

8. Στοιχεία αυτόνομων Φωτοβολταϊκών Συστημάτων

Δέσποινα Τσιλίκη ΤΕΕ ΤΔΚ Κρήτη

Μαθησιακά Αποτελέσματα

Σκοπός του παρόντος κεφαλαίου είναι να παρουσιάσει την τρέχουσα τεχνολογία των αυτόνομων φωτοβολταϊκών συστημάτων και των απαραίτητων εξαρτημάτων τους. Μετά την ανάγνωση του παρόντος κεφαλαίου, ο αναγνώστης θα είναι ικανός να :

- Καταλάβει πως παράγεται η ενέργεια από το φωτοβολταϊκό πλαίσιο
- Κατανοήσει την λειτουργία και τα χαρακτηριστικά των συσσωρευτών
- Κατανοήσει την αναγκαιότητα και την λειτουργία του ελεγκτή φόρτισης
- Αντιληφθεί πως λειτουργούν οι αντιστροφείς
- Αποκτήσει βασικές γνώσεις όλων των απαραίτητων εξαρτημάτων για ένα αυτόνομο φ/β σύστημα (βάσεις στήριξης, προστασία, κ.λ.π)

Εισαγωγή

Η παρούσα ενότητα φιλοδοξεί να παρουσιάσει το σύνολο των στοιχείων που αποτελούν ένα αυτόνομο φωτοβολταϊκό σύστημα.

Με τον όρο **αυτόνομα φωτοβολταϊκά συστήματα παραγωγής ενέργειας** εννοούμε τα συστήματα τα οποία δίνουν τη δυνατότητα στον ηλεκτροπαραγωγό/ ενεργειακό καταναλωτή να καλύπτει το σύνολο των αναγκών του σε ηλεκτρική ενέργεια από παραγωγή με ίδια μέσα και συνηθίζονται σε περίπτωση που είναι τεχνικά δύσκολη, αδύνατη ή οικονομικά ασύμφορη η διασύνδεση με το υπάρχον δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας. Με τα αυτόνομα φωτοβολταϊκά συστήματα όπως και με τα υπόλοιπα αυτόνομα συστήματα ηλεκτρικής παραγωγής από Α.Π.Ε. (όπως τα μικρά αιολικά κ.λπ.), προάγεται ταυτόχρονα με το οικονομικό όφελος του παραγωγού-καταναλωτή και το συλλογικό συμφέρον σταδιακής ενεργειακής απεξάρτησης από τα στερεά και υγρά καύσιμα.

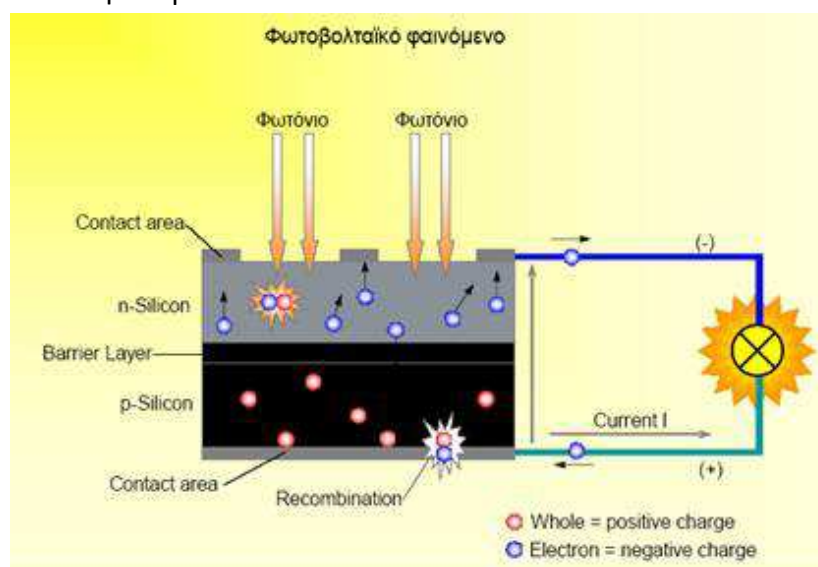
Τα στοιχεία που απαρτίζουν ένα αυτόνομο φωτοβολταϊκό σύστημα παρουσιάζονται ενιαία, παρ' όλα αυτά ένα μεγάλο τμήμα τους είναι κοινό και στα φωτοβολταϊκά

συστήματα που διασυνδέονται με το δίκτυο ή χρησιμοποιούνται για αυτοπαραγωγή.

Να σημειωθεί ότι το σύνολο του εξοπλισμού που αναφέρεται παρακάτω θα πρέπει να συνάδει με τους κανονισμούς/ πρότυπα όπως έχουν διαμορφωθεί σε εθνικό (π.χ. ΕΛΟΤ στην Ελλάδα), ευρωπαϊκό (EN, DIN) και διεθνές επίπεδο (ISO, IEC) για την κατασκευή τους, τον σχεδιασμό του συστήματος και την κατασκευή/ διασύνδεση / συντήρηση του φ/β συστήματος.

Φωτοβολταϊκά πλαίσια

Τα **φωτοβολταϊκά (ΦΒ) πλαίσια** αποτελούν τον πυρήνα κάθε φωτοβολταϊκής εγκατάστασης, καθώς αποτελούν τη γεννήτρια ηλεκτρικής ενέργειας. Η λειτουργία τους βασίζεται στο φωτοβολταϊκό φαινόμενο. Αποτελούν τη διάταξη εκείνη που μετατρέπει την ηλιακή ενέργεια από την άμεση και τη διάχυτη ακτινοβολία απευθείας σε ηλεκτρική ενέργεια. Γι' αυτό το σκοπό χρησιμοποιούνται ημιαγωγικά υλικά με τα οποία κατασκευάζονται τα φωτοβολταϊκά κύτταρα, τα οποία στη συνέχεια, εν σειρά και σε παράλληλη σύνδεση, ανάλογα με την τεχνολογία, δημιουργούν τα φωτοβολταϊκά πλαίσια.



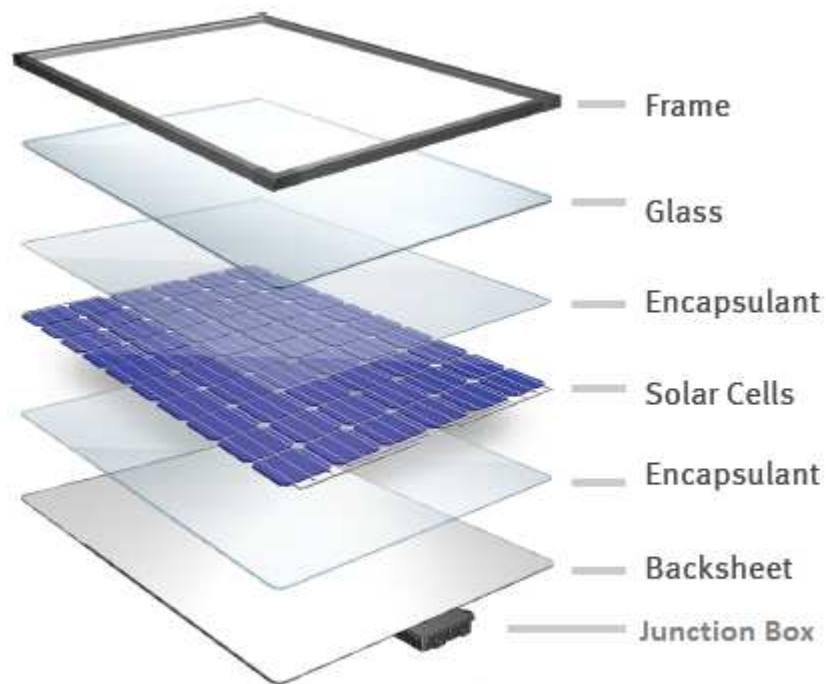
Σχήμα 1 - Φωτοβολταϊκό φαινόμενο

Πώς παράγεται η ηλεκτρική ενέργεια;

Τα ΦΒ κύτταρα είναι δίοδοι ημιαγωγού συνηθέστερα του τύπου p-n (positive-negative), χωρίς να αποκλείονται άλλου τύπου δίοδοι (π.χ. Schottky).

Με την πτώση φωτονίων πάνω στο ημιαγωγικό υλικό, δηλαδή καθώς φωτίζεται από τον ήλιο, τα φωτόνια που έχουν ενέργεια ίση ή μεγαλύτερη από το ενεργειακό διάκενο του ημιαγωγού συγκρούονται με τα ηλεκτρόνια σθένους του ημιαγωγικού υλικού και μεταβιβάζουν σ' αυτά όλη τους την ενέργεια. Η ενέργεια που ισούται με

το ενεργειακό διάκενο του ημιαγωγού απορροφάται και οδηγεί στην απελευθέρωση ηλεκτρονία που προσκολλώνται σε άτομα ή καταλαμβάνουν τη θέση μιας οπής που χάνεται. Η υπόλοιπη ενέργεια, αν υπάρχει, μετατρέπεται σε κινητική ενέργεια των ηλεκτρονίων και τελικά χάνεται σαν θερμική ενέργεια¹. Αποτέλεσμα αυτής της διαδικασίας είναι μια άτακτη μετακίνηση ηλεκτρονίων και οπών. Για να γίνει κατευθυνόμενη η ροή, και να δημιουργηθεί ηλεκτρικό ρεύμα, χρησιμοποιούνται ημιαγωγοί με προσμείξεις. Ο ρόλος των προσμείξεων είναι να δημιουργηθούν δύο διακριτές πλευρές στο υλικό, μία με πλεονάζοντα ηλεκτρόνια σθένους (τύπου n) και μία με ελλείμματα ηλεκτρονίων σθένους (τύπου p). Η επαφή των δύο αυτών κομματιών δημιουργεί μία δίοδο. Με αυτόν τον τρόπο μπορεί να γίνει προσανατολισμένη η ροή των ηλεκτρονίων (έχουμε δηλαδή διαφορά δυναμικού) και μπορεί να παραχθεί ηλεκτρικό ρεύμα, εφόσον βεβαίως είναι συνδεδεμένα με δύο ηλεκτρόδια συγκεκριμένης φοράς (Σχήμα 1).



Σχήμα 2 - Στρώματα φωτοβολταϊκού πλαισίου [1]

Τα φωτοβολταϊκά κύτταρα συνδέονται σε σειρά για να αυξηθεί η παραγόμενη τάση τους και στη συνέχεια συνδέονται παράλληλα για να αυξηθεί το παραγόμενο ρεύμα τους και ομαδοποιούμενα διαμορφώνουν το βασικό κομμάτι του φ/β πλαισίου.

¹ Η αρνητική επίδραση που έχει η αύξηση της θερμοκρασίας αντιπροσωπεύεται και από συγκεκριμένο χαρακτηριστικό δείκτη κάθε πλαισίου.

Πέραν των ΦΒ κυττάρων, υπάρχουν άλλα πέντε συστατικά ενός φωτοβολταϊκού πλαισίου (Σχήμα 2):

1. Το πίσω προστατευτικό φύλλο (backsheet), για την προστασία από την υπεριώδη ακτινοβολία (UV), τις αυξημένες θερμοκρασίες (με τη διάχυση της θερμότητας) και την υγρασία καθώς και την απαραίτητη ηλεκτρική μόνωση του πλαισίου και τον περιορισμό της μηχανικής υποβάθμισης του ίδιου του υλικού. Οι απαιτήσεις σε αντοχή 25ετίας, υψηλή απόδοση καθώς και χαμηλό κόστος είχαν καθιερώσει μέχρι σήμερα το Tedlar (φύλλο PVF - polyvinyl fluoride) και την κατασκευή του TPT, που περιλάμβανε τρία επίπεδα από PET (polyethylene terephthalate) ανάμεσα σε δύο επίπεδα Tedlar. Η νέα γενιά περιλαμβάνει Tedlar/PET/TPA (polyamide), με τη στρώση TPA να ενισχύει καθοριστικά την ανακλαστικότητα του φύλλου (αύξηση 15-20%) [2].
2. Το υλικό ενθυλάκωσης των φ/β κυττάρων, το οποίο αποτελείται από μία υαλώδη, διαπερατή από το φως μεμβράνη ειδικής επεξεργασίας και εξασφαλίζει μακροπρόθεσμα την προστασία των πιο ευαίσθητων μερών των ΦΒ κυττάρων. Συνήθως είναι τύπου σιλικόνης ή EVA (ethylene-vinyl acetate).
3. Το προστατευτικό γυαλί, το οποίο προσδίδει μηχανική αντοχή και προστασία από φθορές και έχει μικρά ποσοστά σιδήρου. Η επιφάνειά του είναι αντιανακλαστική για να μην εμποδίζεται η πρόσπτωση και η απορρόφηση της ακτινοβολίας.
4. Το πλαίσιο, το οποίο είναι μεταλλικό ή από πολυμερή υλικά, ενώ σε κάποιες περιπτώσεις μπορεί να μην υπάρχει καθόλου. Χρησιμοποιείται για την προστασία του προστατευτικού γυαλιού καθώς και για την εξασφάλιση μέγιστης σταθερότητας του φ/β πλαισίου.

Με βάση την τεχνολογική σειρά εμφάνισής τους, τα φ/β πλαίσια χωρίζονται σε τρεις γενικές κατηγορίες:

1. Κρυσταλλικού πυριτίου (c-Si)
2. Λεπτού υμενίου (thin films)
3. Λοιπές τεχνολογίες

Η πρώτη κατηγορία χωρίζεται σε τρεις βασικές υποκατηγορίες:

A) Τα μονοκρυσταλλικά στοιχεία πυριτίου. Το κρυσταλλικό πλέγμα των ατόμων Si πλησιάζει τον τέλειο κρύσταλλο (απόδοση max 25%). Κατασκευάζονται έπειτα από ψύξη λιωμένου Si και κοπή του σε πολύ λεπτές πλάκες, τα ΦΒ κύτταρα. Το πάχος τους είναι της τάξης των 0.3 χιλιοστών.

B) Τα πολυκρυσταλλικά στοιχεία πυριτίου, τα οποία περιλαμβάνουν στο πλέγμα τους κρυστάλλους ποικίλων προσανατολισμών. Αιτία αυτής της διαφοροποίησης είναι η μαζική και λιγότερο ελεγχόμενη ψύξη του Si. Όπως και στην προηγούμενη τεχνολογία, μετά την ψύξη, το πολυκρυσταλλικό πλέγμα πριονίζεται σε λεπτά ΦΒ

κύτταρα. Η ύπαρξη διαφόρων κρυστάλλων μέσα στο πλέγμα αυξάνει την εσωτερική αντίσταση στα σημεία σύνδεσής τους (απόδοση max 21.2%).

Γ) Τις ταινίες πυριτίου. Χρησιμοποιείται έως και 50% λιγότερο πυρίτιο σε σχέση με τις "παραδοσιακές τεχνικές" κατασκευής μονοκρυσταλλικών και πολυκρυσταλλικών φωτοβολταϊκών κυψελών πυριτίου (απόδοση max 16%). Το πάχος του είναι περίπου 0.3 χιλιοστά.

Η δεύτερη κατηγορία χωρίζεται σε τέσσερις βασικές υποκατηγορίες:

Δ) Άμορφα κύτταρα Si: Ιδιαίτερο χαρακτηριστικό της κατηγορίας αυτής είναι η μη κρυσταλλική τους δομή. Κατασκευάζονται με την εφαρμογή Si σε ειδικό υπόστρωμα γυαλιού. Η έλλειψη του κρυσταλλικού πλέγματος από τη δομή τους περιορίζει το βαθμό απόδοσης (απόδοση max 13,4%) [3].

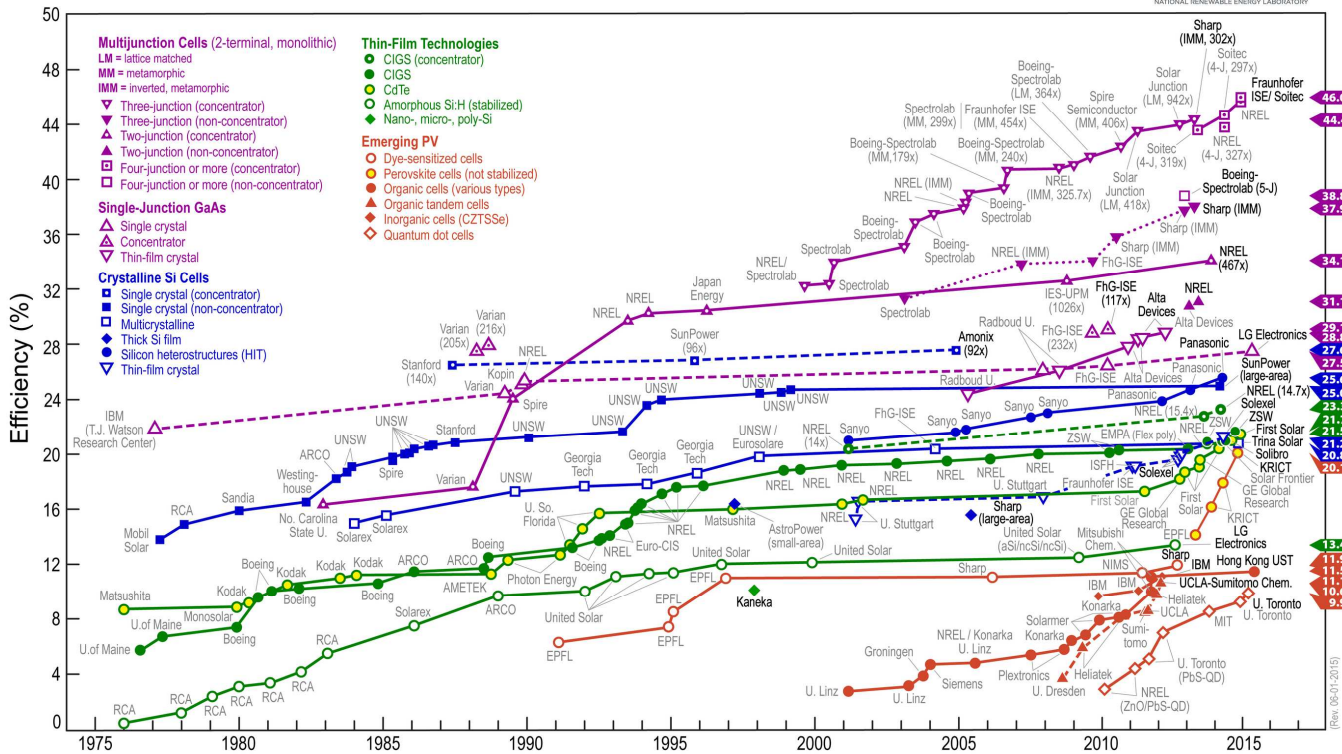
Ε) Δισεληνοϊνδιούχος χαλκός (CuInSe₂ ή CIS, με προσθήκη γαλλίου CIGS): έχει εξαιρετική απορροφητικότητα στο προσπίπτον φως. Με την πρόσμειξη γαλλίου, η απόδοσή του μπορεί να αυξηθεί ακόμα περισσότερο (απόδοση max 21.7%).

ΣΤ) Τελουριούχο κάδμιο (cadmium telluride, CdTe): έχει ενεργειακό διάκενο γύρω στο 1eV, το οποίο είναι πολύ κοντά στο ηλιακό φάσμα, κάτι που του δίνει τη δυνατότητα να απορροφά το 99% της προσπίπτουσας ακτινοβολίας (απόδοση max 21.5%). Τροχοπέδη για τη χρήση του αποτελεί το γεγονός ότι το κάδμιο, σύμφωνα με κάποιες έρευνες, είναι καρκινογόνο.

Ζ) Αρσενικούχο γάλλιο (GaAs): έχει ενεργειακό διάκενο 1.43eV, που είναι ιδανικό για την απορρόφηση της ηλιακής ακτινοβολίας (απόδοση max 38.8% στη μορφή πολλαπλών ενώσεων-multijunction).

Η τρίτη κατηγορία περιλαμβάνει τις υπό διαμόρφωση τεχνολογίες κλίμακας που κυρίως κατηγοριοποιούνται σε οργανικά/πολυμερή στοιχεία (OPV) και σε μη-οργανικά και σε υβριδικά (HIT), που αποτελούνται από συνδυασμό άμορφου πυριτίου και στρώσης μονοκρυσταλλικού πυριτίου.

Best Research-Cell Efficiencies



Σχήμα 3 - Τεχνολογική πρόοδος φωτοβολταϊκών κυττάρων - συνάρτηση τεχνολογίας και βαθμού απόδοσης με το χρόνο [4]

Η Α και η Β κατηγορίες ΦΒ πλαισίων κυριαρχούν στα ΦΒ έργα, καθώς συνδυάζουν υψηλές αποδόσεις και χαμηλό κόστος.

Τα χαρακτηριστικά μεγέθη για κάθε ΦΒ πλαίσιο που δίνονται από τους κατασκευαστές είναι τα εξής: το ρεύμα βραχυκύκλωσης I_{sc} , η τάση ανοιχτοκυκλώματος V_{oc} , η ονομαστική ισχύς P_{nom} , η μέγιστη τάση V_{mpp} , το μέγιστο ρεύμα I_{mpp} , η μέγιστη ισχύς P_{max} και η απόδοση του ϕ/β πλαισίου (%), όπως ορίζονται για τις standard test conditions-STC: 25°C, ακτινοβολία 1000W/m².

Τα ΦΒ πλαίσια παράγουν ηλεκτρική ενέργεια συνεχούς ρεύματος (ΣΡ) ανάλογα με την ηλιοφάνεια. Τα ΦΒ πλαίσια παράγουν τη μεγαλύτερη ενέργεια σε αίθρια ημέρα, όταν ο ήλιος είναι κάθετα στα ΦΒ πλαίσια της διάταξης, ενώ παράγουν λιγότερη ενέργεια τις πρωινές και απογευματινές ώρες, τις εποχές κατά τις οποίες ο ήλιος είναι υψηλότερα ή χαμηλότερα στον ουρανό, καθώς και κατά τις νεφελώδεις ημέρες. Τα ΦΒ πλαίσια δεν παράγουν ενέργεια κατά τη διάρκεια της νύχτας.

Αξίζει να σημειωθεί ότι τα ΦΒ πλαίσια που χρησιμοποιούνται στα αυτόνομα συστήματα μπορεί να είναι ανάλογα με το μέγεθος και το οικονομικοτεχνικό κόστος κάθε φορά, τα ίδια ή όχι με αυτά που χρησιμοποιούνται για τα ΦΒ συστήματα που συνδέονται με το δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας. Η διαφορά στις εγκαταστάσεις,

πέραν του οικονομικού κόστους, έγκειται στην διαφορετική σύνδεση με τους συσσωρευτές και στην χρήση (ή μη χρήση) διαφορετικού εξοπλισμού (π.χ. αντιστροφή κλπ).

Συσσωρευτές-μπαταρίες (accumulators-storage batteries)

Οι **συσσωρευτές**, ή επαναφορτιζόμενες μπαταρίες ή μπαταρίες αποθήκευσης, αποτελούν εκείνο το στοιχείο που χαρίζει στο σύστημα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας την αυτονομία. Η ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται και δεν χρησιμοποιείται την ίδια στιγμή πρέπει να μπορεί να αποθηκευτεί για να χρησιμοποιηθεί όποτε και όπου υπάρχει ανάγκη (π.χ. όταν λόγω καιρού δεν έχουμε παραγωγή ενέργειας ή κατά τις βραδινές ώρες). Η ποσότητα της ηλεκτρικής ενέργειας που πρέπει να αποθηκεύεται εξαρτάται από τις τοπικές συνθήκες, τις απαιτήσεις του καταναλωτή και κυρίως το μέγιστο πλήθος των πιθανών συνεχών ημερών συννεφιάς, τις αιχμές της κατανάλωσης και το βαθμό αξιοπιστίας που θα πρέπει να παρουσιάζει το σύστημα, σε συνδυασμό με την ύπαρξη ή όχι βοηθητικών ενεργειακών πηγών. Συνήθως, τα αυτόνομα φωτοβολταϊκά συστήματα ζητείται να εξασφαλίζουν αυτονομία τριών έως δέκα ημερών [5]. Ταυτόχρονα, οι συσσωρευτές έχουν και ρόλο διατήρησης της τάσης του ΦΒ συστήματος εντός καθορισμένων ορίων, ώστε να μπορεί να την απορροφά κάθε συνδεδεμένο φορτίο.

Οι συσσωρευτές φορτίζονται όσο χρονικό διάστημα η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια υπερβαίνει τη ζητούμενη και εκφορτίζονται στην αντίθετη περίπτωση. Το χρονικό διάστημα από την πλήρη φόρτιση μέχρι την πλήρη εξάντληση της αποθηκευμένης ενέργειας και την εκκίνηση της φόρτισης εκ νέου ονομάζεται **κύκλος φόρτισης** (η αντίστροφη διαδικασία αποτελεί τον ισοδύναμο κύκλο εκφόρτισης).

Τα χαρακτηριστικά μεγέθη για κάθε συσσωρευτή είναι: η τάση (V), η χωρητικότητα² (Ah) και το βάθος εκφόρτισης (DOD)³. Επειδή το γινόμενο των κύκλων λειτουργίας επί το βάθος εκφόρτισης παραμένει σταθερό, όσο περισσότερο εκφορτίζεται μία μπαταρία τόσο μειώνονται οι συνολικοί κύκλοι λειτουργίας (δηλαδή ο χρόνος ζωής της). Ταυτόχρονα, στη διάρκεια ζωής της μπαταρίας, η μετρούμενη χωρητικότητα μειώνεται όλο και περισσότερο λόγω των επιπτώσεων της γήρανσης. Ο αριθμός των

² Το γινόμενο του ρεύματος (A) που μπορεί να παρέχει η μπαταρία επί το χρονικό διάστημα (h) για το οποίο μπορεί να το παρέχει υπό συγκεκριμένες συνθήκες τάσης, θερμοκρασίας και ρυθμού εκφόρτισης.

³ Το ποσοστό της συνολικής χωρητικότητας το οποίο συσσωρεύεται σε έναν κύκλο φόρτισης και καταναλώνεται σε έναν κύκλο εκφόρτισης.

ημερών αυτονομίας που απαιτεί ο εκάστοτε χρήστης καθορίζει τη συνολική χωρητικότητα του συσσωρευτή/συσσωρευτών⁴.

Ορισμένες από τις πιο σημαντικές απαιτήσεις που πρέπει να λαμβάνονται υπόψη για την διαστασιολόγηση του συστήματος αποθήκευσης ενέργειας είναι οι ακόλουθες:

- Απόδοση-διάρκεια: Υψηλή ενεργειακή απόδοση, μεγάλη διάρκεια ζωής (σε χρόνια) και σταθερή χωρητικότητα, καλή αποδοτικότητα φόρτισης ακόμα και σε πολύ μικρά ρεύματα, χαμηλός ρυθμός αυτοεκφόρτισης.
- Οικονομικό κόστος: Χαμηλό κόστος κτήσης εξοπλισμού, μικρές απαιτήσεις και κόστος συντήρησης, υψηλή διαθεσιμότητα παγκοσμίως, ικανότητα γρήγορης φόρτισης.
- Υλικό: Χαμηλή έκθεση σε ακατάλληλες συνθήκες, εύκολα ανακυκλώσιμη, χαμηλή τοξικότητα των υλικών.
- Ασφάλεια-αξιοπιστία: Ασφαλής συμπεριφορά σε περίπτωση υπερφόρτισης ή βαθιάς εκφόρτισης, εύκολη επεκτασιμότητα τάσης και χωρητικότητας μέσω συνδέσεων σε σειρά και παράλληλα, μικρό χάσμα τάσης μεταξύ φόρτισης και εκφόρτισης (επιτρέπει τη σύνδεση φορτίων κατευθείαν στη μπαταρία), χαμηλές εκρηκτικές δυνατότητες, υψηλή μακροπρόθεσμη αξιοπιστία.

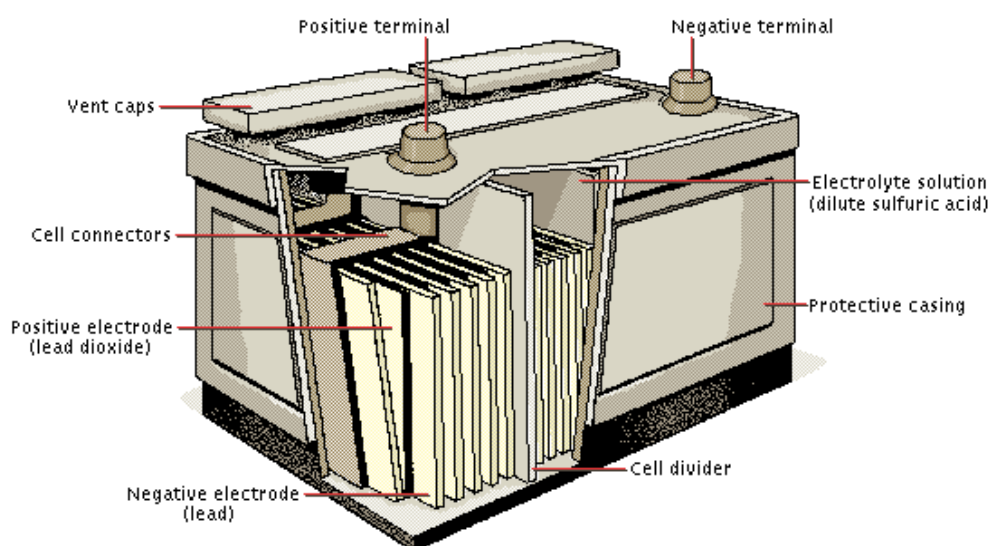
Στα αυτόνομα φωτοβολταϊκά συστήματα χρησιμοποιούνται μπαταρίες βαθιάς εκφόρτισης με πολλούς κύκλους λειτουργίας. Συνήθεις τιμές είναι οι 1.500 κύκλοι λειτουργίας για εκφόρτιση ακόμη και στο 80% της ονομαστικής χωρητικότητας για τάση 12V.

Οι μολύβδου-οξέος (Lead-Acid) συσσωρευτές καλύπτουν το μεγαλύτερο εύρος των απαιτήσεων, όπως αναφέρθηκαν παραπάνω και γνωρίζουν κατ' επέκταση και μεγαλύτερη χρήση. Διακρίνονται σε δύο τύπους με βάση τη μέθοδο κατασκευής τους και χρησιμοποιούνται και οι δύο στα αυτόνομα ΦΒ συστήματα: ο πρώτος τύπος είναι οι ανοικτού τύπου ή πλημμυρισμένες ή εξαεριζόμενες (flooded/vented) και ο δεύτερος τύπος είναι οι κλειστού τύπου ή σφραγισμένες (sealed). Όλοι οι συσσωρευτές μολύβδου-οξέος παράγουν αέρια υδρογόνου και οξυγόνου (αεριοποίηση) στα ηλεκτρόδια κατά τη φόρτιση μέσω μιας διαδικασίας που ονομάζεται ηλεκτρόλυση. Αυτά τα αέρια είτε δραπετεύουν από ένα ανοικτό στοιχείο (άρα το συγκεκριμένο στοιχείο χρειάζεται αναπλήρωση ηλεκτρολύτη), είτε το κλειστό στοιχείο είναι κατασκευασμένο έτσι ώστε τα αέρια να συγκρατούνται και να ανασυνδυάζονται. Αξίζει να σημειωθεί ότι τα αέρια υδρογόνου είναι εκρηκτικά στον αέρα μόνο σε ποσοστό 4% κατ' όγκο.

⁴ Όταν έχουμε δύο μπαταρίες σε σειρά, η χωρητικότητα παραμένει ίδια, ενώ αθροίζεται η τάση (το αντίθετο συμβαίνει όταν παραλληλίζουμε δύο μπαταρίες).

Οι συσσωρευτές ανοικτού τύπου (συνήθης τύπος OpZs) απαιτούν καλό αερισμό και αναπλήρωση ηλεκτρολυτών, αλλά έχουν μεγάλες χωρητικότητες, συνδυαζόμενες με πολλούς κύκλους λειτουργίας και με σχετικά χαμηλό κόστος. Αντίθετα, οι συσσωρευτές κλειστού τύπου, συνήθως ρυθμιζόμενοι από μια βαλβίδα (valve regulated lead acid, VRLA) με απορροφητικό στρώμα γυαλιού (absorbed glass mat, AGM), έχουν καλή επίδοση σε υψηλό ρεύμα (μικρός χρόνος εκφόρτισης) και περιέχουν πολύ μικρή ποσότητα οξέος, κάτι το οποίο σημαίνει ότι είναι πολύ επιρρεπείς σε απώλειες νερού που συμβαίνουν κυρίως σε υψηλές θερμοκρασίες, αλλά αντιστέκονται αρκετά καλά στο να παγώσουν, αφού υπάρχει χώρος για επέκταση μέσα στην AGM [6]. Επίσης, δεν απαιτούν συντήρηση αλλά είναι ακριβότεροι και έχουν λιγότερους κύκλους λειτουργίας.

Πέρα από τους συσσωρευτές μολύβδου οξέος μπορούμε να συναντήσουμε και συσσωρευτές νικελίου καδμίου (Ni Cd, περιορισμένη χρήση στα ΦΒ συστήματα) όπως και ιόντων λιθίου (Li-ion), οι οποίοι τα τελευταία χρόνια εξελίσσονται προς χρήση σε ΦΒ συστήματα.

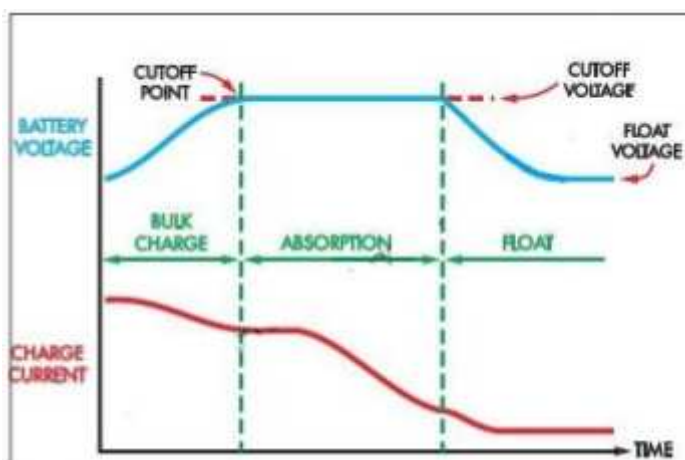


Σχήμα 4 - Συσσωρευτής Μολύβδου- οξέος σε τομή [10]

Φορτιστής - Ρυθμιστής φόρτισης συσσωρευτών

Οι διαδικασίες φόρτισης και εκφόρτισης των συσσωρευτών και ο έλεγχός τους είναι ουσιώδεις για τη διατήρηση των συσσωρευτών σε καλή κατάσταση και, συνεπώς, την επιμήκυνση της ζωής τους. Η φόρτιση των μπαταριών πρέπει να γίνεται με συνεχές ρεύμα. Το εναλλασσόμενο ρεύμα πρέπει να μετασχηματίζεται και για την εργασία αυτή χρησιμοποιούνται κυρίως ημιαγωγοί ανορθωτές [7]. Οι φορτιστές λοιπόν μετατρέπουν το παραγόμενο εναλλασσόμενο ρεύμα σε συνεχές ρεύμα (μετατροπείς) για να επαναφορτίσουν την μπαταρία. Η φόρτιση μπορεί να

πραγματοποιηθεί με ποικίλους τρόπους, το αντικείμενο της όμως, το οποίο είναι η οδήγηση ρεύματος μέσα από τη μπαταρία στην αντίθετη κατεύθυνση από αυτήν της εκφόρτισης, παραμένει το ίδιο [8].



Σχήμα 5 - Ιδανικές συνθήκες φόρτισης για συσσωρευτή Μολύβδου- οξέος[11]

Οι βασικές μέθοδοι που έχουν αναπτυχθεί για την φόρτιση των συσσωρευτών μολύβδου-οξέος είναι οι κάτωθι:

1. Σταθερό ρεύμα – ένα ρεύμα
2. Σταθερό ρεύμα – πολλαπλά βήματα μειούμενου ρεύματος
3. Τροποποιημένο σταθερό ρεύμα
4. Σταθερό δυναμικό
5. Τροποποιημένο σταθερό δυναμικό με σταθερό αρχικό ρεύμα
6. Τροποποιημένο σταθερό δυναμικό με σταθερό τελικό ρυθμό
7. Τροποποιημένο σταθερό δυναμικό με σταθερό αρχικό και τελικό ρυθμό
8. Φόρτιση πλήρωσης (taper charge)
9. Παλμική φόρτιση (pulse charge)
10. Φόρτιση συντήρησης (trickle charging)
11. Σταθερή φόρτιση / φόρτιση αναμονής (float charging)
12. Ταχεία φόρτιση (rapid charging)

Βασικό κομμάτι της ασφαλούς και αποδοτικής λειτουργίας ενός συσσωρευτή είναι η λειτουργία του στην υψηλότερη δυνατή στάθμη φόρτισης. Αυτό τον ρόλο αναλαμβάνει ο **ελεγκτής φόρτισης**, ενώ παράλληλα διασφαλίζει την προστασία του συσσωρευτή από την υπερφόρτιση και από την υπερεκφόρτιση.

Τι κάνει συγκεκριμένα ο ελεγκτής φόρτισης:

A) Προστασία από υπερφόρτιση: Συνήθως, ο ελεγκτής περιορίζει την τάση του συσσωρευτή σε μία μέγιστη τιμή (voltage regulation set point- VR). Το αντίστοιχο

ρεύμα είτε περιορίζεται όσο η τάση ρύθμισης είναι σταθερή είτε παραμένει αποσυνδεδεμένο έως ότου η τάση του συσσωρευτή πέσει στο σημείο που έχει τεθεί σαν τάση επανασύνδεσης της συστοιχίας (array reconnect voltage- AVR).

Β) Προστασία από υπερεκφόρτιση: Συνήθως επιτυγχάνεται ανοιχτοκυκλώνοντας (open circuiting) τη σύνδεση μεταξύ του συσσωρευτή και του ηλεκτρικού φορτίου όταν η τάση φτάνει σε ένα προκαθορισμένο/ρυθμισμένο σημείο χαμηλής τάσης αποσύνδεσης φορτίου (low voltage load disconnect set point- LVD). Μάλιστα οι περισσότεροι ελεγκτές φόρτισης έχουν είτε μια λυχνία είτε έναν ηχητικό συναγερμό μέσω του οποίου ενημερώνεται ο χρήστης του ΦΒ συστήματος για τη αποσύνδεση του φορτίου. Μετά από ένα συγκεκριμένο σημείο επαναφόρτισης του συσσωρευτή, τα φορτία συνδέονται εκ νέου.

Γ) Παροχή λειτουργιών ελέγχου του φορτίου: Είναι δυνατός ο ορισμός αυτόματης σύνδεσης και αποσύνδεσης ενός ή περισσότερων ηλεκτρικών φορτίων σε συγκεκριμένο χρόνο κατά τη διάρκεια της μέρας, π.χ. για την λειτουργία ενός φορτίου φωτισμού όσο δεν λειτουργεί το ΦΒ σύστημα (από τη δύση έως την ανατολή του ηλίου).

Υπάρχουν δύο βασικές κατηγορίες ελεγκτών/ρυθμιστών φόρτισης που αποτελούν τη βάση για πολλές άλλες παραλλαγές: οι ρύθμισης σε σειρά και οι ρύθμισης παράλληλα. Ο ρύθμισης σε σειρά ελεγκτής λειτουργεί σε σειρά μεταξύ της ΦΒ συστοιχίας και του συσσωρευτή, ανοιχτοκυκλώνοντας τη ΦΒ συστοιχία. Η χρήση του γίνεται και σε μικρά αλλά και σε μεγάλα αυτόνομα ΦΒ συστήματα. Ο παράλληλος ελεγκτής ρυθμίζει τη φόρτιση ενός συσσωρευτή βραχυκυκλώνοντας την φωτοβολταϊκή συστοιχία εσωτερικά στον ελεγκτή. Η χρήση του περιορίζεται σε ΦΒ συστήματα με ρεύματα συστοιχίας μικρότερα των 20 Α.

Η τεχνολογία των ρυθμιστών φόρτισης έχει εξελιχθεί και τα πλέον χρησιμοποιούμενα είναι συστήματα PWM και MPPT. Συγκεκριμένα, το σύστημα PWM (pulse width modulation) σταδιακά μειώνει την παρεχόμενη ισχύ στο συσσωρευτή όσο πλησιάζει στο σημείο πλήρους φόρτισης. Με αυτόν τον τρόπο εξασφαλίζεται μεγαλύτερη διάρκεια ζωής του συσσωρευτή καθώς καταπονείται λιγότερο στην φόρτιση του. Από την άλλη, το πλέον διαδεδομένο και βέλτιστο σύστημα ρύθμισης φόρτισης αποτελεί το σύστημα MPPT (maximum power point tracking). Η λειτουργία αυτού του τύπου ρυθμιστή βασίζεται στο συνταίριασμα της τάσης εξόδου του ΦΒ πλαισίου με την τάση του συσσωρευτή με αποτέλεσμα την μέγιστη απόδοση στην φόρτιση. Η απόδοση του φτάνει έως και +30% υψηλότερα από τους υπόλοιπους ρυθμιστές κι αυτό γιατί εκμεταλλεύεται σχεδόν όλη τη διαθέσιμη ισχύ. Αυτό είναι ιδιαιτέρως αλήθεια κατά τη διάρκεια των πολύ πρωινών ωρών και τις απογευματινές που αντικειμενικά αποκλείονται όταν τίθεται η

«καθορισμένη» τάση στις άλλες τεχνολογίες) παράγοντας περισσότερο ρεύμα. Ο ρυθμιστής MPPT χρειάζεται επίσης να συνδεθεί με έναν μετατροπέα συνεχούς - συνεχούς (DC/DC buck-boost converter) για να εξομαλυνθεί η τάση εξόδου και να χαμηλώσει ή να αυξηθεί αν χρειάζεται.



Σχήμα 6 - Σύγκριση ρυθμιστή φόρτισης PWM και MPPT [9]

Οι φορτιστές και οι ελεγκτές/ρυθμιστές φόρτισης θα πρέπει να λειτουργούν υπό το ίδιο καθεστώς φόρτισης για την βέλτιστη απόδοση του συστήματος. Στις ΦΒ εγκαταστάσεις αποτελούν συνήθως ενιαίο κομμάτι (φορτιστής-ρυθμιστής). Υπάρχουν παρόλα αυτά και μοντέλα αντιστροφών με ενσωματωμένο φορτιστή και με την δυνατότητα φόρτισης από εφεδρική παροχή/ γεννήτρια ή το ηλεκτρικό δίκτυο. Με τον τρόπο αυτό δεν χρειάζεται χωριστός φορτιστής/ρυθμιστής.

Επιπλέον, για λόγους ασφάλειας, οι συσσωρευτές πρέπει να τοποθετούνται σε χώρους με καλό αερισμό και απομονωμένες από τους κατοικήσιμους χώρους καθώς και τους χώρους των ηλεκτρονικών, διότι περιέχουν επικίνδυνα χημικά και απελευθερώνουν υδρογόνο και οξυγόνο καθώς φορτίζονται. Επιπλέον, ο χώρος τοποθέτησής τους πρέπει να προστατεύεται από ακραίες τιμές θερμοκρασίας και να παρέχει εύκολη πρόσβαση για τη συντήρησή τους, επισκευή και εγκατάσταση. Οι συσσωρευτές μπορούν να ανακυκλωθούν στο τέλος της ζωής τους.

Αντιστροφείς ισχύος συνεχούς- εναλλασσόμενης τάσης (inverters dc/ac)

Για την αξιοποίηση του παραγόμενου ρεύματος στις καταναλώσεις της εγκατάστασης για την οποία σχεδιάστηκε να εξυπηρετεί το συγκεκριμένο κάθε

φορά αυτόνομο ΦΒ σύστημα, θα πρέπει το συνεχές ρεύμα που παράχθηκε να μετατραπεί σε εναλλασσόμενο καθώς επί το πλείστον οι καταναλώσεις/φορτία είναι σχεδιασμένες ώστε να λειτουργούν στο δίκτυο, άρα σε εναλλασσόμενη τάση. Ο αντιστροφέας αποτελεί την ηλεκτρονική αυτή διάταξη που μετατρέπει τη συνεχή τάση σε εναλλασσόμενη. Ο αντιστροφέας (ή αντιστροφείς ανάλογα με το μέγεθος της εγκατάστασης) συνδέεται ηλεκτρολογικά άμεσα με τους συσσωρευτές από την πλευρά του συνεχούς ρεύματος και από την πλευρά του εναλλασσόμενου με τον ηλεκτρολογικό πίνακα των καταναλώσεων.

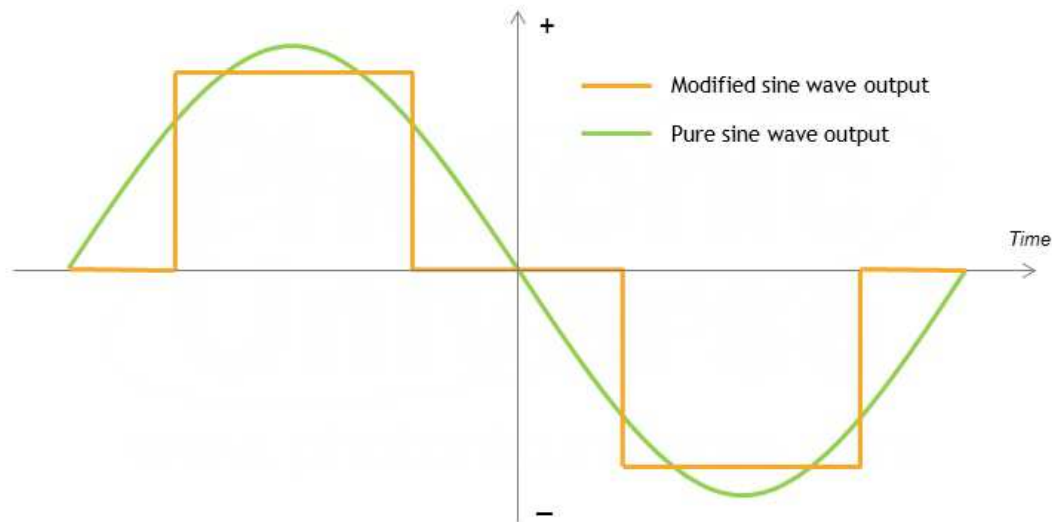
Ανάλογα με τα ΦΒ πλαίσια που έχουν επιλεγεί επιλέγεται και ο κατάλληλος αντιστροφέας λαμβάνοντας υπόψη την μέγιστη τάση λειτουργίας και την μέγιστη ισχύ λειτουργίας.

Στα αυτόνομα ΦΒ συστήματα, σε αντίθεση με τα ΦΒ συστήματα που συνδέονται με το δίκτυο, χρησιμοποιούνται δύο είδη αντιστροφέων: οι αντιστροφείς καθαρού ημιτόνου και οι αντιστροφείς τροποποιημένου ημιτόνου (βλ. σχήμα 7) ανάλογα με την μορφή της παραγόμενης τάσης.

Οι αντιστροφείς εξόδου καθαρού ημιτόνου (pure/true sine wave) βρίσκουν μεγαλύτερη εφαρμογή καθώς η συντριπτική πλειοψηφία των ηλεκτρικών συσκευών απαιτούν ρεύμα καθαρού ημιτόνου.

Οι αντιστροφείς εξόδου τροποποιημένου ημιτόνου (modified sine wave) μπορούν να χρησιμοποιηθούν ευρέως εκτός συγκεκριμένων φορτίων π.χ. χωρητικών και ηλεκτρομαγνητικών φορτίων.

Προτιμάται η δεύτερη κατηγορία για λόγους εξοικονόμησης χρημάτων, εκτός των συγκεκριμένων περιπτώσεων π.χ. για την λειτουργία ευαίσθητων ηλεκτρονικών συσκευών που απαιτούν μικρή ολική αρμονική παραμόρφωση (total harmonic distortion THD).



Σχήμα 7 - Κύμα καθαρού ημιτόνου και τροποποιημένου ημιτόνου

Υπόλοιπος εξοπλισμός

Πέραν του βασικού εξοπλισμού που αναλύθηκε στις προηγούμενες παραγράφους, κάθε ΦΒ σύστημα αποτελείται και από τα κάτωθι στοιχεία:

A) συστήματα στήριξης των φ/β πλαισίων

Ανάλογα με την τοποθέτησή τους, είτε πρόκειται για μικρές οικιακές εγκαταστάσεις στέγης είτε για μεγαλύτερες εγκαταστάσεις για βιομηχανική χρήση (επαγγελματικές στέγες, ανοιχτοί χώροι δίπλα στις εγκαταστάσεις αξιοποίησης της ηλεκτρικής ενέργειας) τα ΦΒ πλαίσια στηρίζονται πάνω σε κατάλληλες μεταλλικές διατάξεις ως επί το πλείστον με συγκεκριμένο προσανατολισμό (σταθερής κλίσης/ σταθερές βάσεις). Ο προσανατολισμός εξαρτάται από το γεωγραφικό πλάτος της κάθε εγκατάστασης και τα κριτήρια επιλογής είναι: η μέγιστη ενεργειακή αξιοποίηση της ηλιακής ενέργειας (άρα εξασφάλιση κάθετης πρόσπτωσης του ηλιακού φωτός πάνω στα πλαίσια για το μεγαλύτερο ει δυνατόν χρονικό διάστημα του χρόνου) και οι δυνατότητες που δίνονται σε κάθε χρήστη ανάλογα με τον χώρο που διαθέτει προς αξιοποίηση.

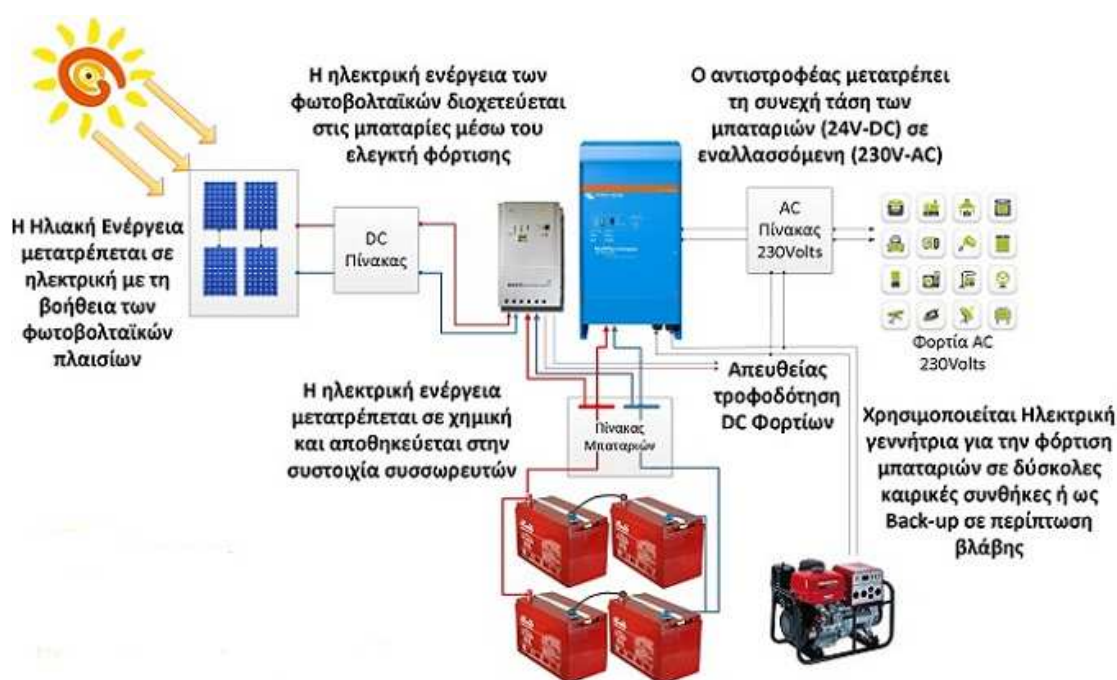
Οι σταθερές βάσεις κατασκευάζονται συνήθως από αλουμίνιο, ανοξείδωτο χάλυβα (χάλυβα γαλβανισμένο εν θερμώ) ή πολυμερή. Προσαρμόζονται ώστε να έχουν πλήρη στατική επάρκεια με τα ΦΒ πλαίσια στηριγμένα καθώς και να εξασφαλίζεται η αντοχή τους στις ανεμοπιέσεις ή/και στα φορτία χιονιού που παρατηρούνται στην περιοχή.

Στην περίπτωση των στεγών, βάσεις αποτελούν συνεχόμενες μεταλλικές ράγες όπως αναφέρθηκαν παραπάνω, βιδωμένες πάνω στα κεραμίδια της εγκατάστασης,

οπότε η κλίση είναι δεδομένη για προϋπάρχοντα κτήρια. Στην περίπτωση ταρατσών, οι βάσεις αποτελούν μεταλλικά δικτυώματα, βιδωμένα πάνω στο πάτωμα. Στην περίπτωση εδάφους, οι βάσεις στερεώνονται είτε με σκυροδέτηση είτε απευθείας με εδαφόμπηξη. Η σκυροδέτηση των βάσεων γίνεται συνήθως σε όλη τη σειρά των βάσεων από οπλισμένο σκυρόδεμα, είτε σε πέλατα από σκυρόδεμα, τοποθετημένα κατάλληλα ώστε να επιτρέπουν το βίδωμα των υποδοχών των βάσεων [12].

Οι σταθερές βάσεις αποτελούνται συνήθως από τεμάχια τα οποία συναρμολογούνται επί το έργο. Κάθε τεμάχιο χαρακτηρίζεται από τη μέγιστη επιφάνεια τοποθέτησης, η οποία συνήθως υπολογίζεται λαμβάνοντας υπόψη κάποιες μέσες τιμές διαστάσεων πλαίσια. Τα πλαίσια μπορούν να τοποθετηθούν σε μονή ή σε διπλή σειρά, είτε κατά το πλάτος (portrait) είτε κατά το μήκος (landscape).

Ηλεκτρολογική διάταξη



Σχήμα 8 - Ηλεκτρολογική διάταξη αυτόνομου φ/β συστήματος [13]

Για την σωστή λειτουργία ενός αυτόνομου φ/β συστήματος, είναι απαραίτητη η ορθή μελέτη και κατασκευή συνολικά της ηλεκτρολογικής εγκατάστασης.

Στο σχήμα 8, φαίνεται η ηλεκτρολογική διάταξη του αυτόνομου ΦΒ συστήματος. Η ηλεκτρολογική σύνδεση των διάφορων διατάξεων γίνεται με καλωδιώσεις συνεχούς τάσης (για το κομμάτι μέχρι την DC πλευρά του αντιστροφέα) και με καλωδιώσεις εναλλασσόμενης τάσης (για το κομμάτι από την AC πλευρά του αντιστροφέα μέχρι τα φορτία / καταναλώσεις). Για την ασφάλεια και την απομόνωση της πλευράς του

συνεχούς και της πλευράς του εναλλασσόμενου ρεύματος, τοποθετούνται όπως φαίνεται και στο παραπάνω σχήμα, κατάλληλοι ηλεκτρολογικοί πίνακες κάθε φορά με διατάξεις ασφαλειών ταχείας τήξεως, μικροαυτόματων διακοπών, διατάξεις υπερέντασης (RCD), διατάξεις προστασίας έναντι υπέρτασης (OVR) με επαναπληρούμενα φυσίγγια, διακοπών απομόνωσης, διατάξεις αντικεραυνικής προστασίας. Η επιλογή των παραπάνω εξειδικεύεται ανά έργο. Στις μεγάλες εγκαταστάσεις (άνω των 100kW) είναι απαραίτητη επιπλέον και η ανόρθωση της τάσης από Χαμηλή σε Μέση (μέσω Μ/Σ ανόρθωσης τάσης) διότι συνήθως συνδέονται με ηλεκτρογεννήτρια για την ενεργειακή ασφάλεια της εγκατάστασης. Σε αυτή την περίπτωση απαιτούνται επιπλέον και οι σχετικές διατάξεις ασφαλείας για την Μέση Τάση (Αυτόματοι Διακόπτες, ασφάλειες, ρελέ διαφυγής, διατάξεις έναντι υπέρτασης και υπερέντασης, διατάξεις αντικεραυνικής προστασίας, ηλεκτρονόμος Η/Ν, αποζεύκτης κλπ).

Για τις μεγάλες εγκαταστάσεις, υπάρχουν και κυτία ομαδοποίησης στην πλευρά του συνεχούς (string boxes, μονάδες παρακολούθησης και προστασίας του κυκλώματος) πάνω στο σύστημα στήριξης στην πίσω πλευρά των πλαϊσίων κάποιων επιλεγμένων συστοιχιών έτσι ώστε να είναι δυνατή η εύκολη και με τις λιγότερες απώλειες και καταπόνηση αναχώρηση καλωδίων συνεχούς ρεύματος προς τον ελεγκτή φόρτισης.

Πιο συγκεκριμένα, για την καλωδίωση του συνεχούς: τα καλώδια χαμηλής τάσης εξωτερικών χώρων θα πρέπει να είναι τύπου "Solar Cable", δηλ. να έχουν αντοχή σε ακτινοβολία UV και προστασία - protection class II. Τα ΦΒ πλαίσια παραλαμβάνονται μαζί με τα απαιτούμενα καλώδια συνεχούς για να μπορούν να συνδεθούν σε σειρά μεταξύ τους. Από την άκρη κάθε συστοιχίας φεύγουν καλώδια για να συνδεθούν στο κυτίο ομαδοποίησης. Είναι δυνατή ακόμα και η απευθείας υπόγεια όδευση χωρίς σωλήνες ή κανάλια. Τα περισσότερα από τα εν λόγω καλώδια είναι τοποθετημένα στις εσχάρες που βρίσκονται ακριβώς από κάτω από τις σταθερές βάσεις στήριξης. Όσα δεν είναι δυνατόν να οδηγηθούν μέσω σχαρών στο κυτίο ομαδοποίησης, οδεύουν υπογείως

Όλοι οι αγωγοί και τα καλώδια ισχύος καθώς και επικοινωνίας (για την μεταξύ τους σύνδεση καθώς και τις διατάξεις χαμηλής τάσης) τοποθετούνται μέσα σε κατάλληλα κανάλια και όσο αφορά στα υπόγεια δίκτυα μέσα στους χάνδακες σύμφωνα με τα κατασκευαστικά σχέδια.

Επιπλέον, ανάλογα με την εγκατάσταση υπάρχει **μονάδα UPS** (Σύστημα Αδιάλειπτης Παροχής) για την εξυπηρέτηση των βασικών αναγκών σε περίπτωση βλάβης των συσσωρευτών και διακοπής της παροχής ρεύματος για απολύτως αναγκαίο εξοπλισμό.

Σύστημα προστασίας- ασφάλειας φ/β και ανθρώπων

Συνήθως στα φ/β συστήματα περιλαμβάνεται και **Αυτόματο ή Μη Σύστημα Πυρανίχνευσης και Πυροπροστασίας**. Στην περίπτωση του Αυτόματου Συστήματος Πυρανίχνευσης και Αναγγελίας πυρκαγιάς περιλαμβάνονται πυρανιχνευτές οι οποίοι συνδέονται σε πίνακα πυρανίχνευσης - συναγερμού και από εκεί δίδονται εντολές προς τη σειρήνα συναγερμού. Στην περίπτωση του Χειροκίνητου Συστήματος Πυρανίχνευσης, συνήθως περιλαμβάνονται μόνο κατασταλτικά μέσα όπως πυροσβεστήρες αναγόμωσης ή συστήματα κατάσβεσης (αντλία νερού).

Καθοριστικό για την απρόσκοπτη λειτουργία σύστημα αποτελεί επίσης το **σύστημα γείωσης** καθώς είναι το βασικό μέσο για την προστασία των ανθρώπων και των συσκευών. Η επιλογή του συστήματος γείωσης του φ/β πάρκου θα γίνει με στόχο:

- Την ελαχιστοποίηση της αντίστασης γείωσης του Φ/Β πάρκου (<1 Ohm).
- Την ελαχιστοποίηση του κόστους αγοράς υλικών.
- Την ευκολία εγκατάστασης του συστήματος γείωσης.

Ο σχεδιασμός του Συστήματος Γείωσης έγινε ύστερα από μετρήσεις της ειδικής αντίστασης του εδάφους όπου εγκαθίσταται κάθε φορά το φ/β σύστημα και με χρήση κατάλληλου λογισμικού πακέτου. Τα συνήθη μέτρα γείωσης είναι : ταινία κατασκευασμένη από χάλυβα, θερμά γαλβανισμένη (St/tZn) σε κλειστό βρόχο. Εγκαθίστανται εσωτερικά και περιμετρικά γύρω από τον ηλεκτρολογικό πίνακα ή τον Υποσταθμό Παραγωγής (ανάλογα με το μέγεθος της εγκατάστασης). Το σύστημα περιμετρικής γείωσης στο οποίο καταλήγουν και οι αγωγοί καθόδου του Συστήματος Αντικεραυνικής Προστασίας, θα συνδέεται με το υπόλοιπο σύστημα γείωσης του ΦΒ Σταθμού.

Τελευταίο πλην όμως από τα σημαντικότερα αποτελεί το **σύστημα αντικεραυνικής προστασίας** (Σ.Α.Π.). Έπειτα από την εκτίμηση του κεραυνικού κινδύνου, για να βρισκόμαστε κάτω από τα ανεκτά όρια ρίσκου που ορίζονται κάθε φορά από τα πρότυπα προκύπτει η αναγκαιότητα ή μη εγκατάστασης εξωτερικού Συστήματος Αντικεραυνικής Προστασίας Στάθμης I, II , III ή IV. Ειδάλλως η προστασία καλύπτεται από το υπάρχον εσωτερικό σύστημα των απαγωγέων υπέρτασης (SPD). Κάθε ΣΑΠ αποτελείται από το εξωτερικό και το εσωτερικό σύστημα αντικεραυνικής προστασίας. Το *εξωτερικό σύστημα αντικεραυνικής προστασίας* έχει σκοπό την προστασία των συσκευών, του περιεχομένου τους, του εξοπλισμού τους και των ανθρώπων από άμεση κεραυνοπληξία. Αποτελείται από το σύστημα γείωσης, το σύστημα απαγωγής, το σύστημα συλλογής. Το *εσωτερικό σύστημα αντικεραυνικής προστασίας* έχει σκοπό την προστασία του εξοπλισμού και των ανθρώπων από τις ηλεκτρομαγνητικές επιδράσεις οι οποίες οφείλονται στην άμεση κεραυνοπληξία και στο έμμεσο πλήγμα. Αποτελείται από το σύστημα εξίσωσης δυναμικού και το σύστημα απαγωγών υπερτάσεων.

Βιβλιογραφία – Διαδικτυακές πηγές

- [1] <http://www.dupont.com/products-and-services/solar-photovoltaic-materials/what-makes-up-solar-panel.html#>
- [2] Issue 03/2014, PV-magazine , Industry and suppliers, Enduring to the end, Sara Ven-bruggen
- [3] Evolution in photovoltaic systems for sparse electric energy production, I. Kompougias, A. Kiritsis, A. Nanakos, E. Tatakis, 2006
- [4] National Renewable Energy Laboratory, Golden CO, [United States Department of Energy](#), 01 June 2015
- [5] K. Kagkarakis, Photovoltaic Technology, Symmetria Publications, Athens 1992
- [6] Tom Markvart, Luis Castaner, Practical Handbook of Photovoltaics: Fundamentals and Applications, Elsevier Ltd 2003
- [7] H.A. Kiehne, Battery Technology Handbook, Marcel Dekker Inc, 2nd edition 2003
- [8] DOE Handbook, Primer on Lead Acid Storage Batteries, Department of Energy, United States of America, 09/1995
- [9] <http://www.victronenergy.com/blog/2014/03/28/matching-victron-energy-solar-modules-to-the-new-mppt-charge-regulators/>
- [10] <http://www.molis.gr/ilektrismos.html>
- [11] Sandeep Anand, Rajesh Singh Farswan, Bhukya Mangu, B.G. Fernades, “Optimal charging of battery using solar pv in standalone DC system”, Industrial Electronics Magazine, vol.7, no-3, pp.6-20, Sep 2013
- [12] M. Damianidhs, Γ.Katsaros, M.Tolis, Φ.Stergiopoulos, Technical Chamber of Greece, Department of Central Macedonia, Constant commission of energy, «Guide for design and actualization of photovoltaic projects», Thessaloniki, April 2011
- [13] M.P. energy solutions, 2015