμος έχει 200-300 ( $\Omega \cdot m$ )
  - Υγρά χαλίκια έχει 300-600 ( $\Omega \cdot m$ )
  - Βράχος έχει 2000-3000 ( $\Omega \cdot m$ )
  -
2. **Υγρασία :** Η αντίσταση μειώνεται με την αύξηση της υγρασίας του εδάφους. Είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι το έδαφος παραμένει υγρό σε όλες τις εποχές του έτους και για βάθος μεγαλύτερο των 0,5m. Για τον λόγο αυτό οι αγωγοί γείωσης εντός των χαντακιών τοποθετούνται σε βάθος μεγαλύτερο ή ίσο με αυτό.

**3. Θερμοκρασία:** Η μεταβολή της αντίστασης του εδάφους με τη θερμοκρασία φτάνει το 30% κατά τη διάρκεια του έτους.

Για τη μέτρηση της ειδικής αντίστασης εδάφους χρησιμοποιείται η παρακάτω διάταξη:



**Σχήμα 6.1** Διάταξη μέτρησης ειδικής αντίστασης εδάφους

Στα ακριανά ηλεκτρόδια γίνεται έγχυση ρεύματος προς τη γη ενώ το δυναμικό μετριέται στα δύο εσωτερικά. Το πηλίκο  $V/I$  δίνει τη μέση αντίσταση  $R$  σε  $\Omega$ . Το βάθος έμπηξης δεν πρέπει να είναι μικρότερο του  $1/20$  της απόστασης  $a$  και παράλληλα δεν πρέπει να υπερβαίνει τα 30cm. Η ειδική αντίσταση του εδάφους δίνεται από τη γενική σχέση:

$$\rho = \frac{4 \times \pi \times \alpha \times R}{1 + \frac{2 \times \alpha}{\sqrt{\alpha^2 + 4 \times b^2}} - \frac{\alpha}{\sqrt{\alpha^2 + b^2}}}$$

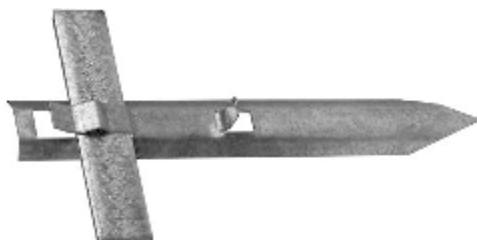
Μπορούμε να θεωρήσουμε  $b=0$  από τη στιγμή που  $b \ll a$  οπότε η παραπάνω σχέση γίνεται:

$$\rho = 2 \times \pi \times \alpha \times R$$

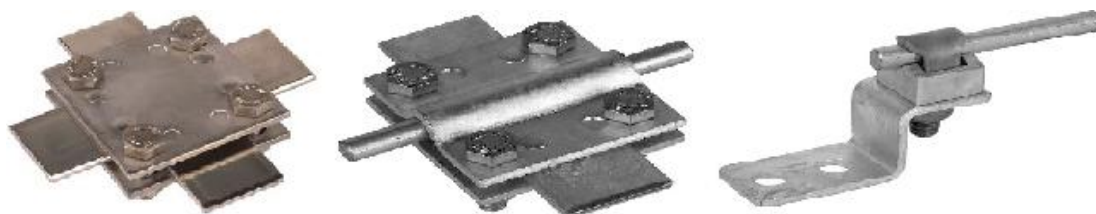
Οι μετρήσεις και τα αποτελέσματα που λαμβάνουμε ισχύουν μόνο για ομοιογενές υπέδαφος και για βάθος ίσο περίπου με  $\alpha$  από το κέντρο της διάταξης των ηλεκτροδίων. Οι μετρήσεις συχνά επαναλαμβάνονται για αποστάσεις πολλαπλάσιες του  $\alpha$  καθώς και για διαφορετικές διευθύνσεις στον χώρο του έργου έτσι ώστε να μπορέσει να κατασκευαστεί στη συνέχεια το μοντέλο της δομής του εδάφους πάνω στο οποίο θα τοποθετηθεί το ηλεκτρόδιο γείωσης.

### 6.3 Κατασκευή γείωσης στο Φ/Β πάρκο 400KW

Για την κατασκευή της γείωσης θα πρέπει να τοποθετηθεί ταινία 30x3,5mm St/tZn με πάχος γαλβανίσματος 70μm ( 500 gr/m<sup>2</sup> ) κατ ελάχιστον σύμφωνα με το διεθνές – εναρμονισμένο κοινοτικό πρότυπο IEC (EN) 62305 – 3 , σε βάθος τουλάχιστον 0,5 μέτρου από το έδαφος και σε διάταξη πλέγματος 20m x 20m περίπου κάτω από το χώρο που θα καταλάβουν οι βάσεις. Η ταινία θα στηριχθεί, δε, με ορθοστάτες στήριξης ανά 2 μέτρα επί του εδάφους.



Οι συνδέσεις των ταινιών μεταξύ τους θα υλοποιηθούν με συνδέσμους ταινίας / ταινίας St/tZn. Στην ταινία θα συνδεθούν με συνδέσμους ταινίας / αγωγού St/tZn οι αγωγοί που θα χρησιμοποιηθούν για την σύνδεση των βάσεων αλλά και των ακίδων στην εδαφική γείωση της εγκατάστασης.



Οι αγωγοί θα είναι Φ8 από St/tZn. Οι συνδέσεις των βάσεων με τον αγωγό θα υλοποιηθούν με τη χρήση συνδέσμου μεταλλικής επιφάνειας τύπου (S) St/tZn με μονό σφικτήρα 7-10mm . Στα σημεία όπου οι αγωγοί ισοδυναμικής σύνδεσης και γείωσης των ακίδων εξέρχονται του εδάφους πρέπει να καλυφθούν (30cm επί του εδάφους και 30cm επί του αέρα) από την ειδική αντιδιαβρωτική ταινία.

Επιπλέον θα δημιουργηθεί τρίγωνο γείωσης δίπλα από το σημείο σύνδεσης με την ΔΕΗ με τρία ηλεκτρόδια Φ14x1500 Cu και τρεις σφικτήρες Φ16/30 St/St (V4A) που θα συνδεθεί άμεσα με το υπόλοιπο σύστημα γείωσης. Τέλος έχουν υπολογιστεί ισοδυναμικοί ζυγοί για τις απαραίτητες ισοδυναμικές συνδέσεις τόσο στον οικίσκο όσο και στο pillar του μετρητή της ΔΕΗ.

Για την γείωση του Υ/Σ θα χρησιμοποιηθεί ταινία 30x3,5mm St/tZn η οποία θα τρέξει περιμετρικά των κτηρίων εντός σκάμματος και από την οποία θα κατασκευαστούν αναμονές προς τον εσωτερικό χώρο. Οι αναμονές θα είναι από ταινία St/tZn και θα συνδεθούν στην χάλκινη ταινία η οποία θα δημιουργεί εσωτερικό δακτύλιο στον χώρο του Μ/Σ. Οι συνδέσεις των ταινιών θα πραγματοποιηθούν με κατάλληλους συνδέσμους ταινίας / ταινίας γαλβανισμένους ή ανοξειδωτους ανάλογα με το υλικό το οποίο θα συνδέσουν.

#### **6.4 Αντικεραυνική προστασία**

Αντικεραυνική προστασία είναι το σύνολο των μέτρων που λαμβάνονται για την προστασία σε περίπτωση πτώσης κεραυνού. Μια ηλεκτρική εκκένωση μπορεί να πλήξει μια εγκατάσταση από οποιαδήποτε κατεύθυνση. Μπορεί έτσι να έχουμε άμεση δράση, δηλαδή πλήγμα πάνω σε μια συσκευή, ή έμμεση, δηλαδή να δημιουργηθούν υπερτάσεις στα ηλεκτρικά κυκλώματα και να διασπαστούν τα μονωτικά υλικά τους.

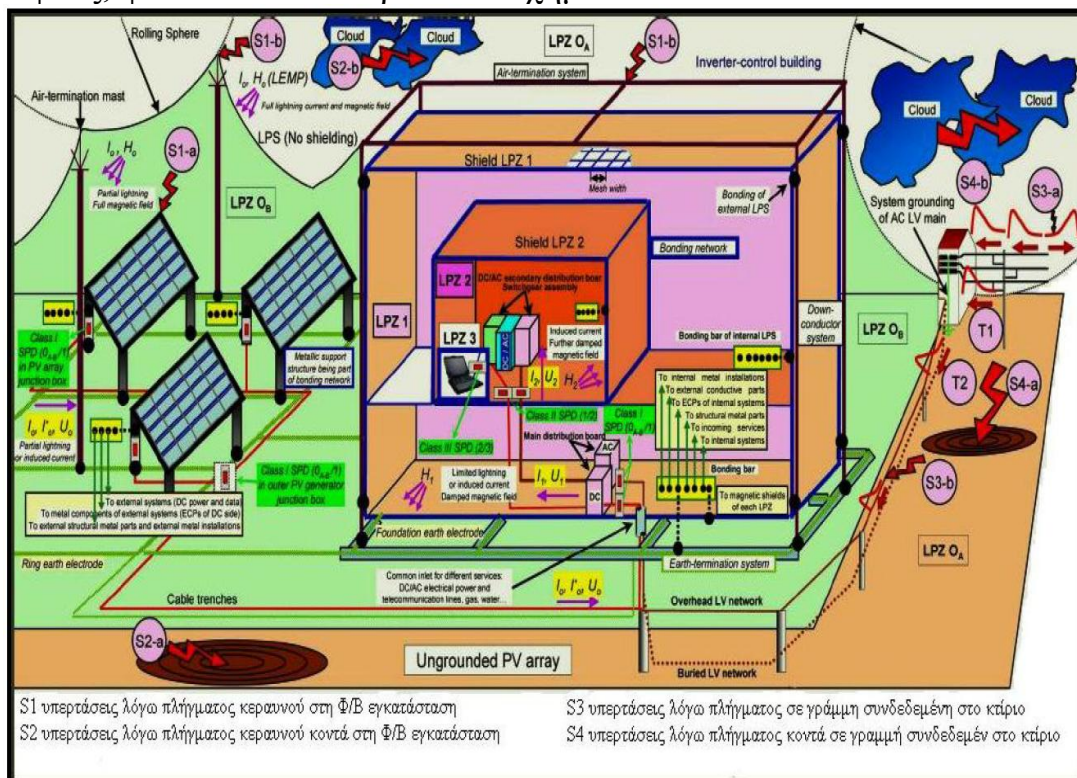
Η αντικεραυνική προστασία μιας Φ/Β εγκατάστασης βασίζεται στην γενική αρχή του διαχωρίζου της σε ζώνες αντικεραυνικής προστασίας.

Οι Ζώνες Αντικεραυνικής Προστασίας (ΖΑΠ) είναι περιοχές εκτός και εντός της κατασκευής που χρίζει προστασίας όπου οι αναμενόμενες ηλεκτρομαγνητικές επιδράσεις του κεραυνού είναι καθορισμένες σε σχέση με την επικινδυνότητά τους, και επομένως μπορούν να περιοριστούν. Οι ΖΑΠ οριοθετούνται από σημαντικές αλλαγές των ηλεκτρομαγνητικών συνθηκών αποτελώντας περιοχές αυξανόμενης απαίτησης ηλεκτρομαγνητικής προστασίας βαίνοντας από την εξωτερική περιοχή της κατασκευής, όπου υπάρχει κίνδυνος άμεσου πλήγματος, προς το εσωτερικό της όπου

πρέπει να εξασφαλίζεται η ηλεκτρομαγνητική ατρωσία των συσκευών. Κατά την προστασία της κατασκευής οριοθετούνται οι παρακάτω ΖΑΠ:

- ΖΑΠ  $0_\alpha$ : Ζώνη που περιέχει στοιχεία της κατασκευής εκτεθειμένα σε άμεσο κεραυνικό πλήγμα, οι ηλεκτρομαγνητικές επιδράσεις του κεραυνού είναι μη περιορισμένες
- ΖΑΠ  $0_\beta$ : Ζώνη που περιέχει στοιχεία της κατασκευής μη εκτεθειμένα σε άμεσο κεραυνικό πλήγμα, οι ηλεκτρομαγνητικές επιδράσεις του κεραυνού είναι μη περιορισμένες
- ΖΑΠ  $0_\gamma$ : Ζώνη που περιέχει στοιχεία της κατασκευής μη εκτεθειμένα σε άμεσο κεραυνικό πλήγμα και όπου το τμήμα του ρευματος του κεραυνού που μπορεί να τα διαρρεύσει είναι περιορισμένο σε σχέση με τη ΖΑΠ  $0_\beta$ . Στη ζώνη αυτή οι ηλεκτρομαγνητικές επιδράσεις του κεραυνού μπορούν να περιοριστούν ανάλογα με τα μέτρα θωράκισης που λαμβάνονται.
- Ακόλουθες ζώνες (ΖΑΠ 2,1 ..): Ζώνες όπου απαιτείται περαιτέρω μείωση του τμήματος του ρεύματος του κεραυνού καθώς και περαιτέρω εξασθένηση του ηλεκτρομαγνητικού πεδίου σε σχέση με την αμέσως προηγούμενη ΖΑΠ.

Πιο συγκεκριμένα για την περίπτωση των φωτοβολταϊκών εγκαταστάσεων ο διαχωρισμός τους σε ΣΑΠ καθώς επίσης και οι ισοδυναμικές συνδέσεις στα όρια των ζωνών αυτών και η θωράκιση, τα οποία παρουσιάζονται αναλυτικά σε επόμενες παραγράφους, φαίνονται στο παρακάτω σχήμα:



Σχήμα 6.10 Χωρισμός του Φ/Β σταθμού σε ζώνες ΣΑΠ

Τα πρότυπα περιγραφής ενός Συστήματος Αντικεραυνικής Προστασίας χωρίζονται σε δύο κατηγορίες:

#### **6.4.1. Πρότυπα Συστήματος Αντικεραυνικής Προστασίας**

##### **1.1 Εξωτερικό ΣΑΠ**

- Ευρωπαϊκό Πρότυπο ΕΛΟΤ EN **62305-3 : 2006**, “Protection against lightning. Physical damage to structures and life hazard”.
- Ελληνικό Πρότυπο ΕΛΟΤ **1412**, “ Προστασία κατασκευών από κεραυνούς Οδηγία Α : Εκτίμηση κινδύνου κεραυνοπληξίας και επιλογή επιπέδου προστασίας του ΣΑΠ. Στην συγκεκριμένη περίπτωση με βάση τα στοιχεία που μας δώσατε, το επίπεδο προστασίας εκτιμήθηκε σε στάθμη **I**, όπως προκύπτει από την εκτίμηση κεραυνοπληξίας.

##### **1.2 Εσωτερικό ΣΑΠ**

- Διεθνές Πρότυπο **IEC 61312–1**, “*Protection against Lightning Electromagnetic Impulse (LEMP)*”.
- Διεθνές Πρότυπο **IEC 664**, “*Insulation coordination for equipment within lowvoltage systems*”.
- Διεθνές Πρότυπο **IEC 60364–4–443**, “*Electrical installations of buildings, Part 4: Protection for safety, Chapter 44: Protection against overvoltages, Section 443: Protection against overvoltages of atmospheric origin due to switching*”.
- Διεθνές Πρότυπο **IEC 61643 – 12**, “*Low voltage surge protective devices – Part 12: SPDs connected to low voltage power distribution systems – Selection and application principles*”.

## **2. Υλικών**

### **2.1 Υλικά Εξωτερικής Αντικεραυνικής Προστασίας**

Τα προϊόντα που θα χρησιμοποιηθούν έχουν υποστεί με επιτυχία τσεργαστηριακές δοκιμές όπως προβλέπονται από τα κάτωθι πρότυπα :

- Ευρωπαϊκό Πρότυπο ΕΛΟΤ **EN 50164 – 1**, “*Lightning Protection Components (LPC), Part 1 : Requirements for connection components*”.

- Ευρωπαϊκό Πρότυπο ΕΛΟΤ **EN 50164 – 2**, “*Lightning Protection*

*Components (LPC), Part 2 : Requirements for conductors, and earth electrodes”*.

Τα ανωτέρω πρότυπα έχουν αντικαταστήσει τα αντίστοιχα εθνικά πρότυπα όπως: DIN (Γερμανίας), BS (Βρετανίας) κλπ

## 2.2 Απαγωγοί Κρουστικών Υπερτάσεων

- Ευρωπαϊκό Πρότυπο **EN 61643 – 11**, “*Low voltage surge protective devices – Part 11: SPDs connected to low voltage power distribution systems – Performance requirements and testing methods”*”.

- Ευρωπαϊκό Πρότυπο **EN 61643 – 21**, “*Low voltage surge protective devices – Part 22: SPDs connected to telecommunication and signaling networks – Performance requirements and testing methods”*”.

## 6.5 Αντικεραυνική προστασία στο Φ/Β πάρκο 400KW

Η μελέτη αντικεραυνικής προστασίας που ακολουθεί έγινε σύμφωνα με το πρότυπο IEC (EN) 62305-2 με την χρήση ειδικού λογισμικού πακέτου της DEHN το οποίο εξασφαλίζει και την αρτιότητα της.

Σύμφωνα με τα δεδομένα της εγκατάστασης τα οποία μας αποστείλατε καθώς και με τα γεωγραφικά χαρακτηριστικά της περιοχής (ισοκεραυνικός χάρτης Ελλάδος) από την χρήση του λογισμικού πακέτου της DEHN προέκυψαν τα εξής :

### Ανάλυση Ρίσκου σύμφωνα με το πρότυπο EN62305-2

#### A. Χωρίς Αντικεραυνική Προστασία

- Πιθανότητα κεραυνικού πλήγματος (Nd) : 0,017813 = 1,781% (δηλαδή ένα άμεσο κεραυνικό πλήγμα ανά 56 έτη)
- Risk R1 (Loss of human life) :  $1,66 \times 10^{-5}$  > max. αποδεκτή τιμή  $10^{-5}$  (Tolerable Risk)
- Risk R2 (Loss of service ) :  $2,47 \times 10^{-3}$  > max. αποδεκτή τιμή  $10^{-3}$  (Tolerable Risk)

#### B. Με την προστασία στάθμης IV. (Η οποία αναγράφεται στην προσφορά).

- Risk R1 (Loss of human life) :  $9,75 \times 10^{-7}$  < max. αποδεκτή τιμή  $10^{-5}$  (Tolerable Risk)



- Risk R2 (Loss of service) :  $2,06 \times 10^{-4} < \text{max. αποδεκτή τιμή } 10^{-3}$  (Tolerable Risk)

DEHNsupport Toolbox 11/39 (2.044) > AIGIO AXAIAS 400 KW > PV Plant without LPS

Type: PV Plant without LPS

Thunderstorm days per year: Td = 25 Days  
Ground flash density: Ng = 2.50 per km<sup>2</sup> / year

Relative position: Isolated object: no further objects in the vicinity Cdb = 1.00

Risk Evaluation Summary:

Risk	Human life	Service to the public	Cultural heritage
R1	165 %	248 %	0 %
R2	1.66E-05	2.47E-03	0.00E00
R3	1E-5	0.001	0.001

DEHNsupport Toolbox 11/39 (2.044) > AIGIO AXAIAS 400 KW > Copy of PV Plant with LPS IV

Type: Copy of PV Plant with LPS IV

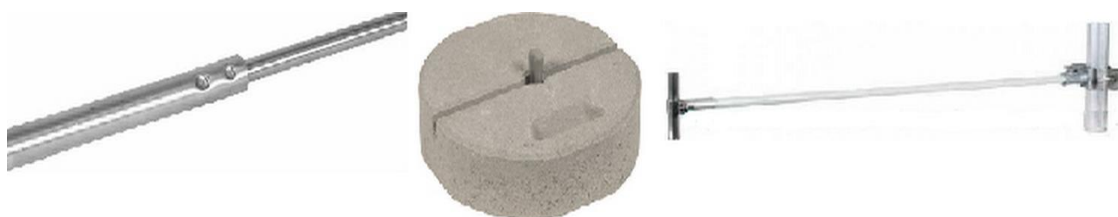
Thunderstorm days per year: Td = 25 Days  
Ground flash density: Ng = 2.50 per km<sup>2</sup> / year

Relative position: Isolated object: no further objects in the vicinity Cdb = 1.00

Risk Evaluation Summary:

Risk	Human life	Service to the public	Cultural heritage
R1	9 %	20 %	0 %
R2	9.75E-07	2.06E-04	0.00E00
R3	1E-5	0.001	0.001

Για την αντικεραυνική προστασία της εγκατάστασης θα τοποθετηθεί το απομονωμένο σύστημα αντικεραυνικής προστασίας το οποίο αποτελείτε από ακίδες Φ16/Φ10x3000 mm AlMgSi, οι οποίες θα τοποθετηθούν επί τσιμεντένιας βάσης 17kg και θα συγκρατηθούν με τις βάσεις των κυψελών με τη χρήση μονωμένων στηριγμάτων . Οι ακίδες θα συνδεθούν με τους αγωγούς Φ8 με τη χρήση συνδέσμων Φ16/Φ8 St/tZn.



Για την αντικεραυνική προστασία του Υ/Σ θα τοποθετηθούν ακίδες Φ16/Φ10x1500mm οι οποίες θα συνδεθούν σε αγωγό ο οποίος θα σχηματίζει κλωβό επί του οικίσκου και θα γειώνεται απ ευθείας στην γείωση της εγκατάστασης με την χρήση των κατάλληλων υλικών σύνδεσης.

Οι σφικτήρες για τις συνδέσεις μεταξύ των υλικών γείωσης και των υπολοίπων αγωγών επιλεχτήκαν να γίνουν με συνδέσμους που διαθέτουν κοχλίες και βίδες πιστοποιημένης ικανότητας απαγωγής 100kA 10/350μsec.

## **6.6 Προστασία των ηλεκτρικών και ηλεκτρονικών συσκευών από κρουστικές υπερτάσεις στο Φ/Β πάρκο 400KW**

### ***A. Προστασία όλης της εγκατάστασης από άμεσα και έμμεσα κεραυνικά πλήγματα στο εναλλασσόμενο ρεύμα.***

Για την προστασία του γενικού πίνακα του πάρκου (μετά την είσοδο της ΔΕΗ και τον ασφαλειοδιακόπτη) είναι απαραίτητη η τοποθέτηση μιας διάταξης DEHN Shield DSH TT 255, 4 πόλοι, παράλληλα από τις τρεις φάσεις και τον ουδέτερο έναντι γείωσης. Η διάταξη απάγει άμεσα και έμμεσα κεραυνικά πλήγματα από το δίκτυο του εναλλασσόμενου ρεύματος μέχρι 50kA κυματομορφής 10/350μsec αφήνοντας παραμένουσα τάση  $\leq 1,5kV$

***B. Προστασία των (3Φ) inverters από έμμεσα κεραυνικά πλήγματα στο εναλλασσόμενο ρεύμα (περίπτωση με SMA STP 17000TL-10) .***

Για την προστασία των εξόδων AC των 3Φ inverter απαιτείται η τοποθέτηση μιας διάταξης DEHN Guard M TT 275, 4 πόλοι, παράλληλα από τις φάσεις και τον ουδέτερο έναντι γείωσης . Η διάταξη απάγει έμμεσα κεραυνικά πλήγματα από το δίκτυο του εναλλασσόμενου ρεύματος μέχρι 40kA κυματομορφής 8/20μsec αφήνοντας παραμένουσα τάση  $\leq 1,25kV$ . Η διάταξη φέρει τα σήματα ποιότητας των ανεξάρτητων εργαστηρίων KEMA, VDE, UL, VdS περί ελέγχου της διάταξης σύμφωνα με τα πρότυπα και τα αναφερόμενα από τον κατασκευαστή τεχνικά χαρακτηριστικά.



***Γ. Προστασία των inverters από έμμεσα κεραυνικά πλήγματα στο συνεχές ρεύμα (περίπτωση με SMA STP 17000TL-10) και σε κάθε Sunny String Monitor (περίπτωση με SMA SC 400MV) .***

Για την προστασία των εισόδων των inverter απαιτείται η τοποθέτηση στην είσοδο DC κάθε inverter μιας διπολικής διάταξης DEHN Guard DG M YPV SCI 1000V & DEHN Guard DG M YPV SCI 600V παράλληλα από το θετικό και τον αρνητικό πόλο έναντι γείωσης. Η διάταξη απάγει έμμεσα κεραυνικά πλήγματα από το δίκτυο του συνεχούς ρεύματος μέχρι 40kA κυματομορφής 8/20μsec αφήνοντας παραμένουσα τάση  $\leq 3,5kV$  και φέρει ολοκληρωμένο σύστημα ασφαλείας από βραχυκυκλώματα (ασφάλεια τήξεως και νέα διάταξη απόζευξης). Η διάταξη είναι η μοναδική παγκοσμίως που φέρει τα σήματα ποιότητας του ανεξάρτητου εργαστηρίου UL περί ελέγχου της διάταξης σύμφωνα με τα αναφερόμενα από τον κατασκευαστή τεχνικά χαρακτηριστικά.



***Δ. Προστασία των κυκλωμάτων επικοινωνίας των inverters (RS485) από έμμεσα κεραυνικά πλήγματα στο συνεχές ρεύμα.***

Για την προστασία της διάταξης επικοινωνίας RS 485 των inverter θα τοποθετηθεί απαγωγός υπερτάσεως DEHN DCO RK MD HF 5V. Η διάταξη προστατεύει μια δισύρματη γραμμή και απάγει έμμεσα κεραυνικά πλήγματα μέχρι 10kA κυματομορφής 8/20μsec αφήνοντας παραμένουσα τάση  $\leq 27V$ . Η διάταξη αυτή έχει συχνότητα αποκοπής 250 MHz (κατάλληλη και για High Frequency) και φέρει τα σήματα ποιότητας των ανεξάρτητων εργαστηρίων GOST περί ελέγχου της διάταξης σύμφωνα με τα πρότυπα και τα αναφερόμενα από τον κατασκευαστή τεχνικά χαρακτηριστικά.

***Ε. Προστασία απλής δισύρματης τηλεφωνικής γραμμής από άμεσα και έμμεσα κεραυνικά πλήγματα στο συνεχές ρεύμα.***

Για την προστασία απλής τηλεφωνικής γραμμής θα τοποθετηθεί απαγωγός υπερτάσεως DEHN BXT ML2 BD 180. Η διάταξη προστατεύει μια δισύρματη γραμμή και απάγει άμεσα και έμμεσα κεραυνικά πλήγματα μέχρι 5 kA κυματομορφής 10/350 μsec αφήνοντας παραμένουσα τάση  $\leq 270V$ . Η διάταξη φέρει τα σήματα ποιότητας των ανεξάρτητων εργαστηρίων CSA, GOST περί ελέγχου της διάταξης σύμφωνα με τα πρότυπα και τα αναφερόμενα από τον κατασκευαστή τεχνικά χαρακτηριστικά.

# **Κεφάλαιο 7**

## **Σύστημα επιτήρησης Φ/Β σταθμού**

## 7.1 Εισαγωγή

Οι Φ/Β σταθμοί έχουν τη δυνατότητα διαχείρισης και παρακολούθησης από απόσταση. Αυτό επιτυγχάνεται με ένα σύνολο αισθητήρων που τοποθετούνται στα επιμέρους συστήματα του σταθμού, δηλ. αισθητήρες έντασης ηλιακής ακτινοβολίας, αισθητήρες εξωτερικής θερμοκρασίας και θερμοκρασίας λειτουργίας των Φ/Β γεννητριών, μετρητές στιγμιαίας ισχύος και ενέργειας στην έξοδο των Φ/Β και του αντιστροφέα κλπ. Το σύστημα αδιάλειπτης καταγραφής της παραμέτρων λειτουργίας του συστήματος θα είναι συμβατό με την τεχνολογία του αντιστροφέα. Το σύστημα επιτήρησης θα μπορεί να καταγράφει και να αποθηκεύει τα δεδομένα έτσι ώστε να επιτρέπει τη συνεχή ανάλυση της απόδοσης του Φ/Β σταθμού.

Εγκαθίστανται απευθείας στα Φ/Β πλαίσια και μετρούν την πρόσπτωση της ηλιακής ακτινοβολίας καθώς και τη θερμοκρασία του πλαισίου. Πραγματοποιούν μια συνεχή σύγκριση κανονικών/θεωρητικών τιμών της ισχύος της εγκατάστασης. Με αυτόν τον τρόπο διασφαλίζεται η εύκολη ανίχνευση σκιών, ακαθαρσιών ή μιας παρατεταμένης μείωσης ισχύος στο Φ/β πλαίσιο. Οι πρόσθετες συνδέσεις των αισθητήρων για βέλτιστη μέτρηση της θερμοκρασίας περιβάλλοντος ή της ταχύτητας του ανέμου επιτρέπουν ακόμα πιο ακριβείς υπολογισμούς.

Το σύστημα επιτήρησης παρέχει την δυνατότητα παρακολούθησης της απόδοσης και της παραγωγής του συστήματός καθώς και όλων των παραμέτρων μέτρησης των αισθητήρων οποιαδήποτε στιγμή και από οπουδήποτε μέσω internet, εφόσον υπάρχει αυτή η δυνατότητα.

Ένα τέτοιο σύστημα μπορεί να προσφέρει:

- Αυτονομία στη λειτουργία του σταθμού – ελάχιστη παρέμβαση από τον χρήστη
- Αναγνώριση των καταστάσεων συναγερμού και των πιθανών προβλημάτων λειτουργίας
- Περιοδική εκτέλεση διαδικασιών ελέγχου του εξοπλισμού της Φ/Β εγκατάστασης
- Παρακολούθηση, αποθήκευση και διαχείριση τεχνικών παραμέτρων και αυτόματη δημιουργία αναφορών για την εγκατάσταση
- Σύστημα ασφαλείας Το σύστημα αποτελείται από δύο κύρια μέρη:

- **Υποσύστημα ελέγχου Φ/Β εγκατάστασης:** Περιλαμβάνει τους ελεγκτές και τους αισθητήρες για τη λήψη και τη διαχείριση σημάτων των εποπτευόμενων συσκευών.
- **Κέντρο ελέγχου:** Αποτελείται από κατάλληλο εξοπλισμό και λογισμικό για τη διαχείριση των ληφθέντων σημάτων. Τέλος, οι απεικόνιση των παραμέτρων γίνεται μέσω λογισμικού portal. Οι υπεύθυνοι του σταθμού έχουν πρόσβαση σε αυτό μέσω του διαδικτύου.

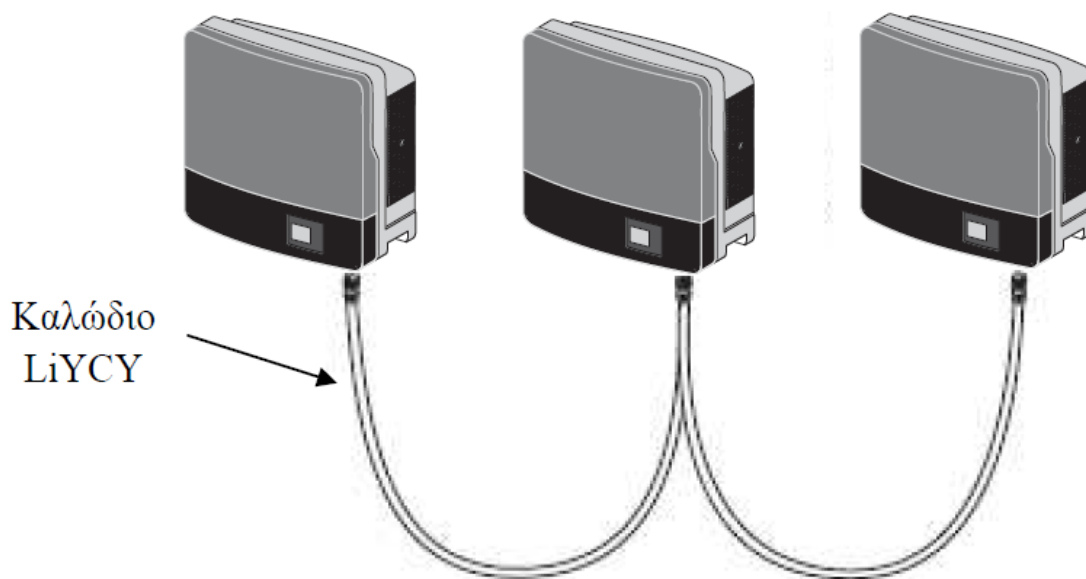
## 7.2 Περιγραφή της εγκατάστασης για Φ/Β σταθμό με τριφασικούς αντιστροφείς SMA STP 1700TL.

Στον οικίσκο τοποθετείτε ο ελεγκτής για το έλεγχο των σημάτων (SMA Sunny WebBox)

Το πρωτόκολλο διασύνδεσης των αντιστροφέων είναι RS485. Υποστηρίζει τη διασύνδεση μέχρι και 50 αντιστροφέων σε σειρά πριν το καλώδιο LiYCY καταλήξει στον ελεγκτή. Στην παρούσα εφαρμογή υπάρχει η δυνατότητα να διασυνδεθούν όλοι οι αντιστροφείς με ένα καλώδιο. Παρόλα αυτά, και για να εξασφαλιστεί γρήγορη ταχύτητα μεταφοράς δεδομένων, οι αντιστροφείς χωρίζονται σε δύο ομάδες.

Ομάδα 1 (inverter 1 έως 12)

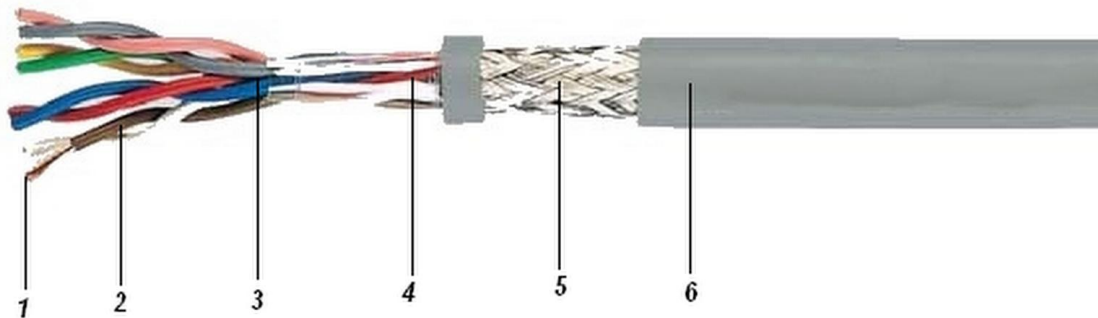
Ομάδα 2 (Inverter 13 έως 23)



**Σχήμα 8.1** Σειριακή σύνδεση αντιστροφέων

Το καλώδιο LiYCY αποτελείται από δύο ζεύγη συνεστραμμένων αγωγών, ένα για την αποστολή και ένα για τη λήψη δεδομένων. Στην είσοδο και την έξοδο ομάδας αντιστροφών τοποθετείται αντικεραυνικό για προστασία από υπερτάσεις.

Στο τέλος των ομάδων πρέπει να προσεχθεί ώστε να τερματιστεί ηλεκτρικά ο τελευταίος αντιστροφέας και έτσι και όλη η γραμμή τηλεπικοινωνιών.



**Σχήμα 7.2** Εύκαμπτο καλώδια LiYCY: 1. Χάλκινος πολύκλωνος αγωγός, 2. Μόνωση PVC, 3. Καλωδιακός πυρήνας αγωγών ή ζευγών, 4. Συνθετική ταινία κάλυψης, 5. Θωράκιση πλέγματος επικασσιτερωμένων χάλκινων συρμάτων, 6. ΜανδύαςPVC, προδιαγραφές VDE 0812, VDE 0815

Το μήκος του απαιτούμενου καλωδίου LiYCY για τη σύνδεση των inverter είναι περίπου 1050m

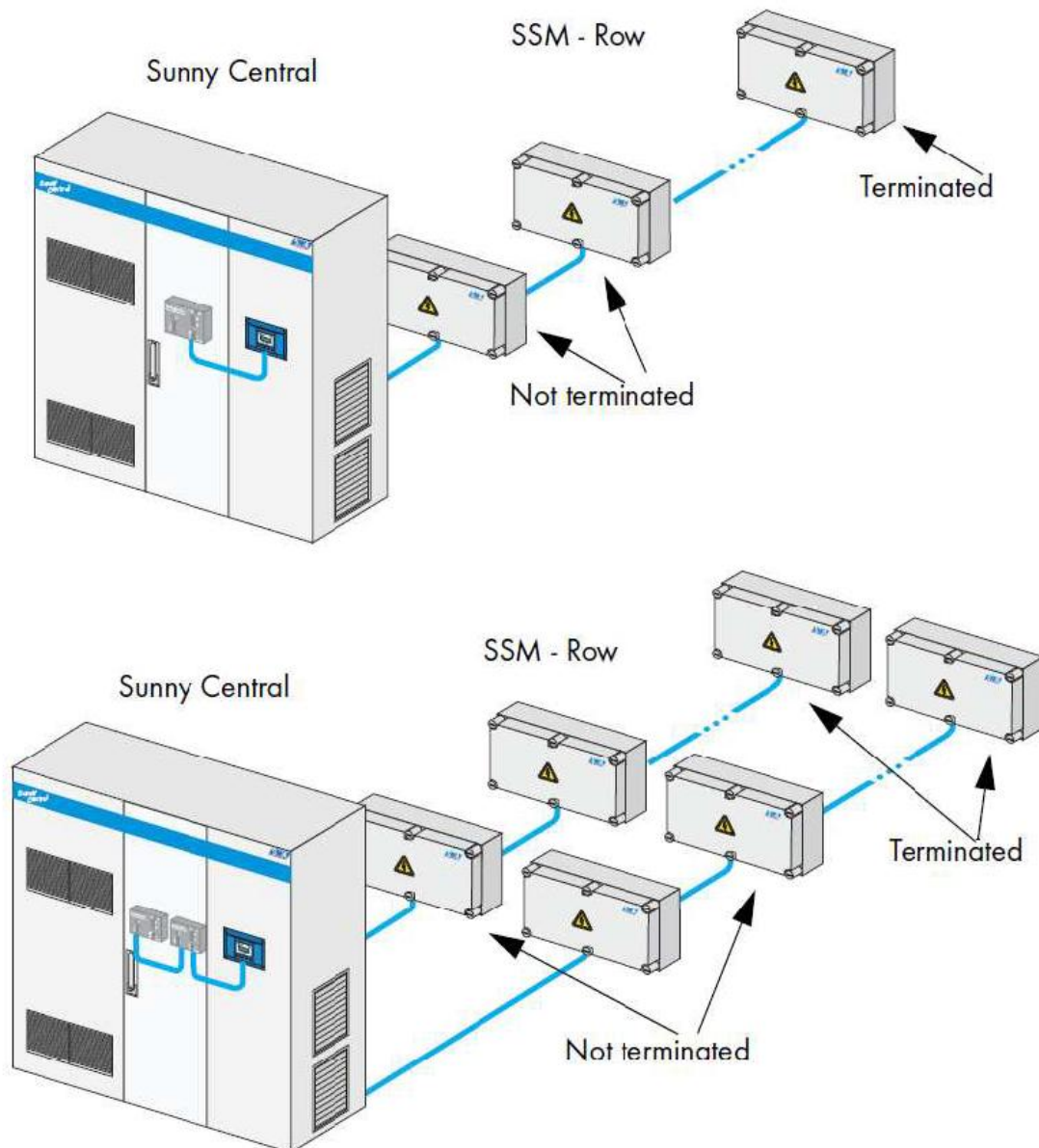
Ενώ το μήκος του καλωδίου UTP Cat5E για τη σύνδεση των αισθητήρων εκτιμάται περίπου 200m

### **7.3 Περιγραφή της εγκατάστασης για Φ/Β σταθμό με κεντρικό αντιστροφέα των 400KW (SMA SC 400MV).**

Όπως αναφέρθηκε στο κεφάλαιο 5, οι στοιχειοσειρές παραλληλίζονται ανά 7 και καταλήγουν στον ηλεκτρικό πίνακα SSM (Sunny String Monitor) της SMA. Ο πίνακας αυτός είναι εφοδιασμένος με τις κατάλληλες διατάξεις για προστασία και παρακολούθηση του ρεύματος των strings. Επιπλέον, χρησιμοποιώντας το πρωτόκολλο RS485 είναι δυνατή η διασύνδεση πολλών πινάκων σε σειρά και η οδήγηση των σημάτων σε ειδική διάταξη εντός του αντιστροφέα.



Στο σχέδιο "Τοπογραφικό διάγραμμα 2" φαίνονται οι συστοιχίες που συνδέονται σε σειρά σε κάθε ομάδα συστοιχιών. Όπως και στην τοπολογία μικρών αντιστροφών, ο τελευταίος πίνακας κάθε ομάδας πινάκων πρέπει να τερματιστεί για να λειτουργήσει το τηλεπικοινωνιακό κύκλωμα.



**Σχήμα 7.3** Σχηματική αναπαράσταση διασύνδεσης πινάκων SSM

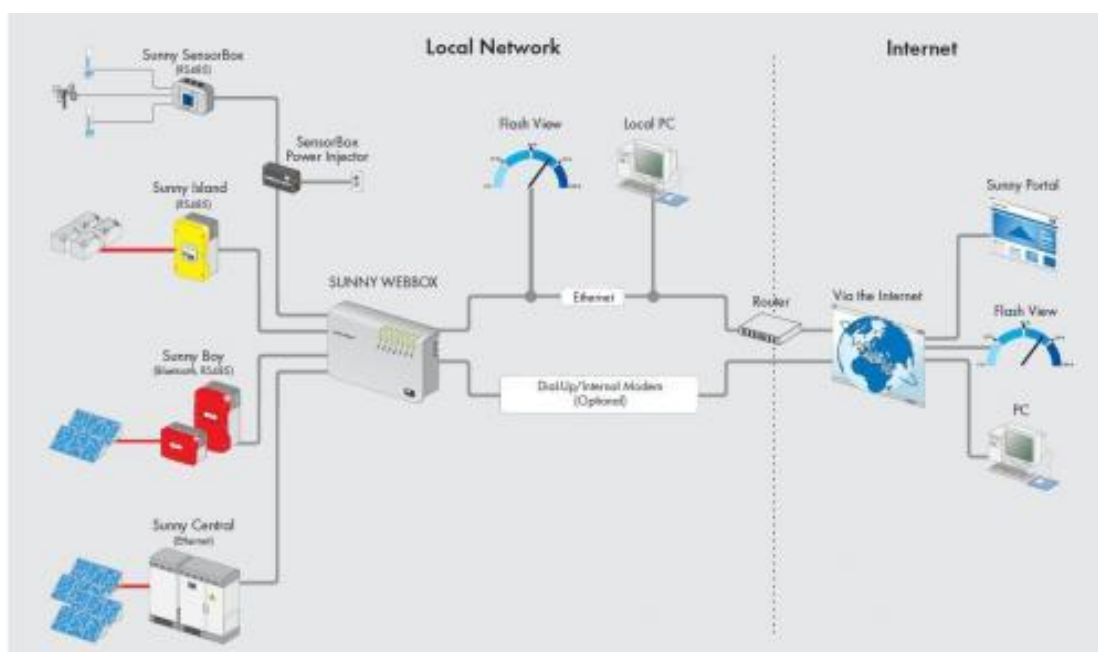
Στον αντιστροφέα υπάρχει ειδική διάταξη που συλλέγει τα δεδομένα από τους πίνακες SSM, επίσης διαθέτει αναλογικές εισόδους για τη σύνδεση εξωτερικών αισθητήρων μέτρησης ακτινοβολίας ή θερμοκρασίας. Επιπλέον, μέσω της θύρας Ethernet που διαθέτει, ο χειριστής μπορεί να έχει απομακρυσμένη πρόσβαση και διαχείριση.

Το μήκος του απαιτούμενου καλωδίου LiYCY για τη σύνδεση των πινάκων SSM είναι περίπου 750m

Ενώ το μήκος του καλωδίου UTP Cat5E για τη σύνδεση των αισθητήρων εκτιμάται περίπου 200m

#### 7.4 Τηλεπιτήρηση και τηλεσυντήρηση

Η λύση επιτήρησης για μεγάλα φωτοβολταϊκά συστήματα είναι το Sunny WebBox το οποίο λαμβάνει και αποθηκεύει όλες τις τρέχουσες τιμές μέτρησης και δεδομένα – μέσω Bluetooth ή RS485. Έτσι μας ενημερώνει ανά πάσα στιγμή για τη λειτουργία της εγκατάστασής μας. Σε εξαιρετικές περιπτώσεις μπορεί να αντιδρά γρήγορα και να διασφαλίζει την απόδοση. Με το Web-Browser μπορούμε να εμφανίζουμε, να αξιολογούμε ή να κατεβάζουμε στον ηλεκτρονικό υπολογιστή μας όλες τις τιμές μέτρησης, καθώς και να αλλάξουμε τις παραμέτρους – με σύνδεση στο διαδίκτυο από οποιοδήποτε σημείο του κόσμου. Όλα τα δεδομένα των συνδεδεμένων συσκευών αποθηκεύονται και, αν το επιθυμούμε, μεταφέρονται αυτόματα στο Sunny Portal. Μέσω του προαιρετικού μόντεμ GSM, τα στοιχεία μέτρησης μπορούν επίσης να μεταφέρονται από απομακρυσμένα σημεία στο Sunny Portal.



# **Κεφαλαίο 8**

## **Αδειοδότηση Φωτοβολταϊκών Συστημάτων**

## **8.1. Αδειοδότηση Φωτοβολταϊκών Συστημάτων**

Στο παρακάτω κεφάλαιο γίνεται μια σύνοψη των αδειοδοτικών σταδίων και καταγράφονται ορισμένα κομβικά σημεία της διαδικασίας αδειοδότησης.

Ορίζεται, ως εθνικός στόχος, η κάλυψη με ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (ΑΠΕ) του 40% τουλάχιστον της ακαθάριστης κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας ως το 2020. Σε σχέση με την συνδρομή των ΦΒ συστημάτων στην επίτευξη του στόχου αυτού είναι συνολικά 2,200 MWp ως το 2020.

Να σημειώσουμε εδώ ότι, από την κοινοτική νομοθεσία προβλέπεται η δυνατότητα αναθεώρησης των ενδεικτικών στόχων για κάθε τεχνολογία ανά διετία ή και νωρίτερα αν χρειαστεί, και επομένως μπορεί μελλοντικά να υπάρξουν διορθωτικές κινήσεις προς αυτή την κατεύθυνση.

Οι επενδύσεις σε Φωτοβολταϊκά συστήματα δεν επιδοτούνται πλέον ως

προς το αρχικό κόστος εγκατάστασης και διασύνδεσης και ως εκ τούτου ο δυνητικός επενδυτής θα πρέπει προτού εκκινήσει την διαδικασία αδειοδότησης να έχει διερευνήσει το κόστος της επένδυσης και την δυνατότητα χρηματοδότησης είτε από το τραπεζικό σύστημα είτε από μόνος του.

Στην παρούσα φάση διακρίνονται οι εξής κατηγορίες αδειοδότησης ανάλογα με την θέση εγκατάστασης και την ισχύ ενός Φωτοβολταϊκού συστήματος.

- Συστήματα ως 10kWp σε στέγες κτιρίων.
- Φωτοβολταϊκά Συστήματα σε Βιομηχανικές Στέγες.
- Φωτοβολταϊκά Συστήματα σε Αγροτεμάχια.

## **8.2 Συστήματα ως 10 kWp σε στέγες κτιρίων**

Από 1η Ιουλίου 2009 ισχύει ένα πρόγραμμα για την εγκατάσταση μικρών φωτοβολταϊκών συστημάτων στον οικιακό-κτιριακό τομέα. Με το πρόγραμμα αυτό δίνονται κίνητρα με τη μορφή ενίσχυσης της παραγόμενης ηλιακής κιλοβατώρας, ώστε ο οικιακός καταναλωτής να κάνει απόσβεση του συστήματος που εγκατέστησε και να έχει και ένα λογικό κέρδος.

Αφορά οικιακούς καταναλωτές ή πολύ μικρές επιχειρήσεις που επιθυμούν να εγκαταστήσουν φωτοβολταϊκά ισχύος έως 10 κιλοβάτ (kWp) στο δώμα ή τη στέγη νομίμως υφισταμένου κτιρίου, συμπεριλαμβανομένων στεγάστρων βεραντών, προσόψεων και σκιάστρων, καθώς και βοηθητικών χώρων του κτιρίου, όπως

αποθήκες και χώροι στάθμευσης. Σε σχέση με τις μικρές επιχειρήσεις αυτές θα πρέπει να είναι ως 10 άτομα και έχει κύκλο εργασιών και σύνολο ενεργητικού ως 2 εκ.€ ετησίως.

Για να ενταχθούν στο πρόγραμμα, θα πρέπει να έχουν στην κυριότητά τους το χώρο στον οποίο εγκαθίσταται το φωτοβολταϊκό σύστημα. Από τον Σεπτέμβριο του 2010, το Πρόγραμμα αφορά όλη την Επικράτεια.

Ως μέγιστη ισχύς των φωτοβολταϊκών συστημάτων στο πλαίσιο του Προγράμματος ορίζεται:

- για την ηπειρωτική χώρα, τα Διασυνδεδεμένα με το Σύστημα Νησιά, την Κρήτη τα 10 kWp.
- τα λοιπά Μη Διασυνδεδεμένα Νησιά τα 5 kWp.

Για τις πολυκατοικίες θα πρέπει να πληρούνται οι παρακάτω όροι. Είτε να συμφωνήσουν εγγράφως οι υπόλοιποι ιδιοκτήτες, είτε το φωτοβολταϊκό να εγκατασταθεί εξ ονόματος όλων των ιδιοκτητών (τους οποίους στην περίπτωση αυτή εκπροσωπεί ο διαχειριστής). Σε κάθε πολυκατοικία μπορεί να μπει ένα μόνο σύστημα. Αν η ταράτσα είναι κοινόκτητη και οι κύριοι του χώρου αυτού θέλουν να την παραχωρήσουν σε κάποιο άλλο ιδιοκτήτη του κτιρίου που δεν έχει δικαιώματα στην ταράτσα, μπορούν να το κάνουν. Αν το σύστημα μπει σε στέγαστρο βεράντας διαμερίσματος, προφανώς μπορούν να μπουν περισσότερα του ενός συστήματα σε μια πολυκατοικία.

Όλη η παραγόμενη από το φωτοβολταϊκό ηλεκτρική ενέργεια διοχετεύεται στο δίκτυο της ΔΕΗ και ο οικιακός μικροπαραγωγός ενέργειας πληρώνεται γι' αυτή με 55 λεπτά την κιλοβατώρα (0,55 €/kWh), τιμή που είναι εγγυημένη για 25 χρόνια. Ο οικιακός μικροπαραγωγός ενέργειας συνεχίζει να αγοράζει ρεύμα από τη ΔΕΗ και να το πληρώνει στην τιμή που το πληρώνει και σήμερα (περίπου 10-12 λεπτά την κιλοβατώρα). Στην πράξη αυτό σημαίνει ότι η ΔΕΗ θα εγκαταστήσει ένα νέο μετρητή για να καταγράφει την παραγόμενη ενέργεια. Αν, για παράδειγμα, στο δίμηνο το φωτοβολταϊκό παράγει ηλεκτρική ενέργεια αξίας 300 € και στο κτίριο καταναλώνεται ενέργεια αξίας 100 €, θα έρθει πιστωτικός λογαριασμός 200 €, ποσό που θα καταθέσει η ΔΕΗ στον τραπεζικό λογαριασμό του ιδιοκτήτη του φωτοβολταϊκού.

Για την εγκατάσταση οικιακών φωτοβολταϊκών, δεν απαιτείται πλέον καμία άδεια (με εξαίρεση διατηρητέα κτίρια και παραδοσιακούς οικισμούς όπου απαιτείται η έγκριση της Επιτροπής Πολεοδομικού και Αρχιτεκτονικού Ελέγχου [ΕΠΑΕ]). Σύμφωνα με την ΥΑ36720/25-8-2010 “Έγκριση ειδικών όρων για την εγκατάσταση φωτοβολταϊκών

και ηλιακών συστημάτων σε κτίρια και οικόπεδα εντός σχεδίου περιοχών και σε οικισμούς” (ΦΕΚ 376/6-9-2010) δεν χρειάζεται πλέον ούτε η άδεια εργασιών μικρής κλίμακας από την Πολεοδομία, όπως ίσχυε μέχρι πρότινος. Απλώς γνωστοποιεί κανείς την έναρξη εργασιών στη ΔΕΗ όταν καταθέτει εκεί φάκελο για σύνδεση του συστήματος με το δίκτυο.

### 8.3 Οικιακοί Παραγωγοί

Δύο είναι οι προϋποθέσεις για να ενταχθεί κανείς στο πρόγραμμα:

- Να έχει μετρητή της ΔΕΗ στο όνομά του (ή στον κοινόχρηστο λογαριασμό της πολυκατοικίας αν επιλεγεί η συλλογική εγκατάσταση).
- Να καλύπτει μέρος των αναγκών σε ζεστό νερό από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (π.χ. ηλιακό θερμοσίφωνα, βιομάζα, γεωθερμική αντλία θερμότητας).

Μια ιδιαίτερα σημαντική ρύθμιση είναι ότι ο οικιακός παραγωγός ηλιακού ηλεκτρισμού δεν θεωρείται πια επιτηδευματίας, με άλλα λόγια απαλλάσσεται από το άνοιγμα βιβλίων στην εφορία. Όπως αναφέρει η σχετική κοινή υπουργική απόφαση, “δεν υφίστανται για τον κύριο του φωτοβολταϊκού συστήματος φορολογικές υποχρεώσεις για τη διάθεση της ενέργειας αυτής στο δίκτυο”. Με άλλα λόγια, τα όποια έσοδα έχει ο οικιακός μικροπαραγωγός από την πώληση της ενέργειας δεν φορολογούνται

### 8.4 Μικρές Επιχειρήσεις

Προκειμένου να ενταχθούν οι πολύ μικρές επιχειρήσεις στο πρόγραμμα θα πρέπει πρωτίτερα να μην έχει πάρει κάποια άλλη επιδότηση για το φωτοβολταϊκό από εθνικά ή κοινοτικά προγράμματα.

Τα όποια έσοδα έχει η επιχείρηση από την πώληση της ενέργειας δεν φορολογούνται, με την προϋπόθεση ότι τα κέρδη εμφανίζονται σε ειδικό λογαριασμό αφορολόγητου αποθεματικού. Σε περίπτωση διανομής ή κεφαλαιοποίησής τους, ισχύει η τρέχουσα φορολογία για τα κέρδη που διανέμονται.

Σημειώνουμε ότι η εγκατάσταση φωτοβολταϊκών ισχύος άνω των 10 kWp σε εμπορικές-βιομηχανικές στέγες, διέπεται από άλλους κανόνες και ισχύουν γι’ αυτά τα συστήματα άλλα κίνητρα.

## 8.5 Φωτοβολταικά Συστήματα σε Βιομηχανικές Στέγες (>10kWp)

Ο Ν.3851/2010 και η ΥΑ 36720/25-8-2010 (ΦΕΚ 376/6-9-2010) επιτρέπουν την εγκατάσταση φωτοβολταϊκών συστημάτων κάθε ισχύος στο δώμα ή τη στέγη νομίμως υφισταμένου κτιρίου, συμπεριλαμβανομένων στεγάστρων βεραντών, προσόψεων και σκιάστρων, καθώς και βοηθητικών χώρων του κτιρίου, όπως αποθήκες και χώροι στάθμευσης.

Για τα συστήματα αυτά δεν απαιτείται περιβαλλοντική αδειοδότηση, ενώ για συστήματα ισχύος έως 1 MWp δεν απαιτείται και άδεια παραγωγής ή άλλη διαπιστωτική απόφαση. Για συστήματα >1 MWp απαιτείται άδεια παραγωγής από τη ΡΑΕ (η οποία συνοδεύεται και από δύο ακόμη άδειες: την άδεια εγκατάστασης και την άδεια λειτουργίας τις οποίες εκδίδει η αρμόδια Περιφέρεια).

Για συστήματα με ισχύ από 10 kWp έως 100 kWp τα μόνα βήματα που απαιτούνται είναι

- η προσφορά όρων σύνδεσης από τη ΔΕΗ και
- η υπογραφή της σύμβασης αγοροπωλησίας με τον ΔΕΣΜΗΕ.

Για **συστήματα με ισχύ από 100 kWp έως 1.000 kWp (1 MWp)** τα βήματα που απαιτούνται είναι :

- η έγκριση εργασιών δόμησης μικρής κλίμακας από την Πολεοδομία
- η προσφορά όρων σύνδεσης από τη ΔΕΗ
- η υπογραφή της σύμβασης αγοροπωλησίας με τον ΔΕΣΜΗΕ.

Για συστήματα με ισχύ μεγαλύτερη από 1 MWp τα βήματα που απαιτούνται είναι:

- η έκδοση άδειας παραγωγής από τη ΡΑΕ
- η άδεια εγκατάστασης από την Περιφέρεια
- η έγκριση εργασιών δόμησης μικρής κλίμακας από την Πολεοδομία
- η προσφορά όρων σύνδεσης από τη ΔΕΗ και
- η υπογραφή της σύμβασης αγοροπωλησίας με τον ΔΕΣΜΗΕ και τελικά έκδοση άδειας λειτουργίας από την Περιφέρεια.

Τα παραπάνω ισχύουν μόνο για το ηπειρωτικό δίκτυο, αφού τα αυτόνομα νησιωτικά δίκτυα θεωρούνται κορεσμένα και θα υπάρχουν κατά διαστήματα ειδικές ρυθμίσεις

γι' αυτά. Σε κάθε περίπτωση πάντως, στα μη διασυνδεδεμένα νησιά, μιλάμε πάντα για συστήματα με ισχύ μικρότερη των 100 kWp.

## 8.6 Φωτοβολταϊκά Συστήματα επί εδάφους

Για συστήματα με ισχύ έως 500 kWp τα βήματα που απαιτούνται είναι:

- η βεβαίωση απαλλαγής από Έγκριση Περιβαλλοντικών Όρων (ΕΠΟ) η οποία χορηγείται από την Περιφέρεια (από την υποχρέωση αυτή εξαιρούνται τα έργα εντός οργανωμένων υποδοχέων βιομηχανικών δραστηριοτήτων)
- η έγκριση εργασιών δόμησης μικρής κλίμακας από την Πολεοδομία
- η προσφορά όρων σύνδεσης από τη ΔΕΗ και
- η υπογραφή της σύμβασης αγοροπωλησίας με τον ΔΕΣΜΗΕ.

Για συστήματα με ισχύ έως 500 kWp έως 1.000 kWp (1 MWp) τα βήματα που απαιτούνται είναι:

- η Έγκριση Περιβαλλοντικών Όρων (ΕΠΟ) η οποία χορηγείται από την Περιφέρεια (από την υποχρέωση αυτή εξαιρούνται τα έργα εντός οργανωμένων υποδοχέων βιομηχανικών δραστηριοτήτων)
- η έγκριση εργασιών δόμησης μικρής κλίμακας από την Πολεοδομία,
- η προσφορά όρων σύνδεσης από τη ΔΕΗ και
- η υπογραφή της σύμβασης αγοροπωλησίας με τον ΔΕΣΜΗΕ
- 

Για συστήματα με ισχύ μεγαλύτερη από 1 MWp τα βήματα που απαιτούνται είναι:

- η έκδοση άδειας παραγωγής από τη ΡΑΕ
- στη συνέχεια άδειας εγκατάστασης από την Περιφέρεια (που προϋποθέτει και έγκριση ΕΠΟ όπου αυτή απαιτείται),
- η έγκριση εργασιών δόμησης μικρής κλίμακας από την Πολεοδομία,
- προσφορά όρων σύνδεσης από τη ΔΕΗ,
- υπογραφή της σύμβασης αγοροπωλησίας με τον ΔΕΣΜΗΕ
- και τελικά έκδοση άδειας λειτουργίας από την Περιφέρεια.

## 8.7 Παλιές Αιτήσεις (Ν.3468)

Ο νέος νόμος επιταχύνει τις διαδικασίες για τις παλιές αιτήσεις που είχαν

κατατεθεί στη ΡΑΕ για έκδοση άδειας παραγωγής. Κι αυτό γιατί με το νέο νόμο καταργείται η διαδικασία της Προκαταρκτικής Περιβαλλοντικής Εκτίμησης και Αξιολόγησης (ΠΠΕΑ) και η περιβαλλοντική αδειοδότηση θα γίνεται πλέον σε ένα



ενιαίο στάδιο, αυτό της Έγκρισης Περιβαλλοντικών Όρων (ΕΠΟ). Έτσι, όσες αιτήσεις για άδεια παραγωγής βρίσκονταν στο στάδιο της ΠΠΕΑ, έχοντας περάσει θετικά τα υπόλοιπα κριτήρια αξιολόγησης της ΡΑΕ, έλαβαν άδεια παραγωγής. Όσοι φωτοβολταϊκοί σταθμοί (κυρίως “εξαιρέσεις”) βρίσκονταν στο στάδιο της ΕΠΟ και δεν συνεχίζουν να έχουν τέτοια υποχρέωση με βάση τη νέα νομοθεσία, θα πρέπει να λάβουν τώρα μόνο τη βεβαίωση απαλλαγής από την Περιφέρεια και να προχωρήσουν στο επόμενο στάδιο (προσφορά όρων σύνδεσης). Σημειωτέον ότι η βεβαίωση αυτή πρέπει να δοθεί εντός αποκλειστικής προθεσμίας είκοσι (20) ημερών από την αρμόδια περιβαλλοντική αρχή της οικείας Περιφέρειας, μετά την άπρακτη παρέλευση της οποίας θεωρείται αυτή χορηγηθείσα.

Ο κάτοχος άδειας παραγωγής μπορεί, μετά από σχετική απόφαση της ΡΑΕ, να μεταβιβάσει την άδειά του σε άλλα φυσικά ή νομικά πρόσωπα. Αντίθετα, οι φωτοβολταϊκοί σταθμοί που απαλλάσσονται από άδεια παραγωγής, δεν επιτρέπεται να μεταβιβάζονται πριν από την έναρξη της λειτουργίας τους. Κατ’ εξαίρεση, επιτρέπεται η μεταβίβασή τους σε νομικά πρόσωπα, εφόσον το εταιρικό κεφάλαιο της εταιρίας προς την οποία γίνεται η μεταβίβαση κατέχεται εξ ολοκλήρου από το μεταβιβάζον φυσικό ή νομικό πρόσωπο. Ειδικά για τους φωτοβολταϊκούς σταθμούς που εγκαθίστανται από κατ’ επάγγελμα αγρότες, δεν επιτρέπεται η μεταβίβασή τους πριν από την πάροδο πενταετίας από την έναρξη λειτουργίας τους, εκτός αν πρόκειται για μεταβίβαση λόγω κληρονομικής διαδοχής.

## 8.8 Γενικά Αδειοδοτικά

Ο νέος νόμος (Ν.3851) απλοποιεί κάποιες από τις παλιές διαδικασίες αδειοδότησης. Συγκεκριμένα:

- δεν απαιτείται πλέον άδεια παραγωγής ή άλλη διαπιστωτική απόφαση (γνωστή και ως “εξαίρεση”) για φωτοβολταϊκά συστήματα ισχύος έως 1 MWp.
- Για φωτοβολταϊκά συστήματα ισχύος μεγαλύτερης του 1 MWp απαιτείται η έκδοση άδειας παραγωγής η οποία εκδίδεται από τη ΡΑΕ (και όχι από τον υπουργό Περιβάλλοντος, Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής όπως ίσχυε μέχρι σήμερα).
- Για τα συστήματα που απαιτείται άδεια παραγωγής απαιτείται επίσης η έκδοση άδειας εγκατάστασης και άδειας λειτουργίας (οι οποίες εκδίδονται από την αρμόδια Περιφέρεια) όπως και στο παρελθόν.
- Επίσης, δεν απαιτείται περιβαλλοντική αδειοδότηση για συστήματα που εγκαθίστανται σε κτίρια και οργανωμένους υποδοχείς βιομηχανικών δραστηριοτήτων.

- Για συστήματα που εγκαθίστανται σε γήπεδα (οικόπεδα και αγροτεμάχια), δεν απαιτείται περιβαλλοντική αδειοδότηση για συστήματα έως 500 kWp εφόσον πληρούνται κάποιες προϋποθέσεις. Για τα συστήματα αυτά, απαιτείται ειδική περιβαλλοντική εξαίρεση (“βεβαίωση απαλλαγής από ΕΠΟ”) από την αρμόδια Περιφέρεια, η οποία, σύμφωνα με το νόμο, δίνεται σε 20 μέρες από την υποβολή της σχετικής αίτησης.
- Απαιτείται ΕΠΟ για όσα συστήματα εγκαθίστανται σε γήπεδα, εφόσον εγκαθίστανται σε περιοχές Natura, παράκτιες ζώνες (100μ από οριογραμμή αιγιαλού) και σε γήπεδα που γειτνιάζουν σε απόσταση μικρότερη από εκατόν πενήντα (150) μέτρα, με άλλο γήπεδο για το οποίο έχει εκδοθεί άδεια παραγωγής ή απόφαση ΕΠΟ ή Προσφορά Σύνδεσης φωτοβολταϊκού σταθμού και η συνολική ισχύς των σταθμών υπερβαίνει τα 500 kWp.
- Για την εγκατάσταση φωτοβολταϊκών συστημάτων δεν απαιτείται οικοδομική άδεια, αλλά έγκριση εργασιών δόμησης μικρής κλίμακας από την αρμόδια διεύθυνση Πολεοδομίας.
- Για φωτοβολταϊκά συστήματα που εγκαθίστανται σε κτίρια και έχουν ισχύ έως 100 kWp, δεν απαιτείται ούτε αυτή η έγκριση εργασιών δόμησης μικρής κλίμακας, αλλά αρκεί πλέον μια απλή γνωστοποίηση προς τη ΔΕΗ ότι ξεκινά η εγκατάσταση. Η ευνοϊκή αυτή ρύθμιση αφορά τον οικιακό τομέα καθώς και τα μικρά και μεσαία συστήματα που εγκαθίστανται σε κτίρια επιχειρήσεων.
- Στις συμβάσεις σύνδεσης που συνάπτει ο αρμόδιος διαχειριστής με τους φορείς φωτοβολταϊκών σταθμών που εξαιρούνται από τη λήψη άδειας παραγωγής, καθορίζεται προθεσμία σύνδεσης στο Σύστημα ή δίκτυο, η οποία είναι αποκλειστική, και ορίζεται εγγύηση ή ποινική ρήτρα που καταπίπτει αν ο φορέας δεν υλοποιήσει τη σύνδεση εντός της καθορισθείσας προθεσμίας. Το ύψος της εγγύησης καθορίζεται με υπουργική απόφαση. Από την εγγύηση αυτή απαλλάσσονται όσα έργα αφορούν εγκαταστάσεις σε κτίρια και όσοι σταθμοί έχουν υπογράψει σύμβαση σύνδεσης πριν τις 4-6-2010 (ημερομηνία ισχύος του νέου νόμου 3851/2010).

## **8.9 Περί κατασκευής Φωτοβολταϊκών Συστημάτων σε Γαίες Υψηλής Παραγωγικότητας**

- Απαγορεύεται η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από φωτοβολταϊκούς σταθμούς σε αγροτεμάχια της Αττικής που χαρακτηρίζονται ως αγροτική γη υψηλής παραγωγικότητας, καθώς και σε περιοχές της Επικράτειας που έχουν ήδη καθοριστεί ως αγροτική γη υψηλής παραγωγικότητας από εγκεκριμένα Γενικά Πολεοδομικά Σχέδια (Γ.Π.Σ.) ή Σχέδια Χωρικής Οικιστικής Οργάνωσης Ανοιχτής Πόλης (Σ.Χ.Ο.Ο.Α.Π.) του Ν.2508/1997 (ΦΕΚ 124 Α'), καθώς και Ζώνες Οικιστικού Ελέγχου (Ζ.Ο.Ε.) του άρθρου 29 του Ν.1337/1983 (ΦΕΚ 33 Α'), εκτός αν διαφορετικά προβλέπεται στα εγκεκριμένα αυτά σχέδια.

- Με την επιφύλαξη του προηγούμενου εδαφίου, επιτρέπεται η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από φωτοβολταϊκούς σταθμούς σε αγροτεμάχια που χαρακτηρίζονται ως αγροτική γη υψηλής παραγωγικότητας. Στην περίπτωση αυτή η άδεια χορηγείται μόνον αν οι φωτοβολταϊκοί σταθμοί για τους οποίους έχουν ήδη εκδοθεί άδειες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας ή, σε περίπτωση απαλλαγής, δεσμευτικές προσφορές σύνδεσης από τον αρμόδιο διαχειριστή, καλύπτουν εδαφικές εκτάσεις που δεν υπερβαίνουν το 1% του συνόλου των καλλιεργούμενων εκτάσεων του συγκεκριμένου νομού. Για την εφαρμογή της διάταξης του προηγούμενου εδαφίου χρησιμοποιούνται τα στοιχεία της Ετήσιας Γεωργικής Στατιστικής Έρευνας του έτους 2008 της Γενικής Γραμματείας της Εθνικής Στατιστικής Υπηρεσίας της Ελλάδας. Για τον υπολογισμό της κάλυψης λαμβάνεται υπόψη η οριζόντια προβολή επί του εδάφους των φωτοβολταϊκών στοιχείων. Με κοινή απόφαση των Υπουργών Αγροτικής Ανάπτυξης και Τροφίμων και Περιβάλλοντος, Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής είναι δυνατόν να ορίζονται όροι και προϋποθέσεις για την εγκατάσταση φωτοβολταϊκών σταθμών σε αγροτεμάχια που χαρακτηρίζονται ως αγροτική γη υψηλής παραγωγικότητας, περιλαμβανομένων της μέγιστης κάλυψης εδάφους ανά σταθμό, των ελάχιστων αποστάσεων από τα όρια του γηπέδου του σταθμού, περιορισμών στον τρόπο θεμελίωσης και υποχρεώσεων για την αποκατάσταση του γηπέδου μετά την αποξήλωση των φωτοβολταϊκών σταθμών.

## 8.10 Περί Συμβάσεως Αγοραπωλησίας

Υπενθυμίζεται ότι ο επενδυτής υπογράφει σύμβαση πώλησης της παραχθείσας ενέργειας με:

- ΔΕΣΜΗΕ προκειμένου για την Ηπειρωτική Ελλάδα και τα διασυνδεδεμένα νησιά.
- Με την Δνση Δχσης Νήσων (ΔΕΗ) για τα μη διασυνδεδεμένα νησιά. Η σύμβαση δύναται να ενεργοποιηθεί εντός 18 μηνών από την ημερομηνία υπογραφή της. Έπειτα από την πάροδο του διαστήματος ακυρώνεται η σύμβαση και ο επενδυτής εφόσον επιθυμεί δύναται να αιτηθεί την σύναψη σύμβασης όμως με τις τιμές και τους όρους που θα ισχύον την συγκεκριμένη περίοδο διαπραγμάτευσης. Οι τιμές πώλησης της παραγόμενης ηλιακής κιλοβατώρας καθορίζονται ως εξής:

Έτος	Συστήματα σε οικιακές & εμπορικές στέγες ≤10 kWp (€/MWh)	Μήνας	Ηπειρωτικό δίκτυο (€/MWh)		Μη διασυνδεδεμένα νησιά (€/MWh)
			>100kWp	≤100kWp	Ανεξαρτήτως ισχύος (με εξαίρεση τα μικρά συστήματα έως 10 kWp σε κτίρια όπου ισχύουν ενιαίες τιμές για όλη τη χώρα)
2009		Φεβρουάριος	400	450	450
		Αύγουστος			
2010	550	Φεβρουάριος	392,04	441,05	441,05
		Αύγουστος			
2011		Φεβρουάριος	372,83	419,43	419,43
		Αύγουστος			
2012	522,5	Φεβρουάριος	333,81	375,53	375,53
		Αύγουστος			
2013	496,38	Φεβρουάριος	298,38	336,23	336,23
		Αύγουστος			
2014	471,56	Φεβρουάριος	268,94	302,56	302,56
		Αύγουστος			
Για κάθε έτος ν από το 2015 και μετά					
μΟΤΣ <sub>v-1</sub> =	-5% ετησίως		1,3*μΟΤΣ <sub>v-1</sub>	1,4*μΟΤΣ <sub>v-1</sub>	1,4*μΟΤΣ <sub>v-1</sub>
Μέση Οριακή Τιμή Συστήματος κατά το προηγούμενο έτος v-1					
Διάρκεια σύμβασης	25 έτη		20 έτη		
Οι τιμές που καθορίζονται στον ανωτέρω πίνακα αναπροσαρμόζονται κάθε έτος, κατά ποσοστό 25% του δείκτη τιμών καταναλωτή του προηγούμενου έτους					

Πίνακας 2. Τιμές πώλησης της παραγόμενης ηλιακής κιλοβατώρας

### Case Study Οικονομικής Ανάλυσης της επένδυσης

Όπως σε κάθε επένδυση, έτσι και στα Φωτοβολταϊκά, προτού ληφθεί μια

απόφαση εκκίνησης, θα πρέπει να λαμβάνονται μια πληθώρα παραγόντων που καθορίζουν σε μεγάλο βαθμό τον ανάληψη του ρίσκου που εμπεριέχει οποιαδήποτε επένδυση. Παράγοντες όπως:

- Διάρκεια Συμβολαίου αγοραπωλησίας
- Τιμή πώλησης
- Διακύμανση τιμής πώλησης
- Τραπεζική Χρηματοδότηση
- Θεσμικό πλαίσιο
- Έτη απόσβεσης επένδυσης
- Φορολογία κερδών

Είναι καθοριστικοί ώστε να ληφθεί η σωστή απόφαση.

## **Κεφάλαιο 9**

### Κόστος Φ/Β Σταθμού

## 9.1 Εισαγωγή

Στο κεφάλαιο αυτό θα παρουσιάσουμε μια οικονομική ανάλυση του κόστους κατασκευής των σταθμών που έχουν περιγραφεί παραπάνω. Επίσης θα υπολογιστεί ο χρόνος απόσβεσης της επένδυσης.

## 9.2 Κόστος κατασκευής Φ/Β σταθμού με τριφασικούς αντιστροφείς SMA STP 17000TL-10 των 17KW.

A/A	Περιγραφή εξοπλισμού	Ποσότητα	Μονάδες	Τιμή μονάδας	Κόστος (€)
1	Φ/Β πάνελ υψηλής απόδοσης της εταιρείας SANYO τύπου HIT-240HDE4 Υβριδικού μονοκρυσταλλικού τύπου	1666	τεμ	374 €	623.084 €
2	Αντιστροφέας SMA STP 17000TL-10 με οθόνη και ESS, Bluetooth, τριφασικός, χωρίς Μ/Σ, ακροδέκτες SUNCLIX, IP65, 5 έτη εγγύηση	23	τεμ	3.870 €	89.010 €
3	Πινάκας DC (GAK Type) για 2MPP Max. Uoc (VDC) mpp1 : 1000 Max. Impv (ADC) mpp1 : 32 Max. Strings IN : 5 (pro WR / WR Multi-String) Strang Sicher. : Ultra-Rapid 1000VDC Max. Uoc (VDC) mpp2 : 800 Max. Impv (ADC) mpp2 : 25 Κλέμμες IN : Federkraft bis 6 <sup>2</sup>	23	τεμ	400 €	9.200 €
4	Σύστημα στήριξης των Φ/Β πλαισίων της εταιρείας SCHLETTTER τύπου FS2V(σταθερή στήριξη αρθρωτών βάσεων) + τοποθέτηση	400	KW	200 €	80.000 €
5	DC Καλώδιο Φ/Β πλαισίων Radox 6,0mm <sup>2</sup>	3000	m	1,15 €	3.450 €
6	AC Καλώδιο J1VV-R 5*10 mm <sup>2</sup> από τους αντιστροφείς προς τους πινάκες χαμηλής τάσης	500	m	5,90 €	2.950 €
7	AC Καλώδιο J1VV-R 3*185 mm <sup>2</sup> +95mm <sup>2</sup> από πίνακα AC Χ.Τ με το γενικό πίνακα Χ.Τ στο Υ/Σ ανύψωσης	25	m	76 €	1.900 €
8	AC Καλώδιο J1VV-R 3*150 mm <sup>2</sup> +70mm <sup>2</sup> από πίνακα AC Χ.Τ με το γενικό πίνακα Χ.Τ στο Υ/Σ ανύψωσης	34	m	63,5 €	2.159 €
9	Καλώδιο μέσης τάσης N2XSYP 35mm <sup>2</sup>	81	m	8 €	648 €
10	Καλώδιο LiYCY	1050	m	1,62 €	1.700 €
11	Καλώδιο UTP	200	m	0,55 €	110 €
12	Υποπίνακες χαμηλής τάσης (Μικροαυτόματους, αντικεραυνικά ,διακόπτη φορτίου, καλωδιακία, κλεμες, κουτί)	3	τεμ	1700 €	5.100 €
13	Υποσταθμός ανύψωσης 0,4/20kV της Schneider Electric, 500KVA .	1	τεμ	63.000 €	63.000 €

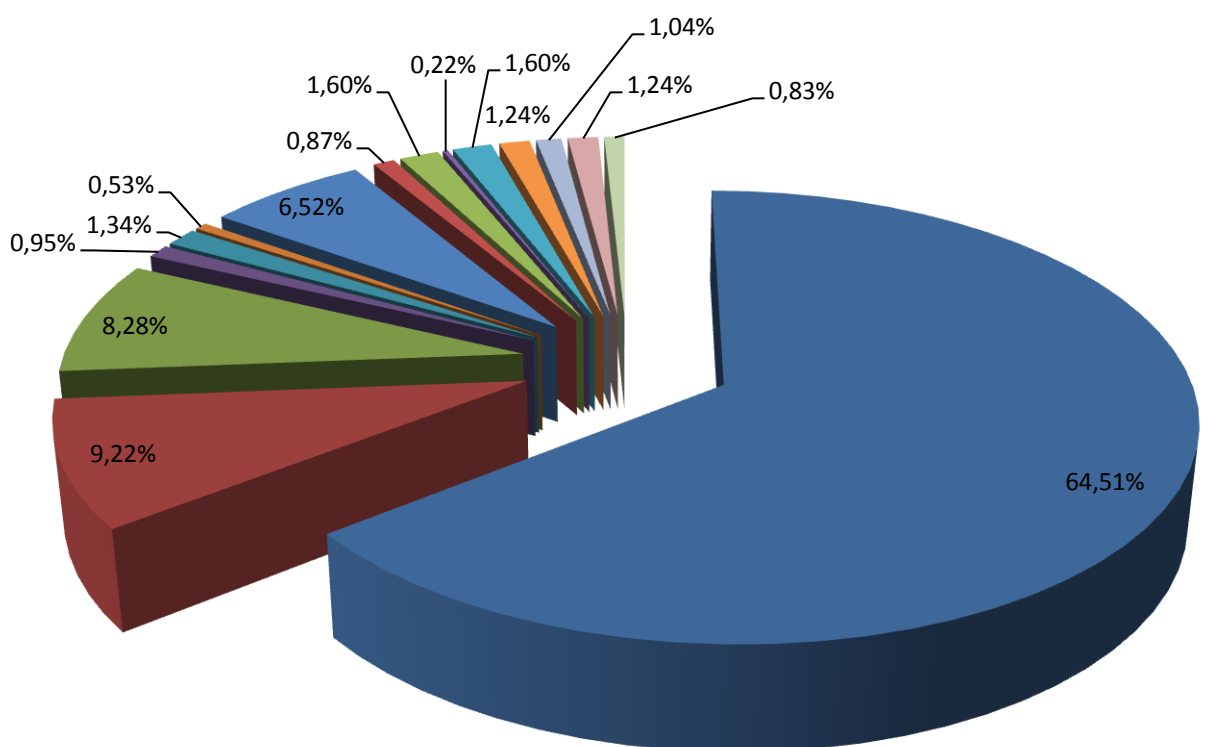
14	<b>Σύστημα γείωσης – ισοδυναμικών συνδέσεων εγκατάστασης.</b> Ταινία 30 x 3,5mm St/tZn ,Ορθοστάτες ταινίας,Σφικτήρες 30/30 St/tZn, Αγωγός Φ8 St/tZn , Σφικτήρες Φ8/30 St/tZn, Σύνδεσμος μετ. Επιφ. Τύπου (S) με μονό σφικτήρα 6-10mm St/tZn, Ηλεκτρόδιο Φ14 x 1500mm St/Cu (250μm), Σφικτήρες Φ16/30 St/St (V4A), Μονωτική ταινία, Ισοδυναμικός ζυγός.	1	τεμ	3.000 €	3.000 €
15	<b>Απομονωμένο σύστημα αντικεραυνικής προστασίας.</b> Ακίδα Φ16/Φ10 x 3000 mm AlMgSi, Τραβέρσα στήρ. ακίδας Φ16 x 1000mm, Βάση στήριξης ακίδας 17 kg, Σφικτήρας Φ16/Φ8 St/tZn	1	τεμ	2.300 €	2.300 €
16	<b>Γείωση Υ/Σ .</b> Ταινία 30 x 3,5mm St/tZn, Ορθοστάτες ταινίας, Σφικτήρες 30/30 St/tZn, Σφικτήρες 30/30 St/St (V4A), Ισοδυναμικός ζυγός	1	τεμ	250 €	250 €
17	<b>Αντικεραυνική προστασία Υ/Σ.</b> Ακίδα Φ16/Φ10 x 1500 mm AlMgSi, Κλασσικό στήριγμα Φ16 St/St, Αγωγός Φ8 St/tZn, Στήριγμα αγωγού Φ8 plastic, Λυόμενος σφικτήρας Φ8/Φ8 St/tZn, Σφικτήρες Φ8/30 St/tZn, Σφικτήρες Φ8/Φ8 St/tZn	1	τεμ	200 €	200 €
18	<b>Προστασία από κρουστικές υπερτάσεις - Επικοινωνία inverter RS 485.</b> DEHN DCO RK MD HF 5V,Covering plate	1	τεμ	2.700 €	2.700 €
19	Προστασία από κρουστικές υπερτάσεις - Τηλεφωνικό δίκτυο	1	τεμ	130 €	130 €
20	Έλεγχος και παρακολούθηση απομακρυσμένης λειτουργίας σταθμού.(καταγραφικά μηχανήματα, ελεγκτές, αισθητήρες, κάμερες κτλ) + εγκατάσταση	1	τεμ	15.500 €	15.500 €
21	Σωλήνες PVC εντός χαντακιών φ110mm & φ 70mm	120 & 450	m	4,50 & 3,50 €	2.120 €
22	Έργα πολιτικού μηχανικού (Περίφραξη, διαμόρφωση χώρου, σημεία τοποθέτησης βάσεων, σκυροδετήσεις, διάνοιξη και επίχωση χαντακιών κτλ)				15.500 €
23	Κόστος εγκατάστασης καλωδίων DC,AC, Μέσης τάσης, τηλεπικοινωνιών)				4.500 €
24	Εγκατάσταση γείωσης, αντικεραυνικής προστασίας και προστασία από υπερτάσεις.				3.000 €
25	Τοποθέτηση και σύνδεση Φ/Β πλαισίων, inverter, πινάκων DC&AC, οικίσκο.				4.500 €
26	Διάφορες δαπάνες ( δόκιμες, επίβλεψη, μελέτες, αδειοδότηση.)				10.000 €



27	Κόστος Έργων ΔΕΗ				12.000 €
28	Μεταφορικά κόστη				8.000 €
<b>Συνολικό κόστος εγκατάστασης</b>					966.011 €

Παρακάτω φαίνεται το σχήμα με το κάθε κόστος σαν ποσοστό του συνολικού κόστους κατασκευής του φωτοβολταϊκού σταθμού με string inverters.

### Καταμερισμός κόστους Φ/Β σταθμού με τριφασικούς αντιστροφείς SMA STP 1700TL-10



- |   |   |
|---|---|
| ■ Φ/Β Πλαίσια (64,51%)                          | ■ Αντιστροφείς (9,22%)                          |
| ■ Σύστημα στήριξης των Φ/Β πλαισίων (8,28%)     | ■ Πίνακες DC (0,95%)                            |
| ■ Καλώδια DC&AC (1,34%)                         | ■ Υποπίνακες AC Χ.Τ (0,53%)                     |
| ■ Υποσταθμός ανύψωσης 0,4/20kV (6,52%)          | ■ Γείωση και αντικεραυνική προστασία (0,87%)    |
| ■ Έλεγχος και παρακολούθηση Φ/Β σταθμού (1,60%) | ■ Σωλήνες PVC εντός χαντακιών (0,22%)           |
| ■ Έργα πολιτικού μηχανικού (1,60%)              | ■ Ηλεκτρολογική εγκατάσταση του σταθμού (1,24%) |
| ■ Διάφορες δαπάνες (1,04%)                      | ■ Κόστος Έργων ΔΕΗ (1,24%)                      |
| ■ Μεταφορικά κόστη (0,83%)                      |   |

Έκτος από το κόστος εγκατάστασης υπάρχουν και τα ετησία έξοδα λειτουργίας του σταθμού τα όποια ανέρχονται στα 12.000 €

Για να βρούμε τα ετησία έσοδα του σταθμού από την πώληση της ηλεκτρικής ενέργειας πρέπει πρώτα να βρούμε την ετησία παράγωγη ενέργειας έχοντας αφαιρέσει τις απώλειες.

Η εγκατεστημένη ισχύς του πάρκου είναι 399,84 KW.

Για τον υπολογισμό της ετήσια παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας από τη Φ/Β μονάδα, με δεδομένες τις μετρήσεις ηλιοφάνειας που επισυνάπτονται παρακάτω και έχουν ληφθεί από την επίσημη πηγή πληροφοριών της Ευρωπαϊκής Ένωσης PVGIS (Γεωγραφικό Σύστημα Πληροφοριών για Φωτοβολταϊκά Συστήματα – Photovoltaic (PV) Geographical Information System), καθώς και τη χρήση των εξειδικευμένων εφαρμογών λογισμικού Α.Π.Ε., όπως το PV3 της Ret Screen International, σε συνδυασμό με χρήση φωτοβολταϊκών στοιχείων τύπου HIT-HDE4 (240W), κατασκευής SANYO, υπολογίζεται ετήσια παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας ανά 1KWp (**1474 KWh**) ετησίως.

Άρα το πάρκο θα παράγει ετησίως χωρίς τις απώλειες  $399,84 * 1474 \text{ KWh} = \mathbf{589364 \text{ KWh}}$

<b>ΕΤΗΣΙΑ ΕΣΟΔΑ Φ/Β ΣΤΑΘΜΟΥ</b>	
Εκτιμώμενη παραγωγή	589364 KWh
Απώλειες στο DC καλώδιο	590 KWh
Απώλειες στο AC καλώδιο 5*10mm <sup>2</sup>	2800 KWh
Απώλειες στο AC καλώδιο 3*185mm <sup>2</sup> +95mm <sup>2</sup> & 3*150+70mm <sup>2</sup>	1225 KWh
Απώλειες στους αντιστροφείς	13560 KWh
Απώλειες στο μετασχηματιστή	12000 KWh
<b>Ετήσια παραγωγή ενέργειας</b>	<b>559189 KWh</b>
<b>Ετήσια έσοδα από την πώληση της ενέργειας</b>	<b>186.662 €</b>

Για τα ετησία έσοδα σε εύρο από την πώληση της ενέργειας βλέπουμε από τον πίνακα (2) του κεφαλαίου 9, πόσο πουλιόταν η κιλοβατώρα την περίοδο που υπογράφηκε η σύμβαση με τη ΔΕΣΜΗΕ.

Η σύμβαση υπογράφηκε τον Φεβρουάριο του 2012 με τιμή πώλησης τις κιλοβατώρας 0,33381 €

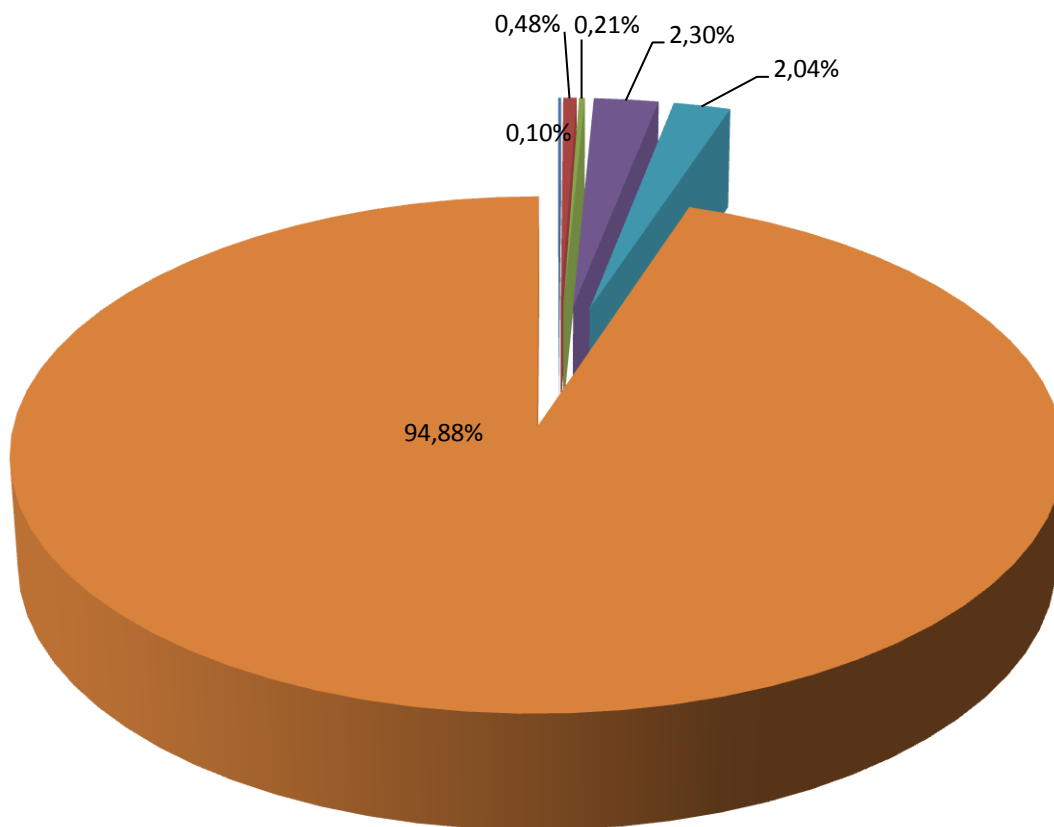
Άρα τα ετησία έσοδα είναι:  $\mathbf{0,33381 \text{ €} * 559189 \text{ KWh} = 186662 \text{ €}}$

Επόμενος με βάση τα ετησία έσοδα και εξάδα, θα γίνει απόσβεση του συνολικού κόστους εγκατάστασης σε πεντέμισι χρονιά περίπου.

Παρακάτω φαίνεται το σχήμα ετησίας παράγωγης ενέργειας και οι απώλειες του φωτοβολταϊκού σταθμού.

### Ετήσια παραγωγή ενέργειας και απώλειες

- Απώλειες στο DC καλώδιο (590KWh)
- Απώλειες στο AC καλώδιο 5\*10mm<sup>2</sup> (2800 KWh)
- Απώλειες στο AC καλώδιο 3\*185mm<sup>2</sup>+95mm<sup>2</sup> & 3\*150+70mm<sup>2</sup> (1225 KWh)
- Απώλειες στους αντιστροφείς (13560 KWh)
- Απώλειες στο μετασχηματιστή (12000 KWh)
- Ετήσια παραγόμενη ενέργεια προς πώληση (559189 KWh)



# Υπολογισμός ετησίας παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας



Photovoltaic Geographical Information System

European Commission  
Joint Research Centre  
Ispra, Italy

## Incident global irradiation for the chosen location

Location: 38°15'5" North, 22°6'34" East, Elevation: 12 m a.s.l.,

Optimal inclination angle is: 28 degrees

Annual irradiation deficit due to shadowing (horizontal): 0.0 %

Month	Hh	Hopt	H(90)	lopt	TD	NDD
Jan	1690	2320	2200	56	8.7	0
Feb	2280	2850	2390	48	9.4	0
Mar	3470	4010	2840	37	11.2	0
Apr	4900	5220	2900	25	14.4	0
May	5910	5850	2530	13	19.5	0
Jun	6760	6450	2340	6	23.8	0
Jul	6560	6370	2480	9	25.7	0
Aug	5880	6110	3020	20	25.8	0
Sep	4580	5280	3470	35	22.2	0
Oct	3040	3830	3110	47	18.2	0
Nov	1880	2510	2310	54	13.7	0
Dec	1410	1930	1850	57	10.2	0
Year	4040	4400	2620	28	16.9	0

Hh: Irradiation on horizontal plane (Wh/m<sup>2</sup>)

Hopt: Irradiation on optimally inclined plane (Wh/m<sup>2</sup>)

H(90): Irradiation on plane at angle: 90deg. (Wh/m<sup>2</sup>)

lopt: Optimal inclination (deg.)

TD: Average daytime temperature (°C)

NDD: Number of heating degree-days (-)

**JRC** Photovoltaic Geographical Information System - Interactive Maps

EUROPA > EC > JRC > IES > RE > SOLAREC > PVGIS > Interactive maps >

Cursor position: 38.240, 22.149  
Selected position: 38.251, 22.110

Search: αιγίο

Location: 38°15'5" North, 22°6'34" East, Elevation: 12 m a.s.l.  
Optimal inclination angle is: 28 degrees  
Annual irradiation deficit due to shadowing (horizontal): 0.0 %

Month	$H_h$	$H_{opt}$	$H(90)$	$I_{opt}$	$T_D$	$N_{DD}$
Jan	1690	2320	2200	56	8.7	0
Feb	2280	2850	2390	48	9.4	0
Mar	3470	4010	2840	37	11.2	0
Apr	4900	5220	2900	25	14.4	0
May	5910	5850	2530	13	19.5	0
Jun	6760	6450	2340	6	23.8	0
Jul	6560	6370	2480	9	25.7	0
Aug	5880	6110	3020	20	25.8	0
Sep	4580	5280	3470	35	22.2	0
Oct	3040	3830	3110	47	18.2	0
Nov	1880	2510	2310	54	13.7	0
Dec	1410	1930	1850	57	10.2	0
Year	4040	4400	2620	28	16.9	0

$H_h$ : Irradiation on horizontal plane ( $Wh/m^2$ )  
 $H_{opt}$ : Irradiation on optimally inclined plane ( $Wh/m^2$ )  
 $H(90)$ : Irradiation on plane at angle: 90deg. ( $Wh/m^2$ )  
 $I_{opt}$ : Optimal inclination (deg)  
 $T_D$ : Average daytime temperature ( $^{\circ}C$ )  
 $N_{DD}$ : Number of heating degree-days (-)

PVGIS © European Communities, 2001-2010  
Reproduction is authorised, provided the source is acknowledged

Τα δύο σημαντικά στοιχεία ( $T_D$ =μέση ημερήσια θερμοκρασία &  $H_h$ =ακτινοβολία σε οριζόντιο επίπεδο) που παίρνουμε από την ιστοσελίδα του PVGIS τα καταχωρούμε στις κατάλληλες στήλες του RETScreen μαζί με την απόδοση  $\phi/\beta$  πλαισίου και γεωγραφικό πλάτος περιοχής για να μας δώσει την ενεργειακή απόδοση ( $KWh/KWp$ ) το χρόνο.

Site Conditions		Estimate	Notes/Range
Project name		400KW ΑΙΓΙΟ	<a href="#">See Online Manual</a>
Project location		ΠΑΘΜΕΝΟ	
Nearest location for weather data	-	ΑΙΓΙΟΥ	→ <a href="#">Complete SR&amp;SL sheet</a>
Latitude of project location	°N	38,3	-90.0 to 90.0
Annual solar radiation (tilted surface)	MWh/m <sup>2</sup>	1,57	
Annual average temperature	°C	16,9	-20.0 to 30.0

System Characteristics		Estimate	Notes/Range
Application type	-	On-grid	
Grid type	-	Central-grid	
PV energy absorption rate	%	100,0%	
<b>PV Array</b>			
PV module type	-	User-defined	
PV module manufacturer / model #		SANYO HIT-HDE4 240W	<a href="#">See Product Database</a>
Nominal PV module efficiency	%	17,3%	4.0% to 15.0%
NOCT	°C	45	40 to 55
PV temperature coefficient	% / °C	0,47%	0.10% to 0.50%
Miscellaneous PV array losses	%	0,0%	0.0% to 20.0%
Nominal PV array power	kWp	1,00	
PV array area	m <sup>2</sup>	5,8	
<b>Power Conditioning</b>			
Average inverter efficiency	%	100%	80% to 95%
Suggested inverter (DC to AC) capacity	kW (AC)	1,0	
Inverter capacity	kW (AC)	1,0	
Miscellaneous power conditioning losses	%	0%	0% to 10%

Annual Energy Production (12,00 months analysed)		Estimate	Notes/Range
Specific yield	kWh/m <sup>2</sup>	254,9	
Overall PV system efficiency	%	16,2%	
PV system capacity factor	%	16,8%	
Renewable energy collected	MWh	1,474	
Renewable energy delivered	MWh	1,474	
	kWh	1,474	
Excess RE available	MWh	0,000	<a href="#">Complete Cost Analysis sheet</a>

### 9.3 Κόστος κατασκευής Φ/Β σταθμού με κεντρικό αντιστροφέα SMA SC 400MV των 400KW.

Στον παρακάτω αναλυτικό πίνακα οι περισσότερες τιμές είναι ρεαλιστικές τιμές.

A/A	Περιγραφή εξοπλισμού	Ποσότητα	Μονάδες	Τιμή μονάδας	Κόστος (€)
1	Φ/Β πάνελ υψηλής απόδοσης της εταιρείας SANYO τύπου HIT-240HDE4 Υβριδικού μονοκρυσταλλικού τύπου	1666	τεμ	374 €	623.084 €
2	Αντιστροφέας SMA Sunny Central SC 400MV-11 με Inverter HE (High Efficiency) της SMA και υποσταθμό μέσης τάση	1	τεμ	142.000 €	142.000 €
3	SMA Sunny String Monitor SSM	14	τεμ	2.000 €	28.000 €
4	Σύστημα στήριξης των Φ/Β πλαισίων της εταιρείας SCHLETTER τύπου FS2V(σταθερή στήριξη αρθρωτών βάσεων) + τοποθέτηση	400	KW	200 €	80.000 €
5	DC Καλώδιο Φ/Β πλαισίων Radox μονού πύρινα 6,0mm <sup>2</sup>	2500	m	1,15 €	2.875 €

6	Καλώδιο DC Huber+suner 35mm <sup>2</sup> - από διατάξεις παραλληλισμού προς τους πίνακες DC	550	m	6,40 €	3.520 €
7	Καλώδιο Huber+suhner μονού πύρινα 300mm <sup>2</sup> - από τους πίνακες DC προς τον Inverter	100	m	76 €	7.600 €
8	Καλώδιο μέσης τάσης N2XSY 35mm <sup>2</sup>	81	m	8 €	6480 €
9	Καλώδιο LiYCY	750	m	1,62 €	1.215 €
10	Καλώδιο UTP	200	m	0,55 €	110 €
11	Πίνακες DC για τη διασύνδεση των SSM με τις μπάρες DC του αντιστροφέα (μικροαυτοματους διακοπτες, διακόπτη φορτίου ,κτλ)	2	τεμ	2.500 €	5.000 €
12	<b>Σύστημα γείωσης – ισοδυναμικών συνδέσεων εγκατάστασης.</b> Ταινία 30 x 3,5mm St/tZn ,Ορθοστάτες ταινίας,Σφικτήρες 30/30 St/tZn, Αγωγός Φ8 St/tZn , Σφικτήρες Φ8/30 St/tZn, Σύνδεσμος μετ. Επιφ. Τύπου (S) με μονό σφικτήρα 6-10mm St/tZn, Ηλεκτρόδιο Φ14 x 1500mm St/Cu (250μm), Σφικτήρες Φ16/30 St/St (V4A), Μονωτική ταινία, Ισοδυναμικός ζυγός.	1	τεμ	3.000 €	3.000 €
13	<b>Απομονωμένο σύστημα αντικεραυνικής προστασίας.</b> Ακίδα Φ16/Φ10 x 3000 mm AlMgSi, Τραβέρσα στήρ. ακίδας Φ16 x 1000mm, Βάση στήριξης ακίδας 17 kg, Σφικτήρας Φ16/Φ8 St/tZn	1	τεμ	2.300 €	2.300 €
14	<b>Γείωση Υ/Σ .</b> Ταινία 30 x 3,5mm St/tZn, Ορθοστάτες ταινίας, Σφικτήρες 30/30 St/tZn, Σφικτήρες 30/30 St/St (V4A), Ισοδυναμικός ζυγός	1	τεμ	250 €	250 €
15	<b>Αντικεραυνική προστασία Υ/Σ.</b> Ακίδα Φ16/Φ10 x 1500 mm AlMgSi, Κλασσικό στήριγμα Φ16 St/St, Αγωγός Φ8 St/tZn, Στήριγμα αγωγού Φ8 plastic, Λύομενος σφικτήρας Φ8/Φ8 St/tZn, Σφικτήρες Φ8/30 St/tZn, Σφικτήρες Φ8/Φ8 St/tZn	1	τεμ	200 €	200 €
16	<b>Προστασία από κρουστικές υπερτάσεις - Επικοινωνία inverter RS 485.</b> DEHN DCO RK MD HF 5V, Covering plate	1	τεμ	2.700 €	2.700 €
17	Προστασία από κρουστικές υπερτάσεις - Τηλεφωνικό δίκτυο	1	τεμ	130 €	130 €

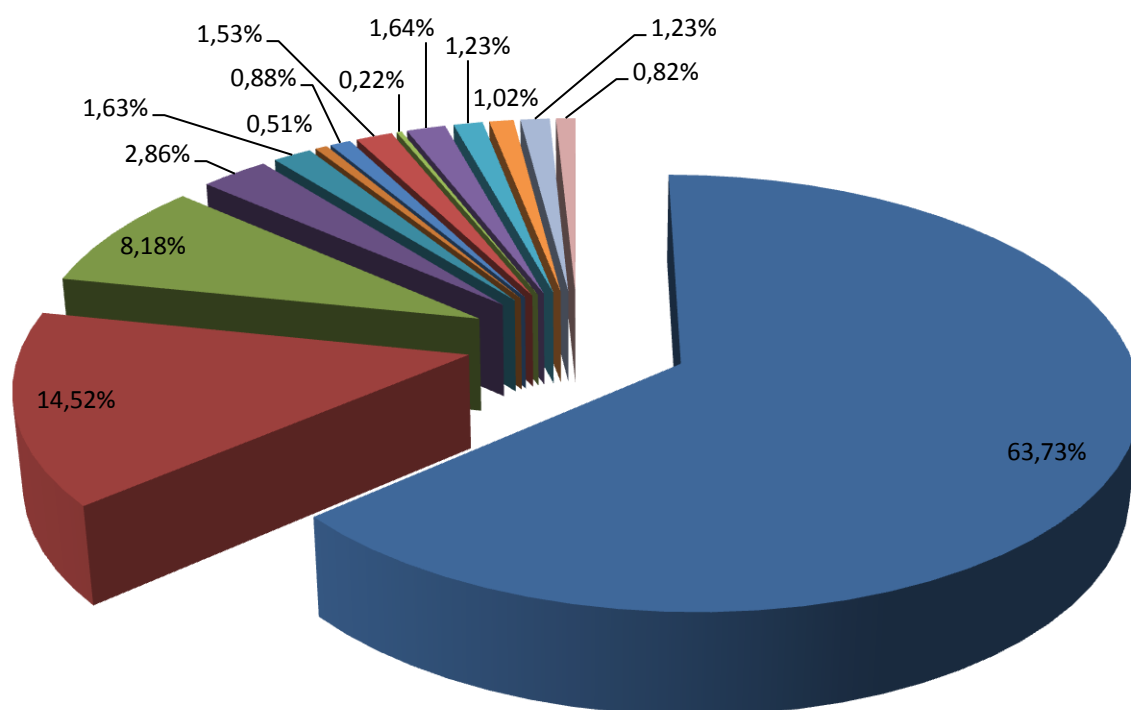
18	Έλεγχος και παρακολούθηση απομακρυσμένης λειτουργίας σταθμού.(καταγραφικά μηχανήματα, ελεγκτές, αισθητήρες, κάμερες κτλ) + εγκατάσταση	1	τεμ	15.000 €	15.000 €
19	Σωλήνες PVC εντός χαντακιών φ110mm & φ 70mm	120 & 450	m	4,50 & 3,50 €	2.120 €
20	Έργα πολιτικού μηχανικού (Περίφραξη, διαμόρφωση χώρου, σημεία τοποθέτησης βάσεων, σκυροδετήσεις,διάνοιξη και επίχωση χαντακιών, κτλ)				16.000 €
21	Κόστος εγκατάστασης καλωδίων DC,AC, Μέσης τάσης, τηλεπικοινωνιών)				5.000 €
22	Εγκατάσταση γείωσης, αντικεραυνικής προστασίας και προστασία από υπερτάσεις.				3.000 €
23	Τοποθέτηση και σύνδεση Φ/Β πλαισίων, inverter, πινάκων DC.				4.500 €
24	Διάφορες δαπάνες ( δόκιμες, επίβλεψη, μελέτες, αδειοδότηση.)				10.000 €
25	Κόστος Έργων ΔΕΗ				12.000 €
26	Μεταφορικά κόστη				8.000 €
<b>Συνολικό κόστος εγκατάστασης</b>					<b>984.084 €</b>

Παρακάτω φαίνεται το σχήμα με το κάθε κόστος σαν ποσοστό του συνολικού κόστους κατασκευής του φωτοβολταϊκού σταθμού με central inverters.



## Καταμερισμός κόστους φ/β σταθμου με Central inverter SMA SC 400MV

■ Φ/Β Πλαίσια (63,73%)	■ Αντιστροφέας Central 400MV-11 (14,52%)
■ Σύστημα στήριξης των Φ/Β πλαισίων (8,18%)	■ SMA Sunny String Monitor SSM (2,86%)
■ Καλώδια DC&AC (1,63%)	■ Πίνακες DC (0,51%)
■ Γείωση και αντικεραυνική προστασία (0,88%)	■ Έλεγχος και παρακολούθηση Φ/Β σταθμού (1,53%)
■ Σωλήνες PVC εντός χαντακιών (0,22%)	■ Έργα πολιτικού μηχανικού (1,64%)
■ Ηλεκτρολογική εγκατάσταση του σταθμού (1,23%)	■ Διάφορες δαπάνες (1,02%)
■ Κόστος Έργων ΔΕΗ (1,23%)	■ Μεταφορικά κόστη (0,82%)



Έκτος από το κόστος εγκατάστασης υπάρχουν και τα ετησία έξοδα λειτουργίας του σταθμού τα όποια ανέρχονται στα 14.000 €

Για να βρούμε τα ετησία έσοδα του σταθμού από την πώληση της ηλεκτρικής ενέργειας πρέπει πρώτα να βρούμε την ετησία παράγωγη ενέργειας έχοντας αφαιρέσει της απώλειες.

Η εγκατεστημένη ισχύς του πάρκου είναι 399,84 KW.

Για τον υπολογισμό της ετήσια παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας από τη Φ/Β μονάδα, με δεδομένες τις μετρήσεις ηλιοφάνειας που επισυνάπτονται παρακάτω και έχουν ληφθεί από την επίσημη πηγή πληροφοριών της Ευρωπαϊκής Ένωσης PVGIS (Γεωγραφικό Σύστημα Πληροφοριών για Φωτοβολταϊκά Συστήματα – Photovoltaic (PV) Geographical Information System), καθώς και τη χρήση των εξειδικευμένων εφαρμογών λογισμικού Α.Π.Ε., όπως το PV3 της Ret Screen International, σε συνδιασμό με χρήση φωτοβολταϊκών στοιχείων τύπου HIT-HDE4 (240W), κατασκευής SANYO, υπολογίζεται ετήσια παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας ανά 1KWp (**1474 KWh**) ετησίως.

Άρα το πάρκο θα παράγει ετησίως χωρίς τις απώλειες  $399,84 * 1474 \text{ KWh} = \mathbf{589364 \text{ KWh}}$

<b>ΕΤΗΣΙΑ ΕΣΟΔΑ Φ/Β ΣΤΑΘΜΟΥ</b>	
Εκτιμώμενη παραγωγή	589364 KWh
Απώλειες στο DC καλώδιο 6mm <sup>2</sup> & 35mm <sup>2</sup>	1920 KWh
Απώλειες στο καλώδιο πινάκων DC με τον αντιστροφέα 300mm <sup>2</sup>	1250 KWh
Απώλειες στον αντιστροφέα + μετασχηματιστή	14780 KWh
<b>Ετήσια παραγόμενη ενέργεια προς πώληση</b>	<b>571414 KWh</b>
<b>Ετήσια έσοδα από την πώληση της ενέργειας</b>	<b>190.743 €</b>

Για τα ετησία έσοδα σε ευρώ από την πώληση της ενεργείας βλέπουμε από τον πίνακα (2) του κεφαλαίου 9, πόσο πουλιόταν η κιλοβατώρα την περίοδο που υπογράφηκε η σύμβαση με τη ΔΕΣΜΗΕ.

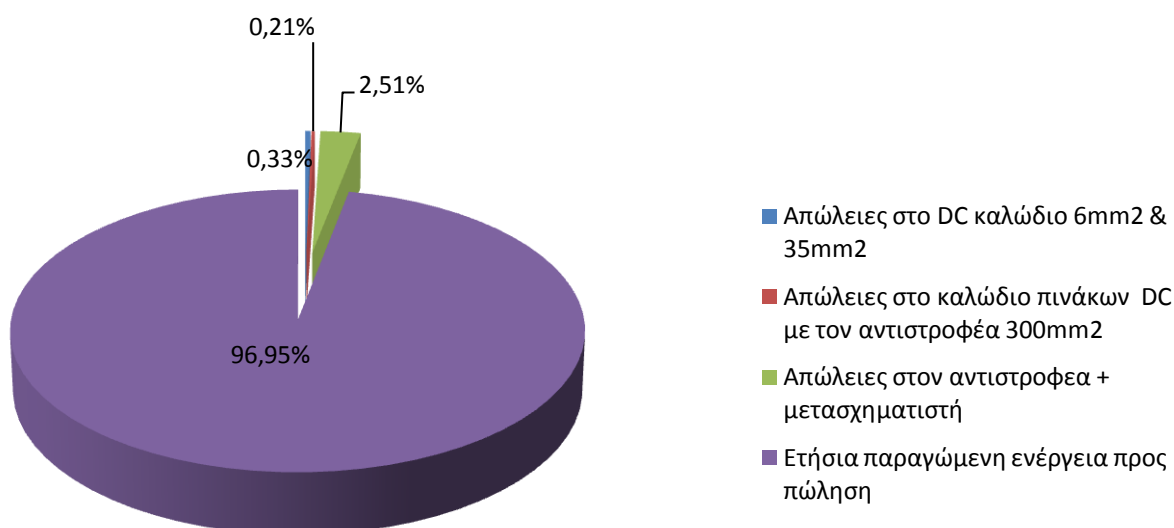
Η σύμβαση υπογράφηκε τον Φεβρουάριο του 2012 με τιμή πώλησης τις κιλοβατώρας 0,33381 €

Άρα τα ετησία έσοδα είναι:  $\mathbf{0,33381 \text{ €} * 571414 \text{ KWh} = 190743 \text{ €}}$

Επόμενος με βάση τα ετησία έσοδα και εξάδα, θα γίνει απόσβεση του συνολικού κόστους εγκατάστασης σε περίπου πεντέμισι χρόνια.

Παρακάτω φαίνεται το σχήμα ετησίας παράγωγης ενεργείας και οι απώλειες του φωτοβολταϊκού σταθμού.

## Ετήσια παραγωγή ενέργειας και απώλειες



### 9.4 Συμπεράσματα

Από τις παραπάνω οικονομικές αναλύσεις φαίνεται ότι το κόστος κατασκευής των σταθμών εξαρτάται σημαντικά από το κόστος των φωτοβολταϊκών πλαισίων το οποίο αντιστοιχεί σε ποσοστό τουλάχιστον 64% της συνολικής εγκατάστασης. Αυτό έχει ως συνέπεια η αμξομείωση του κόστους των πλαισίων να ρυθμίζει καθοριστικά το τελικό κόστος των σταθμών. Οι String αντιστροφείς μαζί με τον υποσταθμό ανύψωσης κοστίζουν λιγότερο στο έργο μας από ότι με κεντρικό αντιστροφέα και ενσωματωμένο μετασχηματιστή στο ίδιο οικίσκο, αυτό αλλάζει σε πιο μεγάλα έργα

γιατί σε μια σειρά από central αντιστροφείς ο πιο ακριβός ανά kw είναι ο πιο μικρός της σειράς. Όσον αφορά όμως τις απώλειες ενέργειας, αυτές είναι μικρότερες σε σταθμό με central αντιστροφή των 400kW.

Σύμφωνα με τα παραπάνω προκύπτει πως μια τέτοια επένδυση, εγκατάσταση φωτοβολταϊκών, είναι δελεαστική τόσο από πλευράς προώθησης της αγοράς όσο και από πλευράς διασφάλισης του προσδοκώμενου εσόδου σε εξασφαλισμένη χρονική διάρκεια.

Η απόσβεση σε πεντέμισι χρόνια είναι τόσο ελκυστική όσο και ρεαλιστική. Με ενδεχόμενη μείωση του κόστους του εξοπλισμού και του κόστους εγκατάστασης θα έχουμε κατά πολύ μείωση του χρόνου απόσβεσης. Η μείωση του κόστους εγκατάστασης είναι επιθυμητή όταν όμως αυτή προέρχεται από διορθώσεις των τιμών στην ευρύτερη αγορά των Φωτοβολταϊκών και δεν θα πρέπει να είναι ο αυτοσκοπός του έργου.

## **Κεφάλαιο 10**

## **Συμπεράσματα**

Τα φωτοβολταϊκά συστήματα είναι μια επένδυση που απαιτεί μακρόχρονο σχεδιασμό, προσέχτηκες κινήσεις, οι προτεινόμενες λύσεις πρέπει να αξιολογούνται σε βάθος χρόνου και όχι στιγμιαία, γεγονός που μπορεί να παραπλανήσει την τελική επιλογή υλικών και μεγεθών. Η αγορά παρέχει πληθώρα υλικών που επιτρέπει την ανάπτυξη σταθμών με πολλές παραλλαγές. Η παρούσα μελέτη αφορά την εγκατάσταση ενός διασυνδεδεμένου φ/β συστήματος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας των 400kWp, η οποία έγινε με δυο διαφορετικές τοπολογίες.

Παρακάτω αναφέρουμε τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα για τις τοπολογίες που μελετηθήκαν.

### **Τοπολογία με τριφασικούς αντιστροφείς των 17kw (SMA STP 17000-TL)**

- Κάθε συστοιχία αποτελεί και μια αυτόνομη διάταξη που μπορεί να απομονωθεί από τις υπόλοιπες σε περίπτωση σφάλματος. Αυξάνεται η αξιοπιστία και η διαθεσιμότητα του σταθμού με άμεση συνέπεια την αύξηση της τελικής παραγωγής.
- Άμεση αντικατάσταση του αντιστροφέα σε περίπτωση βλάβης. Έν χρειάζεται να τεθεί εκτός λειτουργίας μεγάλο τμήμα του σταθμού. Επιπλέον δεν είναι απαραίτητη η πληρωμή ετήσιων συμβολαίων συντήρησης με την εταιρεία κατασκευής των αντιστροφέων.
- Ευκολότερος εντοπισμός και επίλυση βλαβών στα πλαίσια χωρίς την ανάγκη ύπαρξης ειδικών συσκευών κατάδειξης των σφαλμάτων.
- Απαιτείται πιο πολύπλοκος ηλεκτρολογικός εξοπλισμός στο τμήμα Χαμηλής Τάσης των Υ/Σ ελέγχου. Χρησιμοποιούνται πίνακες με πολλές αναμονές εισόδου και καθώς και ο απαραίτητος διακοπτικός εξοπλισμός σε κάθε αναμονή.
- Δύσκολη επιτήρηση του σταθμού σε περίπτωση χρήσης πολλών αντιστροφέων.
- Μεγαλύτερες απώλειες στα καλώδια Χαμηλής Τάσης.

## **Τοπολογία με κεντρικό αντιστροφέα των 400kw (SMA SC 400MV-11)**

- Γίνεται έλεγχος των ηλεκτρικών χαρακτηριστικών των στοιχειοσειρών κατά τη λειτουργία του έργου. Έτσι, αν υπάρχουν δυσλειτουργίες, αυτές καταδεικνύονται άμεσα.
- Απαιτείται λιγότερος ηλεκτρολογικός εξοπλισμός. Ο αντιστροφέας φέρει μεγάλο μέρος του διακοπτικού εξοπλισμού (διακόπτης – ασφαλειοαποζεύκτης φορτίου) καθώς και αντικεραυνικής προστασίας.
- Υπάρχει ανάγκη συντήρησης από εξειδικευμένο συνεργείο με αποτέλεσμα την αύξηση των ετήσιων εξόδων λειτουργίας του σταθμού. Επιπλέον, κατά τη διάρκεια συντήρησης ή βλάβης χάνεται μεγάλο μέρος της παραγωγής μέχρι την επαναλειτουργία της διάταξης.
- Με την κατάργηση του μετασχηματιστή χαμηλής τάσης και την ταυτόχρονη χρήση του άμορφου μετασχηματιστή, ο φορέας αξιοποίησης της εγκατάστασης εξασφαλίζει υψηλότερη απόδοση του φωτοβολταϊκού συστήματος με παράλληλη μείωση του κόστους κτήσης του μετατροπέα.

Στην εργασία αυτή γίνεται μια συνολική προσπάθεια παρουσίασης των βασικών βημάτων σχεδιασμού ενός Φ/Β σταθμού. Δεν είναι δυνατόν όμως να περιγραφούν με μεγάλη λεπτομέρεια όλα τα στάδια σε μία μόνο εργασία.

## Βιβλιογραφία

1. **Φωτοβολταϊκά συστήματα** Φραγκιαδάκης Ιωάννης.
2. **Βέλτιστος Σχεδιασμός Αυτόνομων Φωτοβολταϊκών Συστημάτων** , Κωνσταντίνος Σώρος , διδακτορική διατριβή.
3. **Εναλλακτικές Μορφές Ενέργειας** Β.Δ Μπιτζιώνης & Δ.Β Μπιτζιώνης
4. **Φωτοβολταϊκή Τεχνολογία** , Κ. Καγκαράκη , Καθηγητή Ε.Μ. Πολυτεχνείου
5. **Φωτοβολταϊκές εγκαταστάσεις** Περδίου, Σταμάτης Δ.
6. **Παραγωγή Ηλεκτρικής Ενέργειας από Ανανεώσιμες Πηγές** , Μιχ. Π. Παπαδόπουλος , Καθηγητής Ε.Μ.Π. , Αθήνα 1997
7. **Ήπιες Μορφές ενέργειας 1&2** Σωκράτης Ν. Καπλάνης
8. **Φωτοβολταϊκά Συστήματα**, Εκδόσεις Φραγκιαδάκης Ιωάννης Ε. (2004)
9. **Μηχανική των Φωτοβολταϊκών Συστημάτων**. Καπλάνης Σωκράτης Ν. (2004) ,
10. **Μετατροπή της Ηλιακής Ενέργειας σε Ηλεκτρική με Φωτοβολταϊκά Συστήματα**, Βασικές Έννοιες, Οδηγίες Σχεδιασμού, Οικονομική Βιωσιμότητα, Νεοκλέους Ανδρέας (1999)
11. **Planning and Installing Photovoltaic Systems**
12. **Οδηγός Μελέτης και Υλοποίησης Φωτοβολταϊκών Έργων**, ΤΕΕ ΤΚΜ.

## Ιστοσελίδες

1. <http://www.apetech.gr>
2. <http://www.sma-hellas.com>
3. <http://www.panasonic.net/energy/solar/hit/>
4. <http://www.schneider-electric.com/site/home/index.cfm/gr/>
5. [www.cablel.gr](http://www.cablel.gr)
6. [www.fulgor.gr](http://www.fulgor.gr)
7. [www.abb.com](http://www.abb.com)
8. [http://www.helapco.gr/Στατιστικά\\_αγοράς.html](http://www.helapco.gr/Στατιστικά_αγοράς.html)
9. <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps4/pvest.php#>
10. <http://www.retscreen.net/el/home.php>
11. <http://el.wikipedia.org>
12. <http://www.rae.gr/site/portal.csp>
13. <http://www.pvtech.gr/files/diadikasies.pdf>
14. [www.solar.com.gr](http://www.solar.com.gr)
15. [www.cres.gr](http://www.cres.gr)
16. [www.npt.gr](http://www.npt.gr)
17. <http://www.eea.europa.eu/el/pressroom/newsreleases/CLC2000-el>