



ΑΝΩΤΑΤΟ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΠΕΙΡΑΙΑ

ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΙΑΣ

*'' Οικονομοτεχνική μελέτη κατασκευής φωτοβολταϊκού  
πάρκου ισχύος 3ΜW ανεπτυγμένο στον φέροντα οργανισμό  
ποδοσφαιρικού γηπέδου (στέγαστρο) ''*



## ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Χεκιμίδης Κωνσταντίνος

Εισηγητής: Σινιόρος Παναγιώτης

Επίκουρος Καθηγητής

Επιβλέπων: Νικολής Βασίλειος

Εργαστηριακός Συνεργάτης

Πειραιάς

---

Απρίλιος 2013



ΑΝΩΤΑΤΟ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΠΕΙΡΑΙΑ

ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΙΑΣ

*'' Feasibility study of manufacturing photovoltaic park of 3MW developed on the football stadium bearing structure (canopy)''*



## ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Χεκιμίδης Κωνσταντίνος

Εισηγητής: Σινιόρος Παναγιώτης

Επίκουρος Καθηγητής

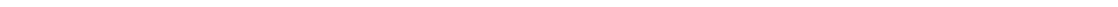
Επιβλέπων: Νικολής Βασίλειος

Εργαστηριακός Συνεργάτης

Πειραιάς

---

Απρίλιος 2013



## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

<b>ΕΙΣΑΓΩΓΗ</b> .....	σελ. 1
-----------------------	--------

<b>ΣΤΟΧΟΣ</b> .....	σελ. 2
---------------------	--------

### ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1<sup>ο</sup>

#### **ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ**

1.1 Γενικοί όροι .....	σελ. 3
1.1.1 Φωτοβολταϊκό Φαινόμενο .....	σελ. 3
1.1.2 Φωτοβολταϊκή Διάταξη .....	σελ. 4
1.2 Φωτοβολταϊκά στοιχεία Πυριτίου .....	σελ. 5
1.2.1 Φωτοβολταϊκά στοιχεία άλλων υλικών, λεπτών επιστρώσεων .. .....	σελ. 7
1.2.2 Οργανικά Φωτοβολταϊκά στοιχεία .....	σελ. 9
1.3 Τα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά του Φ/Β στοιχείου .....	σελ. 10
1.3.1 Ισοδύναμο ηλεκτρικό κύκλωμα ενός Φ/Β στοιχείου ...	σελ. 10
1.3.2 Η καμπύλη I-V ενός Φ/Β στοιχείου .....	σελ. 12
1.4 Το Φωτοβολταϊκό πλαίσιο .....	σελ. 14
1.4.1 Κατασκευαστικά στοιχεία φωτοβολταϊκού πλαισίου ..	σελ. 14
1.4.2 Συντελεστής απόδοσης του Φ/Β πλαισίου .....	σελ. 18
1.5 Το Φ/Β σύστημα .....	σελ. 21
1.5.1 Συντελεστής απόδοσης Φ/Β συστοιχίας .....	σελ. 23
1.5.2 Βασική μορφή ενός Φ/Β συστήματος .....	σελ. 26

### ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2<sup>ο</sup>

#### **ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ**

2.1 Κατηγορίες και σύνθεση Φ/Β συστημάτων .....	σελ. 29
2.2 Μετατροπείς (converters) DC-DC, DC-AC και AC-DC .....	σελ. 34
2.3 Οι ηλεκτρικοί συσσωρευτές .....	σελ. 40
2.3.1 Η ανάγκη για αποθήκευση .....	σελ. 40
2.3.2 Οι συσσωρευτές μολύβδου .....	σελ. 41
2.3.3 Η χωρητικότητα των συσσωρευτών .....	σελ. 43
2.4 Κόστος Φ/Β στοιχείων .....	σελ. 46
2.5 Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα των Φ/Β συστημάτων .	σελ. 47

---

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3<sup>ο</sup>**

### **ΜΕΛΕΤΗ ΔΙΑΣΥΝΔΕΔΕΜΕΝΟΥ Φ/Β ΣΤΑΘΜΟΥ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ 3 MWp**

3.1 Σενάριο .....	σελ. 48
3.2 Ανάλυση .....	σελ. 49
3.2.1 Κριτήρια επιλογής ισχύος .....	σελ. 49
3.2.2 Αλγόριθμος Υπολογισμού Διασυνδεδεμένου Φ/Β Σταθμού Παραγωγής Ηλεκτρικής Ενέργειας .....	σελ. 50
3.2.3 Αλγόριθμος Παραγόμενης Ηλεκτρικής Ενέργειας Φ/Β Σταθμού .....	σελ. 52
3.3 Ηλιακό Δυναμικό στην Ελλάδα .....	σελ. 53
3.4 Κύριες συσκευές Φ/Β γεννήτριας .....	σελ. 61
3.4.1 Επιλογή Φ/Β πλαισίων .....	σελ. 61
3.4.2 Συσκευή παραλληλισμού στοιχειοσειρών (combiner box) .....	σελ. 67
3.4.3 Επιλογή αντιστροφέα .....	σελ. 67
3.4.4 Βάση στήριξης συστοιχίας .....	σελ. 71
3.5 Διαδικασία σχεδίασης Φ/Β γεννήτριας .....	σελ. 74
3.5.1 Διαστασιολόγηση Φ/Β σταθμού .....	σελ. 74
3.5.2 Ανάπτυξη Φ/Β γεννήτριας σε συστοιχίες .....	σελ. 78
3.5.3 Καλωδίωση συστοιχιών .....	σελ. 82
3.6 Ηλεκτρολογική μελέτη Φ/Β σταθμού .....	σελ. 83
3.6.1 Γενική περιγραφή της τοπολογίας .....	σελ. 83
3.6.2 Καλωδίωση Φ/Β πλαισίων .....	σελ. 83
3.6.2.1 Όδευση καλωδίων-απαιτούμενο μήκος καλωδίων DC ..	σελ. 83
3.6.2.2 Τύπος καλωδίου .....	σελ. 84
3.6.3 Πτώση τάσης και απώλειες ισχύος στο καλώδιο DC ..	σελ. 85
3.6.4 Μέγιστη επιτρεπόμενη διαρκής φόρτιση καλωδίου DC ..	σελ. 86
3.6.5 Περιγραφή διάταξης παραλληλισμού (Sunny String Monitor SSM) .....	σελ. 87
3.6.6 Διασύνδεση των συστοιχιών με τους πίνακες Χαμηλής Τάσης ..	σελ. 89
3.6.7 Διασύνδεση Φ/Β συστοιχιών με τον αντιστροφέα .....	σελ. 92
3.6.7.1 Περιγραφή διάταξης .....	σελ. 92
3.6.7.2 Διάταξη προστασίας κυρίως καλωδίου DC .....	σελ. 92

---

3.6.7.3 Διασύνδεση Φ/Β γεννήτριας με τον αντιστροφέα . . . . .	σελ. 93
3.6.8 Διασύνδεση του αντιστροφέα με τον Υ/Σ ανύψωσης . .	σελ. 94
3.6.9 Περιγραφή Υ/Σ Μέσης Τάσης . . . . .	σελ. 96
3.6.9.1 Διαμέρισμα Μετασχηματιστή . . . . .	σελ. 96
3.6.9.2 Διαμέρισμα Μέσης Τάσης . . . . .	σελ. 98
3.6.10 Υ/Σ ζεύξης και ελέγχου . . . . .	σελ. 98
3.6.10.1 Γενικά στοιχεία . . . . .	σελ. 98
3.6.10.2 Διαμέρισμα Μέσης Τάσης . . . . .	σελ. 99
3.6.11 Διασύνδεση των Υ/Σ ανύψωσης – Υπόγειο Δίκτυο Μέσης Τάσης . . . . .	σελ. 101

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4<sup>ο</sup>**

### **ΣΥΣΤΗΜΑ ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗΣ ΚΑΙ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ Φ/Β ΣΤΑΘΜΟΥ**

4.1 Γενική περιγραφή . . . . .	σελ. 103
4.2 Προσφερόμενες υπηρεσίες από το σύστημα παρακολούθησης . . . . .	σελ. 104

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5<sup>ο</sup>**

<b>ΝΟΜΟΘΕΣΙΑ</b> . . . . .	σελ. 109
----------------------------	----------

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6<sup>ο</sup>**

<b>ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΚΟΣΤΟΥΣ Φ/Β ΣΤΑΘΜΟΥ</b> . . . . .	σελ. 111
---	----------

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7<sup>ο</sup>**

<b>ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑ</b> . . . . .	σελ. 116
-----------------------------	----------

<b>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ</b> . . . . .	σελ. 122
----------------------------	----------

<b>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ</b> . . . . .	σελ. 133
-------------------------------	----------

---

## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Πρώτος ο Αριστοτέλης αναφέρθηκε στην έννοια της ενέργειας και έδωσε ετυμολογικά τον ορισμό της: «Ενέργεια είναι η δύναμη η οποία εμπεριέχει ποσότητα έργου». Η ενέργεια αποτελεί τη βάση του σύγχρονου πολιτισμού. Η συνεχόμενα αυξανόμενη ζήτηση ενέργειας προκαλεί τεράστια προβλήματα στον πλανήτη, κάνοντας την αναγκαιότητα στροφής προς τις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (ΑΠΕ) επιτακτική. Ο σημερινός πολιτισμός βασίζεται στην ενέργεια, την οποία η ανθρωπότητα προσπαθεί να αντλήσει κυρίως μέσα από καύση υδρογονανθράκων και πυρηνική ενέργεια. Η παραγωγή βασικών προϊόντων και η μεταφορά τους απαιτούν ενέργεια, η οποία υπάρχει στη φύση με διάφορες μορφές ηλεκτρική, κινητική, χημική, θερμική κ.τ.λ. και είναι άφθαρτη. Η ενέργεια δηλαδή υπάρχει χωρίς να δημιουργείται ή να αναλώνεται παρά μόνο να μετατρέπεται από μια μορφή σε μια άλλη. Με την καύση για παράδειγμα η χημική ενέργεια του καυσίμου μετατρέπεται σε θερμική και η θερμική με τη σειρά της σε ηλεκτρική. Μπορούμε λοιπόν να πούμε ότι ο κόσμος μας διαθέτει μία ενέργεια η οποία παραμένει σταθερή πάντα και μέσα από τη διαδικασία αλλαγής της μορφής της καρπώνομαστε κάποιο έργο. Οι διεργασίες αυτές συμβαίνουν είτε μόνες τους στη φύση είτε μέσω της επέμβασης του ανθρώπου με τις μηχανές. Κάθε φορά όμως που η ενέργεια αλλάζει μορφή συμβαίνει και μία υποβάθμιση της, από ενέργεια υψηλής στάθμης σε ενέργεια χαμηλής στάθμης.

Κάποιοι πιστεύουν ότι η αρχή της αφθαρσίας της ενέργειας συνδυάζεται κατά κάποιο τρόπο με την αρχή της αφθαρσίας της ύλης και πιστεύουν ότι το άθροισμα τους, που αποτελεί και το σύνολο του κόσμου, είναι πάντα σταθερό. Όλες οι μορφές ενέργειας είτε αυτές βρίσκονται αυθύπαρκτες στη φύση π.χ. ηλιακή ενέργεια, είτε μετασχηματίζονται με την ανθρώπινη παρέμβαση π.χ. θερμική ενέργεια μέσω καύσης, χρησιμοποιούνται από τον άνθρωπο με σκοπό να καλύψει τις συνεχώς αυξανόμενες ανάγκες του. Οι αναπτυγμένες κυρίως χώρες του τελευταίου ενάμισι αιώνα αλλά και οι τεράστιες πληθυσμιακά αναπτυσσόμενες (Κίνα, Ινδία) τις τελευταίες δεκαετίες έχουν επιδοθεί σε μια ξέφρενη κατανάλωση των αποθεμάτων υδρογονάνθρακα του πλανήτη. Αποτέλεσμα αυτής της κατάστασης είναι η κατανάλωση ήδη του 55% περίπου των πιο εύκολα εξορύσσιμων των αποθεμάτων, καθώς

επίσης και την δημιουργία τεράστιων και αλυσιδωτών περιβαλλοντολογικών προβλημάτων. Η εξέλιξη αυτή δημιουργεί επίσης αλληπάλληλες ενεργειακές κρίσεις και εντάσεις ανάμεσα στα κράτη που παράγουν υδρογονάνθρακες και στα κράτη που τους καταναλώνουν. Η διατάραξη της ισορροπίας του πλανήτη και το φαινόμενο του θερμοκηπίου έχουν οδηγήσει σε μεγάλη περιβαλλοντολογική υποβάθμιση την χλωρίδα και την πανίδα της Γης, είδη της οποίας εξαφανίζονται καθημερινά, δημιουργώντας τις προϋποθέσεις για την μελλοντική δική μας εξαφάνιση. Για τους παραπάνω λόγους οι περισσότερες χώρες, κυρίως οι δυτικά αναπτυγμένες, τα τελευταία χρόνια προσπαθούν – δειλά θα έλεγα – να προωθήσουν ενεργειακές τεχνολογίες φιλικές προς το περιβάλλον. Η Ευρώπη για παράδειγμα προωθεί όλο και πιο επιτακτικά την μείωση της εξάρτησής της από το πετρέλαιο και την μείωση της κλιματικής αλλαγής. Το 1997 η Ευρώπη έθεσε σαν στόχο ένα φιλόδοξο για την εποχή πλάνο για μερίδιο των ΑΠΕ στο σύνολο της ενέργειας 12% έως το 2012. Με την είσοδο νέων μελών στην Ευρωπαϊκή Ένωση κάθε νέο μέλος ήταν υποχρεωμένο να αποδέχεται αυτήν την οδηγία. Το αμέσως επόμενο σκαλοπάτι του στόχου ήταν ότι το 2020 η Ευρώπη θα αντλεί το 20% της ενέργειάς της μέσα από ΑΠΕ. Οι δύο αυτοί στόχοι έχουν υπερκαλυφθεί ήδη καθώς το 2010 το ποσοστό είχε φτάσει το 21%. Τελικά θα πρέπει να αποφασίσουμε αν θα καταναλώσουμε δεσποτικά τον πλανήτη και την φύση του ή θα αποτελέσουμε μέρος αυτού του συνόλου. Πιστός στη δεύτερη άποψη θα προσπαθήσω να δημιουργήσω έναν αθλητικό χώρο, ένα ποδοσφαιρικό γήπεδο πιο συγκεκριμένα, με ενεργειακή αυτάρκεια που θα καλύπτεται από ΑΠΕ.

## **ΣΤΟΧΟΣ**

Στόχος αυτής της προσπάθειάς μου είναι να δημιουργήσω μία φωτοβολταϊκή εγκατάσταση παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας η οποία θα καλύπτει τις ανάγκες ενός ποδοσφαιρικού γηπέδου ή ενός σταδίου. Η χωρητικότητά του θα είναι τουλάχιστον 35.000 θέσεων και η κατανάλωσή του σε πλήρη λειτουργία θα είναι περίπου 2,4 GWh ετησίως. Πιο συγκεκριμένα, θα δημιουργήσω ένα Φ/Β πάρκο στην στέγη του γηπέδου διασυνδεδεμένο με το δίκτυο της Δ.Ε.Η που θα υπερκαλύπτει τις ανάγκες του γηπέδου καθώς θα φτάνει τις 4 GWh περίπου ετησίως.



## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1<sup>ο</sup>**

### **ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ**

Το φωτοβολταϊκό (Φ/Β) φαινόμενο παρατηρήθηκε αρχικά το 1839, από τον πειραματικό Φυσικό Edmund Becquerel, σε ηλεκτρολυτικά υγρά. Χρειάστηκε να περάσουν περισσότερο από εκατό χρόνια παρατηρήσεων και πειραματικών προσπαθειών ώστε να αναδειχθεί η σημασία και ο ρόλος του φαινομένου αυτού καθώς και η αξιοποίησή του για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

Η πρώτη Φ/Β κυψελίδα κρυσταλλικού Πυριτίου, με επαφή ημιαγωγών, με απόδοση 4,5% κατασκευάστηκε το 1954 ενώ μερικούς μήνες μετά από τους D.M. Chapin, C.S. Fuller και G.L. Pearson κατασκευάστηκε με απόδοση 6%. Από τότε όλες οι προσπάθειες που έγιναν είχαν ως στόχο την δημιουργία Φ/Β στοιχείων υψηλής και σταθερής απόδοσης. Σήμερα η τεχνολογία των Φ/Β συστοιχιών έχει ωριμάσει αρκετά γεγονός το οποίο προδιαγράφει με σιγουριά την ευρεία διείσδυσή τους, την τρέχουσα δεκαετία, στο ενεργειακό δυναμικό κάθε χώρας. Τα κύρια χαρακτηριστικά αυτής της πηγής ενέργειας είναι η αέναη, αποδοτική και εξαιρετικά ήπια και φιλική προς το περιβάλλον παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

#### **1.1 ΓΕΝΙΚΟΙ ΟΡΟΙ [Παραπομπή Βιβλιογραφίας Αρ.1]**

##### **1.1.1 Φωτοβολταϊκό Φαινόμενο**

Το φως παράγει “ελεύθερα” ηλεκτρόνια και οπές σ’ όλο το εύρος των δύο σε επαφή ημιαγωγών. Όσα από αυτά δημιουργούνται μέσα και κοντά στην επαφή των υλικών, προωθούνται από το εσωτερικό ηλεκτρικό πεδίο της επαφής, στα δύο άκρα της διάταξης, αντίστοιχα. Ο ρυθμός με τον οποίο παράγονται οι ελεύθεροι φορείς είναι τέτοιος ώστε το ηλεκτρικό ρεύμα και η ηλεκτρική τάση στα άκρα του Φ/Β στοιχείου να διατηρούνται σε πρακτικά αξιοποιήσιμα επίπεδα, όσον αφορά την ηλεκτρική ισχύ που προσφέρεται στον καταναλωτή. Οπότε, το Φ/Β στοιχείο εμφανίζει χαρακτηριστικά πηγής ενέργειας, κατάλληλης για τροφοδοσία συνηθισμένων ηλεκτρικών εφαρμογών. Συμπερασματικά, η συνεργασία των δύο παραπάνω παραγόντων, δηλαδή του ενδογενούς

ηλεκτρικού πεδίου των δύο σε επαφή φωτοαγώγιμων υλικών και του φωτός, δημιουργεί το φωτοβολταϊκό φαινόμενο.

### **Επαφή υλικών + φώς = Φωτοβολταϊκό φαινόμενο**

#### **1.1.2 Φωτοβολταϊκή Διάταξη [Παραπομπή Βιβλιογραφίας Αρ.1]**

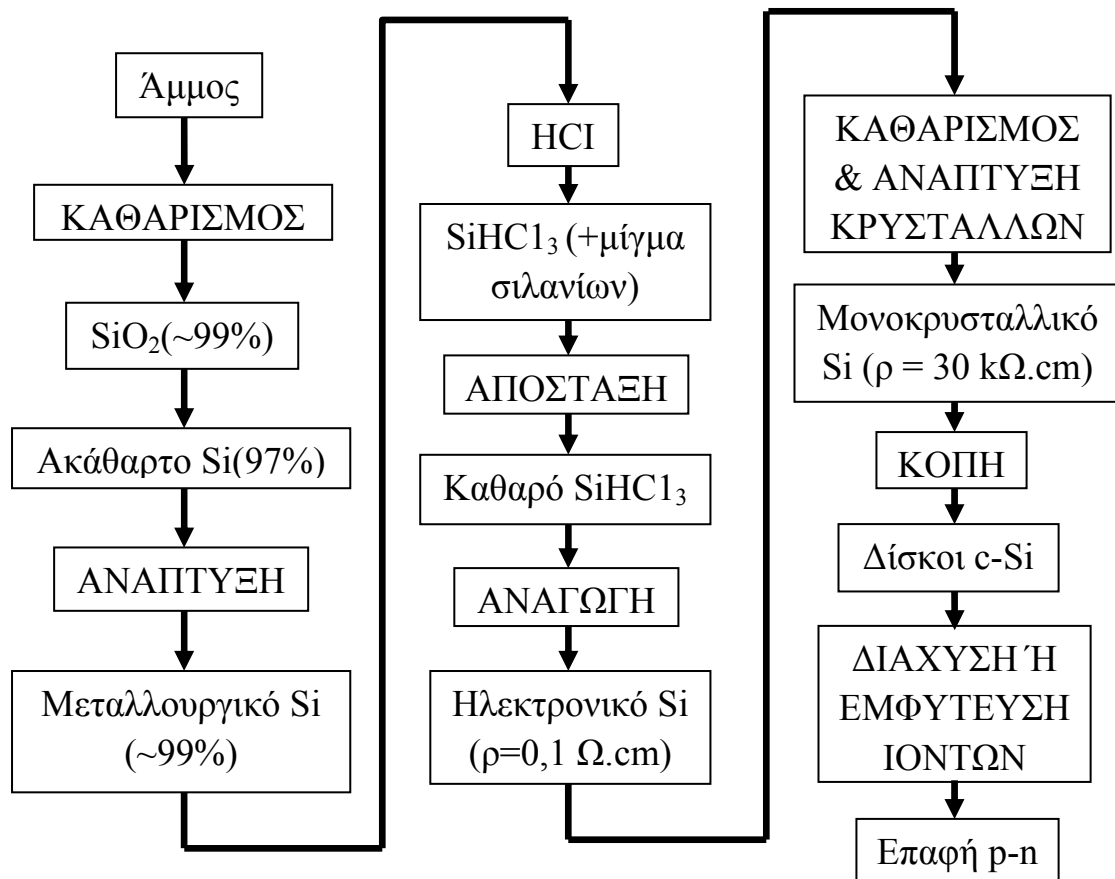
Πολλά είναι τα Φ/Β στοιχεία που συνδέονται σε σειρά. Αυτό συμβαίνει γιατί όταν η διάταξη αυτή φωτίζεται να προκύψει η συνολική τάση του ανοικτού κυκλώματος (*Open circuit*). Η επιλογή του πλήθους των Φ/Β στοιχείων γίνεται έτσι ώστε να ταιριάζει με την απαιτούμενη τάση φόρτισης ενός απλού ηλεκτρικού συσσωρευτή μολύβδου-θειικού οξέως (Pb/H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>).

Η ολοκληρωμένη αυτή φωτοβολταϊκή διάταξη ονομάζεται *φωτοβολταϊκό πλαίσιο (module)*, αποτελεί δε τη βασική μονάδα σύνθεσης μεγαλύτερων συστημάτων, που ονομάζονται *συστοιχίες*. Πιο σπάνια χρησιμοποιείται η έννοια *φωτοβολταϊκή γεννήτρια (Photovoltaic generator)*, όταν αναφερόμαστε στο κύριο τμήμα του Φ/Β σταθμού, το οποίο παράγει τη Φ/Β ηλεκτρική ενέργεια. Η μπροστινή επιφάνεια του πλαισίου προστατεύεται από γυάλινη πλάκα, ενώ η πίσω πλευρά καλύπτεται από υγρομονωτική ουσία, υψηλής αντοχής στο χρόνο.

Η ηλεκτρική ισχύς που αποδίδει ένα Φ/Β πλαίσιο, υπό δεδομένη πυκνότητα ισχύος ηλιακής ακτινοβολίας, μπορεί να πάρει μέγιστη τιμή, όταν συνδεθεί στα άκρα του καταναλωτής κατάλληλης αντίστασης. Η μέγιστη ισχύς σε συγκεκριμένες συνθήκες ηλιακής ακτινοβολίας και θερμοκρασίας Φ/Β στοιχείου (πρότυπες συνθήκες), αποτελεί ένα από τα βασικά χαρακτηριστικά του και ονομάζεται *ισχύς αιχμής*. Στο εμπόριο υπάρχουν Φ/Β πλαίσια κρυσταλλικού πυριτίου σε μεγάλη περιοχή τιμών της ισχύς αιχμής. Μικρές κατασκευές Φ/Β στοιχείων, μερικών  $W_p$ , χρησιμοποιούνται σε εφαρμογές που δεν χρειάζονται υψηλή ηλεκτρική ισχύ. Σε εφαρμογές αυτόνομων ή συνδεδεμένων στο δίκτυο της ΔΕΗ, Φ/Β συστημάτων, χρησιμοποιούνται συνήθως Φ/Β πλαίσια ισχύος αιχμής από 30 έως 200  $W_p$ .

## 1.2 ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΠΥΡΙΤΙΟΥ [Παραπομπή Βιβλιογραφίας Αρ.1]

Το υλικό, που στη βιομηχανία Φ/Β κυψελίδων χρησιμοποιείται κατά κόρον, είναι το Πυρίτιο (Si), του οποίου οι διαδοχικές εργασίες καθαρισμού της πρώτης ύλης, της άμμου, παρουσιάζονται στο Σχήμα 1.1:

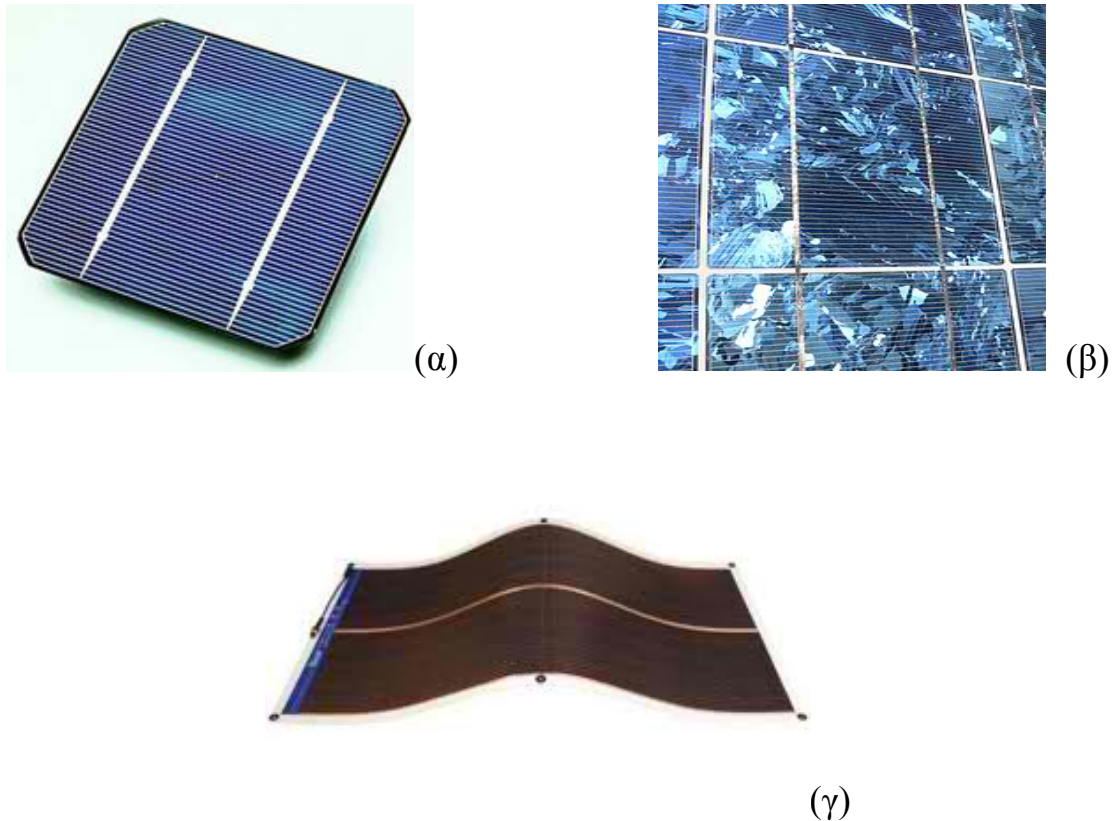


*Σχήμα 1.1 Διάγραμμα ροής εργασιών παραγωγής ηλεκτρονικά καθαρού πυριτίου, με τη μορφή κυλίνδρου, με πρώτη ύλη την άμμο [1]*

Στην άμμο το πυρίτιο περιέχεται με τη μορφή του οξειδίου του πυριτίου (SiO<sub>2</sub>). Το τελικό προϊόν το οποίο προκύπτει χαρακτηρίζεται από υψηλή καθαρότητα (99,99999 %). Τα Φ/Β στοιχεία Πυριτίου διακρίνονται σε τέσσερις κατηγορίες ανάλογα με τη δομή του βασικού υλικού ή τον ξεχωριστό τρόπο παρασκευής. Οι διαφορετικοί τύποι είναι οι εξής:

1. *Φ/Β στοιχεία μονοκρυσταλλικού Πυριτίου (Single-crystal Silicon)* (Σχήμα 1.2α): Το βασικό υλικό είναι μονο-κρυσταλλικό. Το πάχος του υλικού είναι σχετικά μεγάλο (Wafer έως 300μm). Η απόδοση τους, με τη μορφή κυψελίδας, κυμαίνεται από 21% έως 24%, ενώ με τη μορφή Φ/Β πλαισίων, μεταξύ 13 έως 16%. Χαρακτηρίζονται κυρίως από υψηλό κόστος κατασκευής ενώ το χρώμα τους είναι σκούρο μπλε.
2. *Φ/Β στοιχεία πολυκρυσταλλικού Πυριτίου (Multicrystalline Silicon mc-Si)* (Σχήμα 1.2β): Χρησιμοποιούνται κυρίως σε μεγάλες επιφάνειες. Συνήθως κόβονται σε τετραγωνικής μορφής στοιχεία. Αποτελούνται από λεπτά επιστρώματα πάχους 10 έως 50 μm. Στην επιφάνεια της κυψελίδας διακρίνονται οι διαφορετικές κρυσταλλικές περιοχές. Τα όριά τους αποτελούν θέσεις παγίδευσης των φορέων. Άρα όσο μικρότερο το συνολικό μήκος των οριακών περιοχών μέσα στο δεδομένης διάστασης Φ/Β στοιχεία τόσο καλύτερη ηλεκτρική αγωγιμότητά παρουσιάζουν. Γενικά, όσο μεγαλύτερες οι διαστάσεις των μονοκρυσταλλικών περιοχών του πολυκρυσταλλικού Φ/Β στοιχείου τόσο υψηλότερη η απόδοσή του, η οποία κυμαίνεται από 17% έως 20%, σε εργαστηριακή μορφή κυψελίδας, και από 10% έως και 14% σε βιομηχανική μορφή Φ/Β πλαισίων. Χαρακτηρίζεται από σχετικά υψηλή χρονική σταθερότητα. Το κόστος κατασκευής τους είναι χαμηλότερο σε σχέση με το αντίστοιχο του μονοκρυσταλλικού πυριτίου ενώ το χρώμα τους είναι γαλάζιο.
3. *Φ/Β στοιχεία λεπτής ταινίας (Ribbon Silicon)*: Η λεπτή ταινία δημιουργείται από τηγμένο υλικό. Πολυκρυσταλλικό Πυρίτιο με απόδοση περίπου 13%. Χαρακτηρίζεται από υψηλό κόστος και, προς το παρόν, περιορισμένη βιομηχανική παραγωγή.
4. *Φ/Β στοιχεία άμορφου Πυριτίου (Amorphous ή Thin film Silicon)* (Σχήμα 1.2γ): Τεχνολογία λεπτών επιστρώσεων ή υμενίων (films), θεωρητικά πολύ χαμηλού κόστους παραγωγής λόγω της μικρής χρησιμοποιούμενης μάζας υλικού. Το λεπτό επίστρωμα σχηματίζεται πάνω σε υπόστρωμα υποστήριξης χαμηλού κόστους. Η απόδοση αυτού του τύπου Φ/Β στοιχείων μειώνεται έντονα στα αρχικά στάδια φωτισμού του στα επίπεδα 6 έως 8%. Σήμερα η τεχνολογία αυτή χρησιμοποιείται για την παρασκευή σύνθετων Φ/Β στοιχείων με διαδοχικές ενώσεις δύο ή τριών στρωμάτων με

διαφορετικό ενεργειακό χάσμα, με σκοπό την αύξηση του αξιοποιήσιμου τμήματος του ηλιακού φάσματος. Π.χ. κατασκευάζονται Φ/Β στοιχεία από κράμα Πυριτίου με Άνθρακα και Γερμάνιο, τριών επαφών, a-SiGe (έως 1,4 eV), a-SiC (1,85 eV), με σταθερή απόδοση έως 13%. Το ιδιαίτερο κατασκευαστικό χαρακτηριστικό τους είναι η δυνατότητα δημιουργίας διαδοχικών Φ/Β στοιχείων σε μεγάλες επιφάνειες Φ/Β πλαισίων.



**Σχήμα 1.2** Τύποι Φ/Β κυψελίδων α) μόνο-, β) πολύ-κρυσταλλικού και γ)άμορφου Πυριτίου. Στην τελευταία περίπτωση, δείχνονται, επίσης, διάφοροι τύποι πλαισίων αμόρφου Πυριτίου, από πολύ μικρό μέγεθος, χρησιμοποιούμενο σε υπολογιστές αριθμητικών πράξεων, μέχρι μεγάλων διαστάσεων πλαίσιο, σταθερού ή εύκαμπτου σχήματος

### 1.2.1 Φωτοβολταϊκά στοιχεία άλλων υλικών, λεπτών επιστρώσεων

Στην κατηγορία αυτή, εκτός από τα Φ/Β στοιχεία Πυριτίου λεπτής επίστρωσης (a-Si:H) τα οποία σήμερα είναι τα πιο ευρύ διαδεδομένα στον κόσμο εξαιτίας των πραγματικά αξιόλογων χαρακτηριστικών τους,

κατασκευάζονται Φ/Β στοιχεία και από άλλα υλικά. Γενικά τα Φ/Β στοιχεία αυτά παρά τα πολύ σημαντικά πλεονεκτήματά τους σε σχέση με το πυρίτιο παρουσιάζουν ακόμη μειονεκτήματα τα οποία στην καλύτερη περίπτωση περιορίζουν τη χρήση τους σε ειδικές εφαρμογές. Ο παρακάτω πίνακας παρουσιάζει τα πιο σημαντικά από αυτά τα Φ/Β στοιχεία, το καθένα με τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματά του.

**Πίνακας 1.1 Φ/Β στοιχεία λεπτών επιστρωμάτων [1]**

α/α	Βασικά υλικά Φ/Β στοιχείου	Χαρακτηριστικά	Πλεονεκτήματα	Μειονεκτήματα
1	Ετεροένωση Cu <sub>2</sub> S/CdS	Πολυκρυσταλλικό. E <sub>g</sub> =1,2eV/2,3eV Απόδοση ~ 10%	Μικρό κόστος κατασκευής	Μη σταθερής απόδοσης Φ/Β στοιχείο
2	Δισεληνοϊνδιούχος Χαλκός (CuInSe <sub>2</sub> ή CIS)	Άμεσο ενεργειακό διάκενο, υψηλή απορρόφηση σε λεπτό στρώμα. Εργαστηριακή απόδοση 12-13% Με προσθήκη Ga, βελτιώνονται τα χαρακτηριστικά του (Εργαστηριακή απόδοση: 17%). Απόδοση βιομηχανικού προϊόντος (πλαισίου): 8-11%.	Χαμηλό κόστος κατασκευής, σταθερότητα ισοδύναμη του c-Si	Χαμηλή απόδοση βιομηχανικού προϊόντος
3	Τελουριούχο Κάδμιο (CdTe)	Ιδανικό ενεργειακό διάκενο	Εξαιρετική εκμετάλλευση ηλιακού φάσματος	Μη επαναλήψιμες ιδιότητες. Δυσκολία δημιουργίας μεταλλικών επαφών
4	Αρσενικούχο Γάλλιο (GaAs)	Παρουσιάζει την υψηλότερη ενεργειακή απόδοση ~25,5%. Χρήση σε διαστημικές εφαρμογές.	Υψηλή ενεργειακή απόδοση βιομηχανικού Φ/Β πλαισίου: 22%	Υψηλό κόστος κατασκευής.

## 1.2.2 Οργανικά Φωτοβολταϊκά στοιχεία

Εκτός από την ώριμη ήδη τεχνολογία των συμβατικών Φ/Β στοιχείων, η οποία στηρίζεται στον σχηματισμό ισχυρού εσωτερικού ηλεκτρικού πεδίου μεταξύ δύο φωτοαγώγιμων ημιαγωγών, η ερευνητική προσπάθεια οδηγήθηκε στα λεγόμενα ηλεκτροχημικά ή οργανικά φωτοβολταϊκά στοιχεία. Όπως προδίδει η ονομασία τους η μετατροπή της ηλιακής ακτινοβολίας σε ηλεκτρική ενέργεια, πραγματοποιείται σε οργανικά συστήματα. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί η Φύση με το φαινόμενο της φωτοσύνθεσης. Το ηλιακό φως σε ευρύ τμήμα του φάσματος του απορροφάται από τα μόρια της οργανικής ουσίας των φύλλων των φυτών που ονομάζεται χλωροφύλλη. Ηλεκτρόνιο του οργανικού μορίου, που απορροφά ένα φωτόνιο, «ανεβαίνει» ενεργειακά στην επόμενη ενεργειακή στάθμη του μορίου και περνά σε γειτονικό πρωτεϊνικό σύμπλοκο του φύλλου, συμμετέχοντας στις αντιδράσεις που συμβαίνουν σ' αυτά, κατά τις οποίες δημιουργούνται υδρογονάνθρακες με ταυτόχρονη παραγωγή οξυγόνου.

Μια παρόμοια ηλεκτρονική διαδικασία μπορούμε να αναπαράγουμε στο εργαστήριο σε διάταξη αποτελούμενη από ηλεκτρολυτικό διάλυμα που περιέχει έγχρωμη οργανική ουσία (Dye, π.χ. χλωροφύλλη) σε επαφή με ημιαγωγό πλάκα  $\text{TiO}_2$ . Τα φωτόνια του ηλιακού φωτός απορροφώνται από τα μόρια της οργανικής ουσίας, δημιουργούμενων διεγερμένων ηλεκτρονίων σε ενεργειακή στάθμη του οργανικού μορίου που βρίσκεται υψηλότερα από τον πυθμένα της ζώνης της αγωγιμότητας του ημιαγωγού. Τα ηλεκτρόνια περνούν στον ημιαγωγό, ως ηλεκτρόνια της ζώνης αγωγιμότητάς του και καταλήγουν στο αρνητικό ηλεκτρόδιο της διάταξης. Το ηλεκτρικό κύκλωμα κλείνει, με διαφορά φορτίου από το αρνητικό ηλεκτρόδιο στα μόρια που έχασαν το ηλεκτρόνιό τους, μέσω των ιόντων του ηλεκτρολύτη (συνήθως, ιόντων  $\text{Iωδίου}$ ). Το 1961, ο Melvin Calvin δημιούργησε ένα Φ/Β στοιχείο στηριγμένο στην προηγούμενη περιγραφή, με πολύ χαμηλή απόδοση, έως 0,01%.

Το σημαντικό βήμα στον τομέα αυτό έγινε από τον Ελβετό ερευνητή Michael Graetzel, το 1991. Ο οποίος αντικατέστησε το συμπαγή ημιαγωγό  $\text{TiO}_2$ , με ίδιο, σε λεπτό διαμερισμό, ώστε να αυξάνεται η επιφάνεια επαφής των οργανικών μορίων με τον ημιαγωγό. Το αποτέλεσμα αυτού ήταν θεαματικό. Η απόδοση του

φωτοηλεκτροχημικού αυτού στοιχείου έφτασε στο 10%. Το κύριο μειονέκτημα των Φ/Β στοιχείων αυτών έγκειται στην ευπάθειά τους στο φώς και η συνακόλουθη ταχεία γήρανσή τους.

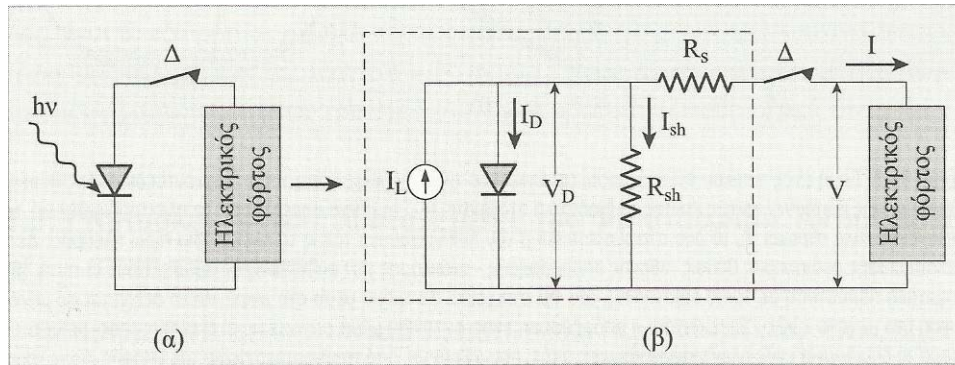
Έκτοτε, πολλά εργαστήρια ανά τον κόσμο, επικεντρώνουν την προσπάθειά τους σε δοκιμές και τροποποιήσεις που σκοπό έχουν την βελτίωση της αποδοτικότητας και του χρόνου ζωής των Φ/Β στοιχείων της νέας αυτής τεχνολογίας, με στόχο τη βιομηχανική τους παραγωγή. Για να παρακαμφθεί το μειονέκτημα της ευπάθειας των έγχρωμων ουσιών, που περιέχονται στα οργανικά Φ/Β στοιχεία, στο ηλιακό φως, προτάθηκαν λύσεις που στηρίζονται στη χρήση υλικών σύγχρονης τεχνολογίας, όπως τα πολυμερή, καθώς και ειδικών τεχνικών βελτίωσης της αντοχής των οργανικών ουσιών στη δράση του ηλιακού φωτός. Η απόδοση των πολυμερών οργανικών Φ/Β στοιχείων βρισκόταν, το 2004, στο αρκετά ικανοποιητικό επίπεδο του 4,5% (Spectrolab). Το βασικό πλεονέκτημα των Φ/Β στοιχείων αυτής της τεχνολογίας είναι το αρκετά χαμηλό κόστος παρασκευής τους, γεγονός που μας επιτρέπει να θεωρούμε δυνατή την αξιοποίησή τους ακόμα και με το μειονέκτημα του πολύ μικρότερου χρόνου ζωής τους σε σχέση με τα συμβατικά φωτοβολταϊκά στοιχεία.

### **1.3 ΤΑ ΗΛΕΚΤΡΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΟΥ Φ/Β ΣΤΟΙΧΕΙΟΥ** [Παραπομπή Βιβλιογραφίας Αρ.1]

#### **1.3.1 Ισοδύναμο ηλεκτρικό κύκλωμα ενός Φ/Β στοιχείου**

Το ισοδύναμο ηλεκτρικό κύκλωμα ενός Φ/Β στοιχείου, παρουσιάζεται στο Σχήμα 1.3β, μέσα στο πλαίσιο διακεκομμένης γραμμής. Περιλαμβάνει μια πηγή σταθερού ρεύματος ( $I_L$ ) σε συνδυασμό με μια ιδανική δίοδο. Στη συνέχεια τοποθετείται το μη ιδανικό τμήμα του Φ/Β στοιχείου, το οποίο περιλαμβάνει, αφενός, την αντίσταση απωλειών διαρροής του ρεύματος μεταξύ των άκρων του Φ/Β στοιχείου, η οποία τίθεται παράλληλα συνδεδεμένη, στα άκρα της διόδου αφετέρου, την αντίσταση απωλειών στο δρόμο ροής του ρεύματος της διόδου, που αντιπροσωπεύεται από αντίσταση συνδεδεμένη σε σειρά με την δίοδο.





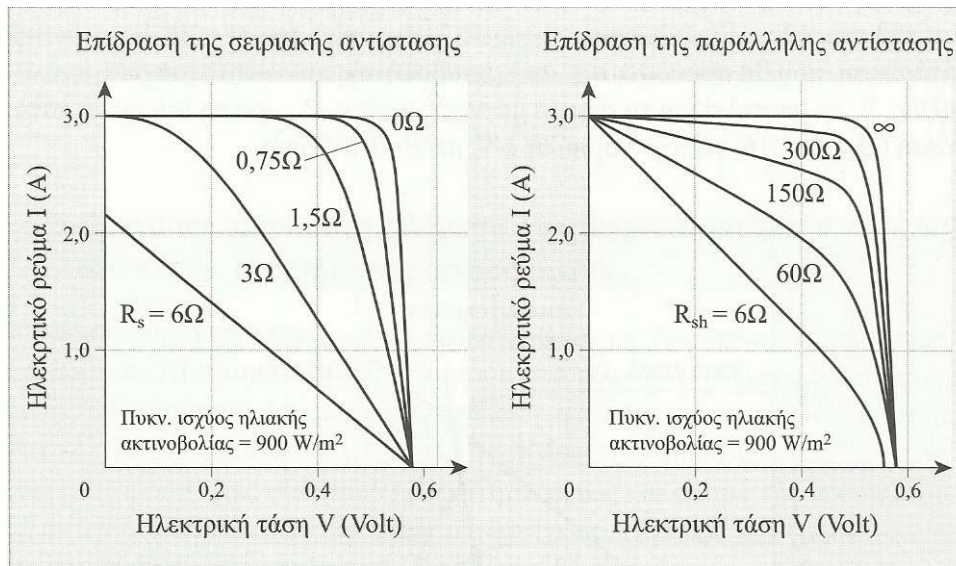
**Σχήμα 1.3 (α) Απλό και (β) πλήρες ισοδύναμο ηλεκτρικό κύκλωμα ενός Φ/Β στοιχείου. Η εσωτερική αντίσταση διαρροής της επαφής είναι η  $R_{sh}$  και η εσωτερική αντίσταση σε σειρά, η  $R_s$  [1]**

**1. Παράλληλα συνδεδεμένη αντίσταση διαρροής,  $R_{sh}$  (Shunt resistance).**

Η αντίσταση αυτή συνδέεται με την διαρροή ρεύματος μεταξύ των άκρων της επαφής p-n. Αφορά διαδρομές ρεύματος διαρροής στο εσωτερικό της επαφής p-n, μεταξύ σημείων που βρίσκονται σε διαφορά δυναμικού ίση με την τάση στα άκρα της διόδου. Αναλυτικότερα, η διαδρομές αυτές αφορούν ρεύματα:

- i. Διαμέσου του σώματος της διάταξης επαφής
- ii. Δια των εξωτερικών επιφανειών της επαφής, παράλληλα προς το ηλεκτρικό πεδίο της επαφής και
- iii. Διαμέσου ηλεκτρικής διάβασης που δημιουργούν οι προσμίξεις της επαφής.

Η τιμή της σε πολύς καλής απόδοσης Φ/Β στοιχεία είναι μεγαλύτερη των  $10^3 \Omega$ . Τιμές χαμηλότερες των  $500 \Omega$ , προκαλούν μεγάλη κλίση του οριζόντιου τμήματος της χαρακτηριστικής I-V δηλαδή έντονη ελάττωση του ρεύματος καθώς προχωρούμε προς την τάση ανοικτού κυκλώματος,  $V_{oc}$ . Η ελάττωση είναι μεγαλύτερη όσο η  $R_{sh}$  ελαττώνεται (Σχήμα 1.4). Μικρή  $R_{sh}$  χαρακτηρίζει καμπύλη I-V με αντίστοιχα μικρό παραλληλόγραμμο  $I_m \cdot V_m$ , μέγιστης αποδιδόμενης ισχύος,  $P_m$  και άρα χαμηλότερη τιμή του παράγοντα πλήρωσης.



Σχήμα 1.4 Επίδραση της σε σειρά αντίστασης  $R_s$  και της παράλληλα εμφανιζόμενης  $R_{sh}$ , σε ένα Φ/Β στοιχείο [1]

## 2. Σειριακή αντίσταση $R_s$ (Series resistance)

Η σειριακή αντίσταση αφορά στην αντίσταση που παρουσιάζει η επαφή:

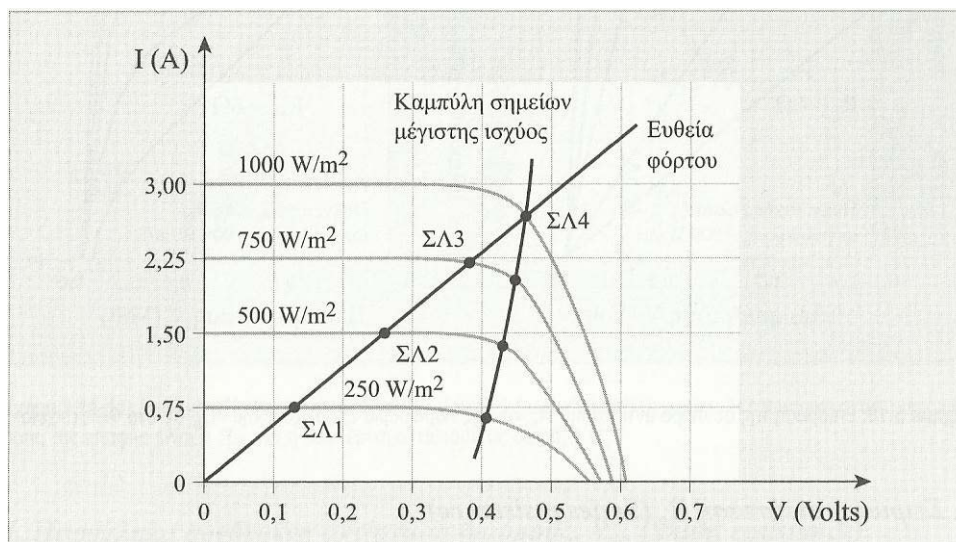
- i. Κατά τη δίοδο του ηλεκτρικού ρεύματος μέσα από το σώμα της διόδου
- ii. Στις ωμικές αντιστάσεις των σημείων πρόσφυσης των ηλεκτροδίων της επαφής καθώς και κατά μήκος των μεταλλικών κλάδων τους

Αύξηση της  $R_s$  περιορίζει την περιοχή τάσεων στην οποία αντιστοιχεί σταθερό ρεύμα βραχυκύκλωσης, ίσο με αυτό που αντιστοιχεί στην ιδανική περίπτωση. Άμεσο αποτέλεσμα της αύξησης της  $R_s$  είναι η δραστική ελάττωση της αντίστοιχης μέγιστης ισχύος που αποδίδει το στοιχείο. Χαρακτηριστικές τιμές της  $R_s$ , για καλής ποιότητας Φ/Β στοιχεία: 0,1 Ω έως 0,3 Ω.

### 1.3.2 Η καμπύλη I-V ενός Φ/Β στοιχείου

Για τον έλεγχο της αποδοτικής λειτουργίας ενός Φ/Β στοιχείου αλλά και για τον σχεδιασμό των ηλεκτρονικών που συνδυάζονται με αυτό προσδιορίζουμε τα σημεία μέγιστης ισχύος τα οποία αντιστοιχούν

σε διαφορετικές συνθήκες λειτουργίας του στοιχείου. Επιδιώκουμε το σημείο λειτουργίας του σε κάθε διαφορετική κατάσταση που θα προκύψει π.χ. από μεταβολή της πυκνότητας ισχύος ακτινοβολίας,  $E$ , να αποτελεί και το σημείο μέγιστης ισχύος,  $P_m$ , για τη δεδομένη κατάσταση (Σχήμα 1.5, για την καμπύλη I-V, με  $E = 1 \text{ kW/m}^2$ ).

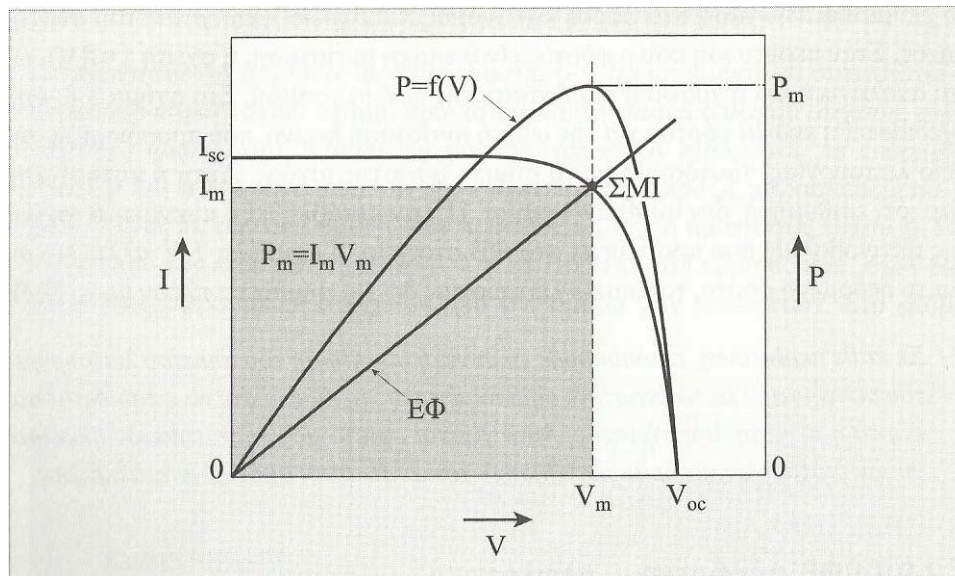


**Σχήμα 1.5** Όταν αλλάζει η ένταση της ακτινοβολίας που προσπίπτει σ' ένα  $\Phi/B$  στοιχείο που τροφοδοτεί μια ηλεκτρική αντίσταση το σημείο λειτουργίας μετατοπίζεται. Η μέγιστη ηλεκτρική ισχύς αποδίδεται στην αντίσταση μόνο για ορισμένο επίπεδο ακτινοβολίας. Σε διαφορετικές τιμές αποδίδεται η ισχύς μικρότερη από την αντίστοιχη μέγιστη ισχύ. ΣΛ1, ΣΛ2, ΣΛ3 και ΣΛ4: τέσσερα σημεία λειτουργίας αντίστοιχα των τεσσάρων τιμών έντασης της ακτινοβολίας. Μόνο το ΣΛ4 συμπίπτει με το ΣΜΙ (Σημείο Μέγιστης Ισχύος) της I-V, που αντιστοιχεί σε πυκνότητα ισχύος ηλιακής ακτινοβολίας  $E = 1 \text{ kW/m}^2$  [1]

Στις υπόλοιπες καμπύλες I-V τα δύο σημεία δεν συμπίπτουν. Για να συμβεί κάτι τέτοιο θα πρέπει να αλλάξει η ωμική αντίσταση ούτως ώστε η νέα ευθεία φόρτου να περνά από το αντίστοιχο σημείο μέγιστης ισχύος της νέας καμπύλης I-V. Το σημείο αυτό μπορεί να προσδιοριστεί πειραματικά αν παραστήσουμε γραφικά την παρεχόμενη από το  $\Phi/B$  στοιχείο ηλεκτρική ισχύ,  $P=I \cdot V$ , υπό δεδομένη πυκνότητα ισχύος  $E$  πάνω σε μία μεταβλητή ηλεκτρική αντίσταση συνάρτηση της τάσης  $V$  στα άκρα της αντίστασης (Σχήμα 1.6). Εμφανίζει ένα μέγιστο που όπως

μπορείτε να διακρίνετε στο κοινό διάγραμμα των I-V και P-V εντοπίζεται στο “γόνατο” της καμπύλης I-V. Οι τιμές ρεύματος-τάσης στο σημείο μέγιστης ισχύος συμβολίζονται με  $I_m$  και  $V_m$ . Η μέγιστη ισχύς που μπορεί να δώσει το Φ/Β στοιχείο, υπό δεδομένη προσπίπτουσα πυκνότητα ακτινοβολίας E, ισούται με:

$$P_m = I_m \cdot V_m$$



**Σχήμα 1.6** Ανεστραμμένη I-V Φ/Β στοιχείου, στο τεταρτημόριο που αυτό παρέχει ενέργεια. Στο ίδιο διάγραμμα σχεδιάστηκε η παρεχόμενη από αυτό και κάτω από σταθερό φωτισμό, ισχύς P, ως συνάρτηση της τάσης V στα άκρα του καταναλωτή. Σχεδιάστηκε επίσης, η ευθεία φόρτου ΕΦ, για ένα ωμικό καταναλωτή με αντίσταση R αντίστοιχη του ΣΜΙ ( $R = V_m / I_m$ ) [1]

## 1.4 ΤΟ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ [Παραπομπή Βιβλιογραφίας Αρ.1]

### 1.4.1 Κατασκευαστικά στοιχεία φωτοβολταϊκού πλαισίου

Σημαντικό αντικείμενο έρευνας σε εργαστηριακό επίπεδο αποτελεί το φωτοβολταϊκό στοιχείο, μικρών διαστάσεων. Στο επόμενο στάδιο βιομηχανικής παρασκευής η επιτυχής μεθοδολογία μεταφέρεται σε συσκευές-θαλάμους μεγαλύτερου μεγέθους στους οποίους είναι δυνατή η παρασκευή Φ/Β στοιχείων μεγαλύτερων διαστάσεων με αυξημένο ρυθμό

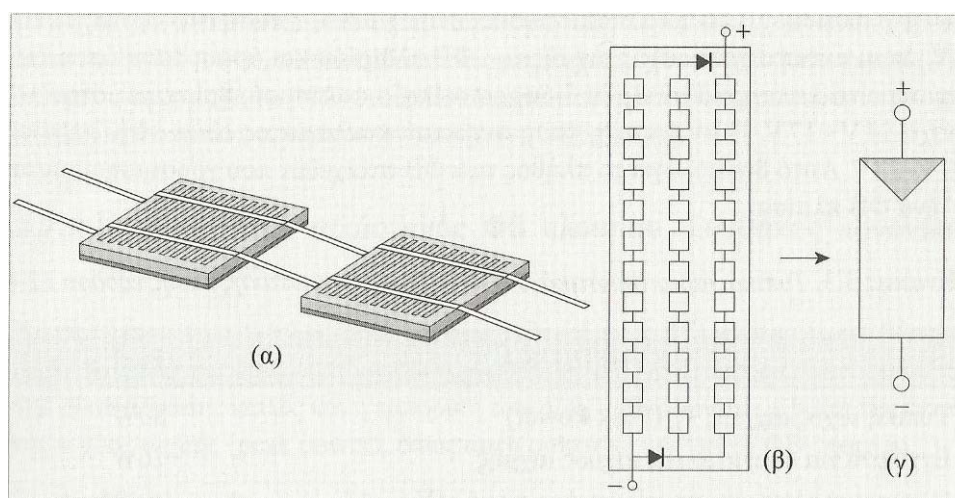
παραγωγής. Μετά την κατασκευή της βασικής δομής του Φ/Β στοιχείου, ακολουθεί η κοπή του στο επιθυμητό σχήμα, συνήθως τετραγωνικό, ώστε κατά τη σύνθεσή τους σε μεγαλύτερη μονάδα, να αφήνουν μεταξύ τους την ελάχιστη μη εκμεταλλεύσιμη επιφάνεια. Ένα σύνολο Φ/Β στοιχείων συνδέονται σε σειρά, ώστε να αποτελούν εύχρηστη σε μέγεθος μονάδα, με τα επιθυμητά ηλεκτρικά και μορφολογικά χαρακτηριστικά. Τα κύρια κριτήρια των χαρακτηριστικών αυτών είναι:

1. Για μεν τα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά, η δυνατότητα συνδυασμού της μονάδας αυτής με συσσωρευτή τυπικής ονομαστικής τάσης 12 V, για την αποθήκευση της ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται
2. Για δε τις διαστάσεις της μονάδας, η ευκολία κατασκευής, μεταφοράς και ενσωμάτωσής τους σε σύνολα (συστοιχίες) καθώς και το μικρό κόστος αντικατάστασής της, στην περίπτωση βλάβης ή καταστροφής της.

Στην πράξη, ένα σύνολο Φ/Β στοιχείων συνδεδεμένων σε σειρά (Σχήμα 1.7 α και β), για να εμφανίζουν συγκεκριμένη τάση ανοικτού κυκλώματος (η σύνδεση 36 Φ/Β στοιχείων πυριτίου, δίδει τάση ανοικτού κυκλώματος, σε θερμοκρασία κυψελίδας  $\theta_c = 25 \text{ }^\circ\text{C}$ ,  $V_{oc} = 36 \times 0,6 \text{ V} = 21,6 \text{ V}$ ), τοποθετούνται σε γυάλινη πλάκα, υψηλής διαφάνειας, προσαρμοσμένης σε μεταλλικό πλαίσιο, υψηλής αντοχής, συνήθως από ανοδιωμένο αλουμίνιο. Το πίσω μέρος καλύπτεται από ειδικό πλαστικό υλικό, για προστασία από την υγρασία. Η τελική κατασκευή πληροί ειδικές προδιαγραφές, ώστε να διαθέτει την απαραίτητη μηχανική αντοχή, τις κατάλληλες υποδοχές στήριξης και επιπλέον την αυξημένη στεγανότητα για προστασία από την υγρασία. Η διάταξη αυτή αποτελεί την τυπική *βιομηχανική μονάδα (module)* και ονομάζεται **φωτοβολταϊκό πλαίσιο (Photovoltaic module)**. Αποτελεί τη βασική δομική μονάδα κάθε μεγαλύτερης εγκατάστασης παραγωγής Φ/Β ηλεκτρικής ενέργειας, δηλαδή, της **φωτοβολταϊκής συστοιχίας (array)**. Σπανιότερα, χρησιμοποιείται ο όρος **φωτοβολταϊκή γεννήτρια ( Photovoltaic generator)**. Τυπικές τιμές ισχύος αιχμής ενός Φ/Β πλαισίου εμπορίου: από μερικά  $W_p$  έως τα  $150 W_p$ . Διατίθενται επίσης σε πιο μεγάλες διαστάσεις, με περισσότερα Φ/Β στοιχεία, που χαρακτηρίζονται από υψηλή ισχύ αιχμής και συνήθως υψηλή τάση ανοικτού κυκλώματος,

κατάλληλες για ειδικές εφαρμογές. Το σύμβολο ηλεκτρολογικής σχεδίασης του Φ/Β πλαισίου δείχνεται στο Σχήμα 1.7γ.

Η πρώτη μορφή των Φ/Β στοιχείων στο πλαίσιο ήταν η κυκλική (Κυκλικά wafers από το κυλινδρικό ingot της μεθόδου Czochralski), με αποτέλεσμα να μένει αρκετή μη ενεργός επιφάνεια του πλαισίου. Σήμερα, τα Φ/Β στοιχεία που χρησιμοποιούνται στα Φ/Β πλαίσια, έχουν τετραγωνικό σχήμα (mc-Si) ή τετραγωνικό με κομμένες τις γωνίες (κυψελίδες c-Si), ώστε να ελαχιστοποιείται η μη αξιοποιήσιμη επιφάνεια του Φ/Β πλαισίου.



**Σχήμα 1.7 (α) Τρόπος σύνδεσης δύο διαδοχικών Φ/Β στοιχείων μέσα σε ένα Φ/Β πλαίσιο. (β) Εσωτερική δομή ενός Φ/Β πλαισίου.**

**Διακρίνονται οι δίοδοι παράκαμψης. (γ) Η συμβολική παράσταση ενός Φ/Β πλαισίου. Το φωτόρευμα οδεύει εσωτερικά, από το (-) στο (+) και στο εξωτερικό κύκλωμα, από το (+) στο (-) του πλαισίου**

[1]

Όσον αφορά στην επιλογή του αριθμού των Φ/Β στοιχείων από τα οποία θα κατασκευαστεί το Φ/Β πλαίσιο, προανέφερα ότι, αυτό έχει άμεση σχέση με την ονομαστική ηλεκτρική τάση 12 V στους πόλους των ηλεκτρικών συσσωρευτών Pb/H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, οι οποίοι κατέχουν την πρώτη θέση στην παγκόσμια αγορά. Ο λόγος είναι ο εξής: Η Φ/Β συστοιχία αποδίδει την ενέργεια της με τη μέγιστη ισχύ, όταν φωτίζεται με ένα ήλιο (1 sun → 1 kW/m<sup>2</sup>) και λειτουργεί στο λεγόμενο σημείο μέγιστης ισχύος (ΣΜΙ). Το σημείο αυτό, στην περίπτωση ενός Φ/Β πλαισίου, φροντίζουμε να

αντιστοιχεί στη τάση που θα καλύπτει τη φόρτιση του τυπικού ηλεκτρικού συσσωρευτή.

Συγκεκριμένα, για τη φόρτιση του συσσωρευτού μολύβδου-θεικού οξέως (Pb/H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>), ονομαστικής τάσης 12 V, απαιτείται τάση περίπου 14,2-14,4 V. Στο σύστημα αυτό είναι αναγκαία η παρεμβολή μιας απλής ηλεκτρονικής διάταξης, για τον έλεγχο των ορίων τάσης φόρτισης και εκφόρτισης του συσσωρευτή καθώς και μιας *διόδου αντεπιστροφής*, ώστε να αποτρέπεται η εκφόρτιση του ηλεκτρικού συσσωρευτού διαμέσου της Φ/Β συστοιχίας, όταν αυτή δεν φωτίζεται. Αυτά τα πρόσθετα ηλεκτρονικά και οι γραμμές μεταφοράς, απαιτούν μια επιπλέον τάση 1-2 V. Οπότε το ΣΜΙ της πιο απλής Φ/Β συστοιχίας, δηλαδή, ενός Φ/Β πλαισίου σε ένα ήλιο, πρέπει να καλύπτει τουλάχιστον την τάση των 15 έως 17 V (14,4 V + 1 έως 2 V).

Η απαίτηση αυτή, σε συνδυασμό με τα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά των Φ/Β στοιχείων, οδηγεί στην επιλογή των συγκεκριμένων ηλεκτρικών χαρακτηριστικών των Φ/Β πλαισίων. Με κύριο γνώμονα τα Φ/Β πλαίσια να μπορούν να προσαρμοστούν περισσότερο στην αρχιτεκτονική μορφή του κτιρίου, οι εταιρίες κατασκευής τους προτείνουν λύσεις που ταιριάζουν με τις απαιτήσεις της πρακτικότητας και της αισθητικής. Παραδείγματος χάριν για τις στέγες των κτιρίων παραδοσιακής μορφής, προτείνεται η χρήση Φ/Β πλαισίων με την μορφή κεραμιδιών. Στις πλευρές του κτιρίου, μπορούν να τοποθετηθούν Φ/Β πλαίσια – ζωγραφικοί πίνακες. Φ/Β πλαίσια ημιπερατά στο ηλιακό φως μπορούν να τοποθετηθούν σε διαδρόμους μεγάλων κτιριακών συγκροτημάτων, συνδυάζοντας έτσι την δυνατότητα φυσικού ημερήσιου φωτισμού του διαδρόμου με τη δυνατότητα τεχνητού φωτισμού, από αποθηκευμένη Φ/Β ηλεκτρική ενέργεια, κατά την διάρκεια της νύκτας ή των συννεφιασμένων ημερών. Ειδικής χρήσης Φ/Β πλαίσια, είναι κατασκευασμένα από εύκαμπτο υλικό και σε μερικές περιπτώσεις, με τέτοιο τρόπο, ώστε να διπλώνονται καταλαμβάνοντας μικρό χώρο. Η πιο απλή και πολύ διαδεδομένη εφαρμογή των Φ/Β στοιχείων αφορά στην ηλεκτρική τροφοδοσία των φορητών υπολογιστών αριθμητικών πράξεων (Calculators).

**Πίνακας 1.2 Τυπικά χαρακτηριστικά Φ/Β πλαισίων, ονομαστικής τάσης εξόδου 12 V [1]**

ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ	Τιμή
Τυπική ισχύς αιχμής, P <sub>p</sub> (Peak Power)	80W
Εγγύηση για ελάχιστο της ισχύος αιχμής	76W
Ηλεκτρική τάση στο σημείο ισχύος αιχμής (V <sub>m,STC</sub> )	16,9V
Ηλεκτρικό ρεύμα στο σημείο ισχύος αιχμής (I <sub>m,STC</sub> )	4,73A
Τάση ανοικτού κυκλώματος (V <sub>oc,STC</sub> )	21,5V
Ρεύμα βραχυκύκλωσης (I <sub>sc,STC</sub> )	4,97A
Θερμικός συντελεστής ρεύματος βραχυκύκλωσης	0,05%/K
Θερμικός συντελεστής τάσης ανοικτού κυκλώματος	-0,5%/K
Θερμικός συντελεστής μεταβολής ισχύος	-0,45%/K
NOCT (Nominal Operating Cell Temperature)	49 °C
ΔΙΑΣΤΑΣΕΙΣ	Τιμή
L x B x H (Μήκος x πλάτος x πάχος), σε mm	1425 x 652 x 36
Βάρος	11,9 kg

όπου STC, Πρότυπες Συνθήκες Δοκιμής στοιχείου ή πλαισίου (Standard Test Conditions)

#### 1.4.2 Συντελεστής απόδοσης του Φ/Β πλαισίου

Ο στιγμιαίος συντελεστής απόδοσης ενός Φ/Β πλαισίου, εμβαδού S, υπολογίζεται από το πηλίκο της αποδιδόμενης μέγιστης ηλεκτρικής ισχύος, P<sub>m</sub>, προς την προσπίπτουσα στο πλαίσιο, ισχύ της ηλιακής ακτινοβολίας E·S, όπου E, η πυκνότητα ισχύος της ηλιακής ακτινοβολίας στο επίπεδο του Φ/Β πλαισίου:

$$\eta_m = \frac{P_m}{E \cdot S}$$

Εξαρτάται από τις φυσικές ιδιότητες των υλικών παρασκευής του, τη θερμοκρασία των κυψελίδων και την πυκνότητα ισχύος της προσπίπτουσας ακτινοβολίας. Η τιμή αναφοράς του καθορίζεται σε συνθήκες STC. Σε συνθήκες διαφορετικές από τις πρότυπες, η τιμή του



προσδιορίζεται από την διαφορά  $\theta_c - \theta_{STC}$ , των θερμοκρασιών της κυψελίδας στη δεδομένη κατάσταση φωτισμού και στην κατάσταση STC (25 °C), αντίστοιχα καθώς επίσης και από την πυκνότητα ισχύος  $E$ , της προσπίπτουσας ΗΜ ακτινοβολίας.

Η απόδοση των Φ/Β πλαισίων είναι πιο μικρή από της αντίστοιχης του Φ/Β στοιχείου εργαστηριακής παρασκευής. Οι κύριοι λόγοι είναι,

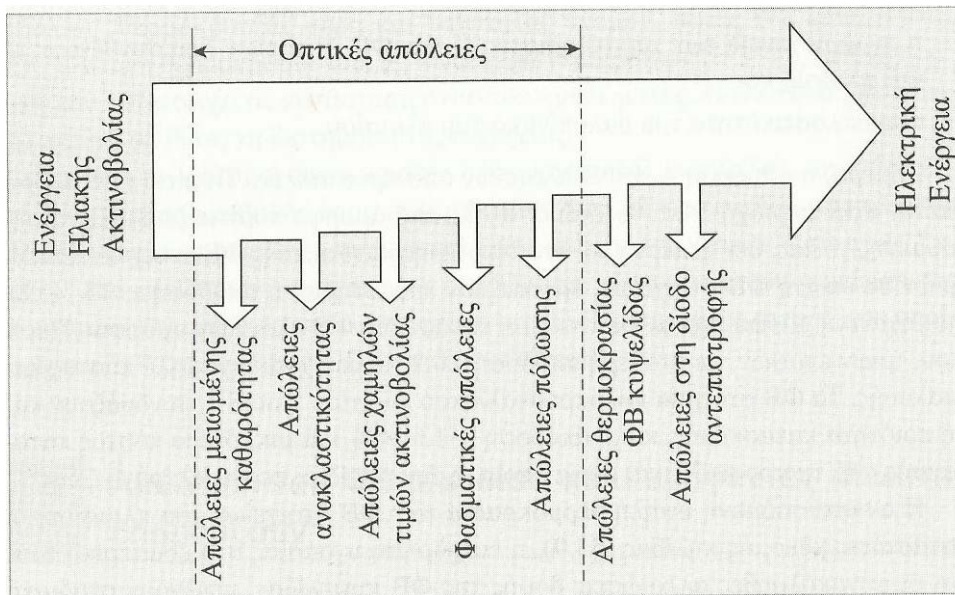
- η μη πλήρης κάλυψη της γεωμετρικής επιφάνειάς του από επιφάνεια Φ/Β στοιχείων, η οποία καθορίζεται από τον παράγοντα κάλυψης (Packing factor),
- η ανομοιογένεια των χαρακτηριστικών των Φ/Β στοιχείων που συνθέτουν το Φ/Β πλαίσιο και
- η ανακλαστικότητα του υαλοπίνακα του πλαισίου.

Στις μέρες μας, η απόδοση των Φ/Β πλαισίων από κρυσταλλικό πυρίτιο (c-Si), βρίσκεται στην περιοχή 14-17% ενώ σε αυτές από άμορφο πυρίτιο (a-Si:H), προηγούμενης γενιάς, δεν ξεπερνά το 6%. Νεότερης κατασκευής Φ/Β στοιχεία a-Si:H, τριών σε επαφή Φ/Β στοιχείων, εμφανίζουν εργαστηριακή απόδοση έως 13%. Σε βιομηχανική μορφή έχει ανακοινωθεί η κατασκευή Φ/Β πλαισίων αμόρφου Πυριτίου, τριών επαφών, με σταθερή απόδοση 10,2%, με σχετικά χαμηλό κόστος κατασκευής. Τα Φ/Β στοιχεία πολυκρυσταλλικού πυριτίου (mc-Si), μπορούν και συνδυάζουν καλή ποιότητα κατασκευής, καλή απόδοση έως 13-14% και μικρότερο κόστος κατασκευής από τα κρυσταλλικά, με τα οποία έχουν την ίδια περίπου διάρκεια ζωής.

Η υψηλή θερμοκρασία που αναπτύσσεται στα Φ/Β στοιχεία του πλαισίου, οι καταστάσεις θερμής κηλίδας, η εισχώρηση υγρασίας στο εσωτερικό τους και οι συνακόλουθες αλλοιώσεις της δομής της Φ/Β κυψελίδας, μειώνουν σταδιακά την ενεργειακή απόδοσή τους. Το μέγεθος της επίδρασης εξαρτάται από το υλικό του Φ/Β στοιχείου, τον τύπο του και τη διαχρονική αξιοπιστία της μηχανικής κατασκευής και των ηλεκτρολογικών και μονωτικών υλικών. Επίσης, σκόνες και άλλα σώματα στην επιφάνεια όψης των πλαισίων, μειώνουν την απόδοσή τους.

Η τιμή του στιγμιαίου συντελεστή απόδοσης του Φ/Β πλαισίου,  $\eta_m$ , καθορίζεται από τις αποκλίσεις που υφίσταται από την τιμή  $\eta_{m, STC}$  που προσδιορίζεται σε πρότυπες συνθήκες ελέγχου (STC). Σε συντομία, οι απώλειες αυτές αφορούν:

- στη γήρανση του Φ/Β πλαισίου, δηλαδή στη μείωση της απόδοσής του λόγω αλλοίωσης των υλικών κατασκευής των κυψελίδων του Φ/Β πλαισίου,
- στις απώλειες οπτικού δρόμου και θερμοκρασίας κυψελίδας, που δημιουργούνται λόγω τις διαφοροποίησης των χαρακτηριστικών της ηλιακής ακτινοβολίας και της θερμοκρασίας του περιβάλλοντα αέρα και των πραγματικών συνθηκών λειτουργίας του Φ/Β πλαισίου σε σχέση με αυτά των πρότυπων συνθηκών,
- στις απώλειες στη δίοδο αντεπιστροφής του Φ/Β πλαισίου.



**Σχήμα 1.8 Διάγραμμα Sankey για τη ροή ενέργειας σε Φ/Β πλαίσιο [1]**

Οι ενεργειακές απώλειες δείχνονται με τη μορφή διαγράμματος Sankey, στο Σχήμα 1.8. Ο συντελεστής απόδοσης  $\eta_m$ , μπορεί να αποδοθεί ως γινόμενο των επιμέρους στιγμιαίων συντελεστών ενεργειακών απωλειών, που προσδιορίζουν την απόκλιση της απόδοσης από αυτή των πρότυπων συνθηκών, με την σχέση:

$$\eta_m = \eta_{καθ} \cdot \eta_R \cdot \eta_{LI} \cdot \eta_s \cdot \eta_p \cdot \eta_T \cdot \eta_D \cdot \eta_{m, STC}$$

όπου

$\eta_{καθ}$  = Συντελεστής καθαρότητας υαλοπίνακα Φ/Β πλαισίου

$\eta_R$  = Συντελεστής απόκλισης λόγω διαφοροποίησης της ανακλαστικότητας, σε γωνίες πρόσπτωσης διάφορες της καθέτου

στο Φ/B πλαίσιο

- $\eta_{LI}$  = Συντελεστής απόκλισης στην περιοχή χαμηλών τιμών πυκνότητας ισχύος ΗΜ ακτινοβολίας (Low Irradiance losses)
- $\eta_s$  = Συντελεστής φασματικής απόκλισης λόγω διαφορετικού φάσματος (Spectrum) σε σχέση με το φάσμα AM 1,5 (STC)
- $\eta_p$  = Συντελεστής απόκλισης εξαιτίας της πόλωσης της ηλιακής ακτινοβολίας (Polarization)
- $\eta_T$  = Συντελεστής απόκλισης της απόδοσης του Φ/B πλαισίου εξαιτίας της διαφοροποίησης της θερμοκρασίας κυψελίδας σε σχέση με τη θερμοκρασία αναφοράς, 25°C
- $\eta_D$  = Συντελεστής απωλειών στη δίοδο αντεπιστροφής
- $\eta_{m, STC}$  = Συντελεστής απόδοσης Φ/B πλαισίου σε πρότυπες συνθήκες (STC)

Η τελική τιμή του συντελεστή απόδοσης προσδιορίζεται επίσης από τον παράγοντα γήρανσης του Φ/B πλαισίου,  $\eta_{y, m}$ .

## 1.5 ΤΟ Φ/B ΣΥΣΤΗΜΑ [Παραπομπή Βιβλιογραφίας Αρ.1]

Τα Φ/B πλαίσια μπορούν να συνδεθούν είτε σε σειρά είτε παράλληλα, ανάλογα με τους επιδιωκόμενους σκοπούς. Στο Σχήμα 1.9, παρουσιάζονται οι μορφές των τυπικών κατηγοριών Φ/B συνθέσεων, από το Φ/B στοιχείο ως το Φ/B συγκρότημα.

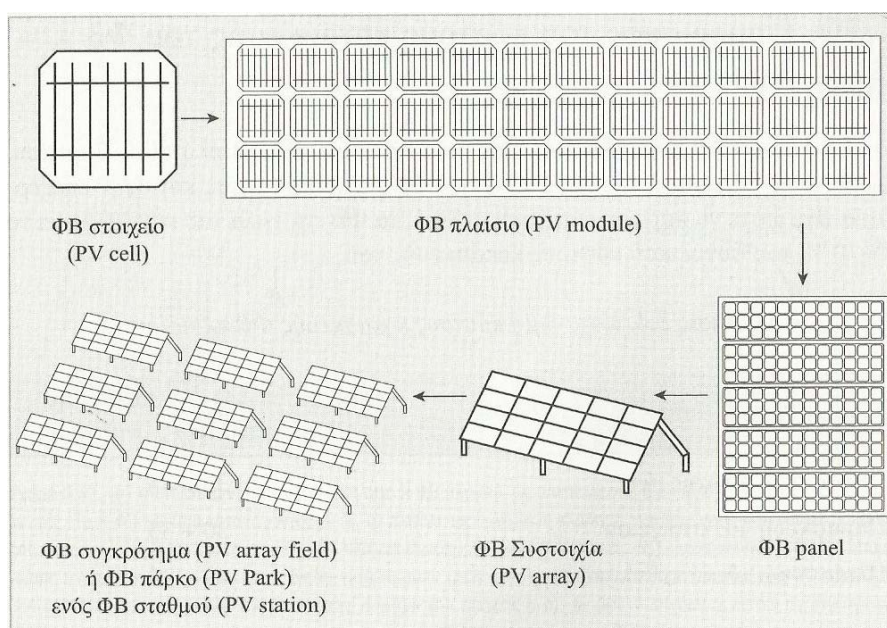
Μερικά Φ/B στοιχεία συναρμολογημένα σε ένα μεταλλικό πλαίσιο (συνήθως από Αλουμίνιο), με καλωδιώσεις που απολήγουν σε ηλεκτρολογικό κιβώτιο, ως ενιαία κατασκευή έτοιμη για εγκατάσταση, με δυνατότητα, λόγω μικρού βάρους, εύκολης αφαίρεσης, μεταφοράς ή επέμβασης στα επιμέρους Φ/B πλαίσια, ανεξάρτητα από τις υπόλοιπες όμοιες μονάδες, ονομάζεται **Φ/B panel** (σύνθετο).

Ο συνδυασμός πολλών Φ/B πλαισίων, καλωδιωμένων μεταξύ τους, είτε σε σειρά είτε παράλληλα, σε μια επίπεδη συνήθως επιφάνεια, σταθερή ή περιστρεφόμενη, με αντίστοιχο κεντρικό ηλεκτρολογικό κιβώτιο, αποτελεί την **Φ/B συστοιχία** (array). Τα Φ/B πλαίσια συνδέονται κατά κλάδους. Κάθε κλάδος αποτελείται από Φ/B πλαίσια συνδεδεμένα σε σειρά. Οι ισοδύναμοι κλάδοι συνδέονται παράλληλα μεταξύ τους. Η σύνδεση σε σειρά αυξάνει την ολική τάση ενώ αντίθετα η παράλληλη σύνδεση, το ολικό ρεύμα.

Τα Φ/Β πλαίσια, σε μια συστοιχία, συνδυάζονται έτσι ώστε η μεταφορά της Φ/Β ηλεκτρικής ενέργειας να γίνεται με όσον το δυνατόν μικρότερες δυνατές απώλειες στη γραμμή μεταφοράς, δηλαδή, με χαμηλό ρεύμα και αντίστοιχα μεγάλη ηλεκτρική τάση, μέσα στα επιτρεπτά όρια. Η μέγιστη επιτρεπτή τάση σε Φ/Β συστήματα είναι 600 V.

Σε κάθε περίπτωση, κατά τη σχεδίαση ενός Φ/Β συστήματος, λαμβάνεται μέριμνα ώστε τα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά κάθε τμήματός του να ταιριάζουν με τα αντίστοιχα του προηγούμενου και του επόμενού του. Ούτως ώστε να προσαρμοστεί η τάση της Φ/Β συστοιχίας στην τάση του συσσωρευτή, απαιτούνται ειδικές ηλεκτρονικές διατάξεις, που ονομάζονται **μετατροπείς συνεχούς τάσεως σε συνεχή (Converters DC-DC)** και θα αναφερθούμε σε αυτές στο 2<sup>ο</sup> κεφάλαιο. Η ισχύς αιχμής μιας τυπικής Φ/Β συστοιχίας, για μικρής ισχύος ή οικιακές εγκαταστάσεις, βρίσκεται στην περιοχή 50 W ÷ 2 kW.

Ένα συνεργαζόμενο σύνολο Φ/Β συστοιχιών αποτελούν ένα **Φ/Β συγκρότημα (PV array field)** ή **Φ/Β πάρκο (PV Park)**, το οποίο, μαζί με όλες εκείνες τις διατάξεις που χρειάζονται για τη μετατροπή του συνεχούς ρεύματος σε εναλλασσόμενο, τον έλεγχο της φόρτισης συσσωρευτών (αν υπάρχουν), για την παραγωγή ηλεκτρικής ισχύος (1 kW ÷ μερικά MW) επαρκούς για την τροφοδοσία οικίας, οικισμών ή χωριών κ.λπ., αποτελούν το **Φ/Β σταθμό (PV station)**.



**Σχήμα 1.9 Ορολογία και τυπικοί σχηματισμοί σύνθεσης Φ/Β στοιχείων και πλαισίων [1]**

### 1.5.1 Συντελεστής απόδοσης Φ/B συστοιχίας

Ο ολικός συντελεστής απόδοσης της Φ/B συστοιχίας,  $\eta_{\sigma}$ , εκφράζεται, από τον συντελεστή απόδοσης ενός Φ/B πλαισίου,  $\eta_m$ , λαμβάνοντας υπόψη την επίδραση της εκ κατασκευής ανομοιογένειας (Mismatch) των ηλεκτρικών χαρακτηριστικών των χρησιμοποιούμενων Φ/B πλαισίων, ( $\eta_{\text{ανομ}}$ ) καθώς επίσης και την απώλεια στα καλώδια σύνδεσης (Wiring) μεταξύ των πλαισίων της συστοιχίας ( $\eta_{w,\sigma}$ ). Δηλαδή,

$$\eta_{\sigma} = \eta_{\text{ανομ}} \cdot \eta_{w,\sigma} \cdot \eta_m$$

→ *Συντελεστής απωλειών ανομοιογένειας ηλεκτρικών χαρακτηριστικών των Φ/B πλαισίων της συστοιχίας*

Οι απώλειες, που εκφράζονται με τον παράγοντα  $\eta_{\text{ανομ}}$ , αφορούν στην ανομοιογένεια των χαρακτηριστικών I-V των Φ/B πλαισίων που αποτελούν τη Φ/B συστοιχία. Όλες αυτές οι διαφορές μπορεί να είναι εκ κατασκευής ή μπορεί να δημιουργούνται εξαιτίας διαφορετικών συνθηκών στις διαφορετικές θέσεις των πλαισίων ή επίδρασης εξωτερικών παραγόντων που προκαλούν επίκτητη ανομοιογένεια. Οι απώλειες λόγω εγγενούς ανομοιογένειας των σύγχρονων Φ/B πλαισίων, δεδομένου τύπου, μεθόδου παρασκευής κυψελίδας και κατασκευαστή, είναι γενικά, ασήμαντες. Η επίδραση της εγγενούς ανομοιογένειας του Φ/B πλαισίου είναι ενσωματωμένη στην ισχύ αιχμής, ένα στοιχείο το οποίο καθορίζεται από τον κατασκευαστή. Η ανομοιογένεια λόγω διαφορετικής θερμοκρασίας πλαισίων (π.χ. λόγω γειννιάσής τους με τους τοίχους περίφραξης ή άλλες δομικές κατασκευές), ή της διαφορετικής πυκνότητας ισχύος στις συστοιχίες ενός Φ/B συγκροτήματος.

Επομένως, κατά την σύνθεση μιας Φ/B συστοιχίας, είναι πολύ σημαντικό να περιορίζεται στο ελάχιστο δυνατόν, η ανομοιογένεια των χαρακτηριστικών των χρησιμοποιούμενων Φ/B πλαισίων. Σοβαρές αρνητικές επιπτώσεις στην απόδοση της Φ/B συστοιχίας προξενεί η επίκτητη ανομοιογένεια, προκαλούμενη από εντοπισμένη κάλυψη ή σκίαση της επιφάνειας ενός ή περισσότερων Φ/B πλαισίων, εξαιτίας φύλλων, κλαδιών, ψηλής βλάστησης, περιττωμάτων πουλιών, φύλλα νάιλον κ.ά. Σε αυτή τη περίπτωση, η μείωση απόδοσης είναι ιδιαίτερα αισθητή. Η σκίαση μάλιστα εκείνης, που μηδενίζει την απόδοση του Φ/B

πλαisiού, μηδενίζει, πρακτικά και την απόδοση του κλάδου της συστοιχίας. Για την ελαχιστοποίηση όλων αυτών των πιθανών επιπτώσεων, σε περιπτώσεις που υπάρχει μεγάλη πιθανότητα να συμβούν τα προηγούμενα, σε κάθε Φ/Β πλαίσιο του κλάδου, συνδέεται παράλληλα μια δίοδος παράκαμψης. Έτσι, ακόμα και στην περίπτωση ολοκληρωτικής σκίασης ενός πλαisiού, ο κλάδος αποδίδει ηλεκτρική ισχύ μειωμένη κατά την ισχύ του ενός. Ο έλεγχος της κατάστασης της συστοιχίας, κατά αραιά διαστήματα και ο καθορισμός των πλαisiών της συστοιχίας, κυρίως από τα στερεά αντικείμενα και τα περιπτώματα των πουλιών, ιδιαίτερα τους καλοκαιρινούς μήνες, συμβάλει στην αποδοτικότερη λειτουργία του συστήματος.

Τυπική τιμή του συντελεστή ανομοιογένειας συστοιχίας:

$$\eta_{\text{ανομ}} = 0,98$$

→ ***Συντελεστής απωλειών καλωδιώσεων Φ/Β πλαisiών και δίοδων αντεπιστροφής στη Φ/Β συστοιχία***

Οι διατομές των καλωδίων σύνδεσης μεταξύ των Φ/Β πλαisiών της συστοιχίας επιλέγονται ούτως ώστε, οι απώλειες σ' αυτά, να μην ξεπερνούν το 2÷3%. Επομένως, είναι επιτρεπτό να θεωρήσουμε ως τυπική τιμή για το συντελεστή απωλειών στις καλωδιώσεις της συστοιχίας  $\eta_{w,\sigma}$ , την τιμή  $\eta_{w,\sigma} = 0,98$ . Οι απώλειες στη δίοδο αντεπιστροφής μπορούν να περιγραφούν από το συντελεστή  $\eta_D = 0,99$ . Η τιμή αυτή μπορεί να εκτιμηθεί ως εξής: η πτώση τάσεως πάνω σε δίοδο Schottky, είναι ~0,3 V. Αν το ρεύμα από ένα Φ/Β πλαίσιο είναι 3 A, όταν η ισχύς αιχμής του Φ/Β πλαisiού είναι π.χ. 50 W, τότε η απώλεια ισχύος στη δίοδο είναι ~1W και ποσοστιαία, ~2%. Όσο περισσότερα Φ/Β πλαίσια σε σειρά χρησιμοποιούνται σ' ένα κλάδο της συστοιχίας, καλυπτόμενα από μία δίοδο αντεπιστροφής, τόσο το ποσοστό αυτό μειώνεται. Ως τυπική τιμή για Φ/Β συστοιχία, ανεξάρτητα του πλήθους των Φ/Β πλαisiών ανά κλάδο, λαμβάνεται η τιμή  $\eta_D = 0,99$ .

## Υπολογισμός διατομής καλωδίων σε γραμμή μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας

Οι απώλειες που εμφανίζονται στη γραμμή μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας ενός Φ/Β συστήματος, μήκους  $L$ , από τη πηγή, ονομαστικής τάσεως  $V_{\pi}$ , μέχρι το σημείο αξιοποίησής της, αποδεικνύεται ευκόλως, ότι δίνεται από τη σχέση:

$$\frac{\Delta V}{V_{\pi}} = \frac{I(A)}{V_{\pi}(V)} \cdot \frac{R}{1} \left( \frac{\Omega}{\text{km}} \right) \cdot 2 \cdot L(\text{km})$$

Όπου  $R/l$ , η αντίσταση του υλικού του αγωγού των καλωδίων ανά μονάδα μήκους του και  $l$  το μήκος του αγωγού, με  $l = 2 \cdot L$ , όπου  $L$  το μήκος της γραμμής μεταφοράς. Το  $R/l$  εκφράζεται συνήθως σε μονάδες  $\Omega/\text{km}$ . Η σχέση αυτή προκύπτει από το νόμο του Ohm για τον αγωγό, σταθερής διατομής, της γραμμής μεταφοράς:  $\Delta V = I \cdot R$ . Στα Φ/Β συστήματα είναι πολύ σημαντικός ο περιορισμός των απωλειών ενέργειας στις γραμμές μεταφοράς. Σύμφωνα με όσα αναφέρθηκαν προηγουμένως, το αποδεκτό ποσοστό πτώσης τάσης στη γραμμή μεταφοράς φροντίζουμε να είναι μικρότερο από 2-3%. Ο Πίνακας 1.3 εμφανίζει την αντιστοιχία ωμικής αντίστασης ανά  $\text{km}$  χάλκινου καλωδίου με το εμβαδόν διατομής του.

Προκειμένου να προσδιορίσουμε την κατάλληλη διατομή καλωδίου, από τα διατιθέμενα τυποποιημένα, προσδιορίζουμε αρχικά, σύμφωνα με το αποδεκτό ποσοστό απωλειών στη γραμμή μεταφοράς (π.χ. 2%), το ρεύμα που πρόκειται να τη διαρρέει και την τάση στην είσοδο της γραμμής, την τιμή του  $R/l$ , σε  $\Omega/\text{km}$ . Η τιμή αυτή προσδιορίζει την κατάλληλη τιμή της διατομής του καλωδίου της γραμμής, μέσω του πίνακα.

**Πίνακας 1.3 Αντιστοιχία ωμικής αντίστασης χάλκινου καλωδίου ανά km με εμβαδόν διατομής του καλωδίου (National Electric Code, NEC, USA) [1]**

Διατομές τυποποιημένων καλωδίων στο Αγγλοσαξονικό σύστημα (AWG)	Διατομές τυποποιημένων καλωδίων στο μετρικό σύστημα (mm <sup>2</sup> )	R/l (Ω/km)
18	1,0	25,49
16	1,5	16,04
14	2,5	10,07
12	4	6,33
10	6	3,97
8	10	2,51
6	15	1,61
4	25	1,01
3	35	0,80
2	50	0,64
1	70	0,51
0	105	0,40
00	125	0,32
000	150	0,25

AWG: American Wire Gauge

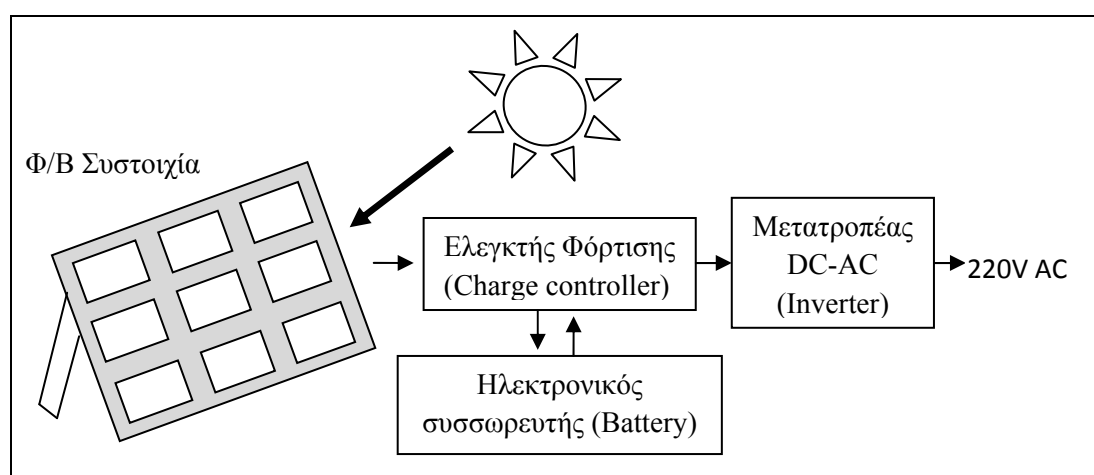
### 1.5.2 Βασική μορφή ενός Φ/Β συστήματος

Η Φ/Β συστοιχία παράγει συνεχή τάση και άρα μπορεί να τροφοδοτήσει απευθείας μόνο ηλεκτρικές συσκευές που λειτουργούν με συνεχές ρεύμα. Σε αυτές περιλαμβάνονται: οι αντιστάσεις θέρμανσης, οι κινητήρες συνεχούς, οι ηλεκτρικοί λαμπτήρες, τα ηλεκτρικά ψυγεία συνεχούς, με τάσεις τροφοδοσίας 12 ή 24 V DC κ.α. Ειδικές διατάξεις μετατρέπουν το συνεχές ρεύμα σε εναλλασσόμενο (Inverters), προκειμένου να τροφοδοτηθούν συσκευές οικιακής ή άλλης χρήσης, οι οποίες ουσιαστικά, λειτουργούν ως να έχουν συνδεθεί στο κεντρικό δίκτυο (220 Vac, Δ.Ε.Η).



Η επιλογή της απευθείας χρήσης της συνεχούς τάσης από ένα Φ/Β σύστημα ή η μετατροπή της σε εναλλασσόμενη, εξετάζεται κατά περίπτωση. Σε περιορισμένες περιπτώσεις, όπως π.χ. σε μικρά αυτόνομα αντλητικά συστήματα ή συστήματα τροφοδοσίας σταθμών τηλεμετάδοσης, φωτισμού δρόμου ή πάρκων κ.λπ., η αξιοποίηση απευθείας της Φ/Β ηλεκτρικής ενέργειας, είναι προτιμητέα. Στην πλειονότητα όμως των περιπτώσεων επιλέγεται η μετατροπή της συνεχούς σε εναλλασσόμενη τάση και ο λόγος είναι ότι πολύ περισσότερες συσκευές και εργαλεία καθημερινής χρήσης, τροφοδοτούνται με εναλλασσόμενη τάση.

Παραδείγματος χάριν, όταν η Φ/Β ηλεκτρική ενέργεια προορίζεται για οικιακή χρήση, είναι καλύτερο να προσαρμόσουμε το σύστημα τροφοδοσίας στις ήδη χρησιμοποιούμενες οικιακές συσκευές μας, που λειτουργούν με εναλλασσόμενη τάση 220 V. Οι τελευταίες, λόγω μεγαλύτερης εμπορικής κατανάλωσης, χαρακτηρίζονται από χαμηλό κόστος παραγωγής. Εξάλλου, η ηλεκτρική εγκατάσταση διανομής εναλλασσόμενου ρεύματος, τάσεως 220 V, είναι σαφώς φθηνότερη της αντίστοιχης με συνεχές ηλεκτρικό ρεύμα, χαμηλής ηλεκτρικής τάσεως, επειδή, σε αυτή την περίπτωση απαιτούνται μεγαλύτερης διατομής καλώδια για μείωση των απωλειών στη γραμμή μεταφοράς. Π.χ. σε μία εγκατάσταση αγροικίας ή παραθεριστικής κατοικίας, με απαιτήσεις φωτισμού, ψύξης, χρήση ηλεκτρικών εργαλείων, άντλησης και TV, αποδεικνύεται προσφορότερη η χρήση εναλλασσόμενου ρεύματος.



**Σχήμα 1.10 Διάγραμμα ροής ενέργειας σε Φ/Β σύστημα με αποθήκευση και μετατροπή της συνεχούς τάσεως σε εναλλασσόμενη, 220 V [1]**

Ένα τυπικό σύστημα Φ/Β τροφοδοσίας, με μετατροπή της συνεχούς τάσεως σε εναλλασσόμενη 220 V (Σχήμα 1.10), αποτελείται από τα εξής κύρια τμήματα:

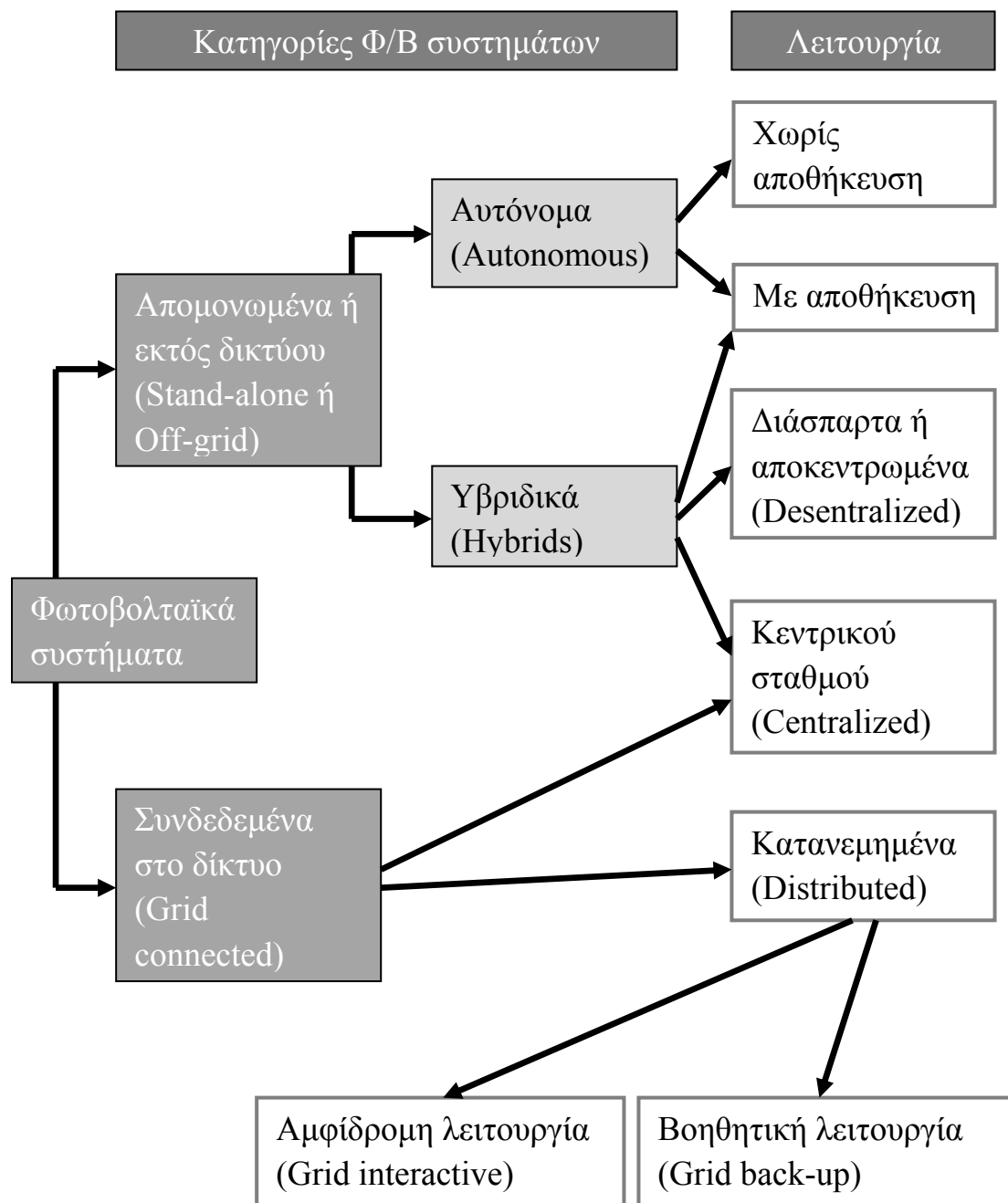
- το σύστημα των Φ/Β πλαισίων
- τους ηλεκτρικούς συσσωρευτές
- τον ελεγκτή φόρτισης και τους διάφορους τύπους μετατροπέων της ηλεκτρικής τάσης συνεχούς σε συνεχή, συνεχούς σε εναλλασσόμενη και εναλλασσόμενης σε συνεχή, ανάλογα με τις αντίστοιχες απαιτήσεις.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2<sup>ο</sup> ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ

### 2.1 ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΚΑΙ ΣΥΝΘΕΣΗ Φ/Β ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ [Παραπομπή Βιβλιογραφίας Αρ.1]

Τα Φ/Β στοιχεία μπορούν να αξιοποιηθούν σε αρκετές ηλεκτρικές εφαρμογές. Καλύπτουν μεγάλη περιοχή ισχύος, από πολύ χαμηλής ισχύος αλλά ευρείας χρήσεως καταναλωτικά προϊόντα, όπως είναι αριθμητικοί υπολογιστές τσέπης, μικρά φωτιστικά σώματα κήπου κ.α., έως συστήματα μεγάλης ισχύος, για την τροφοδοσία κυρίως νησιών ή μεγάλων πρότυπων κτιριακών συγκροτημάτων, συνδεδεμένων ή όχι με το δίκτυο.

Όπου στην συνέχεια θα αναφερθεί ο όρος δίκτυο εννοείται το εθνικό (ή διακρατικό πλέον) ή τοπικό δίκτυο παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από συμβατικές πηγές. Τα Φ/Β συστήματα διακρίνονται σε δύο βασικές κατηγορίες (Σχήμα 2.1): τα *απομονωμένα (Stand-alone) ή εκτός δικτύου (Off grid) συστήματα* (Σχήματα 2.2 α, β, γ) και τα *συνδεδεμένα στο δίκτυο (Grid connected, Σχήμα 2.2 δ)*. Τα απομονωμένα Φ/Β συστήματα διακρίνονται επίσης σε *αυτόνομα* και *υβριδικά*. Το βασικό κριτήριο για τον καθορισμό του καταλληλότερου Φ/Β συστήματος στις κατηγορίες αυτές, προκύπτει με βάση την απαίτηση για πλήρη ή μερική κάλυψη (αυτονομία) των ενεργειακών καταναλώσεων της εφαρμογής, από το Φ/Β σύστημα, μηνιαίως ή ετησίως.



Σχήμα 2.1 Κατηγορίες και λειτουργία Φ/Β συστημάτων [1]

### Α. Εκτός δικτύου ή Απομονωμένα Φ/Β συστήματα (Off-grid ή Stand alone systems)

Αναφέρονται έτσι τα Φ/Β συστήματα τα οποία παράγουν ηλεκτρική ενέργεια χωρίς να είναι συνδεδεμένα στο κεντρικό ηλεκτρικό δίκτυο. Διαχωρίζονται σε αυτόνομα, είναι αυτά στα οποία η Φ/Β συστοιχία αποτελεί την αποκλειστική πηγή ενέργειας και τα υβριδικά στα

οποία συγκαταλέγεται και άλλη πηγή Α.Π.Ε. ή συμβατική ηλεκτρική πηγή (π.χ. ηλεκτροπαραγωγό ζεύγος, Η/Ζ)

### ***I. Αυτόνομα Φ/Β συστήματα***

Η απαιτούμενη ηλεκτρική ενέργεια καλύπτεται αποκλειστικά από τη Φ/Β συστοιχία χωρίς την συμμετοχή άλλων Α.Π.Ε ή Η/Ζ και μπορεί να περιλαμβάνονται ή όχι ηλεκτρικοί συσσωρευτές. Αφορούν εφαρμογές μη συνδεδεμένες με το εθνικό δίκτυο. Η παρεχόμενη ηλεκτρική ενέργεια μπορεί να είναι είτε συνεχούς (DC) είτε εναλλασσομένης (AC) τάσεως. Τα αυτόνομα Φ/Β συστήματα χωρίζονται σε:

- *Αυτόνομα Φ/Β συστήματα άμεσης τροφοδοσίας του φορτίου της εφαρμογής (Direct-coupled PV systems), όπου η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια αποδίδεται απευθείας στην κατανάλωση, όσο φωτίζεται η Φ/Β συστοιχία, χωρίς αποθήκευση ηλεκτρικής ενέργειας σε συσσωρευτές. Αυτά τα συστήματα χρησιμοποιούνται κυρίως για άντληση για το πότισμα καλλιεργειών που δεν απαιτούν αυστηρά τακτική λειτουργία του συστήματος.*
- *Αυτόνομα συστήματα με αποθήκευση της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας, π.χ. αυτόνομα Φ/Β συστήματα φωτισμού οδών, αρχαιολογικών χώρων, αλσυλλίων, υποστήριξη συστημάτων πυρανίχνευσης δασικών εκτάσεων, τηλεπικοινωνιακών αναμεταδοτών, διατάξεων καταγραφής δεδομένων (Loggers) κ.α. Σχεδιάζονται με βάση την πρόβλεψη ορισμένων ημερών αυτονομίας του συστήματος, με βάση το κατάλληλο μέγεθος συσσωρευτών.*

### ***II. Υβριδικά Φ/Β συστήματα (Hybrid PV systems)***

Στα υβριδικά Φ/Β συστήματα, όπου η απαιτούμενη ηλεκτρική ενέργεια καλύπτεται από το συνδυασμό Φ/Β συστοιχίας με άλλες πηγές ενέργειας Α.Π.Ε. (π.χ. ανεμογεννήτρια, Α/Γ) ή πηγές συμβατικών καυσίμων (ηλεκτροπαραγωγό ζεύγος, Η/Ζ). Ο προσδιορισμός των συνιστωσών Α.Π.Ε. προκύπτει με ολοκληρωμένη οικονομοτεχνική μελέτη του συστήματος, με κριτήριο το βαθμό συμμετοχής του Η/Ζ στην εξασφάλιση της κάλυψης των ενεργειακών απαιτήσεων της εφαρμογής.

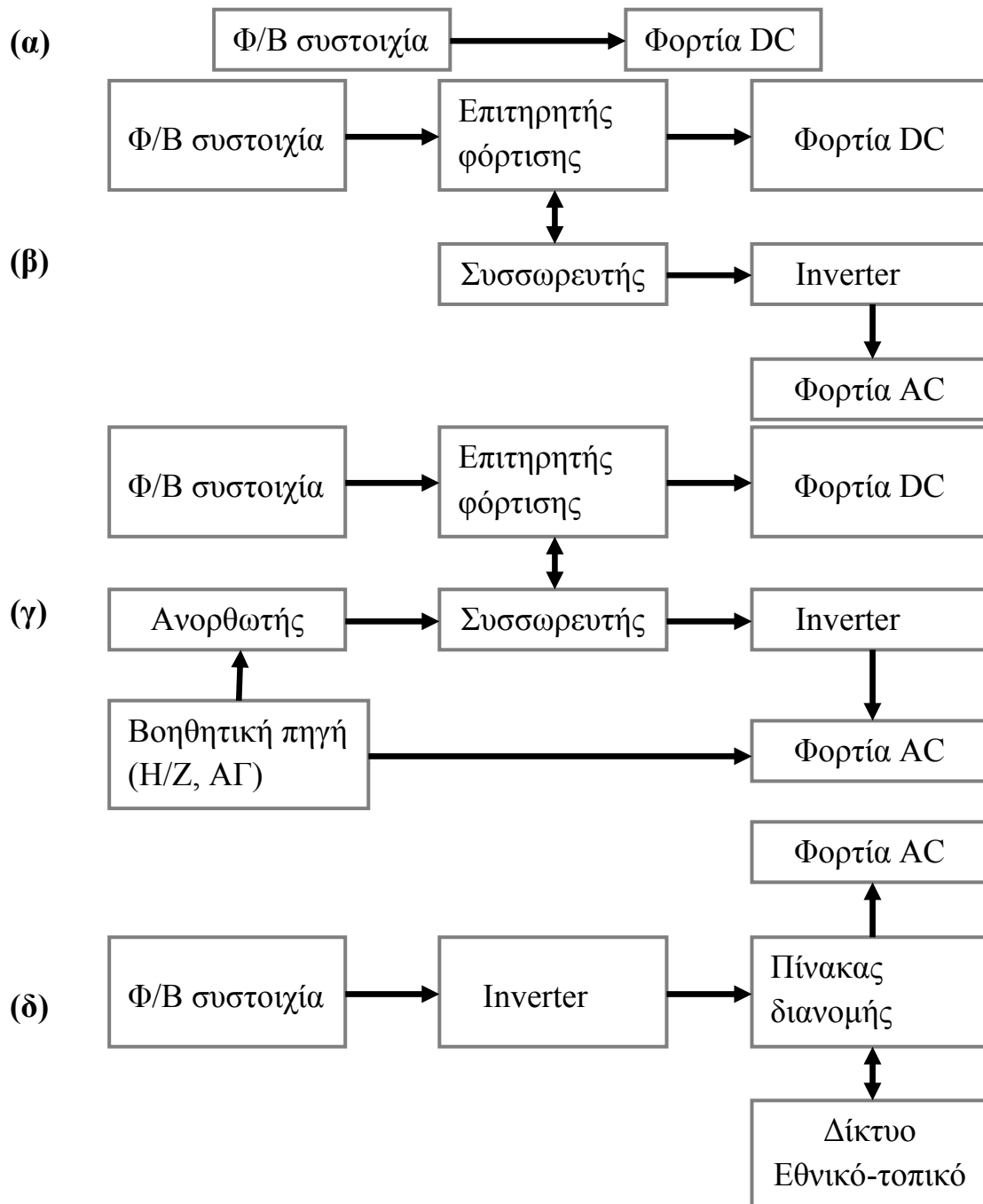
Στις πιο πολλές περιπτώσεις στο σύστημα προβλέπεται αποθήκευση της ηλεκτρικής ενέργειας σε συσσωρευτές (αυτονομίας αποθηκευμένης ενέργειας).

## **B. Φ/B συστήματα συνδεδεμένα στο δίκτυο (Grid-connected systems)**

Αναφέρονται στα συστήματα τα οποία συνδέονται απ' ευθείας στο εθνικό ή τοπικό δίκτυο ηλεκτρικής παροχής (AC). Το δίκτυο αποτελεί για το Φ/B σύστημα μια τεράστια “δεξαμενή” ηλεκτρικής ενέργειας δηλαδή σταθερής ηλεκτρικής τάσης. Επομένως, στα συστήματα αυτά δεν απαιτείται αποθήκευση της παραγόμενης Φ/B ηλεκτρικής ενέργειας. Διακρίνονται σε αυτά που είναι συνδεδεμένα στο δίκτυο, ως κατανεμημένα (Distributed) συστήματα και σε εκείνα που αποτελούν κεντρικούς Φ/B σταθμούς μεγάλης ισχύος, των οποίων η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια διοχετεύεται στο κεντρικό δίκτυο (Centralized systems). Το μεγαλύτερο ποσοστό του συνόλου των εγκατεστημένων Φ/B συστημάτων παγκοσμίως αποτελούν τα συνδεδεμένα στο δίκτυο Φ/B συστήματα (IEA, Photovoltaic Barometer). Παρά τη σημαντική αύξηση των Φ/B συστημάτων κεντρικού σταθμού, κυρίως μετά το 2002, τα κατανεμημένα Φ/B συστήματα εξακολουθούν να αποτελούν την κύρια συνιστώσα των συνδεδεμένων στο δίκτυο Φ/B συστημάτων, σε ποσοστό ~90%. Στην κατηγορία των κεντρικών Φ/B συστημάτων ανήκουν και τα μεγάλα Φ/B συγκροτήματα, των οποίων η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια διοχετεύεται απ' ευθείας στο δίκτυο.

Τα κατανεμημένα Φ/B συστήματα, διακρίνονται σε αυτά που χρησιμοποιούν το δίκτυο ως βοηθητική πηγή ενέργειας (Grid back-up) και σε εκείνα που λειτουργούν σε συνεχή αλληλεπίδραση με το δίκτυο, διοχετεύοντας την επιπλέον παραγόμενη ενέργεια σε αυτό (Grid interactive). Στην πρώτη περίπτωση το Φ/B σύστημα είναι σχεδιασμένο ώστε να καλύπτει κατά μέσο όρο τις μηνιαίες ενεργειακές απαιτήσεις της εφαρμογής. Το δίκτυο καλύπτει έκτακτη ενεργειακή ζήτηση ή καταστάσεις αστοχίας του Φ/B συστήματος. Στη δεύτερη περίπτωση, το κυριότερο κριτήριο αφορά στην επιλογή εκείνης της Φ/B συστοιχίας η οποία καλύπτει, κατά μέσο όρο, τις ετήσιες ενεργειακές απαιτήσεις της εφαρμογής. Στις χρονικές περιόδους που το Φ/B σύστημα αδυνατεί να καλύψει τις καταναλώσεις της εφαρμογής, η απαιτούμενη ενέργεια παρέχεται από το δίκτυο. Σύμφωνα με το κριτήριο αυτό, μέσα στο έτος, η

συνολική ενέργεια από το δίκτυο στην εφαρμογή, προβλέπεται να είναι ίση με της συνολική ενέργεια από το Φ/Β σύστημα στο δίκτυο. Αν η επιδίωξή μας είναι το ετήσιο οικονομικό ισοζύγιο μεταξύ παραγωγού και ΔΕΗ, κατά τη σχεδίαση του συστήματος λαμβάνονται υπ' όψη τα διαφορετικά τιμολόγια παραγωγής και κατανάλωσης.



**Σχήμα 2.2 Βασικά είδη Φ/Β συστημάτων. (α) Αυτόνομο Φ/Β σύστημα με συστοιχία συνδεδεμένη απευθείας στο φορτίο (DC). (β) Αυτόνομο Φ/Β σύστημα με αποθήκευση ηλεκτρικής ενέργειας και τροφοδοσία**

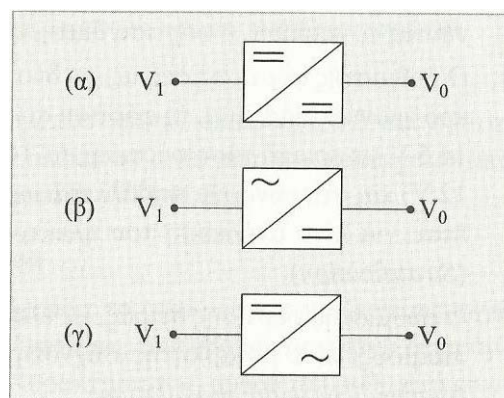
φορτίων συνεχούς και εναλλασσόμενης τάσεως. (γ) Αυτόνομο Φ/Β υβριδικό σύστημα. (δ) Φ/Β σύστημα συνδεδεμένο στο εθνικό ή τοπικό δίκτυο [1]

## 2.2 ΜΕΤΑΤΡΟΠΕΙΣ (CONVERTERS) DC-DC, DC-AC ΚΑΙ AC-DC [Παραπομπή Βιβλιογραφίας Αρ.1]

Είναι ηλεκτρονικές διατάξεις, μετατροπής

- α) συνεχούς ρεύματος σε συνεχές (*DC-DC converter*), οποιασδήποτε τάσης
- β) συνεχούς ρεύματος σε εναλλασσόμενο (*DC-AC converter*), οποιουδήποτε πλάτους και
- γ) εναλλασσόμενης τάσης σε συνεχή (*AC-DC converter*)

Στο Σχήμα 2.3 παρουσιάζονται οι συμβολικές ηλεκτρολογικές παραστάσεις των τριών τύπων μετατροπέων.



**Σχήμα 2.3 Συμβολικές παραστάσεις των τριών τύπων μετατροπέων (α) συνεχούς τάσεως σε συνεχή, (β) εναλλασσόμενης σε συνεχή, (γ) συνεχούς σε εναλλασσόμενη [1]**

Η όλη διαδικασία έχει ομοιότητα με τη μετατροπή του εναλλασσομένου σε εναλλασσόμενο διαφορετικού πλάτους, μέσω μετασχηματιστή (Transformer), η οποία, ως γνωστόν, βασίζεται αποκλειστικά και μόνο, στο φαινόμενο της επαγωγής. Κατά την



περίπτωση αυτή, το κύκλωμα εξόδου είναι ηλεκτρικά μονωμένο από το κύκλωμα εισόδου. Στην περίπτωση των μετατροπέων DC-DC, δεν είναι απαραίτητη η χρησιμοποίηση μετασχηματιστή.

### ***I. Μετατροπέας συνεχούς τάσεως σε συνεχή (DC-DC converter)***

Η μετατροπή μιας συνεχούς τάσεως,  $V_1$ , σε συνεχή,  $V_0$  ( $V_0 \neq V_1$ ), βασίζεται στη χρήση υψίσυχνων διακοπτικών στοιχείων κυκλωμάτων (*switchmode* π.χ. *transistors*, *thyristors*), με τα οποία μπορούμε να διαχειριζόμαστε μεγάλη ισχύ, με ελάχιστες απώλειες. Η μονάδα μετατρέπει συνεχή τάση σε συνεχή, μεγαλύτερης ή μικρότερης τιμής, ανάλογα με τις απαιτήσεις, βοηθώντας στη μείωση των καταναλώσεων στη γραμμή μεταφοράς από το χώρο παραγωγής στο χώρο αποθήκευσης. Στο χώρο του Φ/Β πεδίου, τα Φ/Β πλαίσια συνδέονται σε σειρά και αν απαιτείται παράλληλα, ούτως ώστε η ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται σε αυτά να μεταφέρεται με όσο το δυνατόν υψηλότερη τάση, πάντα μέσα στα επιτρεπτά όρια, ώστε το ρεύμα (DC) στη γραμμή μεταφοράς να είναι χαμηλό και αντίστοιχα χαμηλές και οι απώλειες μεταφοράς ενέργειας. Σε συστήματα μεγαλύτερα των μερικών kW<sub>p</sub>, η τάση εξόδου της συστοιχίας βρίσκεται συνήθως περίπου στα 300 V, με όριο τα 600 V. Στο χώρο των συσσωρευτών, ο μετατροπέας DC-DC, τροποποιεί την τάση της συστοιχίας στην τάση του συσσωρευτή, ώστε να υπάρχει πλήρης εκμετάλλευση της ενέργειας και επιπροσθέτως να μη δημιουργηθούν συνθήκες υπέρτασης του συσσωρευτή. Τα συστήματα αυτά παρουσιάζουν μια απόδοση ~94%.

Στη διάταξη μπορεί να τοποθετηθεί μικροελεγκτής, ο οποίος συνεχώς ελέγχει και ορίζει την προσαρμογή του σημείου λειτουργίας του συστήματος παραγωγής ενέργειας, με το σημείο μέγιστης ισχύος, που καθορίζουν οι κρατούσες συνθήκες φωτισμού και θερμοκρασίας περιβάλλοντος. Η πρόσθετη αυτή διάταξη ονομάζεται διάταξη “Παρακολούθησης Σημείου Μέγιστης Ισχύος, ΠΣΜΙ (*Maximum Power Point Tracking, MPPT*)”.

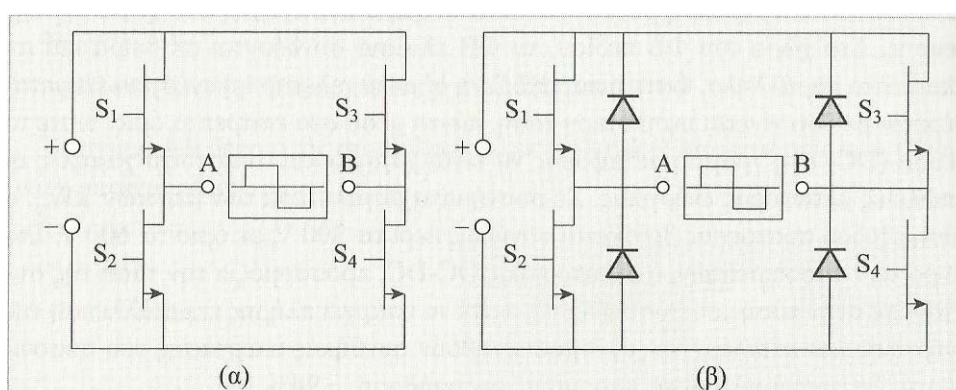
### ***II. Ο μετατροπέας DC-AC (Inverter)***

Η χρησιμοποίηση του εναλλασσόμενου ρεύματος σε Φ/Β εφαρμογές επιβάλλεται, στις περισσότερες περιπτώσεις, εξαιτίας της

επικράτησής του, κατά γενικό τρόπο, σε αρκετές οικιακές χρήσεις και εφαρμογές καθώς και στη βιομηχανία. Γενικά, τρεις είναι οι κύριοι τρόποι με τους οποίους μπορούμε να μετατρέψουμε συνεχές ρεύμα (DC) σε εναλλασσόμενο (AC).

- α) Με συνδυασμό κινητήρα συνεχούς ρεύματος με γεννήτρια εναλλασσόμενου,
- β) Με χρήση του κλασσικού μηχανικού ή ηλεκτρονικού διακοπτικού συστήματος σε συνεργασία με μετασχηματιστή (πηνίο Ruhmkorff, διατάξεις τροφοδοσίας των αναφλεκτήρων των μηχανών εσωτερικής καύσης) και
- γ) Με τον καθαρά ηλεκτρονικό μετατροπέα DC-AC converter (*Inverter*).

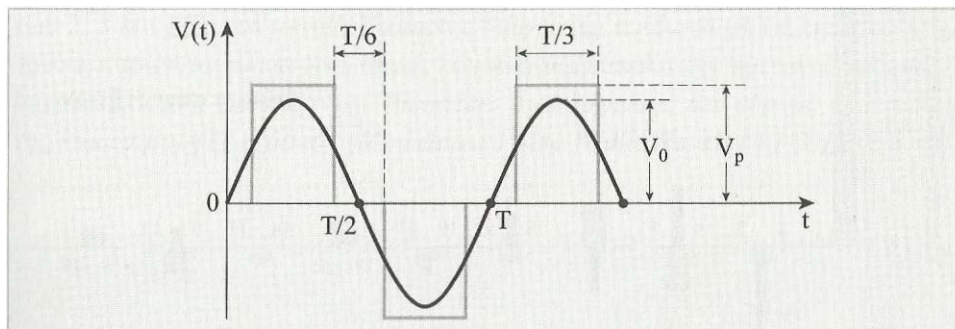
Ο inverter είναι ένα ηλεκτρονικό σύστημα ισχύος που μετατρέπει συνεχή τάση σε εναλλασσόμενη (μονοφασική ή τριφασική). Η κύρια αρχή λειτουργίας του περιγράφεται στο Σχήμα 2.4. Χρησιμοποιείται κατά κόρον σε περιπτώσεις που διαθέτουμε πηγή συνεχούς ηλεκτρικής τάσεως και καταναλωτές εναλλασσόμενης, όπως συμβαίνει π.χ. στις φωτοβολταϊκές εφαρμογές οικιακής χρήσεως. Αποτελείται από ηλεκτρονικούς διακόπτες (π.χ. bipolar transistors ισχύος, MOSFETs, thyristors κ.λπ.), η συνδυασμένη λειτουργία των οποίων έχει ως αποτέλεσμα τη δημιουργία μιας σειράς τετραγωνικών παλμών διαδοχικά ορθών και αντεστραμμένων (*Inversion*).



**Σχήμα 2.4 (α) Βασική αρχή λειτουργίας του inverter. S<sub>1</sub>, S<sub>2</sub>, S<sub>3</sub>, S<sub>4</sub>=διακοπτικά στοιχεία. Η μετατροπή του συνεχούς ρεύματος σε εναλλασσόμενο (DC-AC conversion), επιτυγχάνεται με κλείσιμο - άνοιγμα των διακοπτικών στοιχείων, ανά δύο, χιαστί (1, 4 και 2, 3).**

**Όσο τα  $S_1, S_4$  είναι αγώγιμα και τα  $S_2, S_3$  σε αποκοπή, τα σημεία A και B έχουν πρόσημα + και - αντίστοιχα. Όταν συμβαίνει το αντίστροφο, τα A και B έχουν πρόσημα - και + αντίστοιχα. Με αυτό τον τρόπο δημιουργείται η εναλλασσόμενη τετραγωνική τάση (κέντρο του διαγράμματος). (β) Στο προηγούμενο κύκλωμα προστίθεται, σε κάθε διακοπτικό στοιχείο, από μία διόδος, ώστε να αποκόπτεται η επιστρεφόμενη ισχύς από μη ωμικά φορτία κατανάλωσης [1]**

Μια βελτιωμένη έκδοση inverter, αποτελεί εκείνος του οποίου η τάση εξόδου παρουσιάζεται με τη μορφή του *διαμορφωμένου ημίτονου (modified sine inverter)*, όπως εμφανίζεται στο Σχήμα 2.5.



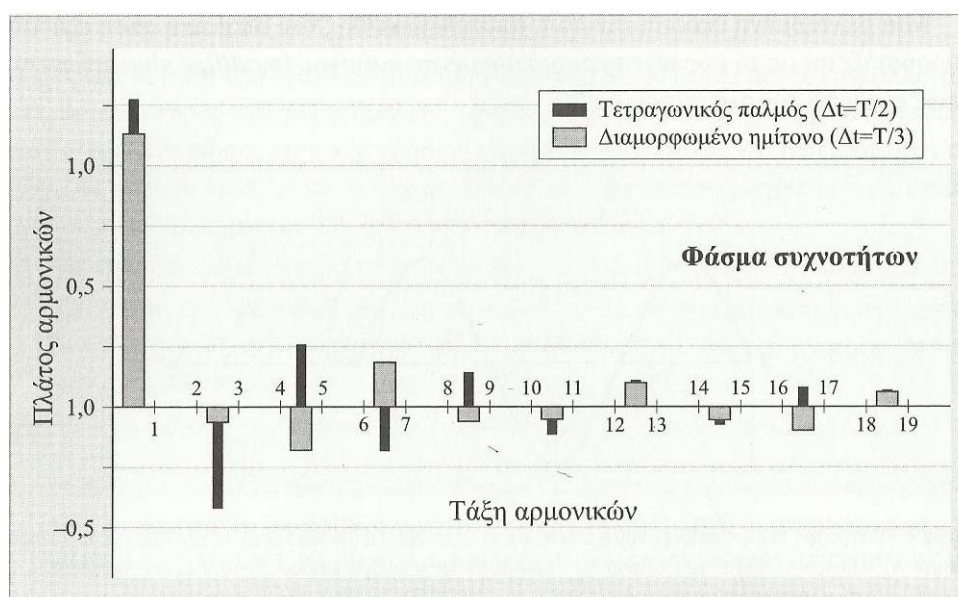
**Σχήμα 2.5 Η μορφή του τροποποιημένου ημιτόνου (Quasi-Sine Wave ή modified sine) σε σύγκριση με το καθαρό ημίτονο.  $V_p$  = πλάτος τετραγωνικού παλμού.  $V_0$  = πλάτος αντίστοιχου θεμελιώδους ημιτονικής κυματομορφής [1]**

Με σωστή ρύθμιση των χρόνων κλεισίματος – ανοίγματος των διακοπών, επιτυγχάνουμε μικρή τροποποίηση της κυματομορφής εξόδου του, η οποία χαρακτηρίζεται από το ότι ο αρνητικός τετραγωνικός παλμός είναι μετατοπισμένος χρονικά, σε σχέση με τον θετικό, κατά  $T/6$  της περιόδου της συνολικής κυματομορφής. Το χρονικό εύρος των τετραγωνικών τμημάτων είναι  $T/3$ .

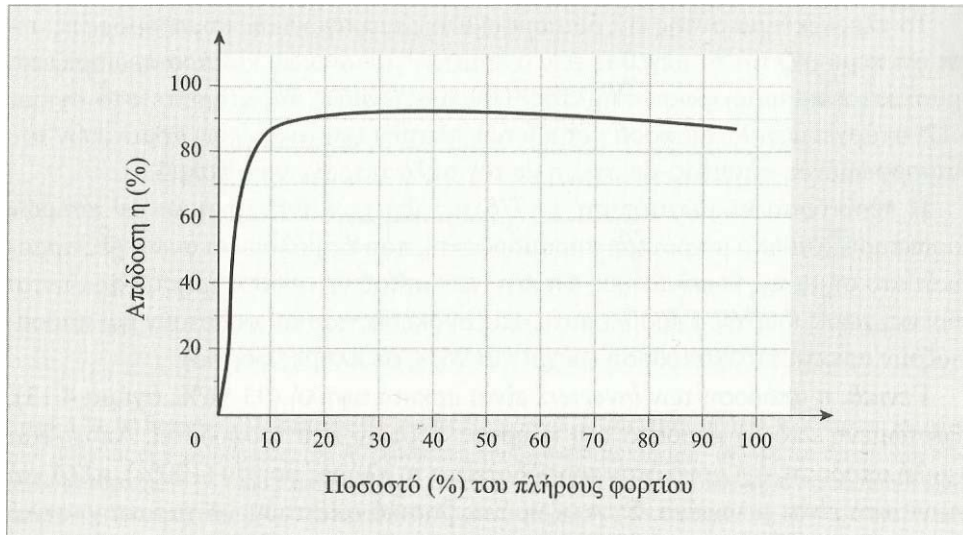
Το πλεονέκτημα αυτής της διαμορφωμένης τετραγωνικής κυματομορφής, είναι ότι περιορίζεται το μέγεθος των ανωτέρων αρμονικών και άρα περιορίζεται δραστικά η παραμόρφωση σήματος. Πράγματι, όπως παρατηρείται στο Σχήμα 2.6, υπάρχει μεγάλη διαφορά μεταξύ των πλατών των ανωτέρων αρμονικών του διαμορφωμένου σήματος, σε σχέση με τον απλό τετραγωνικό παλμό.

Η περίπτωση με μετατόπιση  $\tau=T/6$  μεταξύ των αντεστραμμένων παλμών εμφανίζει μικρότερη παραμόρφωση, που επιβάλουν οι ανώτερες αρμονικές στο σήμα της θεμελιώδους. Οι inverters αυτού του είδους χρησιμοποιούνται ευρέως, χωρίς ιδιαίτερα προβλήματα στις συσκευές που τροφοδοτούν και παρουσιάζουν αρκετά καλή απόδοση (μέχρι και 96%, σε πλήρες φορτίο).

Γενικά, η απόδοση των *inverters* είναι αρκετά υψηλή (93-96%, Σχήμα 2.7), εξαρτώμενη από το ποσοστό του πλήρους φορτίου που τροφοδοτεί. Απαιτείται υψηλή απόδοση, όχι μόνο όταν τροφοδοτείται σε πλήρες φορτίο (100%), αλλά και στη περίπτωση που αυτό είναι μειωμένο. Συγκεκριμένα, κύριο απαιτούμενο χαρακτηριστικό ενός inverter είναι η υψηλή απόδοση (>90%) ακόμα κι όταν το φορτίο είναι μόνο 10% του πλήρους. Επίσης η λειτουργία τους συνοδεύεται, κατά περίπτωση, από παραγωγή μεγάλου πλήθους αρμονικών υψηλών συχνοτήτων (κυρίως με τον απλό τετραγωνικό παλμό), που περιορίζονται με ειδικά ηλεκτρονικά φίλτρα.

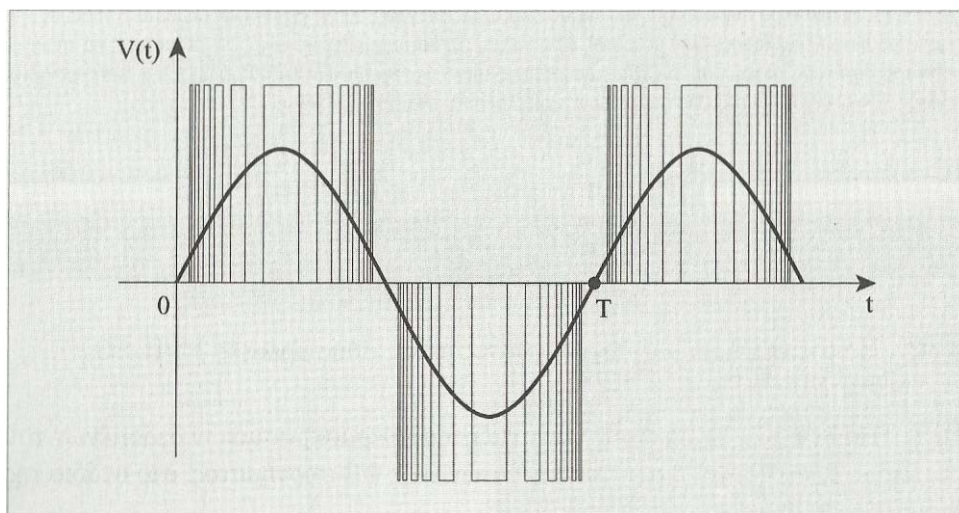


**Σχήμα 2.6 Φάσμα συχνοτήτων δύο περιοδικών σημάτων, του εναλλασσόμενου τετραγωνικού παλμού (μαύρα παραλληλόγραμμα) και του εναλλασσόμενου διαμορφωμένου τετραγωνικού παλμού. Το πλάτος της θεμελιώδους αρμονικής (Τάξη  $n = 1$ ) είναι  $\sim 1,15$  του πλάτους του τετραγωνικού παλμού ( $V_0 = 1,15 V_p$ ) [1]**



**Σχήμα 2.7 Μεταβολή της απόδοσης του inverter σε συνάρτηση με το ποσοστό του πλήρους φορτίου που τροφοδοτεί [1]**

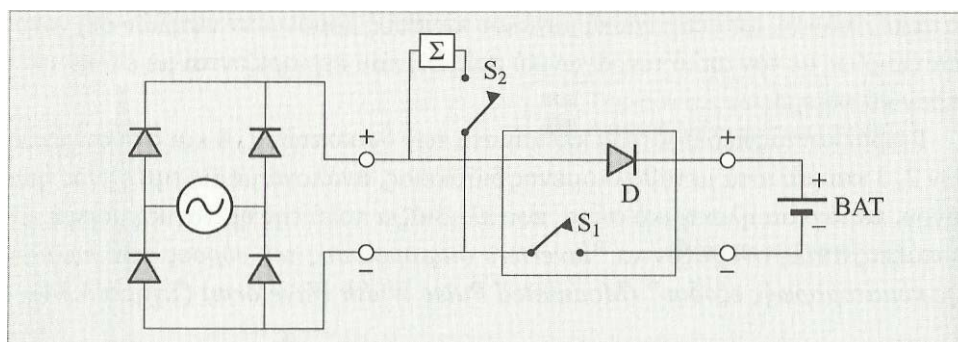
Επιβάλλοντας περισσότερα κλεισίματα των διακοπών 1, 4 και στη συνέχεια των 2, 3 και μάλιστα μεταβαλλόμενης διάρκειας, ανάλογα με τις τιμές ενός ημιτόνου, παράγεται ηλεκτρικό σήμα, το οποίο πλησιάζει πολύ την ημιτονική μορφή. Οι διατάξεις αυτές ονομάζονται “*inverters διαμόρφωσης του εύρους των παλμών της κυματομορφής εξόδου*” (*Modulated Pulse Width Waveform*) (Σχήμα 2.8).



**Σχήμα 2.8 Η κυματομορφή εξόδου ενός inverter διαμόρφωσης εύρους παλμών [1]**

### III. Μετατροπέας εναλλασσομένου ρεύματος σε συνεχές (AC-DC)

Σε αυτή τη διάταξη συνδυάζεται ένα σύστημα ανόρθωσης της παρεχόμενης, από την ενεργειακή πηγή (ΑΓ, Η/Ζ), εναλλασσόμενης ηλεκτρικής τάσης (μονοφασικής ή τριφασικής μορφής), χωρίς να παρεμβάλλεται μετασχηματιστής, με μια διάταξη μετατροπής συνεχούς σε συνεχές ρεύμα (DC-DC). Μια τέτοια διάταξη περιλαμβάνει μια ανορθωτική μονάδα σε συνδυασμό με ένα μετατροπέα DC-DC (Σχήμα 2.9).



**Σχήμα 2.9** Το αριστερό τμήμα του διαγράμματος είναι απλά ένας ανορθωτής με διόδους σε διάταξη γέφυρας, για τη μετατροπή του εναλλασσομένου ρεύματος σε συνεχές. Το δεξί τμήμα είναι ένας DC-DC inverter για τη μετατροπή της συνεχούς τάσεως σε συνεχή, διαφορετικής τιμής.  $S_1$ ,  $S_2$ , διακοπτικά συστήματα,  $D$  = διόδος αντεπιστροφής.  $\Sigma$  = ελεγχόμενο στοιχείο στο οποίο αποδίδεται η πλεονάζουσα ενέργεια [1]

## 2.3 ΟΙ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟΙ ΣΥΣΣΩΡΕΥΤΕΣ [Παραπομπή Βιβλιογραφίας Αρ.2]

### 2.3.1 Η ανάγκη για αποθήκευση

Τα Φ/Β συστήματα που είναι συνδεδεμένα με κεντρικά ηλεκτρικά δίκτυα διανομής, αντλούν από αυτά την απαιτούμενη συμπληρωματική ηλεκτρική ενέργεια. Επίσης διοχετεύουν προς τα δίκτυα την ενδεχόμενη περίσσεια της παραγόμενης φωτοβολταϊκής ηλεκτρικής ενέργειας, όταν υπερβαίνει την κατανάλωση του συστήματος. Όμως, τα απομονωμένα αυτόνομα Φ/Β συστήματα δεν έχουν αυτή τη δυνατότητα ενεργειακής

ανταλλαγής. Επομένως, χρειάζεται να αποθηκεύουν μια ποσότητα από την περίσσεια της ηλεκτρικής τους παραγωγής, ώστε να χρησιμοποιηθεί όταν η ζήτηση είναι μεγαλύτερη από την παραγωγή της Φ/Β γεννήτριας. Ως προς την άλλη απαίτηση, δηλαδή την απαλλαγή του συστήματος από την περίσσεια της παραγόμενης φωτοβολταϊκής ηλεκτρικής ενέργειας, πέρα από τη ζήτηση της κατανάλωσης και τη δυνατότητα της αποθήκευσης αυτή αναγκαστικά αντιμετωπίζεται με τη διοχέτευση της στη Γή ή σε ηλεκτρικές αντιστάσεις.

Η ποσότητα της ηλεκτρικής ενέργειας που πρέπει να προνοείται να αποθηκεύεται, εξαρτάται από τις τοπικές συνθήκες και απαιτήσεις, και κυρίως το μέγιστο πλήθος των πιθανών συνεχών ημερών συννεφιάς, τις αιχμές της κατανάλωσης και τον βαθμό αξιοπιστίας που θα πρέπει να παρουσιάζει το σύστημα, σε συνδυασμό με την ύπαρξη ή όχι των βοηθητικών ενεργειακών πηγών. Συνήθως, από τα αυτόνομα Φ/Β συστήματα ζητείται να εξασφαλίζουν μια αυτονομία τουλάχιστον 3 έως 10 ημερών περίπου.

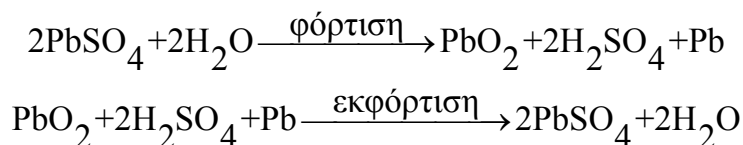
Σε ειδικές περιπτώσεις, η φωτοβολταϊκή ενέργεια μπορεί, με νέα μετατροπή, να αποθηκευθεί σε μη ηλεκτρική μορφή. Π.χ. να κινήσει ηλεκτρικές αντλίες που μεταφέρουν νερό σε υπερυψωμένες δεξαμενές, από όπου στη συνέχεια, με την πτώση του νερού, παράγεται πάλι ηλεκτρική ενέργεια με τη βοήθεια μικρών υδροηλεκτρικών σταθμών. Επίσης μπορεί να ηλεκτρολύσει νερό και να παράγει υδρογόνο, το οποίο αποθηκεύεται σε αεριοφυλάκια και χρησιμοποιείται στη συνέχεια ως καύσιμο σε μικρούς θερμοηλεκτρικούς σταθμούς. Συνήθως όμως, η αποθήκευση της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας στα αυτόνομα Φ/Β συστήματα γίνεται σε ηλεκτρικούς συσσωρευτές.

### **2.3.2 Οι συσσωρευτές μολύβδου**

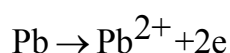
Υπάρχουν διάφορων τύπων ηλεκτρικοί συσσωρευτές (μπαταρίες), ανάλογα με το υλικό των ηλεκτροδίων τους. Π.χ. συσσωρευτές νικελίου-καδμίου ή αργύρου-ψευδαργύρου. Έχει όμως διαπιστωθεί ότι οικονομικότεροι για χρησιμοποίηση σε Φ/Β συστήματα είναι οι συσσωρευτές μολύβδου. Τα ηλεκτρόδια τους είναι πλάκες από κράματα μολύβδου, π.χ. Pb-Sb ή Pb-Ca, βυθισμένες σε διάλυμα θειικού οξέος. Είναι δηλαδή όμοιοι με τους συνηθισμένους συσσωρευτές των

αυτοκινήτων, αν και εκείνοι κατασκευάζονται από φθηνότερο κράμα μολύβδου και αυτοεκφορτίζονται σε σχετικά γρήγορο ρυθμό.

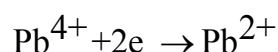
Υπενθυμίζεται ότι η λειτουργία των συσσωρευτών μολύβδου στηρίζεται σε μια αντιστρεπτή ηλεκτροχημική διαδικασία, που περιγράφεται από την αμφίδρομη αντίδραση:



Συγκεκριμένα, οι συσσωρευτές αποτελούνται από κυψελίδες, δηλαδή ζεύγη μονωμένων μεταξύ τους πλακών βυθισμένων στο ίδιο διάλυμα θεικού οξέος. Οι πλάκες του αφόρτιστου συσσωρευτή καλύπτονται από θεικό μόλυβδο ( $\text{PbSO}_4$  ή ακριβέστερα  $\text{Pb}^{4+} \text{SO}_4^{2-}$ ). Κατά το στάδιο της φόρτισης, διασπάτε ο θεικός μόλυβδος και σχηματίζεται οξείδιο του μολύβδου ( $\text{PbO}_2$  ή ακριβέστερα  $\text{Pb}^{2+} \text{O}_2^{2-}$ ) στις πλάκες των θετικών ηλεκτροδίων και μεταλλικός Pb στις πλάκες των αρνητικών. Αντίστροφα, κατά την εκφόρτιση του συσσωρευτή και την τροφοδότηση των ηλεκτρικών καταναλώσεων, ο Pb οξειδώνεται στις πλάκες των αρνητικών ηλεκτροδίων προς ιόντα  $\text{Pb}^{2+}$  και δίνει ηλεκτρόνια στο εξωτερικό κύκλωμα:



Ενώ στις πλάκες των θετικών ηλεκτροδίων ο  $\text{Pb}^{4+}$  ανάγεται προς  $\text{Pb}^{2+}$ , παίρνοντας ηλεκτρόνια από το εξωτερικό κύκλωμα:



Τα προϊόντα των δύο αντιδράσεων, δηλαδή τα ιόντα  $\text{Pb}^{2+}$ , ενώνονται με θεικά ιόντα ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) από το διάλυμα και ξανά σχηματίζουν τον θεικό μόλυβδο πάνω στις πλάκες των κυψελίδων. Έτσι, καταναλώνεται θεικό οξύ και αραιώνεται το διάλυμα στις κυψελίδες. Με τη φόρτιση όμως που επακολουθεί, τα θεικά ιόντα επιστρέφουν στο



διάλυμα, όπως δείχνει η αμφίδρομη αντίδραση, και η περιεκτικότητα του αποκαθιστάται στην κανονική τιμή.

Κάθε φορτισμένη κυψελίδα των συσσωρευτών μολύβδου, δηλαδή κάθε ζεύγος ηλεκτροδίων, δίνει τάση περίπου 2 V. Για την πλήρη, όμως, φόρτιση κάθε κυψελίδας χρειάζεται να γίνει τροφοδότηση με τάση περίπου 2,4 V. Στη συνέχεια, η τροφοδότηση του συσσωρευτή πρέπει να διακοπεί διότι η υπερφόρτιση των κυψελίδων προκαλεί τη θέρμανση του διαλύματος του θεικού οξέος, την εξάτμιση του νερού του και τελικά την επιτάχυνση της φθοράς του συσσωρευτή. Επίσης προκαλεί την ηλεκτρόλυση του διαλύματος με έκλυση υδρογόνου και οξυγόνου. Αυτό, εκτός από την απώλεια του υγρού, δημιουργεί κινδύνους και για την ασφάλεια της εγκατάστασης. Αν ο χώρος που βρίσκεται ο συσσωρευτής δεν έχει καλό αερισμό το υδρογόνο μπορεί να σχηματίσει εκρηκτικό μείγμα με τον αέρα, που με έναν τυχαίο σπινθήρα θα προξενήσει ατύχημα.

Συνήθως οι συσσωρευτές περιέχουν πολλές κυψελίδες στη σειρά και δίνουν ανάλογα αυξημένη τάση. Π.χ. ένας συσσωρευτής μολύβδου με 6 κυψελίδες δίνει τάση περίπου 12 V και για τη φόρτιση του χρειάζεται τάση  $6 \times 2,4$  V και επιπλέον 0,75 V και για την πώση τάσης στην προστατευτική δίοδο που υπάρχει συνήθως μεταξύ συσσωρευτού και Φ/Β γεννήτριας, ώστε να μη διοχετεύεται ρεύμα από τον συσσωρευτή προς τα ηλιακά στοιχεία. Δηλαδή απαιτείται συνολική τάση φόρτισης 15,15 V. Πάντως, συχνά στα Φ/Β συστήματα χρησιμοποιούνται συσσωρευτές με πολλές δεκάδες κυψελίδες στη σειρά, ώστε να δίνουν αρκετά υψηλή τάση.

### 2.3.3 Η χωρητικότητα των συσσωρευτών

Το φορτίο που αποθηκεύει, δηλαδή η *χωρητικότητα* ενός συσσωρευτή, μετράται συνήθως σε αμπερώρια (Ah), που είναι, σε ιδανικές συνθήκες, το γινόμενο της μέσης έντασης του ρεύματος  $I$ , που δίνει ο συσσωρευτής, ανεξάρτητα από την τάση του, επί το πλήθος των ωρών μέχρι να εκφορτισθεί, ξεκινώντας από την πλήρη φόρτιση. Προφανώς, πιο χρήσιμο μέγεθος είναι η ποσότητα της ηλεκτρικής ενέργειας που μπορεί να αποθηκευθεί σε ένα συσσωρευτή, η οποία όμως εξαρτάται από την τάση που δίνει ο συσσωρευτής. Έτσι, ένας συσσωρευτής χωρητικότητας π.χ.  $C=100$  Ah, που δίνει μέση τάση π.χ.

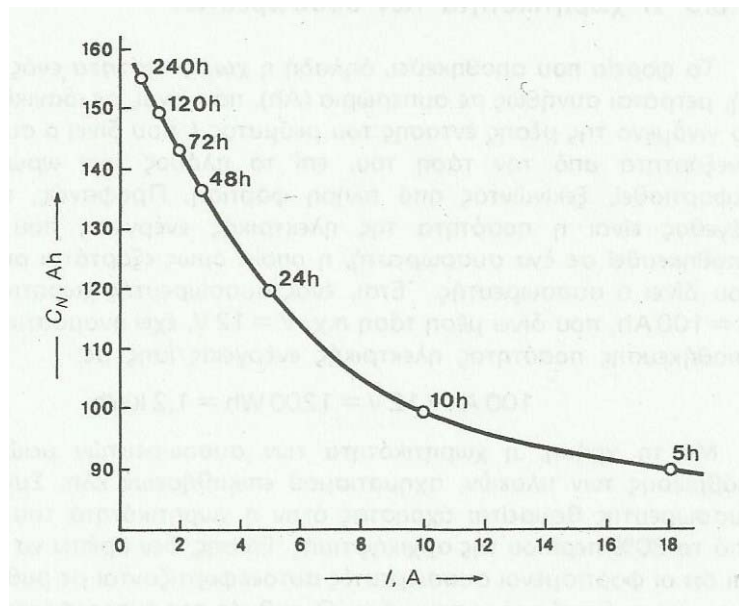
V=12 V, έχει ονομαστική ικανότητα αποθήκευσης ποσότητας ηλεκτρικής ενέργειας ίσης με :

$$100 \text{ Ah} \times 12 \text{ V} = 1200 \text{ Wh} = 1,2 \text{ kWh}$$

Με τη χρήση, η χωρητικότητα των συσσωρευτών μειώνεται λόγω διάβρωσης των πλακών, σχηματισμού επικαθήσεων κλπ. Συνήθως, ένας συσσωρευτής θεωρείται άχρηστος όταν η χωρητικότητά του πέσει κάτω από το 80% περίπου της αρχικής τιμής. Επίσης, δεν πρέπει να παραβλέπεται ότι οι φορτισμένοι συσσωρευτές αυτοεκφορτίζονται με ρυθμό 2% ως 5% της χωρητικότητας τους τον μήνα. Ο ρυθμός της αυτοεκφόρτισης αυξάνει με την ηλικία του συσσωρευτή.

Η χωρητικότητα των συσσωρευτών εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την ισχύ ( $P=VI$ ) με την οποία γίνεται η εκφόρτιση τους, δηλαδή από την ένταση του ρεύματος που δίνουν προς την κατανάλωση. Όπως δείχνεται στο παράδειγμα του Σχήματος 2.10, ένας συσσωρευτής ονομαστικής χωρητικότητας 100 Ah θα εξαντληθεί σε 10 ώρες αν η ένταση του ρεύματος εκφόρτισης είναι 10 A, ενώ αν η ένταση είναι π.χ. 18 A ο ίδιος συσσωρευτής θα εξαντληθεί σε 5 ώρες και η χωρητικότητά του θα πέσει στα 90 Ah. Αντίθετα, με μικρότερους ρυθμούς εκφόρτισης, βλέπουμε ότι η χωρητικότητά του συσσωρευτή αυξάνει σημαντικά. Επίσης, η χωρητικότητά αυξάνει με τη θερμοκρασία του συσσωρευτή. Συγχρόνως, όμως, επιταχύνονται οι μηχανισμοί διάβρωσης και μειώνεται η διάρκεια ζωής του.

Εκτός από τη θερμοκρασία, η διάρκεια της χρήσιμης ζωής των συσσωρευτών εξαρτάται κυρίως από το πλήθος των διαδοχικών κύκλων φόρτισης-εκφόρτισης και από το βάθος κάθε φόρτισης. Ανάλογα με τον τύπο τους, οι συσσωρευτές μολύβδου αντέχουν συνήθως μέχρι 500 ως 1500 κύκλους φορτίσεων-εκφορτίσεων. Στους φθηνότερους τύπους, το βάθος εκφόρτισης δεν επιτρέπεται να ξεπερνά το 10%. Δηλαδή με την εκφόρτιση προσφέρεται μόνο το 10% της αποθηκευμένης ηλεκτρικής ενέργειας, ώστε να αποφευχθεί η πρόωρη καταστροφή του συσσωρευτή. Σε ειδικούς στεγανούς τύπους με ηλεκτρόδια από κράματα Pb-Ca, το βάθος εκφόρτισης μπορεί να φτάσει μέχρι 80%. Πάντως, στις μικρότερες και λιγότερο απαιτητικές από τις Φ/Β εγκαταστάσεις, χρησιμοποιούνται συχνά κοινοί συσσωρευτές αυτοκινήτων, με επιτρεπόμενο βάθος εκφόρτισης μέχρι 10%.



**Σχήμα 2.10** Η εξάρτηση της χωρητικότητας  $C_N$  ενός συσσωρευτή μολύβδου του εμπορίου, από την ένταση του ρεύματος εκφόρτισης  $I$ . Ο συσσωρευτής του παραδείγματος έχει ονομαστική χωρητικότητα 100 Ah για ένταση ρεύματος 10 A και εξάντληση σε 10 ώρες, που παίρνεται συνήθως ως συμβατικό χρονικό διάστημα εκφόρτισης των συσσωρευτών για τον χαρακτηρισμό της χωρητικότητάς τους [2]

Επομένως, σε ένα συσσωρευτή ονομαστικής χωρητικότητας  $C_N$ , η ενεργός, αξιοποιήσιμη χωρητικότητα  $C$  είναι:

$$C = \beta \times C_N$$

και η μέγιστη ηλεκτρική ενέργεια που μπορεί να αποταμιευτεί και να ανακτηθεί, σε ιδανικές συνθήκες σε κάθε κύκλο φόρτισης-εκφόρτισης είναι:

$$E = C \times V = \beta \times C_N \times V$$

όπου  $\beta$  είναι το βάθος εκφόρτισης του συσσωρευτή σε δεκαδική μορφή. Για παράδειγμα αν ο συσσωρευτής του διαγράμματος του Σχήματος 2.10 έχει βάθος εκφόρτισης 60% και τάση 12 V, βρίσκουμε ότι για χρόνο εκφόρτισης π.χ. 24 ωρών (που αντιστοιχεί ονομαστική χωρητικότητα 120 Ah), θα είναι:

$$E = \beta \times C_N \times V = 0,6 \times 120 \times 12 = 864 \text{ Wh}$$

Ο συντελεστής απόδοσης των συσσωρευτών μολύβδου  $\alpha$ , δηλαδή ο λόγος της μέγιστης ποσότητας της ενέργειας που ανακτάται προς την ενέργεια που είχε απορροφηθεί από την Φ/Β γεννήτρια σε κάθε κύκλο φόρτισης-εκφόρτισης, είναι περίπου 85%. Επομένως, αν η ηλεκτρική ενέργεια που ζητάμε να δίνει ο συσσωρευτής είναι  $E$ , η ενεργός χωρητικότητα του  $C$  θα πρέπει να αντιστοιχεί σε ενέργεια φόρτισης  $E_\Phi$ , ίση με:

$$E_\Phi = \frac{E}{\alpha}$$

και άρα η ονομαστική του χωρητικότητα να είναι:

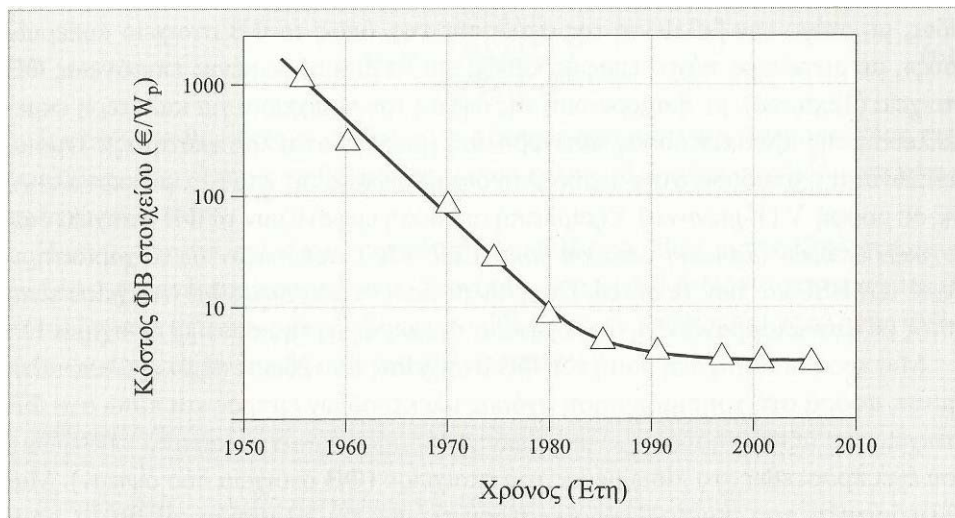
$$C_N = \frac{E_\Phi}{\beta \times V} = \frac{E}{\alpha \times \beta \times V}$$

Ως προς την παρεχόμενη ισχύ, βρίσκουμε εύκολα ότι ένας συσσωρευτής απαιτείται να τροφοδοτεί την κατανάλωση με μέση ισχύ  $P$  επί  $\mu$  συνεχείς ημέρες, η ενεργός του χωρητικότητα θα πρέπει να είναι:

$$C = \frac{24 \mu \times P}{\alpha \times V}$$

## 2.4 ΚΟΣΤΟΣ Φ/Β ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ [Παραπομπή Βιβλιογραφίας Αρ.1]

Το εμπορικό κόστος των Φ/Β στοιχείων, με τη βιομηχανική τους μορφή (Φ/Β πλαίσιο), σε μονάδες €/W<sub>p</sub>, μειώθηκε σημαντικά, όπως φαίνεται στο Σχήμα 2.11, από τα 1000 €/W<sub>p</sub> το 1956, στο επίπεδο των 3,2÷4,8 €/W<sub>p</sub>. Την ίδια χρονική περίοδο, οι χώρες με το μικρότερο κόστος Φ/Β πλαισίου ήταν η Γερμανία (2,9 €/W<sub>p</sub>), οι ΗΠΑ (3,25 €/W<sub>p</sub>), η Πορτογαλία (3,3 €/W<sub>p</sub>), η Ιταλία (3,7 €/W<sub>p</sub>) και η Ιαπωνία (3,7 €/W<sub>p</sub>). Παρά το σχετικό υψηλό κόστος των Φ/Β πλαισίων σήμερα αναμένεται μέσα στη δεύτερη δεκαετία του 21<sup>ου</sup> αιώνα, ικανή μείωση του κόστους της Φ/Β κιλοβατώρας ούτως ώστε να καταστεί συγκρίσιμο με το τότε κόστος της κιλοβατώρας από συμβατικά καύσιμα.



**Σχήμα 2.11 Διάγραμμα μεταβολής του κόστους του Φ/Β στοιχείου, σε ευρώ ανά W<sub>p</sub>. Εντυπωσιακή είναι η ελάττωση του κόστους της βιομηχανικής παραγωγής του, με τη μορφή των Φ/Β πλαισίων στην περίοδο 1956-1990 [1]**

## 2.5 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΤΩΝ Φ/Β ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ [Παραπομπή Βιβλιογραφίας Αρ.1]

Τα Φ/Β συστήματα διακρίνονται έναντι των άλλων πηγών Α.Π.Ε. με βάση τα επόμενα χαρακτηριστικά τους, σε συντομία:

Πλεονεκτήματα	Μειονεκτήματα
<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ άμεση παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, σε μικρή ή μεγάλη ισχύ</li> <li>✓ δυνατότητα σταδιακής υλοποίησης του συστήματος</li> <li>✓ μηδενικές εκπομπές ρύπων κατά τη λειτουργία τους</li> <li>✓ αθόρυβη λειτουργία</li> <li>✓ ελάχιστες απαιτήσεις συντήρησης</li> <li>✓ μεγάλη αξιοπιστία</li> <li>✓ μεγάλη διάρκεια ζωής</li> <li>✓ αποδεκτή αισθητική παρουσία</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Υψηλό οικονομικό κόστος</li> </ul>

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3<sup>ο</sup>

### ΜΕΛΕΤΗ ΔΙΑΣΥΝΔΕΔΕΜΕΝΟΥ Φ/Β ΣΤΑΘΜΟΥ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ 3 MW<sub>p</sub>

#### 3.1 ΣΕΝΑΡΙΟ

Ο σκοπός της εργασίας μου είναι η εγκατάσταση ενός Φ/Β σταθμού παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με ονομαστική ισχύ περίπου 3MW<sub>p</sub> που θα καλύπτει τις ανάγκες ενός σύγχρονου ποδοσφαιρικού γηπέδου χωρητικότητας περίπου 35.000 θέσεων στον ελλαδικό χώρο. Το ηλιακό δυναμικό της Ελλάδος, διαφοροποιείται σε 7 ζώνες ανάλογα με την ετήσια ηλιακή ακτινοβολία που δέχονται. Η πόλη που θα επιλέξω είναι η Αθήνα. Όσον αφορά την κλίση των συστοιχιών θα εξεταστεί το ηλιακό δυναμικό με σταθερή ετήσια κλίση 3<sup>ο</sup> σε αμετακίνητες βάσεις στήριξης.

Δε θα εξεταστεί η περίπτωση όπου θα έχουμε ένα σύστημα με κινούμενες συστοιχίες οι οποίες θα ακολουθούν τη φορά (ακτίνες) του ήλιου για λόγους ταχύτητας ολοκλήρωσης του έργου, συντήρησής του και λόγω μεγάλης οικονομικής επιβάρυνσης. Το γήπεδο με το οποίο θα ασχοληθώ βρίσκεται στην ευρύτερη περιοχή της Αθήνας. Στην περιοχή δεν υπάρχουν σε κοντινή απόσταση κτίρια ή κάποιο ψηλό βουνό ή κάποιο άλλο εμπόδιο, που θα μπορούσε να δημιουργήσει προβλήματα σκίασης. Το υπάρχον στέγαστρο όπου θα τοποθετηθούν οι φ/β συστοιχίες έχει εμβαδόν 22.016m<sup>2</sup>. Σύμφωνα με τη μελέτη οι προδιαγραφές τις στέγης καλύπτουν τις ανάγκες του Φ/Β σταθμού που θα τοποθετηθεί με αποτέλεσμα να έχουμε ταχύτερη απόσβεση της επένδυσης και μεγαλύτερα περιθώρια κέρδους. Η κλίση της θα προσαρμοστεί με νότιο προσανατολισμό 3<sup>ο</sup> χωρίς απώλειες. Η πρόσβαση στο δίκτυο είναι άμεση γεγονός που δεν δικαιολογεί περεταίρω κόστος διασύνδεσης.

Τέλος, γίνεται μια οικονομοτεχνική μελέτη του Φ/Β σταθμού και εξετάζεται το κατά πόσο μια τέτοια επένδυση είναι εφικτή.

## 3.2 ΑΝΑΛΥΣΗ

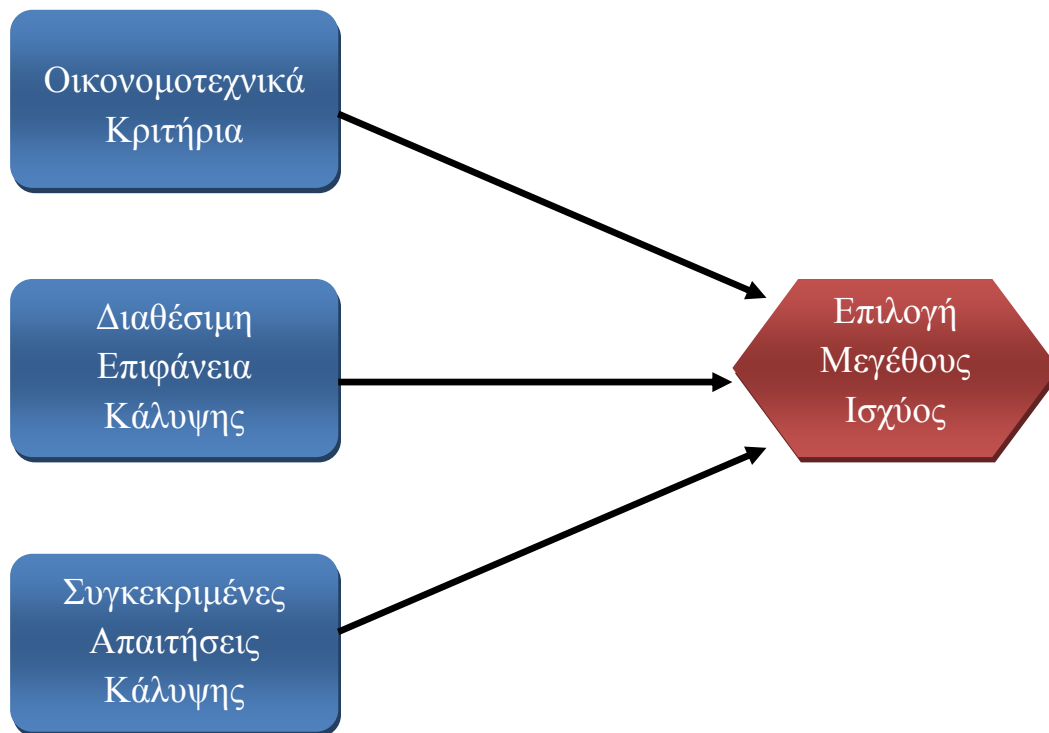
### 3.2.1 Κριτήρια επιλογής ισχύος

Για το σχεδιασμό ενός Φ/Β σταθμού όπως και για κάθε σχεδιασμό τεχνικού έργου απαιτείται η επιλογή συγκεκριμένων μεγεθών. Βασικό μέγεθος για τη σχεδίαση ενός Φ/Β σταθμού αποτελεί η ισχύς το, η οποία αναλόγως την περίπτωση καθορίζεται από τα εξής κριτήρια (Σχήμα 3.1):

α) Οικονομοτεχνικά κριτήρια (απαιτήσεις επενδυτή, μέγεθος επένδυσης). Η περίπτωση αυτή, στην οποία απαιτείται οικονομοτεχνική μελέτη αφορά κυρίως τους αυτοπαραγωγούς, και όχι τις εταιρείες, οι οποίοι διασυνδέουν απευθείας στο δίκτυο Φ/Β συστήματα.

β) Το επόμενο κριτήριο είναι η διαθέσιμη επιφάνεια κάλυψης. Σε αυτή την περίπτωση η παραγόμενη ισχύς του πάρκου είναι ίση με την ισχύ που προκύπτει εάν «καλύψουμε» πλήρως την διαθέσιμη επιφάνεια. Όσον αφορά τη μελέτη που θα πραγματοποιήσω δεν συνυπολογίζονται οι ζώνες σκίασης και επισκεψιμότητας καθώς η επιφάνεια που θα καλύψω δεν επισκιάζεται από άλλους παράγοντες. Το σύστημα για να είναι εφικτό θα λειτουργήσει με απευθείας διασύνδεση στο δίκτυο και όχι αυτόνομα με συσσωρευτές, για να επιτύχουμε μικρότερο κόστος κατασκευής και για το λόγο ότι η παραγόμενη ισχύς του Φ/Β σταθμού δεν θέλουμε να είναι άμεσα διαθέσιμη για κατανάλωση.

γ) Καθαρά τεχνικά κριτήρια. Τα κριτήρια αυτά αφορούν τον προσδιορισμό συγκεκριμένου μεγέθους ισχύος που προκύπτει από συγκεκριμένες απαιτήσεις κατανάλωσης, τόσο για αυτόματα συστήματα μη διασυνδεδεμένα όσο και για παραγωγούς διασυνδεδεμένους με το δίκτυο. Το μειονέκτημα που έχουμε στην πρώτη περίπτωση είναι ότι δεν μπορεί να αξιοποιηθεί η ενέργεια όταν δεν υπάρχει κατανάλωση, πράγμα το οποίο στο διασυνδεδεμένο δίκτυο δεν ισχύει.



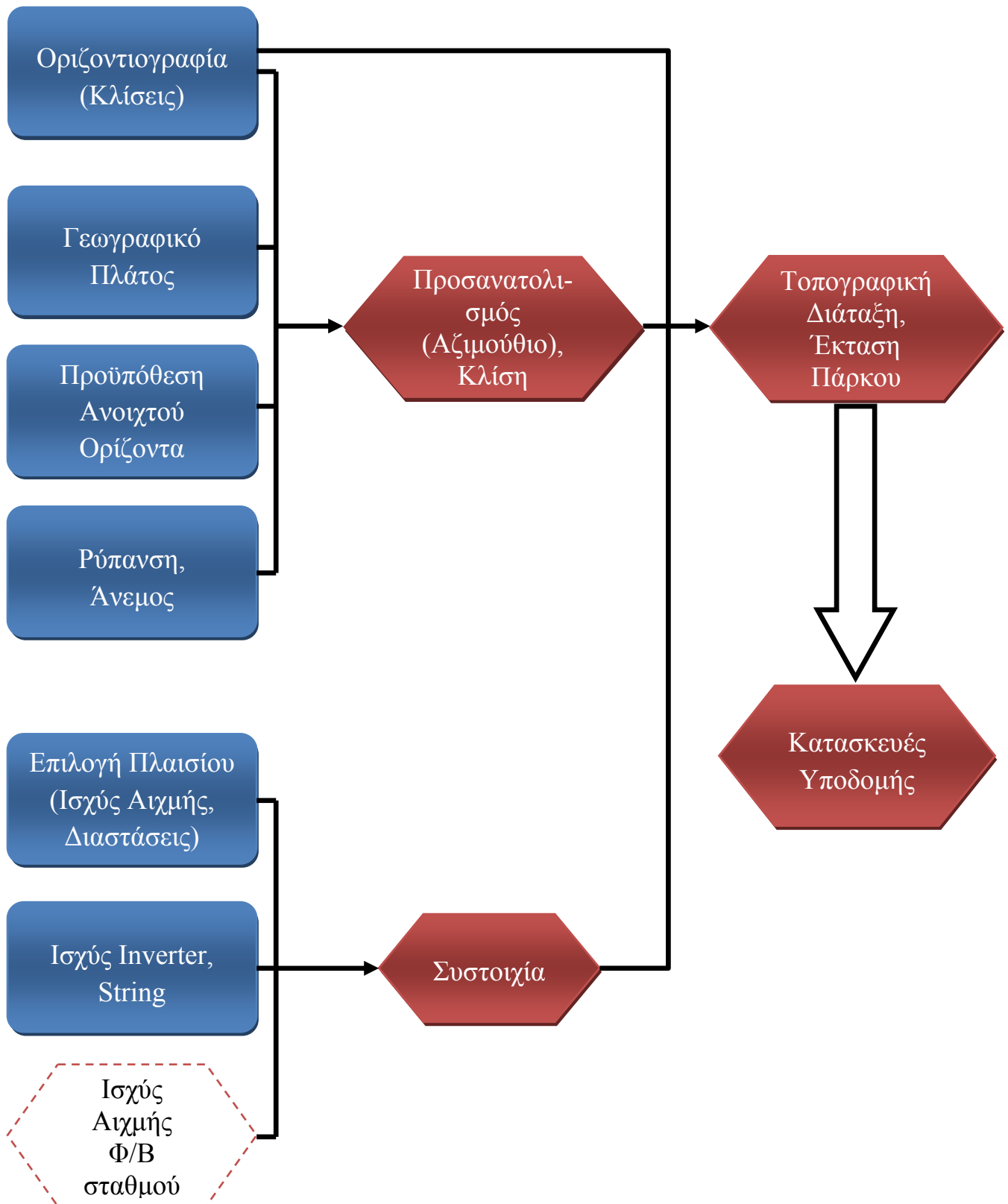
*Σχήμα 3.1 Κριτήρια επιλογής ισχύος*

Στην περίπτωση μας, τα κριτήρια που θα καθορίσουν το μέγεθος είναι η γρήγορη απόσβεση της επένδυσης, τα μελλοντικά κέρδη καθώς και το μηδενικό αποτύπωμα διοξειδίου του άνθρακα. Εφόσον, σύμφωνα με το σενάριο μας η διαθέσιμη έκταση που έχουμε να καλύψουμε είναι  $22.016\text{m}^2$ , η πρόθεσή μας είναι να παράγουμε όσο το δυνατόν μεγαλύτερη ισχύ η οποία υπολογίζεται περίπου  $3\text{MW}_p$ .

### **3.2.2 Αλγόριθμος Υπολογισμού Διασυνδεδεμένου Φ/Β Σταθμού Παραγωγής Ηλεκτρικής Ενέργειας**

Για να προσδιοριστεί η τοπογραφική διάταξη και η έκταση ενός Φ/Β σταθμού παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, που θα κρίνουν και την κατασκευή των απαραίτητων υποδομών, πρέπει να ληφθούν υπ' όψιν αρκετοί παράγοντες. Όπως βλέπουμε και στο Σχήμα 3.2 τα κύρια μεγέθη που το καθορίζουν είναι ο προσανατολισμός και η κλίση που θα έχουν οι ηλιακοί συλλέκτες καθώς επίσης και η συνδεσμολογία της συστοιχίας που και αυτή με τη σειρά της καθορίζεται από την επιλογή πλαισίου, αντιστροφέα και την ισχύ της εγκατάστασης.

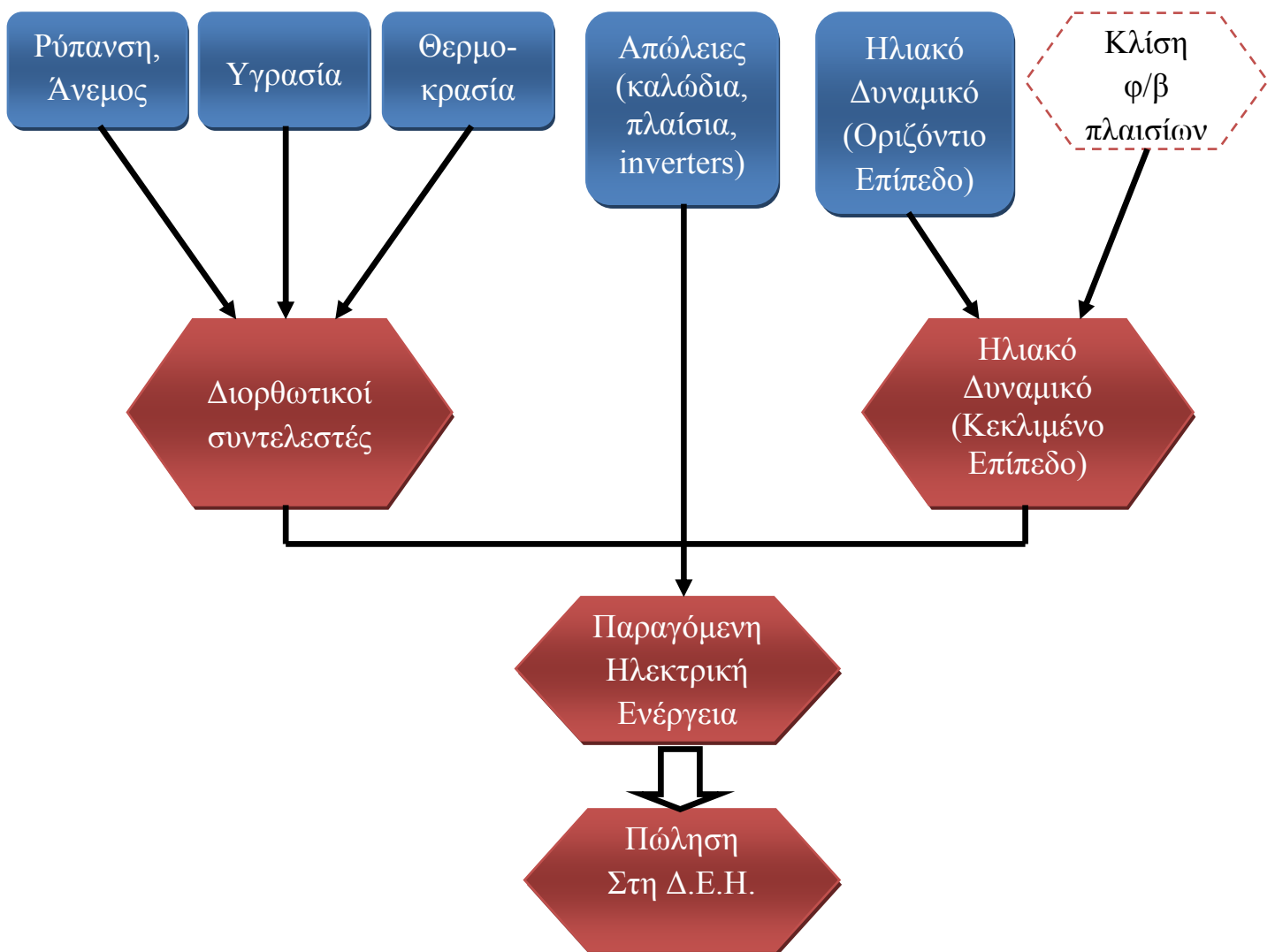




Σχήμα 3.2 Αλγόριθμος υπολογισμού διασυνδεδεμένου Φ/Β σταθμού παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας

### 3.2.3 Αλγόριθμος Παραγόμενης Ηλεκτρικής Ενέργειας Φ/Β Σταθμού

Το απαραίτητο ζητούμενο για κάθε εγκατάσταση παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας είναι η εξασφάλιση του όσο το δυνατόν μεγαλύτερη παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια. Ολοφάνερο είναι ότι σε μία Φ/Β εγκατάσταση τον πρωταρχικό ρόλο τον διαδραματίζει το διαθέσιμο ηλιακό δυναμικό της περιοχής. Ακολούθως σημαντική είναι κι η συνεισφορά της Φ/Β γεννήτριας στην καλή απόδοση του συστήματος. Συνεπώς λαμβάνονται υπ' όψιν οι αποδόσεις των πλαισίων των αντιστροφέων, οι απώλειες των καλωδίων κτλ. Τέλος δεν πρέπει να παραληφθούν διάφοροι διορθωτικοί συντελεστές όπως η θερμοκρασία, η υγρασία, ο άνεμος και η ρύπανση.

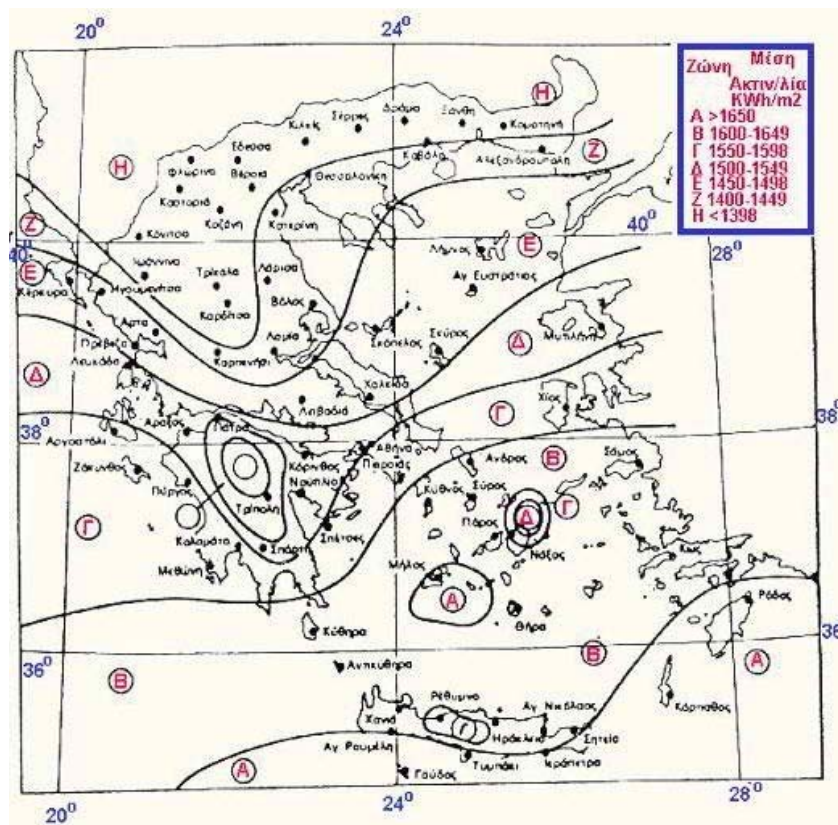


Σχήμα 3.3 Αλγόριθμος υπολογισμού παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας Φ/Β σταθμού

### 3.3 ΗΛΙΑΚΟ ΔΥΝΑΜΙΚΟ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ

Η τοποθεσία όπου θα κατασκευαστεί ένας φωτοβολταϊκός σταθμός παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας επηρεάζει την παραγόμενη ισχύ, λόγω των καιρικών φαινομένων της συγκεκριμένης περιοχής καθώς επίσης και της ηλιακής ακτινοβολίας που δέχεται. Το ηλιακό δυναμικό που επικρατεί στην χώρα μας θεωρείται από τα υψηλότερα της Ευρώπης, κάνοντας την αξιοποίηση των Φ/Β πολύ ελκυστική. Όμως δεν ισχύει το ίδιο για όλες τις περιοχές της χώρας, καθώς κάποια σημεία δέχονται υψηλά ποσά ηλιακής ακτινοβολίας (π.χ. τα νησιά του νοτιοανατολικού Αιγαίου), ενώ άλλα πολύ χαμηλότερα (π.χ. στη βόρεια Ελλάδα).

Ο Ελλαδικός χώρος μπορεί να χωριστεί σε 7 ζώνες ανάλογα με το ποσό της ετήσιας ηλιακής ακτινοβολίας που δέχεται (Σχήμα 3.4).



Σχήμα 3.4 Κατανομή της μέσης συνολικής ετήσιας έντασης της ηλιακής ακτινοβολίας, σε οριζόντιο επίπεδο, στις διάφορες περιοχές της Ελλάδας

Σύμφωνα με τον παραπάνω χάρτη μπορούμε να διαπιστώσουμε ότι υπάρχουν σημεία με υψηλές τιμές ετήσιας ηλιακής ακτινοβολίας και αυτές είναι τα νησιά του νότιου, νοτιοανατολικού Αιγαίου και η Κρήτη. Εάν συγκρίνουμε την ετήσια ηλιακή ακτινοβολία στις περιοχές με υψηλό δυναμικό με αυτές που έχουν το χαμηλότερο, τότε οι πρώτες εμφανίζονται να έχουν ετήσια ηλιακή ακτινοβολία κατά 20% περίπου μεγαλύτερο.

### Ηλιακό δυναμικό για την πόλη της Αθήνας

Αρχικά πρέπει να βρούμε την βέλτιστη κλίση των Φ/Β συστοιχιών ως προς το οριζόντιο επίπεδο σε ετήσια βάση, δηλαδή την κλίση εκείνη που θα μας εξασφαλίζει την μέγιστη ετήσια ηλιακή ακτινοβολία. Όσον αφορά την τιμή της αζιμούθιας γωνίας  $\gamma$ , αυτή προφανώς επιλέγεται να είναι μηδενική, δηλαδή επιλέγεται απόλυτος νότιος προσανατολισμός. Οι τιμές της μηνιαίας ολικής ηλιακής ακτινοβολίας σε οριζόντιο επίπεδο στην Αθήνα, όπου θα εγκατασταθεί η Φ/Β γεννήτρια παρουσιάζονται στον Πίνακα 3.1.

*Πίνακας 3.1 Τιμές της μηνιαίας ολικής ηλιακής ακτινοβολίας σε οριζόντιο επίπεδο H για την περιοχή της Αθήνας [3]*

Αθήνα ( $\varphi=37,54^\circ$ , $L=23,45^\circ$ )	
Μήνας	H ( kWh / m <sup>2</sup> )
Ιανουάριος	63,0
Φεβρουάριος	79,0
Μάρτιος	117,7
Απρίλιος	154,3
Μάιος	195,4
Ιούνιος	214,0
Ιούλιος	222,4
Αύγουστος	202,7
Σεπτέμβριος	152,6
Οκτώβριος	109,0
Νοέμβριος	70,7
Δεκέμβριος	55,7

Η μέση ολική μηνιαία  $H_T$  ηλιακή ακτινοβολία ( $\text{kWh/m}^2$ ) για κλίσεις  $29^\circ$ ,  $30^\circ$  και  $31^\circ$  με νότιο προσανατολισμό υπολογίζεται βάση του ισοτροπικού μοντέλου των Liu, Jordan & Klein, από την ακόλουθη σχέση και παρουσιάζεται στον Πίνακα 3.7, ενώ η καμπύλη που προέκυψε από το άθροισμα της φαίνεται στο Σχήμα 3.5:

$$\bar{H}_T = (\bar{H} - \bar{H}_d) \cdot \bar{R}_b + 0,5 \cdot \bar{H}_d \cdot (1 + \cos\beta) + 0,5 \cdot \rho \cdot \bar{H} \cdot (1 - \cos\beta)$$

όπου,

$\rho$ , είναι η ανακλαστικότητα του εδάφους και θεωρήθηκε ίση με 0,15,

$\beta$ , είναι η κλίση της επιφάνειας,

$\bar{H}$ , είναι η μέση μηνιαία ολική ακτινοβολία στο οριζόντιο επίπεδο για την υπό μελέτη περιοχή και παρουσιάζεται στον Πίνακα 3.1,

$\bar{H}_d$ , είναι η μέση μηνιαία διάχυτη ακτινοβολία στο οριζόντιο επίπεδο για την υπό μελέτη περιοχή και παρουσιάζεται στον Πίνακα 3.6

και  $\bar{R}_b$ , είναι μέσος μηνιαίος γεωμετρικός παράγοντας για νότιο προσανατολισμό (αζιμούθιο  $\gamma=0$ ), που προκύπτει από τον λόγο της άμεσης ακτινοβολίας στο κεκλιμένο επίπεδο προς την άμεση ακτινοβολία στο οριζόντιο επίπεδο, υπολογίζεται από την ακόλουθη σχέση και παρουσιάζεται στον Πίνακα 3.5:

$$\bar{R}_b = \frac{[\cos(\varphi - \beta) \cdot \cos(\delta) \cdot \sin(\omega_{SS}) + \frac{\pi}{180} \cdot \omega_{SS} \cdot \sin(\varphi - \beta) \cdot \sin(\delta)]}{[\cos(\varphi) \cdot \cos(\delta) \cdot \sin(\omega_{SS}) + \frac{\pi}{180} \cdot \omega_{SS} \cdot \sin(\varphi) \cdot \sin(\delta)]}$$

όπου,

$\omega_{SS}$ , είναι η ωριαία γωνία δύσης της κεκλιμένης επιφάνειας για τη μέση αντιπροσωπευτική ημέρα του μήνα στην υπό μελέτη περιοχή, υπολογίζεται από την σχέση και παρουσιάζεται στον Πίνακα 3.4:

$$\omega_{SS} = \min \{ \cos^{-1}(-\tan(\varphi) \cdot \tan(\delta)), \cos^{-1}(-\tan(\varphi - \beta) \cdot \tan(\delta)) \}$$

όπου

$\varphi$ , είναι το γεωγραφικό πλάτος της περιοχής

$\beta$ , είναι η κλίση της επιφάνειας και

$\delta$ , είναι η ηλιακή απόκλιση την μέση αντιπροσωπευτική μέρα του μήνα και υπολογίζεται από την σχέση και παρουσιάζεται στον Πίνακα 3.3:

$$\delta = 23,45 \cdot \sin\left[360 \cdot \frac{D+284}{365}\right]$$

όπου

D, οι ακόλουθες τιμές του Πίνακα 3.2:

*Πίνακας 3.2 Μέση αντιπροσωπευτική μέρα D για κάθε μήνα [3]*

<b>Μήνας</b>	<b>D</b>
Ιανουάριος	17
Φεβρουάριος	47
Μάρτιος	75
Απρίλιος	105
Μάιος	135
Ιούνιος	162
Ιούλιος	198
Αύγουστος	228
Σεπτέμβριος	258
Οκτώβριος	289
Νοέμβριος	320
Δεκέμβριος	351

**Πίνακας 3.3 Ηλιακή απόκλιση  $\delta$  την μέση αντιπροσωπευτική μέρα του μήνα**

<b>Μήνας</b>	<b><math>\delta</math></b>
Ιανουάριος	-20,9169
Φεβρουάριος	-12,9546
Μάρτιος	-2,4177
Απρίλιος	9,4148
Μάιος	18,7919
Ιούνιος	23,0859
Ιούλιος	21,1836
Αύγουστος	13,4549
Σεπτέμβριος	2,2168
Οκτώβριος	-9,9662
Νοέμβριος	-19,3780
Δεκέμβριος	-23,4011

**Πίνακας 3.4 Ωριαία γωνία δύσης  $\omega_{ss}$  της κεκλιμένης επιφάνειας για τη μέση αντιπροσωπευτική ημέρα του μήνα για κλίσεις  $29^\circ$ ,  $30^\circ$  και  $31^\circ$  για την πόλη της Αθήνας**

<b>Μήνας</b>	<b><math>\omega_{ss}</math></b>		
	<b><math>29^\circ</math></b>	<b><math>30^\circ</math></b>	<b><math>31^\circ</math></b>
Ιανουάριος	72,6517	72,6517	72,6517
Φεβρουάριος	79,6614	79,6614	79,6614
Μάρτιος	88,1123	88,1123	88,1123
Απρίλιος	91,4980	91,3285	91,1598
Μάιος	93,0753	92,7271	92,3806
Ιούνιος	93,8535	93,4169	92,9826
Ιούλιος	93,5031	93,1063	92,7116
Αύγουστος	92,1618	91,9171	91,6736
Σεπτέμβριος	90,3496	90,3101	90,2707
Οκτώβριος	82,1205	82,1205	82,1205
Νοέμβριος	74,0736	74,0736	74,0736
Δεκέμβριος	70,2678	70,2678	70,2678

**Πίνακας 3.5 Μέσος μηνιαίος γεωμετρικός παράγοντας  $R_b$  για νότιο προσανατολισμό (αζιμούθιο  $\gamma=0$ ) για κλίσεις  $29^\circ$ ,  $30^\circ$  και  $31^\circ$  για την πόλη της Αθήνας**

$R_b$			
Μήνας	$29^\circ$	$30^\circ$	$31^\circ$
Ιανουάριος	1,9085	1,9323	1,9554
Φεβρουάριος	1,5926	1,6066	1,6199
Μάρτιος	1,3061	1,3110	1,3156
Απρίλιος	1,0816	1,0798	1,0776
Μάιος	0,9512	0,9460	0,9404
Ιούνιος	0,8997	0,8932	0,8864
Ιούλιος	0,9221	0,9161	0,9097
Αύγουστος	1,0218	1,0184	1,0146
Σεπτέμβριος	1,2074	1,2092	1,2105
Οκτώβριος	1,5001	1,5111	1,5217
Νοέμβριος	1,8373	1,8588	1,8799
Δεκέμβριος	2,0382	2,0660	2,0933

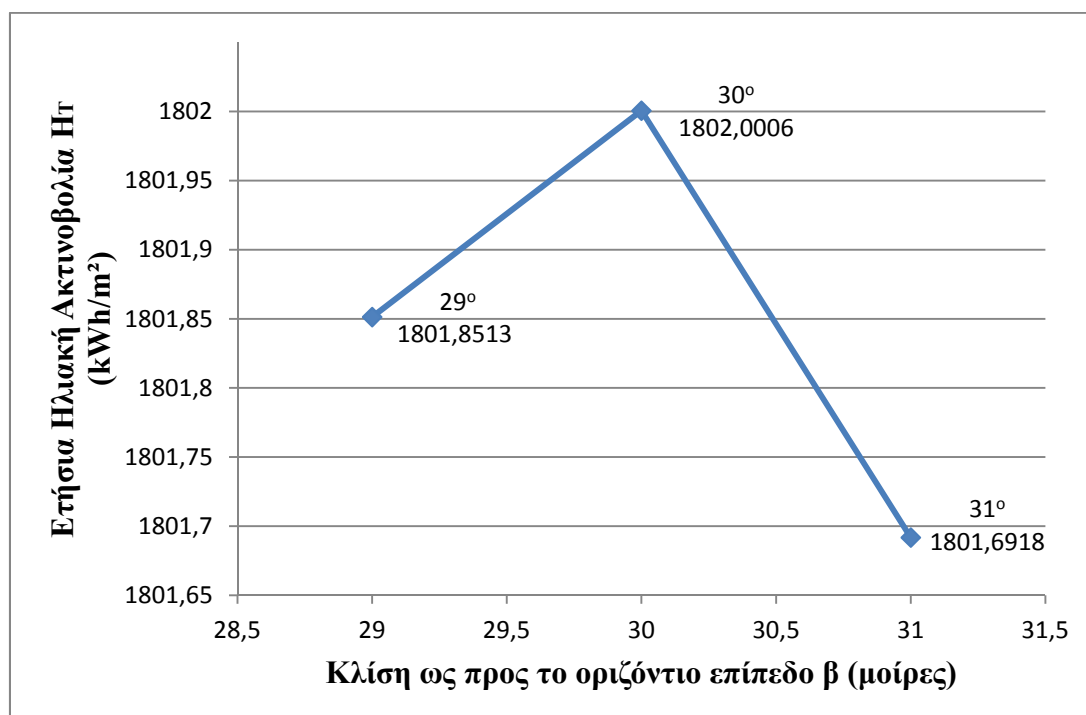
**Πίνακας 3.6 Μέση μηνιαία διάχυτη ακτινοβολία  $H_d$  στο οριζόντιο επίπεδο για την περιοχή της Αθήνας [3]**

Αθήνα ( $\varphi=37,54^\circ$ , $L=23,45^\circ$ )	
Μήνας	$H_d$ ( kWh / m <sup>2</sup> )
Ιανουάριος	25,1
Φεβρουάριος	32,2
Μάρτιος	50,3
Απρίλιος	65,7
Μάιος	81,9
Ιούνιος	85,5
Ιούλιος	85,3
Αύγουστος	73,7
Σεπτέμβριος	55,5
Οκτώβριος	40,1
Νοέμβριος	26,5
Δεκέμβριος	22,0
Άθροισμα	643,8



**Πίνακας 3.7 Μέση ολική μηνιαία ηλιακή ακτινοβολία  $H_T$  σε κεκλιμένο επίπεδο για κλίσεις  $29^\circ$ ,  $30^\circ$  και  $31^\circ$  με νότιο προσανατολισμό για την πόλη της Αθήνας**

$H_T$ ( kWh / m <sup>2</sup> )			
Μήνας	$29^\circ$	$30^\circ$	$31^\circ$
Ιανουάριος	96,4510	97,2858	98,0919
Φεβρουάριος	105,4579	106,0256	106,5579
Μάρτιος	136,2846	136,4745	136,6400
Απρίλιος	158,8619	158,5196	158,1362
Μάιος	186,5643	185,7481	184,8796
Ιούνιος	197,7637	196,6990	195,5887
Ιούλιος	208,4637	207,4179	206,3105
Αύγουστος	202,7980	202,1733	201,4914
Σεπτέμβριος	170,6942	170,7288	170,7106
Οκτώβριος	141,9679	142,6238	143,2489
Νοέμβριος	106,7122	107,5941	108,4664
Δεκέμβριος	89,8319	90,7101	91,5697
Άθροισμα	1801,8513	1802,0006	1801,6918



**Σχήμα 3.5 Ετήσια ηλιακή ακτινοβολία συναρτήσει της κλίσης  $\beta$**

Σύμφωνα με τους παραπάνω υπολογισμούς αποδείχθηκε ότι η βέλτιστη γωνία κλίσης για την περιοχή της Αθήνας με γεωγραφικό πλάτος  $\varphi = 37,96$  για νότιο προσανατολισμό των Φ/Β πάνελ είναι  $30^\circ$ . Επειδή όμως η κατασκευή ενός ποδοσφαιρικού γηπέδου με κλίση του στεγάστρου του  $30^\circ$  είναι ανέφικτη έως ακατόρθωτη θα επιλέξουμε να το κατασκευάσουμε με μια κλίση μικρότερης κλίμακας δηλαδή αυτή των  $3^\circ$  όπου είναι αρχιτεκτονικά εφικτή. Η μέση ολική μηνιαία ηλιακή ακτινοβολία  $H_T$  συναρτήσει της κλίσης  $\beta$  ( $3^\circ$ ) υπολογίστηκε και παρουσιάζεται στον Πίνακα 3.8, σύμφωνα με τις πιο πάνω σχέσεις αντίστοιχα. Στον Πίνακα 3.8 παρουσιάζεται και ετήσια ηλιακή ακτινοβολία συναρτήσει της κλίσης  $\beta$ .

**Πίνακας 3.8 Ωριαία γωνία δύσης  $\omega_{ss}$ , μέσος μηνιαίος γεωμετρικός παράγοντας  $R_b$  και μέση ολική μηνιαία ηλιακή ακτινοβολία  $H_T$  σε κεκλιμένο επίπεδο για κλίση  $3^\circ$  με νότιο προσανατολισμό για την πόλη της Αθήνας**

$3^\circ$			
Μήνας	$\omega_{ss}$	$R_b$	$H_T$ ( kWh / m <sup>2</sup> )
Ιανουάριος	72,6517	1,1102	67,1658
Φεβρουάριος	79,6614	1,0762	82,5522
Μάρτιος	88,1123	1,0452	120,7241
Απρίλιος	96,6573	1,0199	156,0339
Μάιος	103,7629	1,0036	195,7725
Ιούνιος	107,3385	0,9968	213,5522
Ιούλιος	105,7213	0,9998	222,3369
Αύγουστος	99,6293	1,0127	204,3086
Σεπτέμβριος	91,5508	1,0345	155,9276
Οκτώβριος	82,1205	1,0661	113,5380
Νοέμβριος	74,0736	1,1025	75,2196
Δεκέμβριος	70,2678	1,1242	59,8761
Άθροισμα			1667,0075

Επομένως σύμφωνα με τους παραπάνω Πίνακες 3.7 και 3.8 παρατηρούμε ότι η απόκλιση της ετήσιας ηλιακής ακτινοβολίας  $H_T$  μεταξύ της ιδανικής γωνιάς κλίσης ( $30^\circ$ ) και της εφικτής για κατασκευή γωνία κλίσης ( $3^\circ$ ) δεν είναι ιδιαίτερα μεγάλη καθώς είναι της τάξης του 12%.

### 3.4 ΚΥΡΙΕΣ ΣΥΣΚΕΥΕΣ Φ/Β ΓΕΝΝΗΤΡΙΑΣ

Οι βασικές συσκευές από τις οποίες αποτελείται μία Φ/Β γεννήτρια είναι:

- Τα φωτοβολταϊκά πλαίσια
- Η συσκευή παραλληλισμού των στοιχειοσειρών
- Οι αντιστροφείς
- Βάση στήριξης συστοιχίας

#### 3.4.1 Επιλογή Φ/Β πλαισίων

Η επιλογή του φωτοβολταϊκού πλαισίου αποτελεί ένα πολύπλοκο πρόβλημα. Το πλήθος των κατασκευαστικών εταιριών και πλαισίων δυσκολεύουν ακόμη περισσότερο την επιλογή.

Οι παράγοντες σύμφωνα με τους οποίους έγινε η επιλογή ήταν η αξιοπιστία και η τεχνογνωσία της κατασκευάστριας εταιρίας, η μέγιστη ισχύς που παράγουν, η απόδοση τους και φυσικά το κόστος.

Η αρχική απόφαση που έπρεπε να παρθεί είχε να κάνει με την επιλογή του είδους του φωτοβολταϊκού πλαισίου όσον αφορά την τεχνολογία κατασκευής του. Αμέσως η επιλογή κατέληξε ανάμεσα σε πλαίσια μονοκρυσταλλικού πυριτίου και πολυκρυσταλλικού πυριτίου καθώς όλες οι άλλες κατηγορίες έχουν χρησιμοποιηθεί σε περιορισμένες εφαρμογές, δεν εμφανίζουν υψηλή απόδοση, ή όταν εμφανίζουν υψηλή απόδοση, κρίνονται οικονομικά ασύμφορες.

Μετά από μια στοιχειώδη έρευνα αγοράς διαπιστώνεται ότι το κόστος των μονοκρυσταλλικών πλαισίων είναι αρκετά υψηλότερο από αυτό των πολυκρυσταλλικών και είναι της τάξης του 10-15% ακριβότερα. Από την άλλη παρουσιάζουν καλύτερη απόδοση κατά 1,5-3% από τα πολυκρυσταλλικά. Όμως εύκολα διαπιστώνεται ότι η καλύτερη απόδοση που εμφανίζουν δεν αντισταθμίζεται με το κόστος αγοράς τους.

Εύκολα καταλαβαίνει κανείς ότι για την επιλογή της κατασκευάστριας εταιρίας δεν είναι δυνατόν να εξετασθούν όλες οι εκατοντάδες εταιρίες που δραστηριοποιούνται στον χώρο. Επιλέχθηκαν 3 μεγάλες εταιρίες που δραστηριοποιούνται για αρκετό καιρό στον χώρο, έχουν την απαραίτητη τεχνογνωσία και η αντοχή των προϊόντων έχει

αποδειχθεί στην πράξη. Οι εταιρίες αυτές είναι η Renesola, η Panasonic και η Siliken.

Από την άποψη της ισχύος συμφέρει η επιλογή ενός φωτοβολταϊκού πλαισίου με μεγάλη ισχύ αντί πολλών πλαισίων με μικρότερη ισχύ ειδικά για μεγάλες Φ/Β εγκαταστάσεις, που λειτουργούν ως σταθμοί παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Τα μεγάλα πλαίσια δουλεύονται πιο εύκολα στην εγκατάστασή τους, απαιτούνται λιγότερες συνδέσεις και το κόστος εγκατάστασης είναι μικρότερο. Επίσης το κόστος ανά  $W_p$  μειώνεται ελαφρά με την αύξηση της ισχύος ενός πλαισίου.

Τελικά μελετώντας τα datasheet των πλαισίων από τις παραπάνω εταιρίες επιλέχθηκαν τρία πλαίσια, ένα από την κάθε μία. Αυτά τα πλαίσια θα εξεταστούν με ποίο τρόπο θα μπορέσουν να συνδυαστούν με τους κατάλληλους αντιστροφείς που θα επιλεγθούν. Τα πλαίσια αυτά είναι της RENESOLA JC250M-24/Bbv, της PANASONIC HIT-H250E01 και της SILIKEN SLK 60 P6L (250W). Τα τεχνικά χαρακτηριστικά τους φαίνονται στο Πίνακα 3.11 και αναλυτικά datasheet δίνονται στο παράρτημα.

Η απόδοση των πλαισίων μπορεί να υπολογιστεί από την ακόλουθη σχέση και προκύπτει:

$$\eta_m = \frac{P_m}{G \cdot S} = \frac{250}{1000 \cdot 1,62688} = 0,1537 = 15,37\%$$

για το πλαίσιο της RENESOLA

$$\eta_m = \frac{P_m}{G \cdot S} = \frac{250}{1000 \cdot 1,38621} = 0,1803 = 18,03\%$$

για το πλαίσιο της PANASONIC

$$\eta_m = \frac{P_m}{G \cdot S} = \frac{250}{1000 \cdot 1,62360} = 0,1539 = 15,39\%$$

για το πλαίσιο της SILIKEN

όπου

$P_m$ , η μέγιστη ισχύς

$G$ , η προσπίπτουσα ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας και

$S$ , η επιφάνεια του φωτοβολταϊκού στοιχείου

**Πίνακας 3.9 Τεχνικά χαρακτηριστικά των επιλεγμένων Φ/Β πλαισίων  
(Αναφέρονται αναλυτικά στο Παράρτημα)**

Ηλεκτρική απόδοση υπό στάνταρ συνθήκες (STC*)			
	RENESOLA JC250M-24/Bb	PANASONIC HIT-H250E01	SILIKEN SLK60P6L (250W)
Όνομαστική μέγιστη ισχύς $P_{max}$	250W	250W	250W
Όνομαστική τάση φόρτισης $V_{mpp}$	30,1V	34,9V	29,8V
Όνομαστικό ρεύμα φόρτισης $I_{mpp}$	8,31A	7,18A	8,39A
Τάση ανοιχτού κυκλώματος $V_{OC}$	37,4V	43,1V	37,1V
Ρεύμα βραχυκύκλωσης $I_{sc}$	8,83A	7,74A	8,91A
Τάση μέγιστης ισχύος συστήματος	1000V	1000V	1000V
Τεχνολογία Φ/Β στοιχείων	Πολυκρυσταλλικό πυρίτιο	Μονοκρυσταλλικό-άμορφο πυρίτιο	Πολυκρυσταλλικό πυρίτιο
Μορφή Φ/Β στοιχείων	Τετραγωνική	Πολυγωνική	Τετραγωνική
Διαστάσεις (μήκος/πλάτος/ύψος) mm	1640×992×40	1610×861×35	1640×990×40
Βάρος	19kg	16,5kg	19kg

Πρέπει να επισημανθεί ότι η επιλογή του Φ/Β πλαισίου εξαρτάται άμεσα από την επιλογή του αντιστροφέα και ουσιαστικά δεν μπορεί να γίνει χωρίς να ληφθούν υπ' όψιν τα τεχνικά χαρακτηριστικά του τελευταίου. Επίσης οι διαστάσεις του πλαισίου θα καθορίσουν τις βάσεις στήριξης που θα χρησιμοποιηθούν και γενικότερα τις απαραίτητες κατασκευαστικές υποδομές. Εκτός από τις διαστάσεις του πλαισίου και την ισχύ αιχμής του σημαντικό ρόλο έχουν τα μεγέθη της τάσης και της έντασης στο σημείο λειτουργίας μέγιστης ισχύος (MPP), καθώς και το ρεύμα βραχυκύκλωσης και η τάση του ανοιχτού κυκλώματος, που επηρεάζονται άμεσα από τα χαρακτηριστικά μεγέθη του αντιστροφέα. Τέλος άμεσα συνδεδεμένη με τα παραπάνω είναι και η κυκλωματική διάταξη της συστοιχίας.

Αφού πραγματοποιήθηκε μία έρευνα αγοράς ανάμεσα στις τρεις παραπάνω εταιρείες παραγωγής Φ/Β πλαισίων (Renesola, Panasonic και Siliken) διαπιστώθηκε ότι η Panasonic είναι ασύμφορη οικονομικά καθώς κοστίζει πολύ παραπάνω από τις υπόλοιπες καθώς είναι

μονοκρυσταλλικά σε συνδυασμό με άμορφο πυρίτιο πλαίσια με μεγάλη απόδοσή η οποία δεν είναι ανάλογη του επιπλέον κόστους σε σχέση με τις άλλες δύο, την Siliken και την Renesola. Η τεχνολογία της Panasonic χρησιμοποιείται κυρίως σε οικιακές Φ/Β εγκαταστάσεις όπου ο χώρος που έχουμε είναι μικρός και έτσι χρειαζόμαστε πλαίσια με μεγάλη απόδοση ώστε να έχουμε όσο το δυνατόν μεγαλύτερη παραγωγή.

Τα κριτήρια με βάση τα οποία θα μπορέσουμε να καταλήξουμε στην επιλογή του αντίστοιχου Φ/Β πλαισίου είναι τα εξής:

1. Η απόδοση σε χαμηλή ακτινοβολία (XA)
2. Η συμπεριφορά σε διάφορες θερμοκρασίες και
3. Ο βαθμός απόδοσης των πλαισίων

#### 1. Η απόδοση σε χαμηλή ακτινοβολία (XA)

Όταν μιλάμε για χαμηλή ακτινοβολία XA εννοούμε:

- Χαμηλή ένταση του φωτός, πολύ κάτω από STC ( $1000\text{W}/\text{m}^2$ )
- Μετρήσεις παραγωγής σε βήματα των  $200\text{W}/\text{m}^2$
- Μετρήσεις σε άσχημες καιρικές συνθήκες, νωρίς το πρωί και αργά το απόγευμα
- Η απόδοση εξαρτάται από τον συντελεστή μετατροπής (FF)

Ο συντελεστής μετατροπής FF είναι:

- Χαρακτηριστικό της ποιότητας της κυψέλης
- Με την αύξηση του FF αυξάνεται και η απόδοση του πλαισίου
- Η βέλτιστη τιμή θα ήταν  $FF=1$ , αυτό όμως είναι τεχνικά αδύνατο

Ο τρόπος υπολογισμού του FF (Full Factor) είναι ο εξής:

$$\text{Full Factor: } FF = \frac{U_{MPP} \cdot I_{MPP}}{U_{OC} \cdot I_{OC}}$$

Έτσι συγκρίνοντας τα Φ/Β πλαίσια της Renesola και της Siliken σε STC συνθήκες ( $1000\text{W/m}^2$ ) έχουμε για την Renesola συντελεστή μετατροπής  $FF=0,757$ , ενώ για την Siliken  $FF=0,756$ . Οπότε έχουμε:



Ο FF σε διάχυτη, χαμηλή ακτινοβολία είναι σημαντικός διότι σε ετήσια βάση παίζει μεγάλο ρόλο για την τελική απόδοση του Φ/Β συστήματος.

## 2. Η συμπεριφορά σε διάφορες θερμοκρασίες

Όταν μιλάμε για συμπεριφορά σε διάφορες θερμοκρασίες εννοούμε:

- Αλλαγή της έντασης ρεύματος και της τάσης σε αλλαγές θερμοκρασίας περιβάλλοντος
- Παρατηρούμε πτώση τάσης με την αύξηση της θερμοκρασίας
- Παρατηρούμε αύξηση της έντασης του ρεύματος με την αύξηση της θερμοκρασίας
- Η τάση αλλάζει 10 φορές γρηγορότερα από την ένταση ρεύματος σε αλλαγές θερμοκρασιών γεγονός που συνεπάγεται υψηλότερη μείωση τάσης σε αύξηση της θερμοκρασίας
- Ο θερμοκρασιακός συντελεστής επηρεάζει την συμπεριφορά του πλαισίου

Έτσι συγκρίνοντας τα Φ/Β πλαίσια των δύο εταιριών έχουμε για την Renesola θερμοκρασιακό συντελεστή  $TC P_{mpp} = -0,40\%/^{\circ}C$  και για την Siliken  $TC P_{mpp} = -0,43\%/^{\circ}C$ . Οπότε έχουμε:



Ο θερμοκρασιακός συντελεστής είναι πολύ σημαντικός καθώς σε υψηλές θερμοκρασίες επηρεάζεται σε μεγάλο βαθμό η απόδοση των πλαισίων.

### 3. Ο βαθμός απόδοσης των πλαισίων

Όταν μιλάμε για τον βαθμό απόδοσης εννοούμε το ποσοστό της ηλιακής ακτινοβολίας η οποία μετατρέπεται σε ηλεκτρική ενέργεια. Έτσι συγκρίνοντας τα Φ/Β πλαίσια των δύο εταιριών έχουμε για την Renesola βαθμό απόδοσης  $\eta_m = 15,37\%$  και για την Siliken βαθμό απόδοσης  $\eta_m = 15,39\%$ . Οπότε έχουμε:



Επιπλέον η διαφορά του κόστους μεταξύ τους είναι της τάξεως του 20% με φθηνότερη την Renesola η οποία είναι το ίδιο αποδοτική και αξιόπιστη με την Siliken. Οπότε και με βάση τα παραπάνω επιλέγω το Φ/Β πλαίσιο της Renesola καθώς έχει υψηλότερο συντελεστή μετατροπής FF και μικρότερο θερμοκρασιακό συντελεστή  $TC P_{mpp}$  που σημαίνουν καλύτερο βαθμό απόδοσης. Επίσης και το κόστος του είναι μικρότερο από αυτό της Siliken. Έτσι το πλαίσιο που θα χρησιμοποιήσω φαίνεται στο Σχήμα 3.6:

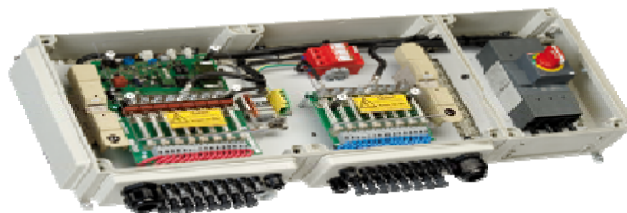




*Σχήμα 3.6* **Renesola JC250M-24/Bb [Παράρτημα]**

### **3.4.2 Συσκευή παραλληλισμού στοιχειοσειρών (combiner box)**

Πριν οδηγηθούν στην είσοδο του αντιστροφέα οι στοιχειοσειρές μια συστοιχίας είναι απαραίτητο να παραλληλιστούν. Η συσκευή παραλληλισμού (Σχήμα 3.7) είναι ουσιαστικά ένας πίνακας DC ο οποίος φέρει όλες τις απαραίτητες διατάξεις προστασίας και παρακολούθησης των ηλεκτρικών παραμέτρων τους. Επιπλέον υπάρχει η δυνατότητα σύνδεσης της σε τοπικό δίκτυο για παρακολούθηση των στοιχειοσειρών μέσω Internet.



*Σχήμα 3.7* **Συσκευή παραλληλισμού στοιχειοσειρών Sunny String-Monitor [4]**

### **3.4.3 Επιλογή αντιστροφέα**

Το σημαντικότερο κομμάτι στη μελέτη μιας φ/β εγκατάστασης είναι η επιλογή των αντιστροφέων. Αν η επιλογή γίνει μόνο από

οικονομικής πλευράς τότε θα οδηγηθούμε στην επιλογή αντιστροφών μεγάλης ισχύος γιατί η διαφορά στην τιμή είναι αρκετά μεγάλη και η πολυπλοκότητα του συστήματος πολύ μικρή. Θα πρέπει να γίνει μια σωστή επιλογή του αντιστροφέα καθώς δεν είναι δυνατόν μια τέτοια διάταξη να υποστηριχθεί και μόνο από ένα αντιστροφέα, αυτό θα ήταν καταστροφικό για το σύστημα μας αφού σε οποιαδήποτε περίπτωση βλάβης θα υπήρχε ο κίνδυνος να αποκοπής όλου του συστήματος. Ο τύπος του αντιστροφέα για απευθείας διασύνδεση με το δίκτυο είναι συγκεκριμένος και με εξειδικευμένες διατάξεις. Για την λειτουργία του προαπαιτείται η ύπαρξη τάσης στο δίκτυο.

Επίσης θα πρέπει να επισημανθεί ότι η ονομαστική τάση του αντιστροφέα σε καμία περίπτωση δεν θα πρέπει να ταυτίζεται με την ισχύ αιχμής των Φ/Β πλαισίων στην είσοδο του. Αυτό θα ήταν λάθος καθώς τα Φ/Β πλαίσια παράγουν την ονομαστική ισχύ αιχμής κάτω από ιδανικές συνθήκες πράγμα το οποίο δύσκολα θα συμβεί ή ακόμη κι αν αυτό παρατηρηθεί θα γίνει για μικρό χρονικό διάστημα. Ακόμη και οι εταιρίες παραγωγής αντιστροφών συνιστούν η μέγιστη ονομαστική ισχύς της γεννήτριας να είναι αυξημένη κατά ένα ποσοστό σε σχέση με την ονομαστική ισχύ εισόδου του αντιστροφέα. Η τιμή αυτή μπορεί να είναι κατά 10-20% μεγαλύτερη από την ονομαστική ισχύ εξόδου του αντιστροφέα. Σε αντίθετη περίπτωση θα είχαμε μεγαλύτερο κόστος, καθώς θα απαιτούνταν περισσότεροι αντιστροφείς για την υλοποίηση της ίδιας Φ/Β εγκατάστασης, από την στιγμή που δεν θα απέδιδαν σωστά οι υπάρχον αντιστροφείς.

Η ισχύς πρέπει να συνδυάζει πολλούς παραμέτρους. Για το συγκεκριμένο φωτοβολταϊκό πάρκο εξετάστηκαν τα προϊόντα των μεγαλύτερων εταιριών στον χώρο. Κάνοντας μια εκτεταμένη έρευνα αγοράς σε κορυφαίες εταιρίες κατασκευής Φ/Β προϊόντων και λαμβάνοντας υπ' όψιν τόσο τις προδιαγραφές των αντιστροφών όσον αφορά την καλύτερη αποδοτικότητα του συστήματος, όσο και το κόστος αυτών, κατέληξα στη πιο συμφέρουσα οικονομικά αλλά και στην πιο κατάλληλη για το Φ/Β πάρκο που θέλω να κατασκευάσω, αυτή της SMA. Η εταιρία αυτή δραστηριοποιείται πολλά χρόνια στον χώρο των αντιστροφών για Φ/Β συστήματα και τα προϊόντα της θεωρούνται κορυφαία και όσον αφορά την αξιοπιστία αλλά και την απόδοσή τους.

Το πρώτο κριτήριο με βάση το οποίο θα επιλεγεί ο κατάλληλος αντιστροφέας έχει να κάνει κυρίως με την επιλογή της κατάλληλης ισχύος. Η επιλογή αυτή πρέπει να συνδυάζει τους παράγοντες του κόστους, της αξιοπιστίας και της ευκολίας χειρισμού του συστήματος. Εφόσον η συνολική εγκατάσταση έχει ισχύ 3MW, η ισχύς των αντιστροφέων πρέπει να επιλεγεί αναλογικά με αυτή την τιμή. Αναλύονται οι διάφορες υλοποιήσεις που μπορούν να προκύψουν χρησιμοποιώντας τους αντιστροφείς της SMA της σειράς SUNNY CENTRAL. Τα μοντέλα που εξετάστηκαν είναι τα : Sunny Central 1000MV και Sunny Central 720 CP. Τα τεχνικά χαρακτηριστικά αυτών των αντιστροφέων φαίνονται στον Πίνακα 3.10, ενώ αναλυτικά datasheet δίνονται στο παράρτημα.

**Πίνακας 3.10 Τεχνικά χαρακτηριστικά των επιλεγμένων αντιστροφέων (Αναφέρονται αναλυτικά στο Παράρτημα)**

SMA – SUNNY CENTRAL		
	Sunny Central 1000 MV	Sunny Central 720 CP
<b>Τιμές εισόδου(DC)</b>		
Μέγιστη ισχύς DC	1018kW	808kW
Μέγιστη τάση DC	1000V	1000V
Εύρος τάσης DC	450V-820V	577V-820V
Ονομαστική τάση DC	500V	565V
Μέγιστο ρεύμα DC	2484A	1400A
<b>Τιμές εξόδου(AC)</b>		
Ονομαστική ισχύς AC (@25°C) / (@50°C)	1100kVA / 1000kVA	792kVA / 720kVA
Ονομαστική τάση/εύρος AC	20000V / 18000V - 22000V	324V / 292V- 356V
Ονομαστική συχνότητα δικτύου / Ονομαστική τάση δικτύου	50Hz / 20000V	50Hz / 324V
Μέγιστο Ρεύμα AC	28,8A	1411A
Μέγιστος Συντελεστής Παραμόρφωσης	< 3%	< 3%
<b>Απόδοση</b>		
Μέγιστη απόδοση	97,9%	98,6%
Euro-eta	97,5%	98,4%
<b>Μηχανολογικά στοιχεία</b>		
Βάρος	14710kg	1800kg
Ύψος/Πλάτος/Μήκος(mm)	4100/5670/3000	2279/2562/956

Επόμενο βήμα είναι ο υπολογισμός του πλήθους των αντιστροφών σε κάθε περίπτωση. Εξετάζοντας τον αντιστροφέα Sunny Central 1000 MV παρατηρούμε ότι η ισχύς στην έξοδο είναι 1000kVA δηλαδή χρειαζόμαστε 3 αντιστροφείς οι οποίοι θα δέχονται στην είσοδο 1000kVA ( $3.000.000\text{Wp}/3=1.000.000\text{Wp}$ ). Αντίστοιχα για τον αντιστροφέα Sunny Central 720 CP θα χρειαστούμε 4 αντιστροφείς που θα δέχονται στην είσοδο τους 720kVA και όχι 5 καθώς αν επιλέγαμε τόσους θα ξεφεύγαμε κατά πολύ από την ισχύ που θέλουμε. Αν επιλέξουμε με βάση το κόστος σίγουρα ο δεύτερος είναι φθηνότερος αφού έχουμε λιγότερα kW ενώ ταυτόχρονα μπορούμε να καλύψουμε την εγκατάσταση μας, και ύστερα από μια ερεύνα αγοράς που έκανα το κόστος του δεύτερου αντιστροφέα είναι μικρότερο από του πρώτου, αλλά επίσης θα πρέπει να εξεταστεί και με βάση την απόδοση και την συμβατότητα του με τα αντίστοιχα πλαίσια. Παρατηρώντας τα τεχνικά χαρακτηριστικά αλλά και το κόστος συμπεράνουμε ότι καταλληλότερος αντιστροφέας είναι ο Sunny Central 720 CP (Σχήμα 3.8) καθώς και είναι πιο φθηνός αλλά και μπορεί να συνδυαστεί με το Φ/Β πλαίσιο που επιλέξαμε προσφέροντας μας υψηλό βαθμό απόδοσης. Επίσης ο μετατροπέας που επιλέξαμε λειτουργεί πιο αποδοτικά συνδυασμένος με το συγκεκριμένο πλαίσιο από τι θα λειτουργούσε ο Sunny Central 1000 MV.



*Σχήμα 3.8 Sunny Central 720 CP [4]*

### 3.4.4 Βάση στήριξης συστοιχίας

Οι βάσεις στήριξης συγκαταλέγονται στα έργα υποδομής ενός Φ/Β σταθμού. 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 (για αποτροπή σκουριάς) ή αλουμινίου. Το πλεονέκτημα του αλουμινίου, αν και πιο ακριβό, είναι ότι είναι πιο ελαφρύ και εύκολο στην επεξεργασία.

Μία βάση στήριξης διαστασιολογείται με τέτοιο τρόπο ώστε τα πλαίσια να μπορούν να τοποθετηθούν είτε σε οριζόντια είτε σε κατακόρυφη διάταξη. Η έλλειψη ηλεκτρομηχανολογικών μερών προσδίδει στη διάταξη μηχανική αντοχή και αξιοπιστία κατά την λειτουργία της. Παρόλα αυτά, με μικρές παρεμβάσεις μπορούμε να τη μετατρέψουμε ως βάση με δυνατότητα εποχικής ρύθμισης της κλίσης αυξάνοντας έτσι την απόδοση της Φ/Β γεννήτριας.

Επίσης υπάρχει και η δυνατότητα κατασκευής συστοιχιών οι οποίες παρακολουθούν την κίνηση του ήλιου όλη την διάρκεια της ημέρας. Έχουν την δυνατότητα περιστροφής γύρω από έναν ή δύο άξονες με αποτέλεσμα η ακτινοβολία να προσπίπτει πάντα κάθετα πάνω στα πλαίσια. Για να επιτευχθεί αυτό απαιτείται η χρήση ηλεκτρομηχανολογικού εξοπλισμού και αισθητήρων. Αν και η απόδοση μιας κινητής διάταξης εκτιμάται ότι είναι 20% με 25% μεγαλύτερη, στην πράξη σπάνια επιλέγεται ως λύση. Τόσο η κατανάλωση ενέργειας από τον ηλεκτρονικό εξοπλισμό αλλά και οι αυξημένες βλάβες και κατά συνέπεια το κόστος συντήρησης της εγκατάστασης καθιστούν τη λύση αυτή πρακτικά ασύμφορη σε βάθος χρόνου.

Οι βάσεις στήριξης που θα τοποθετηθούν θα μπου επάνω στο στέγαστρο του γηπέδου που θα κατασκευάσει ο στατικός μηχανικός και θα είναι από αλουμίνιο για την αποφυγή της σκουριάς. Παρόλο το αυξημένο κόστος του αλουμινίου σε σχέση με το γαλβανισμένο ατσάλι, επιλέγεται αυτό καθώς είναι πιο ελαφρύ και πολύ πιο εύκολο στην επεξεργασία του. Θα αποτελείται από τα εξής τεχνικά μέρη:

- Ντιζοστρίφωνο για μεταλλικές τεγίδες που βοηθάει στην ασφαλή σύνδεση των μεταλλικών κατασκευών με το σύστημα στήριξης των Φ/Β πλαισίων, Σχήμα 3.9



*Σχήμα 3.9 Ντιζοστρίφωνο για μεταλλικές τεγίδες [5]*

- Σωληνωτός Αποστάτης όπου προσφέρει περαιτέρω στήριξη στο ντιζοστρίφωνο μεταλλικών τεγίδων, Σχήμα 3.10



*Σχήμα 3.10 Σωληνωτός αποστάτης [5]*

- Αυτοδιάτρητη βίδα σύνδεσης για την ασφαλή σύνδεση των συνδετήρων καναλιού με τα κανάλια στερέωσης, Σχήμα 3.11



*Σχήμα 3.11 Αυτοδιάτρητη βίδα [5]*

- Σφικτήρας καναλιών για γρήγορη και εύκολη στερέωση των καναλιών, Σχήμα 3.12



*Σχήμα 3.12 Σφικτήρας καναλιών [5]*

- Αυτοκόλλητη ταινία για επιπλέον μόνωση και προστασία της επιφάνειας της στέγης, Σχήμα 3.13



*Σχήμα 3.13 Αυτοκόλλητη ταινία [5]*

- Κανάλια βάσης για την γεφύρωση διαφόρων ανοιγμάτων, Σχήμα 3.14



*Σχήμα 3.14 Κανάλια βάσης [5]*

- Γέφυρα για την στερέωση συστημάτων στήριξης Φ/Β πλαισίων σε στέγαστρο με πάνελ πολουρεθάνης ή κυματοειδή φύλλα ελλενίτ όπως θα είναι το στέγαστρο στην μελέτη μας, Σχήμα 3.15



*Σχήμα 3.15 Γέφυρα [5]*

- Συνδετήρες καναλιών βάσης για τη σύνδεση καναλιών βάσης και για κενά διαστήματα διαστολής, Σχήμα 3.16



*Σχήμα 3.16 Συνδετήρες καναλιών βάσης [5]*

- Διαμήκη κανάλια για τη στήριξη Φ/Β πλαισίων με πλαίσιο, Σχήμα 3.17



*Σχήμα 3.17 Διαμήκη κανάλια [5]*

- Συνδετήρες διαμηκών καναλιών για τη σύνδεση διαμηκών καναλιών και για κενά διαστήματα διαστολής, Σχήμα 3.18



*Σχήμα 3.18 Συνδετήρες διαμηκών καναλιών [5]*

### **3.5 ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΣΧΕΔΙΑΣΗΣ Φ/Β ΓΕΝΝΗΤΡΙΑΣ**

#### **3.5.1 Διαστασιολόγηση Φ/Β σταθμού**

Ο σχεδιασμός ενός Φ/Β σταθμού απαιτεί την ομαδοποίηση των Φ/Β πλαισίων. Από ηλεκτρολογική μεριά αυτό είναι απαραίτητο για την προσαρμογή της γεννήτριας με τα DC χαρακτηριστικά εισόδου του αντιστροφέα. Η ομαδοποίηση των πλαισίων ακολουθεί την παρακάτω ιεραρχία:



- Καθορισμός αριθμού πλαισίων ανά στοιχειοσειρά
- Καθορισμός του πλήθους των στοιχειοσειρών ανά κύκλωμα του αντιστροφέα
- Καθορισμός του αριθμού των στοιχειοσειρών που θα φέρει κάθε συστοιχία
- Καθορισμός του αριθμού των συστοιχιών που θα αντιστοιχούν σε κάθε αντιστροφέα

Ταυτόχρονα θα πρέπει να συνυπολογίσουμε και τις λειτουργικές παραμέτρους όπως την εύκολη εποπτεία του Φ/Β σταθμού, την ηλεκτρολογική και γεωμετρική συμμετρία των στοιχειοσειρών και τέλος την ευκολία διασύνδεσης και αποφυγής λαθών.

Σαν πρώτο βήμα στην διαδικασία σχεδίασης της Φ/Β γεννήτριας κρίνεται η εκτίμηση του αριθμού των Φ/Β πλαισίων που θα χρειαστούμε και δίνεται από την σχέση:

$$\text{Αριθμός Πλαισίων} = \frac{\text{Ισχύς } \Phi / \text{B σταθμού } (W_p)}{\text{Ισχύς } \Phi / \text{B πλαισίου } (W_p)} = \frac{3000000}{250} = 12000 \text{ πλαίσια}$$

Τα 12000 πλαίσια που εκτιμάτε ότι θα χρησιμοποιηθούν θα ομαδοποιηθούν σε 4 αντιστροφείς των 808kW τύπου Sunny Central 720CP της εταιρίας SMA, με τον καθένα να φέρει 32 κυκλώματα εισόδου DC. Έτσι, τα πλαίσια που αντιστοιχούν σε κάθε αντιστροφέα είναι:

$$\frac{\text{Πλαίσια}}{\text{Αντιστροφέα}} = \frac{\text{Αρχικός αριθμός πλαισίων}}{\text{Αριθμός αντιστροφέων}} = \frac{12000}{4} = 3000 \text{ πλαίσια}$$

ενώ ανά κύκλωμα θα έχουμε:

$$\frac{\text{Πλαίσια}}{\text{Κύκλωμα}} = \frac{\text{Πλαίσια ανά αντιστροφέα}}{\text{Αριθμός κυκλωμάτων ανά αντιστροφέα}} = \frac{3000}{32} \cong 94 \text{ πλαίσια}$$

Τα 94 πλαίσια ανά κύκλωμα πρέπει να ομαδοποιηθούν σε στοιχειοσειρές και στη συνέχεια οι στοιχειοσειρές να παραλληλιστούν μέσω διάταξης παραλληλισμού.

Για τον προσδιορισμό του αριθμού των πλαισίων ανά στοιχειοσειρά πρέπει να λάβουμε υπ' όψιν μας πολλούς παραμέτρους, οι οποίοι είναι οι εξής:

- i. Τη μέγιστη DC τάση συστήματος: Για τα πλαίσια από τον κατασκευαστή ορίζεται και στην συγκεκριμένη περίπτωση είναι 1000V. Για τον αντιστροφέα, από τα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά εισόδου βλέπουμε ότι είναι 1000V. Επομένως, η μέγιστη DC τάση συστήματος στη συγκεκριμένη τοπολογία είναι τα 1000V.
- ii. Παράθυρο MPPT τάσης αντιστροφέα: Είναι εκείνα τα όρια του αντιστροφέα μέσα στα οποία κάνει ανίχνευση του σημείο μέγιστης ισχύος της στοιχειοσειράς. Στην συγκεκριμένη περίπτωση είναι 577V-820V.
- iii. Θερμοκρασιακή εξάρτηση της  $V_{OC}$  και  $V_{MPP}$  της στοιχειοσειράς: Αναφέρεται στην τάση στα άκρα της στοιχειοσειράς καθώς μεταβάλλεται η θερμοκρασία. Για τις διάφορες περιοχές της Ελλάδας ένα εύρος θερμοκρασιών από  $-20^{\circ}\text{C}$  έως  $+70^{\circ}\text{C}$  (θερμοκρασία πλαισίου) είναι ικανοποιητικό για τη μελέτη μας. Θα μπορούσαμε να πούμε ότι οι  $-20^{\circ}\text{C}$  είναι κάπως υπερβολικό σενάριο μιας και η θερμοκρασία πλαισίου είναι περίπου  $25^{\circ}\text{C}$  υψηλότερη από τη θερμοκρασία περιβάλλοντος.

Ο κατάλληλος αριθμός των πλαισίων ανά στοιχειοσειρά θα είναι ή 23 ή 24. Τώρα θα πρέπει να υπολογίσουμε τον κατάλληλο αριθμό των στοιχειοσειρών που θα λειτουργούν παράλληλα σε ένα κύκλωμα. Αυτό υπολογίζεται από την σχέση:

$$\frac{\text{Στοιχειοσειρές}}{\text{Κύκλωμα}} = \frac{\text{Αριθμός πλαισίων ανά κύκλωμα}}{\text{Πλαίσια ανά στοιχειοσειρά}}$$

Για 23 πλαίσια ανά στοιχειοσειρά έχουμε 4,08 στοιχειοσειρές, ενώ για 24 πλαίσια έχουμε 3,91. Καταλήγουμε λοιπόν στο συμπέρασμα ότι απαιτούνται συνολικά 4 παράλληλες στοιχειοσειρές. Το συνολικό ρεύμα DC εισόδου θα είναι:

$$\begin{aligned} I_{DC} &= I_{MPP,string} \cdot \text{Αριθμό στοιχειοσειρών} \cdot \text{Αριθμό κυκλωμάτων} = \\ &= 8,31 \cdot 4 \cdot 32 = 1063,68 \text{ A} \end{aligned}$$

το οποίο είναι εντός των ηλεκτρικών προδιαγραφών καθώς το μέγιστο ρεύμα DC είναι 1411A.

Η τελική ισχύς του Φ/Β σταθμού υπολογίζεται ως εξής:

- Για 23 πλαίσια ανά στοιχειοσειρά:

$$P_{\max, \Phi/B \text{ σταθμού}} = \text{Πλαίσια ανά στοιχειοσειρά} \cdot \text{Στοιχειοσειρές ανά κύκλωμα} \cdot \\ \cdot \text{Κυκλώματα ανά αντιστροφή} \cdot \text{Αριθμό αντιστροφών} \cdot \\ \cdot \text{Μέγιστη ισχύ πλαισίου} = 23 \cdot 4 \cdot 32 \cdot 4 \cdot 250 = 2,944 \text{ MWp}$$

- Για 24 πλαίσια ανά στοιχειοσειρά:

$$P_{\max, \Phi/B \text{ σταθμού}} = \text{Πλαίσια ανά στοιχειοσειρά} \cdot \text{Στοιχειοσειρές ανά κύκλωμα} \cdot \\ \cdot \text{Κυκλώματα ανά αντιστροφή} \cdot \text{Αριθμό αντιστροφών} \cdot \\ \cdot \text{Μέγιστη ισχύ πλαισίου} = 24 \cdot 4 \cdot 32 \cdot 4 \cdot 250 = 3,072 \text{ MWp}$$

Επειδή η επιθυμητή ισχύς του σταθμού θέλουμε να είναι  $3\text{MW}_p$ , αυτό επιτυγχάνεται καλύτερα με 24 πλαίσια. Στην παρούσα περίπτωση η διαφοροποίηση της ισχύος είναι αμελητέα. Σε οποιαδήποτε άλλη περίπτωση αν είχαμε περισσότερα πλαίσια ανά στοιχειοσειρά θα εμφανίζονταν τάση άνευ φορτίου στοιχειοσειράς μεγαλύτερη του ανώτερου επιτρεπτού ορίου ενώ αν είχαμε λιγότερα πλαίσια ανά στοιχειοσειρά η τάση σημείου μέγιστης ισχύος θα ήταν εκτός των κατώτερων ορίων. Όλα αυτά θα είχαν σαν αποτέλεσμα να έχουμε απώλεια ισχύος αλλά συνάμα και ο μετατροπέας να βρίσκονταν σε κίνδυνο.

Τέλος, αφού έχουν προηγηθεί οι παραπάνω υπολογισμοί, μπορούμε να προσδιορίσουμε τον ακριβή αριθμό πλαισίων που χρειάζονται που είναι 12288 πλαίσια. Συγκεντρωτικά έχουμε τα εξής αποτελέσματα:

Πίνακας 3.11 Τελική διαστασιολόγηση Φ/Β σταθμού

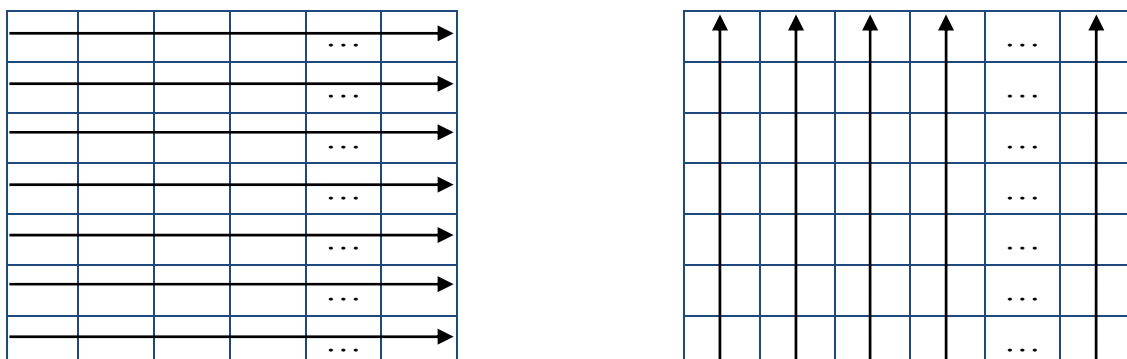
Ισχύς Φ/Β σταθμού	3,072MW <sub>p</sub>
Αριθμός αντιστροφών	4
Κυκλώματα ανά αντιστροφή	32
Στοιχειοσειρές ανά κύκλωμα	4
Πλαίσια ανά στοιχειοσειρά	24
Τελικός αριθμός Φ/Β πλαισίων	12288

### 3.5.2 Ανάπτυξη Φ/Β γεννήτριας σε συστοιχίες

Λαμβάνοντας υπ' όψιν τις πληροφορίες του παραπάνω πίνακα το επόμενο βήμα μας είναι η διαστασιολόγηση της Φ/Β συστοιχίας. Επάνω σε αυτή, εκτός από τα Φ/Β πλαίσια θα βρίσκονται τόσο τα καλώδια των πλαισίων όσο και η συσκευή παραλληλισμού των στοιχειοσειρών. Για τη σχεδίαση της πρέπει να λάβουμε υπ' όψιν παράγοντες όπως:

- Μήκος της συστοιχίας
- Προσανατολισμός πλαισίων σε οριζόντια και κατακόρυφη γεωμετρία
- Οριζόντια ή κατακόρυφη τοποθέτηση της στοιχειοσειράς
- Ευκολία κατασκευής, ελέγχου και επιδιόρθωση της διάταξης

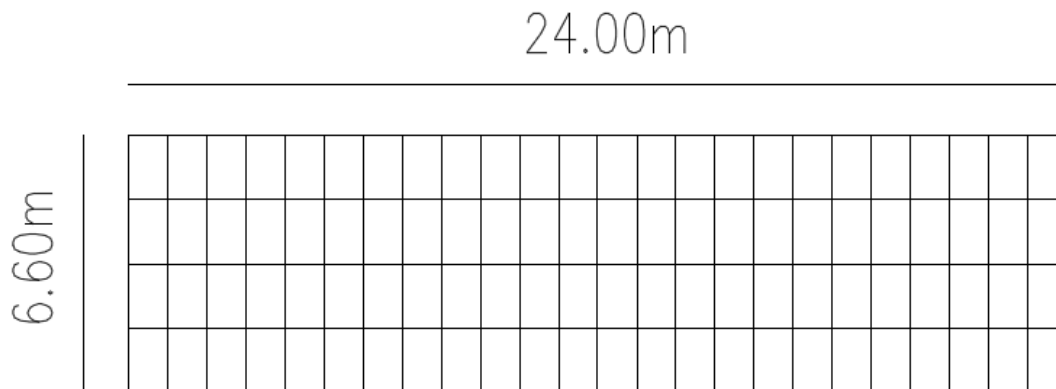
Ο προσανατολισμός της στοιχειοσειράς μπορεί να γίνει είτε οριζόντια είτε κατακόρυφα όπως φαίνεται στο Σχήμα 3.20 που ακολουθεί:



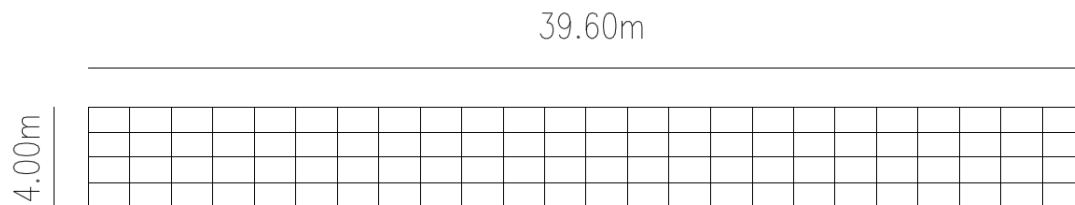
Σχήμα 3.19 Οριζόντιος και κατακόρυφος προσανατολισμός στοιχειοσειρών

Από την στιγμή που δεν εμπεριέχεται το πρόβλημα της σκίασης, καθώς τα Φ/Β πλαίσια θα τοποθετηθούν σε οριζόντιο επίπεδο, δεν έχουμε κάποιον ιδιαίτερο περιορισμό στην επιλογή του προσανατολισμού των στοιχειοσειρών.

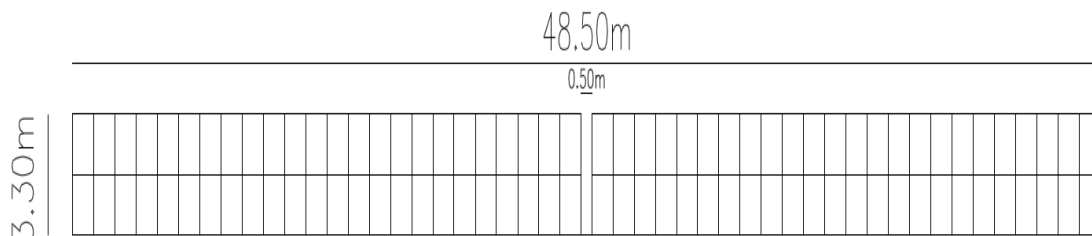
Στην συνέχεια φτιάχνουμε τα σχέδια από τις τρεις διαφορετικές διατάξεις συστοιχιών οι οποίες θα τοποθετηθούν επάνω στο στέγαστρο συνολικού εμβαδού 22.016 m<sup>2</sup>.



**Σχήμα 3.20 Συστοιχία 1**

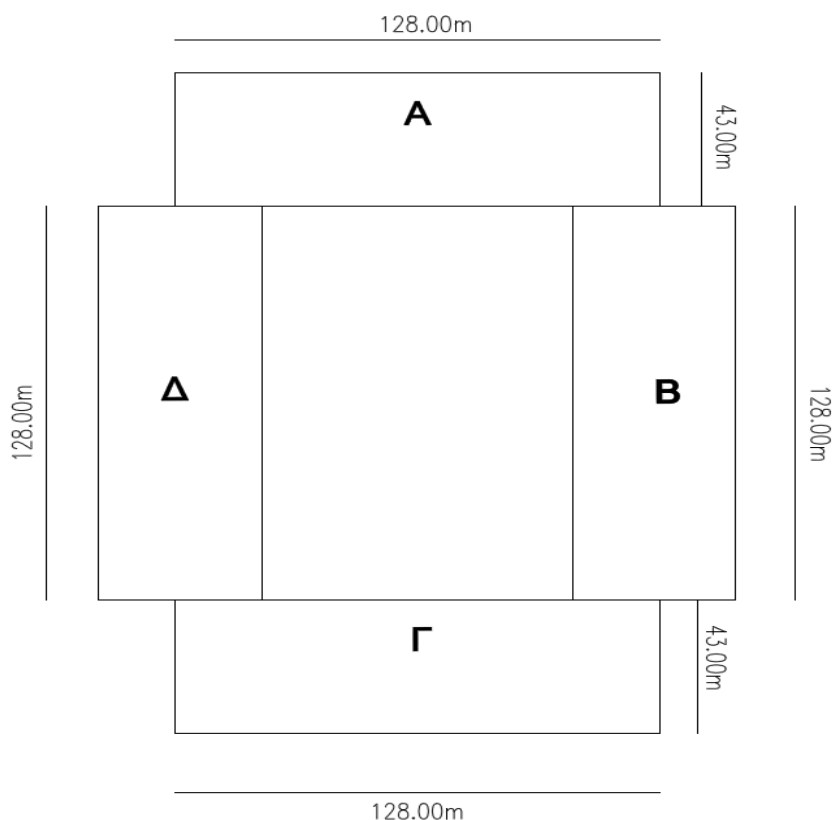


**Σχήμα 3.21 Συστοιχία 2**



**Σχήμα 3.22 Συστοιχία 3**

Η κάτοψη του στεγάστρου όπου θα τοποθετηθούν τα 12288 Φ/Β πλαίσια είναι η εξής:



**Σχήμα 3.23 Κάτοψη στεγάστρου**

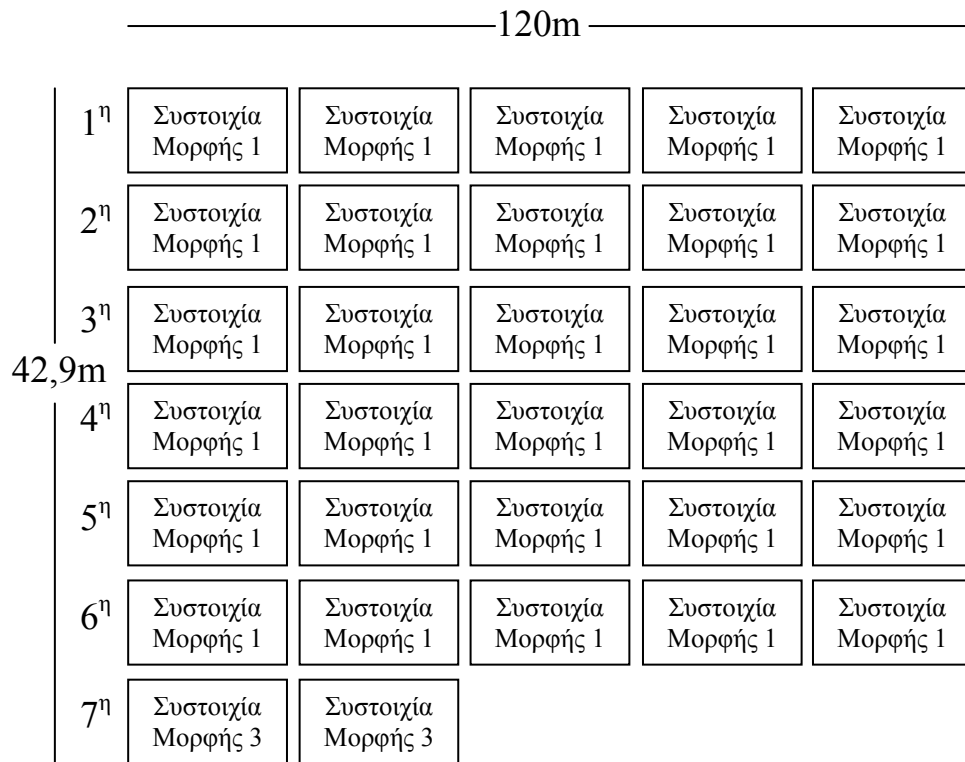
Συγκεντρωτικά έχουμε:

**Πίνακας 3.12 Συγκεντρωτικά αποτελέσματα συστοιχιών**

	<b>Συστοιχία 1</b>	<b>Συστοιχία 2</b>	<b>Συστοιχία 3</b>
Μήκος:	24m	39,6m	48,5m
Πλάτος:	6,6m	4m	3,3m

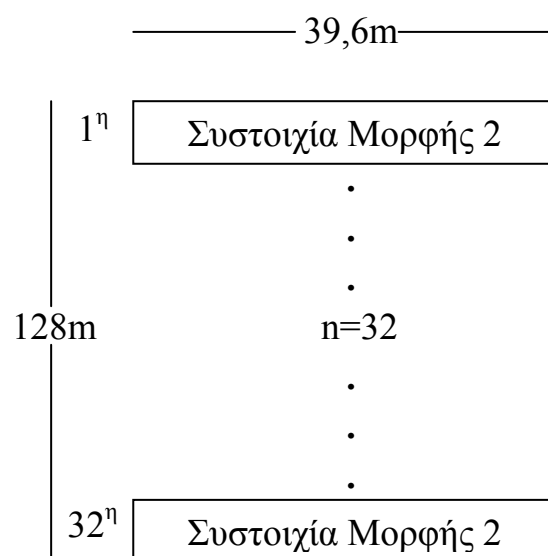
Η συστοιχίες θα τοποθετηθούν επάνω στο στέγαστρο σε οριζόντιο επίπεδο και θα έχουν ουσιαστικά την κλίση που θα έχουμε δώσει εξ' αρχής στο στέγαστρο κατασκευαστικά, αυτή των 3°. Η κλίση αυτή δεν ανταποκρίνεται στην γωνία μέγιστης απόδοσης της συστοιχίας. Η γωνία μέγιστης απόδοσης υπολογίστηκε αναλυτικά στην αρχή του κεφαλαίου 3. Η τοποθέτηση των Φ/Β πλαισίων θα γίνει με τρεις διαφορετικούς τρόπους ανάλογα με τις διαστάσεις των τεσσάρων πλευρών του στεγάστρου. Και στις τρεις σχεδιάσεις, βασική ιδέα αποτελεί η διαστασιολόγηση της συστοιχίας ώστε να αποτελεί είσοδο σε κάθε ένα

από τα κυκλώματα του αντιστροφέα. Στην συγκεκριμένη μελέτη κάθε αντιστροφέας θα λειτουργεί με 32 συστοιχίες. Στις πλευρές του στεγάστρου Α και Γ θα τοποθετηθούν ως εξής:



Σχήμα 3.24 Διαστασιολόγηση Α και Γ περιοχών

Ενώ στις πλευρές του στεγάστρου Β και Δ θα τοποθετηθούν ως εξής:



Σχήμα 3.25 Διαστασιολόγηση Β και Δ περιοχών

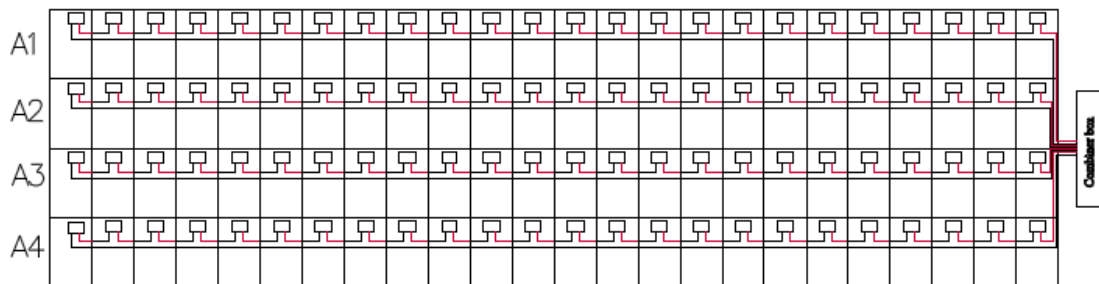
### 3.5.3 Καλωδίωση συστοιχιών

Ο τρόπος καλωδίωσης φαίνεται αναλυτικά στον Πίνακα 3.13 παρακάτω. Για το μήκος του καλωδίου που απαιτείται έχουμε:

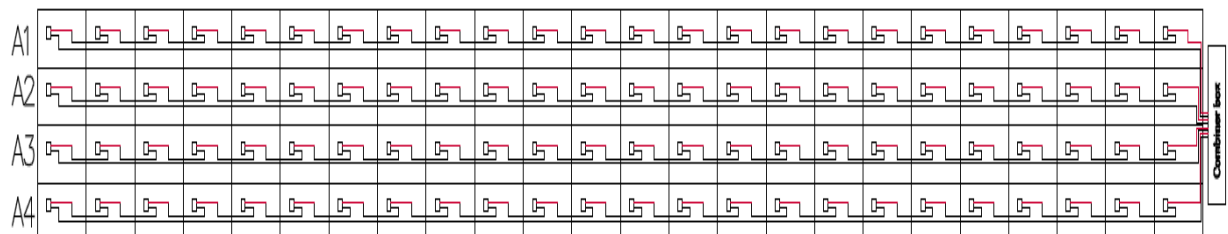
Πίνακας 3.13 Μήκη καλωδίων συστοιχιών

Συστοιχία 1		Συστοιχία 2		Συστοιχία 3	
A1	49,46m	A1	95,72m	A1	49,44m
A2	47,82m	A2	94,08m	A2	53,76m
A3	48,26m	A3	94,52m	B1	49,44m
A4	49,90m	A4	96,16m	B2	53,76m
Σύνολο	195,44m	Σύνολο	380,48m	Σύνολο	206,4m

Παρακάτω ακολουθούν τα κυκλωματικά σχέδια των 3 συστοιχιών που επιλέξαμε:

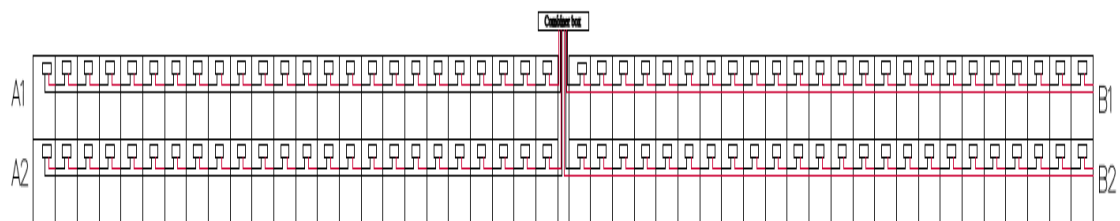


Σχήμα 3.26 Καλωδίωση συστοιχίας 1



Σχήμα 3.27 Καλωδίωση συστοιχίας 2





Σχήμα 3.28 Καλωδίωση συστοιχίας 3

### 3.6 ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ Φ/Β ΣΤΑΘΜΟΥ

#### 3.6.1 Γενική περιγραφή της τοπολογίας

Στην τοπολογία μας ο σταθμός αποτελείται από συνολικά 12288 πλαίσια της εταιρίας Repesola τύπου JC250M-24/Bb ονομαστικής ισχύος  $250W_p$ . Τα πλαίσια αυτά θα ομαδοποιηθούν σε 128 συστοιχίες. Κάθε ομάδα 32 συστοιχιών τροφοδοτεί έναν αντιστροφέα  $720kW_p$  τύπου Sunny Central 720CP της εταιρίας SMA. Τέλος η έξοδος κάθε αντιστροφέα οδηγείται σε έναν από τους 4 Υ/Σ ανύψωσης 0,4/20kV οι οποίοι ανά 2 συνδέονται σειριακά και καταλήγουν στον κεντρικό οικίσκο ελέγχου του σταθμού. Οι Υ/Σ ανύψωσης καθώς και οι αντιστροφείς με το κίосκι προστασίας τους θα τοποθετηθούν εκεί που θα κρίνει πιο κατάλληλο ο αρχιτέκτονας του στεγάστρου και ταυτόχρονα του ποδοσφαιρικού γηπέδου. Η καλωδίωση των πλαισίων γίνεται με κατάλληλο καλώδιο DC το οποίο στηρίζεται πάνω στα στηρίγματα των συστοιχιών ενώ το κεντρικό καλώδιο DC από τις συσκευές παραλληλισμού (combiner box) οδεύει κατάλληλα μέχρι τον αντιστροφέα τις αντίστοιχης ομάδας.

#### 3.6.2 Καλωδίωση Φ/Β πλαισίων

##### 3.6.2.1 Οδευση καλωδίων-απαιτούμενο μήκος καλωδίων DC

Στην τοπολογία μας το καλώδιο διασύνδεσης των Φ/Β πλαισίων οδεύει μόνο πάνω στη συστοιχία και καταλήγει στη συσκευή παραλληλισμού των στοιχειοσειρών. Για κάθε συστοιχία απαιτείται ίδιο μήκος καλωδίου το οποίο το υπολογίσαμε στο υποκεφάλαιο 3.5.3. Τα συνολικά μέτρα καλωδίου που θα τοποθετηθούν υπολογίζονται ως εξής:

- Στις περιοχές Α και Γ θα τοποθετηθούν 60 συστοιχίες της μορφής 1 (από 30 σε κάθε μια περιοχή) και 4 συστοιχίες της μορφής 3 (από 2 σε κάθε μια περιοχή). Δηλαδή:

$$\begin{aligned} \text{Μήκος Α,Γ}_{\text{περ.}} &= [(60 \cdot 195,4) + (4 \cdot 206,4)] \\ &= 11724 + 825,6 = 12550\text{m} \end{aligned}$$

- Στις περιοχές Β και Δ θα τοποθετηθούν 64 συστοιχίες της μορφής 2 (από 32 σε κάθε μια περιοχή) Δηλαδή:

$$\text{Μήκος Β,Δ}_{\text{περ.}} = (64 \cdot 380,48) = 24351\text{m}$$

Οπότε τα συνολικά μέτρα που θα χρειαστούν για την καλωδίωση των πλαισίων μας θα είναι 36901m.

### 3.6.2.2 Τύπος καλωδίου

Για να γίνει η διασύνδεση των πλαισίων χρησιμοποιούνται ειδικά καλώδια εξωτερικού χώρου τα οποία πρέπει να είναι ανθεκτικά τόσο στην ηλιακή ακτινοβολία όσο και σε μηχανικές καταπονήσεις. Ο τύπος που θα επιλεγεί είναι ένας συνήθης τύπος ο H07RN-F και έχει τις ακόλουθες προδιαγραφές:

- H: το καλώδιο ακλουθεί εναρμονισμένο πρότυπο
- 07: για τάσεις 450/750 φασική/πολική.
- R: η μόνωση του αγωγού είναι από φυσικό λάστιχο
- N: ο εξωτερικός μανδύας είναι από ελαστικό πολυχλωροπρένιο, υλικό πολύ ανθεκτικό στην ηλιακή ακτινοβολία που δεν αποικοδομείται
- F: ο αγωγός είναι λεπτοπολύκλωνος και σε πολλές περιπτώσεις επικασσιτερωμένος



Σχήμα 3.29 Τυπική δομή καλωδίου H07RN-F [6]

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

Για να υπολογίσουμε την πτώση τάσης στον αγωγό στηρίζομαστε στις απαιτήσεις του γερμανικού προσχεδίου VDE 0100 Part 1 που προτείνεται να μην είναι μεγαλύτερη του 1% της ονομαστικής DC τάσης συστήματος σε πρότυπες συνθήκες. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα οι απώλειες ισχύος να διατηρούνται και αυτές στο 1% σε πρότυπες συνθήκες. Πρακτικά, η καλωδίωση των πλαισίων γίνεται με καλώδια διατομών 4mm<sup>2</sup> ή 6mm<sup>2</sup>. Το ρεύμα που ρέει σε κάθε στοιχειοσειρά εξαρτάται κυρίως από την ακτινοβολία και είναι σχεδόν πάντα μικρότερο του ρεύματος I<sub>MPP,STC</sub>. Στη συγκεκριμένη περίπτωση, το ρεύμα I<sub>MPP,STC</sub> είναι 8,31A.

- Πτώση τάσης: Εδώ μας ενδιαφέρει κυρίως η πτώση τάσης που έχουμε πάνω στον μακρύτερο αγωγό, περίπου 96m. Η ωμική αντίσταση του καλωδίου σε θερμοκρασία 20°C δίνεται από το φυλλάδιο του κατασκευαστή και είναι 5,09Ω/km και 3,39Ω/km για αγωγούς διατομής 4mm<sup>2</sup> και 6mm<sup>2</sup> αντίστοιχα. Τους θερινούς μήνες η θερμοκρασία λειτουργίας τους σε πλήρης φορτίο μπορεί να φτάσει του 70°C. Για τον λόγο αυτό είναι αναγκαίο να γίνει διόρθωση στις τιμές των ωμικών αντιστάσεων για τη θερμοκρασία λειτουργίας βάσει του τύπου:

$$R_{70^{\circ}\text{C}} = R_{20^{\circ}\text{C}} \cdot [1 + a_{20^{\circ}\text{C}} \cdot (\theta_{\text{λειτουργ}} - 20)]$$

όπου  $a_{20}=0,00393$  για αγωγούς χαλκού και  $0,00403$  για αλουμινίου. Σύμφωνα με την παραπάνω σχέση έχουμε:

*Πίνακας 3.14 Αντίσταση καλωδίου R στους 70°C (Ω/km)*

Αντίσταση καλωδίου R στους 70°C (Ω/km)	
4mm <sup>2</sup>	6,090
6mm <sup>2</sup>	4,056

Η πτώση τάσης κατά μήκος του καλωδίου δίνεται από τη παρακάτω σχέση και τα αποτελέσματα φαίνονται τον Πίνακα 3.15. Η τάση του συστήματος είναι 734 V.

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

Πίνακας 3.15 Πτώση τάσης κατά μήκος του καλωδίου

Διατομή	Πτώση τάσης (V)	% Πτώση τάσης
4mm <sup>2</sup>	4,85	0,66%
6mm <sup>2</sup>	3,23	0,44%

Σύμφωνα με τον παραπάνω πίνακα τις ιδανικές συνθήκες τις ικανοποιεί το καλώδιο διατομής 6mm<sup>2</sup>.

- Οι απώλειες ισχύος δίνονται από την παρακάτω σχέση και τα αποτελέσματα φαίνονται στον Πίνακα 3.16. Η ισχύς μιας στοιχειοσειράς είναι 6000 Wp σε πρότυπες συνθήκες

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

$$P_{\text{loss}} = \frac{P_{\text{loss}}}{P_{\text{nom}}} \cdot 100 \%$$

Πίνακας 3.16 Απώλειες ισχύος κατά μήκος του καλωδίου

Διατομή	Απώλειες (W)	% Απώλειες
4mm <sup>2</sup>	40,37	0,67%
6mm <sup>2</sup>	26,88	0,44%

### 3.6.4 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. Στην εγκατάσταση μας τα καλώδια DC στο μεγαλύτερο μήκος στηρίζονται στο δομικό υλικό (αλουμίνιο) των συστοιχιών. Το μέγιστο επιτρεπόμενο ρεύμα δίνεται από τη ακόλουθη σχέση:

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

όπου  $I_0$  η επιτρεπόμενη συνεχής φόρτιση του καλωδίου στους  $30^{\circ}\text{C}$ ,  $f_{\theta}$  ο συντελεστής θερμοκρασίας περιβάλλοντος για θερμοκρασίες διάφορες των  $30^{\circ}\text{C}$  και  $f_n$  ο συντελεστής πλήθους των κυκλωμάτων ή αγωγών.

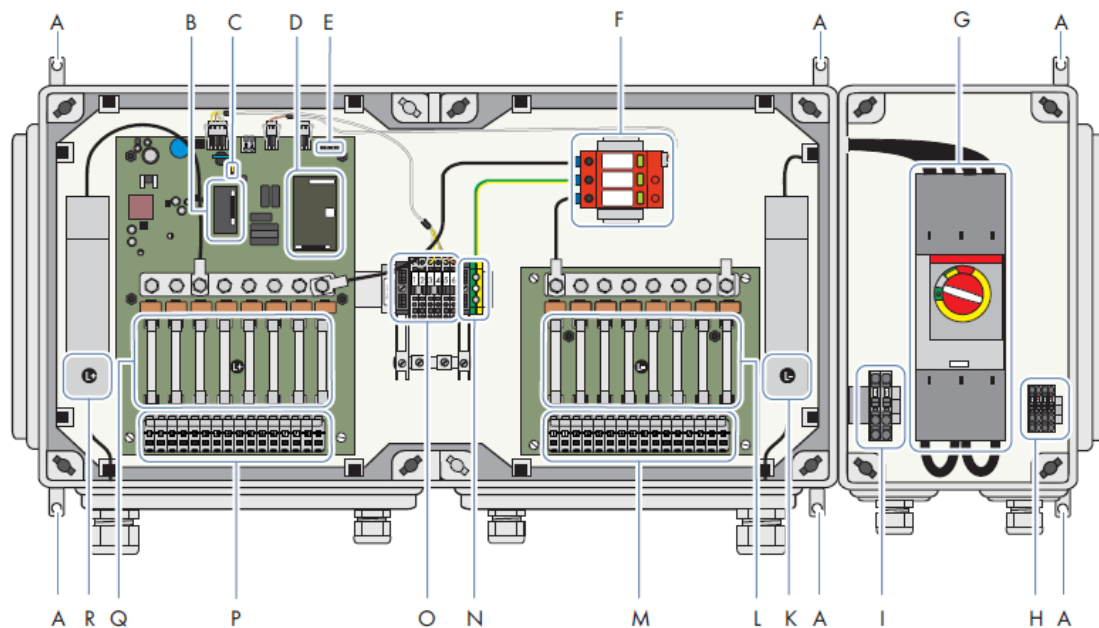
Από τα στοιχεία του κατασκευαστή και για θερμοκρασία  $30^{\circ}\text{C}$  η επιτρεπόμενη συνεχής φόρτιση του καλωδίου για διατομή  $6\text{mm}^2$  είναι 53A. Επίσης στο σημείο όπου αυτά συγκεντρώνονται στη συσκευή παραλληλισμού έχουμε συνολικά 4 κυκλώματα με αντίστοιχο συντελεστή μείωσης που είναι 0,70. Τέλος η θερμοκρασία που επικρατεί στο χώρο της Φ/Β εγκατάστασης τους θερινούς μήνες (δυσμενέστερη περίπτωση) είναι περίπου  $40^{\circ}\text{C}$  με αντίστοιχο συντελεστή διόρθωσης 0,82 για καλώδια με μόνωση από ελαστικό. Συγκεντρωτικά το μέγιστο επιτρεπόμενο ρεύμα του καλωδίου είναι:

$$I = I_0 \cdot f_{\theta} \cdot f_n = 53 \cdot 0,82 \cdot 0,70 \cong 31\text{A}$$

Το ρεύμα αυτό είναι μεγαλύτερο του  $I_{MPP}$  (8,31A) επομένως η διατομή αυτή είναι κατάλληλη.

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

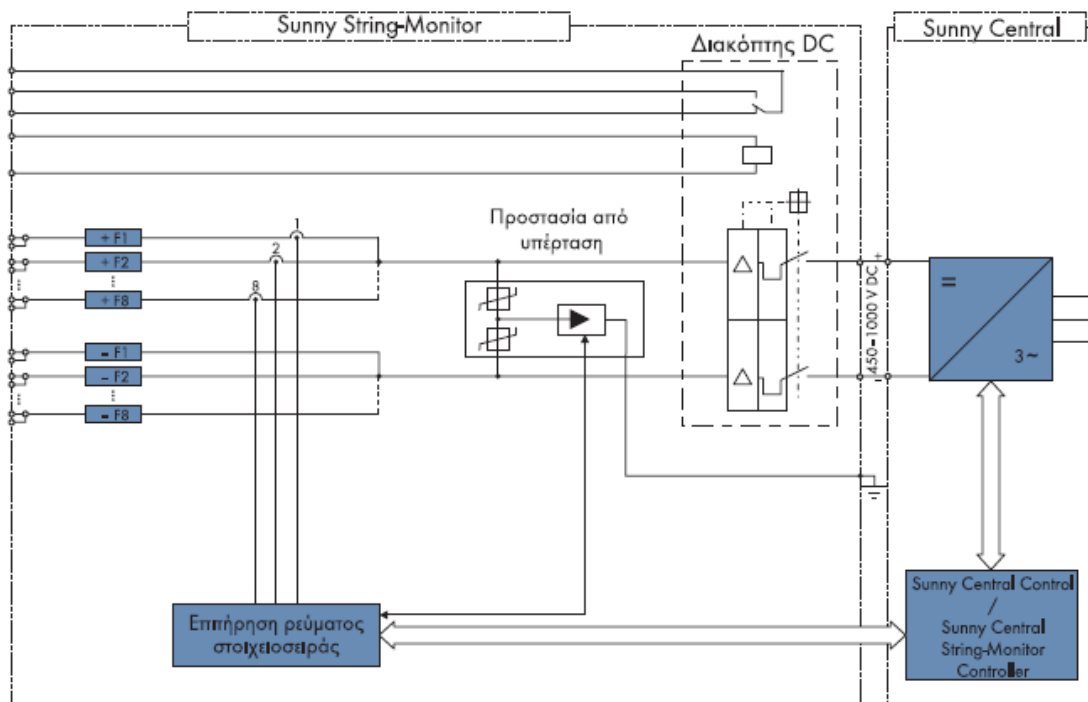
Η διάταξη του παραλληλισμού αποτελεί έναν πίνακα όπου παραλληλίζονται οι 4 ομάδες των στοιχειοσειρών. Επίσης αυτός ο πίνακας διαθέτει διατάξεις προστασίας των Φ/Β πλαισίων και καλωδίων, απόξευξης από τον αντιστροφέα και τα υπόλοιπα κυκλώματα καθώς και προστασίας από υπερτάσεις. Τέλος, παρακολουθούνται τα ρεύματα των στοιχειοσειρών μέσω ηλεκτρονικού κυκλώματος. Ένας τέτοιος πίνακας φαίνεται στο Σχήμα 3.30 ενώ το λειτουργικό του διάγραμμα στο Σχήμα 3.31.



Σχήμα 3.30 Βασικά εξαρτήματα στο εσωτερικό της συσκευής [7]

Πίνακας 3.17 Περιγραφή βασικών εξαρτημάτων [7]

Θέση	Ονομασία
A	Οπές στερέωσης
B	Riggy-Back επικοινωνίας
C	Βραχυκυκλωτήρας για τον τερματισμό του καλωδίου μεταφοράς δεδομένων
D	Riggy-Back για επεξεργασία δεδομένων
E	Φωτοдиодοι για ένδειξη της κατάστασης λειτουργίας
F	Απαγωγός υπέρτασης
G	Διακόπτης ισχύος DC
H	Σύνδεση της επαφής επιβεβαίωσης
I	Σύνδεση ενεργοποίησης βοηθητικής διάταξης αποσύνδεσης
K	Σύνδεση του κεντρικού αγωγού DC, αρνητικός πόλος (-)
L	Ασφάλειες DC ή κυλινδρικές γέφυρες
M	Συνδέσεις στοιχειοσειρών, αρνητικός πόλος (-)
N	Σύνδεση της γείωσης
O	Σύνδεση επικοινωνίας
P	Συνδέσεις στοιχειοσειρών, θετικός πόλος (+)
Q	Ασφάλειες DC ή κυλινδρικές γέφυρες
R	Σύνδεση του κεντρικού αγωγού DC, θετικός πόλος (+)



Σχήμα 3.31 Σχηματικό διάγραμμα του Sunny String-Monitor στο φωτοβολταϊκό σύστημα [7]

Η παρακολούθηση των στοιχειοσειρών είναι δυνατή και από απόσταση αφού προβλέπεται σύστημα μεταφοράς δεδομένων. Με αυτόν τον τρόπο εξασφαλίζεται η γρήγορη ανίχνευση βλαβών σε περίπτωση δυσλειτουργίας κάποιου από τα Φ/Β πλαίσια αλλά και η άμεση εποπτεία του συστήματος.

### 3.6.6 Διασύνδεση των συστοιχιών με τους πίνακες Χαμηλής Τάσης

Από την έξοδο της διάταξης παραλληλισμού οδηγούμαστε μέσω κατάλληλων καλωδίων DC, στον οικίσκο του αντιστροφέα, ο οποίος επιλέγω να τοποθετηθεί στο υψηλότερο σημείο των κερκίδων και στο μέσο αυτών κάτω από το στέγαστρο, και από εκεί στους αντίστοιχους πίνακες Χαμηλής Τάσης. Τα καλώδια θα είναι τύπου J1VV-R μονοπολικά και έχει τις ακόλουθες προδιαγραφές:

- J: το καλώδιο χαρακτηρίζεται κατά IEC
- 1: το καλώδιο είναι κατασκευασμένο για τάσεις λειτουργίας 600/1000V

- V: η μόνωση του αγωγού είναι από PVC (1)
- V: ο εξωτερικός μανδύας είναι από PVC (2)
- R : ο αγωγός είναι πολύκλωνος (3)



Σχήμα 3.32 Τομή καλωδίου J1VV-R [6]

Το συνολικό μήκος του καλωδίου που χρειάζεται φαίνεται στον ακόλουθο πίνακα:

Για τις πλευρές του στεγάστρου Α και Γ έχουμε:

Πίνακας 3.18 Αποστάσεις καλωδίων μεταξύ συστοιχιών των πλευρών Α και Γ του αντιστροφέα Α και Γ αντίστοιχα

Αποστάσεις καλωδίων μεταξύ συστοιχιών των πλευρών Α και Γ του αντιστροφέα Α και Γ αντίστοιχα	
1 <sup>η</sup> Σειρά	264m
2 <sup>η</sup> Σειρά	297m
3 <sup>η</sup> Σειρά	330m
4 <sup>η</sup> Σειρά	363m
5 <sup>η</sup> Σειρά	396m
6 <sup>η</sup> Σειρά	429m
7 <sup>η</sup> Σειρά	188m
<b>Συνολικό μήκος πλευράς Α</b>	<b>2267m</b>
<b>Συνολικό μήκος πλευρών Α και Γ</b>	<b>4534m</b>



Για τις πλευρές του στεγάστρου Β και Δ έχουμε:

**Πίνακας 3.18 Αποστάσεις καλωδίων μεταξύ συστοιχιών των πλευρών Β και Δ του αντιστροφέα Β και Δ αντίστοιχα**

<b>Αποστάσεις καλωδίων μεταξύ συστοιχιών των πλευρών Β και Δ του αντιστροφέα Β και Δ αντίστοιχα</b>			
1 <sup>η</sup> Σειρά	90m	17 <sup>η</sup> Σειρά	30m
2 <sup>η</sup> Σειρά	86m	18 <sup>η</sup> Σειρά	34m
3 <sup>η</sup> Σειρά	82m	19 <sup>η</sup> Σειρά	38m
4 <sup>η</sup> Σειρά	78m	20 <sup>η</sup> Σειρά	42m
5 <sup>η</sup> Σειρά	74m	21 <sup>η</sup> Σειρά	46m
6 <sup>η</sup> Σειρά	70m	22 <sup>η</sup> Σειρά	50m
7 <sup>η</sup> Σειρά	66m	23 <sup>η</sup> Σειρά	54m
8 <sup>η</sup> Σειρά	62m	24 <sup>η</sup> Σειρά	58m
9 <sup>η</sup> Σειρά	58m	25 <sup>η</sup> Σειρά	62m
10 <sup>η</sup> Σειρά	54m	26 <sup>η</sup> Σειρά	66m
11 <sup>η</sup> Σειρά	50m	27 <sup>η</sup> Σειρά	70m
12 <sup>η</sup> Σειρά	46m	28 <sup>η</sup> Σειρά	74m
13 <sup>η</sup> Σειρά	42m	29 <sup>η</sup> Σειρά	78m
14 <sup>η</sup> Σειρά	38m	30 <sup>η</sup> Σειρά	82m
15 <sup>η</sup> Σειρά	34m	31 <sup>η</sup> Σειρά	86m
16 <sup>η</sup> Σειρά	30m	32 <sup>η</sup> Σειρά	90m
<b>Συνολικό μήκος πλευράς Β</b>		1920m	
<b>Συνολικό μήκος πλευρών Β και Δ</b>		3840m	

Για τον υπολογισμό της πτώσης τάσης και των απωλειών ισχύος χρησιμοποιούμε τη μεγαλύτερη απόσταση και προσδιορίζουμε την κατάλληλη διατομή του καλωδίου. Έχοντας 4 παράλληλες στοιχειοσειρές, το ρεύμα που αναμένουμε είναι  $4 \cdot I_{MPP} = 4 \cdot 8,31 = 33,24 \text{ A}$ . Η πτώση τάσης και οι απώλειες ισχύος δίνονται από τις σχέσεις της παραγράφου 3.6.3. Για διάφορες διατομές καλωδίων έχουμε τα ακόλουθα αποτελέσματα:

*Πίνακας 3.19 Πτώση τάσης και απώλειες ισχύος στο κεντρικό καλώδιο DC*

<b>Πτώση τάσης και απώλειες ισχύος στο κεντρικό καλώδιο DC</b>			
Διατομή (mm <sup>2</sup> )	Αντίσταση στους 70°C	V <sub>drop</sub> (V)	P <sub>loss</sub> (W)
35	0,627	8,94	297,2
50	0,463	6,60	219,5
70	0,320	4,56	151,7
95	0,230	3,27	109,0

### **3.6.7 Διασύνδεση Φ/Β συστοιχιών με τον αντιστροφέα**

#### **3.6.7.1 Περιγραφή διάταξης**

Οι πλευρές του στεγάστρου αποτελούνται η κάθε μια από 32 κυκλώματα. Το κάθε επιμέρους κύκλωμα οδηγείται σε έναν πίνακα Χαμηλής Τάσης μέσω κατάλληλης διάταξης προστασίας. Αφού τα 32 κυκλώματα παραλληλιστούν, οδεύουν προς τις μπάρες σύνδεσης DC κυκλωμάτων του αντιστροφέα. Οι πίνακες Χαμηλής Τάσης θα βρίσκονται μέσα στο χώρο του οικίσκου προστασίας του αντιστροφέα ο οποίος θα βρίσκεται σε χώρο που έχει επιλέξει ο αρχιτέκτονας του γηπέδου.

#### **3.6.7.2 Διάταξη προστασίας κυρίως καλωδίου DC**

Το κυρίως καλώδιο DC με την άφιξή του στον πίνακα Χαμηλής Τάσης προστατεύεται με τη χρήση διακόπτη ισχύος κατάλληλο για DC κυκλώματα. Ο διακόπτης πρέπει να έχει χαρακτηριστικά τέτοια ώστε να αντέχει σε τάση μεγαλύτερη από αυτή του συστήματος αλλά και ονομαστικό ρεύμα μεγαλύτερο των 33,24Α. Ενδεικτικά προτείνεται ο διακόπτης S803PV-S80 (Σχήμα 3.33) της εταιρίας ABB:



Σχήμα 3.33 Διακόπτης S893PV-S80 [8]

Πίνακας 3.20 Χαρακτηριστικά διακόπτη S803PV-S80 [8]

Χαρακτηριστικά διακόπτη S803PV-S80	
Αριθμός πόλων	3P
Ονομαστικό ρεύμα $I_n$	80A
Τάση λειτουργίας $U_e$	12000V DC
Σύστημα ενεργοποίησης	Θερμικό & Ηλεκτρομαγνητικό
Ρεύμα βραχυκύκλωσης $I_{cu}$	5kA

### 3.6.7.3 Διασύνδεση Φ/Β γεννήτριας με τον αντιστροφέα

Μετά τον παραλληλισμό τους στον πίνακα Χαμηλής Τάσης, κάθε συστοιχία από τις 32 συνολικά της κάθε πλευράς του στεγάστρου οδεύει μέσω κατάλληλου διακόπτη ισχύος προς τις DC μπάρες σύνδεσης του αντιστροφέα. Ο διακόπτης αυτός θα πρέπει να είναι ονομαστικού ρεύματος τουλάχιστον 1063,68A ( $33,24 \cdot 32$  συστοιχίες) και ονομαστικής τάσης τουλάχιστον 1000V. Επιπλέον για την ανίχνευση σφαλμάτων του θετικού ή του αρνητικού πόλου και της γης πρέπει να είναι εξοπλισμένος με διάταξη επιτήρησης μόνωσης. Ο διακόπτης διασύνδεσης, ενδεικτικά, μπορεί να είναι ο SACE EmaxDC της ABB με βασικά χαρακτηριστικά:



*Σχήμα 3.34 Διακόπτης SACE EmaxDC [8]*

*Πίνακας 3.21 Χαρακτηριστικά διακόπτη SACE EmaxDC [8]*

<b>Χαρακτηριστικά διακόπτη SACE EmaxDC</b>	
Αριθμός πόλων	4
Ονομαστικό ρεύμα $I_n$	1250A
Ονομαστική τάση DC	1000V
Σύστημα ενεργοποίησης	Θερμικό & ηλεκτρομαγνητικό

Η σύνδεση θα γίνει με καλώδιο J1VV-R διατομής 300mm<sup>2</sup> το μήκος του οποίου είναι μερικά μέτρα περίπου 80m μιας και οι πίνακες Χαμηλής Τάσης βρίσκονται στον ίδιο οικίσκο. Λόγω του ελάχιστου μήκους τους οι απώλειες ενέργειας και η πτώση τάσης στο καλώδιο κρίνονται αμελητέες.

### **3.6.8 Διασύνδεση του αντιστροφέα με τον Υ/Σ ανύψωσης**

Στον Φ/Β σταθμό θα εγκατασταθούν 4 Υ/Σ ανύψωσης 0,27/20kV, ένας για κάθε πλευρά του στεγάστρου. Οι Υ/Σ είναι τύπου LR-73 και κατασκευάζονται από την εταιρία Schneider-Electric. Θα είναι τοποθετημένοι σε ένα σημείο κάτω από το μέσω της κάθε κερκίδας και θα αποτελούνται από:

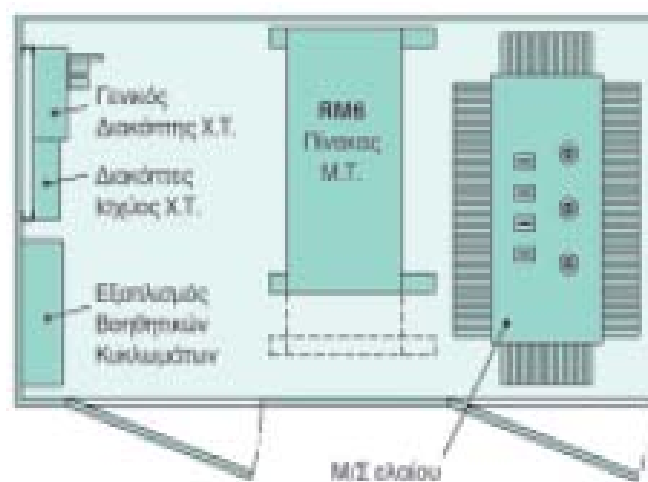
- Περίβλημα κατασκευασμένο από γαλβανισμένη λαμαρίνα

- Το διαμέρισμα Μέσης Τάσης καθώς και τον πίνακα Μέσης Τάσης
- Το διαμέρισμα του Μ/Σ διανομής
- Το διαμέρισμα Χαμηλής Τάσης καθώς και τον πίνακα Χαμηλής Τάσης
- Τις απαραίτητες εσωτερικές συνδέσεις μεταξύ των διαμερισμάτων και των πεδίων

Ακολουθεί η φωτογραφία του καθώς και η κάτοψη του:



**Σχήμα 3.35** Συνεπτυγμένος Υ/Σ LR-73 της εταιρίας Schneider-Electric [9]



**Σχήμα 3.36** Χωροθέτηση ηλεκτρολογικού εξοπλισμού του σταθμού [9]

Η έξοδος του αντιστροφέα είναι τριφασική στα 324V. Για να ενταχτεί στο δίκτυο Μέσης Τάσης του σταθμού η τάση πρέπει να μετασχηματιστεί στα 20kV με τη βοήθεια Μ/Σ 0,27/20kV. Η σύνδεση του αντιστροφέα με τον Μ/Σ γίνεται με ειδικό καλώδιο. Οι υποσταθμοί που χρησιμοποιούνται είναι τύπου κιόσκι που περιγράφηκαν παραπάνω. Σαν διάταξη ο αντιστροφέας από το τμήμα AC φέρει τις ακόλουθες προστασίες:

- Απαγωγέας υπερτάσεων για την προστασία του τριφασικού κυκλώματος
- Διακοπή της παροχής AC με τη χρήση ασφαλειοδιακόπτη φορτίου-αποζεύκτη με δυνατότητα γείωση

Το ρεύμα κάθε φάσης, για συντελεστή ισχύος 0,99 είναι:

$$P = 3 \cdot I \cdot V_{\varphi} \cdot \cos\varphi \Rightarrow I = \frac{792000}{3 \cdot 324 \text{ V} \cdot 0,99} \cong 824\text{A}$$

Σύμφωνα με τον κατασκευαστή το καλώδιο πρέπει να έχει διατομή 400mm<sup>2</sup>. Η διατομή του ουδετέρου θα είναι 0,5 φορές τη διατομή της φάσης. Η πλησιέστερη διατομή είναι 240mm<sup>2</sup>. Το μήκος του καλωδίου είναι μικρό και θα είναι περίπου 100m και για το λόγο αυτό δεν γίνεται περεταίρω διερεύνηση της πτώσης τάσης και των απωλειών ενέργειας.

### 3.6.9 Περιγραφή Υ/Σ Μέσης Τάσης

#### 3.6.9.1 Διαμέρισμα Μετασχηματιστή

Για την ανύψωση της τάσης χρησιμοποιείται μετασχηματιστής ανύψωσης 0,4/20kV. Συνήθως οι μετασχηματιστές επιλέγονται ελαιόψυκτοι εκτός αν υπάρχουν ειδικές συνθήκες περιβάλλοντος όπως για παράδειγμα απαιτήσεις για αποφυγή μόλυνσης περιβάλλοντος ή εύφλεκτα υλικά και κίνδυνο πυρκαγιάς. Για το ελληνικό σύστημα η συνδεσμολογία τους συνιστάται να είναι Dyn11 ή Dyn5, συνδεσμολογίες αποδεκτές και από τη Δ.Ε.Η. Η τάση του εκλέγεται ώστε μελλοντικά να είναι συμβατή με όλα τα δίκτυα Μέσης Τάσης, δηλαδή στα 20kV.



*Σχήμα 3.37 Μετασχηματιστής διανομής λαδιού [9]*

Για την 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 δεν είναι δυνατή η επέκταση της ισχύος του σταθμού. Η ονομαστική ισχύς του Μ/Σ είναι και η ισχύς μέγιστης επιτρεπόμενης διαρκούς φόρτισης του για τις ακόλουθες συνθήκες:

- Θερμοκρασία περιβάλλοντος μικρότερη των 40°C
- Μέση ημερήσια θερμοκρασία μικρότερη των 30°C
- Μέση ετήσια θερμοκρασία μικρότερη των 20°C

Οι μέσες ημερήσιες και ετήσιες θερμοκρασίες στην Ελλάδα συνήθως βρίσκονται μέσα στα πιο πάνω όρια. Στην παρούσα εφαρμογή, κάθε Υ/Σ διαχειρίζεται ισχύ 792kVA. Αυτό σημαίνει ότι η επιλογή ενός Μ/Σ των 1000kVA θα καλύπτει πλήρως τις ανάγκες του σταθμού.

Σε σχέση με τις απώλειες, ο Μ/Σ έχει συνεχώς όσο είναι στο δίκτυο απώλειες λόγω μαγνητικής υστέρησης. Επίσης, ανάλογα με το φορτίο, έχουμε και ωμικές απώλειες που εξαρτώνται από το τετράγωνο του ρεύματος. Για τον Μ/Σ ελαίου 1000kVA οι απώλειες σιδήρου είναι 1100W ενώ οι απώλειες χαλκού είναι 10500W.

### 3.6.9.2 Διαμέρισμα Μέσης Τάσης

Στο κάθε Υ/Σ ανύψωσης στο διαμέρισμα Μέσης Τάσης θα υπάρχουν 3 πεδία: Πεδίο εισόδου ή άφιξης από άλλον Υ/Σ, πεδίο διασύνδεσης και προστασίας του Μ/Σ και πεδίο αναχώρησης προς άλλον Υ/Σ ή τον οικίσκο ελέγχου. Για τις ανάγκες της εργασίας επιλέγεται να γίνει μελέτη με τον τύπο πεδίων RM6 της εταιρίας Schneider-Electric.



Σχήμα 3.38 Πεδία διασύνδεσης RM6 [9]

Κάθε οικίσκος ανύψωσης θα διαθέτει δύο πεδία εισόδου RM6 καθώς και ένα πεδίο διασύνδεσης του Μ/Σ RM6. Η προστασία του Μ/Σ θα γίνεται με κατάλληλες ασφάλειες.

### 3.6.10 Υ/Σ ζεύξης και ελέγχου

#### 3.6.10.1 Γενικά στοιχεία

Στον Φ/Β σταθμό θα εγκατασταθούν 1 Υ/Σ ζεύξης και ελέγχου ο οποίος θα βρίσκεται κάτω από τις κερκίδες στην Δ πλευρά του γηπέδου. Ο Υ/Σ κατασκευάζεται από την εταιρία Schneider-Electric και είναι κατάλληλος για να στεγάσει όλο τον απαραίτητο Η/Μ εξοπλισμό. Βασικά χαρακτηριστικά του είναι:

- Είναι κατασκευασμένος από γαλβανισμένη εν θερμώ λαμαρίνα και επενδυμένος εξωτερικά με πλαστικοποιημένη λαμαρίνα η οποία



αποτρέπει την οξείδωση και εξασφαλίζει ελάχιστες εργασίες συντήρησης

- Διαμέρισμα Μέσης Τάσης με τα απαραίτητα πεδία
- Χώρος γραφείου με W.C και τον απαραίτητο ηλεκτρονικό εξοπλισμό (H/Y, fax κλπ)
- Σύστημα πυρανίχνευσης και στα δύο διαμερίσματα του οικίσκου καθώς και κεντρικό σύστημα συναγερμού

### 3.6.10.2 Διαμέρισμα Μέσης Τάσης

Το τμήμα του οικίσκου στο οποίο θα αναφερθούμε ιδιαίτερα είναι το διαμέρισμα Μέσης Τάσης. Στο διαμέρισμα αυτό έχουν τοποθετηθεί οι πίνακες Μέσης Τάσης οι οποίοι είναι τύπου SM6 της εταιρίας Schneider-Electric.



Σχήμα 3.39 Πεδία διασύνδεσης SM6 [9]

Πεδία εισόδου από τους Υ/Σ: Θα χρησιμοποιηθούν δύο πεδία εισόδου για την διασύνδεση των Υ/Σ ανύψωσης. Αποτελούνται από τον διακόπτη ισχύος, τον αποζεύκτη και τον γειωτή. Οι διακόπτες χρησιμοποιούν SF6 σαν μονωτικό και διακοπτικό μέσο και είναι κλειστού τύπου. Δεν χρειάζεται δηλαδή αναπλήρωση σε όλη τη διάρκεια της ζωής της μονάδας. Σα μονάδα ελέγχου και προστασίας θα εγκατασταθεί στο πεδίο

ηλεκτρονόμος τύπου SEPAM S40 της εταιρίας Merlin Gerin. Οι δυνατότητες που προσφέρει αυτή η μονάδα είναι:

- Προστασία του δικτύου και του φορτίου που τροφοδοτεί
- Έλεγχος του αυτόματου διακόπτη ισχύος
- Μέτρηση ηλεκτρικών μεγεθών



*Σχήμα 3.40 Ηλεκτρονόμος τύπου SEPAM S40 [9]*

Μέσω των κατάλληλων μετασχηματιστών τάσης και έντασης ο ηλεκτρονόμος παρακολουθεί τα ηλεκτρικά μεγέθη του δικτύου και θέτει εκτός λειτουργίας το κύκλωμα όταν αυτά είναι εκτός προκαθορισμένων ορίων. Βασική λειτουργία είναι να θέσει σε λειτουργία τον Αυτόματο Διακόπτη Ισχύος όταν συμβεί βραχυκύκλωμα.

Πεδίο μετρήσεων τάσης: Το πεδίο αυτό αποτελείται από έναν Μ/Σ τάσης ο οποίος μετασχηματίζει τη Μέση τάση σε χαμηλή κατάλληλης τιμής ώστε να τροφοδοτούν τα μετρητικά όργανα. Το πεδίο μπορεί να απομονωθεί από το υπόλοιπο κύκλωμα με τη χρήση αποζεύκτη-γειωτή των 50A ενώ το πρωτεύον του Μ/Σ προστατεύεται με ασφάλειες των 6,3A. Τέλος στο ίδιο το πεδίο συνδέεται και το πολυόργανο PM850 με το οποίο γίνεται μέτρηση των ηλεκτρικών χαρακτηριστικών της ισχύος που εγγέεται στο δίκτυο. Αυτό επιτυγχάνεται με τη χρήση Μετασχηματιστή Ρεύματος στο πεδίο διασύνδεσης με το δίκτυο.



*Σχήμα 3.41 Πολυόργανο μέτρησης PM850 [9]*

Πεδίο διασύνδεσης με το δίκτυο: Η διασύνδεση του Φ/Β σταθμού με το δίκτυο γίνεται μέσω του πεδίου τύπου IMC το οποίο αποτελείται από έναν διακόπτη-αποζεύκτη φορτίου ονομαστικού ρεύματος 630Α. Επιπλέον φέρει μετασχηματιστές ρεύματος 75-150/5-5Α οι οποίοι τροφοδοτούν το πολυόργανο PM850 του πεδίου CM.

### 3.6.11 Διασύνδεση των Υ/Σ ανύψωσης-Υπόγειο δίκτυο Μέσης Τάσης

Το δίκτυο Μέσης Τάσης του Φ/Β σταθμού αποτελείται από δύο ακτινικές υπόγειες γραμμές οι οποίες θα συνδέουν τους Υ/Σ ανύψωσης σειριακά ανά δύο και στη συνέχεια θα καταλήγουν στο κτίριο ζεύξης και ελέγχου. Επιπλέον θα υπάρχει εφεδρικός βρόχος ο οποίος αυξάνει τη διαθεσιμότητα του έργου σε περίπτωση που το κύριο καλώδιο Μέσης Τάσης υποστεί κάποια βλάβη. Ο τύπος του καλωδίου που θα χρησιμοποιηθεί είναι N2XSY με διατομή 35mm<sup>2</sup> και έχει τις ακόλουθες προδιαγραφές:

- Πολύκλωνος στρογγυλός αγωγός χαλκού (1)
- Εσωτερικό ημιαγωγίμο στρώμα από XLPE (2)
- Μόνωση XLPE (3)
- Εξωτερικό ημιαγωγίμο στρώμα XLPE (4)
- Ηλεκτρική θωράκιση αποτελούμενη από σύρματα χαλκού τυλιγμένα ελικοειδώς (5)
- Πλαστική ταινία (6)
- Μανδύας PVC (7)



Σχήμα 3.42 Τομή καλωδίου N2XSY [6]

Πίνακας 3.22 Διασύνδεση του Υ/Σ ανύψωσης

Διασύνδεση του Υ/Σ ανύψωσης	
Γραμμή 1	Υ/Σ Α→Υ/Σ Β→Υ/Σ Γ→Υ/Σ Δ→ Οικίσκος ζεύξης και ελέγχου

Το μήκος αυτού του καλωδίου θα είναι περίπου 520m.Εξαιτίας του μικρού μήκους του καλωδίου αλλά και του μικρού ρεύματος που το διαρρέει οι απώλειες ενέργειας και ισχύος καθώς και η πτώση τάσης θεωρούνται αμελητέες.

Πίνακας 3.22 Μήκος καλωδίου N2XSΥ

Μήκος καλωδίου N2XSΥ	
Υ/Σ Α→Υ/Σ Β	170m
Υ/Σ Β→Υ/Σ Γ	170m
Υ/Σ Γ→Υ/Σ Δ	170m
Υ/Σ Δ→ Οικίσκος ζεύξης και ελέγχου	10m
Συνολικό μήκος	520m

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4<sup>ο</sup>

### ΣΥΣΤΗΜΑ ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗΣ ΚΑΙ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ Φ/Β ΣΤΑΘΜΟΥ

#### 4.1 Γενική περιγραφή

Εξαιτίας των ελάχιστων απαιτήσεων σε τεχνικό προσωπικό οι Φ/Β σταθμοί μπορούν να διαχειριστούν και από απόσταση. Αυτό επιτυγχάνεται με ένα σύνολο αισθητήρων που τοποθετούνται στα επιμέρους συστήματα του σταθμού. Τα συστήματα των αισθητήρων οδεύουν μέσω καλωδίων και οπτικών ινών συλλέγονται σε ένα κεντρικό σύστημα διαχείρισης και στη συνέχεια αποστέλλονται μέσω διαδικτύου ή των δικτύων κινητής τηλεφωνίας στον χρήστη. Ένα τέτοιο σύστημα μπορεί να προσφέρει:

- Αυτονομία στη λειτουργία του σταθμού με 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 το οποίο περιλαμβάνει τους ελεγκτές και τους αισθητήρες για τη λήψη και τη διαχείριση συστημάτων των εποπτευόμενων συσκευών
- Κέντρο ελέγχου που αποτελείται από κατάλληλο εξοπλισμό και λογισμικό για τη διαχείριση των ληφθέντων σημάτων

Τέλος η παρουσίαση των αποτελεσμάτων γίνεται μέσω λογισμικού portal. Οι υπεύθυνοι του σταθμού έχουν πρόσβαση σε αυτό μέσω του διαδικτύου.

## 4.2 Προσφερόμενες υπηρεσίες από το σύστημα παρακολούθησης

Παρακάτω περιγράφονται με λεπτομέρεια οι δυνατότητες και οι προσφερόμενες υπηρεσίες του συστήματος:

- Παρακολούθηση των αντιστροφών: Ελέγχονται οι ηλεκτρικοί παράμετροι τόσο στην DC όσο και στην AC πλευρά. Επίσης είναι δυνατός ο έλεγχος όλων των καταστάσεων λειτουργίας και σφάλματος που δίνει ο αντιστροφέας
- Παρακολούθηση διαμερίσματος M/Σ: Η παρακολούθηση γίνεται με ειδικούς αισθητήρες πυρανίχνευσης καπνού και εσωτερικής θερμοκρασίας. Για τον έλεγχο εισόδου νερών απαιτείται η τοποθέτηση αισθητήρα πλημύρας στο χαμηλότερο σημείο του πατώματος. Τέλος, παρακολουθούνται και οι παράμετροι του ίδιου του μετασχηματιστή, δηλαδή θερμοκρασία στάθμη και πίεση λαδιού
- Παρακολούθηση των διαμερισμάτων M/Τα και X/Τ: Απαιτούνται παρόμοιοι αισθητήρες όπως για την παρακολούθηση του διαμερίσματος των M/Σ. Επιπλέον είναι δυνατή η διασύνδεση των οργάνων μέτρησης καθώς και του ηλεκτρονόμου SEPAM για απομακρυσμένη διαχείριση των λειτουργιών τους
- Παρακολούθηση ηλεκτρικών παραμέτρων στο σημείο σύνδεσης με το δίκτυο: Γίνεται μέτρηση τάσης, ρεύματος, συχνότητας, ενεργού και άεργου ισχύος και ενέργειας καθώς και του συντελεστή ισχύος. Είναι δυνατή η από σύνδεση του έργου αν κάποια από τις παραμέτρους λάβει μη επιτρεπτή τιμή. Τέλος οι τιμές των παραμέτρων αποθηκεύονται ανά τακτά χρονικά διαστήματα για μελλοντική δημιουργία αναφορών
- Εγκατάσταση μετεωρολογικού σταθμού: Είναι δυνατή η μέτρηση παραμέτρων όπως εξωτερική θερμοκρασία, θερμοκρασία πλαισίων, ταχύτητα ανέμου και έντασης ηλιακής ακτινοβολίας.



**Σχήμα 4.1 Πυρανόμετρο μέτρησης ηλιακής ακτινοβολίας και θερμοκρασίας εξωτερικού χώρου [10]**

- Παρακολούθηση και έλεγχος οικίσκων: Είναι δυνατός ο έλεγχος πρόσβασης στα διαμερίσματα του οικίσκου μέσω μαγνητικών επαφών και συσκευών ανάγνωσης καρτών
- Αναγνώριση καταστάσεων συναγερμού: Όταν οι τιμές κάποιων παραμέτρων είναι εκτός των κανονικών ορίων. Επιπλέον διατηρείται αρχείο συναργεμών καθώς και αρχείο ενεργειών που έγιναν για την επίλυσή τους
- Περιοδικοί έλεγχοι του εξοπλισμού: Ρουτίνες που τρέχουν ανά τακτά χρονικά διαστήματα και δίνουν πληροφορίες για την γήρανση και την απόδοση του εξοπλισμού
- Περιοδικές αναφορές και γραφικές παραστάσεις: Στατιστικά στοιχεία και γραφήματα επιλεγμένων παραμέτρων που παράγονται ανά τακτικά χρονικά διαστήματα

Όπως αναφέρθηκε και στο κεφάλαιο 3 οι στοιχειοσειρές παραλληλίζονται και καταλήγουν στον ηλεκτρονικό πίνακα SSM (Sunny String Monitor) της SMA. Ο πίνακας αυτός είναι εφοδιασμένος με τις κατάλληλες διατάξεις για προστασία και παρακολούθηση του ρεύματος των strings. Στον αντιστροφέα υπάρχει ειδική διάταξη που συλλέγει τα δεδομένα από τους πίνακες. Εκτός από τους πίνακες, η διάταξη αυτή 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.



**Σχήμα 4.2 Διάταξη συλλογής και διαχείρισης δεδομένων Sunny Central Control [4]**

Μέσω της θύρας Ethernet με τη χρήση ενισχυμένου καλωδίου UTP, γίνεται μεταφορά των δεδομένων στον αντίστοιχο Υ/Σ ανύψωσης όπου βρίσκεται και ο ελεγκτής σημάτων. Το καλώδιο LiYCY αποτελείται από δύο ζεύγη συνεστραμμένων αγωγών, ένα για την αποστολή και ένα για την λήψη δεδομένων.

Καλώδιο UTP με τις ακόλουθες προδιαγραφές:

- Χάλκινος μονόκλωνος αγωγός (1)
- Μόνωση πολυαιθυλενίου συμπαγούς ή δύο στρωμάτων, πορώδους συμπαγούς (2)
- Καλωδιακός πυρήνας ζευγών (3)
- Μανδύας PVC (4)



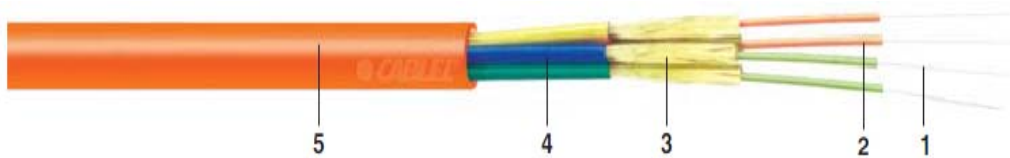
**Σχήμα 4.3 Δομή καλωδίου UTP [6]**

Το μήκος του απαιτούμενου καλωδίου UTP αναμένεται να είναι περίπου 1000m.



Καλώδιο οπτικών ινών με τις ακόλουθες προδιαγραφές:

- Οπτική ίνα (1)
- Μόνωση πολυαμιδίου (2)
- Ατομικές ενισχυτικές ίνες (3)
- Ατομικός μανδύας FR LSZH (4)
- Μανδύας FR LSZH (5)



Σχήμα 4.4 Δομή καλωδίου οπτικών ινών [6]

Πίνακας 4.1 Το μήκος του απαιτούμενου καλωδίου οπτικής ίνας

Οπτική ίνα	
Υ/Σ Α→Υ/Σ Β→Υ/Σ Γ→Υ/Σ Δ→ Κέντρο Ελέγχου	520m

Καλώδιο LiYCY με τις ακόλουθες προδιαγραφές:

- Χάλκινος πολύκλωνος αγωγός, επικασσιτερωμένος ή μη (1)
- Μόνωση PVC (2)
- Καλωδιακός πυρήνας αγωγών ή ζευγών σε ομοκεντρικές στοιβάδες (3)
- Συνθετική ταινία κάλυψης (4)
- Θωράκιση πλέγματος επικασσιτερωμένων χάλκινων συρμάτων (5)
- Μανδύας PVC (6)



Σχήμα 4.5 Δομή καλωδίου LiYCY [6]

**Πίνακας 4.2 Το μήκος του απαιτούμενου καλωδίου LiYCY για τις πλευρές του στεγάστρου Α και Γ**

<b>Μήκος του καλωδίου LiYCY μεταξύ συστοιχιών των πλευρών Α και Γ του αντιστροφέα Α και Γ αντίστοιχα</b>	
1 <sup>η</sup> Σειρά	264m
2 <sup>η</sup> Σειρά	297m
3 <sup>η</sup> Σειρά	330m
4 <sup>η</sup> Σειρά	363m
5 <sup>η</sup> Σειρά	396m
6 <sup>η</sup> Σειρά	429m
7 <sup>η</sup> Σειρά	188m
Υ/Σ Α→ Κέντρο Ελέγχου	180m
Υ/Σ Γ→ Κέντρο Έλεγχου	180m
<b>Συνολικό μήκος πλευράς Α</b>	<b>2447m</b>
<b>Συνολικό μήκος πλευράς Γ</b>	<b>2447m</b>
<b>Συνολικό μήκος πλευρών Α και Γ</b>	<b>4894m</b>

**Πίνακας 4.3 Το μήκος του απαιτούμενου καλωδίου για τις πλευρές του στεγάστρου Β και Δ**

<b>Μήκος του καλωδίου LiYCY μεταξύ συστοιχιών των πλευρών Β και Δ του αντιστροφέα Β και Δ αντίστοιχα</b>			
1 <sup>η</sup> Σειρά	90m	17 <sup>η</sup> Σειρά	30m
2 <sup>η</sup> Σειρά	86m	18 <sup>η</sup> Σειρά	34m
3 <sup>η</sup> Σειρά	82m	19 <sup>η</sup> Σειρά	38m
4 <sup>η</sup> Σειρά	78m	20 <sup>η</sup> Σειρά	42m
5 <sup>η</sup> Σειρά	74m	21 <sup>η</sup> Σειρά	46m
6 <sup>η</sup> Σειρά	70m	22 <sup>η</sup> Σειρά	50m
7 <sup>η</sup> Σειρά	66m	23 <sup>η</sup> Σειρά	54m
8 <sup>η</sup> Σειρά	62m	24 <sup>η</sup> Σειρά	58m
9 <sup>η</sup> Σειρά	58m	25 <sup>η</sup> Σειρά	62m
10 <sup>η</sup> Σειρά	54m	26 <sup>η</sup> Σειρά	66m
11 <sup>η</sup> Σειρά	50m	27 <sup>η</sup> Σειρά	70m
12 <sup>η</sup> Σειρά	46m	28 <sup>η</sup> Σειρά	74m
13 <sup>η</sup> Σειρά	42m	29 <sup>η</sup> Σειρά	78m
14 <sup>η</sup> Σειρά	38m	30 <sup>η</sup> Σειρά	82m
15 <sup>η</sup> Σειρά	34m	31 <sup>η</sup> Σειρά	86m
16 <sup>η</sup> Σειρά	30m	32 <sup>η</sup> Σειρά	90m
Υ/Σ Β→ Κέντρο Ελέγχου	350m		
Υ/Σ Δ→ Κέντρο Ελέγχου	10m		
<b>Συνολικό μήκος πλευράς Β</b>	<b>2270m</b>		
<b>Συνολικό μήκος πλευράς Δ</b>	<b>1930m</b>		
<b>Συνολικό μήκος πλευρών Β και Δ</b>	<b>4200m</b>		

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5<sup>ο</sup> ΝΟΜΟΘΕΣΙΑ

Ο Ν.3851/2010 και η ΥΑ 36720/25-8-2010 (ΦΕΚ 376/6-9-2010) αφορά 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 μεγαλύτερα από 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). Έτσι ισχύουν αναλυτικά τα εξής:

- Για τα 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 ΛΑΓΗΕ (Λειτουργός της Αγοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας).
- 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 και η υπογραφή της σύμβασης αγοροπωλησίας με τον ΛΑΓΗΕ.
- Για συστήματα με ισχύ μεγαλύτερη από 1 MWp (όπως στην δική μας μελέτη) τα βήματα που απαιτούνται είναι η έκδοση άδειας παραγωγής από τη ΡΑΕ και στη συνέχεια άδειας εγκατάστασης από τη Περιφέρεια, έγκριση εργασιών δόμησης μικρής κλίμακας από την Πολεοδομία, προσφορά όρων σύνδεσης από τη ΔΕΗ, υπογραφή της σύμβασης αγοροπωλησίας με τον ΛΑΓΗΕ 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 για αυτά. Σε κάθε περίπτωση πάντως, στα μη διασυνδεδεμένα νησιά μιλάμε πάντα για συστήματα με ισχύ μικρότερη των 100 kWp.

Για την κατηγορία αυτή ισχύουν από τον Αύγουστο του 2012 οι περιορισμοί που έθεσε η υπουργική απόφαση περί αναστολής της διαδικασίας αδειοδότησης. Δηλαδή, δεν μπορούν να προχωρήσουν οι εξής επενδύσεις:

1. Αιτήσεις για έργα ισχύς μεγαλύτερης του 1 MWp τα οποία δεν έχουν λάβει ήδη άδεια παραγωγής από την ΡΑΕ. Η ΡΑΕ, μέχρι την άρση της αναστολής, δεν θα δέχεται νέες αιτήσεις για άδεια παραγωγής και δεν θα συνεχίσει την εξέταση εκκρεμουσών αιτήσεων.
2. Αιτήσεις για έργα ισχύος μικρότερης του 1 MWp τα οποία δεν έχουν λάβει ήδη προσφορά όρων σύνδεσης. Ο αρμόδιος Διαχειριστής (ΔΕΔΔΗΕ), μέχρι την άρση της αναστολής, δεν θα δέχεται νέες αιτήσεις για παροχή προσφοράς όρων σύνδεσης και δεν θα συνεχίσει την εξέταση εκκρεμουσών αιτήσεων.

Οι τιμές πώλησης της παραγόμενης ηλιακής μεγαβατώρας καθορίζονται ως εξής:

*Πίνακας 5.1 Τιμές πώλησης της παραγόμενης ηλιακής μεγαβατώρας [11]*

Έτος	Μήνας	Ηπειρωτικό δίκτυο >100kWp (€/MWh)
2013	Φεβρουάριος	171,90
	Αύγουστος	164,16
2014	Φεβρουάριος	156,78
	Αύγουστος	149,72
Για κάθε έτος ν από το 2015 και μετά όπου $\mu\text{ΟΤΣ}_{\nu-1}$ = Μέση Οριακή Τιμή Συστήματος κατά το προηγούμενο έτος ν-1		$1,3 \times \mu\text{ΟΤΣ}_{\nu-1}$
Διάρκεια σύμβασης		20 έτη

Οι τιμές που καθορίζονται στον παραπάνω πίνακα αναπροσαρμόζονται κάθε έτος, κατά ποσοστό του δείκτη τιμών καταναλωτή του προηγούμενου έτους.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6<sup>ο</sup> ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΚΟΣΤΟΥΣ Φ/Β ΣΤΑΘΜΟΥ

Στο κεφάλαιο αυτό επιχειρείται μια ρεαλιστική προσέγγιση του κόστους κατασκευής του σταθμού που περιγράφηκε παραπάνω. Το κόστος των διαφόρων υποδομών αν και ρεαλιστικό είναι σίγουρο ότι διαφέρει από χρόνο σε χρόνο.

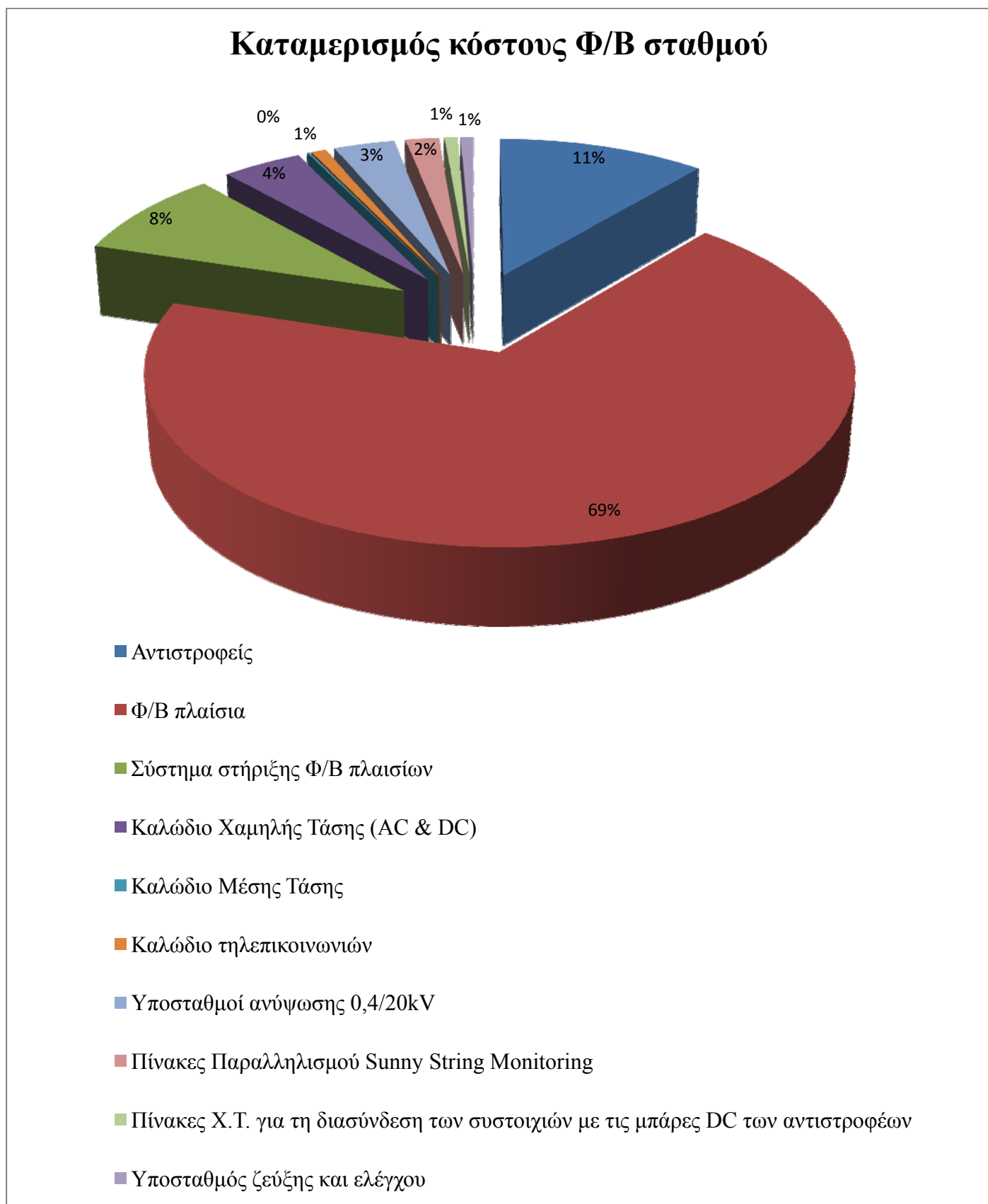
Πίνακας 6.1 Αναλυτικός πίνακας κόστους κατασκευής Φ/Β σταθμού

A/A	Περιγραφή εξοπλισμού	Ποσότητα	Μονάδες	Τιμή Μονάδας	Συνολικό Κόστος
<b>1</b>	<b>Αντιστροφείς</b>				<b>480.000,00 €</b>
1.1	SMA Sunny Central 720CP	4	τεμ	115.000,00 €	460.000,00 €
1.2	Οικίσκοι προστασίας αντιστροφέων	4	τεμ	5.000,00 €	20.000,00 €
<b>2</b>	<b>Φ/Β πλαίσια</b>				<b>2.949.120,00 €</b>
2.1	Renesola JCM-24 B/b	12.288	τεμ	240,00 €	2.949.120,00 €
<b>3</b>	<b>Σύστημα στήριξης Φ/Β πλαισίων</b>				<b>370.000,00 €</b>
3.1	Αλουμινένιες βάσεις στήριξης	-	-	-	
<b>4</b>	<b>Καλώδια Χαμηλής Τάσης (AC &amp; DC)</b>				<b>183.097,32 €</b>
4.1	Καλώδιο Φ/Β πλαισίων H07RN-F 6mm <sup>2</sup>	36.901	m	0,52 €	19.188,52 €
4.2	Καλώδιο DC J1VV-R 50mm <sup>2</sup>	8.374	m	11,40 €	95.463,60 €
4.3	Καλώδιο J1VV-R 300mm <sup>2</sup> διασύνδεσης της Φ/Β γεννήτριας με τους αντιστροφείς	80	m	63,32 €	5.065,60 €
4.4	Καλώδιο J1VV-R 400mm <sup>2</sup> διασύνδεσης των φάσεων του αντιστροφέα με τον Μ/Σ ανύψωσης	96	m	75,00 €	7.200,00 €
4.5	Καλώδιο J1VV-R 240mm <sup>2</sup> διασύνδεσης του ουδετέρου του αντιστροφέα με τον Μ/Σ ανύψωσης	32	m	50,00 €	1.600,00 €

4.6	Κόστος εγκατάστασης καλωδίων	45.483	m	1,20 €	54.579,60 €
<b>5</b>	<b>Καλώδιο Μέσης Τάσης</b>				<b>5.200,00 €</b>
5.1	N2XSY 35mm <sup>2</sup>	520	m	7,00 €	3.640,00 €
5.2	Κόστος εγκατάστασης καλωδίου	520	m	3,00 €	1.560,00 €
<b>6</b>	<b>Καλώδιο τηλεπικοινωνιών</b>				<b>33.761,76 €</b>
6.1	Καλώδιο UTP	1.000	m	0,53 €	530,00 €
6.2	Καλώδιο LiYCY	9.094	m	1,79 €	16.278,26 €
6.3	Οπτική ίνα	520	m	2,00 €	1.040,00 €
6.4	Κόστος εγκατάστασης καλωδίων	10.609	m	1,50 €	15.913,50 €
<b>7</b>	<b>Υποσταθμοί ανύψωσης 0,4/20kV</b>				<b>140.000,00 €</b>
7.1	Κέλυφος Υ/Σ	1	τεμ		
7.2	3 Πεδία Μέσης Τάσης RM6 Μετασχηματιστής ελαίου	1	τεμ		
7.3	1000kVA	1	τεμ		
7.4	Πίνακας Χαμηλής Τάσης Πολύοργανο MG Powerligic	1	τεμ	Συνολικά 4 Υ/Σ ανύψωσης	35.000,00 €
7.5	PM710	1	τεμ		
7.6	Διακόπτης MG Compact NS 1000N	1	τεμ		
<b>8</b>	<b>Πίνακες Παραλληλισμού Sunny String Monitoring</b>				<b>76.800,00 €</b>
8.1	Πίνακες Sunny String Monitoring με αντικεραυνική διάταξη και διακόπτη φορτίου συστοιχίας	128	τεμ	600,00 €	76.800,00 €
<b>9</b>	<b>Πίνακες Χ.Τ. για τη διασύνδεση των συστοιχιών με τις μπάρες DC των αντιστροφέων</b>				<b>30.000,00 €</b>
9.1	Πίνακες Χ.Τ. 16 αφίξεων	8	τεμ		
9.2	Διακόπτες φορτίου ABB S803PV-S80	128	τεμ	Συνολικά 8 πίνακες	30.000,00 €
9.3	Κεντρικοί διακόπτες DC ABB SACE EmaxDC	8	τεμ		
9.4	Επιτηρητές μόνωσης	8	τεμ		
<b>10</b>	<b>Υποσταθμός ζεύξης και ελέγχου</b>				<b>28.900,00 €</b>
10.1	Κέλυφος Υ/Σ ζεύξης και ελέγχου	1	τεμ	9.000,00 €	9.000,00 €

10.2	Εξοπλισμός Χαμηλής Τάσης κτιρίου ελέγχου (Αγορά και εγκατάσταση)	1	σετ	2.000,00 €	2.000,00 €
10.3	Πεδία Μέσης Τάσης SM6 (Πεδίο διασύνδεσης με το δίκτυο, πεδίο μέτρησης, 2 πεδία με αυτόματο διακόπτη φορτίου)	1	τεμ	15.000,00 €	15.000,00 €
10.4	Μετρικό όργανο PM850	1	τεμ	300,00 €	300,00 €
10.5	Ηλεκτρονόμος SEPAM	2	τεμ	1.300,00 €	2.600,00 €
<b>Συνολικό κόστος εγκατάστασης</b>					<b>4.296.879,08 €</b>

Ακολουθεί διάγραμμα με το κόστος των υποδομών του σταθμού:



Σχήμα 6.1 Κόστος υποδομών σαν ποσοστό του συνολικού κόστους



Πίνακας 6.2 Ετήσια έσοδα Φ/Β σταθμού

<b>Ετήσια έσοδα Φ/Β σταθμού</b>	
Εκτιμώμενη παραγωγή	4235,76MWh
Απώλειες εξοπλισμού (αντιστροφείς, καλώδια και μετασχηματιστές)	250MWh
Ετήσια παραγωγή ενέργειας	3985,76MWh
<b>Ετήσια έσοδα από την πώληση της ενέργειας</b>	<b>669.727,2528 €</b>

Από το παραπάνω διάγραμμα παρατηρούμε ότι η αγορά των Φ/Β πλαισίων αντιστοιχεί σε ποσοστό τουλάχιστον 61% της συνολικής εγκατάστασης. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα η αυξομείωση του κόστους των πλαισίων να καθορίζει σε σημαντικό βαθμό το τελικό κόστος του σταθμού.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7<sup>ο</sup>

### ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Ο σχεδιασμός ενός τεχνικού έργου αποτελεί ένα πολύπλοκο και πολυσύνθετο πρόβλημα. Κύρια παράμετρος για όλα τα τεχνικά έργα υποδομής είναι ο υπολογισμός τους σε βάθος χρόνου για όποιο χαρακτήρα και αν έχει αυτό. Ειδικότερα για έργα παραγωγής ενέργειας οι προτεινόμενες λύσεις πρέπει να κρίνονται σε βάθος χρόνου και όχι στιγμιαία, γεγονός το οποίο μπορεί να παραπλανήσει την τελική επιλογή των υλικών και μεγεθών. Σε μία επένδυση Α.Π.Ε τέτοια αξιολόγηση χρήζουν μεγέθη όπως η προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία-ενέργεια ανά τετραγωνικό μέτρο επιφάνειας και κατά συνέπεια η τελική παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Ειδικά στα Φ/Β συστήματα, η χρονική διάρκεια ενός έτους είναι μέγεθος αναφοράς γιατί αποτελεί την περίοδο της σχετικής κίνησης ηλίου-Γης.

Στην συγκεκριμένη μελέτη που αναπτύχθηκε παραπάνω εξετάστηκε ένα σχέδιο εφαρμογής φωτοβολταϊκών πλαισίων στο στέγαστρο ποδοσφαιρικού γηπέδου. Αποτελεί μια ιδέα αξιοποίησης της τεράστιας ανεκμετάλλευτης επιφάνειας του στεγάστρου προς όφελος του ιδιοκτήτη του γηπέδου, είτε άλλοτε όταν είναι μια ομάδα είτε όπως συχνά συμβαίνει κάποια εταιρία, αλλά επίσης είναι πολύ θετικό και ελπιδοφόρο καθώς συνεισφέρει στην προστασία του περιβάλλοντος αφού έχουμε παραγωγή ενέργειας από ανανεώσιμη πηγή. Αρκετά είναι άλλωστε και τα παραδείγματα που έχουμε με την εφαρμογή τέτοιων κατασκευαστικών έργων σε αθλητικές εγκαταστάσεις. Μερικά από αυτά αναφέρονται παρακάτω:

- Kaohsiung National Stadium, Kaohsiung Ταϊβάν



- Weserstadion, Βρέμη Γερμανία



- Stade de Suisse, Βέρνη Ελβετία



- Mage Solar Stadium, Φράιμπουργκ Γερμανία



- Stadio Marc' Antonio Bentegodi, Βερόνα Ιταλία



- Estadi Cornella-El Prat, Βαρκελώνη Ισπανία



Έτσι παρατηρώντας όλα τα παραπάνω παραδείγματα ποδοσφαιρικών γηπέδων βλέπουμε ότι αυτή η εφαρμογή των φωτοβολταϊκών πλαισίων είναι ιδιαίτερα διαδεδομένη σε όλο τον κόσμο καθώς και αποφέρει αρκετά έσοδα αλλά και είναι και “φιλική” προς το περιβάλλον. Άρα σε μία χώρα όπως η Ελλάδα στην οποία επικρατούν υψηλά ποσοστά ηλιοφάνειας με μεγάλο ηλιακό δυναμικό μια τέτοια εγκατάσταση σε ένα ποδοσφαιρικό γήπεδο θα ήταν πολύ πρωτοποριακή για την χώρα αλλά συνάμα και αρκετά κερδοφόρα, καθώς σε τέτοιες περιπτώσεις ο χρηματοδότης αποζητά το μέγιστο δυνατό κέρδος που μπορεί να έχει. Όμως σύμφωνα με την Υ.Α.Π.Ε /Φ1/2300/οικ. 16932 (ΦΕΚ Β’ 2317) αναστέλλεται η διαδικασία αδειοδότησης και χορήγησης προσφορών σύνδεσης για φωτοβολταϊκούς σταθμούς, λόγω κάλυψης των στόχων που έχουν τεθεί με την απόφαση Α.Υ/Φ1/οικ. 19598/01.10.2010 του Υπουργού Π.Ε.Κ.Α. Έτσι μέχρι την άρση της αναστολής καθυστερεί η υλοποίηση του παραπάνω έργου.

# ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

Τεχνικά Χαρακτηριστικά Φ/Β πλαισίων:



### 156 Series Polycrystalline Solar Module

235W, 240W, 245W, 250W

-  **High Module Conversion Efficiency**
-  **Easy Installation and Handling for Various Applications**
-  **Withstanding Mechanical Load up to 5400 Pa**
-  **Conform with PV Standards: IEC 61215:2005, IEC 61730:2004, UL 1703**
-  **ISO9001, OHSAS 18001, ISO 14001**



**Guarantee**

We provide a 10 years material and workmanship guarantee for our modules. In addition, a 90%-power-output guarantee for 10 years and a 80%-power-output guarantee for 25 years of the modules life are provided.

**10-year material & workmanship**

**10-year 90% power output**

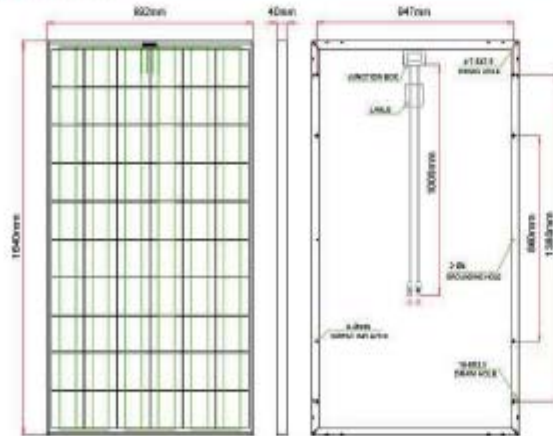
**25-year 80% power output**

CE, TÜV, APPROVED PRODUCT, IEC, ENEC, PV CYCLE

SunFields Europe  
info@sfe-solar.com | www.sfe-solar.com

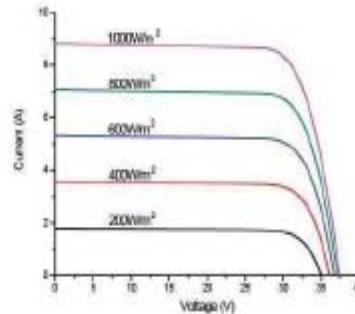


### Dimension



Drawing Only for Reference

### I-V Curves



### Efficiency at Varied Irradiation

Irradiance	200W/m <sup>2</sup>	400W/m <sup>2</sup>	600W/m <sup>2</sup>	800W/m <sup>2</sup>	1000W/m <sup>2</sup>
Efficiency	15.1%	15.4%	15.5%	15.5%	15.4%

### Electrical Characteristics STC

	JC235M-24/Bb	JC240M-24/Bb	JC245M-24/Bb	JC250M-24/Bb
Maximum Power ( P <sub>max</sub> )	235 W	240 W	245 W	250 W
Power Tolerance	0--+5W	0--+5W	0--+5W	0--+5W
Module Efficiency	14.4%	14.8%	15.1%	15.4%
Maximum Power Current ( I <sub>mp</sub> )	8.03 A	8.08 A	8.19 A	8.31 A
Maximum Power Voltage ( V <sub>mp</sub> )	29.3 V	29.7 V	29.9 V	30.1 V
Short Circuit Current ( I <sub>sc</sub> )	8.58 A	8.64 A	8.73 A	8.83 A
Open Circuit Voltage ( V <sub>oc</sub> )	37.0 V	37.2 V	37.3 V	37.4 V

Values at Standard Test Conditions STC ( Air Mass AM1.5, Irradiance 1000W/m<sup>2</sup>, Cell Temperature 25°C )

### Electrical Characteristics NOCT

	JC235M-24/Bb	JC240M-24/Bb	JC245M-24/Bb	JC250M-24/Bb
Maximum Power ( P <sub>max</sub> )	174 W	178 W	182 W	185 W
Maximum Power Current ( I <sub>mp</sub> )	6.42 A	6.51 A	6.53 A	6.57 A
Maximum Power Voltage ( V <sub>mp</sub> )	27.1 V	27.4 V	27.9 V	28.2 V
Short Circuit Current ( I <sub>sc</sub> )	6.92 A	6.97 A	7.04 A	7.12 A
Open Circuit Voltage ( V <sub>oc</sub> )	34.4 V	34.7 V	35.0 V	35.0 V

Values at Normal Operating Cell Temperature, Irradiance of 800 W/m<sup>2</sup>, spectrum AM 1.5, ambient temperature 20°C, wind speed 1 m/s

### Mechanical Characteristics

Cell Type	156 x 156 mm Polycrystalline 60 ( 6 x 10 ) pcs in series
Glass	High Transmission, Low Iron, Tempered Glass
Frame	Anodized Aluminum Alloy
Junction Box	IP65 rated, with bypass diodes
Dimension	*1640 x 952 x 40 mm
Cable Length	1000 mm
Weight	19 Kg
Installation Hole Location	See Drawing Above

### Characteristics

Temperature Coefficient of V <sub>oc</sub>	-0.30%/°C
Temperature Coefficient of I <sub>sc</sub>	0.04%/°C
Temperature Coefficient of P <sub>max</sub>	-0.40%/°C
Nominal Operating Cell Temperature ( NOCT )	45°C±2°C

### Maximum Ratings

Operating Temperature	-40 °C to +85 °C
Maximum System Voltage	1000VDC (EU) / 600VDC (US)
Maximum Series Fuse Rating	20A(EU)/ 15A(US)

### Packing Information

	20'GP	40'GP	40'HQ
Container			
Pallets per Container	12	28	28
Pieces per Container	300	700	770

Rev No: JC/TDS/2013.03 \*Contact ReneSola for tolerance specification  
CAUTION: All rights reserved. Design and specification are subject to change without prior notice.

# HIT® photovoltaic module



HIT-H250E01  
HIT-H245E01

**R&D technology adaptation**

**Reduction of carrier recombination loss**

- Preserving as much of the generated electricity as possible
- Realizing even higher voltage

**Use resources effectively**

- By cutting the wafer almost round the HD cell produces less waste of material
- Compact module size but highest electric generation

**Anti-reflection glass**

**Reduction of optical loss**

- Enabling as much incoming sunlight as possible to reach the electrical generating layer (crystalline silicon)
- Realizing even higher current

**HD cell design**

**18.0%\***  
**180 W/m<sup>2</sup>**



\* For HIT-H250E01

**HIT cell technology**

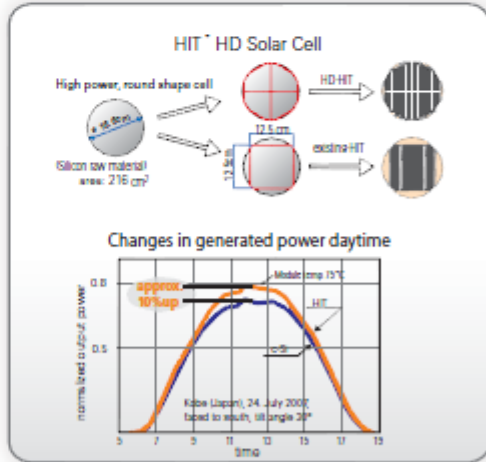
The SANYO HIT(Heterojunction with Intrinsic Thin layer) solar cell is made of a thin mono crystalline silicon wafer surrounded by ultra-thin amorphous silicon layers. This product provides the industry's leading performance and value using state-of-the-art manufacturing techniques.

**Special Features**

**More Clean Energy**  
HIT can generate more clean Energy than other conventional crystalline solar cells.

**Environmentally-Friendly Solar Cell**  
SANYO HIT solar modules are 100% emission free, have no moving parts and produce no noise. The dimensions of the HIT modules allow space-saving installation and achievement of maximum output power possible on given roof area.

**High performance at high temperatures**  
Even at high temperatures, the HIT solar cell can maintain higher efficiency than a conventional crystalline silicon solar cell.



The HIT cell and module have very high conversion efficiency in mass production.



HIT is a registered trademark of SANYO Electric Co., Ltd. The name "HIT" comes from "Heterojunction with Intrinsic Thin-layer" which is an original technology of SANYO Electric Co., Ltd.

Model	Cell Efficiency	Module Efficiency	Output / m <sup>2</sup>
HIT-H250E01	20.8%	18.0%	180 W/m <sup>2</sup>
HIT-H245E01	20.4%	17.7%	177 W/m <sup>2</sup>

Electrical data (at STC)	Models HIT-HxxxE01	
	250	245
Maximum power (Pmax) [W]	250	245
Max. power voltage (Vmp) [V]	34.9	34.4
Max. power current (Imp) [A]	7.18	7.14
Open circuit voltage (Voc) [V]	43.1	42.7
Short circuit current (Isc) [A]	7.74	7.73
Maximum over current rating [A]	15	
Output power tolerance [%]	+10/-5*	
Maximum system voltage [V]	1000	

Note: Standard Test Conditions: Air mass 1.5, Irradiance = 1000W/m<sup>2</sup>, cell temperature = 25°C  
\* All modules measured by SANYO facility have output with positive tolerance

Temperature characteristics	250	245
Temperature (NOCT) [°C]	46.0	46.0
Temperature coefficient of Pmax [%/°C]	-0.30	-0.30
Temperature coefficient of Voc [V/°C]	-0.108	-0.107
Temperature coefficient of Isc [mA/°C]	2.32	2.32

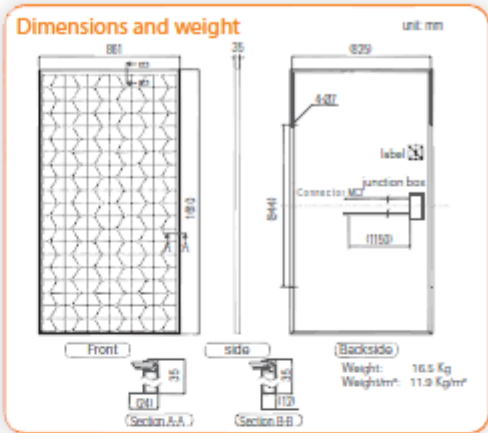
**At NOCT**

	250	245
Maximum power (Pmax) [W]	188.9	185.4
Max. power voltage (Vmp) [V]	32.8	32.4
Max. power current (Imp) [A]	5.76	5.73
Open circuit voltage (Voc) [V]	40.5	40.1
Short circuit current (Isc) [A]	6.23	6.23

Note: Nominal Operating Cell Temperature: Air mass 1.5 spectrum, Irradiance = 800W/m<sup>2</sup>, Air temperature = 20°C, wind speed 1 m/s

At low irradiance	250	245
Maximum power (Pmax) [W]	48.8	47.7
Max. power voltage (Vmp) [V]	34.1	33.6
Max. power current (Imp) [A]	1.43	1.43
Open circuit voltage (Voc) [V]	40.1	39.7
Short circuit current (Isc) [A]	1.55	1.55

Note: Low irradiance: Air mass 1.5 spectrum, Irradiance = 200W/m<sup>2</sup>, cell temperature = 25°C



### Guarantee

Power output: 10 years (90% of Pmin) 25 years (80% of Pmin)  
Product workmanship: 10 years  
(Based on guarantee documents)

### Materials

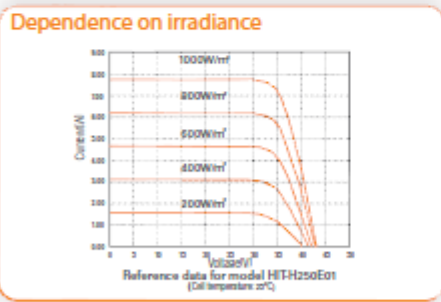
Cell material: Honeycomb Design HIT cells  
Glass material: AR coated tempered glass  
Frame materials: Black anodized aluminium  
Connector type: MC3

### Certificates

Member of PV CYCLE

APPROVED PRODUCT

Certificate No. MCS P0234 Photovoltaic System



Please consult your local dealer for more information.

**CAUTION!** Please read the installation manual carefully before using the products.  
Due to our policy of continual improvement the products covered by this brochure may be changed without notice.

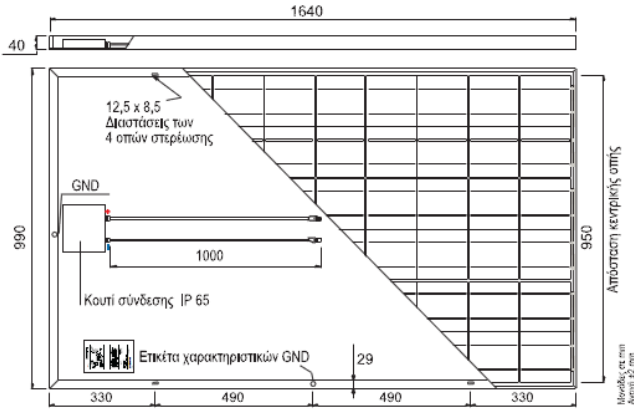
SANYO Component Europe GmbH  
Solar Division  
Stahgruberring 4  
81829 Munich, Germany  
Tel. +49-(0)89-460095-0  
Fax. +49-(0)89-460095-170  
http://www.sanyo-solar.eu/en  
email: info.solar@sanyo-solar.eu

SANYO Electric Co., Ltd.  
Solar Division  
http://www.sanyo.com/solar/

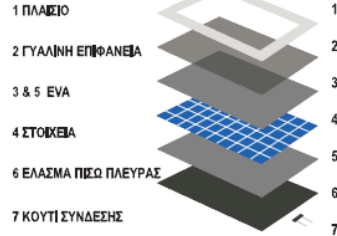
# SLK60P6L 220 Wp - 255 Wp

## Πολυκρυσταλλικά φωτοβολταϊκά (φ/β) πλαίσια

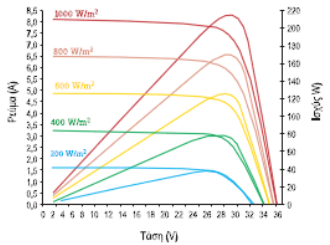
**siliken**



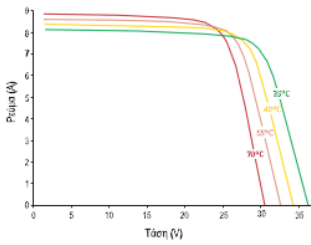
### Χαρακτηριστικά κατασκευής



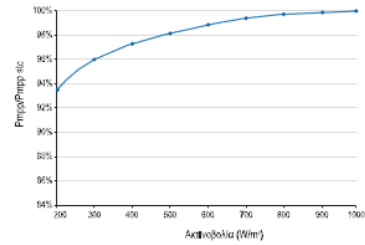
SLK60P6L - 225 Wp  
Χαρακτηριστικά I-V και Pmax με πολλαπλά επίπεδα ακτινοβολίας στους 25 °C



SLK60P6L - 225 Wp  
Χαρακτηριστικά I-V με πολλαπλά θερμοκρασίων στοιχείων στα 1.000 W/m²



Απόδοση χαμηλού φωτισμού σε Pmp  
— Δείκτης προς πλάκην siliken



### Μηχανικά χαρακτηριστικά

Διαστάσεις (Μπ/Κ/Β)	1640 x 990 x 40 mm
Βάρος	19 kg
Καλώδια εξόδου	Καλώδιο συμμετρικό μήκους 1 m φ4 mm <sup>2</sup> , άπλής μονωτικής επίστρωσης, χωρίς αλογόνο, ανθεκτικό σε ακτινοβολία UV
Κουτί σύνδεσης	Κατηγορίας IP-65 με διόδους παράκαμψης
Πλαίσιο	Κράμα ανοδιωμένου αλουμινίου τύπου 6063 T6
Εμπρόσθιο γυαλί	Σκληρωμένο γυαλί χαμηλής περιεκτικότητας σε σίδηρο πάχους 3,2 mm με υψηλή δυνατότητα μετάδοσης
Φωτοβολταϊκά στοιχεία	60 πολυκρυσταλλικά στοιχεία 156 x 156 mm

### Ηλεκτρικά χαρακτηριστικά

	$P_{mp}$ (Wp)	220	225	230	235	240	245	250*	255*
Μέγιστη ισχύς σε STC (+3/0 %)									
Απόδοση σε STC	$\eta$ (%)	13,6	13,9	14,2	14,5	14,8	15,1	15,4	15,7
Συντελεστής κάλυψης	FF	0,740	0,746	0,749	0,752	0,753	0,757	0,756	0,762
Τάση σε μέγιστη ισχύ	$V_{mp}$ (V)	29,2	29,3	29,5	29,5	29,6	29,6	29,8	29,8
Ένταση σε μέγιστη ισχύ	$I_{mp}$ (A)	7,54	7,68	7,79	7,97	8,12	8,27	8,39	8,56
Τάση ανοικτού κυκλώματος	$V_{oc}$ (V)	36,7	36,8	36,9	36,9	37,0	37,0	37,1	37,1
Ρεύμα βραχυκύκλωσης	$I_{sc}$ (A)	8,10	8,20	8,32	8,47	8,61	8,75	8,91	9,02
Μέγιστη τάση UL / IEC	$V_{max}$ (V) UL/IEC	600 / 1000							
Συντελεστής θερμοκρασίας σε Pmp	$T_{kP_{mp}}$ (%/°C)	-0,43							
Συντελεστής θερμοκρασίας σε Voc	$T_{kV_{oc}}$ (%/°C)	-0,356							
Συντελεστής θερμοκρασίας σε Isc	$T_{kI_{sc}}$ (%/°C)	+0,062							
Κανονική θερμοκρασία λειτουργίας στοιχείου	NOCT (°C)	46±2							
Ρεύμα ασφαλειών σειράς	A	11							
Δίοδοι παράκαμψης	A / V	12/40							
Δοκιμή ανάστροφου ρεύματος	A	13,5							

\*Τιμές σε τυπικές συνθήκες δοκιμής STC: Ένταση ακτινοβολίας 1.000 W/m<sup>2</sup>, μόδα αέρα AM 1,5 και θερμοκρασία στοιχείου 25 °C  
\* Ανάλογα με τη διαθεσιμότητα

### Πιστοποιήσεις

Πιστοποίηση UL και Intertek	UL ORD-C1703-01 / UL1703
Ταξινόμηση πυρασφάλειας	Κατηγορία C
Πιστοποίηση TÜV	IEC 61215 / IEC 61730
ISO 9001:2000	N° ES08/5170
ISO 14001	N° ES09/6520
Δήλωση συμμόρφωσης ΕΚ (Σήμα CE)	MCS Ηνωμένο Βασίλειο)

### Ελεγμένες συνθήκες λειτουργίας

Θερμοκρασία	-40 °C έως +85 °C
Στατικό φορτίο	2400 Pa
Μέγιστο φορτίο	5400 Pa
Αντοχή σε κρούση	Κρούση χαλαζόκοκκου φ 25 mm με 23 m/s

**Εγγύηση προϊόντος**  
Περιορισμένη εγγύηση 10 ετών υλικών και τεχνικής εργασίας

**Εγγύηση γραμμικής απόδοσης 25 ετών**  
1ο έτος: 97% της ονομαστικής ισχύος  
2ο-25ο έτος: Ετήσια μείωση κατά 0,7%

**ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΖΕΤΑΙ ΣΤΗΝ ΙΣΠΑΝΙΑ**  
siliken manufacturing  
C/ Massamagrell, 13 • Pol. Ind L'Horteta,  
46138 Rafelbunyol - Valencia - Spain

**ΠΡΟΕΙΔΟΠΟΙΗΣΗ:** Διαβάστε το εγχειρίδιο οδηγών προσεκτικά πριν από τη χρήση του προϊόντος.  
**ΣΗΜΕΙΩΣΗ:** Η Siliken Manufacturing, S.L.U., διατηρεί το δικαίωμα να τροποποιήσει αυτό το προϊόν χωρίς προειδοποίηση.

Siliken S.A. - Ronda Isaac Peral y Caballero, 14 - 46980 Paterna - Valencia - Spain - Τηλ.: (+34) 902 41 22 33 - Φαξ: (+34) 96 070 92 65 - info@siliken.com - www.siliken.com

Απρίλιος 2011

# SUNNY CENTRAL 400MV / 500MV / 630MV / 800MV / 1000MV / 1250MV



SC 400MV-11-08 / SC 500MV-11-08 / SC 630MV-11-08 / SC 800MV-11-08 / SC 1000MV-11-08 / SC 1250MV-11-08

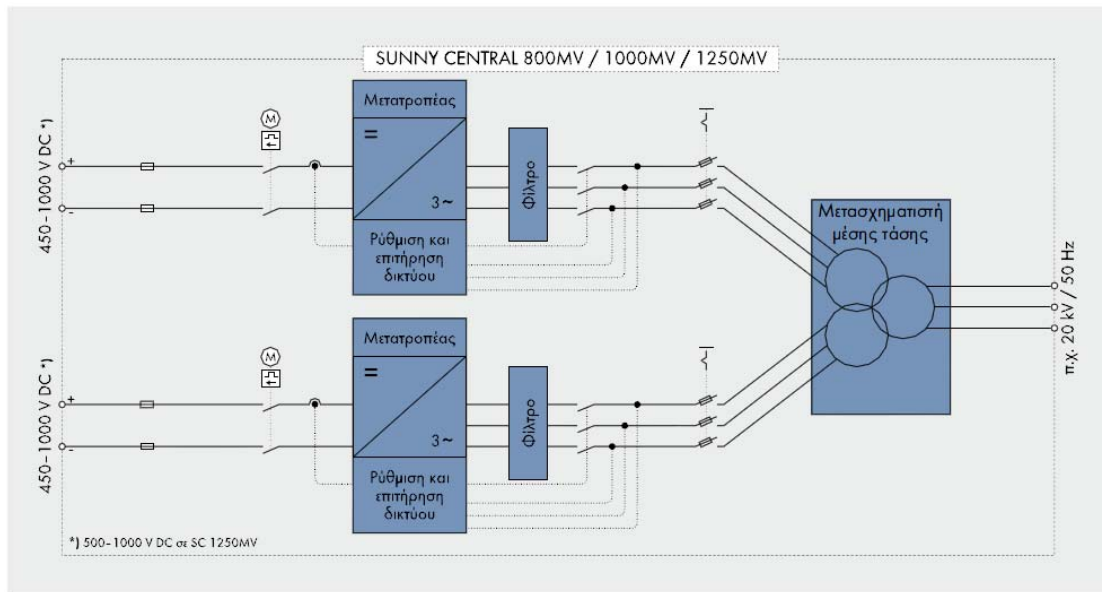
<b>Εξαιρετική απόδοση</b> <ul style="list-style-type: none"><li>Χωρίς μετασχηματιστή χαμηλής τάσης: υψηλότερος βαθμός απόδοσης με απευθείας σύνδεση στο δίκτυο μέσης τάσης</li></ul>	<b>Με το κλειδί στο χέρι</b> <ul style="list-style-type: none"><li>Πλήρης αυτοκωσσία με μετασχηματιστή μέσης τάσης και υποσταθμό από μπυλόν για τοποθέτηση σε εξωτερικό χώρο</li></ul>	<b>Προαιρετικά</b> <ul style="list-style-type: none"><li>Υποσταθμοί μέσης τάσης για εύλεκτη κατασκευή ηλιακών πάρκων μεγάλης κλίμακας</li><li>Σταθμός μετάδοσης AC με μέτρηση</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>Μετασχηματιστές μέσης τάσης για άλλες τάσεις δικτύου (σπύκωση 20 kV)</li><li>Άμορφος μετασχηματιστής για μειωμένες απώλειες στη λειτουργία χωρίς φορτίο</li></ul>
--	--	---	---

## SUNNY CENTRAL για απευθείας τροφοδοσία μέσης τάσης 400MV / 500MV / 630MV / 800MV / 1000MV / 1250MV

Ο ενισχυμένος σταθμός μέσης τάσης για άμεση τροφοδοσία του δικτύου

Για ακόμα μεγαλύτερη ισχύ: Ένας σταθμός μέσης τάσης (MV), που αποτελείται από δύο κεντρικούς μετατροπείς υψηλής απόδοσης Sunny Central HE της SMA, τροφοδοτεί απευθείας έναν κοινό μετασχηματιστή μέσης τάσης. Κατά αυτό τον τρόπο, δημιουργείται για παράδειγμα ένας σταθμός Sunny Central 1250MV από δύο μετατροπείς Sunny Central 630HE. Το πλεονέκτημα: Με την κατάργηση του μετασχηματιστή χαμηλής τάσης καθώς και με τη χρήση του άμορφου μετασχηματιστή, αυξάνεται ο βαθμός απόδοσης και ταυτόχρονα μειώνεται το κόστος του μετατροπέα. Μια επένδυση που αποδίδει και στο μέλλον.

Τεχνικά χαρακτηριστικά	Sunny Central 1000MV
<b>Τιμές εισόδου</b>	
Ονομαστική ισχύς DC	1018 kW
Εύρος τάσης σημείου μέγιστης ισχύος (MPP)	450 V - 820 V <sup>4)</sup>
Μέγιστη τάση DC	1000 V
Μέγιστο ρεύμα DC	2484 A
Αριθμός εισόδων DC	[16 + 16] + 4 DCHV
<b>Τιμές εξόδου</b>	
Ονομαστική ισχύς AC @ 45 °C	1000 kVA
Συνεχής ισχύς AC @ 25 °C	1100 kVA
Ονομαστική τάση AC	20 000 V
Ονομαστικό ρεύμα AC	28,8 A
Συχνότητα δικτύου AC 50 Hz	●
Συχνότητα δικτύου AC 60 Hz	●
Συντελεστής ισχύος (cos φ)	0,9 Υπερδιέγερση ...
Μέγιστος συντελεστής παραμόρφωσης	< 3%
<b>Κατανάλωση ισχύος</b>	
Ίδια κατανάλωση κατά τη λειτουργία	< 3000 W <sup>2)</sup>
Κατανάλωση σε κατάσταση αναμονής (μετατροπείας + μετασχηματιστής)	< 180 W + 1100 W
Εξυπερική τάση βοηθητικής τροφοδοσίας	3 x 230 V, 50 / 60 Hz
Εξυπερική εφεδρική ασφάλεια για βοηθητική τάση	B 20 A, 3 πόλων
<b>Διαστάσεις και βάρος</b>	
Ύψος	4100 mm
Πλάτος	5670 mm
Βάθος	3000 mm
Βάρος	14710 kg
<b>Βαθμός απόδοσης <sup>1)</sup></b>	
Μέγιστος βαθμός απόδοσης	97,9%
Euro-eta	97,5%
<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	12 400 m <sup>3</sup> / h
Μέγιστο ύψος πάνω από τη στάθμη της θάλασσας (NN)	1000 m
<b>Εξοπλισμός</b>	
Οθόνη: Γραμμή καμένου / 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>Διαπαφές SCC (Sunny Central Control)</b>	
Επικοινωνία (NET Piggy Back, προαιρετικά)	Αναλογική, ISDN, Ethernet
Αναλογικές εισοδοί	10 x A <sub>u</sub> <sup>2)</sup>
Προστασία από υπέρταση για αναλογικές εισόδους	○
Σύνδεση Sunny String Monitor (COM1)	RS485
Σύνδεση PC (COM3)	RS232
Εξυπερική επαφή ένδειξης σφάλματος	2
<b>Πιστοποιητικά / Λίστες</b>	
Ηλεκτρομαγνητική συμβατότητα (EMV)	EN 61000-6-2, EN 61000-6-4
Πιστότητα CE	●
BDEW-MSRL / FGW / TRB5)	●
RD 1633 / 2000	●
Απête du 23 / 04 / 08	●
● Βασικός εξοπλισμός ○ Προαιρετικά – Δεν διατίθεται	
Χαρισμός	SC 1000MV-11-GR



**SUNNY CENTRAL**  
500CP / 630CP / 720CP / 760CP / 800CP



**Οικονομία**

- Σύστημα Orbitrect® για μέγιστη διαθεσιμότητα εγκατάστασης
- Άμεση εγκατάσταση σε υπαίθριο χώρο χάρη στο περιβλήμα εξωτερικού χώρου

**Εξαιρετική απόδοση**

- Πλήρης ονομαστική ισχύς σε θερμοκρασία περιβάλλοντος έως 50 °C
- 10 % περισσότερη ισχύς σε συνεχή λειτουργία και θερμοκρασία περιβάλλοντος έως 25 °C

**Ευελξία**

- Είρος τάσης DC με δυνατότητα ρύθμισης
- Προαιρετικά: διευρυμένο εύρος τάσης εισόδου έως 1.100 V

**Ασφάλεια**

- Άπλη και ασφαλής εγκατάσταση χάρη στην εξουλιστή περιοχή συνδέσεως
- Ολοκληρωμένες λειτουργίες διαχείρισης διέλου (συμπεριλαμβανομένης της λειτουργίας Low-Voltage Ride Through)

**SUNNY CENTRAL**  
500CP / 630CP / 720CP / 760CP / 800CP

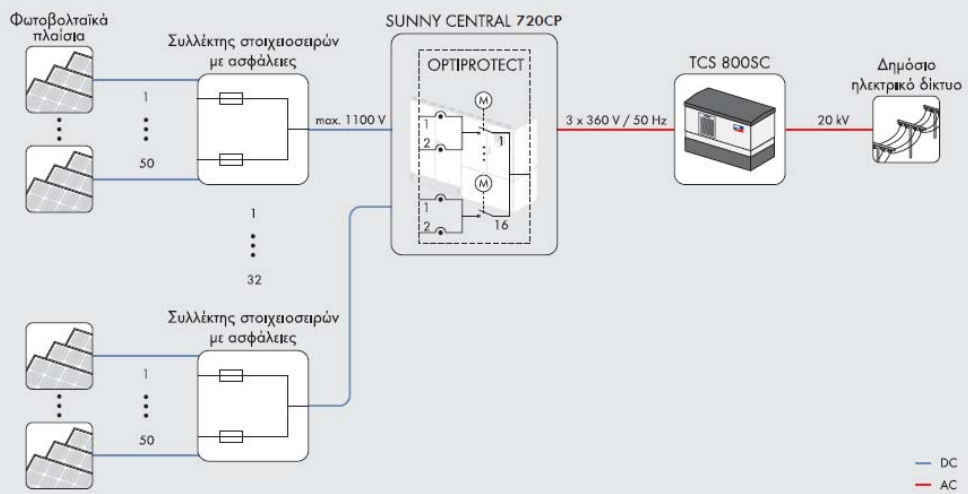
Μέγιστη απόδοση με μειωμένο κόστος για φωτοβολταϊκές εγκαταστάσεις μεγάλης κλίμακας

Η σειρά Sunny Central CP μεγιστοποιεί την απόδοση της επένδυσης με καινοτόμες τεχνολογίες που σας εξοικονομούν κόστος και χρόνο: χάρη στο σύστημα Orbitrect®, η έξυπνη αναγνώριση βλάβης στοιχείο-σειράς ενσωματώνεται στο μετατροπέα και επιτρέπει κεντρικά έως 1.600 στοιχείο-σειρές πλαίσιων χωρίς τη συνήθη καλωδίωση επικοινωνίας στην εγκατάσταση. Το έξυπνο σύστημα επιτήρησης απλοποιεί αισθητά τη θέση σε λειτουργία. Οι 32 μηχανοκίνητα ενεργοποιούμενες άσοδοι DC εγγυώνται τη μέγιστη διαθεσιμότητα της εγκατάστασης. Με το μικρό και ανθεκτικό στις καιρικές συνθήκες εξωτερικό περιβλήμα τους, οι μετατροπέες φορτώνονται χωρίς προβλήματα, μεταφέρονται εύκολα και μπορούν να τοποθετούνται σχεδόν οπουδήποτε.



Τεχνικά χαρακτηριστικά	Sunny Central 720CP
<b>Εισόδος (DC)</b>	
Μέγιστη ισχύς DC (@ cos φ= 1)	808 kW
Μέγιστη τάση εισόδου <sup>1)</sup>	1000 V/1100 V προαιρετικά
Εύρος τάσης MPP (@ 25 °C/@ 50 °C σε 50 Hz)	577 V - 820 V/525 V - 820 V <sup>2)</sup> <sup>3)</sup>
Εύρος τάσης MPP (@ 25 °C/@ 50 °C σε 60 Hz)	577 V - 820 V/525 V - 820 V <sup>2)</sup> <sup>3)</sup>
Ονομαστική τάση εισόδου	565 V
Μέγιστο ρεύμα εισόδου	1400 A
Ελάχιστη τάση εισόδου/ $U_{MP\text{-}min}$ σε $I_{MP} < I_{DCmax}$	515 V/515 V
Αριθμός ανεξάρτητων εισόδων MPP	1
Αριθμός εισόδων DC	9/32 (Optiprotect)
<b>Έξοδος (AC)</b>	
Ονομαστική ισχύς (@ 25 °C)/Ονομαστική ισχύς AC (@ 50 °C)	792 kVA/720 kVA
Ονομαστική τάση AC/Εύρος	324 V/292 V - 356 V
Συχνότητα δικτύου AC/Εύρος	50 Hz, 60 Hz/47 Hz ... 63 Hz
Ονομαστική συχνότητα δικτύου/Ονομαστική τάση δικτύου	50 Hz/324 V
Μέγιστο ρεύμα εξόδου	1411 A
Μέγιστος συντελεστής παραμόρφωσης	< 3 %
Συντελεστής ισχύος με ονομαστική ισχύ/Ρυθμιζόμενος συντελεστής μετατόπισης	1/0,9 με υπερέγερση ... 0,9 με υποέγερση
Φάσεις τροφοδοσίας/Φάσεις σύνδεσης	3/3
<b>Βαθμός απόδοσης <sup>2)</sup></b>	
Μέγιστος βαθμός απόδοσης/Ευρωπ. βαθμός απόδοσης/Βαθμός απόδοσης CEC	98,6 %/98,4 %/98,5 %
<b>Διατάξεις προστασίας</b>	
Σημείο απομόνωσης πλευράς εισόδου	Μηχανοκίνητος αποζεύκτης φορτίου/διακόπτης ισχύος (Optiprotect)
Σημείο απομόνωσης πλευράς εξόδου	Διακόπτης ισχύος AC
Προστασία από υπέρταση DC/Προστασία από υπέρταση AC	Απαγωγός υπέρτασης τύπου I/Απαγωγός υπέρτασης τύπου II
Επιτήρηση δικτύου	•
Επιτήρηση βραχυκύκλωσης προς γη/Επιτήρηση βραχυκύκλωσης προς γη με δυνατότητα τηλεχειρισμού	○ / ○
Επιτήρηση μόνωσης	○
Απαγωγός υπέρτασης βοηθητικής τροφοδοσίας	•
Κατηγορία προστασίας (κατά IEC 62103)/Κατηγορία υπέρτασης (κατά IEC 60664-1)	I/III
<b>Γενικά χαρακτηριστικά</b>	
Διαστάσεις (Π/Υ/Β)	2562/2279/956 mm (101/90/38 in)
Βάρος	1800 kg
Εύρος τμών θερμοκρασίας λειτουργίας	-20 °C ... +50 °C
Εκπομπή θορύβου <sup>2)</sup>	60 dB(A)
Μέγιστη ιδιοκατανάλωση (λειτουργία)/Ιδιοκατανάλωση (νύχτα)	1700 W <sup>4)</sup> / $< 100$ W
Εξωτερική βοηθητική τάση τροφοδοσίας	230/400V (3/N/PE)
Τρόπος ψύξης	OptiCool
Είδος προστασίας ηλεκτρονικού συστήματος/Περιοχή σύνδεσης (κατά το πρότυπο IEC 60529)	IP54/IP23
Πεδίο εφαρμογής	Χωρίς προστασία σε υπαίθριο χώρο
Μέγιστη επιτρεπόμενη τιμή σχετικής υγρασίας (χωρίς συμπύκνωση)	15 % ... 95 %
Μέγιστο ύψος πάνω από την επιφάνεια της της θάλασσας	2000 m
Απαιτούμενη ποσότητα καθαρού αέρα	3000 m <sup>3</sup> /h
<b>Εξοπλισμός</b>	
Σύνδεση DC	Δακτυλιοειδής ακροδέκτης/ακροδέκτης τύπου κλωβού (Optiprotect)
Σύνδεση AC	Δακτυλιοειδής ακροδέκτης
Οθόνη	○
Πρωτόκολλα επικοινωνίας	Ethernet (προαιρετικά οπτικές ίνες), Modbus
Sunny String-Monitor	RS485/εκτίπτε (Optiprotect)
Χρώμα περιβλήματος, πόρτας, βάσης, στεγάστρου	RAL 9016/9016/7005/7004
Πιστοποιητικά και εγκρίσεις (περισσότερα κατόπιν αιτήματος)	
Ταξινόμηση των συνθηκών περιβάλλοντος (κατά το IEC 60721-3-4)	4S2, 4C2
• Βασικός εξοπλισμός ○ Προαιρετικός εξοπλισμός – Δεν διατίθεται	
Χαρακτηρισμός τύπου	SC 760CP-10

## ΣΧΕΔΙΟ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ



## **ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ**

- [1] Ι. Ε. Φραγκιαδάκης, Φωτοβολταϊκά Συστήματα, 2<sup>η</sup> Έκδοση, Θεσσαλονίκη, Εκδόσεις ΖΗΤΗ, 2006
- [2] Κ. Καγκαράκη, Φωτοβολταϊκή Τεχνολογία, Αθήνα, Εκδόσεις Συμμετρία, 1992

## **ΙΣΤΟΣΕΛΙΔΕΣ**

- [3] <http://kenakteetdk.files.wordpress.com/2011/01/totee-20701-3-final-tee.pdf> (Τεχνική Οδηγία Τεχνικού Επιμελητηρίου Ελλάδας-Κλιματικά δεδομένα Ελληνικών περιοχών)
- [4] <http://www.sma-hellas.com>
- [5] [http://www.hilti.gr/fstore/holgr/LinkFiles/HILTI\\_SOLAR%20CATALOGUE\\_2013\\_GR\\_1.pdf](http://www.hilti.gr/fstore/holgr/LinkFiles/HILTI_SOLAR%20CATALOGUE_2013_GR_1.pdf) (Κατάλογος Εξαρτημάτων Βάσεων Στήριξης)
- [6] <http://www.telecables.gr/> (Κατάλογος καλωδίων)
- [7] <http://files.sma.de/dl/18414/SSMxx-21-IA-el-10.pdf> (Οδηγίες εγκατάστασης Sunny String Monitor)
- [8] <http://www.abb.gr/> (Διακόπτες DC κυκλωμάτων)
- [9] <http://www.schneider-electric.gr>  
(Υ/Σ Ανύψωσης, Μετασχηματιστής Διανομής Λαδιού, Πεδία διασύνδεσης RM6, Πεδία διασύνδεσης SM6, Ηλεκτρονόμος τύπου SEPAM S40, Πολυόργανο μέτρησης PM850)
- [10] <http://www.symmetron.gr> (Πυρανόμετρο μέτρησης ηλιακής ακτινοβολίας και θερμοκρασίας εξωτερικού χώρου)
- [11] <http://www.ypeka.gr/LinkClick.aspx?fileticket=Ru%2btfEs6Pao%3d&tabid=555&language=el-GR>  
(Υπουργική Απόφαση τιμολόγησης ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται από Φωτοβολταϊκούς σταθμούς)

## ΞΕΝΟΓΛΩΣΣΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [12] Vasilis M. Fthenakis, End-of-life management and recycling of PV modules, Volume 28, NY USA, Environmental & Waste Technology Group, Department of Advanced Technology, Brookhaven National Laboratory, 2000
- [13] Jun-Ki Choi & Vasilis Fthenakis, Mathematical Modeling for Cost Optimization of PV Recycling Infrastructure, 25<sup>st</sup> Eupvsec, Valencia Spain, National Photovoltaics Environmental Research Center Brookhaven National Laboratory, 2010
- [14] Vasilis Fthenakis, Photovoltaics Recycling and Sustainability, Philadelphia USA, Recycling Scoping Workshop, IEEE PVSC, 2009
- [15] Vasilis Fthenakis, Third Generation Photovoltaics, InTech, March 2012
- [16] Simon Roberts, Solar Electricity: A Practical Guide to Designing and Installing Small Photovoltaic Systems, New York : Prentice Hall
- [17] F. Lasnier and T.G. Ang , Photovoltaic Engineering Handbook , Adam Hilger, 1990
- [18] Tomas Markvart , Solar Electricity, Second Edition , John Wiley & Sons Ltd, 1994
- [19] Tom Markvart & Luis Castañer, Practical Handbook of Photovoltaics-Fundamentals and Applications, Elsevier Science, 2003
- [20] International Energy Agency, Utility Aspects of Grid Connected Photovoltaic Power Systems , Task V Report IEA PVPST501, 1998
- [21] Department of Trade and Industry , Photovoltaics in Buildings: Guide to the Installations of PV Systems , 2006

- [22] California Energy Commission , A Guide to Photovoltaic System Design and Installation , Consultant Report, 2001
- [23] John D. McDonald , Electric Power Substation Engineering ,Third Edition, CRC Press, 2012
- [24] G.N. Tiwari , Solar Energy-Fundamentals, Design, Modelling and Applications , Hardcover, 2002
- [25] S.P Sukhatme, J.K Nayak, Solar Energy Principles of Thermal Collection and Storage, Third Edition, The MacGraw Hill Companies, 2009
- [26] Sotiris A. Kalogirou, Solar Energy Engineering: Processes and Systems, Academic Press, 2009
- [27] John A. Duffie, Solar Engineering of Thermal Processes, John Willey and Sons Inc, 2006
- [28] James P. Dunlop, Photovoltaic Systems, ATP, 2009
- [29] Jenny Nelson, The Physics of Solar Cells (Properties of Semiconductor Materials), Imperial College Press, 2003
- [30] Richard J. Komp, Practical Photovoltaics: Electricity from Solar Cells, Third Edition, Aatec Publications, 2001

Στην εργασία μου αξιοποίησα όλη την παραπάνω βιβλιογραφία όμως οι κύριες πηγές μου ήταν οι δύο πρώτες. Από τις υπόλοιπες χρησιμοποίησα αρκετά στοιχεία τα οποία παρουσιάζονται στην διάρκεια της εργασίας αλλού περισσότερο και αλλού λιγότερο.