



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΛΟΠΟΝΝΗΣΟΥ**  
**ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**  
**ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**  
**ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ**

**ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**ΜΕΛΕΤΗ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟΥ ΣΤΑΘΜΟΥ**

**ΚΟΥΤΑΣ ΛΑΜΠΡΟΣ, ΑΜ: 7148**

**ΞΕΝΑΚΗΣ ΜΙΧΑΗΛ, ΑΜ:7294**

**ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΣΧΟΙΝΑΣ ΝΙΚΟΛΑΟΣ**

**ΠΑΤΡΑ 2021**

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παραγωγή ενέργειας από Φ/Β αποτελεί μια από τις πλέον ελπιδοφόρες τεχνολογίες άμεσης μετατροπής ανανεώσιμου δυναμικού σε ηλεκτρική ενέργεια. Τα καθοριστικά χαρακτηριστικά των Φ/Β συστημάτων είναι: η απουσία κινουμένων τμημάτων, ο μεγάλος χρόνος ζωής, η χαμηλή ενεργειακή απόδοση, το υψηλό αρχικό κόστος εγκατάστασης.

Στις μέρες μας, η εγκατάσταση Φ/Β για οικιακή χρήση συνοδεύεται από τη έννοια της αυτοπαραγωγής, της παραγωγής δηλαδή ηλεκτρικής ενέργειας για την κάλυψη των οικιακών αναγκών και την διοχέτευση της περίσσειας ενέργειας προς το δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας. Με αυτό τον τρόπο πραγματοποιείται ένας ενεργειακός συμψηφισμός, αφαιρείται δηλαδή από το λογαριασμό ηλεκτρικής ενέργειας του παρόχου ή αξία της εγγεόμενης ηλεκτρικής ενέργειας προς το δίκτυο. Ο συμψηφισμός αυτός επιφέρει σταδιακά την απόσβεση της εγκατάστασης και είναι πάντα προς όφελος του χρήστη.

Η μελέτη ενός συστήματος αυτοπαραγωγής σε ταράτσα οικίας είναι και το θέμα της παρούσας πτυχιακής εργασίας. Στο πρώτο κεφάλαιο δίνεται μια ιστορική αναδρομή της Φ/Β τεχνολογίας και ακολουθεί το δεύτερο κεφάλαιο όπου αναλύεται η αρχή λειτουργίας των Φ/Β συστημάτων. Στο τρίτο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα μέρη από τα οποία αποτελείται ένα Φ/Β σύστημα και στο τέταρτο κεφάλαιο αναλύεται η έννοια της αυτοπαραγωγής. Τέλος στο πέμπτο κεφάλαιο πραγματοποιείται η μελέτη για εγκατάσταση σε συγκεκριμένο κτήριο.

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ .....	I
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ.....	II
ΠΙΝΑΚΑΣ ΕΙΚΟΝΩΝ.....	V
ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΙΝΑΚΩΝ.....	VI
ΠΙΝΑΚΑΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ.....	VI
ΠΙΝΑΚΑΣ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ.....	VII
1 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 – ΕΙΣΑΓΩΓΗ – ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ.....	1
2 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 – ΑΡΧΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΦΒ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ .....	7
2.1 Ημιαγωγοί.....	7
2.1.1 Προσμίξεις ημιαγωγών .....	8
2.2 Παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος .....	9
2.3 Ενεργειακή απόδοση Φ/Β στοιχείων .....	10
2.4 Κατασκευή Φωτοβολταϊκών Κυττάρων .....	11
2.5 Εν Σειρά Συνδυασμός Φ / Β κυττάρων .....	13
2.6 Παράλληλος συνδυασμός φωτοβολταϊκών κυττάρων.....	14
2.7 Μεικτός συνδυασμός φωτοβολταϊκών κυψελών .....	14
3 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 - ΓΕΝΙΚΗ ΔΟΜΗ ΤΟΥ Φ/Β ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ .....	16
3.1 Τα μέρη από τα οποία αποτελείται ένα Φ/Β σύστημα.....	16
3.2 Φωτοβολταϊκό Πλαίσιο .....	16
3.3 Συσσωρευτές .....	18
3.3.1 Τύποι συσσωρευτών .....	18
3.3.2 Σωστή Χρήση μπαταριών .....	21
3.3.3 Συντήρηση.....	22
3.3.4 Χαρακτηριστικά μπαταριών .....	24
3.3.5 Συνδεσμολογία μπαταριών .....	25
3.3.6 Τύποι μπαταριών στην αγορά .....	26
3.4 Προστατευτική δίοδος .....	28
3.5 Ρυθμιστής συνεχούς τάσης (voltage regulator or controller ) ..	29
3.6 Μετατροπέας(inverter) .....	29
3.7 Inverters 12V,24V,48V σε 220V φωτοβολταϊκών αυτόνομων .	29
3.7.1 Off grid inverters.....	29
3.7.2 Inverters με φορτιστή (υβριδικά) .....	30

3.7.3	AC coupling .....	30
3.8	Βελτιστοποιητές (optimizers) απόδοσης φωτοβολταϊκών πάνελς .....	31
3.9	Φίλτρα και άλλες τεχνικές μείωσης αρμονικών.....	33
3.9.1	Φίλτρα .....	33
3.9.2	Παθητικά φίλτρα γραμμής AC (AC Passive Filters) ή αποσυντονισμένα φίλτρα.....	33
3.9.3	Ενεργά φίλτρα (Active Filters) ή συντονισμένα φίλτρα..	35
3.10	M/Σ Zig-Zag (HMT Harmonic Mitigating Transformers).....	40
3.11	Φίλτρα ραδιοσυχνοτήτων (RFI) .....	40
3.12	Μικρότερος πυκνωτής (C-less).....	40
3.13	Πηνία.....	41
3.14	Ανιχνευτής μέγιστου σημείου ισχύος (MPPT) .....	42
3.14.1	Πλεονεκτήματα ρυθμιστών φόρτισης φωτοβολταϊκών MPPT .....	42
3.15	Πυκνωτής στην έξοδο του Φ/Β .....	42
3.16	Κεντρικός έλεγχος .....	42
3.17	Εγκατάσταση .....	43
3.18	Κόστος και βελτίωση της απόδοσης.....	43
4	ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟΣ ΣΥΜΨΗΦΙΣΜΟΣ (NET METERING)...	45
4.1	Ποια είναι τα όρια κατανάλωσης .....	49
4.2	Θέση εγκατάστασης των φωτοβολταϊκών συστημάτων από αυτοπαραγωγούς με.....	50
4.3	Βασικές παράμετροι για τη διαστασιολόγηση ενός φωτοβολταϊκού συστήματος αυτοπαραγωγής με ενεργειακό συμψηφισμό.....	51
4.4	Εγκατάσταση μετρητών και όρια διαχωρισμού ιδιοκτησίας και ευθύνης μεταξύ Δικτύου και αυτοπαραγωγού; .....	51
4.5	Καταμέτρηση και πότε η εφαρμογή του ενεργειακού συμψηφισμού μεταξύ παραγόμενης και καταναλισκόμενης ενέργειας; 53	
4.6	Τα βήματα εγκατάστασης ΦΒ σε ταράτσα.....	56
4.6.1	Συναρμολόγηση βάσεων στήριξης.....	56
4.6.2	Πάκτωση των βάσεων στήριξης .....	57
4.6.3	Τοποθέτηση των ραγών στήριξης των πάνελ.....	57

4.6.4	Τοποθέτηση των πάνελ .....	58
4.6.5	Πραγματοποίηση των συνδέσεων του inverter.....	58
4.6.6	Τοποθέτηση του ηλεκτρικού πίνακα .....	59
4.6.7	Τοποθέτηση της πλακέτας τηλεμετρίας για παρακολούθηση της εγκατάστασης από κινητό ή υπολογιστή ....	60
5	ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 - ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ.....	62
5.1	Υπολογισμός του αριθμού των πάνελ .....	62
5.2	Διάταξη .....	64
	Το πάνελ που θα χρησιμοποιηθεί φαίνεται παρακάτω .....	64
5.3	Μπαταρία φωτοβολταϊκής συστοιχίας .....	66
5.4	Μετατροπέας συνεχούς ρεύματος εξόδου της συστοιχίας σε εναλλασσόμενο ρεύμα .....	66
5.5	Ηλεκτρολογικός έλεγχος διασύνδεσης της συστοιχίας με τον inverter .....	67
6	ΠΗΓΕΣ ΑΠΟ ΤΟ ΔΙΑΔΙΚΤΥΟ.....	68

## ΠΙΝΑΚΑΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1-1	Ο Russel Ohl στο εργαστήριό του .....	1
Εικόνα 1-2	Ο δορυφόρος Vanguard I, .....	2
Εικόνα 2-1	Το ενεργειακό διάκενο σε αγωγούς, μονωτές, ημιαγωγούς .....	8
Εικόνα 2-2	Η κατανομή οπών και ηλεκτρονίων στους ημιαγωγούς ....	9
Εικόνα 2-3	Ένα ΦΒ κύτταρο πυριτίου .....	12
Εικόνα 3-1	Μπαταρίες block 6V, 8V, 12V ανοιχτού τύπου με υγρά ....	19
Εικόνα 3-2	Μπαταρίες block 6V, 8V, 12V κλειστού τύπου με GEL .....	19
Εικόνα 3-3	Μπαταρίες block 6V, 8V, 12V κλειστού τύπου AGM. ....	20
Εικόνα 3-4	2V Batteries OPzV σε αυτόνομο φωτοβολταϊκό σύστημα με γεννήτρια .....	22
Εικόνα 3-5	Πυκνομέτρηση μπαταρίας – επίπεδο φόρτισης .....	23
Εικόνα 3-6	Σύνδεση παράλληλα μπαταριών .....	25
Εικόνα 3-7	Σύνδεση σε σειρά μπαταριών .....	26
Εικόνα 3-8	2 Volt μπαταρίες OPzS .....	26
Εικόνα 3-9	2V Batteries OPzV .....	27
Εικόνα 3-10	μπαταρία PzS με στοιχεία 2V .....	27
Εικόνα 3-11	Μπαταρίες βαθιάς εκφόρτισης 2V SOPzV GEL για αυτόνομα φωτοβολταϊκά συστήματα .....	28
Εικόνα 3-12	μπαταρίες bloc 12V Gel – ανοιχτού τύπου υγρών – AGM .. ..	28
Εικόνα 3-13	Ac coupling σε αυτόνομο φωτοβολταϊκό .....	30
Εικόνα 3-14	Βελτιστοποιητής απόδοσης φωτοβολταϊκού .....	31
Εικόνα 3-15	Τοποθέτηση και καλωδίωση του βελτιστοποιητή απόδοσης φωτοβολταϊκού .....	31
Εικόνα 3-16	Βελτιστοποιητής απόδοσης σε φωτοβολταϊκά που σκιάζονται .....	32
Εικόνα 3-17	Βελτιστοποιητές απόδοσης σε φωτοβολταϊκά με κακό προσανατολισμό .....	32
Εικόνα 3-18	Σχηματική απεικόνιση ενός αποσυντονισμένου φίλτρου και της αρχής λειτουργίας του .....	35
Εικόνα 3-19	Σχηματική απεικόνιση ενός συντονισμένου φίλτρου και της αρχής λειτουργίας του .....	37

Εικόνα 3-20	Σχηματική απεικόνιση της αρχής λειτουργίας ενός ενεργού φίλτρου .....	38
Εικόνα 3-21	Παράδειγμα μείωσης της Ολικής Αρμονικής Παραμόρφωσης που προκαλείται από την εγκατάσταση ενός ενεργού φίλτρου σε έναν κινητήρα ο οποίος είναι συνδεδεμένος με inverter .....	39
Εικόνα 4-1	Πως λειτουργεί το net-metering .....	46
Εικόνα 4-2	Οι βάσεις στήριξης μεταφέρονται σε κομμάτια και συναρμολογούνται επί τόπου, στον χώρο της εγκατάστασης.....	56
Εικόνα 4-3	Οι πακτωμένες βάσεις στήριξης .....	57
Εικόνα 4-4	Οι ράγες στήριξης των πάνελ τοποθετούνται κατά μήκος των βάσεων στήριξης.....	57
Εικόνα 4-5	Τα πάνελ τοποθετούνται από έμπειρο τεχνικό προσωπικό .....	58
Εικόνα 4-6	Οι καλωδιώσεις σύνδεσης του inverter .....	59
Εικόνα 4-7	Ο ηλεκτρικός πίνακας της εγκατάστασης .....	60
Εικόνα 4-8	Η πλακέτα τηλεμετρίας τοποθετημένη στο κάτω μέρος του αντιστροφέα .....	61
Εικόνα 5-1	Το χρησιμοποιούμενο πάνελ .....	64
Εικόνα 5-2	Ο μετατροπέας Sunny Tripower .....	66

## ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 2-1	Οι απώλειες αναλυτικά σε ένα Φ/Β στοιχείο .....	11
Πίνακας 5-1	Τα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά του πάνελ .....	65
Πίνακας 5-2	Τα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά του αντιστροφέα .....	67

## ΠΙΝΑΚΑΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Σχήμα 2-1	Παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος σε ημιαγωγό από την πρόσπτωση ηλιακής ακτινοβολίας .....	10
Σχήμα 2-2	Εν σειρά σύνδεση δύο ΦΒ κυττάρων: ίδιο ρεύμα, διπλάσια τάση .....	13
Σχήμα 2-3	Παράλληλη σύνδεση δύο ΦΒ κυττάρων: ίδια τάση, διπλάσιο ρεύμα .....	14

Σχήμα 2-4	Μικτή συνδεσμολογία : αυξάνεται και το ρεύμα και η τάση .....	15
Σχήμα 2-5	Κατασκευή ηλιακού πάνελ .....	15
Σχήμα 3-1	Φιλτράρισμα αρμονικών σε γραμμή AC. ....	34
Σχήμα 3-2	Ο ρόλος ενός ενεργού φίλτρου. (α) Σύνδεση στο κύκλωμα. (b) Κυματομορφές ρεύματος. ....	36
Σχήμα 3-3	Πυκνωτής εξομάλυνσης ανόρθωσης (DC link capacitor) ..	41
Σχήμα 3-4	Πηνία εξομάλυνσης στο σύνδεσμο DC και στη γραμμή AC. .. .....	41
Σχήμα 5-1	Διάταξη των ΦΒ στοιχείων .....	65

## **ΠΙΝΑΚΑΣ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ**

Διάγραμμα 3-1	Διάγραμμα ενός αυτόνομου ΦΒ συστήματος .....	16
Διάγραμμα 4-1	Όρια διαχωρισμού ιδιοκτησίας και ευθύνης μεταξύ Δικτύου και αυτοπαραγωγού για εγκαταστάσεις που συνδέονται στο επίπεδο ΧΤ και ΜΤ του Δικτύου .....	52



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 – ΕΙΣΑΓΩΓΗ – ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ

Η ιστορία της Φ/Β τεχνολογίας ξεκινάει το 1839, όταν ο φυσικός Edmond Becquerel παρατήρησε ότι κατά την έκθεση σε φως, δύο μεταλλικών πλακών (πλατίνας ή αργύρου) εμβυθισμένων σε ηλεκτραγώγιμο διάλυμα, εμφανίζεται μεταξύ τους μικρή τάση και ροή ηλεκτρικού ρεύματος. Το φαινόμενο αυτό, ονομάστηκε φωτοβολταϊκό φαινόμενο.

Το 1941, ο Russell Ohl κατοχυρώνει πατέντα για την πρώτη Φ/Β συσκευή από πυρίτιο με απόδοση μικρότερη του 1% και μικρή διάρκεια ζωής, όμως η έρευνά του οδήγησε στην ιδέα του θετικά και αρνητικά εμπλουτισμένου πυριτίου.



Εικόνα 1-1 Ο Russel Ohl στο εργαστήριό του

Το 1954 στα εργαστήρια της Bell, οι Gerald Pearson, Calvin Fuller και Daryl Chapin δημιουργούν Φ/Β στοιχείο από πυρίτιο με ιστορικό, για την εποχή, βαθμό απόδοσης 6%. Το 1958 έξι Φ/Β στοιχεία πυριτίου τοποθετούνται στο δορυφόρο Vanguard I, παρέχοντας εφεδρική ισχύ και παρατείνοντας τη λειτουργία του από μερικούς μήνες, σε έξι χρόνια. Η πετρελαϊκή κρίση του 1973, τόνωσε την έρευνα, οδηγώντας στη διερεύνηση και χρήση καινοτόμων υλικών και μεθόδων παραγωγής για τη μείωση του κόστους και την αύξηση της απόδοσης των Φ/Β.



Εικόνα 1-2 Ο δορυφόρος Vanguard I,

Όταν τα φωτοβολταϊκά κύτταρα εκτεθούν στην ηλιακή ακτινοβολία, μετατρέπουν ένα 5-15% της ηλιακής ενέργειας σε ηλεκτρική. Το πόσο ακριβώς είναι αυτό το ποσοστό εξαρτάται από την τεχνολογία που χρησιμοποιούμε. Υπάρχουν π.χ. τα λεγόμενα μονοκρυσταλλικά φωτοβολταϊκά (τα πιο συνηθισμένα της αγοράς), τα πολυκρυσταλλικά φωτοβολταϊκά, και τα άμορφα. Τα τελευταία έχουν χαμηλότερη απόδοση είναι όμως σημαντικά φθηνότερα. Η επιλογή του είδους των φωτοβολταϊκών είναι συνάρτηση των αναγκών σας, του διαθέσιμου χώρου ή ακόμα και της οικονομικής σας ευχέρειας. Όλα τα φωτοβολταϊκά πάντως μοιράζονται τα παρακάτω πλεονεκτήματα:

- μηδενική ρύπανση
- αξιοπιστία και μεγάλη διάρκεια ζωής (που φθάνει τα 30 χρόνια)
- ανεξάρτηση από την τροφοδοσία καυσίμων για απομακρυσμένες περιοχές
- δυνατότητα επέκτασης ανάλογα με τις ανάγκες
- ελάχιστη συντήρηση

Τα φωτοβολταϊκά συνεπάγονται σημαντικά οφέλη για το περιβάλλον και την κοινωνία. Οφέλη για τον καταναλωτή, για τις αγορές ενέργειας και για τη βιώσιμη ανάπτυξη. Αποτελούν μία από τις πολλά υποσχόμενες τεχνολογίες της νέας εποχής που ανατέλλει στο χώρο της ενέργειας. Μιας νέας εποχής που

θα χαρακτηρίζεται ολοένα και περισσότερο από τις μικρές αποκεντρωμένες εφαρμογές σε ένα περιβάλλον απελευθερωμένης αγοράς. Τα μικρά, ευέλικτα συστήματα που μπορούν να εφαρμοστούν σε επίπεδο κατοικίας, εμπορικού κτιρίου ή μικρού σταθμού ηλεκτροπαραγωγής (όπως π.χ. τα φωτοβολταϊκά, τα μικρά συστήματα συμπαραγωγής, οι μικροτουρμπίνες και οι κυψέλες καυσίμου) αναμένεται να κατακτήσουν ένα σημαντικό μερίδιο της ενεργειακής αγοράς στα χρόνια που έρχονται. Ένα επιπλέον κοινό αυτών των νέων τεχνολογιών είναι η φιλικότητά τους προς το περιβάλλον.

Η ηλιακή ενέργεια είναι μια καθαρή, ανεξάντλητη, ήπια και ανανεώσιμη ενεργειακή πηγή. Η ηλιακή ακτινοβολία δεν ελέγχεται από κανέναν και αποτελεί ένα ανεξάντλητο εγχώριο ενεργειακό πόρο, που παρέχει ανεξαρτησία, προβλεψιμότητα και ασφάλεια στην ενεργειακή τροφοδοσία.

Τα φωτοβολταϊκά είναι λειτουργικά καθώς προσφέρουν επεκτασιμότητα της ισχύος τους και δυνατότητα αποθήκευσης της παραγόμενης ενέργειας (στο δίκτυο ή σε συσσωρευτές) αναιρώντας έτσι το μειονέκτημα της ασυνεχούς παραγωγής ενέργειας. Δίνοντας τον απόλυτο έλεγχο στον καταναλωτή, και άμεση πρόσβαση στα στοιχεία που αφορούν την παραγόμενη και καταναλισκόμενη ενέργεια, τον καθιστούν πιο προσεκτικό στον τρόπο που καταναλώνει την ενέργεια και συμβάλλουν έτσι στην ορθολογική χρήση και εξοικονόμηση της ενέργειας. Η εμπειρία της Δανίας π.χ. έδειξε μείωση της συνολικής κατανάλωσης ηλεκτρισμού από χρήστες φωτοβολταϊκών, της τάξης του 5-10%. Για τις επιχειρήσεις παραγωγής ηλεκτρισμού, υπάρχουν ευδιάκριτα τεχνικά και εμπορικά πλεονεκτήματα από την εγκατάσταση μικρών συστημάτων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Όσο περισσότερα συστήματα παραγωγής ενέργειας εγκατασταθούν και συνδεθούν με το δίκτυο ηλεκτροδότησης, τόσο περισσότερα είναι τα οφέλη για τις επιχειρήσεις, όπως π.χ. η βελτίωση της ποιότητας της ηλεκτρικής ισχύος, η σταθερότητα της ηλεκτρικής τάσης και η μείωση των επενδύσεων για νέες γραμμές μεταφοράς. Η βαθμιαία αύξηση των μικρών ηλεκτροπαραγωγών μπορεί να καλύψει αποτελεσματικά τη διαρκή αύξηση της ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας, η οποία σε διαφορετική περίπτωση θα έπρεπε να καλυφθεί με μεγάλες επενδύσεις για σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής. Η παραγωγή ηλεκτρισμού από μικρούς παραγωγούς μπορεί να περιορίσει επίσης την ανάγκη επενδύσεων σε νέες

γραμμές μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας. Το κόστος μιας νέας γραμμής μεταφοράς είναι πολύ υψηλό, αν λάβουμε υπόψη μας πέρα από τον τεχνολογικό εξοπλισμό και θέματα που σχετίζονται με την εξάντληση των φυσικών πόρων και τις αλλαγές στις χρήσεις γης.

Οι διάφοροι μικροί παραγωγοί "πράσινης" ηλεκτρικής ενέργειας αποτελούν ιδανική λύση για τη μελλοντική παροχή ηλεκτρικής ενέργειας στις περιπτώσεις όπου αμφισβητείται η ασφάλεια της παροχής. Η τοπική παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας δεν δοκιμάζεται από δαπανηρές ενεργειακές απώλειες που αντιμετωπίζει το ηλεκτρικό δίκτυο (απώλειες, οι οποίες στην Ελλάδα ανέρχονται σε 10% κατά μέσο όρο). Από την άλλη, η μέγιστη παραγωγή ηλιακού ηλεκτρισμού συμπίπτει χρονικά με τις ημερήσιες αιχμές της ζήτησης (ιδίως τους καλοκαιρινούς μήνες), βοηθώντας έτσι στην εξομάλυνση των αιχμών φορτίου και στη μείωση του συνολικού κόστους της ηλεκτροπαραγωγής, δεδομένου ότι η κάλυψη αυτών των αιχμών είναι ιδιαίτερα δαπανηρή.

Εκτός από καθαρή ενέργεια, παρέχουν ακόμη προσέλευση πελατών και αξιοπιστία σε ένα απελευθερωμένο περιβάλλον. Σε ένα υψηλά ανταγωνιστικό περιβάλλον, οι επιχειρήσεις παραγωγής ηλεκτρισμού χρειάζονται κίνητρα για να προσελκύσουν και να διατηρήσουν τους πελάτες τους. Τα προγράμματα καθαρής ενέργειας μπορούν να είναι ελκυστικά σε αρκετά μεγάλο αριθμό καταναλωτών που ενδιαφέρονται γενικά για το περιβάλλον και ειδικότερα για τις κλιματικές αλλαγές. Σήμερα οι καταναλωτές στις απελευθερωμένες ενεργειακές αγορές δεν αγοράζουν απλά τη φθηνότερη ηλεκτρική ενέργεια, καθώς υπάρχει πλέον θέμα τόσο ποιότητας όσο και υπηρεσιών. Όσον αφορά στην ποιότητα του ηλεκτρισμού, τα θέματα είναι ξεκάθαρα: η ενέργεια που χρησιμοποιώ προέρχεται από θερμοηλεκτρικό σταθμό που χρησιμοποιεί ορυκτά καύσιμα και καταστρέφει το περιβάλλον, ενώ μπορεί να προέλθει από μια μονάδα που δεν ρυπαίνει το περιβάλλον; Ποιά ηλεκτρική ενέργεια πρέπει να αγοράσω; Μπορώ, τουλάχιστον, να αγοράσω μικρές ποσότητες καθαρής ενέργειας για να ενθαρρύνω τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας; Αυτά αποτελούν θέματα που απασχολούν οπωσδήποτε τις "έξυπνες" επιχειρήσεις παραγωγής ενέργειας. Η επιχείρηση που αποδέχεται τα φωτοβολταϊκά συστήματα θα προσελκύσει πελάτες-παραγωγούς που θα χρησιμοποιούν

φωτοβολταϊκά και θα πωλούν στη συνέχεια σε αυτή καθαρή ενέργεια. Σε ένα περιβάλλον απελευθερωμένης αγοράς, τέτοιοι πελάτες-παραγωγοί μπορεί να βρίσκονται οπουδήποτε.

Μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως δομικά υλικά παρέχοντας τη δυνατότητα για καινοτόμους αρχιτεκτονικούς σχεδιασμούς, καθώς διατίθενται σε ποικιλία χρωμάτων, μεγεθών, σχημάτων και μπορούν να παρέχουν ευελιξία και πλαστικότητα στη φόρμα, ενώ δίνουν και δυνατότητα διαφορεικής διαπερατότητας του φωτός ανάλογα με τις ανάγκες του σχεδιασμού. Αντικαθιστώντας άλλα δομικά υλικά συμβάλλουν στη μείωση του συνολικού κόστους μιας κατασκευής (ιδιαίτερα σημαντικό στην περίπτωση των ηλιακών προσόψεων σε εμπορικά κτίρια).

Τέλος, παρέχουν κύρος στο χρήστη τους και βελτιώνουν το image των επιχειρήσεων που τα επιλέγουν. Στις πιο αναπτυγμένες αγορές (όπως η ιαπωνική και η γερμανική) τα φωτοβολταϊκά είναι πλέον "trendy" και "must" για κάθε νέα κτιριακή εφαρμογή.

Το σχετικά υψηλό κόστος αγοράς και η έλλειψη επιδοτήσεων στον οικιακό καταναλωτή (κάτι που ισχύει σήμερα στην Ελλάδα, όχι όμως και σε άλλες χώρες) είναι το βασικό τους μειονέκτημα. Τα φωτοβολταϊκά, όπως άλλωστε και όλες οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (ΑΠΕ), έχουν υψηλό αρχικό κόστος επένδυσης και ασήμαντο λειτουργικό κόστος, αντίθετα με τις συμβατικές ενεργειακές τεχνολογίες που συνήθως έχουν σχετικά μικρότερο αρχικό επενδυτικό κόστος και υψηλά λειτουργικά κόστη.

Παρόλα αυτά, ήδη το κλίμα φαίνεται να αλλάζει. Πολλές χώρες έχουν ξεκινήσει τα τελευταία χρόνια σημαντικά προγράμματα ενίσχυσης των φωτοβολταϊκών, με γενναίες επιδοτήσεις τόσο της αγοράς και εγκατάστασης φωτοβολταϊκών, όσο και της παραγόμενης ηλιακής κιλοβατώρας.

Αντίστοιχα προγράμματα δεν έχουν δυστυχώς ξεκινήσει στην Ελλάδα, ιδίως στον οικιακό-τριτογενή τομέα τον οποίο αφορούν πρωτίστως τα φωτοβολταϊκά. Έτσι, η ελληνική αγορά φωτοβολταϊκών παραμένει μικρή και περιθωριακή και η χώρα μας έχει εγκαταστήσει μόλις το 0,1% των συνολικών φωτοβολταϊκών συστημάτων παγκοσμίως.

Προκειμένου να αλλάξει αυτή η εικόνα, οι σημαντικότερες ελληνικές εταιρίες που δραστηριοποιούνται στον κλάδο, συνασπίστηκαν και δημιούργησαν τον Σύνδεσμο Εταιριών Φωτοβολταϊκών (ΣΕΦ), προκειμένου να διασφαλιστεί μία υγιής ανάπτυξη της αγοράς φωτοβολταϊκών και στην Ελλάδα.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 – ΑΡΧΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΦΒ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

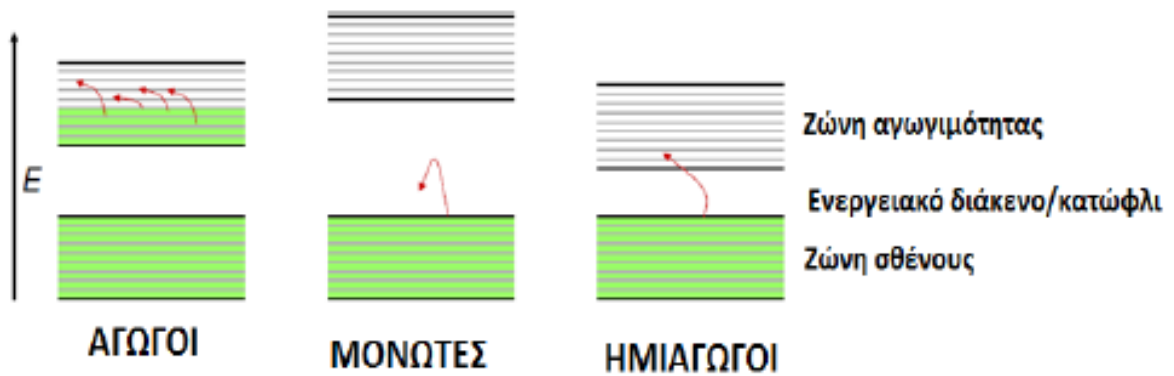
Το φως είναι ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία αποτελούμενη από πακέτα ενέργειας (τα φωτόνια) εξαρτώμενης από τη συχνότητα του φωτός. Τα φωτόνια περιέχουν αρκετή ενέργεια ώστε να διεγείρουν τα ηλεκτρόνια στερεών σωμάτων σε θέσεις υψηλότερης ενέργειας και να γίνουν ελεύθεροι φορείς.

Αξιοποιώντας τις ιδιότητες των ημιαγωγών, είναι δυνατή η δημιουργία διαφοράς δυναμικού μεταξύ ακροδεκτών, με την αύξηση των φορέων ηλεκτρικού φορτίου που επιφέρει η πρόσπτωση και απορρόφηση της φωτεινής ακτινοβολίας. Το ηλεκτρικό ρεύμα που παράγεται είναι ανάλογο της έντασης της ακτινοβολίας και της επιφάνειας πρόσπτωσης.

### 2.1 Ημιαγωγοί

Τα στερεά χωρίζονται σε τρεις κατηγορίες βάσει της ηλεκτρικής αγωγιμότητας που παρουσιάζουν: μονωτές, αγωγούς και ημιαγωγούς. Η ηλεκτρική αγωγιμότητα εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τον αριθμό των ελεύθερων ηλεκτρονίων. Τα ηλεκτρόνια των ατόμων ενός υλικού, μπορούν να βρίσκονται σε συγκεκριμένες ενεργειακές καταστάσεις (ενεργειακές τιμές). Στα στερεά, οι επιτρεπόμενες ενεργειακές καταστάσεις διαμορφώνονται τόσο πυκνά ώστε να σχηματίζουν ενεργειακές ζώνες που διαχωρίζονται από εύρη ενεργειακών τιμών στα οποία κανένα ηλεκτρόνιο δεν είναι δυνατό να υφίσταται.

Οι επιτρεπόμενες ζώνες χωρίζονται στις εσωτερικές ενεργειακές ζώνες και τις ζώνες σθένους και αγωγιμότητας. Η διαφορά μεταξύ της υψηλότερης ενεργειακής κατάστασης εντός της ζώνης σθένους και της χαμηλότερης ενεργειακής κατάστασης εντός της ζώνης αγωγιμότητας ορίζεται ως το **ενεργειακό διάκενο/κατώφλι**.



Εικόνα 2-1 Το ενεργειακό διάκενο σε αγωγούς, μονωτές, ημιαγωγούς

Το ενεργειακό διάκενο έχει ιδιαίτερη σημασία καθώς τα ηλεκτρόνια της ζώνης αγωγιμότητας (ελεύθερα ηλεκτρόνια) είναι αυτά που συμβάλλουν στην αγωγιμότητα ενός υλικού και η μετάβαση ενός ηλεκτρονίου από τη ζώνη σθένους σε αυτή, προκύπτει κατά την πρόσδοση ενέργειας στα άτομα του υλικού, ίσης ή μεγαλύτερης του ενεργειακού διακένου όπως π.χ. με την απορρόφηση ακτινοβολίας ή θερμότητας.

Όταν τα άτομα έχουν μεγάλο ενεργειακό διάκενο, το υλικό συμπεριφέρεται ως μονωτής καθώς τα ποσά ενέργειας που απαιτούνται για την απελευθέρωση ηλεκτρονίων από την ζώνη σθένους είναι μεγάλα, ενώ όταν το ενεργειακό διάκενο είναι σχετικά μικρό (π.χ. 1.1eV για το πυρίτιο), το υλικό χαρακτηρίζεται ημιαγωγός καθώς δύναται η μετάβαση ηλεκτρονίων μεταξύ των ζωνών. Οι αγωγοί, όπως τα μέταλλα, έχουν πολύ μικρό είτε και μηδενικό ενεργειακό διάκενο.

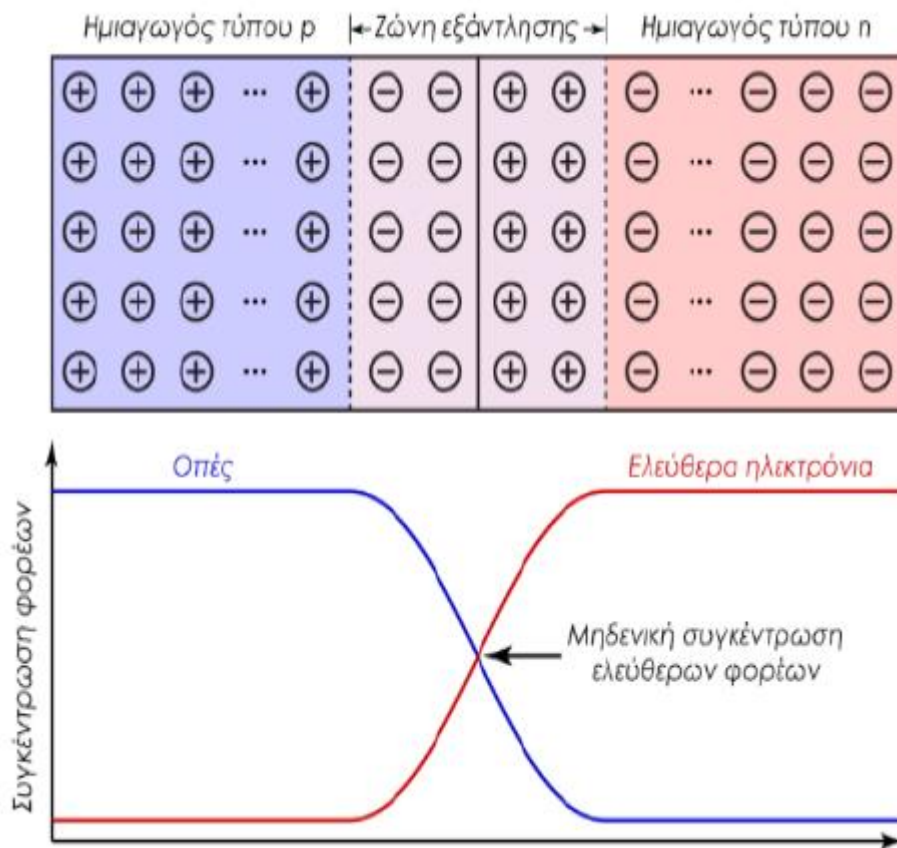
### 2.1.1 Προσμίξεις ημιαγωγών

Με την πρόσμιξη πεντασθενούς στοιχείου όπως το αρσενικό (As), δημιουργείται ασυμμετρία στο κρυσταλλικό πλέγμα με αποτέλεσμα την μετάβαση των περισσευόντων ηλεκτρονίων στη ζώνη αγωγιμότητας (ημιαγωγός τύπου n). Με την πρόσμιξη τρισθενούς στοιχείου όπως το Βόριο (B), δημιουργείται έλλειψη ηλεκτρονίων, δηλαδή περίσσεια οπών (ημιαγωγός τύπου p).

Στην ένωση μεταξύ ημιαγωγών τύπου n και p παρουσιάζεται διάχυση των ελευθέρων ηλεκτρονίων του n προς την πλευρά του p τύπου, αφήνοντας πίσω οπές ταυτόχρονα. Αντίστοιχη μετάβαση λαμβάνει χώρα από την πλευρά του p



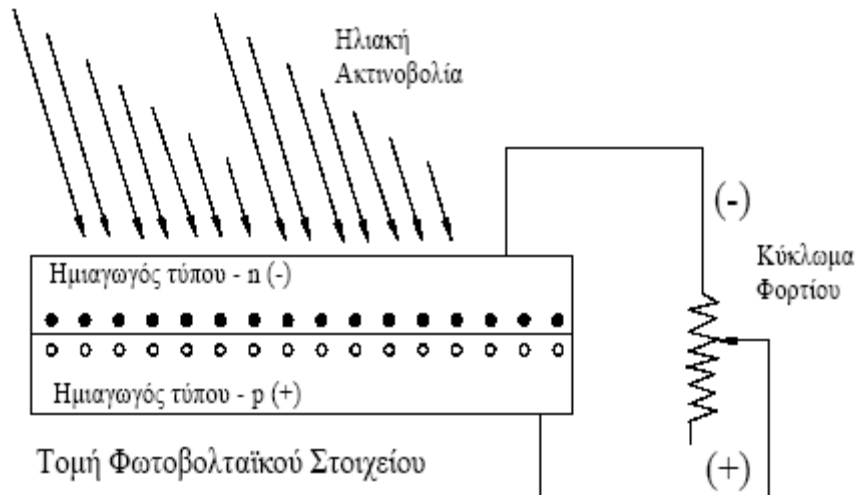
τύπου, με διάχυση οπών στο n. Κοντά στο σημείο της ένωσης, δημιουργείται μία μεταβατική ζώνη μεταξύ των δύο ημιαγωγών όπου οι ελεύθεροι φορείς μειώνονται σταδιακά έως ότου όλοι οι ελεύθεροι φορείς δεσμευτούν. Η μεταβατική ζώνη (ζώνη εξάντλησης/απογύμνωσης) δημιουργεί ένα ηλεκτροστατικό πεδίο (φράγμα) το οποίο παρεμποδίζει περαιτέρω επέκτασή της.



Εικόνα 2-2 Η κατανομή οπών και ηλεκτρονίων στους ημιαγωγούς

## 2.2 Παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος

Κατά την πρόσπτωση φωτεινής ακτινοβολίας δημιουργούνται πρόσθετα ζεύγη ελευθέρων ηλεκτρονίων-οπών. Τα ηλεκτρόνια του ημιαγωγού p ρέουν προς τον ημιαγωγό n ενώ αντίστοιχα κινούνται οι οπές του ημιαγωγού n καταρρίπτοντας την προϋπάρχουσα ουδετερότητα. Με τη σύνδεση των δύο ημιαγωγών με εξωτερικό κύκλωμα, η σύζευξη λειτουργεί ως πηγή ηλεκτρικού ρεύματος.



Σχήμα 2-1 Παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος σε ημιαγωγό από την πρόσπτωση ηλιακής ακτινοβολίας

### 2.3 Ενεργειακή απόδοση Φ/Β στοιχείων

Η απόδοση των φ/Β στοιχείων ως γνωστόν δεν είναι υψηλή. Αυτό οφείλεται στις ιδιότητες των ημιαγωγών αλλά και στα κατασκευαστικά τους στοιχεία. Πιο συγκεκριμένα:

- Ακτινοβολία μικρού μήκους κύματος απορροφάται κοντά στην επιφάνεια και χάνεται λόγω επανασύνδεσης (επιφάνειες και διεπαφές περιέχουν ατέλειες που δρουν ως κέντρα επανασύνδεσης).
- Η αντανάκλαστική επίστρωση δεν είναι τέλεια και μειώνει τον αριθμό των απορροφόμενων φωτονίων σε 80-90%.
- Το φωτοβολταϊκό φαινόμενο έχει συγκεκριμένους περιορισμούς

Στον παρακάτω πίνακα φαίνονται αναλυτικά οι απώλειες σε ένα Φ/Β στοιχείο. Από τον πίνακα προκύπτει ότι η αποδιδόμενη ηλεκτρική ενέργεια δεν ξεπερνάει το 18%. Το ποσοστό της ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται σε σχέση με την προσπίπτουσα ηλιακή ενέργεια συμβολίζει τον **συντελεστή απόδοσης** του υλικού.

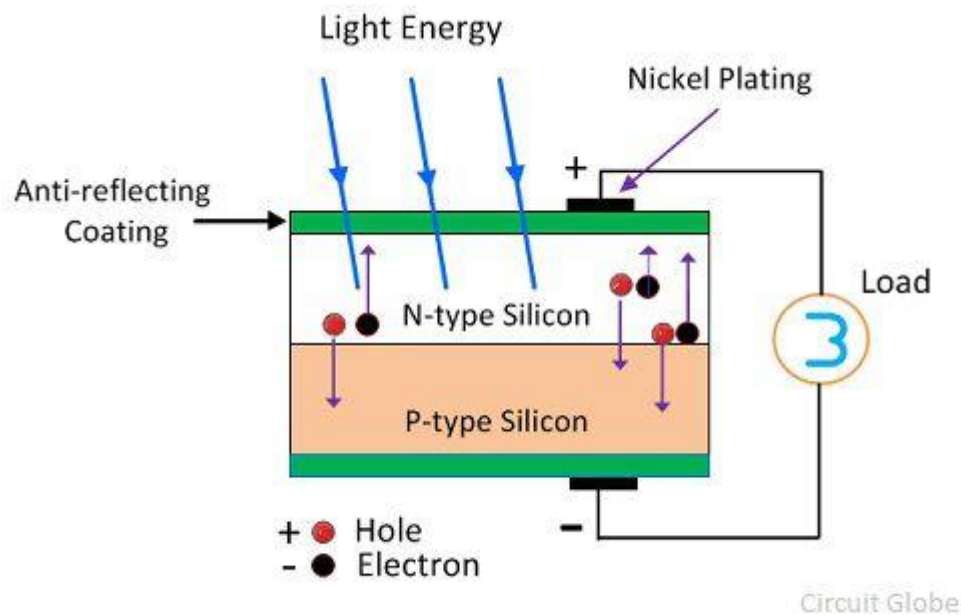
Πίνακας 2-1 Οι απώλειες αναλυτικά σε ένα Φ/Β στοιχείο

ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΠΟΥ ΕΠΗΡΕΑΖΟΥΝ ΤΙΣ ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ	ΗΛΙΑΚΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ ΠΟΥ ΔΕΝ ΜΕΤΑΤΡΕΠΕΤΑΙ ΣΕ ΗΛΕΚΤΡΙΣΜΟ
Υπερ-ενεργητικά φωτόνια	32%
Υπό-ενεργητικά φωτόνια	24%
Εσωτερικές απώλειες της κυψέλης	21%
Αντανακλάσεις στην επιφάνεια των Φ/Β	3%
Σχήμα κυψελών (κυκλικό, εξαγωνικό κ.λ.π.)	2%
<b>Σύνολο απωλειών</b>	<b>82%</b>

## 2.4 Κατασκευή Φωτοβολταϊκών Κυττάρων

Τα υλικά ημιαγωγών όπως το αρσενίδιο, το ίνδιο, το κάδμιο, το πυρίτιο, το σελήνιο και το γάλλιο χρησιμοποιούνται για την κατασκευή των φωτοβολταϊκών κυττάρων. Κυρίως το πυρίτιο και το σελήνιο χρησιμοποιούνται για την κατασκευή του κυττάρου.

Το παρακάτω σχήμα που δείχνει τις κατασκευές του φωτοβολταϊκού κυττάρου πυριτίου. Η ανώτερη επιφάνεια του κυττάρου κατασκευάζεται από το λεπτό στρώμα του υλικού τύπου p έτσι ώστε το φως να μπορεί εύκολα να εισέλθει στο υλικό. Οι μεταλλικοί δακτύλιοι είναι τοποθετημένοι γύρω από το υλικό τύπου p και n τύπου που ενεργούν ως θετικοί και αρνητικοί ακροδέκτες εξόδου αντίστοιχα.



Εικόνα 2-3 Ένα ΦΒ κύτταρο πυριτίου

Το πολυκρυσταλλικό ή μονοκρυσταλλικό ημιαγωγό καθιστούν την ενιαία μονάδα του φωτοβολταϊκού κυττάρου. Το μονοκρυσταλλικό κύτταρο κόβεται από τον όγκο του ημιαγωγίμου υλικού. Τα πολυκύτταρα λαμβάνονται από το υλικό το οποίο έχει πολλές πλευρές.

Η τάση εξόδου και το ρεύμα που λαμβάνονται από τη μοναδική μονάδα του στοιχείου είναι πολύ μικρότερη. Το μέγεθος της τάσης εξόδου είναι 0.6v, και το ρεύμα είναι 0.8v. Οι διαφορετικοί συνδυασμοί κυττάρων χρησιμοποιούνται για την αύξηση της απόδοσης της παραγωγής. Υπάρχουν τρεις τρόποι συνδυασμού των φωτοβολταϊκών κυψελών.

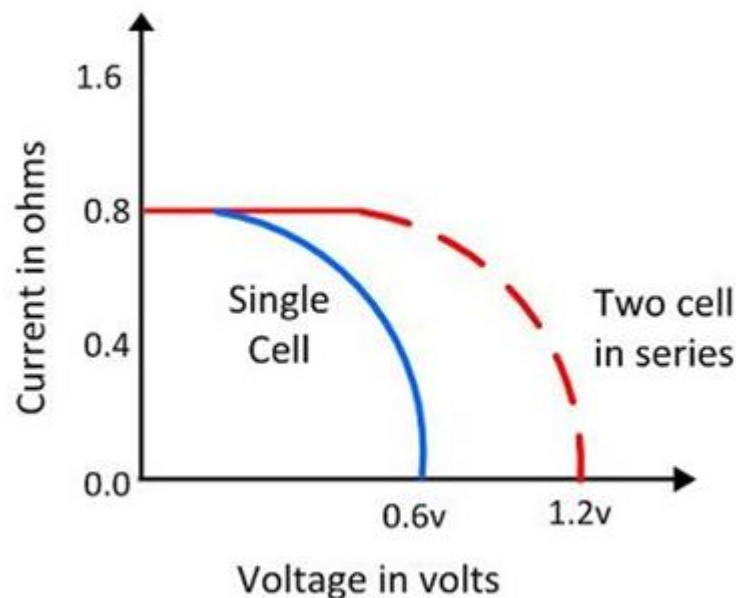
Η απευθείας παραγωγή ηλεκτρισμού από ηλιακή ενέργεια ήταν δυνατή από τον 19ο αιώνα. Έγινε όμως μικρή χρήση της τεχνολογίας αυτής, διότι με τις διατάξεις αυτές επιτυγχάνονταν παραγωγή ηλεκτρισμού σε μικρές μόνο ποσότητες. Το ηλιακό κύτταρο (πιο σωστά ) γνωστό και ως φωτοβολταϊκό κύτταρο ή κύτταρο PV (photovoltaic), είναι μικρός κρύσταλλος πυριτίου που έχει ως πρόσμιξη αλλά στοιχεία, όπως το βρόμιο και ο φώσφορος. Τέτοια κύτταρα μπορούν να μετατρέψουν ενέργεια φωτός σε ηλεκτρική ενέργεια. Η ηλεκτρική ενέργεια σχετίζεται με την κίνηση ηλεκτρονίων μέσα σε αγωγίμα υλικά.

Το ηλιακό κύτταρο είναι βασικά μια (κρύσταλλο) δίοδος. Η δίοδος επιτρέπει στο ρεύμα να διέρχεται εύκολα κατά τη μια φορά, ενώ το εμποδίζει κατά την αντίθετη φορά. Η ηλιακή ακτινοβολία που "χτυπά" το ηλιακό κύτταρο, γενικώς, θερμαίνει το υλικό αυξάνοντας τη θερμική κίνηση των ατόμων του ημιαγωγού. Αν η ενέργεια του κάθε φωτονίου είναι αρκετή, το ηλεκτρικό που την απορροφά μπορεί να μεταπηδήσει στη ζώνη αγωγιμότητας (από την ζώνη σθένους). Εκεί τα ηλεκτρόνια είναι "ελεύθερα" να κινηθούν ως φορείς ρεύματος.

Αν συνδεθούν πολλά κύτταρα μαζί σε κλειστό κύκλωμα, έχουν ροή ρεύματος, άρα δυνατότητα τροφοδοσίας ηλεκτρικών και ηλεκτρονικών διατάξεων.

## 2.5 Εν Σειρά Συνδυασμός Φ / Β κυττάρων

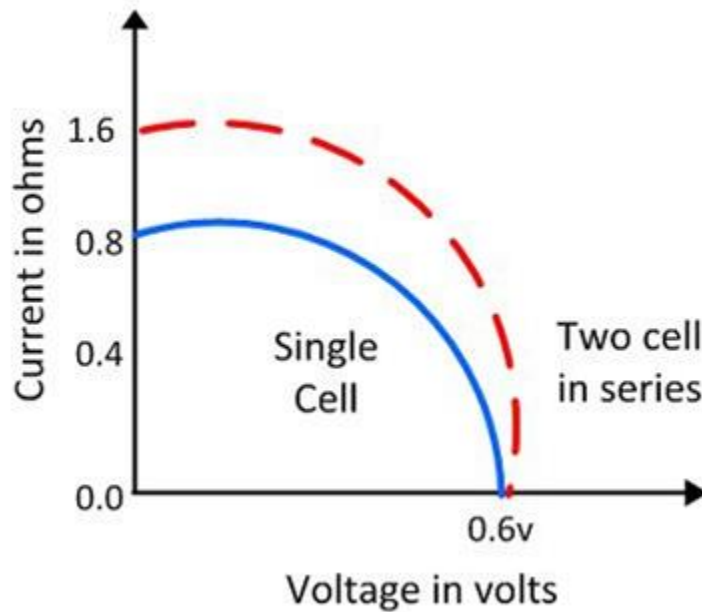
Εάν συνδέονται σε σειρά περισσότερα από δύο κελιά μεταξύ τους, τότε το ρεύμα εξόδου του κυττάρου παραμένει ίδιο και η τάση εισόδου του γίνεται διπλάσια. Το παρακάτω γράφημα δείχνει το χαρακτηριστικό εξόδου των φωτοβολταϊκών κυψελών όταν συνδέονται σε σειρά.



Σχήμα 2-2 Εν σειρά σύνδεση δύο ΦΒ κυττάρων: Ίδιο ρεύμα, διπλάσια τάση

## 2.6 Παράλληλος συνδυασμός φωτοβολταϊκών κυττάρων

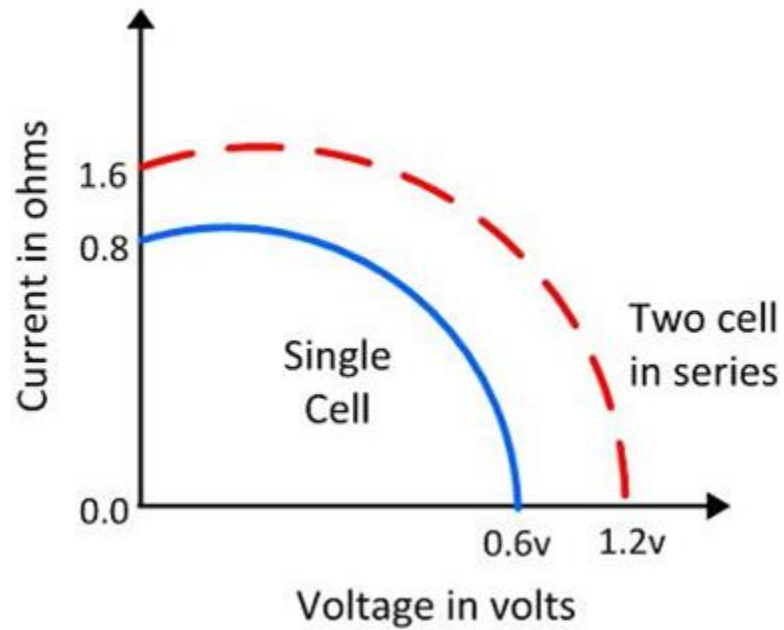
Στον παράλληλο συνδυασμό των κυψελών, η τάση παραμένει ίδια και το μέγεθος του ρεύματος γίνεται διπλό. Η χαρακτηριστική καμπύλη του παράλληλου συνδυασμού κυττάρων παρουσιάζεται παρακάτω.



Σχήμα 2-3 Παράλληλη σύνδεση δύο ΦΒ κυττάρων: ίδια τάση, διπλάσιο ρεύμα

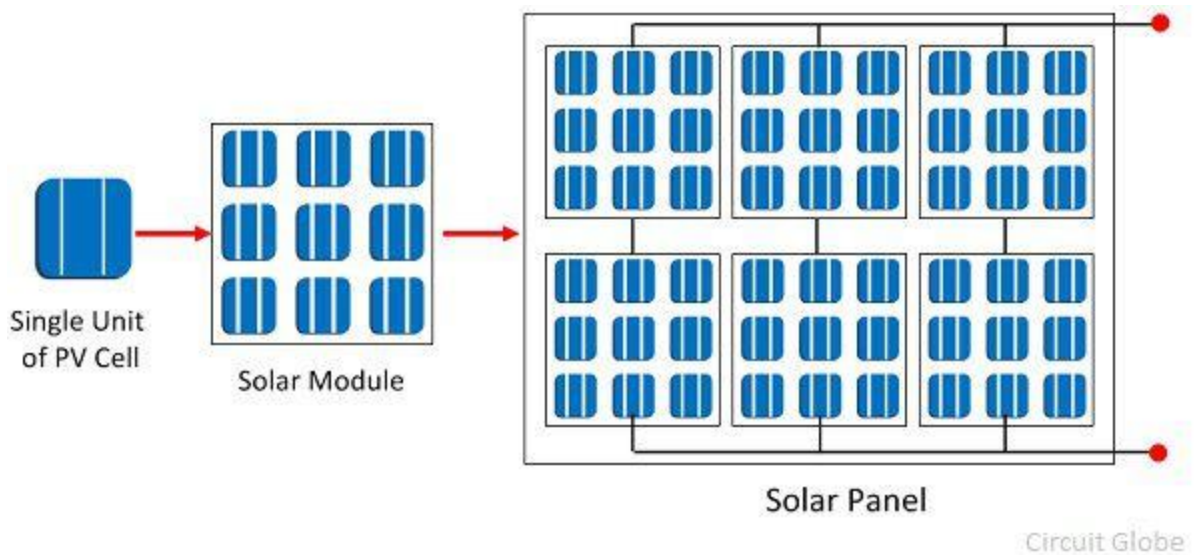
## 2.7 Μεικτός συνδυασμός φωτοβολταϊκών κυψελών

Στον μεικτό συνδυασμό κυττάρων το μέγεθος τόσο της τάσης όσο και του ρεύματος αυξάνεται. Έτσι, οι ηλιακοί συλλέκτες κατασκευάζονται χρησιμοποιώντας τον σειριακό παράλληλο συνδυασμό των κυψελών.



Σχήμα 2-4 Μικτή συνδεσμολογία : αυξάνεται και το ρεύμα και η τάση

Η ηλιακή μονάδα κατασκευάζεται με τη σύνδεση των μεμονωμένων ηλιακών κυψελών. Και ο συνδυασμός των ηλιακών μονάδων μαζί είναι γνωστός ως ηλιακός πίνακας ή ηλιακό πάνελ



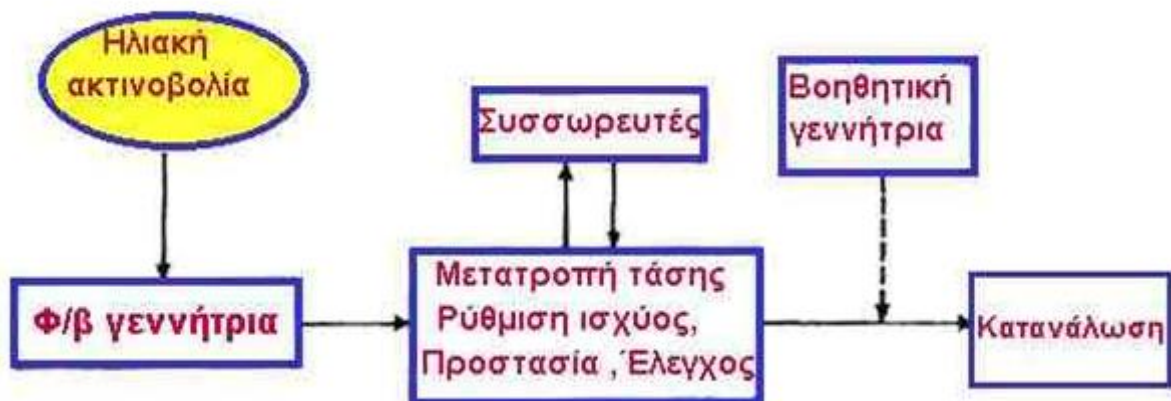
Σχήμα 2-5 Κατασκευή ηλιακού πάνελ

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 - ΓΕΝΙΚΗ ΔΟΜΗ ΤΟΥ Φ/Β ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

### 3.1 Τα μέρη από τα οποία αποτελείται ένα Φ/Β σύστημα

Οι κύριες συνιστώσες, οι οποίες απαρτίζουν ένα Φ/Β σύστημα, είναι οι ακόλουθες:

- Η Φ/Β γεννήτρια.
- Οι συσσωρευτές.
- Οι διατάξεις ελέγχου και ρύθμισης (η προστατευτική δίοδος, ο ρυθμιστής φόρτισης των συσσωρευτών-μετατροπέας dc/ac, ο αντιστροφέας dc/ac, τα φίλτρα, ο ανιχνευτής μεγάλης ισχύος).
- Ο πυκνωτής στην έξοδο του Φ/Β πάρκου.
- Ο μετασχηματιστής.
- Το σύστημα ελέγχου.



Διάγραμμα 3-1

Διάγραμμα ενός αυτόνομου Φ/Β συστήματος

Τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά ενός φωτοβολταϊκού συστήματος που λαμβάνονται υπόψη σε μια εφαρμογή είναι τα παρακάτω:

### 3.2 Φωτοβολταϊκό Πλαίσιο

Τα πλαίσια κατασκευάζονται έτσι ώστε να παρέχουν συνεχή ηλεκτρική τάση περίπου 17(V), ικανή να φορτίζει συσσωρευτές 12(V). Ο αριθμός των πλαισίων που χρησιμοποιούνται σε μια εγκατάσταση εξαρτάται από το συνολικό φορτίο της εγκατάστασης.

Τα φωτοβολταϊκά στοιχεία χωρίζονται σε δυο βασικές κατηγορίες



## 1. Κρυσταλλικού Πυριτίου

- a. Μονοκρυσταλλικού πυριτίου, με ονομαστικές αποδόσεις πλαισίων 14,5% έως 21%,
- b. Πολυκρυσταλλικού πυριτίου, με ονομαστικές αποδόσεις πλαισίων 13% έως 14,5%.2.

## 2. Λεπτών Μεμβρανών

- a. Άμορφου Πυριτίου, ονομαστικής απόδοσης ~7%.
- b. Χαλκοπυριτών CIS / CIGS, ονομαστικής απόδοσης από 7% έως 14%.

Το πυρίτιο (Si) είναι η βάση για το 90% περίπου της παγκόσμιας παραγωγής Φ/Β. Η κυριαρχία αυτή οφείλεται αρχικά στην τεράστια παγκόσμια επιστημονική και τεχνική υποδομή για το υλικό αυτό από τη δεκαετία του '60. Μεγάλες κυβερνητικές και βιομηχανικές επενδύσεις έγιναν σε προγράμματα για τις χημικές και ηλεκτρονικές ιδιότητες του Si, ώστε να δημιουργηθεί ο εξοπλισμός που απαιτείται στα βήματα της επεξεργασίας για την απόκτηση της απαραίτητης καθαρότητας και της κρυσταλλικής δομής του υλικού.

Η γνώση που προέκυψε έτσι για το πυρίτιο, τα χαρακτηριστικά του και η αφθονία του στη γη, το κατέστησαν ικανό και συμφέρον μέσο για την εκμετάλλευση της ηλιακής ενέργειας. Εντούτοις, λόγω του ότι είναι εύθραυστο, το πυρίτιο απαιτεί τον σχηματισμό στοιχείων σχετικά μεγάλου πάχους. Αυτό σημαίνει ότι μερικά από τα ηλεκτρόνια που απελευθερώνονται μετά την απορρόφηση της ηλιακής ενέργειας πρέπει να ταξιδέψουν μεγάλες αποστάσεις για να ενταχθούν στην ροή του ρεύματος και να συνεισφέρουν στο ηλεκτρικό κύκλωμα. Συνεπώς, το υλικό θα πρέπει να έχει υψηλή καθαρότητα και δομική τελειότητα, ώστε να αποτρέψει την επιστροφή των ηλεκτρονίων στις φυσικές τους θέσεις. Οι ατέλειες πρέπει να αποφευχθούν ώστε η ενέργεια του ηλεκτρονίου να μην μετατραπεί σε θερμότητα. Η παραγωγή θερμότητας, η οποία είναι επιθυμητή στα ηλιακά θερμικά πλαίσια, όπου αυτή η θερμότητα μεταφέρεται σε ένα ρευστό, είναι ανεπιθύμητη στα Φ/Β πλαίσια, όπου η ηλιακή ενέργεια θα πρέπει να μετατραπεί σε ηλεκτρική.

Το πυρίτιο, ανάλογα με την επεξεργασία του, δίνει μονοκρυσταλλικά, πολυκρυσταλλικά ή άμορφα υλικά, από τα οποία παράγονται τα Φ/Β στοιχεία.

Τα λεπτά υλικά είναι ένας τρόπος να μειωθεί το κόστος των Φ/Β πλαισίων και να αυξηθεί η απόδοσή τους. Εκτός από τη χρήση μικρότερης ποσότητας υλικού, ένα άλλο πλεονέκτημα είναι ότι ολόκληρα πλαίσια μπορούν να κατασκευαστούν παράλληλα με τη διαδικασία απόθεσης. Αυτό είναι συμφέρον οικονομικά, αλλά επίσης πολύ απαιτητικό τεχνικά, επειδή η επεξεργασία χωρίς ατέλειες αφορά μεγαλύτερη επιφάνεια.

Στα πλεονεκτήματα των πλαισίων λεπτού υμενίου τα οποία αναφέρθηκαν παραπάνω, θα πρέπει να αντιπαρατεθεί η ελαφρώς χαμηλότερη απόδοσή τους, που φτάνει μέχρι 14% στα τεχνολογίας CIS / CISG. Οι άλλες τεχνολογίες λεπτού υμενίου φτάνουν περίπου μέχρι 10%, ανάλογα με το υλικό. Πάντως η τεχνολογία λεπτού στρώματος (thin film) είναι σε φάση ανάπτυξης, αφού με διάφορες μεθόδους επεξεργασίας και χρήση διαφορετικών υλικών αναμένεται αύξηση της απόδοσης, σταθεροποίηση των χαρακτηριστικών τους και αύξηση της διείσδυσης στην αγορά. Σήμερα πάντως αποτελούν την πιο φθηνή επιλογή Φ/Β πλαισίων.

### **3.3 Συσσωρευτές**

Αποθηκεύουν την παραγόμενη από τα φωτοβολταϊκά πλαίσια ηλεκτρική ενέργεια, όταν δεν υπάρχει ηλιακή ακτινοβολία. Συνήθως χρησιμοποιούνται συσσωρευτές μολύβδου (Pb), με βαθμό εκφόρτισης 10-20% ή συσσωρευτές νικελίου-καδμίου (Ni-Cd), με δυνατότητα εκφόρτισης μέχρι 100% χωρίς πρόβλημα.

#### **3.3.1 Τύποι συσσωρευτών**

Οι μπαταρίες διακρίνονται σε 2 τύπους. Τις *μπαταρίες βαθιάς εκφόρτισης* και τις *μπαταρίες εκκίνησης*. Οι *μπαταρίες βαθιάς εκφόρτισης* ή *μπαταρίες φωτοβολταϊκών* χρησιμοποιούνται για την αποθήκευση ενέργειας για καθημερινή χρήση. Η δυνατότητα βαθιάς εκφόρτισης οφείλεται στις χοντρές πλάκες μολύβδου οι οποίες αντέχουν στην διάβρωση. Είναι πιο βαριές και μεγαλύτερες από τις μπαταρίες εκκίνησης. **Προτείνονται για αυτόνομα φωτοβολταϊκά συστήματα.** Διακρίνονται σε δύο τύπους :

- Ανοιχτού τύπου μπαταρίες με υγρά με ανοιγόμενες τάπες.

Κάθε κελί αποτελείται από 2 πλάκες μολύβδου (Pb) αντίθετα φορτισμένες. Ανάμεσα στις πλάκες υπάρχει υγρό διάλυμα θειικού οξέος. Η χημική αντίδραση μεταξύ των πλακών και του υγρού διαλύματος έχει σαν αποτέλεσμα την παραγωγή αρνητικά φορτισμένων ηλεκτρονίων και κατά συνέπεια την δημιουργία διαφοράς δυναμικού (V), δηλαδή την παραγωγή ρεύματος. Κατά την φόρτιση η χημική αντίδραση αντιστρέφεται.



Εικόνα 3-1 Μπαταρίες block 6V, 8V,12V ανοιχτού τύπου με υγρά

- Κλειστού τύπου VRLA (Valve Regulated Lead Acid) με μίας κατεύθυνσης βαλβίδες ασφαλείας
  - ο Κλειστού τύπου με gel. Στις μπαταρίες gel το θειικό οξύ είναι αναμεμιγμένο με καπνισμένο πυρίτιο (πυρογενές διοξείδιο του πυριτίου). Το αποτέλεσμα είναι ένα παχύρευστο υγρό που μοιάζει με ζελέ. Η χημική σύσταση είναι ίδια με τις μπαταρίες υγρών οξέων ανοιχτού τύπου, με την μόνη διαφορά πως στις πλάκες μολύβδου των μπαταριών gel αντί για το στοιχείο αντιμόνιο χρησιμοποιείται ασβέστιο. Το ασβέστιο απορροφά τα αέρια που εκλύονται κατά την χημική αντίδραση και τα ανακυκλώνει μέσα στην μπαταρία.



Εικόνα 3-2 Μπαταρίες block 6V, 8V,12V κλειστού τύπου με GEL

- ο *Κλειστού τύπου AGM (Absorbed glass mat)*. Στις μπαταρίες AGM ανάμεσα στις πλάκες μολύβδου, υπάρχει ένα πορώδες υλικό από ίνες γυαλιού εμποτισμένο με το διάλυμα θειικού οξέως. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα να παράγονται ελάχιστα αέρια κατά την χημική αντίδραση. Οι πλάκες περιέχουν ασβέστιο, το οποίο απορροφά τα αέρια του ηλεκτρολύτη.



*Εικόνα 3-3 Μπαταρίες block 6V, 8V,12V κλειστού τύπου AGM.*

Οι μπαταρίες ανοιχτού τύπου με υγρά έχουν τα παρακάτω χαρακτηριστικά:

- **Εύκολη παρακολούθηση** : ξεβιδώνοντας τα πώματα μπορούμε να παρακολουθούμε την περιεκτικότητα σε ηλεκτρολύτη και να μετράμε την πυκνότητα του με πυκνόμετρο
- **Μηνιαία αναζωογόνηση** : ο ρυθμιστής φόρτισης αναζωογονεί (equalization) την μπαταρία μία φορά τον μήνα παρέχοντας μεγάλη ποσότητα ρεύματος για μερικές ώρες. Με το equalization μειώνουμε τις πιθανότητες της δημιουργίας κρυστάλλων στην επιφάνεια της πλάκας μολύβδου και της θείωσης, παράγοντες που μειώνουν την διάρκεια ζωής των μπαταριών.
- **Έκλυση αερίων** : κατά την φόρτιση και αποφόρτιση εκλύουν αέρια, γι'αυτό προτείνεται να τοποθετούνται σε χώρο που αερίζεται. Επίσης οι μπαταρίες μπορούν να συνδεθούν με σωληνάκι, και να εκλύονται τα αέρια σε εξωτερικό χώρο.
- **Συντήρηση** : προτείνεται να γίνεται ένας τουλάχιστον έλεγχος κάθε εξάμηνο. Τα υγρά των μπαταριών πρέπει να καλύπτουν τα στοιχεία (πλάκες) μολύβδου. Προσθέτουμε απιονισμένο νερό μέχρι να τα καλύψουμε.

Οι μπαταρίες κλειστού τύπου χαρακτηρίζονται από τα παρακάτω

- Μηδενική συντήρηση : είναι ιδανικές για όσους δεν έχουν τον χρόνο ή ξεχνάνε να παρακολουθούν τις μπαταρίες τους
- Χωρίς μηνιαία αναζωογόνηση : δεν είναι δυνατό το equalization, γιατί οι μπαταρίες είναι κλειστού τύπου και υπάρχει κίνδυνος ατυχήματος
- Δεν εκλύονται αέρια : όσα αέρια δημιουργούνται ανακυκλώνονται μέσα στην μπαταρία. Ιδανική για κλειστούς χώρους ή για απομακρυσμένες εγκαταστάσεις που δεν είναι δυνατή η τακτική παρακολούθηση

### 3.3.2 Σωστή Χρήση μπαταριών

- Αποφόρτιση: Οι μπαταρίες δεν πρέπει να αποφορτίζονται πάνω από το 50% με 60% της συνολικής χωρητικότητας (η χωρητικότητα μετριέται σε αμπερώρια Ah). Οι καλής ποιότητας ινβέρτερ), διακόπτουν την λειτουργία τους όταν οι μπαταρίες αδειάσουν σε μεγαλύτερο ποσοστό.
- Φόρτιση: Για την σωστή φόρτιση των μπαταριών από φωτοβολταϊκά χρησιμοποιούνται ρυθμιστές φόρτισης τεχνολογίας MPPT ή PWM. Όταν φορτίζουμε τις μπαταρίες από γεννήτρια ή άλλη πηγή εναλλασσόμενου (AC) ρεύματος χρησιμοποιούνται φορτιστές-μετατροπείς AC σε DC. Σε διαφορετική περίπτωση υπάρχει κίνδυνος ατυχήματος και φυσικά καταστροφής των μπαταριών. Μπορούμε να μετρήσουμε το επίπεδο φόρτισης των μπαταριών κατά προσέγγιση, με πολύμετρο μετρώντας την τάση.

Μπαταρίες ανοιχτού τύπου υγρών οξέων			
	Τάση ανοιχτού κυκλώματος		Τάση με φορτίο
Τάση μπαταριών	Γεμάτη	Άδεια	Άδεια
2V	2,10V	1,95V	1,75V

12V	12,6V	11,7V	10,5V
24V	25,2V	23,4V	21V
48V	50,4V	46,8V	42V

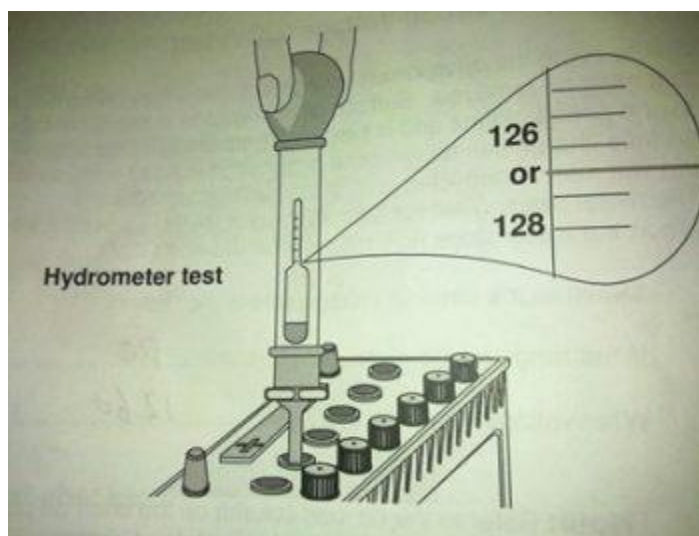


*Εικόνα 3-4 2V Batteries OPzV σε αυτόνομο φωτοβολταϊκό σύστημα με γεννήτρια*

### **3.3.3 Συντήρηση**

- Παρακολουθούμε τις μπαταρίες ανοιχτού τύπου υγρών οξέων μία φορά τουλάχιστον το εξάμηνο. Ανοίγουμε τα πώματα των κελιών και ελέγχουμε τα υγρά τους.
- Τα υγρά πρέπει να φτάνουν 1 με 2 πόντους πάνω από τις πλάκες. Εν συνεχεία μετράμε την τάση κάθε μπαταρίας με ένα πολύμετρο. Για πιο ακριβή μέτρηση του επιπέδου φόρτισης (SOC), χρησιμοποιούμε πυκνόμετρο και μετράμε την πυκνότητα των μπαταριών.

- Φροντίζουμε οι μπαταρίες να μην καλύπτονται από διάφορα υλικά (υφάσματα, χαρτόκουτα, κλπ)
- Θα πρέπει ο χώρος να αερίζεται επαρκώς ή να υπάρχει σωληνάκι απαγωγής των αερίων σε εξωτερικό χώρο
- Οι μπαταρίες αυτοεκφορτίζονται ακόμα και όταν δεν είναι συνδεδεμένες σε φορτία, γι'αυτό θα πρέπει να φορτίζονται τακτικά. Δεν αποσυνδέουμε ποτέ τον ρυθμιστή φόρτισης από τις μπαταρίες.



Εικόνα 3-5 Πυκνομέτρηση μπαταρίας – επίπεδο φόρτισης

Ποσοστό φόρτισης (SOC)	Πυκνότητα		
	27°C	37°C	47°C
100%	1,25-1,27	1.256-1,276	1,262-1,282
75%	1,21-1,23	1.216-1.236	1,222-1,242
50%	1,20-1,18	1,206-1,186	1,212-1,192
25%	1,16-1,15	1.166-1.156	1,172-1,162

### 3.3.4 Χαρακτηριστικά μπαταριών

Τα κύρια χαρακτηριστικά των μπαταριών είναι η **χωρητικότητα**, οι **κύκλοι ζωής** και η **τάση**.

Η **χωρητικότητα** των μπαταριών μετριέται σε **αμπερώρια (Ah)**. Μία μπαταρία με χωρητικότητα 100Ah, σημαίνει πως έχει την ικανότητα να παρέχει ρεύμα 100A (Ampere) για 1 ώρα (h) ή 50A για 2 ώρες, κοκ.

Ένας παράγοντας που επηρεάζει την χωρητικότητα είναι ο **χρόνος αποφόρτισης** της μπαταρίας. Όσο πιο σύντομα αποφορτίζει τόσο μειώνεται η χωρητικότητα. Για παράδειγμα η ίδια μπαταρία σε αποφόρτιση 100 ωρών (C100) παρέχει περισσότερο ρεύμα απ'ότι εάν αποφόρτιζε σε 20 ώρες (C20). Όταν αγοράζουμε μπαταρίες για αυτόνομα φωτοβολταϊκά συστήματα σε σπίτια, θα πρέπει να γνωρίζουμε την χωρητικότητα των μπαταριών σε ρυθμό αποφόρτισης είκοσι ωρών (C20).

Ο **αριθμός των κύκλων (cycles)** των μπαταριών, καθορίζει την **αντοχή στον χρόνο**. Όσο περισσότεροι είναι τόσο πιο πολλά χρόνια λειτουργεί ικανοποιητικά η μπαταρία. Σε αυτόνομο με μπαταρίες 300 κύκλων και χρήση περιστασιακή (πχ **εξοχική κατοικία**) οι μπαταρίες θα αντέξουν 3 με 4 χρόνια περίπου. Εάν οι μπαταρίες ήταν 600 κύκλων θα άντεχαν τα διπλάσια χρόνια (6 με 8).

Μία μπαταρία κάνει έναν πλήρη κύκλο όταν εκφορτιστεί μέχρι το σημείο που έχει ορίσει ο κατασκευαστής και ξαναφορτιστεί μέχρι το 100%. Ο **αριθμός των κύκλων διαμορφώνεται αναλόγως του ποσοστού εκφόρτισης της μπαταρίας και είναι αντιστρόφως ανάλογος με αυτόν**. Όταν αγοράζουμε μπαταρία πρέπει να προσέχουμε πόσους κύκλους έχει σε συνάρτηση με το ποσοστό αποφόρτισης. Για παράδειγμα, η ίδια μπαταρία σε ποσοστό αποφόρτισης 20% έχει 600 κύκλους ζωής και σε ποσοστό αποφόρτισης 50% έχει 400 κύκλους ζωής. **Οι μπαταρίες αυτόνομων συστημάτων δεν πρέπει να αποφορτίζονται κάτω από το 50% με 60%.**

Οι μπαταρίες διακρίνονται αναλόγως και της τάσης τους. Οι μπαταρίες που χρησιμοποιούνται σε αυτόνομα φωτοβολταϊκά είναι 2Volt, 6Volt, 8Volt ή 12Volt

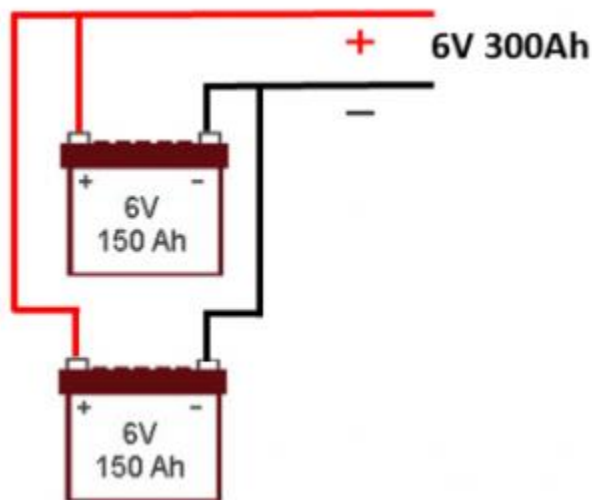


### 3.3.5 Συνδεσμολογία μπαταριών

Οι μπαταρίες συνδέονται μεταξύ τους παράλληλα ή σε σειρά. Συνδέουμε πάντα ίδιας τάσης, χωρητικότητας και τύπου μπαταρίες. Χρησιμοποιούμε τα καλώδια και τους συνδέσμους (πόλους, κος) που προτείνει ο κατασκευαστής των μπαταριών. Για την αποφυγή των συνεπειών βραχυκυκλώματος (καταστροφή μπαταριών, πυρκαγιά) τοποθετούμε πάντα ασφάλεια (μικροαυτόματος ή μαχαιρωτή ασφάλεια). Ακολουθούμε τις οδηγίες ασφαλείας του κατασκευαστή κατά την εγκατάσταση.

#### Παράλληλη σύνδεση μπαταριών

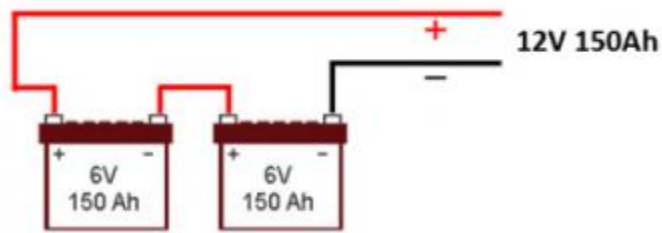
Συνδέουμε τις μπαταρίες παράλληλα όταν θέλουμε να αυξήσουμε την συνολική χωρητικότητα. Δύο μπαταρίες 12Volt– 100Ah η κάθε μία, συνδεδεμένες παράλληλα δημιουργούν μία νέα, με τάση 12Volt και χωρητικότητα 200Ah



Εικόνα 3-6 Σύνδεση παράλληλα μπαταριών

#### Σύνδεση σε σειρά μπαταριών

Συνδέουμε τις μπαταρίες σε σειρά όταν θέλουμε να αυξήσουμε την συνολική τάση. Δύο μπαταρίες 12Volt– 100Ah η κάθε μία, συνδεδεμένες σε σειρά δημιουργούν μία νέα, με τάση 24Volt και χωρητικότητα 100Ah



Εικόνα 3-7 Σύνδεση σε σειρά μπαταριών

### 3.3.6 Τύποι μπαταριών στην αγορά

Ψάχνοντας στο ίντερνετ βρίσκουμε μπαταρίες με πολύ διαφορετικές τιμές και ονομασίες. Συχνότεροι τύποι μπαταριών που συναντάμε είναι :

α) **OPzS**: υψηλής ποιότητας μπαταρίες 2Volt, ανοιχτού τύπου υγρών οξέων με κυλινδρικές πλάκες μολύβδου. Οι καλύτερες και πιο ακριβές μπαταρίες για αυτόνομα συστήματα. Κύκλοι ζωής 2500 με 3500 στο 80% αποφόρτισης. Η καλύτερη επιλογή για αυτόνομα φωτοβολταϊκά



Εικόνα 3-8 2 Volt μπαταρίες OPzS

β) **OPzV**: υψηλής ποιότητας μπαταρίες 2Volt, κλειστού τύπου με Gel με κυλινδρικές πλάκες μολύβδου. Οι καλύτερες και πιο ακριβές μπαταρίες για αυτόνομα συστήματα. Κύκλοι ζωής 2500 με 3500 στο 80% αποφόρτισης. Η καλύτερη επιλογή για αυτόνομα φωτοβολταϊκά



Εικόνα 3-9 2V Batteries OPzV

ε)PzS: υψηλής ποιότητας μπαταρίες 2Volt ανοιχτού τύπου υγρών οξέων. Χρησιμοποιούνται κατά βάση σε κλάρκ και ηλεκτρικά αμαξίδια. Μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε αυτόνομα συστήματα υπό προϋποθέσεις. Κύκλοι ζωής 1000 με 2000 στο 50% αποφόρτισης. Προσιτές τιμές.



Εικόνα 3-10 μπαταρία PzS με στοιχεία 2V

δ) SOPzS & SOPzV: νέος τύπος μπαταριών για αυτόνομα συστήματα. Κατατάσσονται ανάμεσα στις PzS και OPzS-OPzV. Έχουν 2500 κύκλους ζωής

στο 50% της αποφόρτισης. Ιδανικές για αυτόνομα φωτοβολταϊκά συστήματα. Προσιτές τιμές



*Εικόνα 3-11 Μπαταρίες βαθιάς εκφόρτισης 2V SOPzV GEL για αυτόνομα φωτοβολταϊκά συστήματα*

ε)**Block** μπαταρίες : μπαταρίες 6Volt, 8Volt ή 12Volt. Σε διαφορετικούς τύπους (VRLA Gel, VRLA AGM, Flooded (ανοιχτού τύπου υγρών)). Οι κύκλοι ζωής κυμαίνονται ανάλογα με τον κατασκευαστή και τον τύπο από 300 έως 1000 στο 50% αποφόρτισης. Οι πιο διαδεδομένες και οικονομικές μπαταρίες της αγοράς.



*Εικόνα 3-12 μπαταρίες bloc 12V Gel – ανοιχτού τύπου υγρών – AGM*

### **3.4 Προστατευτική δίοδος**

Χρησιμοποιείται για την αποφυγή της εκφόρτισης των συσσωρευτών διαμέσου της Φ/Β γεννήτριας, κάτι που θα μπορούσε να συμβεί σε περίπτωση που μειωνόταν σημαντικά η τάση της.

### 3.5 Ρυθμιστής συνεχούς τάσης (voltage regulator or controller )

Ο ρυθμιστής φόρτισης αποτελεί το σύνδεσμο μεταξύ των φωτοβολταϊκών πλαισίων, των συσσωρευτών και του φορτίου. Προστατεύει τους συσσωρευτές από υπερφόρτιση ή ολική αποφόρτιση. Ρυθμίζει την ροή του ρεύματος από τα φωτοβολταϊκά πλαίσια προς τους συσσωρευτές και διατηρεί την κανονική τάση φόρτισης των συσσωρευτών.

### 3.6 Μετατροπέας(inverter)

Ο μετατροπέας μετατρέπει τη συνεχή τάση είτε των πλαισίων είτε των συσσωρευτών, σε εναλλασσόμενη τάση, για την κάλυψη των περισσότερων εφαρμογών. Η συνεχή τάση εφαρμόζεται στα άκρα μιας γέφυρας, η οποία αποτελείται από διακοπτικά στοιχεία (thyristors, IGBT) διαμέσου των οποίων παράγεται η επιθυμητή εναλλασσόμενη τάση.

### 3.7 Inverters 12V,24V,48V σε 220V φωτοβολταϊκών αυτόνομων

Το inverter (αντιστροφέας ) για **αυτόνομα φωτοβολταϊκά** συστήματα ( off grid ), μετατρέπει το συνεχές ρεύμα (DC) , 12, 24 ή 48V σε εναλλασσόμενο (AC) 220V-230V. Το εναλλασσόμενο ρεύμα είναι αναγκαίο για να λειτουργήσουν η συντριπτική πλειονότητα των ηλεκτρικών συσκευών. Η βασική διαφορά ενός **αυτονόμου off grid inverter** με τους αντιστροφείς των διασυνδεδεμένων φωτοβολταϊκών συστημάτων (on grid), είναι πως λειτουργούν αυτόνομα χωρίς σύνδεση στο ηλεκτρικό δίκτυο ΔΕΗ-ΔΕΔΔΗΕ. Εκτός από το ινβέρτερ, τα αυτόνομα συστήματα αποτελούνται από τα φωτοβολταϊκά πάνελ, τον ρυθμιστή φόρτισης και τις μπαταρίες βαθιάς εκφόρτισης.

#### 3.7.1 Off grid inverters

Τα ινβέρτερ αυτόνομων συστημάτων διακρίνονται σε :

- Ινβέρτερς τροποποιημένου ημιτόνου (modified sine wave)
- *Ινβέρτερς Καθαρού ημιτόνου* (pure/true sine wave):Τα **Ινβέρτερς Καθαρού ημιτόνου** είναι τα πιο συνήθη σε εγκαταστάσεις φωτοβολταϊκών γιατί η συντριπτική πλειοψηφία των ηλεκτρικών συσκευών απαιτούν ρεύμα καθαρού ημιτόνου. Παράλληλα οι

αντιστροφείς τροποποιημένου είναι ενεργοβόροι, γιατί έχουν μεγαλύτερη ιδιοκατανάλωση κατά 20-30%.

### 3.7.2 Inverters με φορτιστή (υβριδικά)

Στην κατηγορία αυτή ανήκουν οι αντιστροφείς αυτόνομων, με ενσωματωμένο φορτιστή μπαταριών και την δυνατότητα σύνδεσής τους στο δίκτυο της ΔΕΗ ή σε μία άλλη πηγή ρεύματος AC (πχ γεννήτρια), ώστε να την χρησιμοποιούμε σε περιπτώσεις ανάγκης. Τα ινβέρτερ αυτού του τύπου μπορούν να συνδυαστούν με ινβέρτερ διασυνδεδεμένων συστημάτων, αλλά και με το δίκτυο της ΔΕΗ.

### 3.7.3 AC coupling

Με την τεχνική του AC coupling σε αυτόνομα φωτοβολταϊκά, μπορούμε να συνδυάσουμε on grid inverter με υβριδικό off grid inverter. Η τεχνική αυτή βρίσκει εφαρμογή σε αυτόνομα φωτοβολταϊκά ισχύος 1,5-2kW και μεγαλύτερα.

Επίσης είναι ιδανική στις περιπτώσεις των φωτοβολταϊκών εγκαταστάσεων, που χρησιμοποιούν το δίκτυο της ΔΕΗ σαν εφεδρική μπαταρία, μειώνοντας έτσι το κόστος για την αγορά πολλών μπαταριών.



Εικόνα 3-13

*Ac coupling σε αυτόνομο φωτοβολταϊκό*

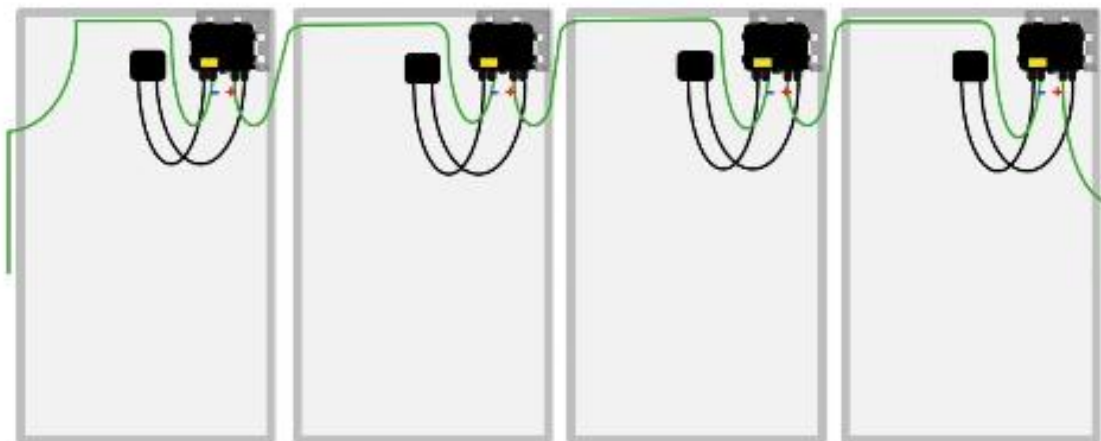
### 3.8 Βελτιστοποιητές (optimizers) απόδοσης φωτοβολταϊκών πάνελς

Φωτοβολταϊκά πάνελ που σκιάζονται, ή με κακό προσανατολισμό, ή ακόμα και διαφορετικά πάνελς στην ίδια στοιχειοσειρά (string), είναι από τις πιο σημαντικές αιτίες που μειώνουν την απόδοση του φωτοβολταϊκού. Αρκούν 1-2 πάνελς με κάποια από τα παραπάνω προβλήματα για να μειωθεί κατά πολύ η απόδοση όλου του φωτοβολταϊκού συστήματος



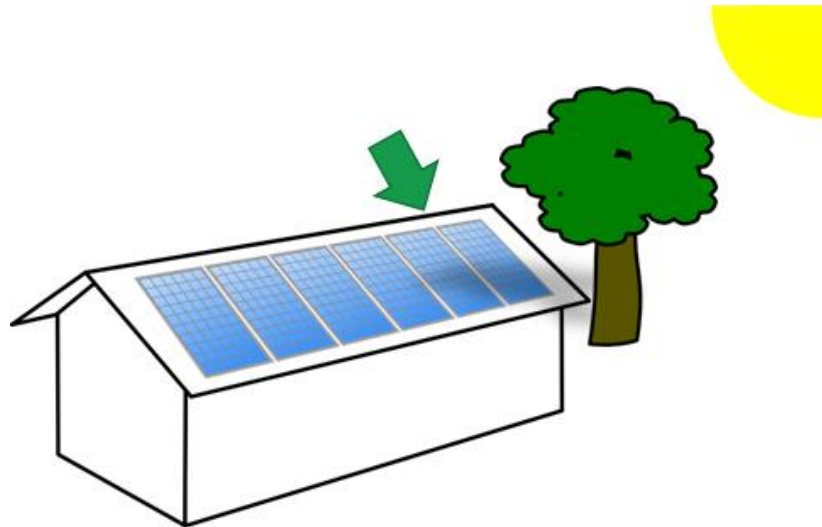
Εικόνα 3-14 Βελτιστοποιητής απόδοσης φωτοβολταϊκού

Λύση αποτελούν οι βελτιστοποιητές απόδοσης. Εφαρμόζονται εύκολα στη πίσω πλευρά του πάνελ. Ένας βελτιστοποιητής συνδέεται με ένα πάνελ, και με την υπάρχουσα στοιχειοσειρά (string), δεν απαιτείται επιπλέον καλωδίωση



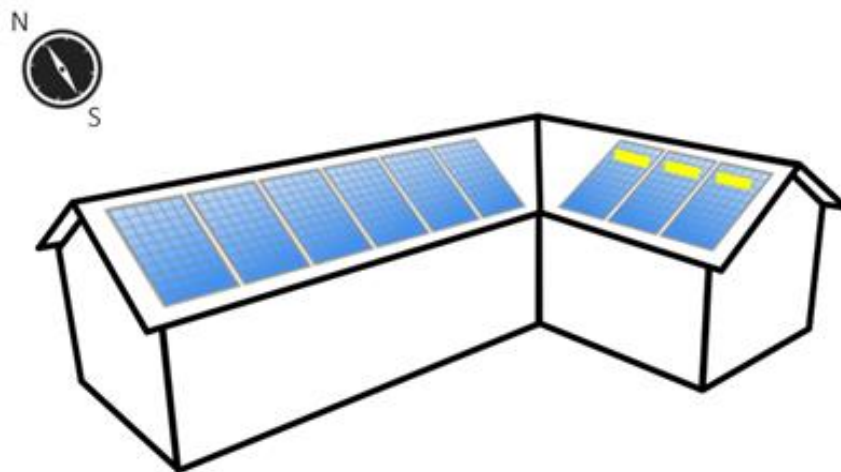
Εικόνα 3-15 Τοποθέτηση και καλωδίωση του βελτιστοποιητή απόδοσης φωτοβολταϊκού

Ο βελτιστοποιητής απόδοσης είναι συμβατός με όλα τα ινβέρτερ δικτύου της αγοράς, δεν χρειάζεται αλλαγή ινβέρτερ φωτοβολταϊκού και σχεδόν με όλα τα φωτοβολταϊκά πάνελς



Εικόνα 3-16 Βελτιστοποιητής απόδοσης σε φωτοβολταϊκά που σκιάζονται

Δυνατότητα προαιρετικής απομακρυσμένης παρακολούθησης μέσω ιντερνετ σε επίπεδο φωτοβολταϊκού πάνελ



Εικόνα 3-17 Βελτιστοποιητές απόδοσης σε φωτοβολταϊκά με κακό προσανατολισμό



### **3.9 Φίλτρα και άλλες τεχνικές μείωσης αρμονικών**

Χρησιμοποιούνται για την εξάλειψη αρμονικών συχνοτήτων τάσης, επιβλαβείς για τα φορτία, που δεν μπορεί να εξαλείψει ο μετατροπέας

#### **3.9.1 Φίλτρα**

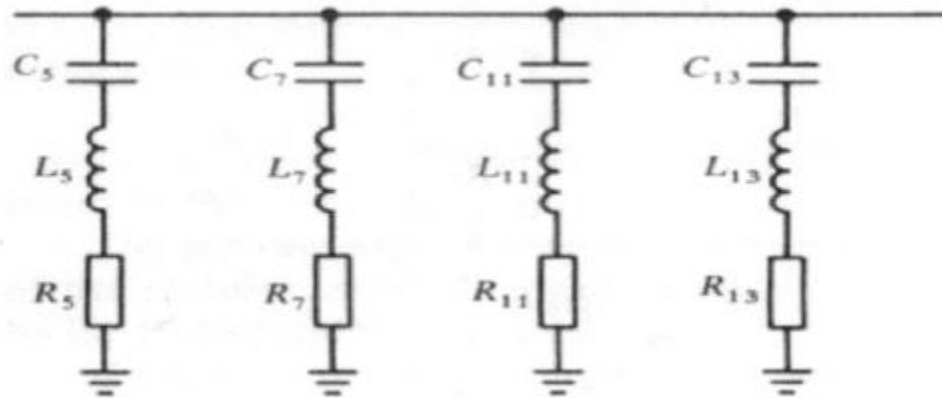
Ο σκοπός των φίλτρων είναι ο περιορισμός του αρμονικού περιεχόμενου μιας κυματομορφής καθώς αυτή περνά από την είσοδο στην έξοδο. Με άλλα λόγια τα φίλτρα εξομαλύνουν της κυματομορφές τάσης, ρεύματος με στόχο την καλύτερη και αποδοτικότερη λειτουργία των ηλεκτρικών φορτίων, την αποτροπή διάχυσης στο δίκτυο ανεπιθύμητων αρμονικών συνιστωσών και τέλος τον περιορισμό των παρεμβολών στις ραδιοσυχνότητες, RFI (Radio-Frequency Interference). Ως απόλυτο φιλτράρισμα για τις κυματομορφές συνεχούς (DC) νοείται η σταθερή συνάρτηση, ενώ για τις εναλλασσόμενες (AC) νοείται η ημιτονοειδής συνάρτηση.

Αποτελούνται από συνδυασμό πηνίων και ειδικών πυκνωτών κατάλληλα διαστασιοποιημένων, ώστε να συντονίζονται (να ελαχιστοποιούν τη σύνθετη αντίδρασή τους) σε επιλεγμένες συχνότητες και διαχωρίζονται σε βαθμίδες.

Έχουν τη δυνατότητα ελέγχου από ρυθμιστή ο οποίος ανάλογα με τη ζήτηση του φορτίου είτε βάζει εντός, είτε θέτει εκτός βαθμίδες πηνίων –πυκνωτών, ούτως ώστε να αποφεύγεται το φαινόμενο της υπεραντιστάθμισης.

#### **3.9.2 Παθητικά φίλτρα γραμμής AC (AC Passive Filters) ή αποσυντονισμένα φίλτρα**

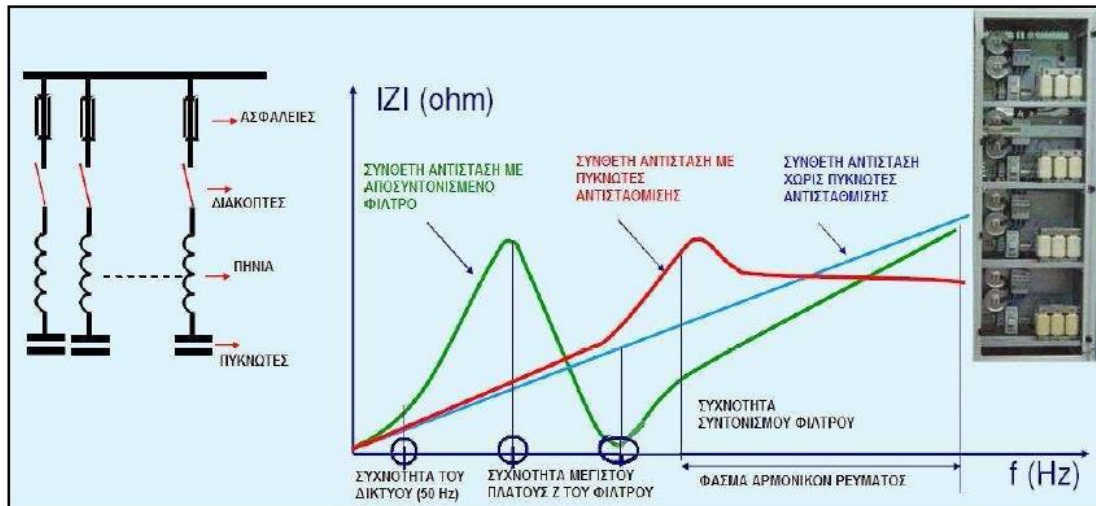
Για να περιορίσουμε την διείσδυση αρμονικών στο δίκτυο AC από ένα φορτίο ανορθωτή ή από μία συνολική ηλεκτρική εγκατάσταση, φίλτρα αρμονικών μπορεί να συνδεθούν μεταξύ κάθε γραμμής και του ουδετέρου, όπως φαίνονται στο Σχήμα 3-1. Σε μια τριφασική γραμμή τα φίλτρα είναι τριφασικά και συνδέονται κατά αστέρα ή τρίγωνο. Αυτά είναι παθητικά φίλτρα RLC υπολογισμένα κατάλληλα έτσι ώστε να απορροφούν ανά κλάδο το ρεύμα συγκεκριμένης αρμονικής και να το οδηγούν στη γη, αποτρέποντας την κυκλοφορία του σε όλο το δίκτυο.



Σχήμα 3-1 Φιλτράρισμα αρμονικών σε γραμμή AC.

Τα αποσυντονισμένα φίλτρα είναι σχεδιασμένα να αποκόπτουν ρεύματα σε συχνότητες κοντινές σε αυτές των ρευμάτων αρμονικών που εμφανίζονται στο δίκτυο. Ο λόγος που σχεδιάζονται κατ'αυτόν τον τρόπο είναι για να μπορούν να αποκόπτουν ένα εύρος ρευμάτων αρμονικών (στην περιοχή των συχνοτήτων που ενδιαφέρει), περιορίζοντας ταυτόχρονα περισσότερες από μία αρμονικές και μειώνοντας συγχρόνως την ολική αρμονική παραμόρφωση (THD-I %). Είναι φίλτρα που απαιτούν ιδιαίτερη τεχνογνωσία κατά το σχεδιασμό τους, καθώς δεν συντονίζονται απόλυτα στις αρμονικές που εμφανίζονται στο εκάστοτε δίκτυο κι έτσι δεν παρουσιάζεται κίνδυνος εμφάνισης πολύ υψηλών ρευμάτων στους βρόχους που συνδέονται.

Ο τρόπος με τον οποίο τα αποσυντονισμένα φίλτρα αποκόπτουν τις αρμονικές του δικτύου φαίνεται καλύτερα και στο παρακάτω διάγραμμα συσχετισμού της Σύνθετης Αντίστασης ενός κλάδου και της Συχνότητας του ρεύματος το οποίο τον διαρρέει.



Εικόνα 3-18 Σχηματική απεικόνιση ενός αποσυντονισμένου φίλτρου και της αρχής λειτουργίας του

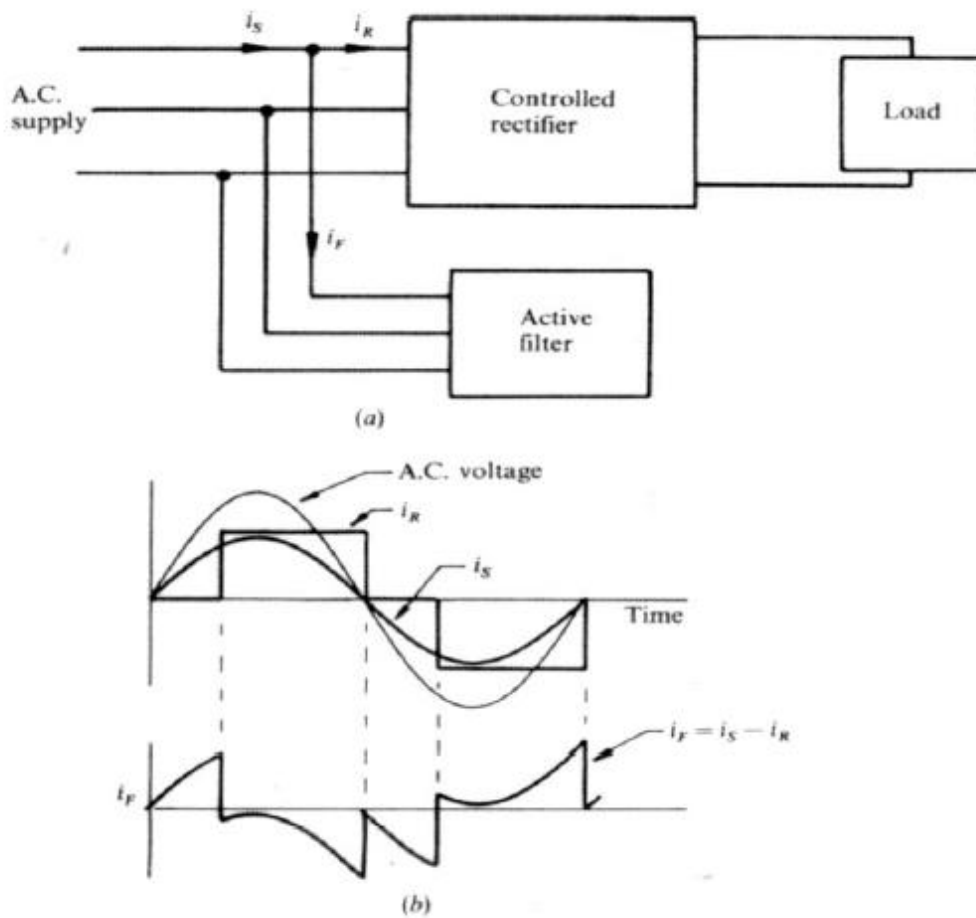
Στο πιο πάνω διάγραμμα φαίνεται καθαρά η διαφοροποίηση της σύνθετης αντίστασης του κλάδου ενός αποσυντονισμένου φίλτρου σε σχέση με αυτήν που θα είχε ο κλάδος αυτός αν δεν υπήρχε το φίλτρο. Στην περίπτωση λοιπόν που τοποθετείται αποσυντονισμένο φίλτρο σε κάποιο σημείο του δικτύου, αυτό εμφανίζει μία πολύ μικρή σύνθετη αντίσταση στη συχνότητα συντονισμού του, με αποτέλεσμα τα ρεύματα τόσο σε αυτήν όσο και σε κοντινές συχνότητες στη συχνότητα συντονισμού του φίλτρου να διέρχονται όλα από τον εν λόγω κλάδο (αποκοπή). Έτσι τα αποσυντονισμένα φίλτρα αποκόπτουν ένα εύρος αρμονικών ρευμάτων και όχι μία συγκεκριμένη αρμονική ρεύματος. Μειονέκτημά τους όμως είναι ότι έτσι δεν μπορούν να φιλτράρουν το 100% της αρμονικής παραμόρφωσης, με αποτέλεσμα να παραμένουν έπειτα και κάποιες αρμονικές στο δίκτυο.

### 3.9.3 Ενεργά φίλτρα (Active Filters) ή συντονισμένα φίλτρα

Ως γνωστό, τα μη γραμμικά φορτία λειτουργούν με μη ημιτονοειδή ρεύματα, τα οποία προκαλούν πληθώρα προβλημάτων. Μια μέθοδος μετατροπής των μη ημιτονοειδών ρευμάτων σε ημιτονοειδή και μάλιστα σε φάση συνεχώς με την τάση είναι να χρησιμοποιήσουμε ένα PWM μετατροπέα παράλληλα με το φορτίο, Σχήμα 3-2. Ο μετατροπέας αυτός καλείται ενεργό φίλτρο.

Ο ρόλος του ενεργού φίλτρου φαίνεται στο Σχήμα 3-2, όπου ένας ελεγχόμενος ανορθωτής απορροφά από το δίκτυο AC ένα ρεύμα,  $i_R$ , σχεδόν τετραγωνικό. Σ' αυτή την περίπτωση ο ελεγχόμενος ανορθωτής είναι τριφασική πλήρως

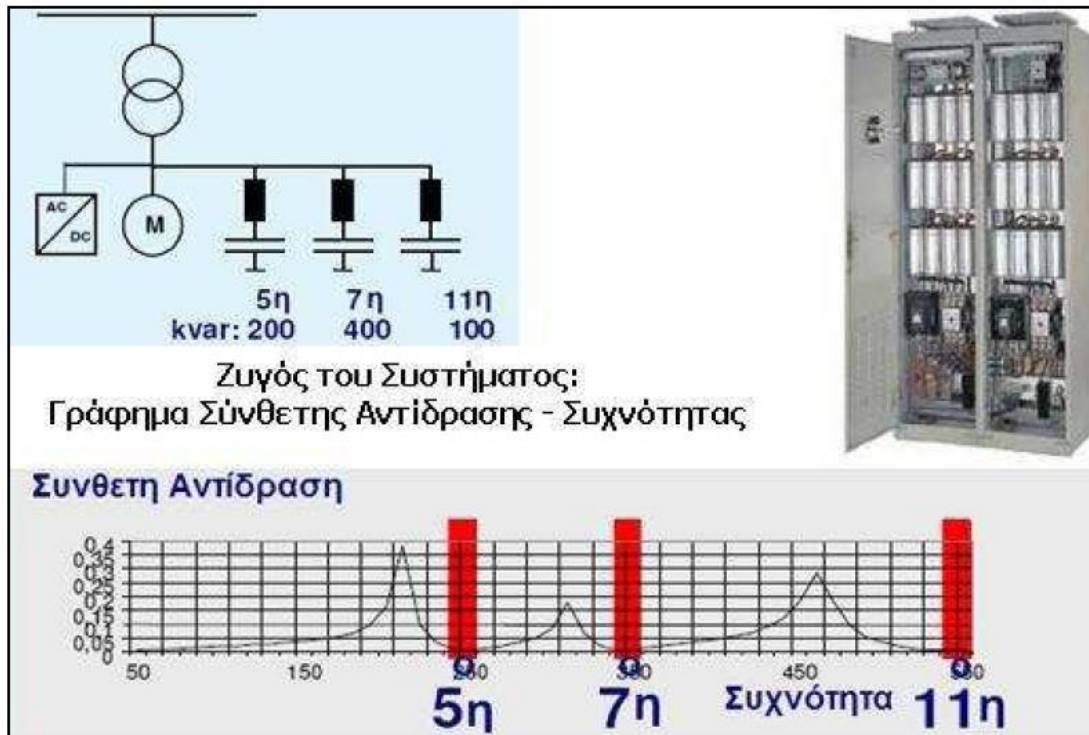
ελεγχόμενη γέφυρα, που λειτουργεί με γωνία έναυσης 300 και τροφοδοτεί ένα φορτίο με μεγάλη αυτεπαγωγή. Για να μετατραπεί το σχεδόν τετραγωνικό ρεύμα σε ημιτονοειδές, το φίλτρο πρέπει να απορροφήσει το ρεύμα  $i_F$ , που φαίνεται στο Σχήμα 3-2(b). Το φίλτρο δεν καταναλώνει ισχύ, ενώ η ισχύς φορτίου προσφέρεται από το σε φάση με την τάση ρεύμα τροφοδοσίας, και το φίλτρο εξουδετερώνει όλη την άεργη ισχύ και τις αρμονικές συνιστώσες ρεύματος, που απορροφώνται από τον ανορθωτή.



Σχήμα 3-2 Ο ρόλος ενός ενεργού φίλτρου. (α) Σύνδεση στο κύκλωμα. (β) Κυματομορφές ρεύματος.

Τα συντονισμένα φίλτρα είναι σχεδιασμένα να αποκόπτουν ρεύματα σε συχνότητες ίδιες με αυτές των αρμονικών ρευμάτων που εμφανίζονται στο δίκτυο. Αποτελούνται από βαθμίδες πυκνωτών και πηνίων συνδεδεμένων εν σειρά. Η κάθε βαθμίδα έχει τη δική της συχνότητα συντονισμού και μάλιστα τέτοια που να αποκόπτει μία συγκεκριμένη αρμονική ρεύματος.

Αυτό φαίνεται αναλυτικά και στο παρακάτω σχήμα.

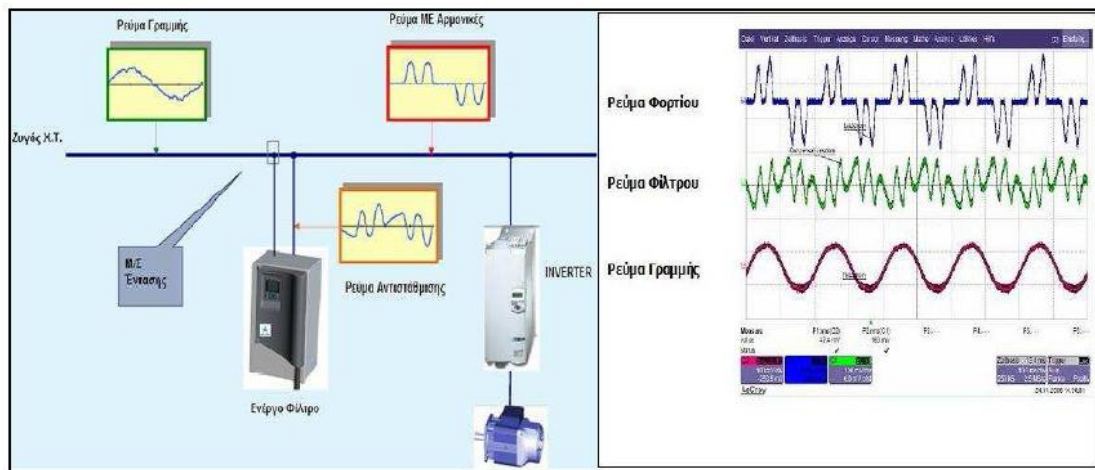


Εικόνα 3-19 Σχηματική απεικόνιση ενός συντονισμένου φίλτρου και της αρχής λειτουργίας του

Με τα συντονισμένα φίλτρα αποκοπής αρμονικών επιτυγχάνεται άριστη μείωση της ολικής αρμονικής παραμόρφωσης στο δίκτυο καθώς αποκόπτουν ακριβώς τις αρμονικές (5η, 7η, 11η...) που υπάρχουν στο τελευταίο. Οι συχνότητες συντονισμού των συντονισμένων φίλτρων βρίσκονται πάρα πολύ κοντά (σχεδόν ακριβώς) στις αντίστοιχες συχνότητες των αρμονικών ρευμάτων που αποκόπτουν. Αποτέλεσμα αυτού είναι οι σύνθετες αντιστάσεις των φίλτρων να είναι υπερβολικά μικρές και έτσι να δημιουργούνται υψηλά ρεύματα αρμονικών που οδηγούν τις πυκνωτικές διατάξεις του φίλτρου σε μεγάλη καταπόνηση. Το παραπάνω, σε συνδυασμό με το γεγονός ότι δεν αντισταθμίζουν εύκολα την άεργο ισχύ σε δυναμικά φορτία και ενέχουν τον κίνδυνο απορρόφησης αρμονικών ρευμάτων από τη μεριά της Υψηλής Τάσης του Μετασχηματιστή Ισχύος, τα καθιστά ιδιαίτερα απαιτητικά στο σχεδιασμό, την υλοποίηση και τελικά την εγκατάστασή τους στη βιομηχανία

Παράλληλα, βασικά τους πλεονεκτήματα αποτελούν η άριστη αποκοπή των αρμονικών του δικτύου - σε ποσοστό μεγαλύτερο από αυτό που πετυχαίνεται με τα αποσυντονισμένα φίλτρα - καθώς και το γεγονός ότι παράλληλα με τον καθαρισμό των αρμονικών αντισταθμίζουν και την άεργο ισχύ του δικτύου.

Τα ενεργά φίλτρα είναι διατάξεις ηλεκτρονικών ισχύος που παράγουν και διοχετεύουν στο δίκτυο το αντίθετο ρεύμα αρμονικών από αυτό που δημιουργούν οι πηγές αρμονικών του δικτύου. Σχηματικά αυτό φαίνεται στις εικόνες (εικ. 6, 7) που ακολουθούν.



Εικόνα 3-20 Σχηματική απεικόνιση της αρχής λειτουργίας ενός ενεργού φίλτρου

Χρησιμοποιούνται σε περιπτώσεις όπου ο ΜΗ αντισταθμισμένος συντελεστής ισχύος είναι κοντά στη μονάδα και επομένως δεν απαιτείται τόσο αντιστάθμιση αέργου όσο μείωση της Ολικής Αρμονικής Παραμόρφωσης (THD %). Είναι ιδιαίτερα ακριβές λύσεις και γι'αυτόν τον λόγο χρησιμοποιούνται σε περιπτώσεις όπου ισχύουν αρκετές ή όλες από τις παρακάτω συνθήκες σε μια εγκατάσταση:

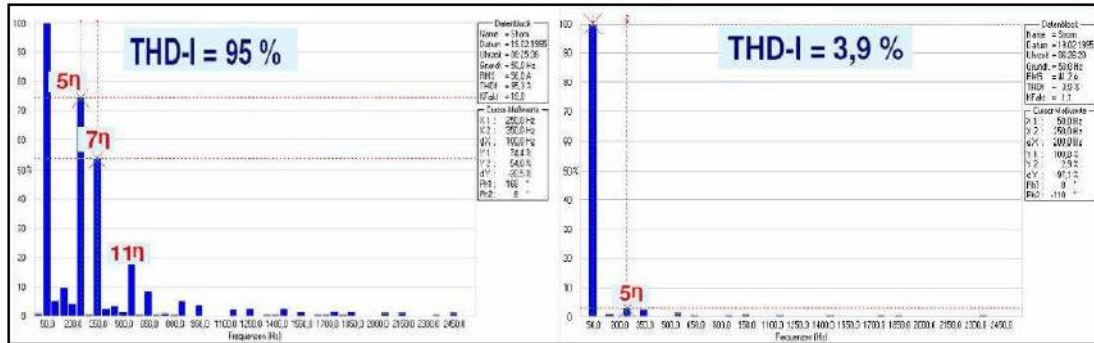
- Υπάρχει μεγάλο περιεχόμενο σε ΜΗ γραμμικά φορτία
- Οι απαιτήσεις για καλή ποιότητα τάσης και ρεύματος είναι ιδιαίτερα αυξημένες ( $THD V \% < 3$ )
- Υπάρχει Δυναμική Μεταβολή της Ολικής Αρμονικής Παραμόρφωσης
- Υπάρχουν ταχέως μεταβαλλόμενα ΜΗ γραμμικά φορτία (π.χ. Νοσοκομεία, ακτίνες X κλπ.)
- Υπάρχει ευαίσθητος ηλεκτρονικός Εξοπλισμός

Το βασικότερο πλεονέκτημα των ενεργών φίλτρων είναι ότι πετυχαίνουν ολοκληρωτική αποκοπή των αρμονικών που εμφανίζονται στο δίκτυο μειώνοντας σχεδόν 100% την Ολική Αρμονική Παραμόρφωση. Επιπλέον, είναι εύκολα στην εγκατάσταση αφού δεν πιάνουν ιδιαίτερο χώρο. Ακόμη δεν υπερφορτίζονται, ενώ η δυναμική αλλαγή στην Ολική Αρμονική

Παραμόρφωση του δικτύου δεν επηρεάζει τη λειτουργία τους, αφού παράγουν και διοχετεύουν στο δίκτυο το αντίθετο ρεύμα από αυτό των αρμονικών την κάθε χρονική στιγμή.

Το μεγαλύτερό τους μειονέκτημα αποτελεί η τιμή τους, η οποία δεδομένου του γεγονότος ότι UEN αντισταθμίζουν την άεργο ισχύ, είναι κατά πολύ αυξημένη σε σχέση με τη λύση ενός παθητικού φίλτρου, το οποίο πετυχαίνει και βελτίωση του συντελεστή ισχύος στο δίκτυο που τοποθετείται.

Η Εικόνα 3-21 που ακολουθεί είναι αρκετά διαφωτιστική όσον αφορά τον τρόπο λειτουργίας όσο και την αποτελεσματικότητα ενός ενεργού φίλτρου. Στην Εικόνα 3-21, αριστερά, δίνεται η Ολική Αρμονική Παραμόρφωση που προκαλείται στο ρεύμα γραμμής από έναν Inverter συνδεδεμένο με έναν Ασύγχρονο Τριφασικό Κινητήρα. Ο κινητήρας είναι ονομαστικής ισχύος 45 kW και είναι φορτισμένος στα 30 kW. Στα δεξιά της Εικόνα 3-21 δίνεται η νέα Ολική Αρμονική Παραμόρφωση που προκύπτει έπειτα από την εγκατάσταση ενός ενεργού φίλτρου και η οποία είναι εμφανώς μικρότερη και εντός των ορίων που θέτουν οι κανονισμοί.



**Εικόνα 3-21 Παράδειγμα μείωσης της Ολικής Αρμονικής Παραμόρφωσης που προκαλείται από την εγκατάσταση ενός ενεργού φίλτρου σε έναν κινητήρα ο οποίος είναι συνδεδεμένος με inverter**

### **3.10 M/Σ Zig-Zag (HMT Harmonic Mitigating Transformers).**

Οι μετασχηματιστές περιορισμού των αρμονικών (HMTs) περιορίζουν την κυκλοφορία των αρμονικών ρευμάτων στα τυλίγματα, άρα λιγότερες θερμικές απώλειες και μικρότερη παραμόρφωση τάσης. Τα τυλίγματα zig-zag στο δευτερεύον ακυρώνουν την επαγωγή στο πρωτεύον τύλιγμα των τριπλών αρμονικών ρευμάτων (3η, 9η, 15η). Επί πλέον με πολλαπλά (2 ή 3) δευτερεύοντα τυλίγματα μετατόπισης φάσης μπορούν να ακυρώσουν στα δευτερεύοντα τυλίγματα τις αρμονικές μαγνητικές ροές των 5ης, 7ης, 11ης, 13ης, 17ης, 19ης αρμονικών. Τα μονοφασικά φορτία στους HMT με πολλαπλά δευτερεύοντα τυλίγματα ισοκατανέμονται στα τυλίγματα αυτά. Πιο συγκεκριμένα, HMT με δύο δευτερεύοντα εξαλείφει από το πρωτεύον τύλιγμα την κυκλοφορία των αρμονικών ρευμάτων 5ης, 7ης, 17ης, 19ης τάξης, ενώ HMT με τρία δευτερεύοντα εξαλείφει από το πρωτεύον τύλιγμα την κυκλοφορία των αρμονικών ρευμάτων 5ης, 7ης, 11ης, 13ης τάξης.

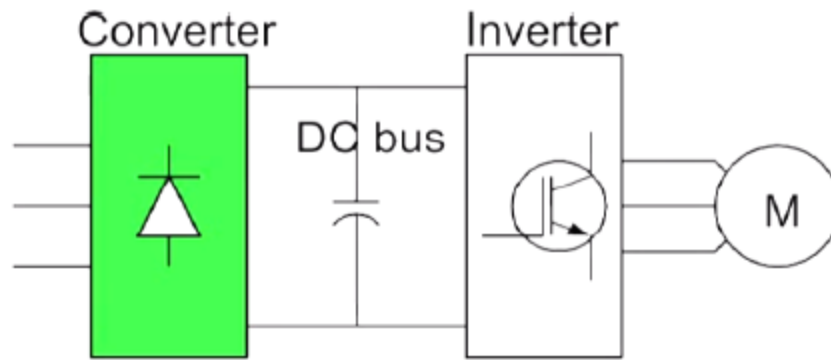
### **3.11 Φίλτρα ραδιοσυχνότητων (RFI)**

Η γρήγορη διακοπτική λειτουργία των τρανζίστορ IGBTs (από 3 έως 18 kHz περίπου) σε ρυθμιστές στροφών (VFDs), παλμοτροφοδοτικά (SMPS), τροφοδοτικά αδιάλειπτης παροχής (UPS) προκαλεί ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία (EMI Electromagnetic Interference) στο φάσμα συχνοτήτων των ραδιοκυμάτων. Τα ηλεκτρομαγνητικά αυτά κύματα μεταφέρονται μέσα από τα καλώδια και αν φτάσουν στις γραμμές μεταφοράς της ηλεκτρικής ενέργειας, τότε μπορεί να διαδοθούν ασύρματα. Για να αποφευχθεί η διάχυσή τους στα δίκτυα, κατάλληλα φίλτρα συνδέονται στην είσοδο των ηλεκτρονικών μετατροπέων ισχύος, τα λεγόμενα φίλτρα RFI.

### **3.12 Μικρότερος πυκνωτής (C-less)**

Η ενδιάμεση μετατροπή ισχύος σε όλους τους μετατροπείς συχνότητας περιέχει παράλληλα συνδεδεμένη χωρητικότητα για την εξομάλυνση της ανορθωμένης τάσης, βλέπε Σχήμα 3-3. Στην πράξη η χωρητικότητα δημιουργείται από δύο ηλεκτρολυτικούς πυκνωτές σε σειρά, για να μειωθεί στο μισό η ονομαστική τους τάση.

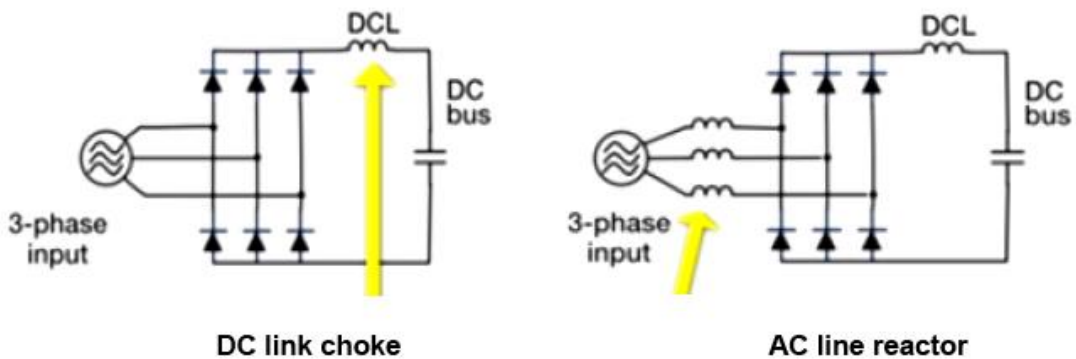




Σχήμα 3-3 Πυκνωτής εξομάλυνσης ανόρθωσης (DC link capacitor)

Όσο μεγαλώνει η χωρητικότητα των πυκνωτών, τόσο μικραίνει η κυμάτωση της τάσης και τόσο αυξάνεται η VDC. Η μέγιστη χωρητικότητα εξασφαλίζει  $V_{DC} = V_{peak AC}$ . Η μείωση της χωρητικότητας περίπου 10% προκαλεί μια πολύ σημαντική πτώση (50%) της 5ης αρμονικής που προξενεί τη μεγαλύτερη ποσοστιαία παραμόρφωση στα ρεύματα των VFDs.

### 3.13 Πηνία



Σχήμα 3-4 Πηνία εξομάλυνσης στο σύνδεσμο DC και στη γραμμή AC.

Το μέγεθος των πηνίων καθορίζεται από το ποσοστό πτώσης τάσης που εκφράζεται επί τοις % της ονομαστικής τάσης, π.χ. 3% πηνίο σε γραμμή 400 V θα προκαλέσει 12 V πτώση τάσης. Ένα μειονέκτημα της μεθόδου είναι η πτώση τάσης, γι αυτό το συνολικό μέγεθός τους δηλαδή DC ή AC ή AC+DC κυμαίνεται συνήθως μεταξύ 1% και 5%.

### **3.14 Ανιχνευτής μέγιστου σημείου ισχύος (MPPT)**

Επιβάλλει στην έξοδο της Φ/Β γεννήτριας τη βέλτιστη κάθε φορά τάση εξόδου, ανάλογα με την προσπίπτουσα ακτινοβολία.

#### **3.14.1 Πλεονεκτήματα ρυθμιστών φόρτισης φωτοβολταϊκών MPPT**

- Υπερταχύς ανιχνευτής μέγιστου σημείου ισχύος (MPPT)  
Η μεγάλη ταχύτητα ανίχνευσης, βελτιώνει κατά πολύ την παραγωγή ενέργειας του φωτοβολταϊκού, όταν η ένταση του φωτός αλλάζει συνεχώς (πχ σε παροδικές συννεφίες). Σε σχέση με έναν ρυθμιστή φόρτισης PWM θα μας δώσει μέχρι και +30% περισσότερη ενέργεια, ενώ σε σχέση με βραδύτερους ρυθμιστές MMPT το επιπλέον ποσοστό ενέργειας θα είναι τουλάχιστον +10%
- Μεγάλη γκάμα και ευελιξία στην επιλογή του κατάλληλου ρυθμιστή φόρτισης φωτοβολταϊκών

Μπορούμε να βρούμε μοντέλα με μέγιστο ρεύμα εισόδου από 10A μέχρι και 100<sup>A</sup>, που μπορούν να φορτίσουν μπαταρίες 12V, 24V, 36V και 48V. Επίσης μπορούμε να επιλέξουμε τον ρυθμιστή με βάση την μέγιστη τάση εισόδου. Υπάρχουν ρυθμιστές φόρτισης MPPT με μέγιστη τάση εισόδου 75V (Blue Solar MPPT 75/10 ή 15), ενώ κάποια μοντέλα φτάνουν μέχρι και τα 250V (Smart Solar MPPT 250/85 ή 100). Επίσης κάποιοι ρυθμιστές MPPT έχουν και ξεχωριστή έξοδο φορτίου DC (BlueSolar MPPT 100 ή 75V/10 ή 15A +load out)

### **3.15 Πυκνωτής στην έξοδο του Φ/Β**

Τοποθετείται στην έξοδο της Φ/Β γεννήτριας και καλύπτει για βραχύ χρόνο τις απαιτήσεις ρεύματος σε περίπτωση απότομης μεταβολής της ακτινοβολίας

### **3.16 Κεντρικός έλεγχος**

Συντονίζει τη λειτουργία των επιμέρους τμημάτων του συστήματος με την βοήθεια μικροεπεξεργαστών.

### 3.17 Εγκατάσταση

Τα φωτοβολταϊκά πλαίσια πρέπει να τοποθετούνται σε ανοιχτό χώρο, να μην σκιάζονται και να λαμβάνουν όσο γίνεται απευθείας την προσπίπτουσα σε αυτά ηλιακή ακτινοβολία.

### 3.18 Κόστος και βελτίωση της απόδοσης

Η παραγωγή ηλιακών κυττάρων είναι δαπανηρή. Το 1974 το κόστος ενός module ηλιακών κυττάρων ήταν 50\$ ανά Watt ισχύος κορυφής εξόδου. (Η κορυφή εξόδου, που λέγεται μερικές φορές κορυφή ισχύος, είναι η μέγιστη έξοδος φωτοβολταϊκού κυττάρου, κατά το μεσημέρι). Αυτή η τιμή εξόδου χρησιμοποιείται ως ενδεικτική του μεγέθους της φωτοβολταϊκής εγκατάστασης παραγωγής ισχύος. Το ίδιο module σήμερα στοιχίζει περίπου 5\$ ανά Watt ισχύος κορυφής. Το 1988 τα (εργαστήρια) Sandia National Laboratories στο Albuguergue , στο New Mexico των ΗΠΑ ανέπτυξαν ένα ηλιακό κύτταρο δύο στρώσεων με απόδοση 31%

Το πάνω στρώμα, αποτελούμενο από γυαλί-αρσενικό, μετατρέπει 27,2% του φωτός που πέφτει πάνω του, σε ηλεκτρισμό. Διερχόμενο φως που δεν απορροφήθηκε φθάνει στο κάτω στρώμα κρυσταλλικού πυριτίου που έχει επιπλέον απόδοση 3,7%.

Προβλέπεται πως με τον καιρό το κόστος ανά κιλοβάτ, θα πέσει κάτω από μισό δολάριο. Αυτό εξακολουθεί να είναι πολύ πιο ακριβό από το κόστος του ηλεκτρισμού, που παράγεται από συστήματα με πυρηνικά καύσιμα ή με καύσιμα απολιθωμάτων. Όμως ειδικοί πίστευαν ότι από το 2000 το κόστος των ηλιακών κύτταρων θα μειωθεί επιπλέον στο επίπεδο του 0,1 με 0,3\$ ανά κιλοβάτ (kilowatt).

Γίνεται συνεχώς έρευνα για την κατασκευή πιο αποδοτικών και φτηνότερων ηλιακών κυττάρων. Μεταξύ των εναλλακτικών διαδικασιών παραγωγής είναι:

- Ανάπτυξη κυττάρων άμορφου πυριτίου, όπου οι δίσκοι (wafers) παράγονται σε φύλλα που δεν χρειάζεται να κοπούν. Η διαδικασία είναι πιο γρήγορη και τα άχρηστα υλικά από αυτήν είναι ελάχιστα. Αν μπορούν να παραχθούν ηλιακά κύτταρα με αυτόν τον τρόπο, είναι βέβαιο ότι θα είναι πιο ανταγωνιστικά στο χώρο της παραγωγής

ηλεκτρικής ενέργειας. Ενώ η απόδοση των κύτταρων που παράγονται με αυτόν τον τρόπο είναι μικρή, κοστίζουν πολύ λιγότερο. Ένα άλλο πλεονέκτημα της τεχνολογίας άμορφου πυριτίου είναι η δυνατότητα της διαδικασίας να παράγει μεγαλύτερα κύτταρα. Πολλές εταιρίες τώρα παράγουν εμπορικά module, που έχουν διαστάσεις τετραγώνου, πλευράς 30cm μέχρι 1,2m.

- Ηλιακά κύτταρα λεπτού φιλμ. Κατά τη διαδικασία αυτή, πυρίτιο με τη μορφή ατμού ή υγρού εναποτίθεται σε κάποια βάση, όπως πλάκες ή φύλλο γυαλιού. Παρόλο που είναι λιγότερο αποδοτικά κατά 4 ή 6% σε σχέση με τα κύτταρα κρυσταλλικού πυριτίου, τα κύτταρα λεπτού φιλμ είναι φθηνά. Λεπτότερα μέχρι και 10 φορές από ότι τα κρυσταλλικά κύτταρα, μπορούν να τοποθετηθούν το ένα επάνω από το άλλο και να βελτιωθεί έτσι η απόδοση.
- Μπορεί να χρησιμοποιηθούν συγκεντρωτές για την αύξηση της απόδοσης. Οι συγκεντρωτές είναι συγκεντρωτικοί φακοί ή κάτοπτρα, που αυξάνουν την ένταση του φωτός επάνω στα ηλιακά κύτταρα. Ενώ αυτό δημιουργεί μεγάλη θέρμανση, που μειώνει την απόδοση, η θερμότητα που εκλύεται μπορεί να ληφθεί και να χρησιμοποιηθεί για άλλους σκοπούς. Οι συγκεντρωτές είναι ακριβοί, επειδή χρειάζονται σύστημα παρακολούθησης του ήλιου.
- Κύτταρα λωρίδων. Το πυρίτιο παίρνει τη μορφή λεπτών λωρίδων και κόβεται με λέιζερ, για να περιορισθούν οι απώλειες. Η υπόλοιπη διαδικασία είναι παρόμοια με αυτήν, που χρησιμοποιείται για την παραγωγή κρυσταλλικών κύτταρων.

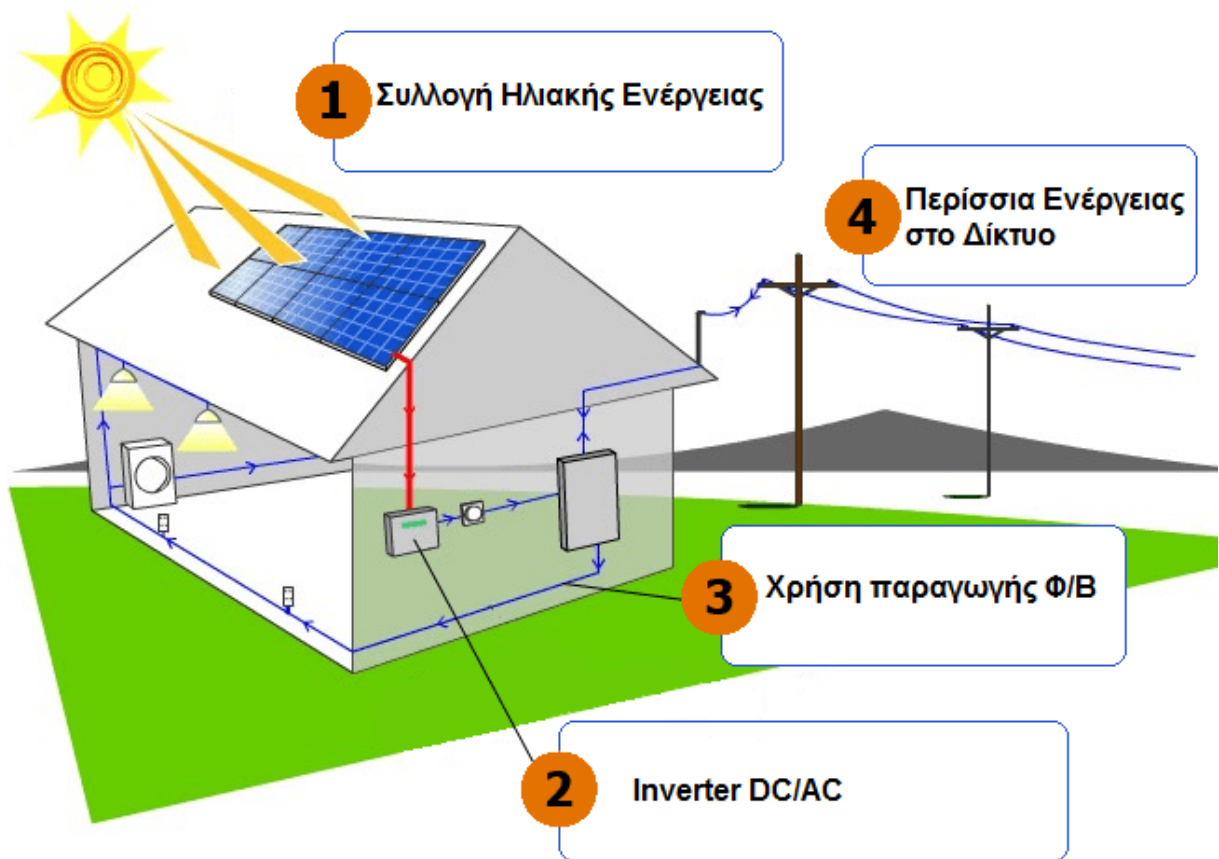
## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟΣ ΣΥΜΨΗΦΙΣΜΟΣ (NET METERING)

Ο συμψηφισμός παραγόμενης-καταναλισκόμενης ενέργειας (γνωστός με τον όρο net-metering) αποτελεί ένα από τα εργαλεία προώθησης της αυτοπαραγωγής και ιδιοκατανάλωσης με ΑΠΕ. Το net-metering επιτρέπει στον καταναλωτή να καλύψει ένα σημαντικό μέρος των ιδιοκαταναλώσεών του, ενώ παράλληλα του δίνει τη δυνατότητα να χρησιμοποιήσει το δίκτυο για έμμεση αποθήκευση της πράσινης ενέργειας.

Ο όρος “net” προκύπτει από το γεγονός ότι η χρέωση/πίστωση του καταναλωτή αφορά στη διαφορά μεταξύ καταναλισκόμενης και παραγόμενης ενέργειας σε μία ορισμένη χρονική περίοδο.

Η ανάπτυξη φωτοβολταϊκών σταθμών από αυτοπαραγωγούς θεσπίστηκε με την ΥΑ ΑΠΕΗΛ/Α/Φ1/οικ.24461 (ΦΕΚ 3583B/31.12.2014) η οποία αντικαταστάθηκε αρχικά από την υπουργική απόφαση ΑΠΕΗΛ/Α/Φ1/οικ.175067 (ΦΕΚ 1547B/5.5.2017) και στη συνέχεια από την υπουργική απόφαση ΥΠΕΝ/ΔΑΠΕΕΚ/15084/382, (ΦΕΚ 759B/5.3.2019) και αφορά στην εγκατάσταση φωτοβολταϊκών σταθμών για την κάλυψη ιδίων αναγκών από καταναλωτές ηλεκτρικής ενέργειας, με εφαρμογή ενεργειακού συμψηφισμού.

Με το Ν.4414/2016 (ΦΕΚ 149Α/9.8.2016) η αυτοπαραγωγή με ενεργειακό συμψηφισμό επεκτάθηκε και σε άλλες τεχνολογίες και συγκεκριμένα στις μικρές ανεμογεννήτριες, σταθμούς βιομάζας/βιοαερίου/βιορευστών, μικρούς υδροηλεκτρικούς σταθμούς και σταθμούς συμπαραγωγής ηλεκτρισμού-θερμότητας (Σ.Η.Θ.Υ.Α.), ενώ με το Ν.4513/2018, ΦΕΚ 9Α/23/1/2018 (που αφορά τις Ενεργειακές Κοινότητες) και την υπουργική απόφαση ΥΠΕΝ/ΔΑΠΕΕΚ/15084/382, (ΦΕΚ 759B/5.3.2019) είναι πλέον δυνατή και η εγκατάσταση μονάδων αποθήκευσης σε συνδυασμό με συστήματα αυτοπαραγωγής. Στον παρόντα οδηγό δίνεται έμφαση στα φωτοβολταϊκά, μιας και υπάρχει ήδη ενεργό πρόγραμμα για αυτή την τεχνολογία.



Εικόνα 4-1 Πως λειτουργεί το net-metering

Ως ενεργειακός συμψηφισμός νοείται ο συμψηφισμός της παραχθείσας από το φωτοβολταϊκό σταθμό ενέργειας με την καταναλωθείσα ενέργεια στις εγκαταστάσεις του αυτοπαραγωγού, ο οποίος διενεργείται σε τριετή βάση. Στον ενεργειακό συμψηφισμό η παραγόμενη ενέργεια δεν είναι απαραίτητο να ταυτοχρονίζεται με την καταναλισκόμενη. Αφορά σε φωτοβολταϊκό σταθμό ο οποίος εγκαθίσταται στον ίδιο ή όμορο χώρο με την εγκατάσταση κατανάλωσης, που συνδέεται στο Δίκτυο μέσω της αυτής παροχής.

Ειδικά για αυτοπαραγωγούς που είναι νομικά πρόσωπα δημοσίου ή ιδιωτικού δικαίου που επιδιώκουν κοινωφελείς ή άλλους δημοσίου ενδιαφέροντος σκοπούς γενικής ή τοπικής εμβέλειας, για εγγεγραμμένους στο Μητρώο Αγροτών και Αγροτικών Εκμεταλλεύσεων του Ν.3874/2010 (Α'151) για εγκαταστάσεις αγροτικών εκμεταλλεύσεων όπως ορίζονται στο Ν.3874/2010 ή και αγροτικών χρήσεων, καθώς και για ενεργειακές κοινότητες (Ε.Κοιν.), επιτρέπεται, με βάση τους Ν.4414/2016 και Ν.4513/2018, η εγκατάσταση

φωτοβολταϊκών σταθμών για την κάλυψη ιδίων αναγκών τους και με εφαρμογή εικονικού ενεργειακού συμψηφισμού.

Ως εικονικός ενεργειακός συμψηφισμός νοείται ο συμψηφισμός της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας από σταθμούς Α.Π.Ε. ή Σ.Η.Θ.Υ.Α. αυτοπαραγωγού, με τη συνολική καταναλισκόμενη ηλεκτρική ενέργεια σε εγκαταστάσεις του αυτοπαραγωγού, από τις οποίες τουλάχιστον η μία είτε δεν βρίσκεται στον ίδιο ή όμορο χώρο με το σταθμό Α.Π.Ε. ή Σ.Η.Θ.Υ.Α. είτε, αν βρίσκεται, τροφοδοτείται από διαφορετική παροχή. Ειδικά για Ενεργειακή Κοινότητα (Ε.Κοιν.), ο συμψηφισμός της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας από σταθμό Α.Π.Ε. ή Σ.Η.Θ.Υ.Α. ή Υβριδικό Σταθμό της Ε.Κοιν. γίνεται με τη συνολική καταναλισκόμενη ηλεκτρική ενέργεια σε εγκαταστάσεις μελών της Ε.Κοιν. και ευάλωτων καταναλωτών ή πολιτών που ζουν κάτω από το όριο της φτώχειας, εντός της Περιφέρειας στην οποία βρίσκεται η έδρα της Ε.Κοιν. Στα Μη Διασυνδεδεμένα Νησιά, ο φωτοβολταϊκός σταθμός θα εγκαθίσταται στην ίδια Περιφερειακή Ενότητα και στο ίδιο ηλεκτρικό σύστημα με τις εγκαταστάσεις κατανάλωσης με τις οποίες αντιστοιχίζεται.

Στο Διασυνδεδεμένο Δίκτυο επιτρέπεται ο συμψηφισμός ενέργειας που εγχέεται από σταθμό παραγωγής αυτοπαραγωγού ή Ε. Κοιν., ο οποίος συνδέεται στο Δίκτυο Μέσης Τάσης (ΜΤ), με ενέργεια που απορροφάται από συμψηφιζόμενες καταναλώσεις που συνδέονται στο Δίκτυο Χαμηλής Τάσης (ΧΤ). Στην περίπτωση αυτή εφαρμόζεται συντελεστής αναγωγής της εγχυθείσας ενέργειας, στον υπολογισμό του οποίου συνεκτιμώνται οι τεχνικές απώλειες επί του Δικτύου ΧΤ.

Η εγχυθείσα στο Δίκτυο ΜΤ ενέργεια από τον σταθμό παραγωγής του αυτοπαραγωγού ή της Ε. Κοιν. θα πολλαπλασιάζεται με το συντελεστή αναγωγής (ΣΑ)

$$\Sigma A = 1 - \Sigma A_{\pi\_X T}$$

όπου ΣΑ<sub>ΧΤ</sub> είναι ο συντελεστής απωλειών του Δικτύου ΧΤ, όπως ορίζεται με την απόφαση ΡΑΕ αριθμ. 17/2006, το γινόμενο του οποίου με τη συνολική εισερχόμενη στο Δίκτυο ΧΤ ποσότητα ενέργειας, αποδίδει τις απώλειες ενέργειας του Δικτύου ΧΤ. Ο συντελεστής απωλειών δίνεται από τη σχέση:

$$\Sigma\text{Απ\_ΧΤ} = \Sigma\text{ΠΑ\_ΧΤ} / (1 + \Sigma\text{ΠΑ\_ΧΤ})$$

όπου  $\Sigma\text{ΠΑ\_ΧΤ}$  είναι ο εκάστοτε συντελεστής προσαύξησης λόγω απωλειών στο Δίκτυο ΧΤ (όπως ορίζεται με την απόφαση ΡΑΕ αριθμ. 17/2006), που αντιστοιχεί σε θεώρηση μηδενικών μη τεχνικών απωλειών, με βάση την εγκεκριμένη από τη ΡΑΕ μελέτη εκτίμησης του Διαχειριστή του Δικτύου για τους συντελεστές απωλειών του Δικτύου.

Για παράδειγμα, αν ο συντελεστής απωλειών του Δικτύου ΧΤ ( $\Sigma\text{ΠΑ\_ΧΤ}$ ) είναι 4,34% (τιμή από μετρήσεις του 2018 που εφαρμόζεται για το 2019), τότε η εγχυθείσα στο Δίκτυο ΜΤ ενέργεια από τον σταθμό παραγωγής του αυτοπαραγωγού ή της Ε. Κοιν. θα πολλαπλασιάζεται με το συντελεστή αναγωγής ( $\Sigma\text{Α}$ ) που είναι  $\Sigma\text{Α} = 1 - \Sigma\text{Απ\_ΧΤ}$ , δηλαδή  $1 - 4,34\% / (1 + 4,34\%) = 95,84\%$ .

Με άλλα λόγια, 1.000 kWh που εγχέονται από σταθμό παραγωγής στη ΜΤ ισοδυναμούν με 958 kWh στη ΧΤ. Συνεπώς αν για παράδειγμα σε μια προς συμψηφισμό παροχή ΧΤ η ενέργεια που καταμετρήθηκε ήταν μεγαλύτερη από 958 kWh και η εγχυθείσα ενέργεια ήταν 1000 kWh, χρησιμοποιείται το σύνολο της εγχυθείσας ενέργειας για τον συμψηφισμό και το υπόλοιπο καταλογίζεται ως χρεωστέα ενέργεια. Αντίθετα, αν η ενέργεια που καταμετρήθηκε ήταν μικρότερη από 958 kWh, ο συμψηφισμός γίνεται με μέρος της εγχυθείσας ενέργειας, δεν προκύπτει χρεωστέα ζήτηση για την παροχή και το πλεόνασμα της εγχυθείσας ενέργειας πιστώνεται στον επόμενο χρονικά εκκαθαριστικό λογαριασμό έτερης συμψηφιζόμενης παροχής.

Ειδικά στα συστήματα των Μη Διασυνδεδεμένων Νησιών επιτρέπεται ο συμψηφισμός ενέργειας που εγχέεται από σταθμό παραγωγής αυτοπαραγωγού ή Ε. Κοιν., ο οποίος συνδέεται στο δίκτυο ΜΤ, με ενέργεια που απορροφάται από συμψηφιζόμενες καταναλώσεις που συνδέονται στο δίκτυο ΧΤ, με εφαρμογή του  $\Sigma\text{Α}$  που ισχύει για το Διασυνδεδεμένο Δίκτυο, μέχρι την έκδοση απόφασης της ΡΑΕ για τον προσδιορισμό του συντελεστή απωλειών στο αντίστοιχο ηλεκτρικό σύστημα.

Ο αυτοπαραγωγός θα πρέπει να υποβάλλει δήλωση στον Διαχειριστή του Δικτύου (ΔΕΔΔΗΕ Α.Ε.) με τις παροχές κατανάλωσης οι οποίες υπεισέρχονται στον εικονικό ενεργειακό συμψηφισμό. Ο αυτοπαραγωγός



μπορεί να τροποποιεί τις παροχές κατανάλωσης που υπεισέρχονται στον εικονικό ενεργειακό συμψηφισμό κατά τη διάρκεια της Σύμβασης Εικονικού Ενεργειακού Συμψηφισμού (Σ.Ε.Ε.Σ.), δηλαδή με μεταγενέστερες δηλώσεις του να προσθέτει ή και να αφαιρεί παροχές κατανάλωσης.

Τόσο η παροχή του φωτοβολταϊκού σταθμού όσο και οι αντίστοιχες συμψηφιζόμενες παροχές κατανάλωσης θα πρέπει να είναι επ' ονόματι του ιδίου φυσικού ή νομικού προσώπου και να εκπροσωπούνται υποχρεωτικά από τον ίδιο προμηθευτή. Στην περίπτωση του εικονικού ενεργειακού συμψηφισμού, τόσο η παροχή του σταθμού παραγωγής όσο και οι αντίστοιχες παροχές κατανάλωσης προς συμψηφισμό θα πρέπει να εκπροσωπούνται υποχρεωτικά από τον ίδιο προμηθευτή.

Οι λεπτομέρειες εφαρμογής του εικονικού ενεργειακού συμψηφισμού καθορίζονται στην ΥΑ ΥΠΕΝ/ΔΑΠΕΕΚ/15084/382, (ΦΕΚ 759B/5.3.2019). Η εκκαθάριση του ενεργειακού συμψηφισμού γίνεται πλέον ανά τριετία (παλιότερα γινόταν σε ετήσια βάση).

Ο συμψηφισμός της παραγόμενης ενέργειας διενεργείται υποχρεωτικά και κατά προτεραιότητα με την κατανάλωση που συνδέεται ηλεκτρικά στην ίδια παροχή με το σταθμό παραγωγής, εφόσον υπάρχει. Αν μετά τον συμψηφισμό προκύψει πλεονάζουσα ποσότητα εγχυθείσας στο δίκτυο ενέργειας αυτή συμψηφίζεται με την κατανάλωση του επόμενου χρονικά εκκαθαριστικού λογαριασμού.

#### **4.1 Ποια είναι τα όρια κατανάλωσης**

Όλα εξαρτώνται από το σύστημα φωτοβολταϊκών που θα εγκαταστήσετε ή έχετε ήδη. Στην Ηπειρωτική χώρα, τα Διασυνδεδεμένα Νησιά και την Κρήτη ισχύει το όριο των 20 kW, ενώ στα Μη Διασυνδεδεμένα Νησιά το όριο είναι 10 kW.

Υπάρχει δυνατότητα εγκατάστασης και μεγαλύτερων συστημάτων net metering με την προϋπόθεση ότι η ισχύς του συστήματος δεν ξεπερνά το 50% της συμφωνημένης ισχύος της παροχής ηλεκτρικού ρεύματος. Και σε αυτή την περίπτωση όμως υπάρχουν ανώτατα όρια.

Στην Ηπειρωτική Χώρα και στα Διασυνδεδεμένα Νησιά το όριο είναι 500 kW, στην Κρήτη 50 kW και στα Μη Διασυνδεδεμένα Νησιά 20 kW, ανεξάρτητα αν η παροχή κατανάλωσης συνδέεται στη χαμηλή ή τη μέση τάση. Για τα φωτοβολταϊκά, τα όρια αυτά αντιστοιχούν περίπου σε 750.000, 75.000 και 30.000 kWh ετησίως.

Προφανώς επιτρέπεται η εγκατάσταση συστήματος αυτοπαραγωγής με net metering ακόμα και αν το μεγαλύτερο σύστημα που μπορεί να εγκατασταθεί (λόγω ορίου ή λόγω χώρου) δεν καλύπτει πλήρως την ετήσια κατανάλωση. Απλά καλύπτεται ένα μέρος από τη συνολική κατανάλωση.

#### **4.2 Θέση εγκατάστασης των φωτοβολταϊκών συστημάτων από αυτοπαραγωγούς με**

Τα φωτοβολταϊκά αυτά συστήματα μπορούν να εγκαθίστανται επί κτηρίων ή επί εδάφους, ή άλλων κατασκευών, περιλαμβανομένων και αυτών του πρωτογενούς τομέα (αγροτικές αποθήκες, κτηνοτροφικές μονάδες, κ.λπ.) σύμφωνα με την κείμενη πολεοδομική νομοθεσία.

Γενικά, οι επιτρεπόμενες εγκαταστάσεις αφορούν σε σταθερά συστήματα έδρασης που εγκαθίστανται επί εδάφους, επί κτηρίων ή επί άλλων κατασκευών (περιλαμβανομένων και αυτών του πρωτογενούς τομέα), ενώ στην περίπτωση φωτοβολταϊκών σταθμών που εγκαθίστανται επί εδάφους επιτρέπεται και η χρήση συστημάτων ηλιακής ιχνηλάτησης (trackers).

Τα συστήματα εγκαθίστανται στον ίδιο χώρο με τις εγκαταστάσεις κατανάλωσης που τροφοδοτούν ή σε όμορο αυτής χώρο. Ειδικά για αυτοπαραγωγούς που είναι νομικά πρόσωπα δημοσίου ή ιδιωτικού δικαίου που επιδιώκουν κοινωφελείς ή άλλους δημοσίου ενδιαφέροντος σκοπούς γενικής ή τοπικής εμβέλειας, για εγγεγραμμένους στο Μητρώο Αγροτών και Αγροτικών Εκμεταλλεύσεων του Ν.3874/2010 (Α' 151) για εγκαταστάσεις αγροτικών εκμεταλλεύσεων όπως ορίζονται στο Ν.3874/2010 ή και αγροτικών χρήσεων, καθώς και για ενεργειακές κοινότητες, επιτρέπεται, με βάση τους Ν.4414/2016 και Ν.4513/2018, η εγκατάσταση φωτοβολταϊκών σταθμών για την κάλυψη ιδίων αναγκών τους και με εφαρμογή εικονικού ενεργειακού συμψηφισμού.

Εικονικός είναι ο συμψηφισμός της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας, από σταθμό ΑΠΕ αυτοπαραγωγού, με την συνολική καταναλισκόμενη ηλεκτρική ενέργεια σε εγκαταστάσεις του αυτοπαραγωγού, από τις οποίες τουλάχιστον η μια είτε δεν βρίσκεται στον ίδιο ή όμορο χώρο με το σταθμό ΑΠΕ είτε στην περίπτωση που βρίσκεται, τροφοδοτείται από διαφορετική παροχή.

#### **4.3 Βασικές παράμετροι για τη διαστασιολόγηση ενός φωτοβολταϊκού συστήματος αυτοπαραγωγής με ενεργειακό συμψηφισμό**

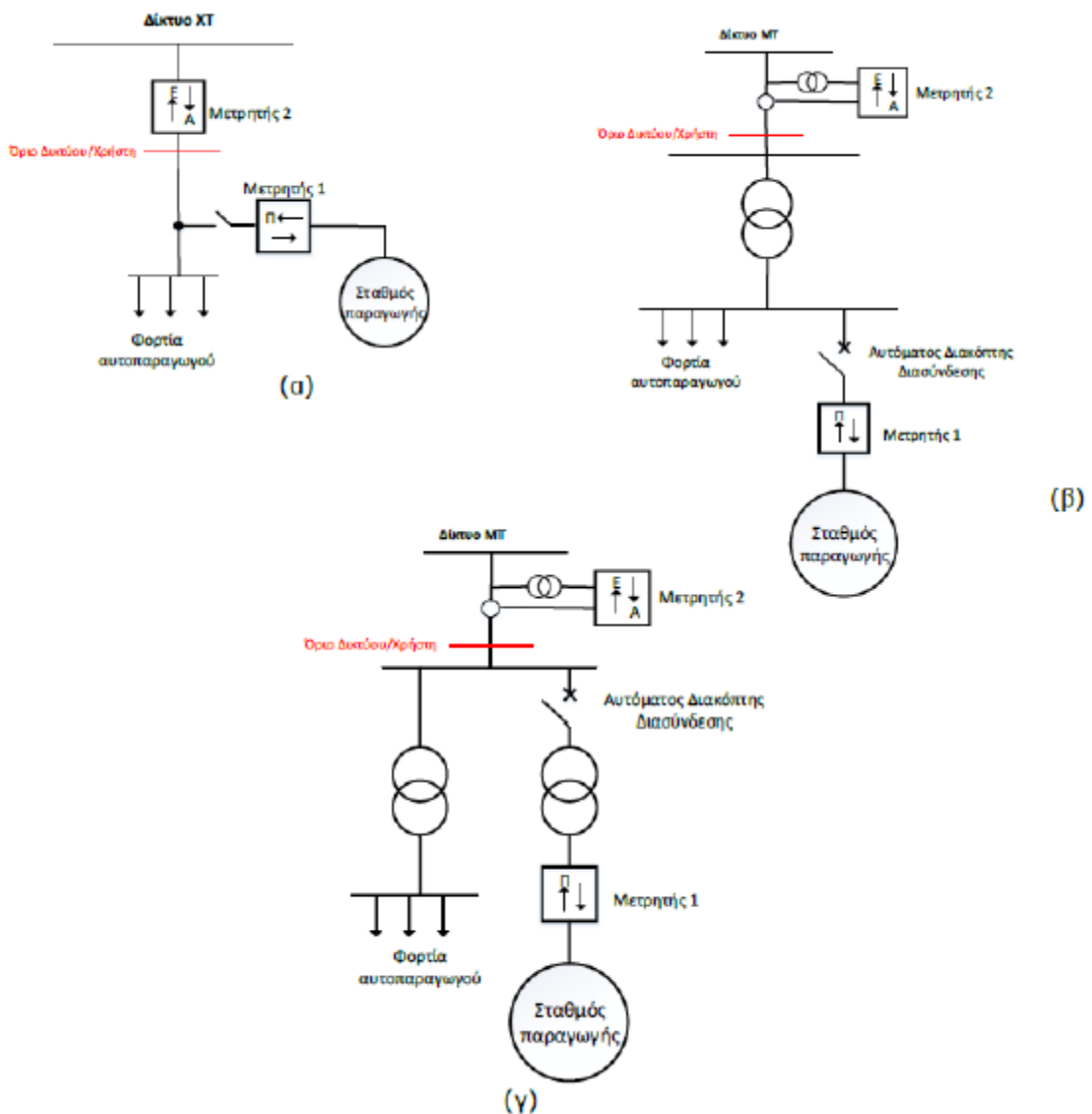
Για την διαστασιολόγηση του φωτοβολταϊκού συστήματος είναι ενδεδειγμένο να λαμβάνεται υπόψη η ετήσια κατανάλωση της εγκατάστασης στην οποία αυτό θα συνδεθεί. Δεδομένου ότι ο ενεργειακός συμψηφισμός διενεργείται σε τριετή βάση και **τυχόν πλεόνασμα ενέργειας μετά τον τριετή συμψηφισμό δεν αποζημιώνεται**, η ετήσια παραγόμενη από το φωτοβολταϊκό σύστημα ενέργεια δεν θα πρέπει να υπερβαίνει την συνολική ετήσια κατανάλωση.

Για πληροφοριακούς λόγους, σημειώνεται ότι η συνήθης παραγωγή των φωτοβολταϊκών συστημάτων σταθερών βάσεων κυμαίνεται μεταξύ 1.200-1.650 kWh/kWp/έτος (κιλοβατώρες ανά κιλοβάτ και ανά έτος), ανάλογα με τις γεωγραφικές συντεταγμένες, την κλίση και τον προσανατολισμό της εγκατάστασης, με μεσοσταθμική τιμή περί τις **1.350-1.400 kWh/kWp/έτος**. Επομένως, η ισχύς του συστήματος θα πρέπει να επιλέγεται με γνώμονα τις ετήσιες ενεργειακές ανάγκες, στο πλαίσιο των περιορισμών που θέτει η νομοθεσία.

#### **4.4 Εγκατάσταση μετρητών και όρια διαχωρισμού ιδιοκτησίας και ευθύνης μεταξύ Δικτύου και αυτοπαραγωγού;**

Στο Διάγραμμα 4-1 φαίνονται οι δύο μετρητές καθώς και τα όρια διαχωρισμού ιδιοκτησίας και ευθύνης μεταξύ Δικτύου και αυτοπαραγωγού για εγκαταστάσεις που συνδέονται στο επίπεδο XT και MT του Δικτύου. Ειδικότερα: Ο Μετρητής 2 εγκαθίσταται στη θέση του υφιστάμενου μετρητή της εγκατάστασης κατανάλωσης (εφόσον ο τελευταίος δεν έχει τη δυνατότητα διπλής κατεύθυνσης -καταγραφής) από το ΔΕΔΔΗΕ και ανήκει στα πάγια του Δικτύου. Ο Μετρητής 1 εγκαθίσταται από τον αυτοπαραγωγό, ο οποίος και

τον προμηθεύεται με δαπάνες του, με βάση τις υποδείξεις του ΔΕΔΔΗΕ αναφορικά με τους αποδεκτούς τύπους, ενώ πιστοποιείται προ της τοποθέτησής του στα εργαστήρια του ΔΕΔΔΗΕ στο Ρουφ Αττικής (Αγίας Άννης 70). Κατά την ενεργοποίηση της σύνδεσης το προσωπικό του ΔΕΔΔΗΕ ελέγχει και ρυθμίζει και τους δύο μετρητές και προβαίνει στη σφράγιση τους. Ο Μετρητής 1 αποτελεί μέρος της εσωτερικής εγκατάστασης και πάγιο του αυτοπαραγωγού.



Διάγραμμα 4-1 Όρια διαχωρισμού ιδιοκτησίας και ευθύνης μεταξύ Δικτύου και αυτοπαραγωγού για εγκαταστάσεις που συνδέονται στο επίπεδο ΧΤ και ΜΤ του Δικτύου

#### **4.5 Καταμέτρηση και πότε η εφαρμογή του ενεργειακού συμψηφισμού μεταξύ παραγόμενης και καταναλισκόμενης ενέργειας;**

Η καταμέτρηση της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας του φωτοβολταϊκού συστήματος, καθώς και της εισερχόμενης και εξερχόμενης από και προς το Δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας πραγματοποιείται ταυτόχρονα από το ΔΕΔΔΗΕ, κατά τον υφιστάμενο κύκλο καταμέτρησης που διέπει την εγκατάσταση κατανάλωσης του αυτοπαραγωγού.

Ο Προμηθευτής πραγματοποιεί τη διαδικασία του ενεργειακού συμψηφισμού στους εκκαθαριστικούς λογαριασμούς ρεύματος, με βάση τα στοιχεία καταμέτρησης του ΔΕΔΔΗΕ ανάλογα με τον κατά περίπτωση κύκλο καταμέτρησης.

Στην περίπτωση που για οποιοδήποτε λόγο δεν καταστεί εφικτή η λήψη των ενδείξεων κατά την ημερομηνία της προγραμματισμένης καταμέτρησης, ο συμψηφισμός θα γίνεται αμέσως μόλις διενεργηθεί η επόμενη τακτική καταμέτρηση.

Ο ενεργειακός συμψηφισμός διενεργείται από τον Προμηθευτή με τον οποίο έχει συμβληθεί ο αυτοπαραγωγός, δηλαδή τον Προμηθευτή που εκπροσωπεί την εγκατάσταση κατανάλωσης, με βάση τα πραγματικά δεδομένα καταμέτρησης που παρέχει ο Διαχειριστής του Δικτύου. Επομένως ο ενεργειακός συμψηφισμός διενεργείται σε κάθε εκκαθαριστικό λογαριασμό που εκδίδει ο Προμηθευτής, με τελική εκκαθάριση στον τελευταίο εκκαθαριστικό λογαριασμό του τριετούς κύκλου.

Σε κάθε περίπτωση ο αυτοπαραγωγός είναι υπόχρεος για την εξόφληση του συνολικού καταλογιζόμενου ποσού κάθε εκδιδόμενου εκκαθαριστικού λογαριασμού συμψηφιζόμενης κατανάλωσης, ανεξαρτήτως αναμενόμενης προς πίστωση ενέργειας σε επόμενες χρονικές περιόδους, ισχυουσών των διατάξεων του Κώδικα Προμήθειας περί εξόφλησης του λογαριασμού κατανάλωσης και ληξιπρόθεσμων οφειλών σε προμηθευτές. Σε περίπτωση που στο τιμολόγιο συμψηφιζόμενης κατανάλωσης του αντισυμβαλλόμενου αυτοπαραγωγού προβλέπεται κλιμακούμενη χρέωση, στο ανταγωνιστικό σκέλος του, ο συμψηφισμός πραγματοποιείται με τρόπο που να προκύπτουν οι

χαμηλότερες χρεώσεις για τον αυτοπαραγωγό, στο επίπεδο κάθε εκκαθαριστικού λογαριασμού. Σε περίπτωση πολυζωνικού τιμολογίου σε μία ή περισσότερες συμψηφιζόμενες καταναλώσεις του αυτοπαραγωγού, ο συμψηφισμός πραγματοποιείται κατά φθίνουσα αξία του ανταγωνιστικού σκέλους κάθε χρονικής ζώνης, στο επίπεδο κάθε εκκαθαριστικού λογαριασμού, και κατά τη χρονική σειρά έκδοσης των εκκαθαριστικών λογαριασμών. Σε κάθε περίπτωση, ενδεχόμενο παραμένον πλεόνασμα της εγχυθείσας στο Δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας μετά τον συμψηφισμό της κατανάλωσης (των καταναλώσεων) του αυτοπαραγωγού, προστίθεται στην εγχυθείσα ενέργεια του επόμενου κύκλου καταμέτρησης.

Στην περίπτωση του ενεργειακού συμψηφισμού, η μεταφορά τυχόν πλεονάζουσας εγχυθείσας ενέργειας από παρελθούσες περιόδους καταμέτρησης συνεχίζεται μέχρι τον πρώτο εκκαθαριστικό λογαριασμό που εκδίδεται με την παρέλευση τριετίας από την ενεργοποίηση της σύνδεσης του φωτοβολταϊκού σταθμού και η διαδικασία επαναλαμβάνεται ανά τριετία μέχρι τη λύση της Σύμβασης Ενεργειακού Συμψηφισμού (Σ.Ε.Σ). Με τη λήξη της εκάστοτε τριετίας ή τη λύση της Σ.Ε.Σ. διενεργείται εκκαθάριση, και τυχόν πλεόνασμα εγχυθείσας ενέργειας από τον συμψηφισμό δεν πιστώνεται στον επόμενο εκκαθαριστικό λογαριασμό και δεν υφίσταται υποχρέωση για οποιαδήποτε αποζημίωση στον αυτοπαραγωγό για την ενέργεια αυτή.

Στην περίπτωση του εικονικού ενεργειακού συμψηφισμού, η μεταφορά τυχόν πλεονάζουσας ενέργειας από παρελθούσες περιόδους καταμέτρησης συνεχίζεται μέχρι τον πρώτο εκκαθαριστικό λογαριασμό μετά την παρέλευση τριετίας από την ενεργοποίηση του φωτοβολταϊκού σταθμού, και η διαδικασία επαναλαμβάνεται ανά τριετία μέχρι τη λύση της Σύμβασης Εικονικού Ενεργειακού Συμψηφισμού (Σ.Ε.Ε.Σ). Με τη λήξη της εκάστοτε τριετίας ή τη λύση της Σ.Ε.Ε.Σ διενεργείται εκκαθάριση, δηλαδή έκτακτη καταμέτρηση της εγχυθείσας στο Δίκτυο ενέργειας από την μονάδα παραγωγής και ταυτόχρονη έκτακτη καταμέτρηση της απορροφηθείσας από το Δίκτυο ενέργειας όλων των συμψηφιζόμενων καταναλώσεων, από τον Διαχειριστή του Δικτύου και έκδοση των σχετικών εκκαθαριστικών λογαριασμών τους. Τυχόν πλεόνασμα εγχυθείσας ενέργειας (αρνητικό

υπόλοιπο) από τον συμψηφισμό δεν πιστώνεται σε επόμενο εκκαθαριστικό λογαριασμό και δεν υφίσταται υποχρέωση για οποιαδήποτε αποζημίωση στον αυτοπαραγωγό για την ενέργεια αυτή.

Στην περίπτωση του ενεργειακού συμψηφισμού, και σε περίπτωση αλλαγής προμηθευτή της εγκατάστασης κατανάλωσης, θα διενεργείται τελική εκκαθάριση, δηλαδή έκτακτη καταμέτρηση της εγχυθείσας στο Δίκτυο και απορροφηθείσας από το Δίκτυο ενέργειας της κατανάλωσης αυτής και έκδοση του σχετικού εκκαθαριστικού λογαριασμού. Για το τυχόν πλεόνασμα εγχυθείσας ενέργειας (αρνητικό υπόλοιπο) μετά την έκδοση του εκκαθαριστικού λογαριασμού δεν υφίσταται υποχρέωση για οποιαδήποτε αποζημίωση στον αυτοπαραγωγό για την ενέργεια αυτή.

Στην περίπτωση του εικονικού ενεργειακού συμψηφισμού, και σε περίπτωση αλλαγής προμηθευτή της εγκατάστασης παραγωγής ή/και όλων των εγκαταστάσεων κατανάλωσης που υπεισέρχονται στον συμψηφισμό, θα διενεργείται τελική εκκαθάριση, δηλαδή έκτακτη καταμέτρηση της εγχυθείσας στο Δίκτυο και της απορροφηθείσας από το Δίκτυο ενέργειας από τη μονάδα παραγωγής και ταυτόχρονη έκτακτη καταμέτρηση της απορροφηθείσας από το Δίκτυο ενέργειας όλων των συμψηφιζόμενων καταναλώσεων, από τον Διαχειριστή του Δικτύου, με έκδοση στη συνέχεια των σχετικών εκκαθαριστικών λογαριασμών τους. Για το τυχόν πλεόνασμα εγχυθείσας ενέργειας (αρνητικό υπόλοιπο) μετά την έκδοση των εκκαθαριστικών λογαριασμών δεν υφίσταται υποχρέωση για οποιαδήποτε αποζημίωση στον αυτοπαραγωγό για την ενέργεια αυτή.

Ως χρεωστέα ενέργεια (για το “ανταγωνιστικό” σκέλος του τιμολογίου) λογίζεται η διαφορά των ποσοτήτων που καταγράφονται από το Μετρητή 2, δηλαδή η διαφορά  $A$  (Απορροφώμενη) –  $E$  (Εγχεόμενη), εφόσον η διαφορά αυτή είναι θετική. Εάν η διαφορά ισούται με μηδέν δεν υφίσταται χρεωστέα ενέργεια, ενώ εάν η διαφορά είναι αρνητική επίσης δεν υφίσταται χρεωστέα ενέργεια, ενώ η διαφορά αυτή πιστώνεται στον επόμενο εκκαθαριστικό λογαριασμό ως πρόσθετη εξερχόμενη (εγχεόμενη) ενέργεια. Κατά την τριετή εκκαθάριση τυχόν πλεόνασμα ενέργειας συμψηφίζεται με την χρεωστέα ενέργεια προηγούμενων περιόδων, για την οποία γίνεται αντιλογισμός. Τυχόν παραμένον μετά τον τριετή αντιλογισμό πλεόνασμα δεν πιστώνεται στον

επόμενο λογαριασμό. Στον παρακάτω πίνακα δίνεται ένα παράδειγμα υπολογισμού.

Έτος	Τετράμηνο	Ποσότητες ενέργειας (kWh)						
		Απορροφώμενη (Α)	Εγγεόμενη (Ε)	Συμφιζόμενη (Ν=Α-Ε)	Χρεωστέα	Πιστούμενη διαφορά	Παραγόμενη (Π)	Κατανάλωση (Κ= Α+Π-Ε)
1 <sup>ο</sup>	A	1500	900	600	600	0	1500	2100
	B	700	1500	-800	0	800	2300	1500
	Γ	1000	800	200	0	600	1300	1500
2 <sup>ο</sup>	A	1200	1000	200	0	400	1400	1600
	B	800	1500	-700	0	1100	2400	1700
	Γ	1100	900	200	0	900	1300	1500
3 <sup>ο</sup>	A	1300	1000	300	0	600	1500	1800
	B	1000	1400	-400	0	1000	2500	2100
	Γ	1200	900	300	0	700	1400	1700
<b>ΤΡΙΕΤΙΑ</b>		<b>9800</b>	<b>9900</b>	<b>-100</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>15600</b>	<b>15500</b>

## 4.6 Τα βήματα εγκατάστασης ΦΒ σε ταράτσα

### 4.6.1 Συναρμολόγηση βάσεων στήριξης

Οι βάσεις στήριξης συναρμολογούνται επί τόπου, στην ταράτσα



Εικόνα 4-2 Οι βάσεις στήριξης μεταφέρονται σε κομμάτια και συναρμολογούνται επί τόπου, στον χώρο της εγκατάστασης



#### 4.6.2 Πάκτωση των βάσεων στήριξης

Μετά τη συναρμολόγησή τους, οι βάσεις πακτώνονται στη ταράτσα



Εικόνα 4-3 Οι πακτωμένες βάσεις στήριξης

#### 4.6.3 Τοποθέτηση των ραγών στήριξης των πάνελ

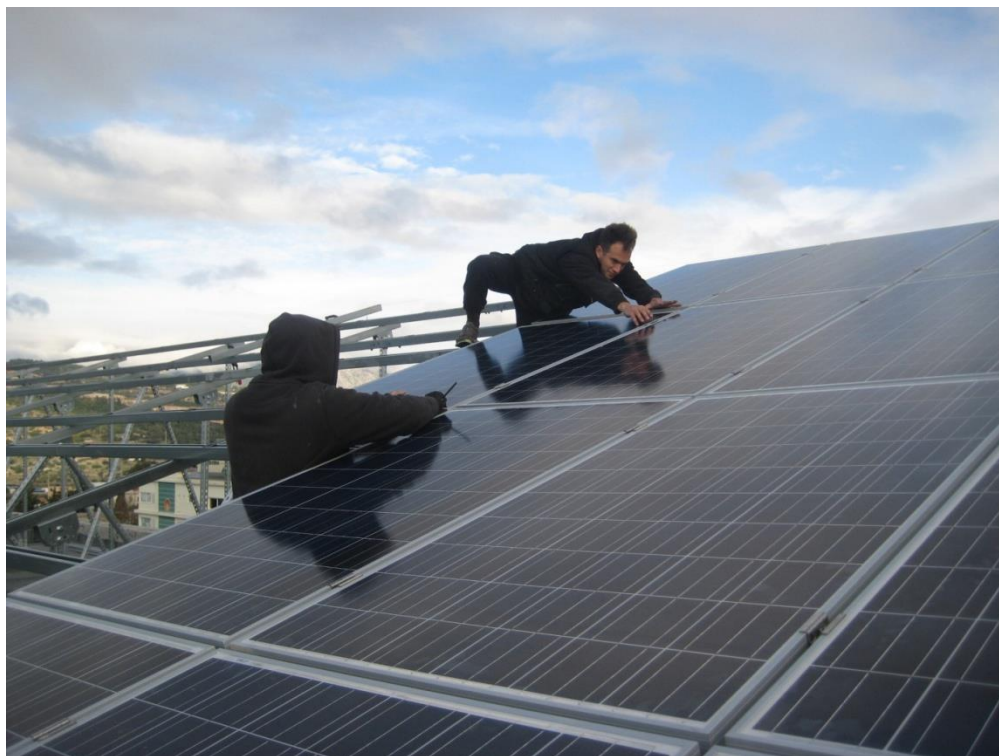
Κατόπιν τοποθετούνται οι ράγες στήριξης των πάνελ



Εικόνα 4-4 Οι ράγες στήριξης των πάνελ τοποθετούνται κατά μήκος των βάσεων στήριξης

#### **4.6.4 Τοποθέτηση των πάνελ**

Στη συνέχεια τοποθετούνται τα πάνελ



Εικόνα 4-5 Τα πάνελ τοποθετούνται από έμπειρο τεχνικό προσωπικό

#### **4.6.5 Πραγματοποίηση των συνδέσεων του inverter**

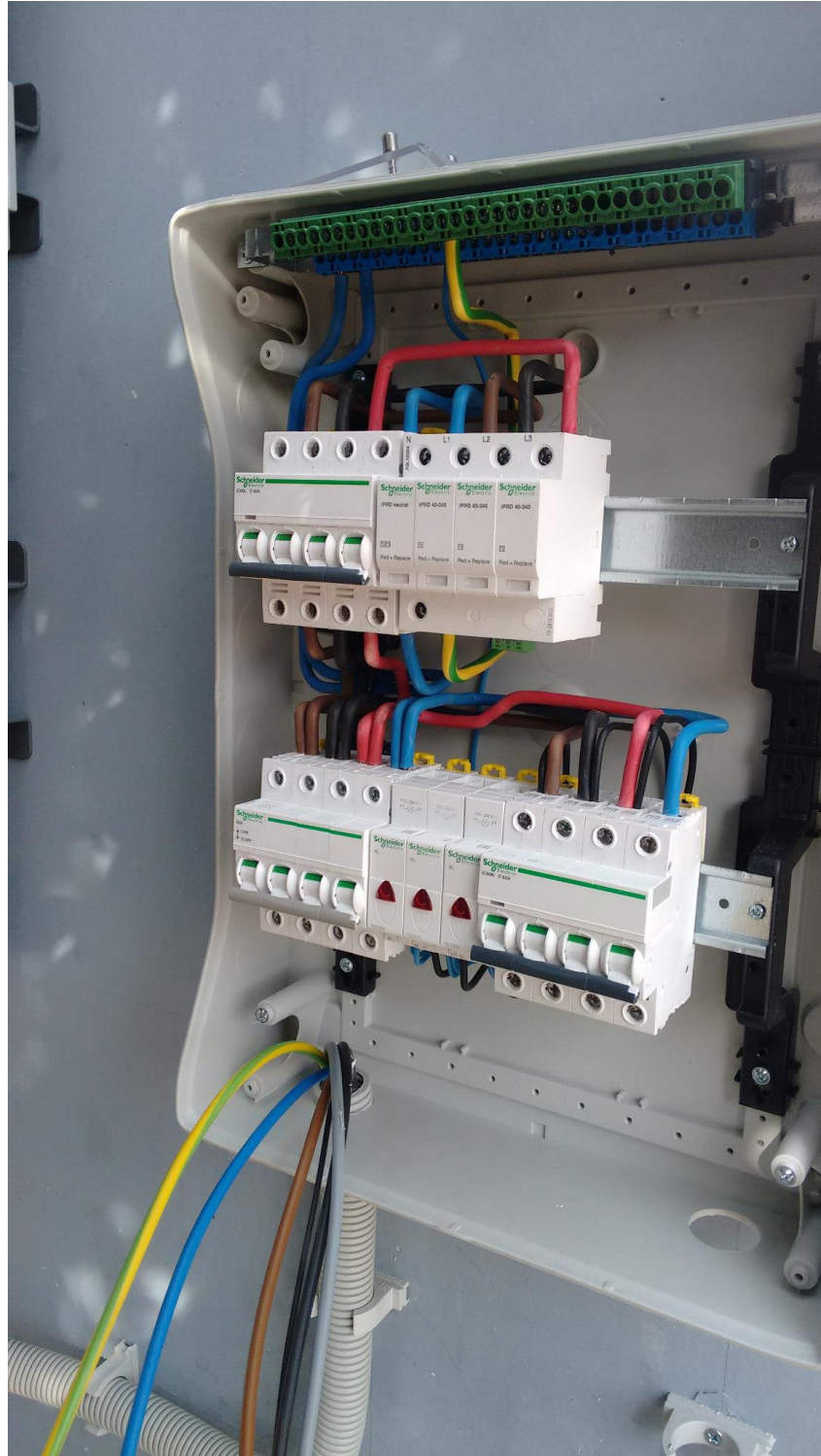
Συνδέεται ο αντιστροφέας με τα πάνελ



Εικόνα 4-6 Οι καλωδιώσεις σύνδεσης του inverter

#### 4.6.6 Τοποθέτηση του ηλεκτρικού πίνακα

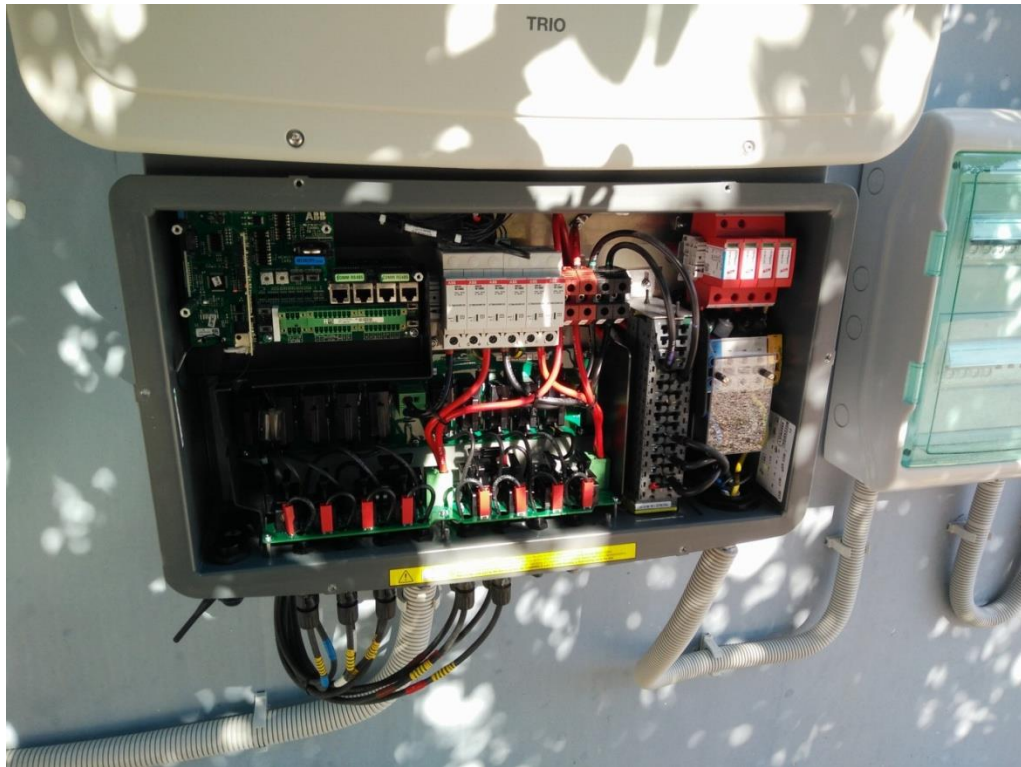
Τοποθετείται ο ηλεκτρικός πίνακας



Εικόνα 4-7 Ο ηλεκτρικός πίνακας της εγκατάστασης

#### 4.6.7 Τοποθέτηση της πλακέτας τηλεμετρίας για παρακολούθηση της εγκατάστασης από κινητό ή υπολογιστή

Τοποθετείται η πλακέτα τηλεμετρίας στην έξοδο του αντιστροφέα



Εικόνα 4-8 Η πλακέτα τηλεμετρίας τοποθετημένη στο κάτω μέρος του αντιστροφέα

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 - ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ

### 5.1 Υπολογισμός του αριθμού των πάνελ

Πίνακας Τα φορτία της οικίας

ΦΟΡΤΙΟ	ΙΣΧΥΣ (W)	ΧΡΟΝΟΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ (h)
Λαμπτήρες LED	50	6
Τηλεόραση	100	3
Διάφορα (Laptop, καφετιέρα, ηλεκτρικό σίδερο, μίξερ)	200	3
Πλυντήριο ρούχων	2000	0.5
Ψυγείο	250	24 (διακοπτόμενα)=4
Ηλεκτρική κουζίνα	3000	3
Κλιματιστικό	1500	5
Κλιματιστικό	1000	2
Κλιματιστικό	1000	2

Συνολική ηλεκτρική ενέργεια ανά ημέρα:

$$E_{HA} = 50 \cdot 6 + 100 \cdot 3 + 200 \cdot 3 + 2000 \cdot 0.5 + 250 \cdot 4 + 3000 \cdot 3 + 1500 \cdot 5 + 1000 \cdot 2 + 1000 \cdot 2 = 23.7kWh$$

Επομένως η ηλεκτρική ενέργεια που θα καλυφθεί από τα πάνελ είναι:

$$E_{HA} = 23.7kWh$$

Έστω  $E_{\eta\lambda\iota\alpha\kappa\eta}=93 \text{ kWhrs/m}^2$  μήνα (χειρότερος μήνας με τη μικρότερη ηλιακή ενέργεια) και  $t_a=13.6^\circ\text{C}$

Οπότε η ηλιακή ενέργεια ανά ημέρα είναι

$$E_{\eta\lambda\iota\alpha\kappa\eta/\eta\mu\acute{\epsilon}\rho\alpha} = \frac{93}{31} = 3\text{kWhrs/m}^2$$

Έστω

- ο συντελεστής γήρανσης είναι:  $n_\gamma=1$  (καινούρια ΦΒ)
- ο συντελεστής ρύπανσης:  $n_\rho=0,73$  (το σπίτι βρίσκεται σε πόλη)
- ο συντελεστής διόδου  $n_\delta=0,99$
- Ο συντελεστής θερμοκρασίας :

$$n_\theta = 1 - (t_a + 5) \cdot 0.004 = 1 - (13,6 + 5) \cdot 0.004 = 0.9256$$

Άρα ο  $n = n_\gamma \cdot n_\rho \cdot n_\delta \cdot n_\theta = 1 \cdot 0,73 \cdot 0,99 \cdot 0,9256 = 0.67$

Η ισχύς των πάνελ είναι  $440\text{Wp}$

$$\begin{aligned} \frac{E_{\eta\lambda\epsilon\kappa\tau\rho\iota\kappa\eta}}{E_{\eta\lambda\iota\alpha\kappa\eta/\eta\mu\acute{\epsilon}\rho\alpha}} &= n \cdot \frac{P_{\Phi\omega\tau\omicron\beta\omicron\lambda\tau\alpha\iota\kappa\omicron\upsilon}}{1000} \Rightarrow E_{\eta\lambda\epsilon\kappa\tau\rho\iota\kappa\eta} = n \cdot \frac{P_{\Phi\omega\tau\omicron\beta\omicron\lambda\tau\alpha\iota\kappa\omicron\upsilon}}{1000} \cdot E_{\eta\lambda\iota\alpha\kappa\eta/\eta\mu\acute{\epsilon}\rho\alpha} \\ &= 0.67 \cdot \frac{440}{1000} \cdot 3 \Rightarrow \end{aligned}$$

$$E_{\eta\lambda\epsilon\kappa\tau\rho\iota\kappa\eta} = 0,8844 \text{ kWhrs}$$

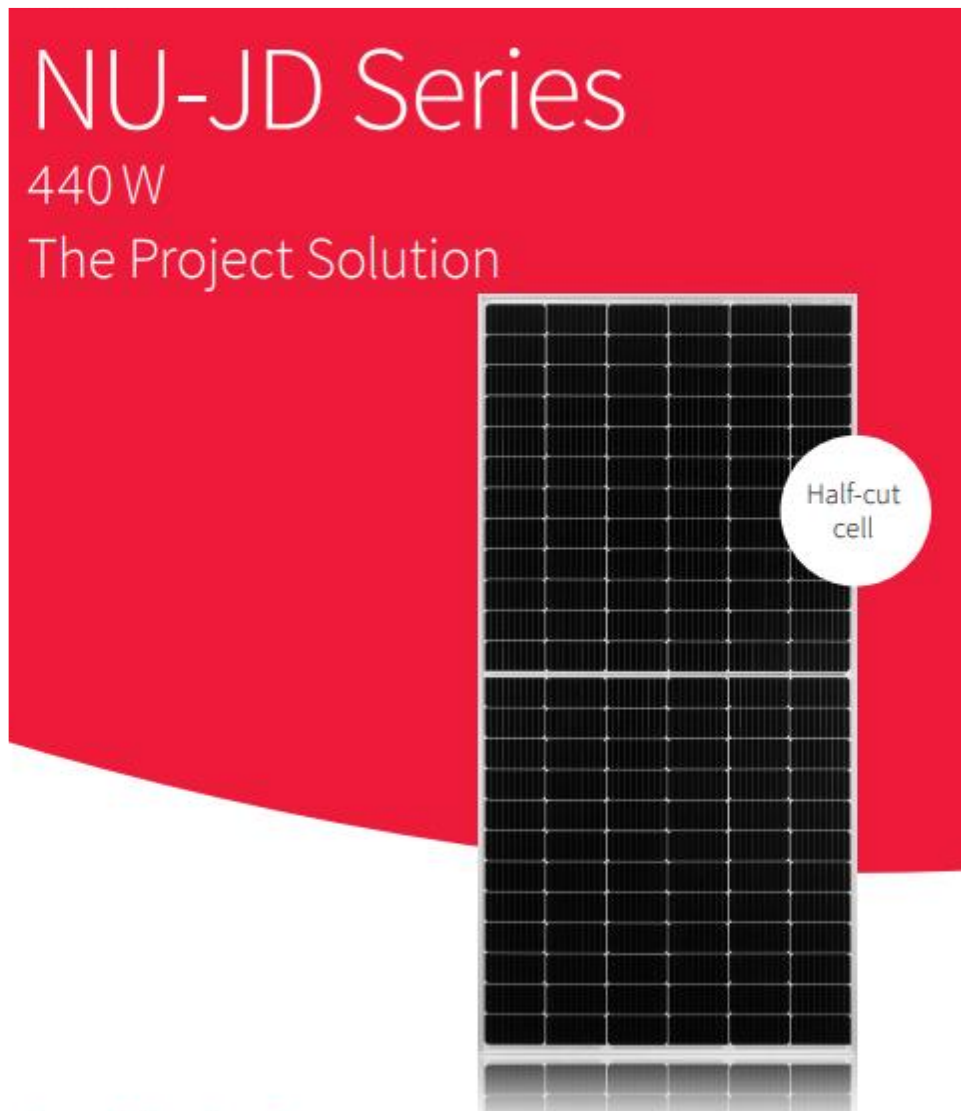
1 πάνελ  $E_{\text{H}\Lambda}=0.8844 \text{ kWhrs}$

x πάνελ  $E_{\text{H}\Lambda} = 23.7\text{kWhrs}$

$$x = 1 \cdot \frac{23.7}{0,8844} \Rightarrow x = 26.8 \text{ πάνελ} = 27 \text{ πάνελ}$$

## 5.2 Διάταξη

Το πάνελ που θα χρησιμοποιηθεί φαίνεται παρακάτω



Εικόνα 5-1

Το χρησιμοποιούμενο πάνελ

Οι διαστάσεις του πλαισίου **2108 x 1048 x 40 mm**

Η διάταξη θα αποτελείται από 3 σειρές των 9 πλαισίων η κάθε μία.

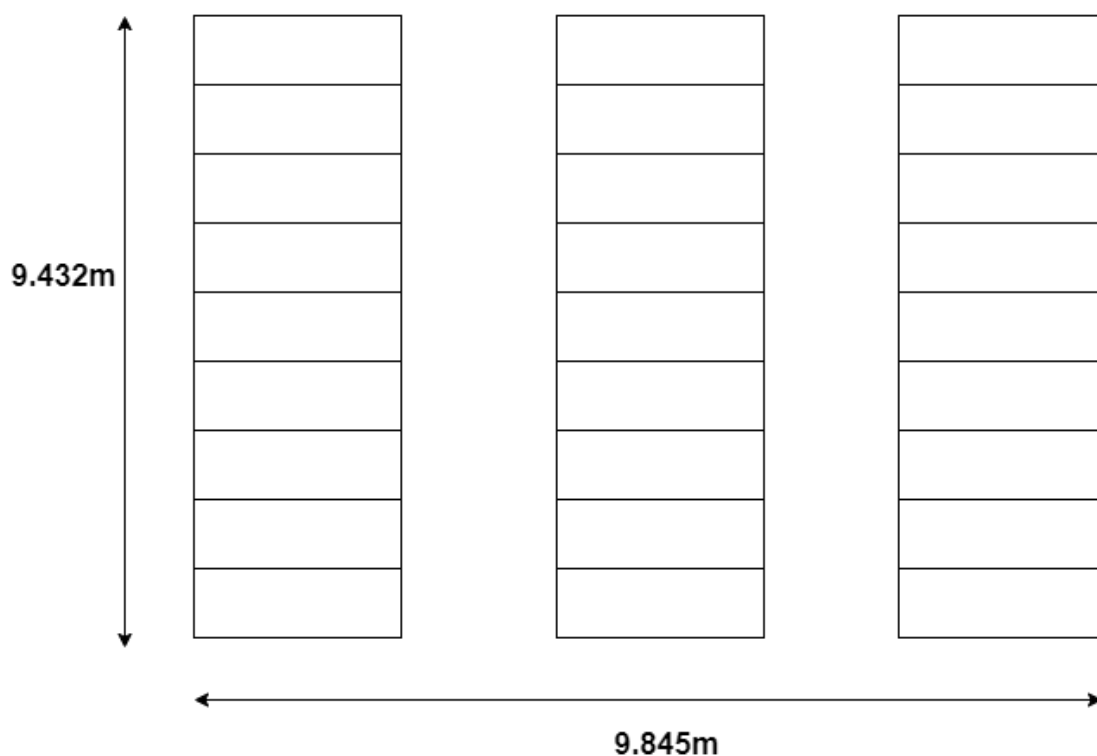
Κάθε σειρά έχει μήκος  $1.048 \times 9 = 9.432\text{m}$ .

Επειδή τα πάνελ τοποθετούνται με κλίση  $40^\circ$  από το έδαφος, το πραγματικό πλάτος της συστοιχίας σε σχέση με το έδαφος είναι  $\text{μήκος} \cdot \cos\phi = 2.108 \cdot \cos 40 = 1.615\text{m}$ .

Επίσης θεωρούμε ότι οι σειρές μεταξύ τους έχουν απόσταση 2.5m.

Αρά το πλάτος της όλης συστοιχίας είναι  $3 \cdot 1.615 + 2 \cdot 2.5 = 9.845\text{m}$





Σχήμα 5-1 Διάταξη των ΦΒ στοιχείων

Οπότε η εγκατάσταση θα καταλαμβάνει εμβαδόν:  $(9.432\text{m}) \cdot (9.845\text{m}) = 92.86\text{m}^2$   
 (χωράει στην ταράτσα) και θα είναι ισχύος  $440 \times 27 \text{ πάνελ} = 11880\text{W}$

Πίνακας 5-1 Τα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά του πάνελ

Electrical data (STC)			
NU-JD440			
Maximum power	$P_{max}$	440	$W_p$
Open-circuit voltage	$V_{oc}$	49.77	V
Short-circuit current	$I_{sc}$	11.49	A
Voltage at point of maximum power	$V_{mpp}$	41.20	V
Current at point of maximum power	$I_{mpp}$	10.68	A
Module efficiency	$\eta_m$	19.9	%

STC = Standard Test Conditions: irradiance  $1,000\text{W/m}^2$ , AM 1.5, cell temperature  $25^\circ\text{C}$ .  
 Rated electrical characteristics are within  $\pm 10\%$  of the indicated values of  $I_{sc}$ ,  $V_{oc}$  and 0 to  $+5\%$  of  $P_{max}$  (power measurement tolerance  $\pm 3\%$ ).  
 Reduction of efficiency from an irradiance change of  $1,000\text{W/m}^2$  to  $200\text{W/m}^2$  ( $T_{module} = 25^\circ\text{C}$ ) is less than 3%.

$$\text{Πρέπει } V_{dc,pv} \geq 1.2 \cdot V_{load} \Rightarrow 9 \cdot 41.2 \geq 1.2 \cdot 230 \Rightarrow 370.8 \geq 276 \text{ ΙΣΧΥΕΙ}$$

### 5.3 Μπαταρία φωτοβολταϊκής συστοιχίας

2 ημέρες αυτονομίας, άρα οι συσσωρευτές θα έχουν βάθος εκφόρτισης  $B_{εκ}=0.4$

Για αυτονομία 2 ημερών έχουμε:  $E_{ηλεκτρική} = (2 + 1) \cdot 23.7 = 71.1 \text{ kWhrs}$

$$Q_{ολ} = \frac{E_{ηλεκτρική}}{B_{εκ} \cdot n \cdot V} = \frac{71100}{0.4 \cdot 0.9 \cdot 12} = 16458.3 \text{ Ah} \cdot$$

Άρα θα χρησιμοποιηθούν  $N = \frac{16458,3}{140} = 117$  συσσωρευτές = 120 συσσωρευτές 12V/140Ah

Άρα θα χρησιμοποιηθούν 6 σειρές, 20 συσσωρευτές ανά σειρά ούτως ώστε κάθε σειρά να αποδίδει  $20 \times 12 = 240 \text{ V}$

### 5.4 Μετατροπέας συνεχούς ρεύματος εξόδου της συστοιχίας σε εναλλασσόμενο ρεύμα

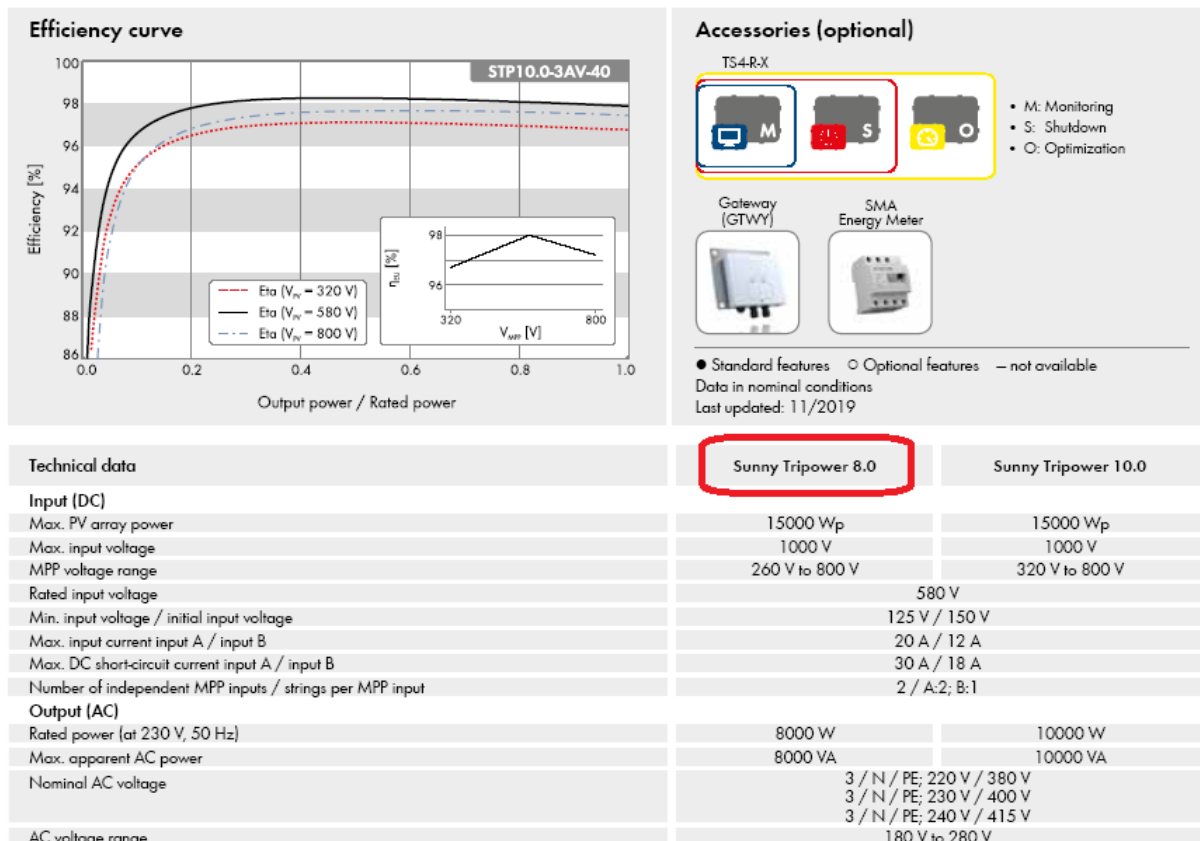
Με βάση την αποδιδόμενη ισχύ της ΦΒ συστοιχίας επιλέχθηκε ο μετατροπέας **Sunny Tripower 8.0** της εταιρείας SMA ισχύος **15000Wp**

SUNNY TRIPOWER 8.0 / 10.0  
with SMA SMART CONNECTED



Εικόνα 5-2 Ο μετατροπέας Sunny Tripower

## Πίνακας 5-2 Τα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά του αντιστροφέα



### 5.5 Ηλεκτρολογικός έλεγχος διασύνδεσης της συστοιχίας με τον inverter

Τα πλαίσια θα συνδεθούν σε 3 σειρές των 9 πλαισίων

Με βάση τα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά των πλαισίων και του αντιστροφέα (πίνακες) διενεργείται ο έλεγχος της ηλεκτρολογικής διασύνδεσης

$$\text{Πρέπει } V_{DC,m}=41.2 \times 9=370.8, \quad 260V < V_{mppt} < 800V$$

$$V_{DC,oc}=49.77 \times 9=447.93V < V_{DC,max}=1000V$$

$$I_{DC}=11.49A < 20A$$

Όλες οι τιμές είναι εντός των ορίων του αντιστροφέα οπότε είναι εφικτή η προτεινόμενη σύνδεση

## ΠΗΓΕΣ ΑΠΟ ΤΟ ΔΙΑΔΙΚΤΥΟ

<http://eclass.teipir.gr/openeclass/modules/document/file.php/MECH105/I.%20Διαφάνειες%20Μαθήματος/VIII.%20Φωτοβολταϊκά.pdf>

[https://ethw.org/Russell\\_Ohl](https://ethw.org/Russell_Ohl)

[\*\*https://nssdc.gsfc.nasa.gov/nmc/spacecraft/display.action?id=1958-002B\*\*](https://nssdc.gsfc.nasa.gov/nmc/spacecraft/display.action?id=1958-002B)

<https://illustrationprize.com/el/233-photovoltaic-or-solar-cell.html>

<https://fwtovoltaikaa.weebly.com/phiomegatauomicronbetaomicronlambdatauaIphaiotakappaeta-pialpharhoalphagammaomegagammaeta.html>

<https://fwtovoltaikaa.weebly.com/phiomegatauomicronbetaomicronlambdatauaIphaiotakappaeta-pialpharhoalphagammaomegagammaeta.html>

<https://www.oleng.eu/aytonomous-photovoltaics-batteries/>

[https://helapco.gr/pdf/HELAPCO\\_Net\\_Metering.pdf](https://helapco.gr/pdf/HELAPCO_Net_Metering.pdf)

<https://www.sieline.gr/ti-einai-to-netmetering/>

<https://solarbay.gr/έργο/φωτοβολταϊκό-σύστημα-net-metering-25kwp-στο-κορωπί/>

[https://www.smart-cover.gr/wp-content/uploads/2020/10/2007\\_NUJD\\_440\\_HC-Mono\\_Datasheet\\_EN.pdf](https://www.smart-cover.gr/wp-content/uploads/2020/10/2007_NUJD_440_HC-Mono_Datasheet_EN.pdf)

<https://files.sma.de/downloads/STP8-10-3AV-40-DS-en-20.pdf>

[https://www.smart-cover.gr/wp-content/uploads/2020/10/2007\\_NUJD\\_440\\_HC-Mono\\_Datasheet\\_EN.pdf](https://www.smart-cover.gr/wp-content/uploads/2020/10/2007_NUJD_440_HC-Mono_Datasheet_EN.pdf)