



ΑΕΙ ΠΕΙΡΑΙΑ ΤΤ
ΑΝΩΤΑΤΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΠΕΙΡΑΙΑ
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟΥ ΤΟΜΕΑ
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΗΣ ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗΣ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΗ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΟΙΚΙΑΣ ΚΑΙ
ΑΝΤΙΚΕΡΑΥΝΙΚΗ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΟΙΚΙΑΣ ΚΑΙ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ

*HOUSEHOLD ELECTRICAL POWER SUPPLY SYSTEM WITH PHOTOVOLTAIC
PANELS AND LIGHTNING PROTECTION*

ΜΟΣΧΟΣ Α. ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ
MOSCHOS A. KONSTANTINOS

ΥΠΕΥΘΥΝΟΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ
ΒΑΡΣΑΜΗΣ ΧΡΗΣΤΟΣ-ΠΛΑΤΩΝΑΣ

ΕΤΟΣ 2018

Περιεχόμενα:

1. Πρόλογος

2. Γενικές έννοιες

- 2.1: Ηλεκτρικό Ρεύμα
- 2.2: Μέτρηση Ηλεκτρικού Ρεύματος
- 2.3: Φορά του Ηλεκτρικού ρεύματος
- 2.4: Ρεύμα Ηλεκτρονίων
- 2.5: Ρεύμα Θετικών οπών
- 2.6: Ρεύμα ιόντων
- 2.7: Είδη Ηλεκτρικού Ρεύματος
- 2.8: Παροχή ηλεκτρικού ρεύματος
- 2.9: Ηλεκτρική Αντίσταση
- 2.10: Ωμική αντίσταση

3. Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας

- 3.1: Είδη ήπιων μορφών ενέργειας

4. Φωτοβολταϊκά

- 4.1: Φωτοβολταϊκό Φαινόμενο
- 4.2: Φωτοβολταϊκή Διάταξη
- 4.3: Τεχνολογίες Φ/Β Στοιχείων
- 4.4: Δομή ενός φωτοβολταϊκού συστήματος
- 4.5: Διάκριση Φ/Β συστημάτων
- 4.6: Φωτοβολταϊκές βασικές μονάδες
- 4.7: Χρήσεις Φωτοβολταϊκών
- 4.8: Φωτοβολταϊκά στις στέγες
- 4.9: Συλλογή του ηλιακού φωτός

5. Ρυθμιστές φόρτισης

- 5.1: Προστασία από υπερφόρτιση
- 5.2: Προστασία από υπερεκφόρτιση
- 5.3: Σχεδιασμοί ελεγκτών φόρτισης
- 5.4: Επιλογή του σωστού ρυθμιστή φόρτισης
- 5.5: Διαστασιολόγηση των ελεγκτών φόρτισης
- 5.6: Ισοσταθμιστής φόρτισης
- 5.7: Συστήματα παρακολούθησης
- 5.8: Μετρητές στάθμης φόρτισης

6. Inverter – Αντιστροφέας

- 6.1: Γενικά
- 6.2: Τάση εισόδου
- 6.3: Κυματομορφή εξόδου
- 6.4: Τετράγωνο κύμα
- 6.5: Κυματοειδές κύμα
- 6.6: Τροποποιημένο ημιτονοειδές κύμα
- 6.7: Συχνότητα εξόδου

-
- 6.8: Τάση εξόδου
 - 6.9: Ισχύς εξόδου
 - 6.10: Μπαταρίες
 - 6.10.1: Σειρά διαμόρφωσης
 - 6.10.2: Παράλληλη διαμόρφωση
 - 6.11: Εφαρμογές
 - 6.11.1: DC χρήση πηγής ενέργειας
 - 6.11.2: Αδιάλειπτα τροφοδοτικά
 - 6.11.3: Έλεγχος ταχύτητας ηλεκτρικού κινητήρα
 - 6.11.4: Σε ψυκτικούς συμπιεστές
 - 6.11.5: Πλέγμα ισχύος
 - 6.11.6: Solar
 - 6.11.7: Θέρμανση με επαγωγή
 - 6.11.8: HVDC μετάδοση ισχύος
 - 6.11.9: Όπλα ηλεκτροσόκ
 - 6.11.10: Διάφορα
 - 6.12.3: Ανορθωτές και αριθμοί παλμών αναστροφέα
 - 6.12.1: Βασικός σχεδιασμός
 - 6.12.2: Προηγμένα σχέδια
 - 6.12.3: Περισσότερα για την επίτευξη ενός ημιτονοειδούς κύματος
 - 6.12.4: Ενισχυμένη ποσοτικοποίηση
 - 6.12.5: Τριφασικοί μετατροπείς
 - 6.13: Ιστορία
 - 6.13.1: Πρόωροι μετατροπείς
 - 6.13.2: Ελεγχόμενοι μετατροπείς ανορθωτή
 - 6.13.3: Ανορθωτές και αριθμοί παλμών αναστροφέα

7. Μπαταρίες

- 7.1: Ταξινόμηση στοιχείων και μπαταριών.
- 7.2: Μπαταρίες που χρησιμοποιούνται στα φωτοβολταϊκά συστήματα.
- 7.3: Τι λειτουργία επιτελούν στο φωτοβολταϊκό σύστημα;
- 7.4: Απαιτήσεις που πρέπει να ικανοποιούν.
- 7.5: Χωρητικότητα
- 7.6: Τάση
- 7.7: Στάθμη φόρτισης
- 7.8: Βάθος εκφόρτισης
- 7.9: Κύκλος / Κύκλος ζωής
- 7.10: Αποδοτικότητα
- 7.11: Μέρη αυτονομίας
- 7.12: Ρεύμα μπαταρίας
- 7.13: Χρόνος ζωής
- 7.14: Αυτοεκφόρτιση
- 7.15: Κατάσταση υγείας
- 7.16: Ρυθμός εκφόρτισης, ρυθμός φόρτισης
- 7.17: Ενεργειακό περιεχόμενο
- 7.18: Ειδική ενέργεια, ενεργειακή πυκνότητα
- 7.19: Εσωτερική αντίσταση
- 7.20: Ειδικό βάρος

-
- 7.21: Ειδική ισχύς
 - 7.22: Συντήρηση
 - 7.23: Σχετικά με την επιλογή του φορτιστή
 - 7.24: Αποφυγή υπερεκφόρτισης
 - 7.25: Διατήρηση του επιπέδου του ηλεκτρολύτη
 - 7.26: Καθαριότητα
 - 7.27: Αποφυγή υψηλών θερμοκρασιών
 - 7.28: Παροχή φορτίου εξισορρόπησης
 - 7.29: Προδιαγραφές ασφαλείας
 - 7.30: Δοκιμές
 - 7.31: Περιβάλλον της μπαταρίας
 - 7.32: Αποθήκευση
 - 7.34: Απόρριψη
 - 7.33: Αντικατάσταση

8. Αντικεραυνική προστασία, αλεξικέραυνα και εγκατάσταση αλεξικέραυνου.

- 8.1: Είδη κεραυνικών πληγμάτων
- 8.2: Πιθανές ζημιές από άμεση πρόσπτωση κεραυνού.
- 8.3: Τι είναι τα αλεξικέραυνα και ποιός ο σκοπός τους
- 8.4: Ανάγκη αντικεραυνικής προστασίας
- 8.5: Εξωτερική και Εσωτερική Προστασία
- 8.6: Προστασία κτιρίων
- 8.7: Τρόπος υπολογισμού κινδύνου ζημίας από κεραυνό
- 8.8: Προστασία Ηλεκτρικών Εγκαταστάσεων
- 8.9: Γενικά για τα αλεξικέραυνα
- 8.10: Συλλεκτήρια συστήματα κεραυνών
- 8.11: Συλλεκτήριες εγκαταστάσεις πάνω σε κτίρια
- 8.12: Συλλεκτήριες εγκαταστάσεις μονωμένες από τις λοιπές εγκαταστάσεις
- 8.13: Απαγωγοί ή αγωγοί καθόδου
- 8.14: Εγκαταστάσεις σε κτίρια

9. Συστήματα Γείτων

- 9.1: Αντίσταση γείωσης
- 9.2: Κατάλληλοι γειωτές

10. Αλεξικέραυνα

- 10.1: Αναγκαίες προϋποθέσεις για την αύξηση της αποτελεσματικότητας.
- 10.2: Η παραγωγή οδηγών οχρών από αλεξικέραυνα ακίδας
- 10.3: Προστασία κτιρίων με σύστημα κλωβού
- 10.4: Γενικές οδηγίες για τη σχεδίαση ενός συστήματος κλωβού
- 10.5: Εγκατάσταση συλλήψεως
- 10.6: Προσέγγιση μεταλλικών αντικειμένων
- 10.7: Προσέγγιση ηλεκτρολογικών εγκαταστάσεων ισχύος
- 10.8: Γειώσεις
- 10.9: Ηλεκτρικές συνδέσεις CADWELD

11. Γενικά

- 11.1: Μετατροπέας (Inverter)
- 11.2: Μπαταρίες (ή συσσωρευτές)
- 11.3: Φωτοβολταϊκά Πλαίσια

12. Επιλεγμένα στοιχεία εγκατάστασης

- 12.1: Πάνελ
- 12.2: Inverter
- 12.3: Φορτιστές
- 12.4: Μπαταρίες
- 12.5: Αλεξικέραυνο

13. Υπολογισμοί

14. Βιβλιογραφία

Περίληψη:

Στην πτυχιακή εργασία που ακολουθεί αναπτύσσεται το θέμα της εκμετάλλευσης της ανανεώσιμης πηγής από τον ήλιο. Βλέπουμε στην αρχή τις αρχές της ηλεκτρολογίας που με βάση αυτές μπορούμε να προχωρήσουμε στην εκμετάλλευση της για προστασία στο περιβάλλον περισσότερο.

Στην συνέχεια αναλύουμε όλα τα μέρη μιας φωτοβολταϊκής εγκατάστασης, τα οποία είναι τα πάνελ που δέχονται την ηλιακή ενέργεια και μας δίνουν ρεύμα και τάση. Αυτά μέσω του ελεγκτή φόρτισης περνάει στις μπαταρίες και στον inverter και στην συνέχεια περνάει στις εκάστοτε καταναλώσεις της εγκατάστασης που θέλουμε να καλύψουμε.

Όλα τα μέρη της εγκατάστασης μπορείς να τα ταξινομήσεις σύμφωνα με τους υπολογισμούς που κάνεις με βάση την προσπίπτουσα ηλιακή ενέργεια και την κατανάλωση ενέργειας που θέλεις να καλύψεις. Επίσης πρέπει με βάση τα παραπάνω να έχεις χώρο για την εγκατάσταση των πάνελ αλλά και την εγκατάσταση των μπαταριών σε σωστό χώρο για την σωστή τους λειτουργία.

Επίσης βλέπουμε τους τρόπους εγκατάστασης της αντικεραυνικής προστασίας της εγκατάστασης αλλά και της κατασκευής που βρίσκεται η εγκατάσταση στην περίπτωση που αφορά εγκατάσταση πάνω σε σπίτι. Η αντικεραυνική προστασία όμως είναι ένα ξεχωριστό κομμάτι που μπορείς να το έχεις στο σπίτι σου για ασφάλεια από τους κεραυνούς οι οποίοι μπορούν να κάνουν μεγάλη ζημιά.

Τέλος βλέπουμε τους υπολογισμούς της εγκατάστασης του σπιτιού και με βάση αυτούς συνεχίζουμε με τα μέρη που αποτελείται η εγκατάσταση για να έρθει σε λειτουργία. Αυτά μπορούν να αλλάξουν αν θέλουμε να προσθέσουμε καταναλώσεις ή να μεγαλώσουμε την αυτονομία της ηλεκτρικής ενέργειας της εγκατάστασης.

1. Πρόλογος

Κατά την εισαγωγή μου στο ΤΕΙ ΠΕΙΡΑΙΑ, όπως λεγόταν όταν μπήκα, στην Ηλεκτρολογία ήθελα να ασχοληθώ πολύ με το επάγγελμα του ηλεκτρολόγου καθώς αυτό το κόλλησα από τον πατέρα μου, ο οποίος ασχολείται με το ίδιο επάγγελμα στην Υπηρεσία Φάρων του Πολεμικού Ναυτικού. Είχε κάνει τις μελέτες και τις εγκαταστάσεις της αλλαγής από πετρέλαιο και αέριο σε ανανεώσιμες πηγές ενέργειας όπως η ηλιακή, μέσω Φωτοβολταϊκών. Έτσι έβλεπα πόσο ωραίο και δημιουργικό είναι αυτό το επάγγελμα και ασχολήθηκα να το μάθω κι εγώ. Επίσης δεν θα μπορούσα να έχω άλλο θέμα όπως αυτό γιατί είναι αυτό που με έκανε να ασχοληθώ με την ηλεκτρολογία.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Πατέρα μου που μου μετέδωσε, όσο μπορούσε, τις γνώσεις του περί εγκαταστάσεων σπιτιών και περι φωτοβολταϊκών συστημάτων. Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω και τους καθηγητες της σχολής που με την άρτια εκπαίδευση και μεταδοτικότητα τους, μας έδωσαν βάσεις για να γίνουμε σωστοί επαγγελματίες.

Στο θέμα μου θα προσπαθήσω να σας δείξω μερικά πράγματα σχετικά με την μελέτη και την εγκατάσταση φωτοβολταϊκής εγκατάστασης, καθώς και την προστασία της από κεραυνούς.

Η ηλεκτρολογία είναι ένας τομέας ο οποίος δίνει πολλές δυνατότητες για πολλές εφαρμογές. Ο τομέας αυτός μπορεί να κάνει την κίνηση ηλεκτρισμό και τον ηλεκτρισμό κίνηση. Υπάρχουν δηλαδή άπειρες εφαρμογές αρκεί να υπάρχει μετάδοση κίνησης, μπαταρίες, μοτέρ και ηλεκτρομηχανολογικά παρελκόμενα για κάθε είδους κατασκευές.

Τέλος θα ήθελα να πω πως για κάθε εφαρμογή που μπαίνει σε ενέργεια πρέπει να υπάρχει ασφάλεια για την ανθρώπινη ζωή καθώς είναι το μόνο που αξίζει. Έχουμε δει πάρα πολλά ηλεκτρολογικά ατυχήματα. Η ηλεκτρολογία είναι επιστήμη και όχι τεστ για την ανθρώπινη αντίσταση που έχουμε όλοι μας.

Γι'αυτό **ΠΡΟΣΟΧΗ!!!**

2. Γενικές έννοιες

2.1: Ηλεκτρικό Ρεύμα

Το Ηλεκτρικό ρεύμα είναι η προσανατολισμένη κίνηση ηλεκτρικών φορτίων ή φορέων ηλεκτρικού φορτίου, κατά μήκος ενός ηλεκτροφόρου αγωγού. Ένα παρεμφερές φαινόμενο είναι το ρεύμα μετατόπισης, ποσότητα που σχετίζεται με την αλλαγή του ηλεκτρικού πεδίου. Μετριέται σε μονάδες μέτρησης της έντασης του ηλεκτρικού ρεύματος και αντιστοιχεί σε αυτό ένα μεταβαλλόμενο μαγνητικό πεδίο.

Από τον ορισμό του ηλεκτρικού ρεύματος προκύπτει ότι για να εμφανιστεί χρειάζονται δύο προϋποθέσεις:

- Η ύπαρξη φορέων ηλεκτρικού φορτίου με ελευθερία κίνησης.
- Αίτιο για την προσανατολισμένη κίνηση των φορέων, δηλαδή κάποιο ηλεκτρικό πεδίο.

Συνήθως τα ηλεκτρικά φορτία είναι ελεύθερα ηλεκτρόνια μεταλλικών αντικειμένων όπως στα καλώδια. Το ηλεκτρικό ρεύμα είναι η μεταφερόμενη ηλεκτρική ενέργεια. Το ηλεκτρικό ρεύμα προκαλεί τη θέρμανση των σωμάτων τα οποία διαρρέει. Συσκευές που λειτουργούν με βάση τα θερμικά αποτελέσματα του ηλεκτρικού ρεύματος είναι ο θερμοσίφωνας και η ηλεκτρική κουζίνα.

2.2: Μέτρηση Ηλεκτρικού Ρεύματος

Το μέγεθος που μετρά το ηλεκτρικό ρεύμα είναι η ένταση του ηλεκτρικού ρεύματος, που ορίζεται ως:

$$I = \frac{dQ}{dt}$$

Δηλαδή ένταση του ηλεκτρικού ρεύματος είναι ο ρυθμός διέλευσης του ηλεκτρικού φορτίου από τη διατομή ενός αγωγού. Πιο απλά, σε συγκεκριμένο χρονικό διάστημα περνάει, από τη διατομή του αγωγού, ένα ηλεκτρικό φορτίο. Η ένταση του ηλεκτρικού ρεύματος δείχνει πόσο φορτίο περνά στη μονάδα του χρόνου.

Το μέγεθος είναι μονόμετρο, αλλά επιπλέον έχει φορά (διάνυσμα) από τα σημεία ψηλού δυναμικού στα σημεία χαμηλού δυναμικού. Μετριέται στο διεθνές σύστημα μονάδων σε Αμπέρ A (γαλλικά Ampere) και θεωρείται θεμελιώδης μονάδα. Υπάρχουν άλλοι δύο τρόποι με τους οποίους μετράται το ηλεκτρικό ρεύμα, οι οποίοι έχουν σχέση με την κατανομή του στο χώρο. Το ηλεκτρικό ρεύμα μπορεί να διαρρέει έναν μονοδιάστατο αγωγό, μια επιφάνεια ή μια περιοχή του χώρου. Στην περίπτωση που ρέει έναν αγωγό χρησιμοποιείται κανονικά η ένταση του ηλεκτρικού ρεύματος για τη μέτρησή του. Στην περίπτωση της επιφάνειας το ηλεκτρικό ρεύμα τη διαρρέει κατά μέτωπο σαν άπειροι μονοδιάστατοι αγωγοί να έχουν συγκεντρωθεί ο ένας δίπλα στον άλλον και να έχουν σχηματίσει μια επιφάνεια. Τότε χρησιμοποιείται η επιφανειακή πυκνότητα ηλεκτρικού ρεύματος, ένα διανυσματικό μέγεθος με κατεύθυνση την κατεύθυνση του μετώπου σε κάθε σημείο της επιφάνειας και μετράται σε A/m. Αντίστοιχα στο χώρο χρησιμοποιείται η πυκνότητα ηλεκτρικού

ρεύματος, και αυτή είναι διανυσματικό μέγεθος με κατεύθυνση την κατεύθυνση του ηλεκτρικού ρεύματος, μετράται σε A/m^2 .

2.3: Φορά του Ηλεκτρικού ρεύματος

Επειδή η ένταση του ηλεκτρικού ρεύματος έχει φορά, για τη μέτρησή του σε ένα σημείο θεωρούμε μία θετική φορά. Έτσι, αν το μέγεθος είναι θετικό σημαίνει ότι το δυναμικό μειώνεται κατά τη φορά που επιλέξαμε, ενώ αν το μέγεθος είναι αρνητικό σημαίνει ότι το δυναμικό αυξάνεται κατά την κατεύθυνση που επιλέξαμε. Όταν σημειώνουμε γραφικά τη φορά της έντασης του ηλεκτρικού ρεύματος με βέλος, τότε δείχνει κατά τη φορά μείωσης του δυναμικού.

Η φορά του ηλεκτρικού ρεύματος είναι η φορά κίνησης των ηλεκτρικών φορτίων, η οποία δεν ταυτίζεται απαραίτητα με τη φορά της έντασης του ηλεκτρικού ρεύματος. Η φορά της έντασης του ηλεκτρικού ρεύματος είναι ταυτόσημη με τη φορά κίνησης των ηλεκτρικών φορτίων, όταν το ηλεκτρικό ρεύμα οφείλεται αποκλειστικά στην κίνηση θετικών φορτίων στον αγωγό. Παλιότερα πίστευαν ότι τα ελεύθερα κινούμενα φορτία στα μέταλλα ήταν θετικά, δηλαδή ότι οι δύο φορές, της έντασης και της κίνησης των φορτίων στους αγωγούς αυτούς, ταυτίζονταν.

2.4: Ρεύμα Ηλεκτρονίων

Αργότερα, αποδείχθηκε ότι στα μέταλλα, όπου γίνονταν οι παρατηρήσεις, κυκλοφορούν ελεύθερα τα αρνητικά φορτία (τα ηλεκτρόνια), τα οποία είχαν φορά κίνησης αντίθετη από τη φορά της έντασης του ηλεκτρικού ρεύματος δημιουργώντας σύγχυση στην κατανόηση της φοράς του ηλεκτρικού ρεύματος.

2.5: Ρεύμα Θετικών οπών

Πιο μετά ανακαλύφθηκε πως κάποιοι κακοί αγωγοί του ηλεκτρισμού (μονωτές), όταν περιείχαν κάποιο μικρό ποσοστό προσμίξεων, άλλαζαν ηλεκτρικές ιδιότητες και μπορούσαν να συμπεριφέρονται υπό προϋποθέσεις ως καλοί αγωγοί. Τα υλικά αυτής της κατηγορίας ονομάζονται ημιαγωγοί και στους ημιαγωγούς αποδίδεται ρεύμα ίδιας φοράς με του εφαρμοζόμενου ηλεκτρικού πεδίου, που οφείλεται σε κίνηση φαινόμενων θετικών φορτίων που ονομάζονται θετικές οπές. Στην πραγματικότητα το ρεύμα των θετικών οπών οφείλεται πάλι σε κίνηση ηλεκτρονίων, που είναι οι μόνοι, υπό προϋποθέσεις, κινούμενοι φορείς ηλεκτρικού φορτίου μέσα στους ημιαγωγούς. Η κίνηση των ηλεκτρονίων στους ημιαγωγούς όμως δεν είναι ελεύθερη, όπως στα μέταλλα που λειτουργούν ως νέφος που παρασύρεται από τις διαφορές του ηλεκτρικού δυναμικού. Στους ημιαγωγούς τα ηλεκτρόνια είναι δεσμευμένα και η κίνησή τους είναι, στην ουσία, μετατόπιση μεταξύ επιτρεπτών θέσεων μέσα στο υλικό. Όταν εφαρμόζουμε στον ημιαγωγό διαφορά ηλεκτρικού δυναμικού (ηλεκτρική τάση), το κενό που αφήνεται από ένα ηλεκτρόνιο που αλλάζει θέση, μετατοπιζόμενο σε μια επιτρεπτή διπλανή, περιγράφεται ως θετική οπή, η οποία μάλιστα εμφανίζεται ακριβώς στα σημεία που έχουν παγιδευτεί οι προσμίξεις μέσα στο υλικό. Επειδή η επιτρεπτή θέση που καταλαμβάνει το ηλεκτρόνιο με τη μεταπήδηση είναι επίσης μια οπή, η οποία πλέον χάνεται, φαίνεται τελικά σα να έχουμε μετατόπιση της θετικής αυτής οπής στην προηγούμενη θέση του ηλεκτρονίου. Επειδή το ρεύμα αυτό δεν είναι αποτέλεσμα της ελεύθερης κίνησης των

ηλεκτρονίων ως νέφος, παρά εξαρτάται άμεσα από τις ιδιότητες του υλικού του ημιαγωγού, προτιμούμε να μιλάμε για ρεύμα που οφείλεται σε θετικούς φορείς, τις θετικές οπές, που αντικατοπτρίζουν καλύτερα το μηχανισμό της κίνησης του ρεύματος στους ημιαγωγούς και θεωρούμε ως φορά του ρεύματος σε αυτούς το ρεύμα της κίνησης των θετικών οπών, που έχει ανάστροφη φορά από αυτό της μετατόπισης των ηλεκτρονίων.

2.6: Ρεύμα Ιόντων

Στο φαινόμενο της ηλεκτρόλυσης παρατηρούμε κίνηση θετικών και αρνητικών ιόντων ταυτόχρονα μέσα στο νερό που εμβαπτίζεται η άνοδος και η κάθοδος, και το ρεύμα εκεί οφείλεται στην κίνηση και των δύο τύπων φορτίων. Αυτό ισχύει υπό συνθήκες και σε αέρια, όταν αυτά βρίσκονται στην κατάσταση της ύλης που ονομάζεται πλάσμα, όπου το αέριο είναι ιονισμένο. Το ρεύμα ιόντων σε πλάσμα το παρατηρούμε στο φαινόμενο της αστραπής, σε σωλήνες φωτεινών επιγραφών κλπ. Επομένως, υπάρχουν δύο φορές που χαρακτηρίζουν το ηλεκτρικό ρεύμα:

- Η φορά της έντασης του ηλεκτρικού ρεύματος, η οποία δείχνει τη φορά μείωσης του δυναμικού και ονομάζεται συμβατική φορά, γιατί πολλές φορές για λόγους απλούστευσης (κατά σύμβαση) θεωρείται ότι ελεύθερα είναι θετικά φορτία και η συμβατική φορά δείχνει τη φορά τους.
- Η φορά του ηλεκτρικού ρεύματος, η οποία είναι η φορά κίνησης των φορτίων, για αυτό ονομάζεται και πραγματική φορά. Η πραγματική φορά εξαρτάται από το είδος των φορτίων του ηλεκτρικού ρεύματος, δηλαδή από το αν είναι θετικά ή αρνητικά και ορίζεται όταν κινούνται κυρίως μόνο είτε τα μεν, είτε τα δε.

2.7: Είδη Ηλεκτρικού Ρεύματος

Ανάλογα με την εξάρτηση της έντασης του ηλεκτρικού ρεύματος με το χρόνο διακρίνουμε το ηλεκτρικό ρεύμα σε διάφορα είδη. Υπάρχουν δύο κύρια είδη ηλεκτρικού ρεύματος:

➤ Συνεχές ρεύμα

Συνεχές ρεύμα είναι το ηλεκτρικό ρεύμα που έχει μία συγκεκριμένη φορά. Συνήθως το συνεχές ρεύμα έχει σταθερό μέτρο έντασης, με το οποίο λειτουργούν τα περισσότερα κυκλώματα και το οποίο παράγουν οι μπαταρίες. Αυτά τα κυκλώματα είναι μικρά ηλεκτρικά κυκλώματα ή ηλεκτρονικά κυκλώματα. Επειδή έχει σταθερή ένταση, υποχρεωτικά παράγεται από σταθερή τάση, δεδομένου ότι το κύκλωμα δεν αλλάζει σημαντικά με την πάροδο του χρόνου.

➤ Εναλλασσόμενο ρεύμα

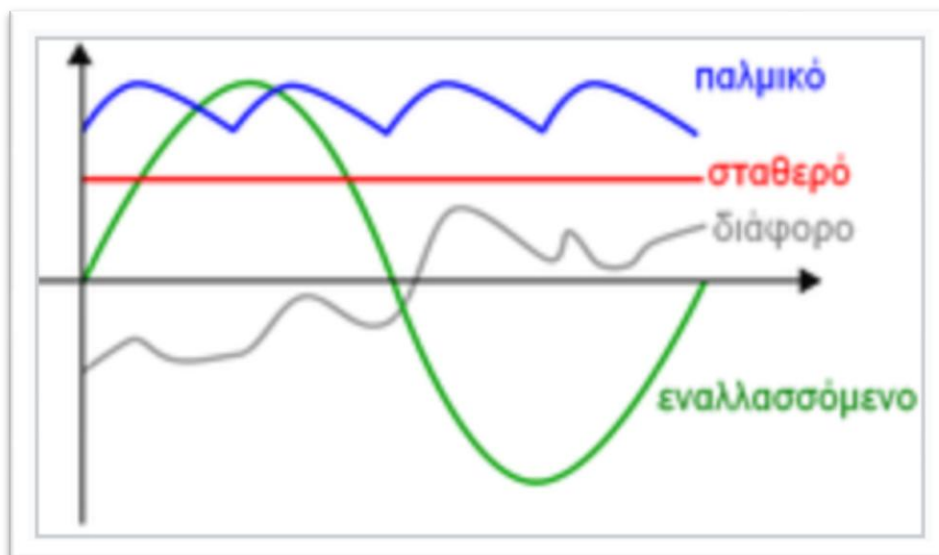
Συνεχές ρεύμα είναι το ηλεκτρικό ρεύμα που έχει μία συγκεκριμένη φορά. Συνήθως το συνεχές ρεύμα έχει σταθερό μέτρο έντασης, με το οποίο λειτουργούν τα περισσότερα κυκλώματα και το οποίο παράγουν οι μπαταρίες. Η ένταση του ηλεκτρικού ρεύματος είναι μεταβλητή σε σχέση με το χρόνο και κατά (αριθμητικό) μέσον όρο είναι μηδέν. Όμως το μέτρο της έντασης είναι κατά (αριθμητικό) μέσον όρο διάφορο του μηδενός και μπορεί να χαρακτηρίσει μονόμετρα το ηλεκτρικό ρεύμα. Αυτός ο μέσος όρος ονομάζεται ενεργός ένταση του ηλεκτρικού ρεύματος.

Δεδομένου ότι το κύκλωμα δεν αλλάζει σημαντικά, η τάση μεταβάλλεται με τον ίδιο τρόπο, για αυτό περιγράφεται από την ενεργό τάση.

✓ Δευτερεύοντα είδη ηλεκτρικού ρεύματος

Παλμικό συνεχές ρεύμα

Το παλμικό συνεχές ρεύμα βρίσκει εφαρμογή στην ηλεκτρική διέγερση των μυών. Χαρακτηρίζεται από μεταβαλλόμενη ένταση, είναι μονοφασικό και έχει σταθερή πολικότητα.



Σχήμα 1 : Είδη ηλεκτρικού ρεύματος

2.8: Παροχή ηλεκτρικού ρεύματος

Διανυσματική μορφή σε τριγωνομετρικούς κύκλους των φάσεων. Εμφανίζεται από αριστερά προς τα δεξιά: μονοφασική παροχή, τριφασική παροχή, εξαφασική παροχή. Η παροχή του ηλεκτρικού ρεύματος γίνεται από το υφιστάμενο ηλεκτρικό δίκτυο ή δίκτυο ηλεκτροδότησης. Γενικά, το παρεχόμενο ηλεκτρικό ρεύμα είναι εναλλασσόμενο ημιτονοειδές ηλεκτρικό ρεύμα, ενεργής τάσης 230V και συχνότητας 50Hz. Λιγότερο διαδεδομένο είναι το ηλεκτρικό ρεύμα με χαρακτηριστικά 110V και συχνότητα 60Hz, που χρησιμοποιείται στις Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής.

Στον κάθε καταναλωτή παρέχονται πάντα ένα τριπλό καλώδιο, που το αποτελούν ο ουδέτερος (Ο) στον οποίο δεν παρέχεται από τον πάροχο ρεύμα, και οι φάσεις, στα οποία παρέχεται το ρεύμα, ενώ ο καταναλωτής είναι υποχρεωμένος να παρέχει για ασφάλεια μία γείωση. Ανάλογα με τις παρεχόμενες φάσεις της, η παροχή είναι μονοφασική ή τριφασική.

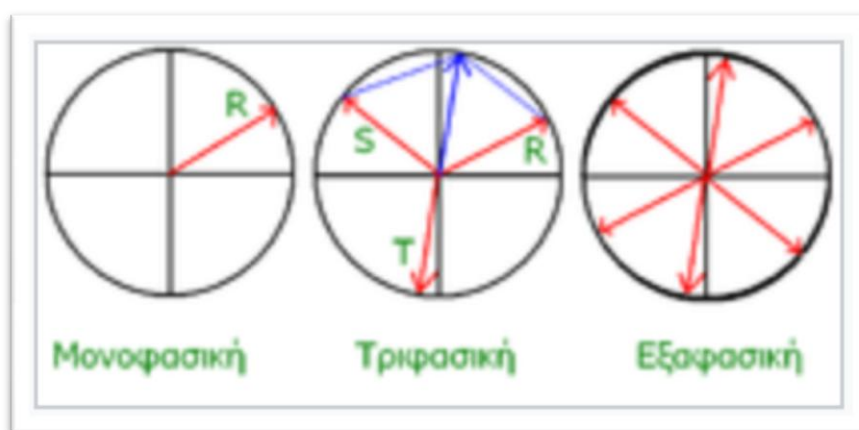
- Μονοφασική παροχή: Στον καταναλωτή παρέχεται μία φάση (R). Αν συνδεθεί μέσω ενός κυκλώματος η φάση με τον ουδέτερο τότε δημιουργείται κύκλωμα εναλλασσόμενου ρεύματος.
- Τριφασική παροχή: Στον καταναλωτή παρέχονται τρεις φάσεις (R,S,T). Η κάθε φάση διαφέρει από τις άλλες δύο κατά 120 μοίρες. Έτσι, αν συνδεθούν δύο φάσεις θα προκύψει ρεύμα παρόμοιο με της κάθε φάσης ενώ θα παρουσιαστεί και βραχυκύκλωμα εν μέρει. Αν συνδεθούν και οι τρεις φάσεις

θα δημιουργηθεί πλήρως βραχυκύκλωμα και το τελικό καλώδιο δε θα φέρει καθόλου ρεύμα. Συνήθως η ηλεκτρολογική εγκατάσταση χωρίζεται σε τρία μέρη, όπου κάθε μέρος ηλεκτροδοτείται από μία φάση, όπως και στη μονοφασική παροχή.

Η διαφορά φάσης μεταξύ δύο διαδοχικών φάσεων είναι συγκεκριμένη και χαρακτηριστική της συγκεκριμένης παροχής. Γενικά, η διαφορά φάσης δύο διαδοχικών φάσεων σε μια παροχή n φάσεων δίνεται από τον τύπο:

$$\Delta\varphi = \frac{360^\circ}{n}$$

Στην Ελλάδα σήμερα το ηλεκτρικό ρεύμα παρέχεται από τη ΔΕΗ, νομικό πρόσωπο μεικτού δικαίου και υπηρεσία κοινής ωφελείας (ΔΕΚΟ).



Σχήμα 2: Διανυσματική μορφή σε τριγωνομετρικούς κύκλους των φάσεων.
Εμφανίζονται από αριστερά προς τα δεξιά οι παροχές:
μονοφασική, τριφασική και εξαφασική

2.9: Ηλεκτρική Αντίσταση

Η ηλεκτρική αντίσταση ενός αγωγού είναι η δυσκολία (αντίσταση) που παρουσιάζεται στη διέλευση ηλεκτρικού ρεύματος δια μέσου ενός αγωγού. Η αντίθετη έννοια ονομάζεται ηλεκτρική αγωγιμότητα, η οποία αναφέρεται στην ευκολία διέλευσης ηλεκτρικού ρεύματος. Οι ηλεκτρικές αντιστάσεις μπορούν να παραλληλιστούν με την ιδέα της μηχανικής τριβής. Στο Διεθνές σύστημα μονάδων (SI) η μονάδα ηλεκτρικής αντίστασης μετριέται σε Ωμ (και συμβολίζεται με το ελληνικό γράμμα Ω), ενώ η ηλεκτρική αγωγιμότητα μετριέται σε μονάδα siemens (S). Όλα τα υλικά παρουσιάζουν κάποια μορφή αντίστασης εκτός από τα υπεραγώγιμα υλικά τα οποία έχουν αντίσταση μηδέν.

Η αντίσταση (R) είναι μια μονάδα η οποία ορίζεται ως το κλάσμα της τάσης του υλικού (V) προς το ρεύμα (I). Η αγωγιμότητα (G) ορίζεται ως το ανάποδο:

$$R = \frac{V}{I}$$

$$G = \frac{I}{V} = \frac{1}{R}$$

Για πολλά είδη υλικών και συνθήκες, τα V και I έχουν άμεση και γραμμική συσχέτιση, έτσι το R και G θεωρούνται σταθερές (παρόλο που μπορούν να επηρεάζονται από άλλες παραμέτρους όπως την θερμοκρασία). Αυτή η αναλογία ονομάζεται νόμος του $\Omega\mu$ και τα υλικά που ικανοποιούν αυτή τη σχέση ονομάζονται $\Omega\mu$ ικά υλικά.

Σε κάποιες περιπτώσεις όπως την δίοδο ή την μπαταρία, τα V και I δεν είναι γραμμικά συσχετιζόμενα, δηλαδή οι καμπύλες I - V δεν είναι γραμμικές (ξεκινώντας από την αρχή των αξόνων) και έτσι ο νόμος του $\Omega\mu$ δεν ισχύει. Η συσχέτιση V/I αναφέρεται ως "στατική αντίσταση". Σε κάποιες περιπτώσεις η παράγωγος της σχέσης $\frac{dV}{dI}$ χρησιμοποιείται, και ονομάζεται διαφορική αντίσταση.

2.10: $\Omega\mu$ ική αντίσταση

$\Omega\mu$ ική ηλεκτρική αντίσταση είναι το μέγεθος με το οποίο προσμετράτε η δυσχέρεια στην έλευση ηλεκτρικού ρεύματος μέσα από ένα υλικό, όταν το υλικό αυτό δε φέρει ιδιάζον σχήμα, ώστε να μην αναπτύσσονται επιπλέον ηλεκτρικές ιδιότητες οφειλόμενες σε χωρητικά ή επαγωγικά φαινόμενα. Η $\omega\mu$ ική αντίσταση, μετρούμενη σε ευθύγραμμο αγωγό που διαρρέεται από ηλεκτρικό ρεύμα, το οποίο προκαλεί η εφαρμογή μιας διαφοράς ηλεκτρικού δυναμικού στα άκρα του, ορίζεται ως το πηλίκο της διαφοράς δυναμικού προς την ένταση του ηλεκτρικού ρεύματος:

$$R = \frac{V}{I}$$

όπου:

R : Η αντίσταση που εμφανίζει το αντικείμενο (σε ohms)

V : Η διαφορά δυναμικού/τάση που εφαρμόζεται στα άκρα του αντικειμένου (σε volts)

I : Η ένταση του ρεύματος που διαρρέει το αντικείμενο (σε amperes)

Η μονάδα μέτρησης της ηλεκτρικής αντίστασης στο Διεθνές σύστημα μονάδων (SI) είναι το $\Omega\mu$ (στα Αγγλικά Ohm), το οποίο συμβολίζεται ως (Ω) και πήρε την ονομασία αυτή από τον Γερμανό φυσικό Γκέοργκ $\Omega\mu$ (Georg Ohm) και ορίζεται ως $1\Omega=1V/1A$.

Η αντίσταση είναι εξ ορισμού αντίθετη έννοια της αγωγιμότητας. Υλικά που είναι μονωτές έχουν μεγάλη αντίσταση, ενώ υλικά που είναι αγωγοί έχουν μικρή αντίσταση. Η αντίσταση μπορεί να μην είναι σταθερή, αλλά να αλλάζει ανάλογα με τις εξωτερικές συνθήκες, ή να εξαρτάται από το ηλεκτρικό ρεύμα. Η ηλεκτρική αγωγιμότητα ορίζεται ως το αντίστροφο μέγεθος της αντίστασης.

Υλικά στα οποία η αντίσταση είναι σταθερή ονομάζονται αντιστάτες (κοινά ονομαζόμενες «αντιστάσεις»). Συνήθως, αυτά τα υλικά είναι οι αγωγοί του ηλεκτρικού ρεύματος. Η σταθερότητα της αντίστασης είναι ο νόμος που διατύπωσε ο Γκέοργκ $\Omega\mu$, ο νόμος του $\Omega\mu$.

3. Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας

Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (ΑΠΕ) ή ήπιες μορφές ενέργειας, ή νέες πηγές ενέργειας, ή πράσινη ενέργεια είναι μορφές εκμεταλλεύσιμης ενέργειας που προέρχονται από διάφορες φυσικές διαδικασίες, όπως ο άνεμος, η γεωθερμία, η κυκλοφορία του νερού και άλλες. Συγκεκριμένα σύμφωνα με την οδηγία 2009/28/ΕΚ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου, ως ενέργεια από ανανεώσιμες μη ορυκτές πηγές θεωρείται η αιολική, ηλιακή, αεροθερμική, γεωθερμική, υδροθερμική και ενέργεια των ωκεανών, υδροηλεκτρική, από βιομάζα, από τα εκλυόμενα στους χώρους υγειονομικής ταφής αέρια, από αέρια μονάδων επεξεργασίας λυμάτων και από βιοαέρια.

Ο όρος «ήπιες» αναφέρεται σε δυο βασικά χαρακτηριστικά τους. Καταρχάς, για την εκμετάλλευσή τους δεν απαιτείται κάποια ενεργητική παρέμβαση, όπως εξόρυξη, άντληση ή καύση, όπως με τις μέχρι τώρα χρησιμοποιούμενες πηγές ενέργειας, αλλά απλώς η εκμετάλλευση της ήδη υπάρχουσας ροής ενέργειας στη φύση. Δεύτερον, πρόκειται για «καθαρές» μορφές ενέργειας, πολύ «φιλικές» στο περιβάλλον, που δεν αποδεσμεύουν υδρογονάνθρακες, διοξείδιο του άνθρακα ή τοξικά και ραδιενεργά απόβλητα, όπως οι υπόλοιπες πηγές ενέργειας που χρησιμοποιούνται σε μεγάλη κλίμακα. Έτσι θεωρούνται από πολλούς μία αφετηρία για την επίλυση των οικολογικών προβλημάτων που αντιμετωπίζει η Γη.

Ως «ανανεώσιμες πηγές» θεωρούνται γενικά οι εναλλακτικές των παραδοσιακών πηγών ενέργειας (π.χ. του πετρελαίου ή του άνθρακα), όπως η ηλιακή και η αιολική. Ο χαρακτηρισμός «ανανεώσιμες» είναι κάπως καταχρηστικός, αφού ορισμένες από αυτές τις πηγές, όπως η γεωθερμική ενέργεια, δεν ανανεώνονται σε κλίμακα χιλιετιών. Σε κάθε περίπτωση οι ΑΠΕ έχουν μελετηθεί ως λύση στο πρόβλημα της αναμενόμενης εξάντλησης των (μη ανανεώσιμων) αποθεμάτων ορυκτών καυσίμων. Τελευταία, από την Ευρωπαϊκή Ένωση, αλλά και από πολλά μεμονωμένα κράτη, υιοθετούνται νέες πολιτικές για τη χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, που προάγουν τέτοιες εσωτερικές πολιτικές και για τα κράτη μέλη. Οι ΑΠΕ αποτελούν τη βάση του μοντέλου οικονομικής ανάπτυξης της πράσινης οικονομίας και κεντρικό σημείο εστίασης της σχολής των οικολογικών οικονομικών, η οποία έχει κάποια επιρροή στο οικολογικό κίνημα.

Οι ήπιες μορφές ενέργειας βασίζονται κατ' ουσίαν στην ηλιακή ακτινοβολία, με εξαίρεση τη γεωθερμική ενέργεια, η οποία είναι ροή ενέργειας από το εσωτερικό του φλοιού της γης, και την ενέργεια απ' τις παλίρροιες που εκμεταλλεύεται τη βαρύτητα. Οι βασιζόμενες στην ηλιακή ακτινοβολία ήπιες πηγές ενέργειας είναι ανανεώσιμες, μιας και δεν πρόκειται να εξαντληθούν όσο υπάρχει ο ήλιος, δηλαδή για μερικά ακόμα δισεκατομμύρια χρόνια. Ουσιαστικά είναι ηλιακή ενέργεια «συσκευασμένη» κατά τον ένα ή τον άλλο τρόπο, όπως θα δούμε παρακάτω. Η βιομάζα είναι ηλιακή ενέργεια δεσμευμένη στους ιστούς των φυτών μέσω της φωτοσύνθεσης, η αιολική εκμεταλλεύεται τους ανέμους που προκαλούνται απ' τη θέρμανση του αέρα ενώ αυτές που βασίζονται στο νερό εκμεταλλεύονται τον κύκλο εξάτμισης-συμπύκνωσης του νερού και την κυκλοφορία του. Η γεωθερμική ενέργεια μπορεί να θεωρηθεί πρακτικά ανανεώσιμη, εφόσον δεν γίνεται υπεράντληση.

Χρησιμοποιούνται είτε άμεσα (κυρίως για θέρμανση) είτε μετατρέπόμενες σε άλλες μορφές ενέργειας (κυρίως ηλεκτρισμό ή μηχανική ενέργεια). Υπολογίζεται ότι το τεχνικά εκμεταλλεύσιμο ενεργειακό δυναμικό από τις ήπιες μορφές ενέργειας είναι πολλαπλάσιο της παγκόσμιας συνολικής κατανάλωσης ενέργειας. Η υψηλή όμως

μέχρι πρόσφατα τιμή των νέων ενεργειακών εφαρμογών, τα τεχνικά προβλήματα εφαρμογής καθώς και πολιτικές και οικονομικές σκοπιμότητες που έχουν να κάνουν με τη διατήρηση του παρόντος στάτους κβο στον ενεργειακό τομέα εμπόδισαν την εκμετάλλευση έστω και μέρους αυτού του δυναμικού.

Το ενδιαφέρον για τις ήπιες μορφές ενέργειας ανακινήθηκε τη δεκαετία του 1970, ως αποτέλεσμα κυρίως των απαντών πετρελαϊκών κρίσεων της εποχής, αλλά και της αλλοίωσης του περιβάλλοντος και της ποιότητας ζωής από τη χρήση κλασικών πηγών ενέργειας. Ιδιαίτερα ακριβές στην αρχή, ξεκίνησαν σαν πειραματικές εφαρμογές. Σήμερα όμως λαμβάνονται υπόψη στους επίσημους σχεδιασμούς των ανεπτυγμένων κρατών για την ενέργεια και, αν και αποτελούν πολύ μικρό ποσοστό της ενεργειακής παραγωγής, ετοιμάζονται βήματα για παραπέρα αξιοποίησή τους. Το κόστος δε των εφαρμογών ήπιων μορφών ενέργειας πέφτει συνέχεια τα τελευταία είκοσι χρόνια και ειδικά η αιολική και η υδροηλεκτρική ενέργεια, αλλά και η βιομάζα, μπορούν πλέον να ανταγωνίζονται στα ίσα παραδοσιακές πηγές ενέργειας όπως ο άνθρακας και η πυρηνική ενέργεια. Ενδεικτικά, στις Η.Π.Α. ένα 6% της ενέργειας προέρχεται από ανανεώσιμες πηγές, ενώ στην Ευρωπαϊκή Ένωση με την οδηγία 2001/77/ΕΚ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου επιδιώκεται το 20% των αναγκών της σε ηλεκτρική ενέργεια να καλύπτεται από εναλλακτικές πηγές μέχρι το 2020.

Σύμφωνα με την οδηγία 2009/28/ΕΚ άρθρο 5 του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου, το μερίδιο της ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές υπολογίζεται διαιρώντας την ακαθάριστη τελική κατανάλωση ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές διά της ακαθάριστης τελικής κατανάλωσης ενέργειας από όλες τις ενεργειακές πηγές και εκφράζεται ως ποσοστό. Σύμφωνα με το άρθρο 6 της ίδιας οδηγίας τα κράτη μέλη μπορούν να συμφωνούν και να προβαίνουν σε ρυθμίσεις για τη στατιστική μεταβίβαση συγκεκριμένης ποσότητας από ΑΠΕ από ένα κράτος μέλος σε άλλο. Η μεταβιβαζόμενη ποσότητα αφαιρείται από το μεταβιβάζον και προστίθεται στο κράτος που δέχεται τη μεταβίβαση. Η στατιστική μεταβίβαση δεν επηρεάζει την επίτευξη του εθνικού στόχου του μεταβιβάζοντος κράτους μέλους.

➤ Πλεονεκτήματα

- 1) Είναι πολύ φιλικές προς το περιβάλλον, έχοντας ουσιαστικά μηδενικά κατάλοιπα και απόβλητα.
- 2) Δεν πρόκειται να εξαντληθούν ποτέ, σε αντίθεση με τα ορυκτά καύσιμα.
- 3) Μπορούν να βοηθήσουν την ενεργειακή αυτάρκεια μικρών και αναπτυσσόμενων χωρών, καθώς και να αποτελέσουν την εναλλακτική πρόταση σε σχέση με την οικονομία του πετρελαίου.
- 4) Είναι ευέλικτες εφαρμογές, που μπορούν να παράγουν ενέργεια ανάλογη με τις ανάγκες του επί τόπου πληθυσμού, καταργώντας την ανάγκη για τεράστιες μονάδες παραγωγής ενέργειας (καταρχήν για την ύπαιθρο) αλλά και για μεταφορά της ενέργειας σε μεγάλες αποστάσεις.
- 5) Ο εξοπλισμός είναι απλός στην κατασκευή και τη συντήρηση και έχει πολύ μεγάλο χρόνο ζωής.
- 6) Επιδοτούνται από τις περισσότερες κυβερνήσεις.

➤ Μειονεκτήματα

- 1) Έχουν ένα αρκετά μικρό συντελεστή απόδοσης, της τάξης του 30% ή και χαμηλότερο. Συνεπώς απαιτείται αρκετά μεγάλο αρχικό κόστος εφαρμογής σε μεγάλη επιφάνεια της γης. Γι' αυτό το λόγο μέχρι τώρα χρησιμοποιούνται ως συμπληρωματικές πηγές ενέργειας.
- 2) Για τον παραπάνω λόγο προς το παρόν δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την κάλυψη των αναγκών μεγάλων αστικών κέντρων.
- 3) Η παροχή και απόδοση της αιολικής, υδροηλεκτρικής και ηλιακής ενέργειας εξαρτάται από την εποχή του έτους, αλλά και από το γεωγραφικό πλάτος και το κλίμα της περιοχής στην οποία εγκαθίστανται.
- 4) Για τις αιολικές μηχανές υπάρχει η άποψη ότι δεν είναι κομψές από αισθητική άποψη κι ότι προκαλούν θόρυβο και θανάτους πουλιών. Με την εξέλιξη όμως της τεχνολογίας τους και την προσεκτικότερη επιλογή χώρων εγκατάστασης (π.χ. σε πλατφόρμες στην ανοιχτή θάλασσα) αυτά τα προβλήματα έχουν σχεδόν λυθεί.
- 5) Για τα υδροηλεκτρικά έργα λέγεται ότι προκαλούν έκλυση μεθανίου από την αποσύνθεση των φυτών που βρίσκονται κάτω από το νερό κι έτσι συντελούν στο φαινόμενο του θερμοκηπίου.

3.1: Είδη ήπιων μορφών ενέργειας

- Αιολική ενέργεια: Χρησιμοποιήθηκε παλιότερα για την άντληση νερού από πηγάδια καθώς και για μηχανικές εφαρμογές (π.χ. την άλεση στους ανεμόμυλους). Έχει αρχίσει να χρησιμοποιείται ευρέως για ηλεκτροπαραγωγή.
- Ηλιακή ενέργεια: Χρησιμοποιείται περισσότερο για θερμικές εφαρμογές (ηλιακοί θερμοσίφωνες και φούρνοι) ενώ η χρήση της για την παραγωγή ηλεκτρισμού έχει αρχίσει να κερδίζει έδαφος, με την βοήθεια της πολιτικής προώθησης των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας από το ελληνικό κράτος και την Ευρωπαϊκή Ένωση.
- Υβριδικό αυτόνομο σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας, αποτελούμενο από φωτοβολταϊκή συστοιχία, ανεμογεννήτρια, εφεδρικό Η/Ζ και συσσωρευτές
- Υδραυλική ενέργεια: Είναι τα γνωστά υδροηλεκτρικά έργα, που στο πεδίο των ήπιων μορφών ενέργειας εξειδικεύονται περισσότερο στα μικρά υδροηλεκτρικά. Είναι η πιο διαδεδομένη μορφή ανανεώσιμης ενέργειας.
- Βιομάζα: Χρησιμοποιεί τους υδατάνθρακες των φυτών (κυρίως αποβλήτων της βιομηχανίας ξύλου, τροφίμων και ζωοτροφών και της βιομηχανίας ζάχαρης) με σκοπό την αποδέσμευση της ενέργειας που δεσμεύτηκε από το φυτό με τη φωτοσύνθεση. Ακόμα μπορούν να χρησιμοποιηθούν αστικά απόβλητα και απορρίμματα. Μπορεί να δώσει βιοαιθανόλη και βιοαέριο, που είναι καύσιμα πιο φιλικά προς το περιβάλλον από τα παραδοσιακά. Είναι μια πηγή ενέργειας με πολλές δυνατότητες και εφαρμογές, που θα χρησιμοποιηθεί πλατιά στο μέλλον.
- Γεωθερμική ενέργεια: Προέρχεται από τη θερμότητα που παράγεται από τη ραδιενεργό αποσύνθεση των πετρωμάτων της γης. Είναι εκμεταλλεύσιμη εκεί όπου η θερμότητα αυτή ανεβαίνει με φυσικό τρόπο στην επιφάνεια, π.χ. στους θερμοπίδακες ή στις πηγές ζεστού νερού. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί είτε απευθείας για θερμικές εφαρμογές, είτε για την παραγωγή ηλεκτρισμού.

Η Ισλανδία καλύπτει το 80-90% των ενεργειακών της αναγκών, όσον αφορά τη θέρμανση, και το 20%, όσον αφορά τον ηλεκτρισμό, με γεωθερμική ενέργεια. Η επιστημονική κοινότητα ταξινομεί συνήθως τη γεωθερμία στις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (Α.Π.Ε.). Το υπόγειο νερό ή ο ατμός που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας ή για την κάλυψη θερμικών αναγκών (άμεσες χρήσεις γεωθερμίας), με την κατάλληλη διαχείριση, δεν θα ελαττωθούν, επειδή η κατείσδυση των επιφανειακών υδάτων θα συνεχίσει να επανατροφοδοτεί τους γεωθερμικούς ταμειυτήρες και δεν χρειάζονται μεγάλοι γεωλογικοί χρόνοι (περίοδοι) για αναγέννηση. Αρκεί να μην γίνεται υπεράντληση. Όμως, επειδή οι δεξαμενές γεωθερμίας είναι τεράστιες σε μέγεθος συγκριτικά με τις ανάγκες του ανθρώπου, η γεωθερμική ενέργεια είναι πρακτικά ανανεώσιμη.

➤ Ενέργεια από τη θάλασσα:

- Ενέργεια από παλίρροιες: Εκμεταλλεύεται τη βαρύτητα του Ήλιου και της Σελήνης, που προκαλεί ανύψωση της στάθμης του νερού. Το νερό αποθηκεύεται καθώς ανεβαίνει και για να ξανακατέβει αναγκάζεται να περάσει μέσα από μια τουρμπίνα, παράγοντας ηλεκτρισμό. Έχει εφαρμοστεί στην Αγγλία, τη Γαλλία, τη Ρωσία και αλλού.
- Ενέργεια από κύματα: Εκμεταλλεύεται την κινητική ενέργεια των κυμάτων της θάλασσας.
- Ενέργεια από τους ωκεανούς: Εκμεταλλεύεται τη διαφορά θερμοκρασίας ανάμεσα στα στρώματα του ωκεανού, κάνοντας χρήση θερμικών κύκλων. Βρίσκεται στο στάδιο της έρευνας.

➤ Ωσμωτική ενέργεια: Η ανάμιξη γλυκού και θαλασσινού νερού απελευθερώνει μεγάλες ποσότητες ενέργειας, όπως συμβαίνει όταν ένα ποτάμι εκβάλλει στον ωκεανό. Η ενέργεια αυτή ονομάζεται ωσμωτική ενέργεια (ή γαλάζια ενέργεια) και ανακτάται όταν το νερό του ποταμού και το θαλασσινό νερό είναι διαχωρισμένα από μια ημιδιαπερατή μεμβράνη και το γλυκό νερό περνάει μέσω αυτής.

4. Φωτοβολταϊκά

Με τον γενικό όρο Φωτοβολταϊκά ονομάζεται η βιομηχανική διάταξη πολλών φωτοβολταϊκών κυττάρων σε μία σειρά. Στην ουσία πρόκειται για τεχνητούς ημιαγωγούς (συνήθως από Πυρίτιο) οι οποίοι ενώνονται με σκοπό να δημιουργήσουν ένα ηλεκτρικό κύκλωμα σε σειρά. Οι ημιαγωγοί αυτοί απορροφούν φωτόνια από την ηλιακή ακτινοβολία και παράγουν μια ηλεκτρική τάση. Αυτή η διαδικασία ονομάζεται "Φωτοβολταϊκό φαινόμενο".

Τα φωτοβολταϊκά ανήκουν στη κατηγορία των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΑΠΕ). Στην κατηγορία των ανανεώσιμων ηλιακών πηγών ενέργειας, τα ηλιοθερμικά συστήματα είναι πιο αποδοτικά από τα φωτοβολταϊκά.

4.1: Φωτοβολταϊκό Φαινόμενο

Το φωτοβολταϊκό (Φ/Β) φαινόμενο αφορά τη μετατροπή της ηλιακής ενέργειας σε ηλεκτρική. Το Φ/Β φαινόμενο ανακαλύφθηκε το 1839 από τον Εντμόντ Μπεκερέλ (Alexandre-Edmond Becquerel). Περιληπτικά πρόκειται για την απορρόφηση της ενέργειας του φωτός από τα ηλεκτρόνια των ατόμων του Φ/Β στοιχείου και την απόδραση των ηλεκτρονίων αυτών από τις κανονικές τους θέσεις με αποτέλεσμα την δημιουργία ρεύματος. Το ηλεκτρικό πεδίο που προϋπάρχει στο Φ/Β στοιχείο οδηγεί το ρεύμα στο φορτίο.

4.2: Φωτοβολταϊκή Διάταξη

Τα Φ/Β πλαίσια έχουν ως βασικό μέρος το ηλιακό στοιχείο (solar cell) που είναι ένας κατάλληλα επεξεργασμένος ημιαγωγός μικρού πάχους σε επίπεδη επιφάνεια. Η πρόσπτωση ηλιακής ακτινοβολίας δημιουργεί ηλεκτρική τάση και με την κατάλληλη σύνδεση σε φορτίο παράγεται ηλεκτρικό ρεύμα. Τα Φ/Β στοιχεία ομαδοποιούνται κατάλληλα και συγκροτούν τα φωτοβολταϊκά πλαίσια ή γεννήτριες (module), τυπικής ισχύος από 20W έως 300W. Οι Φ/Β γεννήτριες συνδέονται ηλεκτρολογικά μεταξύ τους και δημιουργούνται οι φωτοβολταϊκές συστοιχίες (arrays).

4.3: Τεχνολογίες Φ/Β Στοιχείων

Τα φωτοβολταϊκά στοιχεία χωρίζονται σε δυο βασικές κατηγορίες

1. Κρυσταλλικού Πυριτίου

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

2. Λεπτών Μεμβρανών

- Άμορφου Πυριτίου, ονομαστικής απόδοσης ~7%.
- 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.

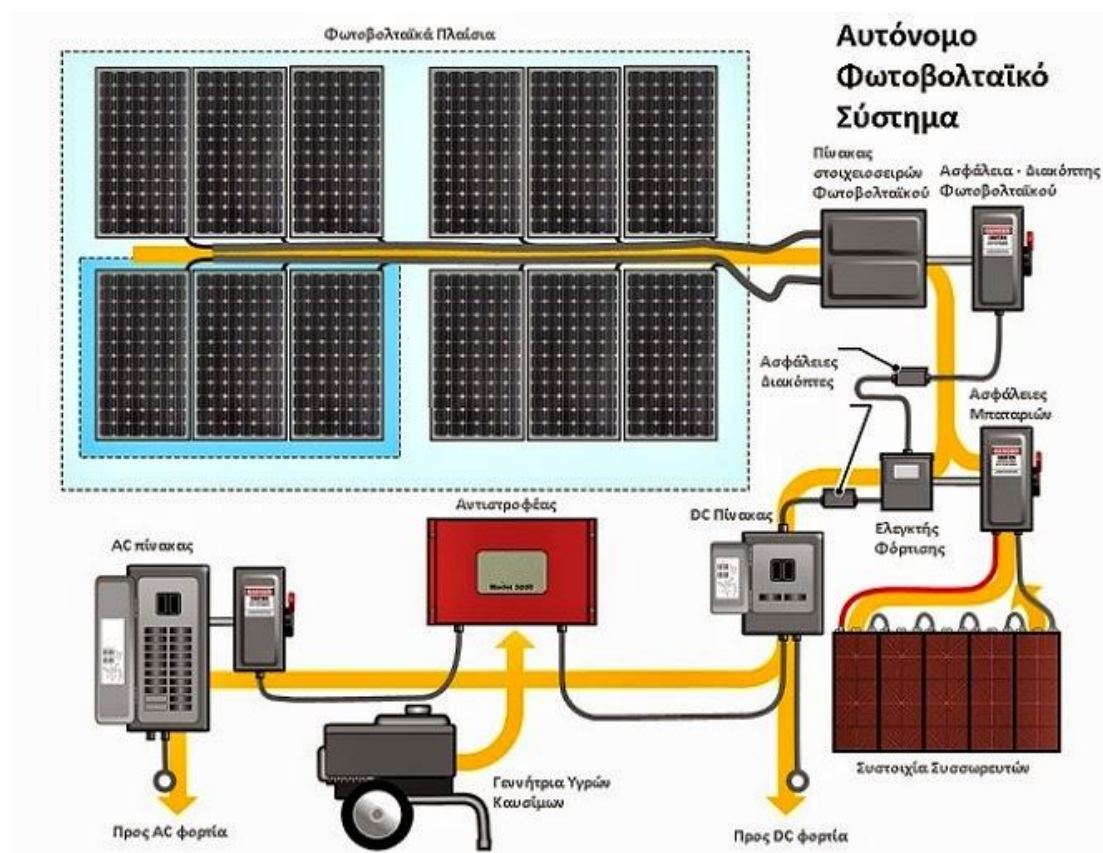
Στα πλεονεκτήματα των πλαισίων λεπτού υμενίου τα οποία αναφέρθηκαν παραπάνω, θα πρέπει να αντιπαρατεθεί η ελαφρώς χαμηλότερη απόδοσή τους, που φτάνει μέχρι 14% στα τεχνολογίες CIS / CISG. Οι άλλες τεχνολογίες λεπτού υμενίου φτάνουν περίπου μέχρι 10%, ανάλογα με το υλικό. Πάντως η τεχνολογία λεπτού στρώματος (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.

4.4: Δομή ενός φωτοβολταϊκού συστήματος

Το φωτοβολταϊκό σύστημα αποτελείται από ένα αριθμό μερών ή υποσυστημάτων:

- 1) Τη φωτοβολταϊκή γεννήτρια με τη μηχανική υποστήριξη και πιθανόν ένα σύστημα παρακολούθησης της ηλιακής τροχιάς.
- 2) Μπαταρίες (υποσύστημα αποθήκευσης) που πλέον δεν χρησιμοποιούνται, εκτός σε απομακρυσμένες εγκαταστάσεις όπως είναι π.χ. οι Φάροι, διαφορετικά η σύνδεση του πάνελ γίνεται απευθείας με το υφιστάμενο δίκτυο της ΔΕΗ.
- 3) Καθορισμό ισχύος και συσκευή ελέγχου που περιλαμβάνει φροντίδα για μέτρηση και παρατήρηση.

- 4) Εφεδρική γεννήτρια. Η επιλογή του πώς και ποια από αυτά τα στοιχεία ολοκληρώνονται μέσα στο σύστημα εξαρτάται από ποικίλες εκτιμήσεις.



Σχήμα 3: Δομή Συστήματος

4.5: Διάκριση Φ/Β συστημάτων

Υπάρχουν δυο κύριες κατηγορίες συστημάτων, το διασυνδεδεμένο με το δίκτυο και το αυτόνομο. Η απλούστερη μορφή του δεύτερου εκ των δυο αποτελείται απλώς από μια φωτοβολταϊκή γεννήτρια, η οποία μόνη της τροφοδοτεί με συνεχές ρεύμα ένα φορτίο οποτεδήποτε υπάρχει επαρκής φωτεινότητα. Αυτού του τύπου το σύστημα είναι κοινό σε εφαρμογές άντλησης. Σε άλλες περιπτώσεις το σύστημα περιέχει συνήθως μια φροντίδα για αποθήκευση ενέργειας από τις μπαταρίες. Συχνά συμπεριλαμβάνεται κάποια μορφή ρύθμισης της ισχύος, όπως στην περίπτωση που απαιτείται εναλλασσόμενο ρεύμα να εξέρχεται από το σύστημα. Σε μερικές περιπτώσεις το σύστημα περιέχει μια εφεδρική γεννήτρια.

Τα συνδεδεμένα στο δίκτυο συστήματα μπορούν να υποδιαιρεθούν σ' εκείνα στα οποία το δίκτυο ενεργεί απλώς ως μια βοηθητική τροφοδοσία (εφεδρικό δίκτυο) και εκείνα τα οποία ίσως λάβουν επίσης πρόσθετη ισχύ από τη Φ.Β. γεννήτρια (αλληλοεπιδρώμενο δίκτυο). Μέσα στους Φ.Β. σταθμούς όλη η παραγόμενη ισχύς τροφοδοτείται στο δίκτυο.

4.6: Φωτοβολταϊκές βασικές μονάδες

Συνήθως τα ηλιακά στοιχεία σε μια βασική μονάδα συνδέονται μεταξύ τους σε μια βασική σειρά. Αυτό οφείλεται στα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά του κάθε ηλιακού στοιχείου. Ένα τυπικό (διαμέτρου 4 ιντσών) ηλιακό στοιχείο κρυσταλλικού πυριτίου ή ένα (10 cm X 10 cm) πολυκρυσταλλικό στοιχείο θα παρέχουν κάτω από κανονικές συνθήκες ισχύ μεταξύ 1 και 1,5 W, εξαρτώμενη από την απόδοση του ηλιακού στοιχείου. Αυτή η ισχύς παρέχεται συνήθως υπό τάση 0,5 ή 0,6 V. Από τη στιγμή που υπάρχουν πολύ λίγες εφαρμογές, οι οποίες μπορούν να λειτουργούν σε αυτή την τάση, η άμεση λύση είναι να συνδεθούν τα ηλιακά στοιχεία σε σειρά.

Ο αριθμός των ηλεκτρικών στοιχείων μέσα σε μια βασική μονάδα ρυθμίζεται από την τάση της βασικής μονάδας. Η ονομαστική τάση λειτουργίας του συστήματος συνήθως πρέπει να ταιριάζει με την ονομαστική τάση του υποσυστήματος αποθήκευσης. Οι περισσότερες εκ των φωτοβολταϊκών βασικών μονάδων, που κατασκευάζονται βιομηχανικά έχουν, επομένως, σταθερές διατάξεις, οι οποίες μπορούν να συνεργασθούν ακόμη και με μπαταρίες των 12Volt. Προνοώντας για κάποια υπέρταση προκειμένου να φορτιστεί η μπαταρία και να αντισταθμιστεί χαμηλότερη έξοδος, κάτω από συνθήκες χαμηλότερες των κανονικών, έχει βρεθεί ότι μια ομάδα των 33 έως 36 ηλιακών στοιχείων σε σειρά συνήθως εξασφαλίζουν αξιόπιστη λειτουργία.

Έτσι η ισχύς των βασικών μονάδων πυριτίου συνήθως κυμαίνεται μεταξύ 40 και 60 W. Οι παράμετροι της βασικής μονάδας καθορίζονται από τον κατασκευαστή κάτω από τις ακόλουθες κανονικές συνθήκες:

- Ακτινοβολία 1 KW/m²
- Φασματική κατανομή AM 1,5
- Θερμοκρασία ηλιακού στοιχείου 25°C

Πρόκειται για τις ίδιες συνθήκες με αυτές που χρησιμοποιούνται για να χαρακτηρισθούν τα ηλιακά στοιχεία. Η ονομαστική έξοδος συνήθως ονομάζεται ισχύς κορυφής μιας βασικής μονάδας και εκφράζεται σε W κορυφής (W).

Τα τρία περισσότερο σημαντικά ηλεκτρικά χαρακτηριστικά μιας βασικής μονάδας είναι το ρεύμα βραχυκυκλώματος, η τάση ανοικτού κυκλώματος και το σημείο μέγιστης ισχύος σε συνάρτηση με τη θερμοκρασία και την ακτινοβολία. Αυτές οι χαρακτηριστικές μοιάζουν με τη χαρακτηριστική I-V ενός ηλιακού στοιχείου, ωστόσο υπάρχουν συγκεκριμένες ιδιομορφίες.

4.7: Χρήσεις Φωτοβολταϊκών

Τα φωτοβολταϊκά είναι διατάξεις που παράγουν ηλεκτρικό ρεύμα από την ηλιακή ακτινοβολία. Το ηλεκτρικό αυτό ρεύμα χρησιμοποιείται για να δώσει ενέργεια σε μια συσκευή ή για τη φόρτιση μπαταρίας. Η τεχνολογία αυτή χρησιμοποιείται ευρέως σε μικροϋπολογιστές τσέπης που λειτουργούν χωρίς μπαταρία, απλώς με την έκθεσή τους στο φως.

Τα φωτοβολταϊκά χρησιμοποιούνται συχνά σε συστοιχίες για την παραγωγή ενέργειας σε μεγάλη κλίμακα. Σε τέτοια μορφή χρησιμοποιούνται για να δίνουν ενέργεια σε δορυφόρους, διαστημόπλοια, αλλά και σε απλούστερες εφαρμογές,

όπως για την ενεργειοδότηση απομακρυσμένων τηλεφώνων εκτάκτου ανάγκης σε εθνικές οδούς, σε σπίτια κλπ.

Σε πολλές χώρες έχουν ξεκινήσει προγράμματα επιδότησης των επενδύσεων σε φωτοβολταϊκά, τα οποία παράγουν ηλεκτρική ενέργεια που μεταπωλείται και εισάγεται στα δημόσια δίκτυα μεταφοράς. Τα προγράμματα αυτά έχουν στόχο τη διαφοροποίηση της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και τη σταδιακή απεξάρτησή της από το πετρέλαιο.

Η θερμοκρασία είναι μια σημαντική παράμετρος λειτουργίας ενός Φ/Β συστήματος. Όπως έχουμε δει ο συντελεστής θερμοκρασίας για την τάση ανοικτού κυκλώματος είναι κατά προσέγγιση ίσος με $-2.3 \text{ mV}/^\circ\text{C}$ για καθένα ηλιακό στοιχείο. Ο συντελεστής τάσης μιας βασικής μονάδας είναι επομένως αρνητικός και πολύ μεγάλος από τη στιγμή που συνδέονται σε σειρά 33 έως 36 ηλιακά στοιχεία. Ο συντελεστής ρεύματος, από την άλλη πλευρά, είναι θετικός και μικρός, περίπου $+6 \text{ }\mu\text{A}/^\circ\text{C}$ ανά τετραγωνικό εκατοστό της βασικής μονάδας. Συνεπώς, μόνο η μεταβολή τάσης σε σχέση μ' αυτή της θερμοκρασίας λαμβάνεται υπόψη για πρακτικούς κυρίως υπολογισμούς, ενώ για κάθε βασική μονάδα αποτελούμενη από n ηλιακά στοιχεία συνδεδεμένα σε σειρά ισούται προς:

Είναι σημαντικό να σημειώσετε ότι η τάση καθορίζεται από τη θερμοκρασία λειτουργίας των ηλιακών στοιχείων, η οποία διαφέρει από τη θερμοκρασία περιβάλλοντος.

Όπως και για καθένα ηλιακό στοιχείο, το ρεύμα βραχυκυκλώματος I_{sc} μιας βασικής μονάδας είναι ανάλογο προς την ακτινοβολία και επομένως θα ποικίλλει κατά τη διάρκεια της ημέρας κατά τον ίδιο τρόπο. Εφόσον η τάση είναι λογαριθμική συνάρτηση του ρεύματος, θα εξαρτάται επίσης λογαριθμικά και από την ακτινοβολία. Κατά τη διάρκεια της ημέρας επομένως η τάση θα μεταβάλλεται λιγότερο από ότι το ρεύμα. Στο σχεδιασμό της Φ/Β γεννήτριας είναι συνηθισμένο να παραμελείται η μεταβολή της τάσης και να λαμβάνεται το ρεύμα βραχυκυκλώματος ανάλογο προς την ακτινοβολία.

Η λειτουργία μιας βασικής μονάδας θα πρέπει να βρίσκεται όσο το δυνατόν πιο κοντά στο σημείο μέγιστης ισχύος. Είναι ένα σημαντικό γνώρισμα της χαρακτηριστικής της βασικής μονάδας, το ότι η τάση του σημείου μέγιστης ισχύος V_m είναι σχεδόν ανεξάρτητη από την ακτινοβολία. Η μέση τιμή αυτής της τάσης κατά τη διάρκεια της ημέρας μπορεί να εκτιμηθεί στο 80% της τάσης ανοικτού κυκλώματος κάτω από κανονικές συνθήκες ακτινοβολίας. Αυτή η ιδιότητα είναι χρήσιμη για τη σχεδίαση της μονάδας ελέγχου της ισχύος της συσκευής.

Ο χαρακτηρισμός της βασικής Φ/Β μονάδας συμπληρώνεται με τη μέτρηση της θερμοκρασίας ενός κανονικά λειτουργούντος ηλιακού στοιχείου (NOCT) (Normal Operating Cell Temperature), οριζόμενης ως η θερμοκρασία του ηλιακού στοιχείου, όταν η βασική μονάδα λειτουργεί κάτω από τις ακόλουθες συνθήκες σε ανοικτό κύκλωμα:

- Ακτινοβολία 0,8
- Φασματική κατανομή AM 1,5
- Θερμοκρασία περιβάλλοντος $20 \text{ }^\circ\text{C}$
- Ταχύτητα ανέμου 1 m/s

Η NOCT (συνήθως μεταξύ 42°C και 46°C) χρησιμοποιείται τότε για να καθορίσει τη θερμοκρασία του ηλιακού ηλεκτρικού στοιχείου T_c κατά τη διάρκεια της

λειτουργίας βασικής μονάδας. Συνήθως υποθέτουμε ότι η διαφορά μεταξύ T_c και θερμοκρασίας περιβάλλοντος T_a εξαρτάται γραμμικά από την ακτινοβολία G_t .

4.8: Φωτοβολταϊκά στις στέγες

Με τα φωτοβολταϊκά σε στέγες η Ευρωπαϊκή Ένωση θέλησε να ωθήσει τους πολίτες της να αξιοποιήσουν την ηλιακή ενέργεια. Έτσι ξεκίνησε το Πρόγραμμα «Φωτοβολταϊκά σε Στέγες» με πολύ ευνοϊκές ρυθμίσεις και πολλά κίνητρα. Το Πρόγραμμα αφορά στέγες και δώματα στα οποία μπορούν να τοποθετηθούν φωτοβολταϊκά συνολικής ισχύος 10 kWp (κιλοβάτ). Σε αυτό μπορούν να μετέχουν όλοι οι πολίτες και, προκειμένου για την Ελλάδα, να πωλούν το ρεύμα που παράγουν στη ΔΕΗ. Το κέρδος για τον κάτοχο φωτοβολταϊκών είναι διπλό: Εισπράττει χρήματα από τη ΔΕΗ για το ρεύμα που παράγει ενώ δεν χρειάζεται να πληρώνει για το ρεύμα που καταναλώνει.

Δικαίωμα συμμετοχής στο Πρόγραμμα «Φωτοβολταϊκά σε Στέγες» έχουν όλοι οι κάτοικοι της Ελλάδας, ιδιώτες ή μικρές επιχειρήσεις, με μοναδική προϋπόθεση να είναι ιδιοκτήτες του ακινήτου που θα τοποθετηθούν τα φωτοβολταϊκά και το ακίνητο τους να είναι σε σύνδεση με την ΔΕΗ. Δεν ισχύει για περιοχές που δεν βρίσκονται στο διασυνδεδεμένο σύστημα. Ο ιδιώτης ή η επιχείρηση που ενδιαφέρεται να τοποθετήσει τα φωτοβολταϊκά πρέπει να απευθυνθεί στα γραφεία της ΔΕΗ της περιοχής του. Αργότερα θα κληθεί να υπογράψει δυο συμβάσεις, η πρώτη αφορά την εγκατάσταση του μετρητή ρεύματος και η δεύτερη αφορά την πώληση του ρεύματος στη ΔΕΗ. Εξίσου σημαντικό για όσους αποφασίσουν να τοποθετήσουν φωτοβολταϊκά στις στέγες τους είναι ότι δεν φορολογούνται για τα έσοδα που προκύπτουν από την πώληση του ρεύματος, λόγω του μικρού μεγέθους του συστήματος που δικαιούται το κάθε κτίριο. Εκτός από τα φωτοβολταϊκά σε στέγες μονοκατοικιών, τοποθετούνται και σε στέγες και δώματα πολυκατοικιών. Απαιτείται η σύμφωνη γνώμη όλων των ιδιοκτητών και η διαδικασία πραγματοποιείται από το διαχειριστή.

Η τοποθέτηση των φωτοβολταϊκών είναι μια επένδυση για το μέλλον αφού εξασφαλίζει κέρδη για τον κάτοχο του φωτοβολταϊκού συστήματος για 25 χρόνια. Ειδικά σε κάποιες περιοχές της Ελλάδας που επικρατεί ηλιοφάνεια τους περισσότερους μήνες του χρόνου, η απόδοση είναι εγγυημένη. Τα κέρδη εξαρτώνται από το μέγεθος της εγκατάστασης και όσο μεγαλύτερη είναι αυτή(μέχρι 10 kWp[κιλοβάτ]), τόσο πιο πολλά τα κέρδη.

Η τιμή αγοράς της kWh(κιλοβατώρας) από τη ΔΕΗ με βάση τον νόμο 3851 ήταν 0,55 ευρώ μέχρι τον Ιούλιο του 2012, ενώ από τον Αύγουστο του 2012 μετά από τροποποίηση του νόμου έπεσε στα 0,25 ευρώ. Η τιμή θα μειώνεται κάθε εξάμηνο ως εξής:

Έτος/Μήνας	Τιμή Κιλοβατώρας(Ευρώ)
2012 Αύγουστος	0,25
2013 Φεβρουάριος	0,23875
2013 Αύγουστος	0,22801
2014 Φεβρουάριος	0,21775
2014 Αύγουστος	0,20795
2015 Φεβρουάριος	0,19859

2015 Αύγουστος	0,18965
2016 Φεβρουάριος	0,18112
2016 Αύγουστος	0,17297
2017 Φεβρουάριος	0,16518
2017 Αύγουστος	0,15775
2018 Φεβρουάριος	0,15065
2018 Αύγουστος	0,14387

Μάλιστα μέχρι το 2019 όταν και θα ολοκληρωθεί το Πρόγραμμα «Φωτοβολταϊκά σε Στέγες». Η τιμή πώλησης της κιλοβατώρας παρ'όλες τις προσαρμογές είναι κατά πολύ μεγαλύτερη από την τιμή που πληρώνουμε για ρεύμα. Η χρηματοδότηση από τις τράπεζες για το Πρόγραμμα που αφορά τα φωτοβολταϊκά σε στέγες, φτάνει έως και το 100%. Εφόσον φυσικά κάποιος πληροί τις προϋποθέσεις για τραπεζικό δανεισμό. Σε αυτή την περίπτωση το κόστος για την τοποθέτηση των φωτοβολταϊκών είναι μηδαμινό για τον κάτοχο του ακινήτου, αφού άμεσα μπορεί από τα κέρδη του να αποπληρώσει το δάνειο.

4.9: Συλλογή του ηλιακού φωτός

Ένα σημαντικό πρόβλημα που αντιμετωπίζει ο σχεδιαστής μιας διάταξης είναι το που θα στερεωθούν οι βασικές μονάδες, αν θα στερεωθούν σε σταθερές θέσεις ή οι προσανατολισμοί τους θα ακολουθούν (ιχνηλατούν) την κίνηση του ηλίου.

Στις περισσότερες διατάξεις οι βασικές μονάδες στερεώνονται σ' ένα σταθερό κεκλιμένο επίπεδο με την πρόσοψη προς τον ισημερινό. Αυτό έχει την αρετή της απλότητας, δηλαδή κανένα κινούμενο τμήμα και χαμηλό κόστος. Η άριστη γωνία κλίσης εξαρτάται κυρίως από το γεωγραφικό πλάτος, την αναλογία της διάχυτης ακτινοβολίας στην τοποθεσία και το είδος του φορτίου.

Στερεώνοντας τη διάταξη πάνω σε σύστημα με δύο άξονες παρακολούθησης του Ηλίου, μπορεί να συλλεχθεί μέχρι 25% περισσότερη ηλιακή ενέργεια κατά τη διάρκεια ενός έτους, σε σύγκριση με την εγκατάσταση σταθερής κλίσης. Κάτι τέτοιο όμως αυξάνει την πολυπλοκότητα και έχει ως αποτέλεσμα μια χαμηλότερης αξιοπιστίας και υψηλότερου κόστους συντήρηση. Η μονού άξονα παρακολούθηση (ιχνηλάτηση) είναι λιγότερο σύνθετη αλλά παρουσιάζει μικρότερο κέρδος. Ο προσανατολισμός μπορεί να ρυθμίζεται χειροκίνητα, εκεί που η προσφορά εργασίας είναι διαθέσιμη, αυξάνοντας έτσι τις όποιες απολαβές. Έχει υπολογιστεί ότι σε κλίματα με ηλιοφάνεια μια διάταξη επίπεδης κινούμενης πλάκας που έχει κατάλληλη ρύθμιση ώστε να στρέφεται προς τον ήλιο δυο φορές την ημέρα και να παίρνει την κατάλληλη κρίση τέσσερις φορές το χρόνο, μπορεί να συλλαμβάνει το 95% της ενέργειας, που συλλέγετε με ένα σύστημα δυο αξόνων παρακολούθησης πλήρως αυτοματοποιημένο.

Το σύστημα παρακολούθησης είναι ιδιαίτερα σημαντικό στα συστήματα, που λειτουργούν κάτω από συγκεντρωμένο ηλιακό φως. Η δομή αυτών των συστημάτων εκτείνεται από έναν απλό σχεδιασμό βασισμένο πάνω σε πλευρικούς ενισχυτικούς καθρέπτες μέχρι τα συγκεντρωτικά συστήματα, τα οποία χρησιμοποιούν υπερσύγχρονες οπτικές τεχνικές, για να αυξήσουν την είσοδο φωτός προς τα ηλιακά στοιχεία κατά μερικές τάξεις του μεγέθους. Αυτά τα συστήματα πρέπει να προνοούν για ένα σημαντικό γεγονός, ότι δηλαδή συγκεντρώνοντας το ηλιακό φως ελαττώνουν

το γωνιακό άνοιγμα των ακτίνων, που το σύστημα μπορεί να δεχθεί. Η παρακολούθηση γίνεται απαραίτητη από τη στιγμή που ο λόγος συγκέντρωσης υπερβαίνει το 10 περίπου και το σύστημα μπορεί να μετατρέψει μόνο την άμεση συνιστώσα της ηλιακής ακτινοβολίας.

5. Ρυθμιστές φόρτισης

Εδώ θα δούμε τι είναι και πως λειτουργούν οι Ρυθμιστές Φόρτισης των μπαταριών στα φωτοβολταϊκά συστήματα. Ο ρυθμιστής φόρτισης είναι μια απλή ηλεκτρονική συσκευή που φροντίζει για τη σωστή φόρτιση των συσσωρευτών (μπαταριών) του φωτοβολταϊκού συστήματος.

Οι ρυθμιστές φόρτισης ελέγχουν τη διαδικασία φόρτισης και σταματούν τη φόρτιση όταν διαπιστώσουν ότι η μπαταρία έχει φορτιστεί πλήρως. Αλλιώς θα υπήρχε ο σοβαρός κίνδυνος να καταστραφεί η μπαταρία.

Επειδή οι μπαταρίες έχουν την τάση να αποφορτίζονται σταδιακά ακόμα κι αν δεν τροφοδοτούν με ρεύμα κάποια συσκευή, ο ρυθμιστής φόρτισης φροντίζει αυτόματα να ξαναρχίσει η διαδικασία φόρτισης της μπαταρίας όταν διαπιστώσει ότι η τάση της έπεσε κάτω από το επίπεδο της πλήρους φόρτισης.

Αρκετοί ρυθμιστές φόρτισης έχουν υποδοχή πάνω στην οποία συνδέουμε τις ηλεκτρικές συσκευές που θέλουμε να τροφοδοτήσουμε από τη μπαταρία. Έτσι, έχουν την επιπλέον δυνατότητα να διακόψουν τη λειτουργία των ηλεκτρικών συσκευών όταν διαπιστώσουν ότι η μπαταρία κοντεύει να αδειάσει πλήρως, προστατεύοντάς την πάλι με αυτό τον τρόπο από πλήρη αποφόρτιση που θα οδηγούσε στην καταστροφή της.

Πιο ειδικά, η κύρια λειτουργία ενός ελεγκτή φόρτισης σε ένα αυτόνομο φωτοβολταϊκό σύστημα είναι να διατηρήσει την μπαταρία στην υψηλότερη δυνατή στάθμη φόρτισης ενώ ταυτόχρονα θα την προστατεύει από την υπερφόρτιση και από την υπερεκφόρτιση. Παρόλο που μερικά φωτοβολταϊκά συστήματα μπορούν να σχεδιαστούν αποδοτικά χωρίς τη χρήση ελεγκτή φόρτισης, σε κάθε σύστημα που έχει απρόβλεπτα φορτία, ανθρώπινη παρέμβαση, βελτιστοποιημένη ή κατώτερου μεγέθους μπαταρία αποθήκευσης (για ελαχιστοποίηση του αρχικού κόστους) είναι τυπικά απαραίτητος ένας ελεγκτής φόρτισης της μπαταρίας. Ο αλγόριθμος ή η στρατηγική ελέγχου ενός ελεγκτή φόρτισης της μπαταρίας καθορίζει την αποδοτικότητα της φόρτισης της μπαταρίας και της αξιοποίησης της φωτοβολταϊκής συστοιχίας και, τελικά, της ικανότητας του συστήματος να ικανοποιήσει τις απαιτήσεις του φορτίου. Επιπλέον χαρακτηριστικά όπως είναι η αντιστάθμιση της θερμοκρασίας, συναγερμοί, μετρητές, απομακρυσμένοι αισθητήρες τάσης και ειδικοί αλγόριθμοι μπορούν να ενισχύσουν την ικανότητα ενός ελεγκτή φόρτισης να διατηρεί την καλή υγεία και να επιμηκύνει τη διάρκεια ζωής της μπαταρίας, καθώς και να παρέχουν μια ένδειξη της λειτουργικής κατάστασης στον επιμελητή του συστήματος.

Σημαντικές λειτουργίες των ελεγκτών φόρτισης της μπαταρίας και των ελέγχων του συστήματος είναι:

- Αποτροπή της υπερφόρτισης της μπαταρίας: περιορισμός της ενέργειας με την οποία τροφοδοτείται η μπαταρία από τη φωτοβολταϊκή συστοιχία όταν η μπαταρία γίνει πλήρως φορτισμένη.
- Αποτροπή της υπερεκφόρτισης της μπαταρίας: αποσύνδεση της μπαταρίας από τα ηλεκτρικά φορτία όταν αυτή φτάνει σε χαμηλή στάθμη φόρτισης.

-
- Παροχή λειτουργιών ελέγχου του φορτίου: αυτόματη σύνδεση και αποσύνδεση ενός ηλεκτρικού φορτίου σε συγκεκριμένο χρόνο, για παράδειγμα, λειτουργία ενός φορτίου φωτισμού από τη δύση έως την ανατολή του ηλίου.

5.1: Προστασία από υπερφόρτιση

Ένα απομακρυσμένο αυτόνομο φωτοβολταϊκό σύστημα με μπαταρίες αποθήκευσης σχεδιάζεται έτσι ώστε να ικανοποιεί τις απαιτήσεις του ηλεκτρικού φορτίου κάτω από τις ευλόγως καθορισμένες χειρότερες συνθήκες, συνήθως για το μήνα του χρόνου με τη μικρότερη αναλογία ηλιακής ακτινοβολίας – φορτίου. Όταν η συστοιχία λειτουργεί κάτω από καλές έως εξαιρετικές καιρικές συνθήκες (τυπικά κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού), η ενέργεια που παράγεται από τη συστοιχία, συχνά υπερβαίνει τις απαιτήσεις του φορτίου. Για να αποφευχθεί βλάβη της μπαταρίας από υπερφόρτιση, χρησιμοποιείται ένας ελεγκτής φόρτισης για να την προστατέψει. Ο ελεγκτής φόρτισης θα πρέπει να προστατεύει το σύστημα από υπερφόρτιση ανεξάρτητα από το σχεδιασμό/διαστασιολόγηση του συστήματος και τις εποχιακές αλλαγές στο προφίλ του φορτίου, τις θερμοκρασίες λειτουργίας και την ηλιακή ακτινοβολία.

Η ρύθμιση του φορτίου είναι η πρωταρχική λειτουργία ενός ελεγκτή φόρτισης μιας μπαταρίας και ίσως το πιο σημαντικό θέμα που συνδέεται με τις επιδόσεις και τη ζωή της μπαταρίας. Ο σκοπός ενός ελεγκτή φόρτισης είναι να τροφοδοτεί τη μπαταρία με ισχύ, με έναν τρόπο που να επαναφορτίζει πλήρως την μπαταρία αλλά να μην την υπερφορτίζει. Χωρίς έλεγχο της φόρτισης, το ρεύμα από τη συστοιχία θα ρέει μέσα στη μπαταρία ανάλογα με την ηλιακή ακτινοβολία, είτε η μπαταρία χρειάζεται φόρτιση είτε όχι. Εάν η μπαταρία είναι πλήρως φορτισμένη, άναρχη φόρτιση θα έχει ως αποτέλεσμα η μπαταρία να φτάσει σε υπερβολικά υψηλά επίπεδα που θα προκαλέσουν σοβαρή αεριοποίηση, απώλεια ηλεκτρολύτη, εσωτερική θέρμανση και επιταχυνόμενη διάβρωση του πλέγματος. Στις περισσότερες περιπτώσεις, εάν μια μπαταρία δεν προστατεύεται από υπερφόρτιση σε ένα φωτοβολταϊκό σύστημα, τότε είναι πιθανόν να συμβεί μια πρόωγη αποτυχία της μπαταρίας και κάποια απώλεια φορτίου.

Οι ελεγκτές φόρτισης αποτρέπουν την υπέρμετρη υπερφόρτιση της μπαταρίας διακόπτοντας ή περιορίζοντας τη ροή ρεύματος από τη συστοιχία στη μπαταρία όταν αυτή φτάνει στην κατάσταση πλήρους φόρτισης. Η ρύθμιση της φόρτισης επιτυγχάνεται συνήθως με τον περιορισμό της τάσης της μπαταρίας σε μια μέγιστη τιμή, που συχνά αναφέρεται ως σημείο ρύθμισης της τάσης (Voltage Regulation set point – VR). Κάποιες φορές, χρησιμοποιούνται άλλες μέθοδοι όπως η ενσωμάτωση των αμπερ – ωρών μέσα και έξω από τη μπαταρία. Ανάλογα με τη μέθοδο ρύθμισης, το ρεύμα μπορεί να περιορίζεται καθώς διατηρείται η τάση ρύθμισης, ή να παραμένει αποσυνδεδεμένο έως ότου η τάση της μπαταρίας πέσει στο σημείο τάσης επανασύνδεσης της συστοιχίας (Array Reconnect Voltage – ARV).

5.2: Προστασία από υπερεκφόρτιση

Σε περιόδους που η ηλιακή ακτινοβολία είναι κάτω από το μέσο όρο και/ή σε περιόδους υπερβολικής χρήσης ηλεκτρικού φορτίου, η ενέργεια που παράγεται από τη φωτοβολταϊκή συστοιχία μπορεί να μην επαρκεί για να διατηρεί την μπαταρία

πλήρως επαναφορτισμένη. Όταν μια μπαταρία εκφορτίζεται βαθειά, η αντίδραση στη μπαταρία συμβαίνει κοντά στα ηλεκτρόδια και αποδυναμώνει το δεσμό μεταξύ ενεργών υλικών και ηλεκτροδίων. Όταν μια μπαταρία υπόκειται σε επαναλαμβανόμενη υπερβολική εκφόρτιση, θα υπάρξει απώλεια χωρητικότητας και ζωής τελικά. Για την προστασία των μπαταριών από την υπερεκφόρτιση, οι περισσότεροι ελεγκτές φόρτισης περιλαμβάνουν μια προαιρετική λειτουργία αποσύνδεσης των φορτίων του συστήματος όταν η μπαταρία φτάνει σε μια χαμηλή τάση ή σε μια χαμηλή στάθμη φόρτισης.

Σε μερικές περιπτώσεις, τα ηλεκτρικά φορτία σε ένα φωτοβολταϊκό σύστημα πρέπει να έχουν επαρκώς υψηλή τάση για να λειτουργήσουν. Εάν οι μπαταρίες εκφορτίζονται πολύ βαθειά, η τάση πέφτει κάτω από το λειτουργικό εύρος των φορτίων και επομένως μπορεί να υπολειτουργούν ή ακόμα να μη λειτουργούν και καθόλου. Αυτός είναι ένας ακόμα σημαντικός λόγος για τον οποίο πρέπει να περιορίζεται η υπερεκφόρτιση της μπαταρίας στα φωτοβολταϊκά συστήματα.

Η προστασία από υπερεκφόρτιση στους ελεγκτές φόρτισης συνήθως επιτυγχάνεται ανοικτοκυκλώνοντας τη σύνδεση μεταξύ της μπαταρίας και του ηλεκτρικού φορτίου όταν η μπαταρία φτάνει σε ένα προκαθορισμένο ή ρυθμιζόμενο σημείο χαμηλής τάσης αποσύνδεσης φορτίου (Low Voltage load Disconnect set point – LVD). Οι περισσότεροι ελεγκτές φόρτισης έχουν μια λυχνία ένδειξης ή έναν ηχητικό συναγερμό για να ειδοποιεί το χρήστη/χειριστή του συστήματος στη συνθήκη αποσύνδεσης του φορτίου. Όταν η μπαταρία έχει επαναφορτιστεί σε ένα συγκεκριμένο επίπεδο, τα φορτία συνδέονται εκ νέου στην μπαταρία.

Μη κρίσιμα φορτία του συστήματος προστατεύονται γενικά από υπερεκφόρτιση της μπαταρίας με σύνδεση στο κύκλωμα χαμηλής τάσης αποσύνδεσης φορτίου του ελεγκτή φόρτισης. Εάν η τάση της μπαταρίας πέσει σε ένα χαμηλό αλλά ασφαλές επίπεδο, μπορεί να ανοίξει ένα ρελέ και να αποσυνδέσει το φορτίο, αποτρέποντας περαιτέρω εκφόρτιση της μπαταρίας. Τα κρίσιμα φορτία μπορούν να συνδεθούν απευθείας με την μπαταρία, έτσι ώστε να μην αποσυνδέονται αυτόματα από τον ελεγκτή φόρτισης. Ωστόσο, υπάρχει ο κίνδυνος αυτά τα κρίσιμα φορτία να υπερεκφορτίσουν τη μπαταρία. Ένας συναγερμός ή μια άλλη μέθοδος ανάδρασης του χρήστη πρέπει να περιλαμβάνεται για να δίνει πληροφορίες για την κατάσταση της μπαταρίας αν κρίσιμα σημεία είναι απευθείας συνδεδεμένα στη μπαταρία.

5.3: Σχεδιασμοί ελεγκτών φόρτισης

Υπάρχουν δύο βασικές μέθοδοι για τον έλεγχο ή τη ρύθμιση της φόρτισης μιας μπαταρίας από ένα φωτοβολταϊκό πάνελ ή συστοιχία: ρύθμιση σε σειρά και παράλληλα. Και οι δύο μέθοδοι χρησιμοποιούνται αποδοτικά, κάθε μια από αυτές όμως μπορεί να ενσωματώσει έναν αριθμό παραλλαγών που μεταβάλλουν την απόδοση και τη δυνατότητα εφαρμογής τους. Απλοί σχεδιασμοί διακόπτουν ή αποσυνδέουν τη συστοιχία από τη μπαταρία με βάση συγκεκριμένες ρυθμίσεις, ενώ πιο εξελιγμένοι σχεδιασμοί περιορίζουν το ρεύμα στη μπαταρία με γραμμικό τρόπο που διατηρεί μια υψηλή τάση μπαταρίας.

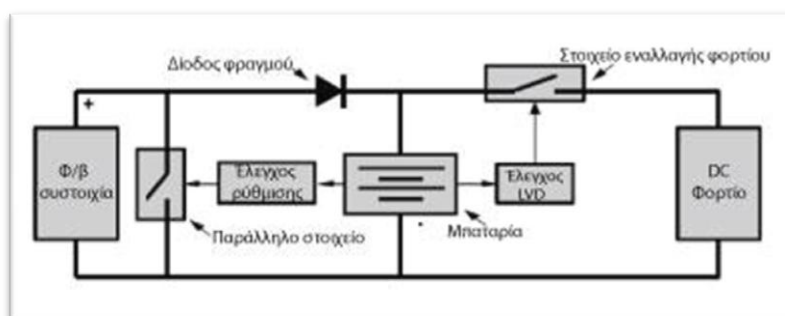
Ο αλγόριθμος ή η στρατηγική ελέγχου του ελεγκτή φόρτισης μιας μπαταρίας καθορίζει την αποδοτικότητα της φόρτισης της μπαταρίας και την αξιοποίηση της φωτοβολταϊκής συστοιχίας και τελικά την ικανότητα του συστήματος να ικανοποιήσει τις απαιτήσεις του ηλεκτρικού φορτίου. Πιο σημαντικά, ο αλγόριθμος του ελεγκτή

ορίζει τον τρόπο με τον οποίο η ισχύς από τη φωτοβολταϊκή συστοιχία εφαρμόζεται στην μπαταρία του συστήματος.

Στη συνέχεια δίνεται μια γενική περιγραφή των παραπάνω συνδεσμολογιών.

α) Παράλληλος ελεγκτής

Εφόσον τα φωτοβολταϊκά κύτταρα έχουν σχεδιασμό που να περιορίζει το ρεύμα (αντίθετα με τις μπαταρίες), τα φωτοβολταϊκά πλαίσια και οι συστοιχίες μπορούν να βραχυκυκλωθούν χωρίς να υποστούν καμία ζημιά. Η ικανότητα βραχυκύκλωσης των πλαισίων ή μιας συστοιχίας είναι η βάση της λειτουργίας των παράλληλων ελεγκτών.

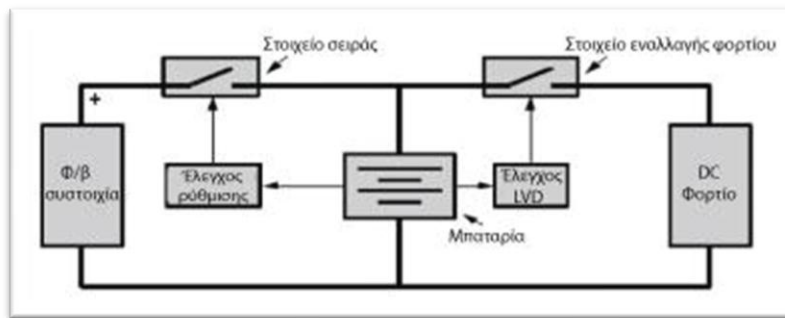


Σχήμα 4: Βασικός σχεδιασμός παράλληλου ελεγκτή

Ο παράλληλος ελεγκτής ρυθμίζει τη φόρτιση μιας μπαταρίας από τη φωτοβολταϊκή συστοιχία, βραχυκυκλώνοντάς την εσωτερικά στον ελεγκτή. Όλοι οι παράλληλοι ελεγκτές πρέπει να έχουν μια δίοδο κλειδώματος σε σειρά μεταξύ της μπαταρίας και του παράλληλου στοιχείου για να αποτρέπουν βραχυκύκλωμα στη μπαταρία όταν ρυθμίζεται η συστοιχία. Επειδή υπάρχει μια πτώση τάσης μεταξύ της συστοιχίας και του ελεγκτή και λόγω της καλωδίωσης και της αντίστασης του παράλληλου στοιχείου, η συστοιχία δε βραχυκυκλώνεται ποτέ πλήρως, με αποτέλεσμα να υπάρχει μια σπατάλη ενέργειας μέσα στον ελεγκτή. Για το λόγο αυτό, οι περισσότεροι παράλληλοι ελεγκτές χρειάζονται μια ψύκτρα για τη διάλυση της ενέργειας και η χρήση τους περιορίζεται γενικά σε φωτοβολταϊκά συστήματα με ρεύματα συστοιχίας μικρότερα των 20 A. Το στοιχείο ρύθμισης στους παράλληλους ελεγκτές είναι συνήθως ένα transistor ισχύος ή MOSFET, ανάλογα με τον σχεδιασμό.

β) Σε σειρά ελεγκτής.

Όπως δηλώνει και το όνομά του, αυτός ο τύπος ελεγκτή λειτουργεί σε σειρά μεταξύ της συστοιχίας και της μπαταρίας και όχι παράλληλα όπως ο παράλληλος ελεγκτής. Υπάρχουν μερικές παραλλαγές σε αυτόν τον τύπο ελεγκτή και όλες χρησιμοποιούν ένα στοιχείο ρύθμισης σε σειρά μεταξύ της μπαταρίας και της συστοιχίας. Παρόλο που αυτός ο τύπος ελεγκτή χρησιμοποιείται σε μικρά φωτοβολταϊκά συστήματα, αποτελεί επίσης μια πρακτική επιλογή για μεγαλύτερα συστήματα λόγω των περιορισμών του ρεύματος στους παράλληλους ελεγκτές.



Σχήμα 5: Βασικός σχεδιασμός εν σειρά ελεγκτή

Σε ένα σχεδιασμό ελεγκτή σε σειρά, ένα ρελέ ή ένας διακόπτης στερεάς κατάστασης είτε ανοίγει το κύκλωμα μεταξύ της συστοιχίας και της μπαταρίας για να διακόψει τη φόρτιση, είτε περιορίζει το ρεύμα με ένα γραμμικό τρόπο για να κρατήσει την τάση της μπαταρίας σε μια υψηλή τιμή. Στον απλούστερο εν σειρά σχεδιασμό, τον διακοπτικό σχεδιασμό, ο ελεγκτής επανασυνδέει τη συστοιχία στη μπαταρία όταν η μπαταρία πέφτει στο σημείο τάσης επανασύνδεσης της συστοιχίας. Καθώς αυτοί οι on – off κύκλοι συνεχίζονται, ο χρόνος ‘ανοίγματος’ γίνεται ολοένα και μικρότερος καθώς η μπαταρία πλησιάζει την πλήρη φόρτιση.

Επειδή ο εν σειρά ελεγκτής ανοικτοκυκλώνει τη συστοιχία αντί να τη βραχυκυκλώνει όπως ο παράλληλος ελεγκτής, δε χρειάζεται δίοδος κλειδώματος για την αποφυγή βραχυκυκλώματος στη μπαταρία όταν ο ελεγκτής ρυθμίζει τη φόρτιση.

5.4: Επιλογή του σωστού ρυθμιστή φόρτισης

Το μέγεθος του ρυθμιστή φόρτισης εξαρτάται από το μέγεθος των φωτοβολταϊκών που θα συνδέουμε πάνω του. Πρέπει να υπερκαλύπτει την συνολική ένταση σε Ampere των φωτοβολταϊκών. Αν, για παράδειγμα, η ονομαστική ένταση σε Ampere των φωτοβολταϊκών είναι 10A, τότε πρέπει να επιλέξουμε ένα ρυθμιστή φόρτισης 12A.

Επίσης, πρέπει να είναι κατάλληλος και για την τάση του φωτοβολταϊκού συστήματος. Αν τα φωτοβολταϊκά βγάζουν συνολική τάση 12V, επιλέγουμε ρυθμιστή για φωτοβολταϊκά 12V. Αν τα φωτοβολταϊκά μας βγάζουν συνολική τάση 24V, επιλέγουμε ρυθμιστή για φωτοβολταϊκά 24V κ.ο.κ.

Τέλος, μια ακόμη διάκριση μεταξύ των ρυθμιστών φόρτισης έχει να κάνει με τον τρόπο λειτουργίας τους. Έτσι λοιπόν υπάρχουν ρυθμιστές φόρτισης τύπου PWM και ρυθμιστές τύπου MPPT. Στις τεχνικές λεπτομέρειες θα μπορούμε σε άλλο άρθρο. Εδώ ας πούμε απλώς ότι οι ρυθμιστές MPPT υπερτερούν αφού εκμεταλλεύονται (υπό συνθήκες) περισσότερη ενέργεια από τα φωτοβολταϊκά πάνελ (10-20% περισσότερο από τους PWM).

Προσοχή όμως στους δήθεν MPPT που κυκλοφορούν. Τους ξεχωρίζετε από τη χαμηλή τιμή, αλλά και από το μικρό βάρος τους λόγω απουσίας των κατάλληλων ηλεκτρονικών και πηνίων (π.χ. κάτω από 2 κιλά για έναν ρυθμιστή 20A).

Καλό είναι να προβλέπουμε και για το μέλλον. Αν έχουμε σκοπό να επεκτείνουμε το φωτοβολταϊκό μας σύστημα με περισσότερα φωτοβολταϊκά πάνελ στο μέλλον, τότε καλό είναι να επιλέξουμε μεγαλύτερους ρυθμιστές φόρτισης σήμερα, για να καλύπτουν και τις μελλοντικές ανάγκες.

Πιο αναλυτικά:

Η επιλογή και η διαστασιολόγηση των ελεγκτών φόρτισης στα φωτοβολταϊκά συστήματα περιλαμβάνει την εξέταση πολλών παραγόντων ανάλογα με την πολυπλοκότητα και τις επιλογές ελέγχου που απαιτούνται. Παρόλο που η πρωταρχική λειτουργία είναι να αποτραπεί η υπερφόρτιση της μπαταρίας, υπάρχουν μερικές ακόμα λειτουργίες όπως είναι η αποσύνδεση φορτίου στη χαμηλή τάση, η ρύθμιση και ο έλεγχος του φορτίου, ο έλεγχος των εφεδρικών πηγών ενέργειας, η εκτροπή της ενέργειας σε βοηθητικά φορτία και η παρακολούθηση του συστήματος. Ο σχεδιαστής καλείται να αποφασίσει ποιες επιλογές χρειάζονται για να καλύπτονται οι ανάγκες μιας συγκεκριμένης εφαρμογής. Παρακάτω παρατίθενται ορισμένα από τα βασικά ζητήματα που λαμβάνονται υπόψη κατά την επιλογή των ελεγκτών φόρτισης για τα φωτοβολταϊκά συστήματα. Αυτά είναι:

- Η τάση του συστήματος
- Ρεύματα φωτοβολταϊκής συστοιχίας και φορτίου
- Τύπος και μέγεθος της μπαταρίας
- Σχεδιασμός αλγορίθμου ρύθμισης και στοιχείου μεταγωγής
- Σημεία ρύθμισης και αποσύνδεσης φορτίου
- Περιβαλλοντικές συνθήκες λειτουργίας
- Μηχανολογικός σχεδιασμός και συσκευασία
- Δείκτες συστήματος, συναγερμοί και μετρητές
- Υπερρεύματα, αποσυνδέσεις και συσκευές προστασίας από υπερτάσεις
- Κόστος, εγγύηση και διαθεσιμότητα

5.5: Διαστασιολόγηση των ελεγκτών φόρτισης

Οι ελεγκτές φόρτισης πρέπει να διαστασιολογούνται με βάση τις τάσεις και τα ρεύματα που αναμένονται κατά τη διάρκεια της λειτουργίας του φωτοβολταϊκού συστήματος. Ο ελεγκτής δεν πρέπει μόνο να είναι σε θέση να χειρίζεται τυπικά ή ονομαστικά ρεύματα και τάσεις, αλλά πρέπει επίσης να είναι διαστασιολογημένος έτσι ώστε να χειρίζεται αναμενόμενες συνθήκες αιχμής από τη φωτοβολταϊκή συστοιχία ή από το ηλεκτρικό φορτίο που μπορεί να συνδέεται στον ελεγκτή. Είναι πάρα πολύ σημαντικό, ο ελεγκτής να είναι επαρκώς διαστασιολογημένος για την εφαρμογή για την οποία προορίζεται. Εάν ένας ελεγκτής κάτω του απαιτούμενου μεγέθους χρησιμοποιείται και αποτύχει κατά τη λειτουργία του, το κόστος επισκευής και αντικατάστασης θα είναι υψηλότερο από ότι θα είχε ξοδευτεί για έναν ελεγκτή που θα ήταν αρχικά μεγαλύτερου μεγέθους από ότι θα χρειαζόταν για την εφαρμογή.

Γενικά, θα περιμέναμε ένα φωτοβολταϊκό πλαίσιο ή συστοιχία να μην παράγει περισσότερο από το ονομαστικό μέγιστο ρεύμα σε ακτινοβολία 1000 W/m^2 και θερμοκρασία πλαισίου 25°C . Ωστόσο, λόγω πιθανών αντανάκλασεων από σύννεφα, νερό ή χιόνι, τα επίπεδα ηλιακού φωτός πάνω στη συστοιχία μπορεί να ενισχυθούν μέχρι και 1.4 φορές της ονομαστικής τιμής 1000 W/m^2 που χρησιμοποιείται για να εκτιμήσουμε την απόδοση του φωτοβολταϊκού πλαισίου. Το αποτέλεσμα είναι ότι το ρεύμα κορυφής της συστοιχίας θα μπορούσε να είναι 1.4 φορές μέγιστη ονομαστική αξία εάν υπάρχουν συνθήκες αντανάκλασης. Για το λόγο αυτό, οι εκτιμήσεις για το ρεύμα κορυφής της συστοιχίας στους ελεγκτές φόρτισης πρέπει να γίνονται για το

140% περίπου των εκτιμήσεων των μέγιστων ονομαστικών ρευμάτων για τα πλαίσια ή τη συστοιχία.

Το μέγεθος ενός ελεγκτή καθορίζεται πολλαπλασιάζοντας το μέγιστο ονομαστικό ρεύμα μιας συστοιχίας επί τον παράγοντα 'ένιςχυσης'. Το συνολικό ρεύμα από μια συστοιχία δίνεται από τον αριθμό των πλαισίων ή σειρών που είναι συνδεδεμένα παράλληλα, πολλαπλασιαζόμενο με το ρεύμα του πλαισίου. Είναι φρόνιμο να χρησιμοποιείται το ρεύμα βραχυκυκλώματος (Isc) αντί για το μέγιστο ρεύμα ισχύος (Imp). Με αυτό τον τρόπο, καλύπτονται ασφαλώς οι ελεγκτές παράλληλου τύπου που λειτουργούν τη συστοιχία σε συνθήκες ρεύματος βραχυκυκλώματος.

5.6: Ισοσταθμιστής φόρτισης

Σε μακριές σειρές εν σειρά συνδεδεμένων στοιχείων, μπορεί να εμφανιστούν προβλήματα σε μεμονωμένα στοιχεία, όπως υπερφόρτιση ή ανάστροφη φόρτιση, λόγω των διαφορετικών διαδικασιών γήρανσης ή λόγω διαφορετικής ανεκτικότητας στην παραγωγή. Οι ισοσταθμιστές φόρτισης βοηθούν στην αποφυγή των καταστροφικών επιπτώσεων μέσω ατομικής μεταχείρισης των στοιχείων.

Οι συμβατικοί ελεγκτές φόρτισης δεν έχουν την ικανότητα να αναγνωρίζουν τις εναλλαγές στη συμπεριφορά των στοιχείων, με αποτέλεσμα να εμφανίζονται ανεπιθύμητες συνθήκες λειτουργίας. Στην πράξη, είναι προφανές ότι ο 'πιο αδύναμος κρίκος της αλυσίδας' καθορίζει την ποιότητα ολόκληρης της αλυσίδας και ότι η αποκλίνουσα απόδοση ενός μεμονωμένου στοιχείου μπορεί να οδηγήσει σε αλυσιδωτή αντίδραση.

Το πρόβλημα της αυξανόμενης απόκλισης στις ιδιότητες μεμονωμένων στοιχείων μέσα σε μια μπαταρία είναι γνωστό από τα πρώτα στάδια της ανάπτυξης της τεχνολογίας της μπαταρίας και έτσι έχουν αναπτυχθεί μια σειρά από διαφορετικές διεργασίες για την επίλυσή του. Οι περισσότερες από αυτές βασίζονται στην διάχυση της πλεονάζουσας ενέργειας των πλήρως φορτισμένων στοιχείων σε ένα στοιχείο παράκαμψης. Αυτή η προσέγγιση δεν είναι κατάλληλη για εφαρμογές στις οποίες η υψηλότερη απόδοση είναι ζωτικής σημασίας, όπως είναι τα φωτοβολταϊκά συστήματα. Επιπλέον, είναι αποδοτική μόνο όταν η μπαταρία είναι πλήρως φορτισμένη. Δεν έχει καμία επίπτωση όταν η μπαταρία εκφορτίζεται.

Με βάση την εμπειρία από πολλά φωτοβολταϊκά συστήματα, έχουν αναπτυχθεί συστήματα ισοστάθμισης φορτίου που δεν βασίζονται στην προσέγγιση της διάχυσης. Αντίθετα με τα συμβατικά συστήματα διάχυσης, εδώ το πλεόνασμα ενέργειας από τα στοιχεία που έχουν υψηλότερη στάθμη φόρτισης αναδιανέμεται στα υπόλοιπα στοιχεία. Αυτή η αναδιανομή, δε συμβαίνει μόνο κατά τη διάρκεια ή στο τέλος της φόρτισης αλλά συνεχώς και κατά τη διάρκεια της εκφόρτισης.

Σαν αποτέλεσμα, τα στοιχεία με χαμηλότερη χωρητικότητα υποστηρίζονται από τα άλλα στοιχεία κατά την εκφόρτιση. Η σχετική τους στάθμη φόρτισης μειώνεται εξίσου με αυτή των στοιχείων με υψηλότερη χωρητικότητα. Με αυτό τον τρόπο, μπορεί να χρησιμοποιηθεί η διαθέσιμη χωρητικότητα όλων των στοιχείων. Κατά τη φόρτιση, ένα μέρος του ρεύματος φόρτισης αναδιανέμεται από τα πιο αδύναμα στοιχεία στα πιο ισχυρά, έτσι ώστε να φορτίζονται με υψηλότερο ρεύμα, με αποτέλεσμα ταχύτερη φόρτιση.

Η αναδιανομή ενέργειας επιτρέπει ακόμα στα στοιχεία με μεγαλύτερες ανοχές χωρητικότητας να συνδέονται μαζί σε σειρά. Έτσι μπορεί να αποφευχθεί η δαπανηρή

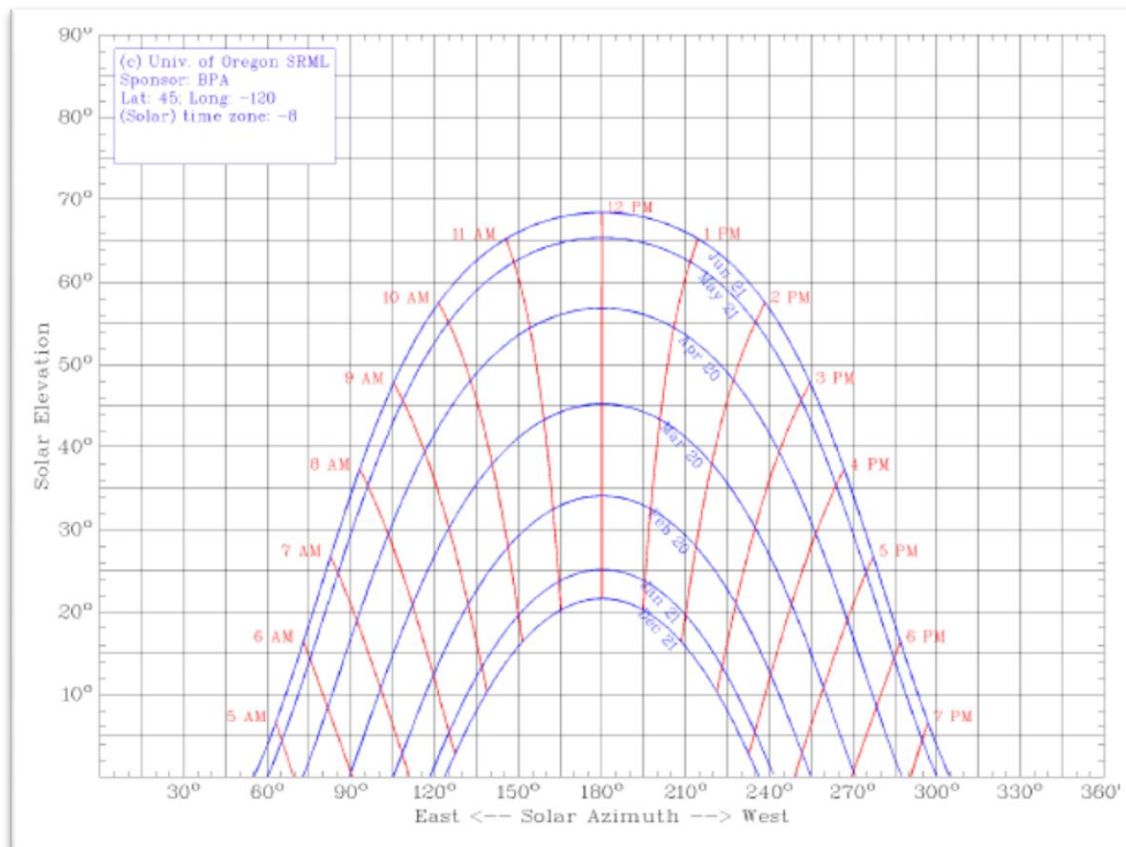
επιλογή συνδεδεμένων στοιχείων κατά την κατασκευή της μπαταρίας. Σε ακραίες περιπτώσεις, είναι πιθανή ακόμα και η στήριξη της λειτουργίας από ένα μείγμα νέων και παλιών στοιχείων, μετά την αντικατάσταση των ελαττωματικών στοιχείων. Επιπροσθέτως, έχει αποδειχθεί ότι η ενεργειακή απόδοση μπορεί να αυξηθεί καθώς αποτρέπεται η υπερφόρτιση ή η ανάστροφη φόρτιση.

5.7: Συστήματα παρακολούθησης

Για τη λήψη πραγματικών πληροφοριών σχετικά με την κατάσταση της μπαταρίας μπορούν να χρησιμοποιηθούν συστήματα παρακολούθησης, τα οποία είναι διαθέσιμα σε μια ευρεία γκάμα εμπορικών προϊόντων. Τα συστήματα αυτά μπορεί να είναι από απλά συστήματα παρακολούθησης τάσης ολόκληρης της μπαταρίας μέχρι συστήματα πλήρους παρακολούθησης της θερμοκρασίας, του ρεύματος και της τάσης μεμονωμένων στοιχείων καθώς και της αντίστασης της μπαταρίας.

5.8: Μετρητές στάθμης φόρτισης

Για την κατάλληλη λειτουργία της μπαταρίας και για το σωστό προσανατολισμό του χρήστη, είναι χρήσιμο να έχουμε τις κατάλληλες πληροφορίες για την πραγματική στάθμη φόρτισης της μπαταρίας. Τη λειτουργία αυτή επιτελούν μερικές συσκευές και αλγόριθμοι, όμως μόνο πολύ λίγες είναι κατάλληλες για χρήση σε αυτόνομα συστήματα παραγωγής ενέργειας.



Σχήμα 6: Ηλιακή ακτινοβολία μέσα στην ημέρα

6. Inverter – Αντιστροφείας

6.1: Γενικά

Ένας μετατροπέας ισχύος ή μετατροπέας είναι μια ηλεκτρονική συσκευή ή κύκλωμα που αλλάζει συνεχόμενο ρεύμα (DC) σε εναλλασσόμενο ρεύμα (AC).

Η τάση εισόδου, η τάση εξόδου και η συχνότητα και ο συνολικός χειρισμός ισχύος εξαρτώνται από το σχεδιασμό της συγκεκριμένης συσκευής ή κυκλώματος. Ο μετατροπέας δεν παράγει ενέργεια. η ισχύς παρέχεται από την πηγή DC.

Ένας μετατροπέας ισχύος μπορεί να είναι εξ ολοκλήρου ηλεκτρονικός ή μπορεί να είναι ένας συνδυασμός μηχανικών επιδράσεων (όπως μια περιστροφική συσκευή) και ηλεκτρονικών κυκλωμάτων. Οι στατικοί μετατροπείς δεν χρησιμοποιούν κινητά μέρη στη διαδικασία μετατροπής.

6.2: Τάση εισόδου

Μία τυπική συσκευή ή κύκλωμα μετατροπέα ισχύος απαιτεί μια σχετικά σταθερή πηγή ισχύος συνεχούς ρεύματος ικανή να τροφοδοτεί αρκετό ρεύμα για τις προβλεπόμενες απαιτήσεις ισχύος του συστήματος. Η τάση εισόδου εξαρτάται από το σχεδιασμό και το σκοπό του μετατροπέα. Τα παραδείγματα περιλαμβάνουν:

- 12 V DC, για μικρότερους καταναλωτικούς και εμπορικούς μετατροπείς, οι οποίοι κατά κανόνα λειτουργούν από επαναφορτιζόμενη μπαταρία μολύβδου οξέος 12 V ή ηλεκτρική πρίζα αυτοκινήτου.
- 24 V, 36 V και 48 V DC, τα οποία αποτελούν κοινά πρότυπα για τα οικιακά ενεργειακά συστήματα.
- 200 V έως 400 V DC, όταν η ισχύς είναι από φωτοβολταϊκά ηλιακά πάνελ.
- 300 V έως 450 V DC, όταν η ισχύς προέρχεται από συστοιχίες συσσωρευτών ηλεκτρικών οχημάτων σε συστήματα οχήματος-πλέγματος.
- Εκατοντάδες χιλιάδες βολτ, όπου ο μετατροπέας είναι μέρος ενός συστήματος μετάδοσης ισχύος συνεχούς ρεύματος υψηλής τάσης.

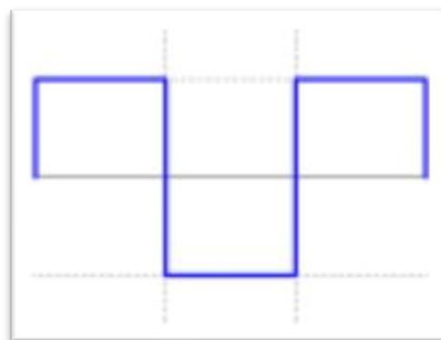
6.3: Κυματομορφή εξόδου

Ένας αντιστροφείας μπορεί να παράγει ένα τετραγωνικό κύμα, τροποποιημένο ημιτονοειδές κύμα, παλλόμενο ημιτονοειδές κύμα, κυματομορφοποιημένο κύμα παλμού (PWM) ή ημιτονοειδές κύμα ανάλογα με το σχεδιασμό κυκλώματος. Οι δύο κυρίαρχοι τύπου κυματομορφής μετατροπέων από το 2007 είναι τροποποιημένο ημιτονοειδές κύμα και ημιτονοειδές κύμα.

Υπάρχουν δύο βασικά σχέδια για την παραγωγή τάσης οικιακής πρίζας από πηγή χαμηλής τάσης συνεχούς ρεύματος, η πρώτη από την οποία χρησιμοποιεί μετατροπέα ώθησης μεταγωγής για την παραγωγή DC υψηλής τάσης και στη συνέχεια μετατρέπεται σε AC. Η δεύτερη μέθοδος μετατρέπει DC σε AC σε επίπεδο μπαταρίας και χρησιμοποιεί έναν μετασχηματιστή συχνότητας γραμμής για τη δημιουργία της τάσης εξόδου.

6.4: Τετράγωνο κύμα

Αυτή είναι μία από τις απλούστερες κυματομορφές που μπορεί να παράγει ένας σχεδιασμός μετατροπέα και ταιριάζει καλύτερα στις εφαρμογές χαμηλής ευαισθησίας όπως ο φωτισμός και η θέρμανση. Η έξοδος τετραγώνου κύματος μπορεί να παράγει "βουητό" όταν συνδέεται με εξοπλισμό ήχου και είναι γενικά ακατάλληλη για ευαίσθητα ηλεκτρονικά.



6.5: Κυματοειδές κύμα

Μία συσκευή μετατροπής ισχύος που παράγει μια ημιτονοειδή κυματομορφή εναλλασσόμενου σταδίου αναφέρεται ως μετατροπέας ημιτονοειδούς κύματος. Προκειμένου να γίνει σαφέστερη η διάκριση των μετατροπέων με εξόδους πολύ μικρότερης παραμόρφωσης σε σχέση με τα τροποποιημένα σχέδια με μετατροπέα ημιτονοειδούς κύματος (τριών βημάτων), οι κατασκευαστές χρησιμοποιούν συχνά τον καθαρό ημιτονοειδή μετατροπέα. Σχεδόν όλες οι μετατροπείς βαθμού καταναλωτή που πωλούνται ως «καθαρός μετατροπέας με ημιτονοειδές κύμα» δεν παράγουν μια ομαλή έξοδο σε ημιτονοειδές κύμα, απλά μια λιγότερο ασταθή έξοδο από το τετράγωνο κύμα (δύο σταδίων) και τροποποιείται σε ημιτονική με μετατροπείς σε τρίτο βήμα. Ωστόσο, αυτό δεν είναι κρίσιμο για τα περισσότερα ηλεκτρονικά αντιμετωπίζουν αρκετά καλά την παραγωγή.



Όταν οι συσκευές αντιστροφής ισχύος υποκαθιστούν την τυπική ισχύ γραμμής, είναι επιθυμητή η παραγωγή ημιτονοειδούς κύματος, επειδή πολλά ηλεκτρικά προϊόντα έχουν κατασκευαστεί έτσι ώστε να λειτουργούν καλύτερα με πηγή εναλλασσόμενου ρεύματος ημιτονοειδούς κύματος. Το πρότυπο ηλεκτρικό βοηθητικό πρόγραμμα παρέχει ένα ημιτονοειδές κύμα, τυπικά με μικρές ατέλειες αλλά μερικές φορές με σημαντική παραμόρφωση.

Οι μετατροπείς ημιτονοειδούς κύματος με περισσότερα από τρία βήματα στην έξοδο κυμάτων είναι πιο πολύπλοκοι και έχουν σημαντικά υψηλότερο κόστος από ένα τροποποιημένο ημιτονοειδές κύμα, με μόνο τρία στάδια ή τύπους τετραγώνου κύματος (ενός βήματος) με τον ίδιο χειρισμό ισχύος. Οι συσκευές τροφοδοσίας ρεύματος (SMPS), όπως οι προσωπικοί υπολογιστές ή οι συσκευές αναπαραγωγής DVD, λειτουργούν σε τροποποιημένη ισχύ ημιτονοειδούς κύματος. Οι ηλεκτροκινητήρες εναλλασσόμενου ρεύματος που λειτουργούν απευθείας με μη ημιτονοειδή ισχύ μπορούν να παράγουν επιπλέον θερμότητα, μπορεί να έχουν διαφορετικά χαρακτηριστικά ταχύτητας-ροπής ή να παράγουν περισσότερο ακουστικό θόρυβο από ό, τι όταν εκτελούνται σε ημιτονοειδή ισχύ.

6.6: Τροποποιημένο ημιτονοειδές κύμα

Η τροποποιημένη έξοδος ημιτονοειδούς κύματος ενός τέτοιου αντιστροφέα είναι το άθροισμα δύο τετραγωνικών κυμάτων το ένα από τα οποία μετατοπίζεται σε φάση κατά 90 μοίρες σε σχέση με το άλλο. Το αποτέλεσμα είναι κυματομορφή τριών επιπέδων με ίσα διαστήματα μηδέν βολτ, μέγιστα θετικά βολτ, μηδέν βολτ, μέγιστα αρνητικά βολτ και στη συνέχεια μηδενικά βολτ. Αυτή η ακολουθία επαναλαμβάνεται. Το προκύπτον κύμα μοιάζει σχεδόν σε μεγάλο βαθμό με το σχήμα ενός ημιτονοειδούς κύματος. Οι πιο φθινοί μετατροπείς ισχύος καταναλώνουν ένα τροποποιημένο ημιτονοειδές κύμα παρά ένα καθαρό ημιτονοειδές κύμα.

Η κυματομορφή των εμπορικά διαθέσιμων μετατροπένων τροποποιημένων ημιτονοειδών κυμάτων μοιάζει με τετραγωνικό κύμα αλλά με παύση κατά τη διάρκεια της αντιστροφής της πολικότητας. Οι καταστάσεις μεταγωγής αναπτύσσονται για θετικές, αρνητικές και μηδενικές τάσεις. Γενικά, ο λόγος τάσης αιχμής προς RMS δεν διατηρεί την ίδια σχέση όπως για το ημιτονοειδές κύμα. Η τάση διαύλου DC μπορεί να ρυθμιστεί ενεργά ή οι χρόνοι "on" και "off" μπορούν να τροποποιηθούν για να διατηρηθεί η ίδια τιμή RMS μέχρι την τάση διαύλου DC για να αντισταθμιστούν οι μεταβολές τάσης διαύλου DC.

Ο λόγος χρόνου απενεργοποίησης μπορεί να ρυθμιστεί για να μεταβάλει την τάση RMS ενώ διατηρεί σταθερή συχνότητα με μια τεχνική που ονομάζεται διαμόρφωση πλάτους παλμού (PWM). Οι παλμοί πύλης που παράγονται δίδονται σε κάθε διακόπτη σύμφωνα με το αναπτυγμένο σχέδιο για να επιτευχθεί η επιθυμητή έξοδος. Το ραδιοφωνικό φάσμα στην έξοδο εξαρτάται από το πλάτος των παλμών και τη συχνότητα διαμόρφωσης. Κατά τη λειτουργία κινητήρων επαγωγής, οι αρμονικές τάσης συνήθως δεν προκαλούν ανησυχία. Ωστόσο, η αρμονική παραμόρφωση στην τρέχουσα κυματομορφή εισάγει πρόσθετη θέρμανση και μπορεί να παράγει ροπές ροπής.

Πολλά είδη ηλεκτρικού εξοπλισμού θα λειτουργούν αρκετά καλά σε τροποποιημένες συσκευές μετατροπένων ισχύος ημιτονοειδούς κύματος, ειδικά φορτία που έχουν αντίσταση στη φύση, όπως οι παραδοσιακοί λαμπτήρες πυρακτώσεως. Τα αντικείμενα με τροφοδοτικό σε λειτουργία διακόπτη λειτουργούν σχεδόν εξ ολοκλήρου χωρίς προβλήματα, αλλά εάν το στοιχείο έχει μετασχηματιστή δικτύου, αυτό μπορεί να υπερθερμανθεί ανάλογα με το πόσο οριακά βαθμολογείται.

Ωστόσο, το φορτίο μπορεί να λειτουργήσει λιγότερο αποτελεσματικά λόγω των αρμονικών που σχετίζονται με ένα τροποποιημένο ημιτονοειδές κύμα και να παράγει ένα θόρυβο θόλωσης κατά τη λειτουργία. Αυτό επηρεάζει επίσης την αποδοτικότητα του συστήματος στο σύνολό του, δεδομένου ότι η ονομαστική απόδοση μετατροπής του κατασκευαστή δεν λαμβάνει υπόψη τις αρμονικές. Επομένως, οι καθαροί μετατροπείς ημιτονοειδούς κύματος μπορούν να παρέχουν σημαντικά υψηλότερη απόδοση από τους τροποποιημένους μετατροπείς ημιτονοειδούς κύματος.

Οι περισσότεροι κινητήρες εναλλασσόμενου ρεύματος θα λειτουργούν με μετατροπείς MSW με μείωση της απόδοσης περίπου 20% λόγω του αρμονικού περιεχομένου. Ωστόσο, μπορεί να είναι αρκετά θορυβώδες. Ένα φίλτρο σειράς LC συντονισμένο στη θεμελιώδη συχνότητα μπορεί να σας βοηθήσει.

Μια κοινή τοπολογία μετασχηματισμού ημιτονοειδούς κύματος που βρίσκεται στους μετατροπείς ισχύος καταναλωτή έχει ως εξής: Ένας ενσωματωμένος μικροελεγκτής ενεργοποιεί και απενεργοποιεί γρήγορα τα MOSFET ισχύος σε υψηλή

συχνότητα, όπως ~ 50 kHz. Τα MOSFET τραβούν απευθείας από μια πηγή DC χαμηλής τάσης (όπως μια μπαταρία). Το σήμα αυτό περνά από μετασχηματιστές βαθμίδας (γενικά πολλοί μικρότεροι μετασχηματιστές τοποθετούνται παράλληλα για να μειώσουν το συνολικό μέγεθος του μετατροπέα) για να παράγουν ένα σήμα υψηλότερης τάσης. Η έξοδος των βαθμιδωτών μετασχηματιστών παίρνει έπειτα φιλτραρισμένη από πυκνωτές για να παράγει μια παροχή συνεχούς ρεύματος υψηλής τάσης. Τέλος, αυτή η παροχή συνεχούς ρεύματος παλμοδοτείται με πρόσθετη ισχύ MOSFET από τον μικροελεγκτή για να παράγει το τελικό τροποποιημένο σήμα ημιτονοειδούς κύματος.

6.7: Συχνότητα εξόδου

Η συχνότητα εξόδου εναλλασσόμενου ρεύματος μιας συσκευής μετατροπέα ισχύος είναι συνήθως η ίδια με την τυπική συχνότητα γραμμής ισχύος, 50 ή 60 hertz. Εάν η έξοδος της συσκευής ή του κυκλώματος πρόκειται να κλιμακωθεί περαιτέρω (για παράδειγμα, αυξάνεται) τότε η συχνότητα μπορεί να είναι πολύ μεγαλύτερη για καλή απόδοση μετασχηματιστή.

6.8: Τάση εξόδου

Η τάση εξόδου εναλλασσόμενου ρεύματος ενός μετατροπέα ρεύματος ρυθμίζεται συχνά ώστε να είναι ίδια με την τάση γραμμής δικτύου, τυπικά 120 ή 240 VAC στο επίπεδο διανομής, ακόμη και όταν υπάρχουν μεταβολές στο φορτίο που κινεί ο μετατροπέας. Αυτό επιτρέπει στον μετατροπέα να τροφοδοτεί πολυάριθμες συσκευές σχεδιασμένες για τυπική ισχύ γραμμής.

Ορισμένοι μετατροπείς επιτρέπουν επίσης τη δυνατότητα επιλογής ή συνεχώς μεταβαλλόμενης τάσης εξόδου.

6.9: Ισχύς εξόδου

Ένας μετατροπέας ισχύος θα έχει συχνά μια συνολική ονομαστική ισχύ εκπεφρασμένη σε watt ή κιλοβάτ. Αυτό περιγράφει την ισχύ που θα είναι διαθέσιμη στη συσκευή που κινεί ο μετατροπέας και, έμμεσα, την ισχύ που θα χρειαστεί από την πηγή DC. Οι μικρότερες δημοφιλείς καταναλωτικές και εμπορικές συσκευές που σχεδιάζονται για να μιμούνται την ισχύ γραμμής κυμαίνονται συνήθως από 150 έως 3000 Watt.

Οι εφαρμογές του μετατροπέα δεν αφορούν όλες αποκλειστικά ή κυρίως την παροχή ισχύος. Σε ορισμένες περιπτώσεις οι ιδιότητες συχνότητας και κυματομορφής χρησιμοποιούνται από το κύκλωμα ή τη συσκευή παρακολούθησης.

6.10: Μπαταρίες

Ο χρόνος λειτουργίας ενός μετατροπέα εξαρτάται από την ισχύ της μπαταρίας και την ποσότητα ενέργειας που αντλείται από τον μετατροπέα σε δεδομένη χρονική στιγμή. Καθώς αυξάνεται η ποσότητα του εξοπλισμού που χρησιμοποιεί τον μετατροπέα, ο χρόνος εκτέλεσης θα μειωθεί. Για την παράταση του χρόνου λειτουργίας ενός μετατροπέα, μπορούν να προστεθούν επιπλέον μπαταρίες στον μετατροπέα.

Όταν προσπαθείτε να προσθέσετε περισσότερες μπαταρίες σε έναν μετατροπέα, υπάρχουν δύο βασικές επιλογές για την εγκατάσταση:

6.10.1: Εν Σειρά διαμόρφωση

Εάν ο στόχος είναι να αυξήσετε τη συνολική τάση του μετατροπέα, μπορείτε να χρησιμοποιήσετε μπαταρίες αλυσίδας Daisy σε σειρά. Σε μια διαμόρφωση σειράς, εάν πεθάνει μία μόνο μπαταρία, οι άλλες μπαταρίες δεν θα είναι σε θέση να τροφοδοτήσουν το φορτίο.

6.10.2: Παράλληλη διαμόρφωση

Αν ο στόχος είναι η αύξηση της χωρητικότητας και η παράταση του χρόνου λειτουργίας του μετατροπέα, οι μπαταρίες μπορούν να συνδεθούν παράλληλα. Αυτό αυξάνει το συνολικό Αμπερώριο (Ah) σε αξιολόγηση του συνόλου της μπαταρίας.

Εάν όμως εκφορτιστεί μία μόνο μπαταρία, τότε οι άλλες μπαταρίες θα εκφορτιστούν μέσω αυτής. Αυτό μπορεί να οδηγήσει σε γρήγορη απόρριψη ολόκληρης της συσκευασίας, ή ακόμα και σε υπερβολικό ρεύμα και πιθανή πυρκαγιά. Για να αποφευχθεί αυτό, μεγάλες παράλληλες μπαταρίες μπορούν να συνδεθούν μέσω διόδων ή έξυπνης παρακολούθησης με αυτόματη μεταγωγή για να απομονώσουν μια μπαταρία χαμηλής τάσης από τις άλλες.

6.11: Εφαρμογές

6.11.1: DC χρήση πηγής ενέργειας

Ένας μετατροπέας μετατρέπει το ηλεκτρικό ρεύμα DC από πηγές όπως μπαταρίες ή κυψέλες καυσίμου σε εναλλασσόμενο ρεύμα. Ο ηλεκτρισμός μπορεί να είναι σε οποιαδήποτε απαιτούμενη τάση. Ειδικότερα, μπορεί να λειτουργήσει εξοπλισμό εναλλασσόμενου ρεύματος σχεδιασμένο για λειτουργία δικτύου, ή να διορθωθεί για να παράγει DC σε οποιαδήποτε επιθυμητή τάση.

6.11.2: Αδιάλειπτα τροφοδοτικά

Μια αδιάλειπτη τροφοδοσία ρεύματος (UPS) χρησιμοποιεί μπαταρίες και ένα μετατροπέα για την παροχή εναλλασσόμενου ρεύματος όταν δεν είναι διαθέσιμη η παροχή ρεύματος. Όταν αποκατασταθεί η παροχή ρεύματος, ένας ανορθωτής παρέχει ισχύ DC για να επαναφορτίσει τις μπαταρίες.

6.11.3: Έλεγχος ταχύτητας ηλεκτρικού κινητήρα

Τα κυκλώματα αντιστροφέα που έχουν σχεδιαστεί για να παράγουν ένα εύρος μεταβλητής τάσης εξόδου χρησιμοποιούνται συχνά στους ελεγκτές στροφών κινητήρα. Η ισχύς συνεχούς ρεύματος για το τμήμα του μετατροπέα μπορεί να προέρχεται από μια κανονική πρίζα εναλλασσόμενου ρεύματος ή κάποια άλλη πηγή. Το κύκλωμα ελέγχου και ανάδρασης χρησιμοποιείται για να ρυθμίσει την τελική έξοδο του τμήματος του μετατροπέα, η οποία τελικά θα καθορίσει την ταχύτητα του κινητήρα που λειτουργεί υπό το μηχανικό του φορτίο. Οι ανάγκες ελέγχου της

ταχύτητας του κινητήρα είναι πολυάριθμες και περιλαμβάνουν πράγματα όπως: βιομηχανικό μηχανοκίνητο εξοπλισμό, ηλεκτρικά οχήματα, συστήματα σιδηροδρομικών μεταφορών και ηλεκτρικά εργαλεία. Οι καταστάσεις μεταγωγής αναπτύσσονται για θετικές, αρνητικές και μηδενικές τάσεις. Οι παλμοί πύλης που παράγονται δίδονται σε κάθε διακόπτη σύμφωνα με το αναπτυγμένο σχέδιο και έτσι επιτυγχάνεται η έξοδος.

6.11.4: Σε ψυκτικούς συμπιεστές

Ένας μετατροπέας μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον έλεγχο της ταχύτητας του κινητήρα του συμπιεστή για την οδήγηση μεταβλητής ροής ψυκτικού μέσου σε ένα σύστημα ψύξης ή κλιματισμού για τη ρύθμιση της απόδοσης του συστήματος. Τέτοιες εγκαταστάσεις είναι γνωστές ως συμπιεστές αναστροφών. Οι παραδοσιακές μέθοδοι ρύθμισης της ψύξης χρησιμοποιούν περιοδικώς συμπιεστές μιας ταχύτητας. Τα συστήματα εξοπλισμένα με αντιστροφέα διαθέτουν έναν κινητήρα μεταβλητής συχνότητας που ελέγχει την ταχύτητα του κινητήρα και συνεπώς την απόδοση του συμπιεστή και της ψύξης. Ο μεταβλητής συχνότητας εναλλασσόμενου ρεύματος από τον μετατροπέα μεταφέρει έναν κινητήρα χωρίς ψήκτρες ή επαγωγή αυξάνει την απόδοση. Η ταχύτητα του οποίου είναι ανάλογη με τη συχνότητα του AC που τροφοδοτείται, οπότε ο συμπιεστής μπορεί να λειτουργεί σε μεταβλητές ταχύτητες εξαλείφοντας τους κύκλους διακοπής και εκκίνησης του συμπιεστή. Ένας μικροελεγκτής συνήθως παρακολουθεί τη θερμοκρασία στον χώρο που πρόκειται να ψυχθεί και ρυθμίζει την ταχύτητα του συμπιεστή για να διατηρήσει την επιθυμητή θερμοκρασία. Το πρόσθετο ηλεκτρονικό σύστημα και το υλικό του συστήματος προσθέτουν κόστος στον εξοπλισμό, αλλά μπορούν να έχουν ως αποτέλεσμα σημαντική εξοικονόμηση λειτουργικών εξόδων.

6.11.5: Πλέγμα ισχύος

Οι μετατροπείς που είναι συνδεδεμένοι με το δίκτυο είναι σχεδιασμένοι να τροφοδοτούν το σύστημα διανομής ηλεκτρικής ενέργειας. Μεταφέρονται συγχρόνως με τη γραμμή και έχουν όσο το δυνατόν αρμονικότερο περιεχόμενο. Χρειάζονται επίσης ένα μέσο για την ανίχνευση της παρουσίας της ισχύος του δικτύου για λόγους ασφαλείας, ώστε να μην συνεχίσει να τροφοδοτεί επικίνδυνα την παροχή ρεύματος στο δίκτυο κατά τη διάρκεια μιας διακοπής ρεύματος.

6.11.6: Solar

Ένας ηλιακός μετατροπέας είναι ένα εξισορροπημένο στοιχείο συστήματος (BOS) ενός φωτοβολταϊκού συστήματος και μπορεί να χρησιμοποιηθεί τόσο για συστήματα συνδεδεμένα στο δίκτυο όσο και για συστήματα εκτός δικτύου. Οι μετατροπείς ηλιακής ενέργειας έχουν ειδικές λειτουργίες προσαρμοσμένες για χρήση με φωτοβολταϊκές συστοιχίες, συμπεριλαμβανομένης της μέγιστης ανίχνευσης σημείων ισχύος και προστασίας. Οι ηλιακοί μικροηλεκτρικοί μετατροπείς διαφέρουν από τους



συμβατικούς μετατροπείς, καθώς κάθε μεμονωμένος μικρομετατροπέας είναι συνδεδεμένος σε κάθε ηλιακό πάνελ. Αυτό μπορεί να βελτιώσει τη συνολική απόδοση του συστήματος. Η έξοδος από πολλούς μικρομετατροπείς στη συνέχεια συνδυάζεται και τροφοδοτεί το ηλεκτρικό δίκτυο .

6.11.7: Θέρμανση με επαγωγή

Οι μετατροπείς μετατρέπουν την κύρια ισχύ χαμηλής συχνότητας AC σε υψηλότερη συχνότητα για χρήση σε επαγωγική θέρμανση . Για να γίνει αυτό, η παροχή εναλλασσόμενου ρεύματος αρχικά διορθώνεται για παροχή ισχύος DC. Στη συνέχεια, ο μετατροπέας μετατρέπει την ισχύ συνεχούς ρεύματος σε ισχύ εναλλασσόμενου ρεύματος υψηλής τάσης. Λόγω της μείωσης του αριθμού των χρησιμοποιούμενων πηγών συνεχούς ρεύματος, η δομή γίνεται πιο αξιόπιστη και η τάση εξόδου έχει υψηλότερη ανάλυση λόγω της αύξησης του αριθμού των βημάτων έτσι ώστε η ημιτονοειδής τάση αναφοράς να μπορεί να επιτευχθεί καλύτερα. Αυτή η διαμόρφωση έγινε πρόσφατα πολύ δημοφιλής στην τροφοδοσία εναλλασσόμενου ρεύματος και στις εφαρμογές ρυθμιζόμενης ταχύτητας. Αυτός ο νέος μετατροπέας μπορεί να αποφύγει επιπλέον διόδους ή πυκνωτές εξισορρόπησης τάσης.

Υπάρχουν τρία είδη τεχνικών διαμόρφωσης μεταβαλλόμενης στάθμης, δηλαδή:

- Διάταξη απόρριψης φάσης (POD)
- Εναλλακτική αντιπαράθεση φάσης (APOD)
- Διάταξη φάσης (PD)

6.11.8: HVDC μετάδοση ισχύος

Με τη μετάδοση ισχύος HVDC , διορθώνεται η ισχύς εναλλασσόμενου ρεύματος και μεταδίδεται η ισχύς συνεχούς ρεύματος υψηλής τάσης σε άλλη θέση. Στη θέση παραλαβής, ένας μετατροπέας σε μονάδα στατικού μετατροπέα μετατρέπει την παροχή ισχύος σε AC. Ο μετατροπέας πρέπει να συγχρονίζεται με τη συχνότητα δικτύου και τη φάση και να ελαχιστοποιείται η παραγωγή αρμονικών.

6.11.9: Όπλα ηλεκτροσόκ

Τα ηλεκτρικά όπλα και τα tasers έχουν μετατροπέα DC / AC για να παράγουν αρκετές δεκάδες χιλιάδες V AC από μια μικρή μπαταρία 9 V DC. Αρχικά, ο 9 V DC μετατρέπεται σε 400-2000 V AC με συμπαγή μετασχηματιστή υψηλής συχνότητας, ο οποίος στη συνέχεια διορθώνεται και αποθηκεύεται προσωρινά σε πυκνωτή υψηλής τάσης μέχρις ότου επιτευχθεί μια προκαθορισμένη τάση κατωφλίου. Όταν φτάσει το κατώτατο όριο (ρυθμισμένο μέσω airgap ή TRIAC), ο πυκνωτής απορρίπτει ολόκληρο το φορτίο του σε έναν μετασχηματιστή παλμών, ο οποίος στη συνέχεια βγαίνει μέχρι την τελική τάση εξόδου του 20-60 kV. Μια παραλλαγή της αρχής χρησιμοποιείται επίσης στα ηλεκτρονικά flash και bug zappers , αν και βασίζονται σε έναν πυκνωτή που βασίζεται σε πολλαπλασιαστή τάσης για την επίτευξη της υψηλής τάσης τους.

6.11.10: Διάφορες εφαρμογές

Τυπικές εφαρμογές για μετατροπείς ισχύος περιλαμβάνουν:

- Φορητές συσκευές καταναλωτών που επιτρέπουν στο χρήστη να συνδέει μια μπαταρία ή μια ομάδα μπαταριών με τη συσκευή ώστε να παράγει ενέργεια εναλλασσόμενου ρεύματος για την εκτέλεση διαφόρων ηλεκτρικών ειδών όπως φώτα, τηλεοράσεις, συσκευές κουζίνας και ηλεκτρικά εργαλεία.
- Χρήση σε συστήματα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, όπως εταιρείες ηλεκτρικής ενέργειας ή συστήματα παραγωγής ηλιακής ενέργειας, για τη μετατροπή ισχύος DC σε εναλλασσόμενο ρεύμα.
- Χρησιμοποιήστε μέσα σε οποιοδήποτε μεγαλύτερο ηλεκτρονικό σύστημα, όπου υπάρχει τεχνική ανάγκη για την παραγωγή πηγής εναλλασσόμενου ρεύματος από μια πηγή συνεχούς ρεύματος.

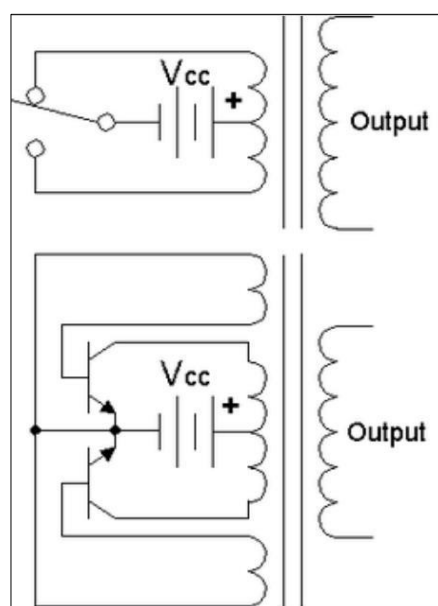
6.12: Περιγραφή κυκλώματος

6.12.1: Βασικός σχεδιασμός

Σε ένα απλό κύκλωμα αναστροφέα, η ισχύς συνεχούς ρεύματος συνδέεται με έναν μετασχηματιστή μέσω της κεντρικής βρύσης της πρωτεύουσας περιέλιξης. Ένας διακόπτης μεταβάλλεται ταχέως εμπρός και πίσω για να επιτρέψει στο ρεύμα να ρέει πίσω στην πηγή DC ακολουθώντας δύο εναλλασσόμενες διαδρομές μέσω του ενός άκρου του πρωτεύοντος τυλίγματος και έπειτα του άλλου. Η εναλλαγή της κατεύθυνσης του ρεύματος στην πρωτεύουσα περιέλιξη του μετασχηματιστή παράγει εναλλασσόμενο ρεύμα (AC) στο δευτερεύον κύκλωμα.

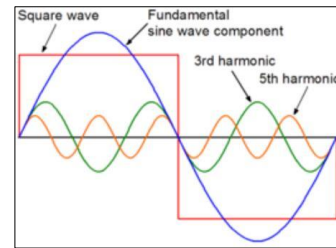
Η ηλεκτρομηχανική εκδοχή της συσκευής μεταγωγής περιλαμβάνει δύο σταθερές επαφές και μια κινητή επαφή που υποστηρίζεται από ελατήριο. Το ελατήριο συγκρατεί την κινητή επαφή σε μία από τις σταθερές επαφές και ένας ηλεκτρομαγνήτης τραβάει την κινητή επαφή στην αντίθετη στατική επαφή. Το ρεύμα στον ηλεκτρομαγνήτη διακόπτεται από τη λειτουργία του διακόπτη έτσι ώστε ο διακόπτης να μεταβαίνει συνεχώς γρήγορα και μπροστά. Αυτός ο τύπος ηλεκτρομηχανικού διακόπτη αντιστροφέα, που ονομάζεται δονητής ή βομβητής, χρησιμοποιήθηκε κάποτε σε ραδιοκύματα αυτοκινήτου με σωλήνες κενού. Ένας παρόμοιος μηχανισμός έχει χρησιμοποιηθεί σε καμπάνες πόρτας, buzzers και μηχανές τατουάζ.

Δεδομένου ότι έγιναν διαθέσιμα με επαρκείς τιμές ισχύος, έχουν ενσωματωθεί τρανζίστορ και διάφοροι άλλοι τύποι διακοπών ημιαγωγών σε σχέδια κυκλωμάτων μετατροπέα. Ορισμένες αξιολογήσεις, ειδικά για μεγάλα συστήματα (πολλά κιλοβάτ), χρησιμοποιούν θυρίστορ (SCR). Τα SCR παρέχουν μεγάλη δυνατότητα χειρισμού



ισχύος σε μια συσκευή ημιαγωγών και μπορούν εύκολα να ελέγχονται σε μια μεταβλητή περιοχή πυροδότησης.

Ο διακόπτης στον απλό αναστροφέα που περιγράφηκε παραπάνω, όταν δεν είναι συνδεδεμένος με έναν μετασχηματιστή εξόδου, παράγει μια κυματομορφή τετραγωνικής τάσης λόγω της απλής απενεργοποίησης και της φύσης σε αντίθεση με την ημιτονοειδή κυματομορφή που είναι η συνήθης κυματομορφή μιας τροφοδοσίας AC. Χρησιμοποιώντας την ανάλυση Fourier, οι περιοδικές κυματομορφές αντιπροσωπεύονται ως το άθροισμα μιας άπειρης σειράς ημιτονοειδών κυμάτων. Το ημιτονοειδές κύμα που έχει την ίδια συχνότητα με την αρχική κυματομορφή ονομάζεται θεμελιώδες στοιχείο. Τα άλλα ημιτονοειδή κύματα, που ονομάζονται αρμονικές, που περιλαμβάνονται στη σειρά έχουν συχνότητες που είναι ακέραια πολλαπλάσια της θεμελιώδους συχνότητας.

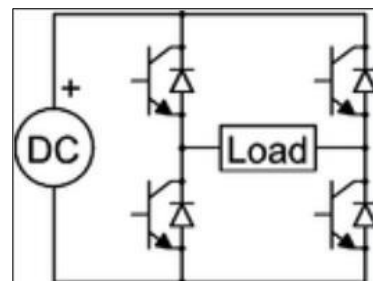


Η ανάλυση Fourier μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον υπολογισμό της συνολικής αρμονικής παραμόρφωσης (THD). Η συνολική αρμονική παραμόρφωση (THD) είναι η τετραγωνική ρίζα του αθροίσματος των τετραγώνων των αρμονικών τάσεων που διαιρούνται με τη θεμελιώδη τάση:

$$THD = \frac{\sqrt{V_2^2 + V_3^2 + V_4^2 + \dots + V_n^2}}{V_1}$$

6.12.2: Προηγμένα σχέδια

Υπάρχουν πολλές διαφορετικές τοπολογίες κυκλώματος ισχύος και στρατηγικές ελέγχου που χρησιμοποιούνται σε σχέδια αναστροφέα. Οι διαφορετικές προσεγγίσεις σχεδιασμού αντιμετωπίζουν διάφορα ζητήματα που μπορεί να είναι περισσότερο ή λιγότερο σημαντικά ανάλογα με τον τρόπο με τον οποίο πρόκειται να χρησιμοποιηθεί ο μετατροπέας.



Το ζήτημα της ποιότητας κυματομορφής μπορεί να αντιμετωπιστεί με πολλούς τρόπους. Οι πυκνωτές και οι επαγωγείς μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να φιλτράρουν την κυματομορφή. Εάν ο σχεδιασμός περιλαμβάνει μετασχηματιστή, η διήθηση μπορεί να εφαρμοστεί στην πρωτεύουσα ή τη δευτερεύουσα πλευρά του μετασχηματιστή ή και στις δύο πλευρές. Χρησιμοποιούνται φίλτρα χαμηλής διέλευσης για να επιτρέψουν στο θεμελιώδες στοιχείο της κυματομορφής να περάσει στην έξοδο, περιορίζοντας παράλληλα τη διέλευση των αρμονικών συνιστωσών. Αν ο μετατροπέας έχει σχεδιαστεί για να παρέχει ισχύ σε σταθερή συχνότητα, μπορεί να χρησιμοποιηθεί ένα ηχητικό φίλτρο. Για ένα ρυθμιζόμενο μετατροπέα συχνότητας, το φίλτρο πρέπει να συντονιστεί σε συχνότητα που υπερβαίνει τη μέγιστη βασική συχνότητα.

Δεδομένου ότι τα περισσότερα φορτία περιέχουν επαγωγή, ανορθωτές ανατροφοδότησης ή αντιπαράλληλες δίοδοι συνδέονται συχνά σε κάθε διακόπτη ημιαγωγού για να παρέχουν μια διαδρομή για το μέγιστο επαγωγικό ρεύμα φορτίου όταν ο διακόπτης είναι απενεργοποιημένος. Οι αντιπαράλληλες δίοδοι είναι κάπως

παρόμοιες με τις ελεύθερες δίοδους που χρησιμοποιούνται στα κυκλώματα μετατροπέα AC / DC.

Η ανάλυση Fourier αποκαλύπτει ότι μια κυματομορφή, όπως ένα τετραγωνικό κύμα, που είναι αντιδιαμετρική ως προς το σημείο 180 μοιρών, περιέχει μόνο περιέργες αρμονικές, την 3η, 5η, 7η, κλπ. Οι κυματομορφές που έχουν βήματα συγκεκριμένου πλάτους και ύψους μπορούν να εξασθενίσουν σε κατώτερες αρμονικές σε βάρος της ενίσχυσης των υψηλότερων αρμονικών. Για παράδειγμα, εισάγοντας ένα βήμα μηδενικής τάσης μεταξύ των θετικών και αρνητικών τμημάτων του τετραγωνικού κύματος, μπορούν να εξαλειφθούν όλες οι αρμονικές που διαιρούνται με τρία (3η και 9η, κλπ.). Αυτό αφήνει μόνο τη ν 5η, 7η, 11η, 13η κλπ. Το απαιτούμενο πλάτος των βημάτων είναι το ένα τρίτο της περιόδου για καθένα από τα θετικά και τα αρνητικά βήματα και το ένα έκτο της περιόδου για καθένα από τα στάδια μηδενικής τάσης.

Η αλλαγή του τετραγωνικού κύματος όπως περιγράφεται παραπάνω είναι ένα παράδειγμα διαμόρφωσης πλάτους παλμού (PWM). Η τροποποίηση ή η ρύθμιση του πλάτους ενός παλμού τετραγωνικού κύματος χρησιμοποιείται συχνά ως μέθοδος ρύθμισης ή ρύθμισης της τάσης εξόδου του αντιστροφέα. Όταν δεν απαιτείται έλεγχος τάσης, μπορεί να επιλεγεί σταθερό πλάτος παλμού για να μειωθούν ή να εξαλειφθούν επιλεγμένες αρμονικές. Οι εναρμονισμένες τεχνικές εξάλειψης εφαρμόζονται γενικά στις χαμηλότερες αρμονικές, διότι το φιλτράρισμα είναι πολύ πιο πρακτικό στις υψηλές συχνότητες, όπου τα συστατικά του φίλτρου μπορούν να είναι πολύ μικρότερα και λιγότερο δαπανηρά. Πολλαπλά συστήματα ελέγχου PWM με πλάτος παλμού ή φορέα παράγουν κυματομορφές που αποτελούνται από πολλούς στενούς παλμούς. Η συχνότητα που αντιπροσωπεύει ο αριθμός των στενών παλμών ανά δευτερόλεπτο ονομάζεται συχνότητα μεταγωγής ή συχνότητα φορέα. Αυτά τα σχήματα ελέγχου χρησιμοποιούνται συχνά σε μετατροπείς ελέγχου κινητήρα μεταβλητής συχνότητας επειδή επιτρέπουν μια ευρεία κλίμακα ρύθμισης τάσης και συχνότητας εξόδου, βελτιώνοντας παράλληλα την ποιότητα της κυματομορφής.

Οι πολυεπίπεδες μετατροπείς παρέχουν μια άλλη προσέγγιση για την ακύρωση των αρμονικών. Οι πολυεπίπεδες μετατροπείς παρέχουν μια κυματομορφή εξόδου που εμφανίζει πολλαπλά στάδια σε διάφορα επίπεδα τάσης. Για παράδειγμα, είναι δυνατό να παραχθεί ένα πιο ημιτονοειδές κύμα, έχοντας εισόδους συνεχούς ρεύματος split-rail σε δύο τάσεις ή θετικές και αρνητικές εισόδους με κεντρική γείωση. Συνδέοντας τους ακροδέκτες εξόδου του μετατροπέα σε σειρά μεταξύ της θετικής σιδηροτροχιάς και της γείωσης, της θετικής σιδηροτροχιάς και της αρνητικής σιδηροτροχιάς, της σιδηροτροχιάς εδάφους και της αρνητικής σιδηροτροχιάς, στη συνέχεια τόσο προς τη γείωση, παράγεται μια βαθμιδωτή κυματομορφή στην έξοδο του μετατροπέα. Αυτό είναι ένα παράδειγμα ενός μετατροπέα τριών επιπέδων: οι δύο τάσεις και η γείωση.

6.12.3: Περισσότερα για την επίτευξη ενός ημιτονοειδούς κύματος

Οι συντονιστές αντιστροφών παράγουν ημιτονοειδή κύματα με κυκλώματα LC για να αφαιρέσουν τις αρμονικές από ένα απλό τετράγωνο κύμα. Συνήθως υπάρχουν πολλά κυκλώματα LC με παράλληλη και παράλληλη ακτινοβολία, καθένα από τα οποία συντονίζεται σε διαφορετική αρμονική συχνότητα γραμμής ισχύος. Αυτό απλοποιεί τα ηλεκτρονικά, αλλά οι επαγωγείς και οι πυκνωτές τείνουν να είναι μεγάλοι και βαριοί. Η υψηλή αποδοτικότητά του καθιστά αυτή την προσέγγιση

δημοφιλής σε μεγάλες αδιάλειπτες πηγές τροφοδοσίας σε κέντρα δεδομένων που λειτουργούν συνεχώς τον μετατροπέα σε λειτουργία "σε απευθείας σύνδεση", για να αποφευχθεί οποιαδήποτε μεταβατική μετατόπιση όταν χάνονται τα τροφοδοτικά.

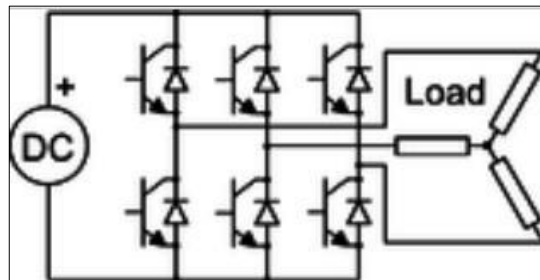
Μια στενά συνδεδεμένη προσέγγιση χρησιμοποιεί έναν μετασχηματιστή σιδηροπυρώσεως, επίσης γνωστού ως μετασχηματιστή σταθερής τάσης, για να απομακρύνει τις αρμονικές και να αποθηκεύει αρκετή ενέργεια για να διατηρεί το φορτίο για μερικούς κύκλους AC. Αυτή η ιδιότητα τις καθιστά χρήσιμες σε τροφοδοτικά εφεδρείας για την εξάλειψη του μεταβατικού μετασχηματισμού που συμβαίνει κατά τη διάρκεια μιας διακοπής ρεύματος κατά την εκκίνηση του κανονικά αναστρέψιμου μετατροπέα και τα μηχανικά ρελέ μεταβαίνουν στην έξοδο του.

6.12.4: Ενισχυμένη ποσοτικοποίηση

Μια πρόταση που προτείνεται στο περιοδικό Power Electronics χρησιμοποιεί δύο τάσεις ως βελτίωση σε σχέση με την κοινή εμπορική τεχνολογία, η οποία μπορεί να εφαρμόσει μόνο τάση διαύλου DC προς οποιαδήποτε κατεύθυνση ή να την απενεργοποιήσει. Η πρόταση προσθέτει ενδιάμεσες τάσεις στο κοινό σχέδιο. Κάθε κύκλος βλέπει την ακόλουθη ακολουθία παραδοθέντων τάσεων: $v_1, v_2, v_1, 0, -v_1, -v_2, -v_1$.

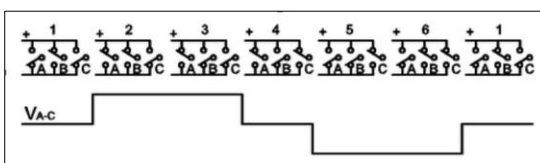
6.12.5: Τριφασικοί μετατροπείς

Οι τριφασικοί μετατροπείς χρησιμοποιούνται για εφαρμογές κίνησης μεταβλητής συχνότητας και για εφαρμογές υψηλής ισχύος όπως HVDC μετάδοση ισχύος. Ένας βασικός τριφασικός μετατροπέας αποτελείται από τρεις μονοφασικούς διακόπτες αντιστροφών, καθένας από τους



οποίους συνδέεται σε ένα από τα τρία τερματικά φορτίου. Για το πιο βασικό σχέδιο ελέγχου, η λειτουργία των τριών διακοπών συντονίζεται έτσι ώστε ένας διακόπτης να λειτουργεί σε κάθε σημείο 60 βαθμών της βασικής κυματομορφής εξόδου. Αυτό δημιουργεί μια κυματομορφή εξόδου γραμμής προς γραμμή που έχει έξι βήματα. Η κυματομορφή έξι σταδίων έχει ένα βήμα μηδενικής τάσης μεταξύ των θετικών και των αρνητικών τμημάτων του τετραγωνικού κύματος έτσι ώστε οι αρμονικές που είναι πολλαπλάσια των τριών να εξαλείφονται όπως περιγράφεται παραπάνω. Όταν εφαρμόζονται τεχνικές PWM βασισμένες σε φορέα σε κυματομορφές έξι σταδίων, διατηρείται το βασικό γενικό σχήμα ή φάκελος της κυματομορφής έτσι ώστε να ακυρώνεται η τρίτη αρμονική και τα πολλαπλάσια της.

Για την κατασκευή μετατροπέων με υψηλότερες τιμές ισχύος, δύο τριφασικοί μετατροπείς έξι σταδίων μπορούν να συνδεθούν παράλληλα για υψηλότερη ονομαστική ένταση ή σε σειρά για υψηλότερη τάση. Και στις δύο περιπτώσεις, οι κυματομορφές εξόδου μετατοπίζονται σε φάση για τη λήψη κυματομορφής 12 βημάτων. Εάν συνδυαστούν πρόσθετοι μετατροπείς, επιτυγχάνεται ένας μετατροπέας 18 σταδίων με τρεις



μετατροπείς κ.λπ. Παρόλο που οι μετατροπείς συνήθως συνδυάζονται για την επίτευξη αυξημένης τάσης ή ρεύματος, βελτιώνεται επίσης η ποιότητα της κυματομορφής.

6.13: Ιστορία

6.13.1: Πρόωροι μετατροπείς

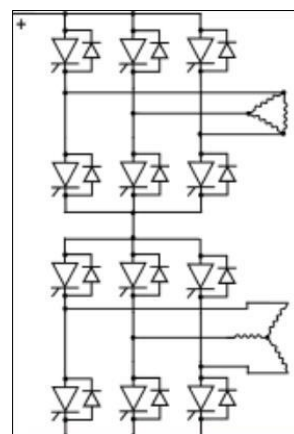
Από τα τέλη του 19ου αιώνα έως τα μέσα του εικοστού αιώνα, η μετατροπή ισχύος DC σε AC πραγματοποιήθηκε χρησιμοποιώντας περιστροφικούς μετατροπείς ή σύνολα κινητήρων γεννήτριας (σύνολα MG). Στις αρχές του εικοστού αιώνα, οι σωλήνες κενού και οι αγωγοί γεμισμένοι με αέριο άρχισαν να χρησιμοποιούνται ως διακόπτες στα κυκλώματα αναστροφέα. Ο πιο ευρέως χρησιμοποιούμενος τύπος σωλήνα ήταν η θυρατρόνη .

Η προέλευση των ηλεκτρομηχανικών μετατροπέων εξηγεί την πηγή του όρου inverter. Οι πρώτοι μετατροπείς AC-DC χρησιμοποίησαν έναν επαγωγικό ή σύγχρονο κινητήρα εναλλασσόμενου ρεύματος απευθείας συνδεδεμένο με μια γεννήτρια (δυναμό), έτσι ώστε ο μετατροπέας της γεννήτριας να αντιστρέψει τις συνδέσεις του ακριβώς στις σωστές στιγμές για να παράγει DC. Μια μεταγενέστερη εξέλιξη είναι ο σύγχρονος μετατροπέας, στον οποίο οι περιελίξεις κινητήρα και γεννήτριας συνδυάζονται σε ένα σπλιισμό, με δακτυλίδια ολίσθησης στο ένα άκρο και έναν μεταγωγέα στο άλλο και μόνο ένα πλαίσιο πεδίου. Το αποτέλεσμα είναι AC-in, DC-out. Με ένα σύνολο MG, το DC μπορεί να θεωρηθεί ότι παράγεται χωριστά από το AC. με ένα σύγχρονο μετατροπέα, μπορεί να θεωρηθεί ως μια "μηχανικά διορθωμένη AC". Δεδομένου του σωστού βοηθητικού εξοπλισμού και του εξοπλισμού ελέγχου, ένα σετ MG ή ένας περιστρεφόμενος μετατροπέας μπορεί να "τρέξει προς τα πίσω", μετατρέποντας το DC σε AC. Ως εκ τούτου, ο μετατροπέας είναι ανεστραμμένος μετατροπέας.

6.13.2: Ελεγχόμενοι μετατροπείς ανορθωτή

Δεδομένου ότι τα πρώιμα τρανζίστορ δεν ήταν διαθέσιμα με επαρκή τάση και τάση για τις περισσότερες εφαρμογές των μετατροπέων, ήταν η εισαγωγή του 1957 στον θυροσκόπιο ή τον ελεγχόμενο με πυρίτιο ανορθωτή (SCR) που ξεκίνησε τη μετάβαση σε κυκλώματα μετατροπέων στερεάς κατάστασης .

Οι απαιτήσεις εναλλαγής των SCR αποτελούν βασικό στοιχείο για τα σχέδια κυκλωμάτων SCR. Τα SCRs δεν απενεργοποιούνται ή δεν μετακινούνται αυτόματα όταν το σήμα ελέγχου πύλης είναι απενεργοποιημένο. Απενεργοποιούνται μόνο όταν το εμπρόσθιο ρεύμα μειώνεται κάτω από το ελάχιστο ρεύμα συγκράτησης, το οποίο ποικίλλει ανάλογα με κάθε είδος SCR, μέσω κάποιας εξωτερικής διαδικασίας. Για τα SCR που είναι συνδεδεμένα σε μια πηγή εναλλασσόμενου ρεύματος, η εναλλαγή γίνεται φυσικά κάθε φορά που αντιστρέφεται η πολικότητα της τάσης πηγής. Τα SCR που είναι συνδεδεμένα σε μια πηγή ισχύος συνεχούς ρεύματος απαιτούν συνήθως ένα μέσο αναγκαστικής μεταγωγής το οποίο αναγκάζει το ρεύμα



στο μηδέν όταν απαιτείται μεταγωγή. Τα λιγότερο περίπλοκα κυκλώματα SCR χρησιμοποιούν φυσική εναλλαγή και όχι καταναγκαστική μεταγωγή. Με την προσθήκη κυκλωμάτων αναγκαστικής μεταγωγής, χρησιμοποιήθηκαν SCRs στους τύπους κυκλωμάτων αναστροφών που περιγράφηκαν παραπάνω.

Σε εφαρμογές όπου οι μετατροπείς μεταφέρουν ισχύ από μια πηγή ρεύματος συνεχούς ρεύματος σε μια πηγή εναλλασσόμενου ρεύματος, είναι δυνατή η χρήση κυκλωμάτων ανορθωτή ελεγχόμενης από εναλλασσόμενο ρεύμα (AC-DC) που λειτουργούν στη λειτουργία αναστροφής. Στον τρόπο αναστροφής, ένα ελεγχόμενο κύκλωμα ανορθωτή λειτουργεί ως μετατροπέας γραμμικής μεταγωγής. Αυτός ο τύπος λειτουργίας μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε συστήματα μετάδοσης ισχύος HVDC και σε λειτουργία αναζωογονητικής πέδησης συστημάτων ελέγχου κινητήρα.

Ένας άλλος τύπος κυκλώματος μετατροπέα SCR είναι ο μετατροπέας εισόδου πηγής ρεύματος (CSI). Ένας μετατροπέας CSI είναι ο διπλός από έναν αναστροφέα πηγής τάσης έξι σταδίων. Με έναν μετατροπέα πηγής ρεύματος, η τροφοδοσία DC είναι διαμορφωμένη ως πηγή ρεύματος και όχι ως πηγή τάσης. Οι SCR του μετατροπέα μεταβάλλονται σε μια ακολουθία έξι βημάτων για να κατευθύνουν το ρεύμα σε τριφασικό φορτίο εναλλασσόμενου ρεύματος ως κυματομορφή βαθμωτού ρεύματος. Οι μέθοδοι εναλλαγής CSI του μετατροπέα περιλαμβάνουν τη μεταγωγή φορτίου και την παράλληλη εναλλαγή πυκνωτών. Και με τις δύο μεθόδους, η ρύθμιση ρεύματος εισόδου βοηθάει τη μεταγωγή. Με τη μεταγωγή φορτίου, το φορτίο είναι ένας σύγχρονος κινητήρας που λειτουργεί με έναν κύριο συντελεστή ισχύος.

Καθώς έχουν καταστεί διαθέσιμες σε υψηλότερες τάσεις και τιμές ρεύματος, οι ημιαγωγοί όπως τρανζίστορ ή IGBT που μπορούν να απενεργοποιηθούν μέσω σημάτων ελέγχου έχουν γίνει τα προτιμώμενα εξαρτήματα μεταγωγής για χρήση σε κυκλώματα αναστροφέα.

6.13.3: Ανορθωτές και αριθμοί παλμών αναστροφέα

Τα κυκλώματα ανορθωτή ταξινομούνται συχνά με τον αριθμό των παλμών ρεύματος που ρέουν στην πλευρά DC του ανορθωτή ανά κύκλο τάσης εισόδου AC. Ο μονοφασικός ανορθωτής μισού κύματος είναι κύκλωμα ενός παλμού και ένας μονοφασικός ανορθωτής πλήρους κύματος είναι κύκλωμα δύο παλμών. Ένας τριφασικός ανορθωτής μισού κύματος είναι ένα κύκλωμα τριών παλμών και ένας τριφασικός ανορθωτής πλήρους κύματος είναι κύκλωμα έξι παλμών.

Με τριφασικούς ανορθωτές, δύο ή περισσότεροι ανορθωτές συνδέονται μερικές φορές σε σειρά ή παράλληλα για να αποκτήσουν υψηλότερες τάσεις ή ρεύματα. Οι εισόδοι του ανορθωτή παρέχονται από ειδικούς μετασχηματιστές που παρέχουν εξόδους με μετατόπιση φάσης. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα τον πολλαπλασιασμό φάσης. Έξι φάσεις λαμβάνονται από δύο μετασχηματιστές, δώδεκα φάσεις από τρεις μετασχηματιστές και ούτω καθεξής. Τα συνδεδεμένα κυκλώματα ανορθωτή είναι ανορθωτές 12 παλμών, ανορθωτές 18 παλμών και ούτω καθεξής.

Όταν τα ελεγχόμενα κυκλώματα ανορθωτή λειτουργούν με τη λειτουργία αντιστροφής, θα ταξινομούνται επίσης με αριθμό παλμών. Τα κυκλώματα ανορθωτή που έχουν υψηλότερο αριθμό παλμών έχουν μειωμένη αρμονική περιεκτικότητα στο ρεύμα εισόδου εναλλασσόμενου ρεύματος και μειωμένη κυμάτωση στην τάση εξόδου DC. Στον τρόπο αναστροφής, τα κυκλώματα που έχουν υψηλότερο αριθμό παλμών

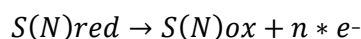
έχουν χαμηλότερη αρμονική περιεκτικότητα στην κυματομορφή τάσης εξόδου εναλλασσόμενου ρεύματος.

7. Μπαταρίες

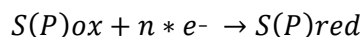
Μια μπαταρία είναι μια συσκευή που μετατρέπει τη χημική ενέργεια που εμπεριέχεται στα ενεργά υλικά της απευθείας σε ηλεκτρική ενέργεια μέσω μιας ηλεκτροχημικής αντίδρασης οξειδωσης – μείωσης (oxidation – reduction, redox). Στην περίπτωση ενός επαναφορτιζόμενου συστήματος, η μπαταρία επαναφορτίζεται με αντιστροφή αυτής της διαδικασίας. Αυτός ο τύπος αντίδρασης περιλαμβάνει τη μεταφορά ηλεκτρονίων από ένα υλικό σε άλλο δια μέσου ενός ηλεκτρικού κυκλώματος. Σε μια μη ηλεκτροχημική redox αντίδραση, όπως είναι η διαδικασία της σκουριάς και της καύσης, η μεταφορά των ηλεκτρονίων πραγματοποιείται απευθείας και μόνο η θερμότητα εμπλέκεται σε αυτή την αντίδραση. Επειδή η μπαταρία μετατρέπει ηλεκτροχημικά τη χημική ενέργεια σε ηλεκτρική, δεν υπόκειται, όπως οι μηχανές εσωτερικής καύσης, στους περιορισμούς του κύκλου Carnot που υπαγορεύει ο δεύτερος νόμος της θερμοδυναμικής. Για αυτό το λόγο, οι μπαταρίες είναι σε θέση να παρουσιάζουν υψηλότερη απόδοση στη μετατροπή ενέργειας. Ενώ συχνά χρησιμοποιείται ο όρος «μπαταρία», η βασική ηλεκτροχημική μονάδα στην οποία αναφέρεται είναι το «στοιχείο». Μια μπαταρία αποτελείται από ένα ή περισσότερα τέτοια στοιχεία, σε συνδεσμολογία σειράς ή παράλληλη ή συνδυασμό των δύο ανάλογα με την επιθυμητή τάση και χωρητικότητα εξόδου. Το στοιχείο αποτελείται από τα παρακάτω συστατικά:

- Το ηλεκτρόδιο ανόδου ή αρνητικό ηλεκτρόδιο (το ηλεκτρόδιο μείωσης ή καυσίμου), το οποίο παραχωρεί ηλεκτρόνια στο εξωτερικό κύκλωμα και οξειδώνεται κατά τη διάρκεια της ηλεκτροχημικής αντίδρασης.
- Το ηλεκτρόδιο καθόδου ή θετικό ηλεκτρόδιο (το ηλεκτρόδιο οξειδωσης), το οποίο δέχεται ηλεκτρόνια από το εξωτερικό κύκλωμα και μειώνεται κατά τη διάρκεια της ηλεκτροχημικής διαδικασίας.
- Τον ηλεκτρολύτη (ιοντικό αγωγό), ο οποίος παρέχει το μέσο για τη μεταφορά του φορτίου, με τη μορφή ιόντων, μέσα στο στοιχείο ανάμεσα στην άνοδο και την κάθοδο. Ο ηλεκτρολύτης είναι τυπικά ένα υγρό, όπως το νερό ή άλλοι διαλύτες, με διαλυμένα άλατα, οξέα ή αλκάλια να μεταδίδουν την ιοντική αγωγιμότητα. Μερικές μπαταρίες χρησιμοποιούν στερεούς ηλεκτρολύτες, οι οποίοι είναι ιοντικοί αγωγοί στη θερμοκρασία λειτουργίας του στοιχείου.

Οι χημικές και ηλεκτροχημικές αντιδράσεις των ηλεκτροδίων συμβαίνουν και στα δύο ηλεκτρόδια και απελευθερώνουν ή απορροφούν ηλεκτρόνια σύμφωνα με τις παρακάτω σχέσεις:



ή



Τα N και P δηλώνουν το αρνητικό (negative) και το θετικό (positive) ηλεκτρόδιο αντίστοιχα και τα Sred και Sox δηλώνουν τις καταστάσεις μείωσης (reduction state) και οξειδωσης (oxidation state) αντίστοιχα των χημικών ενώσεων που αντιδρούν και η είναι ο αριθμός των ηλεκτρονίων που εμπλέκονται στη διαδικασία. Η δυνατότητα του διαχωρισμού της αντίδρασης του στοιχείου σε δύο ξεχωριστές αντιδράσεις ηλεκτροδίων είναι βασική προϋπόθεση για την πραγματοποίηση οποιουδήποτε ηλεκτροχημικού στοιχείου. Μόνο τότε μπορεί η ανταλλαγή των ηλεκτρονίων που συνδέεται με τις αντιδράσεις των ηλεκτροδίων να συλληχθεί σαν ένα ρεύμα που ρέει μέσα από τον καταναλωτή (ή την συσκευή φόρτισης) και η ενέργεια εισόδου ή εξόδου που συνδέεται με τη χημική αντίδραση να μετατραπεί σε ηλεκτρική ενέργεια. Διαφορετικά, η αντίδραση θα εμφανιζόταν απλώς ως μια χημική αντίδραση. Θα γινόταν ανταλλαγή του ηλεκτρικού φορτίου απευθείας ανάμεσα στις αντιδρώσες ουσίες και η ενέργεια που θα απελευθερωνόταν θα μετατρεπόταν κυρίως σε θερμότητα και σε κάποιο βαθμό σε ενεργειακή ένταση (volume energy).

Το σύστημα της ηλεκτροχημικής αποθήκευσης βασίζεται στη μετατροπή της χημικής ενέργειας σε ηλεκτρική και αντίστροφα. Το ποσό της ενέργειας που μπορεί να αποθηκευτεί σε ένα στοιχείο καθορίζεται από το διαφορετικό ενεργειακό περιεχόμενο των χημικών ουσιών που αναπαριστά την κατάσταση φόρτισης και εκφόρτισης. Συνεπώς, οι χαρακτηριστικές παράμετροι του συστήματος καθορίζονται από ένα σύνολο ηλεκτροχημικών αντιδράσεων και τις ενεργειακές μεταβολές που συνδέονται με αυτές τις αντιδράσεις. Συνολικά, αυτές οι αντιδράσεις αποτελούν τις αντιδράσεις στοιχείου που χαρακτηρίζουν το σύστημα της μπαταρίας.

Οι συνδυασμοί των υλικών ανόδου και καθόδου που έχουν τα περισσότερα πλεονεκτήματα είναι αυτοί που θα είναι ελαφρύτεροι και θα δίνουν υψηλή τάση και χωρητικότητα στοιχείου. Παρόλα αυτά, τέτοιοι συνδυασμοί μπορεί να μην είναι πάντα πρακτικοί, εξαιτίας της αντιδραστικότητας με άλλα συστατικά του στοιχείου, της πόλωσης, της δυσκολίας στο χειρισμό, του υψηλού κόστους και άλλων ατελειών.

Σε ένα πρακτικό σύστημα, η άνοδος επιλέγεται με βάση τις ακόλουθες ιδιότητες: να έχει αποδοτικότητα σαν παράγοντας μείωσης, καλή αγωγιμότητα, σταθερότητα, ευκολία κατασκευής και χαμηλό κόστος. Το υδρογόνο είναι ελκυστικό σαν υλικό ανόδου, αλλά προφανώς, πρέπει να περιοριστεί με κάποιο τρόπο, κάτι που μειώνει αποτελεσματικά την ηλεκτροχημική ισοδυναμία του (electrochemical equivalence). Πρακτικά, κυρίως μέταλλα χρησιμοποιούνται σαν το υλικό ανόδου. Ο ψευδάργυρος έχει κυριαρχήσει σαν άνοδος, λόγω των ευνοϊκών του ιδιοτήτων. Το λίθιο, το ελαφρύτερο μέταλλο, με υψηλή ηλεκτροχημική ισοδυναμία, έχει γίνει μια αρκετά ελκυστική άνοδος, αφού έχουν αναπτυχθεί κατάλληλοι και συμβατοί ηλεκτρολύτες και σχεδιασμοί στοιχείων για να ελέγχουν τη δραστηριότητά του.

Η κάθοδος πρέπει να είναι ένας αποδοτικός παράγοντας οξειδωσης, να είναι σταθερή στην επαφή με τον ηλεκτρολύτη και να έχει μια χρήσιμη τάση λειτουργίας. Το οξυγόνο μπορεί να χρησιμοποιηθεί κατευθείαν από τον ατμοσφαιρικό αέρα, τραβώντας το μέσα στο στοιχείο όπως στη μπαταρία ψευδάργυρου/αέρα (zinc/air battery). Παρόλα αυτά, τα περισσότερα συνήθη υλικά καθόδου είναι μεταλλικά οξείδια. Άλλα υλικά καθόδου, όπως τα αλογόνα και τα οξυαλογονίδια, το θείο και τα οξειδιά του, χρησιμοποιούνται για ειδικά συστήματα μπαταριών.

Ο ηλεκτρολύτης πρέπει να έχει καλή ιοντική αγωγιμότητα αλλά να μην είναι ηλεκτρονικά αγωγίμος, γιατί αυτό θα προκαλούσε εσωτερικό βραχυκύκλωμα. Άλλα σημαντικά χαρακτηριστικά είναι η μη αντιδραστικότητα με τα υλικά των ηλεκτροδίων,

μικρή αλλαγή των ιδιοτήτων με αλλαγή της θερμοκρασίας, ασφάλεια στο χειρισμό και χαμηλό κόστος. Οι περισσότεροι ηλεκτρολύτες είναι υδάτινα διαλύματα, αλλά υπάρχουν σημαντικές εξαιρέσεις όπως, για παράδειγμα, στις μπαταρίες θερμικής ανόδου ή ανόδου λιθίου, όπου λιωμένο αλάτι και άλλοι μη υδάτινοι ηλεκτρολύτες χρησιμοποιούνται για να αποφευχθεί η αντίδραση της ανόδου με τον ηλεκτρολύτη.

Φυσικά, τα ηλεκτρόδια ανόδου και καθόδου είναι ηλεκτρονικά απομονωμένα στο στοιχείο για την αποφυγή εσωτερικού βραχυκυκλώματος, αλλά περιβάλλονται από τον ηλεκτρολύτη. Σε πρακτικούς σχεδιασμούς στοιχείων ένα υλικό διαχωρισμού χρησιμοποιείται για να χωρίζει τα ηλεκτρόδια ανόδου και καθόδου μηχανικά. Ο διαχωριστής, όμως, είναι διαπερατός από τον ηλεκτρολύτη για να διατηρείται η επιθυμητή ιοντική αγωγιμότητα. Σε ορισμένες περιπτώσεις ο ηλεκτρολύτης ακινητοποιείται για ένα σχεδιασμό χωρίς διαρροή (non spill design). Ηλεκτρικά αγώγιμες δομές ή υλικά μπορούν επίσης να προστεθούν στα ηλεκτρόδια για μείωση της εσωτερικής αντίστασης.

Το στοιχείο μπορεί να κατασκευαστεί σε διάφορους σχηματισμούς όπως σε κυλινδρικό, επίπεδο, πρισματικό και τα μέρη του στοιχείου σχεδιάζονται για να διευκολύνουν το συγκεκριμένο σχήμα. Τα στοιχεία σφραγίζονται με ποικίλους τρόπους για να αποφευχθεί διαρροή και στέγνωμα. Κάποια στοιχεία είναι εφοδιασμένα με συσκευές εξαερισμού ή άλλα μέσα που επιτρέπουν στα συσσωρευμένα αέρια να διαφύγουν. Κατάλληλες θήκες ή δοχεία, μέσα για τερματική σύνδεση και τιτλοφόρηση προστίθενται για να ολοκληρωθεί η κατασκευή του στοιχείου και της μπαταρίας.

7.1: Ταξινόμηση στοιχείων και μπαταριών.

Τα ηλεκτροχημικά στοιχεία και οι μπαταρίες χαρακτηρίζονται ως πρωτεύουσες (μη επαναφορτιζόμενες) ή δευτερεύουσες (επαναφορτιζόμενες), με βάση την ικανότητά τους να επαναφορτίζονται ηλεκτρικά. Αυτές οι 2 μεγάλες κατηγορίες περιέχουν υποκατηγορίες που έχουν να κάνουν με συγκεκριμένες δομές ή σχεδιασμούς.

➤ Πρωτεύουσες μπαταρίες (primary batteries).

Αυτές οι μπαταρίες δεν έχουν τη δυνατότητα εύκολης ή αποτελεσματικής ηλεκτρικής επαναφόρτισης και, για το λόγο αυτό, εκφορτίζονται μια φορά και στη συνέχεια απορρίπτονται. Πολλά πρωτεύοντα στοιχεία στα οποία ο ηλεκτρολύτης περιέχεται σε ένα απορροφητικό ή διαχωριστικό υλικό (δεν υπάρχει ελεύθερος ή υγρός ηλεκτρολύτης) ονομάζονται «ξηρά στοιχεία».

Η πρωτεύουσα μπαταρία είναι μια βολική, συνήθως οικονομική, ελαφριά πηγή συσκευασμένης ενέργειας για φορητές ηλεκτρονικές και ηλεκτρικές συσκευές, φωτισμό, φωτογραφικό εξοπλισμό, παιχνίδια, εφεδρικές μνήμες και μια σειρά από άλλες εφαρμογές. Γενικά, τα πλεονεκτήματα των πρωτευουσών μπαταριών είναι η καλή διάρκεια ζωής «ραφίου» (shelf life), η υψηλή ενεργειακή πυκνότητα σε χαμηλούς έως μέτριους ρυθμούς εκφόρτισης και η μικρή (ή καθόλου) ανάγκη για συντήρηση και ευκολία στη χρήση. Παρόλο που μεγάλες πρωτεύουσες μπαταρίες υψηλής χωρητικότητας χρησιμοποιούνται σε στρατιωτικές εφαρμογές, σηματοδότηση, ενέργεια αναμονής (standby power) και αλλού, η συντριπτική πλειοψηφία των πρωτευουσών μπαταριών είναι οι γνωστές σε όλους μας μπαταρίες

ενός κυλινδρικού στοιχείου και flat button ή πολυκυτταρικές μπαταρίες που χρησιμοποιούν αυτά τα στοιχεία σαν συστατικά.

➤ Δευτερεύουσες ή επαναφορτιζόμενες μπαταρίες (secondary or rechargeable).

Αυτές οι μπαταρίες μπορούν να επαναφορτιστούν ηλεκτρικά, μετά από την εκφόρτισή τους, στην αρχική τους κατάσταση με τη διαδικασία ροής ρεύματος μέσα από αυτές στην αντίθετη όμως κατεύθυνση από αυτή του ρεύματος εκφόρτισης. Είναι συσκευές αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας και είναι επίσης γνωστές σαν «μπαταρίες αποθήκευσης» (storage batteries) ή «συσσωρευτές» (accumulators).

Οι εφαρμογές των δευτερευουσών μπαταριών χωρίζονται σε δύο κύριες κατηγορίες:

- Εφαρμογές στις οποίες η δευτερεύουσα μπαταρία χρησιμοποιείται σαν μια συσκευή αποθήκευσης ενέργειας, που συνήθως είναι ηλεκτρικά συνδεδεμένη και φορτίζεται από μια κύρια πηγή ενέργειας και μεταφέρει την ενέργειά της στο φορτίο όταν της ζητηθεί. Παραδείγματα αυτής της κατηγορίας είναι συστήματα αυτοκινήτων και αεροσκαφών, πηγές ενέργειας αναμονής (UPS) για να μην υπάρξει αποτυχία σε περίπτωση ανάγκης, υβριδικά ηλεκτρικά οχήματα και συστήματα στάσιμης ενεργειακής αποθήκευσης (Stationary Energy Storage – SES) για ηλεκτρική χρήση ανύψωσης φορτίου.
- Εφαρμογές στις οποίες η δευτερεύουσα μπαταρία χρησιμοποιείται ή εκφορτίζεται ουσιαστικά σαν μια πρωτεύουσα μπαταρία, αλλά αντί να απορρίπτεται μετά τη χρήση, και επαναφορτίζεται. Οι δευτερεύουσες μπαταρίες χρησιμοποιούνται κατ' αυτό τον τρόπο, για παράδειγμα, σε φορητές ηλεκτρονικές καταναλώσεις, ηλεκτρικά εργαλεία, ηλεκτρικά οχήματα κλπ, για μείωση του κόστους (αφού μπορούν να επαναφορτιστούν αντί να αντικατασταθούν) και σε εφαρμογές που απαιτούν άντληση ενέργειας πέρα από τα όρια μιας πρωτεύουσας μπαταρίας.

Οι δευτερεύουσες μπαταρίες χαρακτηρίζονται (εκτός από την ικανότητά τους να επαναφορτίζονται) από υψηλή πυκνότητα ισχύος, υψηλό ρυθμό εκφόρτισης, επίπεδες καμπύλες εκφόρτισης και καλές επιδόσεις σε χαμηλές θερμοκρασίες. Οι ενεργειακές τους πυκνότητες είναι γενικά χαμηλότερες από αυτές των πρωτευουσών μπαταριών και η κατακράτηση φορτίου (Charge Retention) είναι επίσης φτωχότερη από ότι στις περισσότερες πρωτεύουσες μπαταρίες, όμως η χωρητικότητα που χάνεται σε μια δευτερεύουσα μπαταρία μπορεί να ανακτηθεί με την επαναφόρτιση.

Μερικές μπαταρίες, γνωστές σαν «μηχανικά επαναφορτιζόμενες», «επαναφορτίζονται» αντικαθιστώντας το εκφορτισμένο ή απεμπλουτισμένο ηλεκτρόδιο, συνήθως το μέταλλο της ανόδου με ένα καινούριο. Κάποιες από τις μπαταρίες μετάλλου/αέρος (metal/air) είναι χαρακτηριστικές αυτού του τύπου μπαταρίας.

➤ Μπαταρίες αποθήκευσης (Reserve Batteries).

Σε αυτούς τους τύπους, ένα βασικό συστατικό χωρίζεται από την υπόλοιπη μπαταρία πριν από την ενεργοποίησή της. Σε αυτήν την κατάσταση ο κίνδυνος χημικής αλλοίωσης ή αυτοεκφόρτισης ουσιαστικά εξαλείφεται και έτσι η μπαταρία

μπορεί να αποθηκευτεί για μεγάλο χρονικό διάστημα. Συνήθως το συστατικό που απομονώνεται είναι ο ηλεκτρολύτης. Σε άλλα συστήματα, όπως η θερμική μπαταρία, η μπαταρία είναι ανενεργή μέχρι να θερμανθεί, λιώνοντας έναν στερεό ηλεκτρολύτη ο οποίος μετά γίνεται αγωγίμος. Ο σχεδιασμός των μπαταριών αποθήκευσης χρησιμοποιείται για να ανταποκριθεί σε υπερβολικά μεγάλες ή περιβαλλοντικά ακραίες απαιτήσεις αποθήκευσης οι οποίες δεν μπορούν να ικανοποιηθούν από μια «ενεργή» μπαταρία που έχει σχεδιαστεί για τα ίδια χαρακτηριστικά απόδοσης. Τέτοιες μπαταρίες χρησιμοποιούνται, για παράδειγμα, για να αποδώσουν μεγάλη ισχύ για σχετικά μικρά χρονικά διαστήματα σε πυραύλους, τορπίλες και άλλα οπλικά συστήματα.

7.2: Μπαταρίες που χρησιμοποιούνται στα φωτοβολταϊκά συστήματα.

Οι μπαταρίες που χρησιμοποιούνται στα φωτοβολταϊκά συστήματα είναι επαναφορτιζόμενες μπαταρίες και μερικά παραδείγματα επαναφορτιζόμενων συστημάτων μπαταριών είναι:

- Μολύβδου οξέος (Lead acid)
- Νικελίου καδμίου (Nickel cadmium)
- Νικελίου σιδήρου (Nickel iron)
- Υδριδικές νικελίου (Nickel hydride)
- Επαναφορτιζόμενες λιθίου διάφορων τύπων

Από αυτές μόνο οι μολύβδου οξέος και σε μικρό βαθμό οι νικελίου καδμίου χρησιμοποιούνται στα φωτοβολταϊκά συστήματα μέχρι σήμερα. Οι μπαταρίες νικελίου σιδήρου σπάνια χρησιμοποιούνται σε εφαρμογές, και υποφέρουν από έναν ιδιαίτερα υψηλό ρυθμό αυτοεκφόρτισης κάτι το οποίο τις καθιστά ακατάλληλες για τις περισσότερες φωτοβολταϊκές εφαρμογές. Οι υδριδικές μπαταρίες νικελίου και οι επαναφορτιζόμενες μπαταρίες λιθίου είναι σχετικά σύγχρονες εξελίξεις και οι κύριες εφαρμογές τους μέχρι σήμερα είναι σε υψηλής αξίας ηλεκτρονικά αγαθά όπως είναι τα κινητά τηλέφωνα και οι φορητοί ηλεκτρονικοί υπολογιστές. Δεν είναι ευρέως διαθέσιμες στις μεγάλες χωρητικότητες (εκατοντάδες ή ακόμα και χιλιάδες Ah) που απαιτούνται σε μεγάλα φωτοβολταϊκά συστήματα. Είναι αρκετά πιο ακριβές ανά kWh σήμερα σε σχέση με τις μπαταρίες μολύβδου οξέος και συχνά χρειάζονται μια κάπως περίπλοκη προστασία για το κύκλωμα φόρτισής τους, κάτι το οποίο δεν είναι εύκολο να πραγματοποιηθεί με τη μεταβλητή φύση των ρευμάτων φόρτισης των φωτοβολταϊκών. Τα τελευταία χρόνια, ωστόσο, η πρόοδος που έχει σημειωθεί στις μπαταρίες λιθίου έχει ανοίξει το δρόμο για τη χρησιμοποίησή τους σε φωτοβολταϊκά συστήματα. Υπάρχουν και άλλοι τύποι επαναφορτιζόμενων μπαταριών υπό ανάπτυξη για μελλοντικές εφαρμογές μπαταριών σε ηλεκτρικά οχήματα ή ανύψωση φορτίου. Δεν είναι εμπορικά διαθέσιμοι ακόμα, εκτός από κάποιες περιορισμένες περιπτώσεις. Δεν υπάρχει κάτι που να δηλώνει προς το παρόν ότι κάποιες από αυτές τις μπαταρίες θα έχουν τις απαιτούμενες ιδιότητες ή την τιμή για να είναι ανταγωνιστικές στα φωτοβολταϊκά συστήματα αλλά μπορούμε πάντα να ελπίζουμε.

7.3: Τι λειτουργία επιτελούν στο φωτοβολταϊκό σύστημα;

Υπάρχουν τρεις κύριες λειτουργίες που μια μπαταρία επιτελεί σε ένα φωτοβολταϊκό σύστημα:

- ✓ Δρα σαν ένα βοηθητικό ποσό ενέργειας για να εξαλείψει την αναντιστοιχία μεταξύ της διαθέσιμης από τη φωτοβολταϊκή συστοιχία ισχύος και της απαιτούμενης από το φορτίο ισχύος. Η ισχύς που παράγει ένα φωτοβολταϊκό πλαίσιο ή συστοιχία κάθε στιγμή ποικίλει ανάλογα με την ποσότητα ακτινοβολίας που προσκρούει σε αυτή (και είναι μηδέν το βράδυ). Στα περισσότερα ηλεκτρικά φορτία χρειάζεται να αποδίδεται ένα σταθερό ποσό ισχύος. Η μπαταρία παρέχει ισχύ όταν η φωτοβολταϊκή συστοιχία δεν παράγει τίποτα κατά τη διάρκεια της νύχτας ή όταν παράγει λιγότερη ισχύ από όση απαιτεί το ηλεκτρικό φορτίο κατά τη διάρκεια της ημέρας. Επίσης, η μπαταρία, απορροφά την περίσσεια ισχύος από την φωτοβολταϊκή συστοιχία όταν αυτή παράγει περισσότερη ισχύ από ότι το φορτίο απαιτεί.
- ✓ Η μπαταρία παρέχει ένα αποθεματικό ενέργειας (αυτονομία του συστήματος) το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί κατά τη διάρκεια μερικών ημερών πολύ συννεφιασμένου καιρού, ή σε κάποια περίπτωση ανάγκης εάν παρουσιαστεί βλάβη σε κάποιο τμήμα του φωτοβολταϊκού συστήματος.
- ✓ Η μπαταρία αποτρέπει μεγάλες, πιθανόν καταστροφικές, διακυμάνσεις τάσης. Μια φωτοβολταϊκή συστοιχία μπορεί να αποδώσει ισχύ σε κάθε σημείο μεταξύ βραχυκυκλώματος και ανοικτού κυκλώματος, ανάλογα με τα χαρακτηριστικά του φορτίου που είναι συνδεδεμένο σε αυτήν. Σε ένα σύστημα ονομαστικής τάσης 12V, για παράδειγμα, αυτό σημαίνει ότι οποιαδήποτε τιμή μεταξύ 0V και περίπου 20V είναι πιθανό να προκύψει από τη φωτοβολταϊκή συστοιχία. Πολλά φορτία δεν μπορούν να λειτουργήσουν σε ένα τόσο μεγάλο εύρος τάσεων. Η τοποθέτηση μιας μπαταρίας μεταξύ της φωτοβολταϊκής συστοιχίας και του φορτίου διασφαλίζει ότι το φορτίο δε θα βλέπει τίποτα έξω από το εύρος τάσεων στο οποίο η μπαταρία μπορεί να λειτουργήσει στην περίπτωση ενός συστήματος 12V από περίπου 9,5 V σε βαθιά εκφόρτιση μέχρι περίπου 16V υπό συνθήκες ακραίας φόρτισης.

7.4: Απαιτήσεις που πρέπει να ικανοποιούν.

Οι απαιτήσεις που πρέπει να ικανοποιούν τα συστήματα αποθήκευσης σε ένα αυτόνομο σύστημα παραγωγής ισχύος είναι πολυάριθμες. Μερικές από αυτές έρχονται σε αντίθεση η μία με την άλλη και επομένως δεν μπορούν να ικανοποιηθούν ταυτόχρονα. Ορισμένες από τις πιο σημαντικές απαιτήσεις παρουσιάζονται παρακάτω:

- Υψηλή ενεργειακή απόδοση
- Μεγάλη διάρκεια ζωής (σε χρόνια)
- Μεγάλη διάρκεια ζωής από την άποψη της απόδοσης χωρητικότητας
- Χαμηλό κόστος
- Καλή αποδοτικότητα φόρτισης ακόμα και σε πολύ μικρά ρεύματα
- Χαμηλός ρυθμός αυτοεκφόρτισης
- Μικρές απαιτήσεις συντήρησης
- Υψηλή διαθεσιμότητα παγκοσμίως
- Υψηλή διαθεσιμότητα ενέργειας
- Εύκολη εκτίμηση της κατάστασης φόρτισης

-
- Χαμηλή έκθεση σε ακατάλληλες συνθήκες
 - Εύκολα ανακυκλώσιμη
 - Χαμηλή τοξικότητα των υλικών
 - Ασφαλής συμπεριφορά σε περίπτωση υπερφόρτισης ή βαθειάς 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)
 - Ικανότητα γρήγορης φόρτισης
 - Κανένα φαινόμενο μνήμης
 - Χαμηλές εκρηκτικές δυνατότητες
 - Υψηλή αξιοπιστία στη λειτουργία – πολύς χρόνος μεταξύ αστοχιών.

Ο σχεδιασμός αυτόνομων συστημάτων παροχής ενέργειας θα πρέπει να εξετάζει τις ιδιότητες και τις απαιτήσεις του συστήματος αποθήκευσης από την αρχή. Αν σχεδιαστεί το σύστημα και στη συνέχεια προστεθεί το σύστημα αποθήκευσης, θα έχουμε αμελήσει τις πολυάριθμες αλληλεπιδράσεις ανάμεσα στη μπαταρία, τα περιφερειακά και συνολικά στο σχεδιασμό και τον έλεγχο όλου του συστήματος. Ως εκ τούτου, μόνο ένας ολοκληρωμένος προγραμματισμός του συστήματος μας επιτρέπει να κάνουμε χρήση όλων των συνεργειών και να σχεδιάσουμε συστήματα τα οποία θα είναι σε θέση να λειτουργούν με το ελάχιστο κόστος καθ'όλη τη διάρκεια ζωής τους

7.5: Χωρητικότητα

Χωρητικότητα μιας μπαταρίας C (από την αγγλική λέξη Capacity) είναι το συνολικό ηλεκτρικό φορτίο που μπορούμε να πάρουμε από μια πλήρως φορτισμένη μπαταρία, κάτω από συγκεκριμένες συνθήκες εκφόρτισης (ρυθμό εκφόρτισης, τάση και θερμοκρασία). Η χωρητικότητα που μπορεί να δώσει μια μπαταρία είναι άμεσα συνδεδεμένη με το ποσό των υλικών ανόδου και καθόδου (δηλαδή των ενεργών υλικών) που περιέχει. Η χωρητικότητα ενός στοιχείου/μπαταρίας μετριέται συνήθως σε αμπερώρες (Ah) και καθορίζεται από ένα σταθερό ρεύμα εκφόρτισης που εκφορτίζει τη μπαταρία μέχρι μια ορισμένη τελική τάση εκφόρτισης (συνήθως 1.75 V περίπου). Η χωρητικότητα εξαρτάται σημαντικά από το ρεύμα εκφόρτισης και τη θερμοκρασία. Ο υπολογισμός της χωρητικότητας γίνεται πολλαπλασιάζοντας την τιμή του ρεύματος εκφόρτισης με το χρόνο που χρειάζεται για να φτάσει η μπαταρία στην τελική τάση. Οι κατασκευαστές μπαταριών μπορούν να ορίσουν οι ίδιοι το ρεύμα και την τελική τάση εκφόρτισης. Ο όρος που χρησιμοποιείται συνήθως για να περιγράψει την ικανότητα της μπαταρίας να μεταφέρει ρεύμα είναι η ονομαστική της χωρητικότητα. Οι κατασκευαστές συχνά καθορίζουν την ονομαστική χωρητικότητα των μπαταριών τους σε αμπερώρες για ένα συγκεκριμένο ρυθμό εκφόρτισης. Για παράδειγμα, αυτό σημαίνει ότι μια μπαταρία 200Ah (για ένα ρυθμό 10 ωρών) θα μεταφέρει 20 A ρεύματος για 10 ώρες κάτω από κανονικές συνθήκες θερμοκρασίας (25°C ή 77°F). Εναλλακτικά, ένας ρυθμός εκφόρτισης μπορεί να καθορίζεται από το ρυθμό φόρτισης, C - rate, ο οποίος εκφράζεται σαν ένα πολλαπλάσιο της ονομαστικής χωρητικότητας του στοιχείου ή της μπαταρίας. Για παράδειγμα, μια μπαταρία μπορεί να έχει χωρητικότητα 200 Ah για ένα ρυθμό εκφόρτισης C/10. Ο ρυθμός εκφόρτισης καθορίζεται από την παρακάτω εξίσωση:

$$C/10(A) = 200 Ah/10h = 20A$$

Η χωρητικότητα της μπαταρίας ποικίλει για διάφορους ρυθμούς εκφόρτισης. Όσο πιο μεγάλος είναι ο ρυθμός εκφόρτισης, τόσο μικρότερη είναι η χωρητικότητα του στοιχείου. Χαμηλότεροι ρυθμοί εκφόρτισης έχουν ως αποτέλεσμα μεγαλύτερη χωρητικότητα. Οι κατασκευαστές μπαταριών συνήθως ορίζουν μερικούς ρυθμούς εκφόρτισης (σε αμπέρ) μαζί με τους χρόνους εκφόρτισης που συνδέονται με αυτούς (σε ώρες). Η χωρητικότητα της μπαταρίας για κάθε έναν από αυτούς τους ρυθμούς εκφόρτισης υπολογίζεται όπως αναφέρθηκε παραπάνω.

Η ονομαστική χωρητικότητα για τις μπαταρίες μολύβδου οξέος συνήθως καθορίζεται για ρυθμούς 8-ωρών , 10-ωρών ή 20-ωρών (C/8, C/10, C/20). Οι UPS μπαταρίες βαθμονομούνται σε 8 ωρών χωρητικότητες και οι μπαταρίες τηλεπικοινωνιών σε 10 ωρών χωρητικότητες.

Η χωρητικότητα όλων των μπαταριών μολύβδου οξέος (για δεδομένη τελική τάση) μειώνεται στις χαμηλές θερμοκρασίες. Αυτό συμβαίνει λόγω πολλών παραγόντων μεταξύ των οποίων είναι η αυξημένη αντίσταση και ο μειωμένος ρυθμός διάχυσης στον ηλεκτρολύτη. Το δεύτερο φαινόμενο σημαίνει ότι οι μπαταρίες μολύβδου οξέος με μεγάλο απόθεμα οξέος τείνουν να χάνουν περισσότερη χωρητικότητα στις χαμηλές θερμοκρασίες από ότι αυτές που έχουν μικρότερο όγκο οξέος. Οι ονομαστικές χωρητικότητες συνήθως αναφέρονται σε θερμοκρασία λειτουργίας 20°C. Αν μια μπαταρία χρειάζεται να παρέχει αυτονομία σε χαμηλότερες θερμοκρασίες λειτουργίας, είναι συνήθως πρακτική να αυξάνεται η ονομαστική χωρητικότητα για να ληφθεί υπόψιν η μειωμένη χωρητικότητα για τη χειρότερη θερμοκρασία. Οι χωρητικότητες αυξάνονται ελαφρώς για θερμοκρασίες πάνω από 20°C αλλά δεν είναι φυσιολογικό να μειώνεται η καθορισμένη χωρητικότητα της μπαταρίας λόγω αυτού.

Στις χωρητικότητες που δίνονται από τον κατασκευαστή πρέπει να αναφέρεται η τελική τάση στην οποία αυτές εφαρμόζονται. Για μπαταρίες που χρησιμοποιούνται στα φωτοβολταϊκά συστήματα, η τάση αυτή είναι συνήθως μεταξύ 1.75V και 1.85V ανά στοιχείο. Όταν συγκρίνονται δύο διαφορετικές μπαταρίες, πρέπει οι προς σύγκριση χωρητικότητες να είναι ως προς την ίδια τελική τάση. Προφανώς, όσο χαμηλότερη είναι η τελική τάση, τόσο μεγαλύτερη θα είναι η διαθέσιμη χωρητικότητα.

7.6: Τάση

Για να είναι ικανό ένα στοιχείο ή μια μπαταρία να μεταφέρει ηλεκτρικό ρεύμα σε ένα εξωτερικό κύκλωμα, πρέπει να υπάρχει μια διαφορά δυναμικού ανάμεσα στο θετικό και το αρνητικό ηλεκτρόδιο. Αυτή η διαφορά δυναμικού, η οποία μετριέται σε volts αναφέρεται ως τάση του στοιχείου ή της μπαταρίας. Ένα μόνο στοιχείο μολύβδου οξέος έχει διαφορά δυναμικού περίπου 2 V υπό φορτίο. Ένα πλήρως εκφορτισμένο στοιχείο μολύβδου οξέος έχει διαφορά δυναμικού περίπου 1.75 V, ανάλογα με το ρυθμό εκφόρτισης. Η τάση ισορροπίας ενός στοιχείου είναι συνάρτηση της συγκέντρωσης του ηλεκτρολύτη και της θερμοκρασίας. Η τάση ανοικτού κυκλώματος (OCV) μπορεί να μετρηθεί εάν κανένα εξωτερικό ρεύμα δε διαρρέει τη μπαταρία. Αυτή ταυτίζεται με την τάση ισορροπίας αν όλες οι εσωτερικές υπερτάσεις, που προκαλούνται κυρίως από διαδικασίες διάχυσης, έχουν σταθεροποιηθεί. Ο χρόνος για να επιτευχθεί αυτό το στάδιο εξαρτάται από την

τεχνολογία της μπαταρίας και τις συνθήκες λειτουργίας και κυμαίνεται από μερικά δευτερόλεπτα μέχρι πολλές ώρες. Η OCV μιας μπαταρίας εξαρτάται από το πρότυπο δυναμικό των χρησιμοποιούμενων ενεργών υλικών και το ποσό του φορτίου που απομένει. Το λίθιο χρησιμοποιείται ευρέως ως άνοδος σε πρωτεύουσες και δευτερεύουσες μπαταρίες γιατί προσφέρει το υψηλότερο πρότυπο δυναμικό από όλες τις χημείες των μπαταριών. Η τάση του στοιχείου υπό φορτίο, η τάση κλειστού κυκλώματος (CCV), εξαρτάται από το ρεύμα, τη στάθμη φόρτισης και το ιστορικό του στοιχείου, όπως τη διάρκεια ζωής του ή το χρόνο αποθήκευσης.

Τυπικά, οι ονομαστικές τάσεις των στοιχείων είναι μεταξύ 1.2 V και 3.6 V. Ως εκ τούτου, αρκετά στοιχεία συνδέονται συνήθως σε σειρά για να χτίσουν μια αλυσίδα με μεγαλύτερη ονομαστική τάση. Επομένως, η ονομαστική τάση μιας μπαταρίας καθορίζεται από τον αριθμό των στοιχείων που είναι συνδεδεμένα σε σειρά επί την ονομαστική τάση του ενός στοιχείου. Οι μπαταρίες συχνά πωλούνται σε δομές, στις οποίες είναι ενσωματωμένα και συνδεδεμένα σε σειρά μερικά στοιχεία με μόνο ένα σετ ακροδεκτών. Ένα γνωστό παράδειγμα είναι οι SLI μπαταρίες αυτοκινήτων, όπου 6 στοιχεία συνδέονται σε σειρά αλλά πωλούνται ως ένα μπλοκ των 12 V. (Το SLI προέρχεται από τις λέξεις starting, lighting, ignition που σημαίνουν εκκίνηση, φωτισμός και ανάφλεξη.)

Η τελική τάση φόρτισης (end-of-charge voltage) καθορίζει ένα άνω όριο για την τάση. Η φόρτιση μιας μπαταρίας δε σταματά όταν φτάσει την τελική τάση φόρτισης (όπως συμβαίνει με την τελική τάση εκφόρτισης – end-of-discharge voltage), αλλά το ρεύμα φόρτισης μειώνεται κατάλληλα για να διατηρεί την τελική τάση φόρτισης με την πάροδο του χρόνου.

7.7: Στάθμη φόρτισης

Η στάθμη φόρτισης (State Of Charge – SOC) δίνει τη χωρητικότητα που μπορεί να εκφορτιστεί από μια μπαταρία σε μια συγκεκριμένη στιγμή. Εκατό τοις εκατό στάθμη φόρτισης σημαίνει ότι η μπαταρία είναι πλήρως φορτισμένη, ενώ 0% στάθμη φόρτισης σημαίνει ότι η ονομαστική χωρητικότητα έχει εκφορτιστεί.

Για τη λειτουργία και τη διαχείριση της ενέργειας στα αυτόνομα συστήματα παραγωγής ενέργειας, η χωρητικότητα της μπαταρίας και η πραγματική στάθμη φόρτισης είναι οι πιο σημαντικές παράμετροι. Ο καθορισμός της στάθμης φόρτισης είναι δύσκολος σε αυτόνομα συστήματα παραγωγής ενέργειας με ανανεώσιμες πηγές ενέργειας επειδή η πλήρης φόρτιση της μπαταρίας όπως γίνεται συχνά με τους συμβατικούς φορτιστές μπαταρίας είναι πολύ ασυνήθιστη.

Αν μας δίνεται η στάθμη φόρτισης, το ερώτημα που εγείρεται είναι ποια είναι η σημασία των συγκεκριμένων τιμών. Υπάρχουν επιμέρους ορισμοί για τη χωρητικότητα της μπαταρίας και οι αντίστοιχοι ορισμοί για τη στάθμη φόρτισης. Η μετρούμενη χωρητικότητα μιας μπαταρίας μπορεί να είναι μικρότερη ή ακόμα και μεγαλύτερη από την ονομαστική χωρητικότητα που δίνεται από τον κατασκευαστή. Σε όλη τη διάρκεια ζωής της μπαταρίας, η μετρούμενη χωρητικότητα μειώνεται όλο και περισσότερο λόγω των επιπτώσεων της γήρανσης. Η πρακτική χωρητικότητα είναι μικρότερη από τη μετρούμενη χωρητικότητα. Λόγω των ειδικών συνθηκών των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, οι μπαταρίες δεν επαναφορτίζονται πλήρως σχεδόν ποτέ (ο αριθμός των ωρών φόρτισης είναι περιορισμένος). Η μέγιστη στάθμη φόρτισης που μπορεί να επιτευχθεί κατά τη φυσιολογική λειτουργία του συστήματος ονομάζεται στάθμη φόρτισης πλήρους ακτινοβολίας (solar-full state of charge).

Επίσης, το σύστημα καθορίζει ένα κριτήριο τέλους εκφόρτισης για να αποφευχθεί η βαθειά εκφόρτιση της μπαταρίας και κατά συνέπεια η επιτάχυνση της γήρανσης, το οποίο συνήθως διαφέρει από τα κριτήρια τέλους εκφόρτισης που χρησιμοποιούνται στους ελέγχους της χωρητικότητας. Έτσι, η πρακτική χωρητικότητα της μπαταρίας είναι μικρότερη από τη μετρούμενη χωρητικότητα.

Η ονομαστική χωρητικότητα ορίζεται ως η χωρητικότητα για εκφόρτιση 10 ωρών (C/10). Αυτή είναι η βάση για τον καθορισμό της στάθμης φόρτισης. Η ονομαστική χωρητικότητα δεν αλλάζει κατά τη διάρκεια ζωής της μπαταρίας, ενώ η μετρούμενη χωρητικότητα μεταβάλλεται με το χρόνο. Η στάθμη φόρτισης που σχετίζεται με τη μετρούμενη χωρητικότητα ονομάζεται σχετική στάθμη φόρτισης (relative State Of Charge – SOC_r). Η στάθμη φόρτισης που σχετίζεται με την πρακτική χωρητικότητα λέγεται πρακτική στάθμη φόρτισης (practical State Of Charge – SOC_p). Η SOC_p είναι 100% αν μια solar-full στάθμη φόρτισης έχει αποκτηθεί.

7.8: Βάθος εκφόρτισης

Το βάθος εκφόρτισης (Depth Of Discharge – DOD) είναι το κλάσμα ή το ποσοστό της χωρητικότητας που έχει αφαιρεθεί από την πλήρως φορτισμένη μπαταρία. Το αντίθετο, δηλαδή, από τη στάθμη φόρτισης που όπως είδαμε παραπάνω είναι το ποσοστό της χωρητικότητας που είναι ακόμα διαθέσιμη στη μπαταρία. Παρακάτω φαίνεται η απλή σχέση μεταξύ των δύο:

Σχέση μεταξύ SOC και DOD:

Στάθμη φόρτισης (SOC)	Βάθος εκφόρτισης (DOD)
100%	0%
75%	25%
50%	50%
25%	75%
0%	100%

Παρόλα αυτά, αυτές οι τιμές για τη στάθμη φόρτισης και το βάθος εκφόρτισης συνήθως αναφέρονται στην ονομαστική χωρητικότητα (π.χ. τη χωρητικότητα για το ρυθμό των 10 ωρών). Για χαμηλότερα ρεύματα εκφόρτισης, μπορεί να συναντήσουμε αναφορές για DOD μεγαλύτερο του 100%. Αυτό απλά σημαίνει ότι η μπαταρία μπορεί να παράγει περισσότερο από το 100% της ονομαστικής της χωρητικότητας σε ρυθμούς εκφόρτισης χαμηλότερους από τον ονομαστικό ρυθμό εκφόρτισης.

7.9: Κύκλος / Κύκλος ζωής

Με τον όρο κύκλος, περιγράφουμε την επαναλαμβανόμενη διαδικασία εκφόρτισης και φόρτισης που συμβαίνει σε μια μπαταρία σε λειτουργία. Ένας κύκλος ισοδυναμεί με μια εκφόρτιση που ακολουθείται από μια φόρτιση. Ο κύκλος ζωής είναι ένα μέτρο που αντιστοιχεί σε πόσους κύκλους μια μπαταρία μπορεί να δώσει στη διάρκεια της χρήσιμης ζωής της. Συνήθως αντιστοιχεί στον αριθμό των κύκλων εκφόρτισης για ένα συγκεκριμένο DOD που η μπαταρία μπορεί να πραγματοποιήσει

πριν η διαθέσιμη χωρητικότητά της μειωθεί σε ένα συγκεκριμένο ποσοστό (συνήθως 80%) της αρχικής χωρητικότητας.

Ο κύκλος ζωής εξαρτάται σε πολύ μεγάλο βαθμό από το βάθος του κάθε κύκλου. Εάν ο κύκλος ζωής μετριέται πειραματικά για ένα υψηλό DOD, τότε σε χαμηλότερα DODs το αποτέλεσμα του γινομένου του αριθμού των κύκλων επί το DOD είναι περίπου σταθερό, δηλαδή ο κύκλος εργασιών της χωρητικότητας (capacity turnover) είναι περίπου ο ίδιος για χαμηλότερα DODs.

Χρειάζεται ιδιαίτερη προσοχή όταν αναλύουμε τον κύκλο ζωής που δίνεται από τους κατασκευαστές μπαταρίας. Συνήθως μετριέται σε σχετικά μεγάλα ρεύματα (μικρούς χρόνους εκφόρτισης) και το αναγραφόμενο DOD συχνά αναφέρεται στη χωρητικότητα που είναι διαθέσιμη σε αυτό το μικρό χρόνο εκφόρτισης. Ας δώσουμε ένα πιο συγκεκριμένο παράδειγμα. Ένας κατασκευαστής δίνει κύκλο ζωής 400 κύκλων για 50% DOD για το προϊόν του. Σχολαστικότερη παρατήρηση των στοιχείων που δίνει ο κατασκευαστής δείχνουν ότι αυτό έγινε για ρυθμό εκφόρτισης 5 ωρών και το DOD που αναγράφεται αναφέρεται στη χωρητικότητα για αυτό το ρυθμό. Η ονομαστική χωρητικότητα αυτής της μπαταρίας όμως έχει υπολογιστεί για ρυθμό εκφόρτισης 20 ωρών και η χωρητικότητα για ρυθμό εκφόρτισης 5 ωρών είναι το 85% της ονομαστικής χωρητικότητας. Παρόλο που ο κύκλος εργασιών της χωρητικότητας είναι $400 \times 50\% = 200$ για τον ρυθμό των 5 ωρών, όταν αναφερόμαστε στις πραγματικές Ah είναι μόνο $400 \times 50\% \times 85\% = 170$ για την ονομαστική χωρητικότητα (για ρυθμό 20 ωρών). Αυτό σημαίνει ότι μπορούμε να περιμένουμε μόνο 340 κύκλους σε 50% DOD για την ονομαστική χωρητικότητα, όχι 400.

Στις δοκιμές του κύκλου ζωής, στις μπαταρίες πραγματοποιείται μια πλήρης επαναφόρτιση μετά από κάθε εκφόρτιση. Στα φωτοβολταϊκά συστήματα, η επαναφόρτιση δεν είναι τόσο πλήρης. Είναι δηλαδή συνετό, σαν παράγοντας ασφαλείας, να φθείρεται κάπως ο κύκλος ζωής όταν χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό των χρόνων ζωής σε φωτοβολταϊκά συστήματα. Συνήθως χρησιμοποιείται ένα ποσοστό 80% του κύκλου ζωής που προκύπτει από τις δοκιμές. Έτσι, στο παραπάνω παράδειγμα για την μπαταρία που ξεκίνησε στους 400 κύκλους για 50% DOD και μειώθηκε στους 340 κύκλους για το πραγματικό 50% DOD, θα παίρναμε μόνο 272 τέτοιους κύκλους σε συνθήκες φωτοβολταϊκού συστήματος. Τα πρώτα χρόνια του σχεδιασμού φωτοβολταϊκών συστημάτων, η «εύκολη λύση» για την αύξηση της ζωής της μπαταρίας όταν αυτή ήταν απογοητευτικά χαμηλή σε κάποιες περιπτώσεις, ήταν η αναζήτηση μιας μπαταρίας με αυξημένο κύκλο ζωής. Δυστυχώς, ο κύκλος ζωής δεν είναι ο μόνος παράγοντας που καθορίζει το χρόνο ζωής της μπαταρίας στα φωτοβολταϊκά συστήματα και σε μερικές περιπτώσεις αυτή η αλλαγή οδηγούσε σε ακόμα μικρότερο χρόνο ζωής.

Στα αυτόνομα συστήματα παρατηρούνται πολλοί μερικοί κύκλοι (partial cycles) μέσα σε έναν μακρόκυκλο (macrocycle). Ένας μακρόκυκλος είναι ο χρόνος μεταξύ 2 πλήρως φορτισμένων καταστάσεων, ενώ ο μερικός κύκλος ορίζεται ως η μεταφορά φορτίου μέσα στο χρόνο της αλλαγής της κατεύθυνσης του ρεύματος της μπαταρίας. Γενικά, η μεταφορά φορτίου της μπαταρίας στα αυτόνομα συστήματα παραγωγής ενέργειας καθορίζεται από της απόδοση χωρητικότητας (capacity throughput). Αυτή δίνεται από τις συσσωρευμένες αμπερώρες που έχουν εκφορτιστεί από τη μπαταρία δια την ονομαστική χωρητικότητα. Ο αριθμός που προκύπτει είναι επίσημα ισοδύναμος με τον αριθμό των 100% DOD κύκλων που πραγματοποιούνται κατά τη διάρκεια της ζωής της μπαταρίας. Αυτός ο κανονικοποιημένος αριθμός αναφέρεται ως απόδοση χωρητικότητας.

7.10: Αποδοτικότητα

Η αποδοτικότητα αμπερωρών nAh ορίζεται ως ο λόγος των αμπερωρών που εκφορτίζονται από τη μπαταρία προς τις αμπερώρες που φορτίζονται στην μπαταρία μέσα σε μια συγκεκριμένη χρονική περίοδο (τυπικές περιόδους είναι ένας μήνας ή ένας χρόνος ή μια περίοδος ανάμεσα σε δύο διαδικασίες πλήρους φόρτισης). Συχνά, αντί για την αποδοτικότητα αμπερωρών χρησιμοποιείται ο παράγοντας φόρτισης, ο οποίος ορίζεται ως $1/nAh$. Για μια βιώσιμη λειτουργία μπαταρίας είναι απαραίτητοι παράγοντες φόρτισης μεγαλύτεροι της μονάδας.

Η αποδοτικότητα ενέργειας nWh είναι ο λόγος της ενέργειας που εκφορτίζεται από μια μπαταρία προς την ενέργεια που φορτίζεται σε μια μπαταρία μέσα σε μια συγκεκριμένη χρονική περίοδο. Η ενεργειακή αποδοτικότητα μιας μπαταρίας είναι χαμηλότερη από την αποδοτικότητα αμπερωρών διότι οι μπαταρίες εκφορτίζονται σε χαμηλότερη τάση από ότι φορτίζονται. Επειδή η αποδοτικότητα αμπερωρών είναι κοντά στη μονάδα, θεωρείται πιο βολικό να δουλεύουμε σε Ah όταν υπολογίζουμε πόση φόρτιση χρειάζεται για να αντικατασταθεί ένα συγκεκριμένο ποσό εκφόρτισης σε φωτοβολταϊκούς (και άλλους) υπολογισμούς. Παρόλα αυτά, επειδή η αποδοτικότητα αμπερωρών για μια πλήρη επαναφόρτιση είναι πάντα ελάχιστα μικρότερη της μονάδας, πρέπει να τροφοδοτηθεί η μπαταρία με λίγο περισσότερες Ah από όσες πραγματικά καταναλώνονται στη διαδικασία φόρτισης.

Αυτό το επιπρόσθετο φορτίο, ή η υπερφόρτιση, καταναλώνεται από άλλες, ανεπιθύμητες, χημικές αντιδράσεις μέσα στη μπαταρία. Στις μπαταρίες μολύβδου οξέος και νικελίου καδμίου, αυτές είναι η παραγωγή αερίων οξυγόνου από το νερό στο θετικό ηλεκτρόδιο και στις ανοικτές μπαταρίες, η παραγωγή αερίων υδρογόνου από το νερό στο αρνητικό ηλεκτρόδιο.

7.11: Μέρη αυτονομίας

Το μέγεθος μιας μπαταρίας δίνεται από το ονομαστικό ενεργειακό περιεχόμενο (energy content) σε κατάσταση πλήρους φόρτισης. Για να εκφράσουμε το σχετικό μέγεθος μιας μπαταρίας σε σχέση με το φορτίο στα αυτόνομα συστήματα παραγωγής ενέργειας, χρησιμοποιείται συχνά ο όρος μέρες αυτονομίας. Οι μέρες αυτονομίας καθορίζονται από το λόγο του ονομαστικού ενεργειακού περιεχομένου της μπαταρίας (kWh) προς τη μέση ημερήσια ενεργειακή κατανάλωση ($kWh/ημέρα$). Επομένως, η μονάδα είναι οι «μέρες» και εκφράζει το χρονικό διάστημα για το οποίο το σύστημα μπορεί να τροφοδοτείται μόνο από την πλήρως φορτισμένη μπαταρία.

7.12: Ρεύμα μπαταρίας

Τα ρεύματα μπαταρίας δίνονται συνήθως σε σχέση με το μέγεθος της μπαταρίας. Ο λόγος είναι ότι οι εντάσεις και οι εξαρτώμενες από το ρεύμα ηλεκτρικές ιδιότητες σχετίζονται με συγκεκριμένα φορτία στα ηλεκτρόδια όσον αφορά τα ενεργά υλικά. Για μεγαλύτερες χωρητικότητες που έχουν δημιουργηθεί από την παράλληλη σύνδεση ηλεκτροδίων ή κυττάρων ή από μεγαλύτερα ηλεκτρόδια, η κανονικοποίηση του ρεύματος ως προς την χωρητικότητα είναι ένα κατάλληλο μέτρο. Ως εκ τούτου, τα ρεύματα μπαταρίας εκφράζονται ως πολλαπλάσια της χωρητικότητας σε αμπερώρες ή ως πολλαπλάσια του ρεύματος εκφόρτισης που καθορίζεται από τη χωρητικότητα. Για μια μπαταρία με χωρητικότητα $C = 100 Ah$, ένα ρεύμα $10 A$ ορίζεται ως $0.1 \times C$.

Στο παράδειγμα, τα 100 A καλούνται C – rate. Το I10 είναι το ρεύμα που εκφορτίζει μια πλήρως φορτισμένη μπαταρία μέσα σε 10 ώρες στην καθορισμένη τελική τάση εκφόρτισης. Η τυπική ονοματολογία για τη χωρητικότητα είναι Cx , όπου x είναι ο χρόνος μέσα στον οποίο η μπαταρία εκφορτίζεται. Για παράδειγμα, C10 = 10 h x I10 ή C10 = 100 Ah , I10 = 10 A = 0.1 x C10.

Αξίζει να σημειωθεί ότι το 1 x I10 δεν είναι ισοδύναμο με το 10 x I100 αφού η χωρητικότητα C100 είναι γενικά μεγαλύτερη από τη χωρητικότητα C10.

7.13: Χρόνος ζωής

Ο χρόνος ζωής μιας μπαταρίας εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τις συνθήκες λειτουργίας και από τις στρατηγικές ελέγχου. Ο όρος χρόνος ζωής, έχει διαφορετική σημασία για τις πρωτεύουσες και για τις δευτερεύουσες μπαταρίες. Ο χρόνος ζωής (ή ζωή «ραφίου» - shelf life) στις πρωτεύουσες μπαταρίες περιορίζεται από την αυτοεκφόρτισή τους και ορίζεται συνήθως σαν ο χρόνος που χρειάζεται η μπαταρία για να φτάσει το 90% της αρχικής της χωρητικότητας. Αντίθετα, ο χρόνος ζωής των δευτερευουσών μπαταριών ορίζεται σαν τη διάρκεια ικανοποιητικής επίδοσης που μετράται σε χρόνια (float ή ημερολογιακός χρόνος ζωής) ή σαν τον αριθμό των κύκλων φόρτισης/εκφόρτισης (κύκλος ζωής). Το κριτήριο τέλους ζωής για τις δευτερεύουσες μπαταρίες καθορίζεται συνήθως από το χρόνο που απαιτείται για να φτάσει η μπαταρία το 80% της αρχικής της χωρητικότητας. Ο αριθμός των κύκλων φόρτισης/εκφόρτισης τυπικά αυξάνεται καθώς μειώνεται το DOD. Και οι δύο τύποι χρόνου ζωής των δευτερευουσών μπαταριών, επηρεάζονται από έναν αριθμό συνθηκών, μεταξύ αυτών από τη θερμοκρασία κατά τη φόρτιση και την εκφόρτιση, το DOD, το ρεύμα φόρτισης και εκφόρτισης, τη μέθοδο ελέγχου της φόρτισης, την έκθεση σε υπερφόρτιση και/ή υπερεκφόρτιση και τη διάρκεια και τις συνθήκες αποθήκευσης.

7.14: Αυτοεκφόρτιση

Αυτοεκφόρτιση ονομάζεται η απώλεια φορτίου σε μια μπαταρία αν αυτή αφεθεί σε κατάσταση ανοικτού κυκλώματος για υπολογίσιμο χρονικό διάστημα. Για παράδειγμα, σε μια πρωτεύουσα μπαταρία που είναι τοποθετημένη στο ράφι ενός καταστήματος για μερικά χρόνια δε θα έχει απομείνει ολόκληρη η χωρητικότητά της.

Για επαναφορτιζόμενες μπαταρίες, ο ρυθμός αυτοεκφόρτισης συνήθως αντιστοιχεί σε ένα ποσοστό χωρητικότητας που χάνεται ανά μήνα όταν αρχίζουμε με μια πλήρως φορτισμένη μπαταρία, πρέπει όμως να αναφέρεται μαζί με τη θερμοκρασία της μπαταρίας. Σε πολλές περιπτώσεις, ο ρυθμός αυτοεκφόρτισης διπλασιάζεται για κάθε αύξηση 10°C στη θερμοκρασία της μπαταρίας. Στους περισσότερους υπολογισμούς για φωτοβολταϊκές μπαταρίες, ο ρυθμός αυτοεκφόρτισης των προτιμώμενων τύπων μπαταριών είναι χαμηλός (μεταξύ 1% και 4% ανά μήνα σε θερμοκρασία 20 – 25°C) και η αυτοεκφόρτιση απαιτεί τόσο μικρό ποσοστό επιπρόσθετης φόρτισης συγκριτικά με το φορτίο (ή ακόμα και τον ηλεκτρονικό εξοπλισμό ελέγχου) που μπορεί εύκολα να αγνοηθεί.

7.15: Κατάσταση υγείας

Η κατάσταση της υγείας ορίζεται σαν ο λόγος της πραγματικά μετρούμενης χωρητικότητας και της ονομαστικής χωρητικότητας. Η κατάσταση υγείας υποδεικνύει σε ποιο βαθμό η μπαταρία είναι ακόμα ικανή να πληρεί τις απαιτήσεις του συστήματος. Σύμφωνα με τα πρότυπα, οι μπαταρίες μολύβδου οξέος είναι στο τέλος της ζωής τους αν η κατάσταση της υγείας τους είναι κάτω από 80%. Παρόλα αυτά, οι μπαταρίες μπορούν να λειτουργήσουν για πολύ περισσότερο, οι μέρες αυτονομίας τους όμως μειώνονται αναλόγως και το σύστημα μπορεί να μην είναι σε θέση να ικανοποιήσει πλέον τις ενεργειακές απαιτήσεις. Μπαταρίες που λειτουργούν σε κατάσταση υγείας περίπου 50% συναντώνται συχνά, κυρίως σε υβριδικά συστήματα. Αυτό έχει σαν συνέπεια το μερίδιο της γεννήτριας να αυξάνεται.

7.16: Ρυθμός εκφόρτισης, ρυθμός φόρτισης

Οι ρυθμοί εκφόρτισης και φόρτισης είναι βολικές κλίμακες για τη σύγκριση ρευμάτων στα οποία φορτίζονται οι μπαταρίες, ανεξάρτητα από τη χωρητικότητά τους. Εκφράζονται ως ένας αριθμός ωρών, π.χ. ο ρυθμός 10 ωρών, 240 ωρών κλπ. Το ρεύμα στο οποίο αντιστοιχούν είναι η κατάλληλη ολική χωρητικότητα εκφόρτισης διαιρεμένη με τον αριθμό των ωρών:

$$\text{Ρυθμός} = \frac{\text{Χωρητικότητα (A)}}{\text{Χρόνος (h)}}$$

Για παράδειγμα, C/10 (ρυθμός 10 ωρών) είναι ένα ρεύμα που ισούται με την ονομαστική χωρητικότητα σε Ah διαιρεμένη δια 10.

7.17: Ενεργειακό περιεχόμενο

Στη γενική της μορφή, η ενέργεια σε Wh που μπορεί να αποδώσει η μπαταρία αναπαρίσταται από το γινόμενο

$$E = \int_0^t U(t) * I(t) * dt \quad Wh$$

Όπου U η τάση σε V, I το ρεύμα εκφόρτισης σε A και t ο χρόνος εκφόρτισης σε ώρες. Οι μετρήσεις χωρητικότητας συνήθως διεξάγονται σε ένα φορτίο σταθερού ρεύματος και η ενέργεια εξόδου υπολογίζεται πολλαπλασιάζοντας τη χωρητικότητα που μετρήθηκε επί την τάση εκφόρτισης. Ως εκ τούτου, είτε χρησιμοποιείται το ακριβές ολοκλήρωμα της παραπάνω εξίσωσης είτε μέσες τάσεις. Αντίστοιχοι όροι είναι:

- Αρχική τάση εκφόρτισης: τάση τη στιγμή που εφαρμόζεται το φορτίο.
- Μέση τάση εκφόρτισης: η μέση τιμή της τάσης καθ'όλη τη διάρκεια της εκφόρτισης.
- Τάση εκφόρτισης στο μέσο της διαδρομής: η τάση όταν το 50% της χωρητικότητας έχει εκφορτιστεί (περίπου ίση με τη μέση τάση).

Για εκφόρτιση με σταθερή αντίσταση, όπως συνήθως συμβαίνει στις πρωτεύουσες μπαταρίες, με $R(\Omega) = \text{σταθερό ωμικό φορτίο}$, εφαρμόζεται η παρακάτω σχέση:

$$E = \frac{1}{R} \int_0^t U(t)^2 dt$$

7.18: Ειδική ενέργεια, ενεργειακή πυκνότητα

Για τη σύγκριση συστημάτων, έχει γίνει κοινή πρακτική να συσχετίζεται το ενεργειακό περιεχόμενο μιας δοσμένης μπαταρίας με το βάρος ή τον όγκο της. Η σχετική με το βάρος ενέργεια ονομάζεται ειδική ενέργεια και μετριέται σε Wh/kg. Μια τυπική τιμή για την ειδική ενέργεια μιας μπαταρίας έλξης (traction battery) μολύβδου οξέος είναι 25 Wh/kg. Για σύγκριση, παρατίθεται ότι μια σύγχρονη μπαταρία ιόντων λιθίου προσφέρει περίπου 125 Wh/kg.

Η σχετική με τον όγκο ενέργεια ονομάζεται ενεργειακή πυκνότητα και συναντάται με τις μονάδες Wh/L ή Wh/cm³. Η ενεργειακή πυκνότητα έχει ιδιαίτερο ενδιαφέρον για τις μπαταρίες που σχεδιάζονται να τροφοδοτούν φορητό εξοπλισμό. Σε τέτοιου είδους εφαρμογές, το μέγεθος της μπαταρίας είναι συνήθως πιο σημαντικό από ότι το βάρος της. Τα σημερινά συστήματα καλύπτουν ένα εύρος από 150 mWh/cm³ (ψευδάργυρος/ άνθρακας) μέχρι 1.2 Wh/cm³ (alkaline zinc / αέρας).

Πολλές πρόοδοι έχουν σημειωθεί στην τεχνολογία των μπαταριών τα τελευταία χρόνια, τόσο μέσω της συνεχούς βελτίωσης ενός συγκεκριμένου ηλεκτροχημικού συστήματος όσο και μέσω της ανάπτυξης και εισαγωγής μπαταριών διαφορετικής χημικής σύστασης. Όμως οι μπαταρίες δε συμβαδίζουν με τις εξελίξεις στην τεχνολογία των ηλεκτρονικών, όπου οι επιδόσεις διπλασιάζονται κάθε 18 μήνες, ένα φαινόμενο γνωστό ως ο νόμος του Moore. Οι μπαταρίες, λοιπόν, αντίθετα με τις ηλεκτρονικές συσκευές, καταναλώνουν υλικά όταν παρέχουν ηλεκτρική ενέργεια και υπάρχουν θεωρητικοί περιορισμοί στο ποσό της ηλεκτρικής ενέργειας που μπορεί να αποδοθεί ηλεκτροχημικά από τα διαθέσιμα υλικά. Το άνω όριο τώρα επιτυγχάνεται εφόσον τα περισσότερα από τα υλικά που είναι ικανά να λειτουργήσουν ως ενεργά υλικά έχουν διερευνηθεί και η λίστα των ανεξερεύνητων υλικών μικραίνει. Εκτός από μερικά συστήματα, όπου το βάρος του ενεργού υλικού της καθόδου δεν περιλαμβάνεται στον υπολογισμό, οι τιμές για τη θεωρητική ενεργειακή πυκνότητα δεν υπερβαίνουν τις 1500 Wh/L. Οι περισσότερες από τις τιμές είναι, στην πραγματικότητα, χαμηλότερες. Τα δεδομένα στον πίνακα αυτό, δείχνουν επίσης ότι η ειδική ενέργεια που παρέχεται από αυτές τις μπαταρίες (με βάση τις πραγματικές επιδόσεις όταν έχουμε εκφόρτιση υπό βέλτιστες συνθήκες) δεν υπερβαίνει τις 450 Wh/kg. Ομοίως, οι τιμές της ενεργειακής πυκνότητας δεν υπερβαίνουν τις 1000 Wh/L. Αξίζει, ακόμα, να σημειωθεί ότι οι τιμές για τα επαναφορτιζόμενα συστήματα είναι χαμηλότερες από αυτές στις πρωτεύουσες μπαταρίες, κατά ένα μέρος λόγω του πιο περιορισμένου εύρους υλικών που μπορούν να επαναφορτιστούν πρακτικά και της ανάγκης για σχεδιασμούς που θα βελτιώνουν την επαναφόρτιση και τον κύκλο ζωής.

Αναγνωρίζοντας αυτούς τους περιορισμούς, όταν θα διερευνούνται νέα συστήματα μπαταριών, θα είναι πολύ πιο δύσκολο να αναπτυχθεί ένα νέο σύστημα μπαταρίας το οποίο θα έχει σημαντικά υψηλότερη ενεργειακή έξοδο και ταυτόχρονα θα πληροί τις προϋποθέσεις ενός επιτυχημένου εμπορικού προϊόντος,

συμπεριλαμβανομένης της διαθεσιμότητας των υλικών, του αποδεκτού κόστους και της ασφάλειας και προστασίας του περιβάλλοντος. Η έρευνα και η ανάπτυξη στις μπαταρίες θα εστιάσουν στη μείωση της αναλογίας ανενεργών προς ενεργών υλικών με σκοπό τη βελτίωση της ενεργειακής πυκνότητας, στην αύξηση της απόδοσης μετατροπής και ικανότητας επαναφόρτισης, στη μεγιστοποίηση της απόδοσης υπό τις πιο αυστηρές συνθήκες λειτουργίας και στην ενίσχυση της ασφάλειας και προστασίας του περιβάλλοντος.

Όπος μπαταρίας	Άνοδος	Κάθοδος	Μηχανισμός Αντίδρασης	Θεωρητικές Τιμές			Πρακτικές Τιμές			
				V	g/Ah	Ah/kg	Ειδική Ενέργεια Wh/kg	Όνομ. Τάση V	Ειδική Ενέργεια Wh/kg	Ενεργ. Πυκν. Wh/L
Secondary batteries										
Lead-acid	Pb	PbO ₂	Pb + PbO ₂ + 2H ₂ SO ₄ → 2PbSO ₄ + 2H ₂ O	2.1	8.32	120	252	2.0	35	70 ⁽¹⁰⁾
Edison	Fe	Ni oxide	Fe + 2NiOOH + 2H ₂ O → 2Ni(OH) ₂ + Fe(OH) ₂	1.4	4.46	224	314	1.2	30	55 ⁽¹⁰⁾
Nickel-cadmium	Cd	Ni oxide	Cd + 2NiOOH + 2H ₂ O → 2Ni(OH) ₂ + Cd(OH) ₂	1.35	5.52	181	244	1.2	35	100 ⁽¹¹⁾
Nickel-zinc	Zn	Ni oxide	Zn + 2NiOOH + 2H ₂ O → 2Ni(OH) ₂ + Zn(OH) ₂	1.73	4.64	215	372	1.6	60	120
Nickel-hydrogen	H ₂	Ni oxide	H ₂ + 2NiOOH → 2Ni(OH) ₂	1.5	3.46	289	434	1.2	55	60
Nickel-metal hydride	MH ⁽¹⁾	Ni oxide	MH + NiOOH → M + Ni(OH) ₂	1.35	5.63	178	240	1.2	75	240 ⁽²⁾
Silver-zinc	Zn	AgO	Zn + AgO + H ₂ O → Zn(OH) ₂ + Ag	1.85	3.53	283	524	1.5	105	180 ⁽¹⁰⁾
Silver-cadmium	Cd	AgO	Cd + AgO + H ₂ O → Cd(OH) ₂ + Ag	1.4	4.41	227	318	1.1	70	120 ⁽¹⁰⁾
Zinc / chlorine	Zn	Cl ₂	Zn + Cl ₂ → ZnCl ₂	2.12	2.54	394	835	—	—	—
Zinc / bromine	Zn	Br ₂	Zn + Br ₂ → ZnBr ₂	1.85	4.17	309	572	1.6	70	60
Lithium-ion	Li ₂ C ₆	Li ₂ CoO ₂	Li ₂ C ₆ + Li ₂ CoO ₂ → LiCoO ₂ + C ₆	4.1	9.98	100	410	4.1	150	400 ⁽⁵⁾
Lithium/manganese dioxide	Li	MnO ₂	Li + Mn ^{IV} O ₂ → Mn ^{III} O ₂ (Li ⁺)	3.5	3.50	286	1001	3.0	120	265
Lithium/iron disulfide ⁽²⁾	Li(Al)	FeS ₂	2Li(Al) + FeS ₂ → Li ₂ FeS ₄ + 2Al	1.73	3.50	285	493	1.7	180 ⁽¹¹⁾	350 ⁽¹¹⁾
Lithium/iron monosulfide ⁽²⁾	Li(Al)	FeS	2Li(Al) + FeS → Li ₂ S + Fe + 2Al	1.33	2.90	345	459	1.3	130 ⁽¹¹⁾	220 ⁽¹¹⁾
Sodium/sulfur ⁽²⁾	Na	S	2Na + 3S → Na ₂ S ₃	2.1	2.65	377	792	2.0	170 ⁽¹¹⁾	345 ⁽¹¹⁾
Sodium/nickel chloride ⁽²⁾	Na	NiCl ₂	2Na + NiCl ₂ → 2NaCl + Ni	2.58	3.28	305	787	2.6	115 ⁽¹¹⁾	190 ⁽¹¹⁾

Πίνακας: Τάση, Χωρητικότητα και Ειδική Ενέργεια των κύριων συστημάτων επαναφορτιζόμενων μπαταριών - θεωρητικές και πρακτικές τιμές

7.19: Εσωτερική αντίσταση

Η εσωτερική αντίσταση χαρακτηρίζει την ικανότητα της μπαταρίας να χειρίζεται ένα συγκεκριμένο φορτίο. Καθορίζει την ισχύ εξόδου της μπαταρίας και μια γενική απαίτηση είναι η DC εσωτερική αντίσταση να είναι σημαντικά χαμηλότερη από αυτή της συσκευής (1/10 ή λιγότερο), διαφορετικά η πτώση τάσης που θα προκληθεί από την απαίτηση ρεύματος της συσκευής κατανάλωσης θα περιορίζει την διάρκεια της λειτουργίας της μπαταρίας πολύ νωρίς.

Η ερμηνεία του όρου «εσωτερική αντίσταση» θέλει προσοχή, γιατί δεν είναι απλά μια ωμική αντίσταση και ο καθορισμός της εξαρτάται από τον τρόπο με τον οποίο χρησιμοποιείται καθώς επίσης και από τη στάθμη φόρτισης της μπαταρίας. Στα περισσότερα συστήματα μπαταριών, η εσωτερική αντίσταση αυξάνεται όταν η μπαταρία πλησιάζει το τέλος της εκφόρτισης λόγω της μειωμένης αγωγιμότητας των ενώσεων που έχουν σχηματιστεί.

Κυρίως, εφαρμόζεται η μέθοδος συνεχούς ρεύματος, όπου η τελική τάση συγκρίνεται σε 2 διαφορετικά φορτία. Η μπαταρία φορτίζεται για μερικά δευτερόλεπτα με το ρεύμα i_1 και προκύπτει η τάση U_1 . Στη συνέχεια, το ρεύμα αυξάνεται στην τιμή i_2 και η τάση της μπαταρίας μειώνεται στην τιμή U_2 και η εσωτερική αντίσταση R_i υπολογίζεται σύμφωνα με τη σχέση

Αυτό το R_i περιλαμβάνει την ωμική αντίσταση ανάμεσα στα ηλεκτρόδια και τον ηλεκτρολύτη καθώς επίσης και την υπέρταση στα όρια φάσης μεταξύ των ηλεκτροδίων και του ηλεκτρολύτη. Η παραπάνω εξίσωση υποδεικνύει ότι η υπέρταση είναι σχετικά μικρή σε σύγκριση με την ωμική πτώση τάσης.

Για μπαταρίες με υδάτινο ηλεκτρολύτη, η εσωτερική αντίσταση μπορεί να καθοριστεί με αυτή τη μέθοδο μόνο για την εκφόρτιση. Κατά τη διάρκεια της φόρτισης αυτό δεν είναι δυνατό λόγω της υψηλής υπέρτασης των αντιδράσεων αεριοποίησης.

Όταν μια διαδικασία διάχυσης περιορίζει τη μεταφορά των αντιδρώντων σωματιδίων και δημιουργεί ένα ρεύμα περιορισμού, η αύξηση της τάσης δεν μπορεί πια να αυξήσει το ρεύμα. Η παραπάνω εξίσωση θα οδηγούσε σε αυτή την περίπτωση σε R_i . Ένα παράδειγμα τέτοιας συμπεριφοράς είναι το σύστημα αέρα/ψευδαργύρου: με την αύξηση του ρεύματος i η μεταφορά του οξυγόνου, που καθορίζεται από το ρυθμό διάχυσης, και η τάση υπό ένα μεγαλύτερο φορτίο καταρρέουν.

Το ρεύμα βραχυκυκλώματος έχει ενδιαφέρον, ιδιαίτερα για μεγάλες στάσιμες μπαταρίες, εφόσον αναπαριστά το μέγιστο ρεύμα που μπορεί να δώσει η μπαταρία για μια μικρή χρονική περίοδο. Η τιμή του βοηθάει στην εκτίμηση του μεγέθους μιας ασφάλειας που μπορεί να λειτουργεί μαζί με την μπαταρία. Το ρεύμα βραχυκυκλώματος καθορίζεται από την παραπάνω εξίσωση με προέκταση του αποτελέσματος για μηδενική τάση. Αναπαριστά μια δυναμική παράμετρο, η οποία μειώνεται γρήγορα με τη διαδικασία της εκφόρτισης. Οι τιμές που δίνονται πάντα αναφέρονται σε φορτισμένη μπαταρία, αν δε διευκρινίζεται το αντίθετο.

Η AC εσωτερική αντίσταση μιας μπαταρίας είναι μια σύνθετη παράμετρος με δυσκολία στην ερμηνεία, αφού η AC συμπεριφορά μιας μπαταρίας μπορεί μόνο να προσεγγιστεί από ένα ισοδύναμο κύκλωμα με πολλά στοιχεία. Τις τελευταίες δεκαετίες, το ωμικό μέρος της αντίστασης έχει αποκτήσει μεγαλύτερη σημασία ως μια δυνατότητα ελέγχου της κατάστασης των ρυθμιζόμενων από βαλβίδα μπαταριών μολύβδου οξέος, οι οποίες διαφορετικά θα μπορούσαν να καθοριστούν μόνο από την εκφόρτιση. Η αντίσταση μετράται κυρίως σε μια συχνότητα 1000Hz. Σε μια τόσο μεγάλη συχνότητα δε δίνει καμία πληροφορία για την ηλεκτροχημεία της μπαταρίας παρά μόνο για τα ωμικά στοιχεία του, συμπεριλαμβανομένου του ηλεκτρολύτη. Οι τιμές που προκύπτουν χρησιμοποιούνται μόνο για τη σύγκριση και τον εντοπισμό ελαττωματικών κυττάρων σε μια σειρά.

7.20: Ειδικό βάρος

Ειδικό βάρος (specific gravity) ονομάζεται ο λόγος ενός διαλύματος προς έναν ίσο όγκο νερού σε μια καθορισμένη θερμοκρασία. Το μέγεθος αυτό χρησιμοποιείται σαν δείκτης για τη στάθμη φόρτισης ενός στοιχείου ή μιας μπαταρίας.

7.21: Ειδική ισχύς

Η ειδική ισχύς (specific power) δείχνει την ικανότητα φόρτισης ή το ποσό του ρεύματος που μπορεί να τροφοδοτήσει η μπαταρία. Μπαταρίες για εργαλεία ισχύος παρουσιάζουν υψηλή ειδική ισχύ αλλά μειωμένη ειδική ενέργεια.

Ειδική ισχύς σημαίνει χαμηλή εσωτερική αντίσταση. Μια μπαταρία μπορεί να έχει υψηλή ειδική ενέργεια αλλά χαμηλή ειδική ισχύ, όπως είναι η περίπτωση της αλκαλικής μπαταρίας.

Εναλλακτικά, μια μπαταρία μπορεί να έχει χαμηλή ειδική ενέργεια αλλά να μπορεί να αποδώσει μεγάλη ειδική ισχύ, κάτι το οποίο είναι δυνατό με τους supercapacitors.

7.22: Συντήρηση

Η σωστή συντήρηση θα επιμηκύνει τη ζωή της μπαταρίας και θα βοηθήσει στην εξασφάλιση ότι η μπαταρία είναι ικανή να ικανοποιήσει τις ανάγκες για τις οποίες έχει σχεδιαστεί. Ένα καλό πρόγραμμα συντήρησης της μπαταρίας θα συνεισφέρει σημαντικά στο να καθορίσει πότε υπάρχει ανάγκη για αντικατάσταση της μπαταρίας. Η συντήρηση της μπαταρίας πρέπει πάντα να πραγματοποιείται από εκπαιδευμένο προσωπικό με γνώση των μπαταριών και των προδιαγραφών ασφαλείας που τις συνοδεύουν.

Οι ανοικτού τύπου μπαταρίες μολύβδου οξέος και οι ρυθμιζόμενες από βαλβίδα (που συχνά θεωρείται ότι δεν χρειάζονται συντήρηση) έχουν ανάγκη από κάποια συντήρηση. Δε χρειάζεται να προσθέτουμε νερό ή να ελέγχουμε το ειδικό βάρος, αλλά μπορεί να χρειάζονται περιοδικό καθαρισμό, παρακολούθηση της συνολικής τάσης αναμονής (Float Voltage) του στοιχείου ή της μπαταρίας, έλεγχο του φορτίου (χωρητικότητας), μέτρηση της αντίστασης των ακροδεκτών ή καθαρισμα και περιστροφή στις βίδες των ακροδεκτών ανάλογα με τη σπουδαιότητα της εφαρμογής.

Οι ανοικτού τύπου μπαταρίες μολύβδου οξέος μπορούν να λειτουργήσουν για διάστημα 10 ετών ή και περισσότερο εάν συντηρούνται σωστά. Οι 6 γενικοί κανόνες για τη σωστή συντήρηση είναι:

- Να ταιριάζει ο φορτιστής στις απαιτήσεις της μπαταρίας.
- Να αποφεύγεται η υπερεκφόρτιση της μπαταρίας.
- Να διατηρείται το κατάλληλο επίπεδο του ηλεκτρολύτη (με την προσθήκη νερού όποτε χρειάζεται).
- Να διατηρείται η μπαταρία καθαρή.
- Να αποφεύγεται η υπερθέρμανση της μπαταρίας.
- Να παρέχεται περιοδικά ένα φορτίο εξισορρόπησης στα αδύναμα στοιχεία/μπαταρίες.

Στη συνέχεια του κεφαλαίου αναλύονται οι παραπάνω γενικοί κανόνες καθώς και άλλες διαδικασίες που περιλαμβάνονται στη συντήρηση των μπαταριών.

7.23: Σχετικά με την επιλογή του φορτιστή

Η ανεπαρκής φόρτιση είναι από τα σημαντικότερα αίτια για την υποβάθμιση της μπαταρίας, η επιλογή του κατάλληλου φορτιστή για την εκάστοτε εφαρμογή είναι ζωτικής σημασίας.

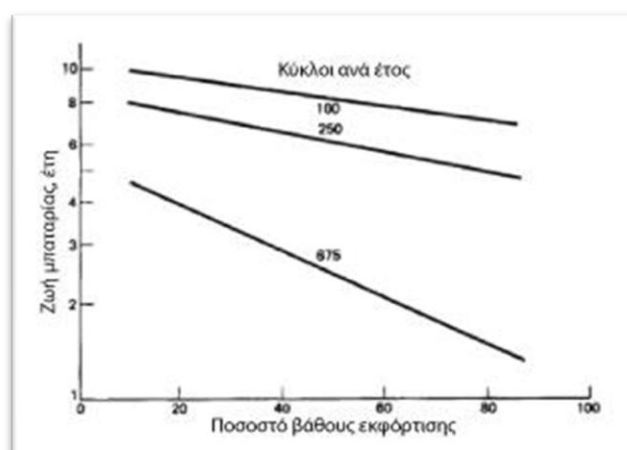
Κατά την επιλογή ενός φορτιστή, είναι απαραίτητο να λαμβάνουμε υπόψιν τον τύπο της μπαταρίας, τον τρόπο κατά τον οποίο αυτή θα εκφορτίζεται, το διαθέσιμο χρόνο φόρτισης, τις ακραίες θερμοκρασίες κάτω από τις οποίες μπορεί να κληθεί να λειτουργήσει η μπαταρία και τον αριθμό των στοιχείων στη μπαταρία.

Γενικά, οι μπαταρίες μολύβδου οξέος, μπορούν να επαναφορτίζονται σε οποιοδήποτε ρυθμό που δεν παράγει υπερβολικά αέρια, υπερφόρτιση ή υψηλές θερμοκρασίες.

Οι εκφορτισμένες μπαταρίες μπορεί να επαναφορτίζονται με ένα μεγάλο αρχικό ρεύμα, όμως, όταν η μπαταρία πλησιάζει στην κατάσταση πλήρους φόρτισης το ρεύμα πρέπει να μειώνεται για να περιοριστεί η αεριοποίηση και η υπερφόρτιση.

7.24: Αποφυγή υπερεκφόρτισης

Για να εξασφαλίσουμε τη μέγιστη δυνατή διάρκεια ζωής από μια μπαταρία μολύβδου οξέος, πρέπει να την αποσυνδέουμε από το φορτίο όταν έχει εκφορτιστεί πλήρως. Η τάση αποκοπής για ένα στοιχείο μολύβδου οξέος είναι συνήθως 1.75 V περίπου. Ωστόσο, η τάση αυτή είναι πολύ ευαίσθητη στη θερμοκρασία λειτουργίας και το ρυθμό εκφόρτισης. Οι μπαταρίες, δηλαδή, που εκφορτίζονται σε υψηλό ρυθμό θα έχουν χαμηλότερη τάση αποκοπής από αυτές που εκφορτίζονται σε χαμηλό ρυθμό. Οι μεγαλύτερες χωρητικότητες εμφανίζονται σε υψηλότερες θερμοκρασίες και χαμηλούς ρυθμούς εκφόρτισης. Οι κατασκευαστές πρέπει να προσδιορίζουν τις τάσεις αποκοπής για διάφορες συνθήκες λειτουργίας και ρυθμούς εκφόρτισης. Η υπερεκφόρτιση μπορεί να προκαλέσει δυσκολίες στην επαναφόρτιση του στοιχείου αυξάνοντας την εσωτερική αντίσταση της μπαταρίας. Ακόμη, η εκφόρτιση των στοιχείων κάτω από την καθορισμένη τάση μειώνει τη συγκέντρωση του ηλεκτρολύτη και αυτό έχει καταστροφικές συνέπειες στη δομή της μπαταρίας. Έχει αποδειχθεί ότι η ζωή της μπαταρίας είναι συνάρτηση του βάθους εκφόρτισης, όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα.



Σχήμα 7: Επίδραση του βάθους εκφόρτισης και του αριθμού των κύκλων ανά χρόνο στη ζωή της μπαταρίας στους 25°C

7.25: Διατήρηση του επιπέδου του ηλεκτρολύτη

Στο κεφάλαιο 10, στην εξέταση της απώλειας νερού, αναπτύχθηκε η διαδικασία που ακολουθείται για τη διατήρηση του ηλεκτρολύτη στα επιθυμητά επίπεδα. Το νερό που χάνεται από την ηλεκτρόλυση αντικαθίσταται και για καλύτερα αποτελέσματα η αντικατάσταση αυτή πραγματοποιείται μετά την επαναφόρτιση και πριν τη φόρτιση εξισορρόπησης. Μετά την προσθήκη νερού, είναι χρήσιμο να πραγματοποιείται ένας τελικός έλεγχος του ειδικού βάρους για τη διασφάλιση της σωστής συγκέντρωσης του οξέος στο τέλος της φόρτισης. Μια χρήσιμη προσέγγιση είναι:

$$\text{Ειδικό βάρος} = \text{Τάση ανοικτού κυκλώματος} - 0,845$$

η οποία επιτρέπει την περιστασιακή ηλεκτρική παρακολούθηση του ειδικού βάρους.

7.26: Καθαριότητα

Η διατήρηση μιας καθαρής μπαταρίας θα ελαχιστοποιήσει τη διάβρωση και θα βοηθήσει στην αποφυγή δαπανηρών επισκευών. Οι μπαταρίες συχνά μαζεύουν σκόνη, η οποία μπορεί εύκολα να καθαριστεί. Αυτή η σκόνη πρέπει να απομακρυνθεί πριν η υγρασία την καταστήσει αγωγό τυχαίων ρευμάτων.

Το πάνω μέρος της μπαταρίας μπορεί να βραχεί με ηλεκτρολύτη οποιαδήποτε στιγμή ένα στοιχείο είναι υπερφορτωμένο. Το οξύ του ηλεκτρολύτη δεν εξατμίζεται και πρέπει να εξουδετερώνεται. Αυτό πραγματοποιείται πλένοντας τη μπαταρία με ένα διάλυμα μαγειρικής σόδας και καυτού νερού, με περίπου 1 kg μαγειρικής σόδας σε 4 L νερού. Μετά την εφαρμογή αυτού του διαλύματος η μπαταρία πρέπει να ξεπλένεται καλά με νερό.

7.27: Αποφυγή υψηλών θερμοκρασιών

Μια από τις πιο επιβλαβείς συνθήκες για τη μπαταρία είναι η υψηλή θερμοκρασία, ειδικά πάνω από 55°C, επειδή οι ρυθμοί διάβρωσης, διαλυτότητας των μεταλλικών στοιχείων και αυτοεκφόρτισης αυξάνονται με την αύξηση της θερμοκρασίας. Υψηλή θερμοκρασία λειτουργίας κατά τη διάρκεια του κύκλου απαιτεί μεγαλύτερη εισροή φορτίου για την ανάκτηση της εκφορτισμένης χωρητικότητας και των απωλειών αυτοεκφόρτισης.

Το μεγαλύτερο μέρος του φορτίου εισόδου καταναλώνεται από την αντίδραση της ηλεκτρόλυσης λόγω της μείωσης της τάσης αεριοποίησης στην υψηλότερη θερμοκρασία. Ενώ σε θερμοκρασία 25 με 35°C, 10% υπερφόρτιση ανά κύκλο είναι αρκετή για να διατηρήσει τη στάθμη φόρτισης, σε υψηλότερες θερμοκρασίες λειτουργίας (60 με 70°C) μπορεί να χρειάζεται υπερφόρτιση 35 με 40%. Σε λειτουργία αναμονής (Float Service), τα ρεύματα αναμονής (Float Currents) αυξάνονται στις υψηλότερες θερμοκρασίες, έχοντας ως αποτέλεσμα μειωμένη ζωή. Έντεκα ημέρες σε αναμονή στους 75°C ισοδυναμούν σε ζωή με 365 ημέρες στους 25°C.

Οι μπαταρίες που προορίζονται για εφαρμογές σε υψηλές θερμοκρασίες, πρέπει να χρησιμοποιούν έναν ηλεκτρολύτη με χαμηλότερο αρχικό ειδικό βάρος από ότι αυτές που προορίζονται για χρήση σε κανονικές θερμοκρασίες. Πρέπει να συμβουλευόμαστε τους κατασκευαστές για τις αποδεκτές θερμοκρασίες λειτουργίας των μπαταριών και για τις επιδράσεις που έχει η θερμοκρασία σε αυτές. Οι μπαταρίες νικελίου καδμίου μπορεί να είναι καλύτερη επιλογή για ορισμένες εφαρμογές σε πολύ υψηλές θερμοκρασίες.

7.28: Παροχή φορτίου εξισορρόπησης

Συχνά, μια μπαταρία που αποτελείται από πολλά στοιχεία μπορεί να έχει ένα ή περισσότερα στοιχεία σε σημαντικά χαμηλότερη τάση από ότι τα υπόλοιπα. Όταν η μπαταρία εκφορτίζεται, τα στοιχεία με τη χαμηλότερη τάση μπορεί να υπερεκφορτιστούν.

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, η υπερεκφόρτιση μπορεί να προκαλέσει αρκετή ζημιά σε ένα στοιχείο ώστε να χρειάζεται η αντικατάστασή του. Όταν υπάρχει μια διαφορά δυναμικού μεταξύ των στοιχείων της ίδιας μπαταρίας, εφαρμόζεται ένα φορτίο εξισορρόπησης για να φέρει τα στοιχεία στο ίδιο δυναμικό.

7.29: Προδιαγραφές ασφαλείας

Προβλήματα ασφάλειας που συνδέονται με τις μπαταρίες μολύβδου οξέος περιλαμβάνουν διαρροές θειικού οξέος, ενδεχόμενες εκρήξεις από την παραγωγή υδρογόνου και οξυγόνου και παραγωγή τοξικών αερίων. Παρακάτω συνοψίζονται κάποιες προφυλάξεις που, αν λαμβάνονται, θα βοηθήσουν στην πρόληψη προσωπικού τραυματισμού και ζημιάς στις εγκαταστάσεις.

- Πρέπει να ακολουθούνται οι ισχύοντες κανόνες ασφαλείας του χώρου κατά την εργασία στις μπαταρίες.
- Απαιτείται η χρήση προσωπικών ειδών προστασίας, όπως γάντια ανθεκτικά στα οξέα, ποδιά, προστατευτικό κάλυμμα προσώπου και γυαλιά.
- Ο ηλεκτρολύτης είναι εξαιρετικά διαβρωτικός και χρειάζεται πολύ μεγάλη προσοχή κατά τον χειρισμό του.
- Πρέπει να χρησιμοποιούνται μόνο μη αγώγιμα, μονωμένα εργαλεία στο χώρο της μπαταρίας.
- Απαγορεύεται το κάπνισμα και η χρήση γυμνής φλόγας κοντά στη μπαταρία.
- Όλα τα μεταλλικά αντικείμενα (κοσμήματα κλπ) πρέπει να απομακρύνονται πριν τη δουλειά στην μπαταρία.
- Εξουδετέρωση στατικού φορτίου ακριβώς πριν τη δουλειά στη μπαταρία μέσω προσωπικής επαφής με την κοντινότερη αποτελεσματικά γειωμένη επιφάνεια.
- Να διασφαλίζεται ότι δεν έχουν συσσωρευτεί αέρια στην μπαταρία πριν μετακινηθεί.
- Να διασφαλίζεται ότι η είσοδος και η έξοδος από το χώρο της μπαταρίας είναι εύκολη.
- Ύπαρξη νερού για ξέπλυμα των ματιών και του δέρματος σε περίπτωση διαρροής οξέος.
- Τουλάχιστον δύο άτομα πρέπει να είναι παρόντα κατά την εργασία σε συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας.

7.30: Δοκιμές

Οι μπαταρίες πρέπει να υποβάλλονται σε δοκιμές ανά τακτά χρονικά διαστήματα για να καθοριστεί εάν η μπαταρία πληροί τις προδιαγραφές της κατηγορίας ή του κατασκευαστή ή και τα δύο, να υπολογίζεται περιοδικά εάν η απόδοση της μπαταρίας βρίσκεται μέσα σε αποδεκτά όρια, και αν χρειάζεται, να ελέγχεται εάν η μπαταρία ικανοποιεί τις απαιτήσεις του συστήματος στο οποίο είναι συνδεδεμένη.

Για μια δοκιμή απόδοσης, μπορεί να χρησιμοποιηθεί η παρακάτω εξίσωση για να καθοριστεί η χωρητικότητα της μπαταρίας.

$$\% \text{ χωρητικότητα στους } 25^{\circ}\text{C} = T_a/T_s * 100$$

Όπου

T_a = ο πραγματικός χρόνος της δοκιμής σε συγκεκριμένη τάση ακροδέκτη

T_s = ονομαστικός χρόνος σε συγκεκριμένη τάση ακροδέκτη

Συνίσταται η αντικατάσταση μιας μπαταρίας όταν η χωρητικότητά της, όπως προσδιορίζεται από την παραπάνω εξίσωση, είναι λιγότερο από το 80% της αξιολόγησης του κατασκευαστή. Μια χωρητικότητα 80% δείχνει ότι ο ρυθμός υποβάθμισης της μπαταρίας αυξάνεται ακόμα και αν υπάρχει άφθονη χωρητικότητα για να καλύψει τις ανάγκες του φορτίου. Εάν μεμονωμένα στοιχεία χρειάζεται να αντικατασταθούν, αυτά πρέπει να είναι συμβατά με τα υπόλοιπα και να γίνει δοκιμή πριν από την εγκατάσταση. Προτείνεται, όταν ένα ή περισσότερα στοιχεία αντικαθίστανται, να αντικαθίσταται ολόκληρη η σειρά της μπαταρίας για να μην υπάρξουν μεγάλες διαφορές στην αντίσταση του στοιχείου. Αν δε διορθωθεί, αυτό μπορεί να έχει ως αποτέλεσμα την άνιση φόρτιση της σειράς της μπαταρίας.

7.31: Περιβάλλον της μπαταρίας

1. Αερισμός

Ο αερισμός χρειάζεται, όχι μόνο για να ξεφορτωθούμε τα αέρια, αλλά και για να χαθεί θερμότητα, ιδιαίτερα η εσωτερική θερμότητα που παράγεται κατά την υπερφόρτιση. Οι κλειστές μπαταρίες σε ερμητικά κλειστό περιβάλλον θα υπερθερμανθούν, συχνά με καταστροφικές συνέπειες.

Κατά τη φόρτιση, οι ανοικτές μπαταρίες παράγουν αέρια υδρογόνου και οξυγόνου. Το υδρογόνο θα συγκεντρωθεί στο πάνω μέρος της περιφραξης της μπαταρίας εάν δεν παρέχεται αρκετός αερισμός. Εάν η συγκέντρωση του υδρογόνου στον αέρα υπερβαίνει το 4%, υπάρχει ένας κίνδυνος έκρηξης και για την πρόληψη ακριβώς αυτού πρέπει να σχεδιάζεται ο αερισμός των ανοικτών μπαταριών.

Οι κλειστές μπαταρίες μολύβδου οξέος παράγουν μικρές ποσότητες υδρογόνου λόγω της εσωτερικής διάβρωσης και ορισμένες κλειστές μπαταρίες (κυρίως gel) παράγουν κανονικές ποσότητες αερίων στην αρχή της ζωής τους. Οι κλειστές μπαταρίες χρειάζονται επίσης κάποιον αερισμό, όμως το ποσό που απαιτείται εξαρτάται περισσότερο από τις ανάγκες ψύξης παρά από την απομάκρυνση του υδρογόνου.

2. Έλεγχος θερμοκρασίας

Η μπαταρία σε ένα φωτοβολταϊκό σύστημα μπορεί να χρειάζεται προστασία από υψηλές ή χαμηλές θερμοκρασίες ή και τα δύο. Αυτό πρέπει να γίνεται χωρίς την κατανάλωση σημαντικών ποσοτήτων επιπλέον ενέργειας (κάτι το οποίο θα οδηγούσε στην ανάγκη για ένα μεγαλύτερο φωτοβολταϊκό σύστημα). Σε γενικές γραμμές, το περιβάλλον της μπαταρίας σε διαφορετικά κλίματα πρέπει να είναι ως εξής:

Για ένα πολύ ζεστό κλίμα:

- Πρέπει να αποφεύγεται η άμεση επαφή της μπαταρίας με το φως του ήλιου, με σκίαση αν χρειάζεται.
- Χρήση όσο το δυνατόν πιο ανοικτών χρωμάτων για την περίφραξη της μπαταρίας.
- Να επιτρέπεται άφθονη κυκλοφορία του αέρα μέσω της παροχής επαρκούς χώρου και αερισμού.
- Να μην χρησιμοποιείται βαριά μονωμένη περίφραξη συγκρατείται θερμότητα στο εσωτερικό.

-
- Δεν πρέπει να διστάζουμε να χρησιμοποιήσουμε ένα μεγαλύτερο χώρο για να τοποθετηθεί η μπαταρία. Αυτό θα επιτρέψει περισσότερο όγκο αέρα στο εσωτερικό και θα υπάρχει μεγαλύτερη επιφάνεια για απώλειες θερμότητας.

Για ένα πολύ ψυχρό κλίμα

- Αντιστρέφουμε τα παραπάνω, αλλά με προσοχή για τις καλοκαιρινές θερμοκρασίες.
- Χρήση πολύ μονωμένης περιφραξης.
- Χρήση όσο το δυνατόν μικρότερου χώρου γύρω από την μπαταρία (αλλά χωρίς περιορισμό του απαραίτητου αερισμού).
- Χρήση οποιαδήποτε διαθέσιμης πηγής θερμότητας ακόμα και παθητικών ηλιακών τεχνικών.

Ο πιο δύσκολος τύπος κλίματος για το σχεδιασμό της περιφραξης μιας μπαταρίας είναι αυτός ο οποίος έχει πολύ ζεστά καλοκαίρια και θερμοκρασίες κάτω από το μηδέν το χειμώνα. Σε κάποιες περιπτώσεις, η μόνη ρεαλιστική επιλογή είναι η μέριμνα για κάποιες αλλαγές στο θερμικό περιβάλλον της μπαταρίας μεταξύ χειμώνα και καλοκαιριού.

7.32: Αποθήκευση

Η αποθήκευση των μπαταριών μολύβδου οξέος είναι αρκετά απλή. Οι μπαταρίες αυτές πρέπει να αποθηκεύονται σε κατάσταση ανοικτού κυκλώματος με τους ακροδέκτες μονωμένους. Μακρές περίοδοι αποθήκευσης ακόμα και σε χαμηλούς ρυθμούς διαρροής, μπορεί να έχουν ως αποτέλεσμα μόνιμη βλάβη. Οι μπαταρίες πρέπει να αποθηκεύονται σε δροσερά και ξηρά περιβάλλοντα σε όρθια θέση.

Για μεγιστοποίηση του χρόνου αποθήκευσης της μπαταρίας, η μπαταρία πρέπει να είναι πλήρως φορτισμένη στην αρχή. Οι μπαταρίες που αποθηκεύονται για εκτεταμένες περιόδους πρέπει να υφίστανται συχνούς ελέγχους τάσης ανοικτού κυκλώματος και να επαναφορτίζονται αναλόγως ή σε τακτικά προγραμματισμένα διαστήματα.

Ένα σημαντικό ζήτημα κατά την αποθήκευση είναι η καταστροφική διαδικασία της θειίκωσης. Καθώς τα στοιχεία μένουν αποθηκευμένα και εκφορτίζονται, τα ενεργά υλικά των ηλεκτροδίων μετατρέπονται σε θειικό μόλυβδο, όπως κάνουν και στις άλλες εκφορτίσεις. Όμως, στην αυτοεκφόρτιση ο θειικός μόλυβδος σχηματίζει μεγαλύτερους κρυστάλλους που έχουν ως αποτέλεσμα την απομόνωση των σωματιδίων του ενεργού υλικού είτε μεταξύ τους είτε από το πλέγμα.

Καθώς ο θειικός μόλυβδος καταλαμβάνει περισσότερο χώρο από ότι ο σπογγώδης μόλυβδος (Sponge Lead), το αρνητικό ηλεκτρόδιο επεκτείνεται σε όγκο. Αν στο στοιχείο επιτραπεί η υπερεκφόρτιση, ο θειικός μόλυβδος μπορεί να επεκταθεί μέχρι το σημείο που θα χωριστεί από το σφουγγάρι μολύβδου και θα πέσει στον πάτο του δοχείου σαν ίζημα. Το συνολικό αποτέλεσμα είναι μια απώλεια χωρητικότητας και μεγαλύτερη εσωτερική αντίσταση. Η θειίκωση είναι συνήθως αναστρέψιμη για θειικό μόλυβδο που είναι ακόμα συνδεδεμένος με το αρνητικό ηλεκτρόδιο, φορτίζοντας με ένα χαμηλό ρεύμα μέχρι ο θειικός μόλυβδος να μετατραπεί πάλι σε σπογγώδη μόλυβδο.

7.33: Αντικατάσταση

Όπως είδαμε, ο ρόλος της συντήρησης είναι να επιμηκύνει τη διάρκεια ζωής της μπαταρίας και να εντοπίζει τα προβλήματα της μπαταρίας. Εάν ανιχνευθούν ελαττωματικά στοιχεία ή μπλοκ (για παράδειγμα αυτά που έχουν εσωτερικά βραχυκυκλώματα ή μηδενική χωρητικότητα), πρέπει να αντικατασταθούν όποτε είναι πρακτικό. Ωστόσο, δεν συνίσταται να αναμειγνύουμε παλιά και καινούρια στοιχεία ή μπλοκ στην ίδια σειρά. Εάν εξετάζεται το ενδεχόμενο αντικατάστασης κάποιων στοιχείων ή μπλοκ, είναι καλύτερο να ανανεώνονται όλα τα στοιχεία της σειράς τους. Εάν η μπαταρία έχει περισσότερες σειρές παράλληλα, υπάρχει δυνατότητα να αναδιαμορφωθούν τα στοιχεία ή μπλοκ έτσι ώστε τα αυτά με παρόμοια ηλικιακά χαρακτηριστικά να βρίσκονται στην ίδια σειρά. Εάν κάποια στοιχεία ή μπλοκ αντικατασταθούν, τα νέα στοιχεία πρέπει να επισημανθούν σαφώς. Αν η παράλληλη ή σε σειρά διευθέτηση μιας μπαταρίας αλλάξει, όλοι οι παράλληλοι κλάδοι πρέπει να φορτιστούν πλήρως χωριστά πριν γίνει η παράλληλη σύνδεση.

7.34: Απόρριψη

Οι νεκρές μπαταρίες πρέπει να απορρίπτονται με υπευθυνότητα και όχι να αφήνονται κάπου, όπου μπορούν να αποτελέσουν εστία μόλυνσης. Οι μπαταρίες μολύβδου-οξέος και οι νικελίου-καδμίου μπορούν να ανακυκλωθούν και να έχουν κάποια αξία, και εάν είναι δυνατόν θα μπορούσε να κανονιστεί η επιστροφή τους στον αρχικό προμηθευτή. Στην πραγματικότητα, η ανακύκλωση κάποιων τύπων μπαταριών είναι υποχρεωτική σε πολλές χώρες.

8. Αντικεραυνική προστασία, Αλεξικέραυνα και εγκατάσταση αλεξικέραυνου.

Η πρόβλεψη για αντικεραυνική προστασία δεν ήταν και τόσο διαδεδομένη. Με την πάροδο όμως των ετών τα πράγματα άρχισαν να αλλάζουν καθώς χρόνο με το χρόνο η αύξηση των πτώσεων κεραυνών σε κτήρια , ακόμα και εντός κατοικημένων περιοχών, ήταν σημαντική και οι συνέπειες τραγικές.

Έτσι όλο και περισσότεροι ιδιώτες και επιχειρήσεις, αντιλαμβανόμενοι το σοβαρό κίνδυνο που διατρέχουν τα κτήρια τους, οι εγκαταστάσεις τους, ο εξοπλισμός τους αλλά η προσωπική ασφάλεια όσων βρίσκονται εντός αυτών, αποφάσιζαν να τα προστατέψουν υλοποιώντας την μελέτη και την κατασκευή ενός πραγματικά αξιόπιστου συστήματος αντικεραυνικής προστασίας.

Την τελευταία δεκαετία έχει καταγραφεί μια αύξηση κατά 20% του φαινομένου της πτώσης κεραυνών πάνω σε διάφορα κτήρια ή κατασκευές. Λόγω της κλιματικής αλλαγής, οι προβλέψεις της επιστημονικής κοινότητας σχετικά με την αύξηση των ακραίων καιρικών φαινομένων είναι δυσοίωνες, με τα έντονα καιρικά φαινόμενα να είναι όλο και πιο συχνά και όλο και πιο ακραία.

Αξίζει να αναφέρουμε ότι το έτος 1999 είχαμε στην Ελλάδα το φαινόμενο της ηλεκτρικής βροχής όπου σε διάστημα μιας ώρας καταγράφηκαν 147 πτώσεις κεραυνών πάνω σε κτήρια μόνο στην περιοχή της Αττικής. Τα κτήρια αυτά δεν διέθεταν σύστημα αντικεραυνικής προστασίας και τα αποτελέσματα ήταν καταστροφικά.

Από κεραυνό μπορεί να πληγεί οποιοδήποτε κτήριο ή εξωτερική κατασκευή (δεξαμενές, φωτοβολταϊκά, ικριώματα εργοταξίου κλπ) είτε αυτά βρίσκονται εντός του αστικού ιστού είτε σε πιο απομονωμένες περιοχές. Οι παράγοντες που καθιστούν ένα κτήριο ή μια κατασκευή ευάλωτη σε προσβολή από κεραυνούς καθορίζονται από διεθνή πρότυπα (στην Ελλάδα έχει υιοθετηθεί το πρότυπο ΕΛΟΤ EN 63305-2:2006) και ο υπολογισμός, για απαίτηση ή μη, κάλυψης της εκάστοτε κατασκευής με σύστημα αντικεραυνικής προστασίας βασίζεται στο εν λόγω πρότυπο και αποτελεί αντικείμενο ειδικής μελέτης από εξειδικευμένο ηλεκτρολόγο μηχανικό.

Η γενική αντίληψη ότι κινδυνεύουν μόνο τα πολύ υψηλά κτήρια και κατασκευές, τα κτήρια που βρίσκονται σε μεγάλα υψόμετρα, τα μεμονωμένα καθώς και αυτά που βρίσκονται πλησίον της θάλασσας, είναι ξεπερασμένη και άκρως επικίνδυνη.

Αυτοί που πραγματικά ενδιαφέρονται να πληροφορηθούν με ασφάλεια αν πραγματικά το κτήριο ή η κατασκευή τους είναι ευάλωτη σε κεραυνικά πλήγματα, δεν έχουν παρά να αναθέσουν σε ένα ειδικό μηχανικό την εκπόνηση της ειδικής μελέτης για τον εντοπισμό της αναγκαιότητας κάλυψης της κατασκευής τους με σύστημα αντικεραυνικής προστασίας. Το κόστος μιας τέτοιας μελέτης είναι πολύ μικρό σε σχέση με την χρησιμότητα των αποτελεσμάτων της, που πραγματικά μπορούν να σώσουν κυριολεκτικά περιουσίες ή ακόμα και ζωές.

Από τα αποτελέσματα της μελέτης προκύπτει αν το υπό εξέταση κτήριο ή κατασκευή επιβάλλεται να προστατευθεί με σύστημα αντικεραυνικής προστασίας ή όχι και σε περίπτωση που διαπιστωθεί η αναγκαιότητα κατασκευής συστήματος αντικεραυνικής προστασίας προσδιορίζεται και η απαιτούμενη κλάση προστασίας που προκύπτει από τα ιδιαίτερα τεχνικά και περιβαλλοντικά χαρακτηριστικά της εκάστοτε κατασκευής.

8.1: Είδη κεραυνικών πληγμάτων

Πολλοί πιστεύουν ότι ο κίνδυνος από κεραυνό είναι μόνο άμεσος. Δηλαδή κινδυνεύουμε μόνο αν ο κεραυνός πέσει πάνω στο δικό μας κτήριο ή κατασκευή. Αυτό είναι ένα πολύ σημαντικό λάθος και απέχει παρασάγγας από την πραγματικότητα .

Δυστυχώς ο κεραυνός μπορεί να πλήξει και με έμμεσο τρόπο το κτήριο ή την κατασκευή μας, δηλαδή χωρίς να πέσει ακριβώς πάνω σε αυτό αλλά σε ένα γειτονικό κτήριο ή στο περιβάλλον πλησίον του κτηρίου μας (πχ σε ένα ψηλό γειτονικό δέντρο) ή ακόμα χειρότερα να πλήξει ένα κοντινό στύλο της ΔΕΗ ή μια εναέρια γραμμή της έστω και σε μεσαία απόσταση από μας. Στις περιπτώσεις αυτές δεν θα έχουμε βέβαια τις συνέπειες, κυρίως στο κτιριακό κέλυφος, που θα είχαμε σε περίπτωση άμεσης πρόσπτωσης (γκρέμισμα στέγης, τοίχων κ.λπ.), αλλά όλες οι υπόλοιπες καταστροφικές συνέπειες (καταστροφή ηλεκτρικών εγκαταστάσεων και συσκευών, σοβαρός κίνδυνος ηλεκτροπληξίας, κίνδυνος εκδήλωσης πυρκαγιάς κ.λπ.) θα είναι οι ίδιες, ανάλογα φυσικά με την ένταση του κεραυνικού πλήγματος αλλά και την απόσταση που θα εκδηλωθεί η άμεση πρόσπτωση από το κτήριο ή την κατασκευή μας. Το έμμεσο πλήγμα από κεραυνό μεταφέρεται στην δική μας κατασκευή είτε μέσω του εδάφους αλλά το κυριότερο μέσα από το ηλεκτρικό δίκτυο της ΔΕΗ και είναι το πιο ύπουλο αλλά και τι πιο σύνθηες από όλα τα άλλα πλήγματα, καθώς ελάχιστοι το γνωρίζουν και ακόμα πιο ελάχιστοι ξέρουν για τις καταστροφικές συνέπειες του. Οι ζημιές και οι κίνδυνοι από την άμεση ή την έμμεση πρόσπτωση κεραυνού σε ένα κτήριο ή μια κατασκευή.

Οι συνέπειες από την άμεση ή την έμμεση πρόσπτωση κεραυνού σε ένα κτήριο ή μια κατασκευή δεν είναι δυνατόν να προσδιοριστούν με απόλυτη ακρίβεια καθώς εξαρτώνται από πολλούς παράγοντες με βασικότερους την ένταση του κεραυνού, την απόσταση από την κατασκευή, το είδος της κατασκευής κ.λπ. Στατιστικά η άμεση ή έμμεση προσβολή μιας κατασκευής από κεραυνό μπορεί να έχει τις παρακάτω συνέπειες ανάλογα με την περίπτωση :

8.2: Πιθανές ζημιές από άμεση πρόσπτωση κεραυνού.

Καταστροφές σε δομικά στοιχεία που ξεκινούν από φθορές σε στέγες, τοιχοποιίες και κυρίως προεξοχές, μπαλκόνια κ.λπ. και μπορούν να φτάσουν, ανάλογα με την ένταση του κεραυνού, ακόμα και σε πλήρη καταστροφή και κατάρρευση της κατασκευής .

Καταστροφή μηχανολογικών εγκαταστάσεων και μηχανολογικού εξοπλισμού που βρίσκονται σε στέγες ή δώματα (κλιματιστικά μηχανήματα, ηλιακοί θερμοσίφωνες, φωτοβολταϊκά συστήματα, ψυκτικά μηχανήματα, αερόψυκτους συμπυκνωτές, πύργους ψύξης, κεραίες κ.λπ.).

Πρόκληση πυρκαγιάς είτε από την πτώση του ίδιου του κεραυνού, είτε από βραχυκύκλωμα είτε από δεξαμενή πετρελαίου ή υγραερίου ή εγκατάσταση φυσικού αερίου που βρίσκονται εντός της πληγείσας περιοχής.

Απώλεια ζωής είτε άμεσα από την πτώση του κεραυνού είτε έμμεσα από ηλεκτροπληξία ή από την εκδήλωση πιθανής πυρκαγιάς.

Πιθανές ζημιές από έμμεση πρόσπτωση κεραυνού.

Καταστροφή ηλεκτρικών και ηλεκτρονικών συσκευών (τηλεοράσεις, υπολογιστές, printer, στερεοφωνικά, συναγερμός, πυρανίχνευση, ψυγεία, κουζίνες,

φούρνοι και άλλες ηλεκτρικές ή ηλεκτρονικές συσκευές σε επαγγελματικούς χώρους ή βιομηχανικές εγκαταστάσεις).

Καταστροφή ηλεκτρικών εγκαταστάσεων (ηλεκτρικοί πίνακες, διακόπτες, ρευματοδότες, καλώδια, φωτιστικά κ.λπ.).

Καταστροφή μηχανολογικού εξοπλισμού (κλιματιστικά μηχανήματα, ηλιακοί θερμοσίφωνες, φωτοβολταϊκά συστήματα, ψυκτικά μηχανήματα, αερόψυκτους συμπυκνωτές, πύργους ψύξης, κεραίες κ.λπ.).

Πρόκληση πυρκαγιάς είτε από βραχυκύκλωμα είτε εξαιτίας ηλεκτροστατικού φαινομένου σε δεξαμενή πετρελαίου ή υγραερίου που πιθανόν βρίσκονται εντός της πληγείσας περιοχής.

Απώλεια ζωής είτε από ηλεκτροπληξία ή από την εκδήλωση πιθανής πυρκαγιάς.

8.3: Τι είναι τα αλεξικέραυνα και ποιός ο σκοπός τους

Τα αλεξικέραυνα πολύ απλοϊκά και εκλαϊκευμένα είναι ένα σύστημα αγωγών του ηλεκτρισμού που ξεκινούν από τα υψηλότερα σημεία μιας κατασκευής και στην άλλη άκρη τους καταλήγουν στην γη. Ο σκοπός του αλεξικέραυνου είναι να παρέχει εύκολη δίοδος μέσα από την οποία θα περάσει ο κεραυνός και η οποία αν δεν υπάρχει, τότε αυτός θα βρει την ευκολότερη (με τη μικρότερη αντίσταση) και ενδεχομένως και τη συντομότερη οδό για φτάσει στην γη). Μια τέτοια διαδρομή μπορεί να είναι το κτήριο μας, μια κεραία, μια κολώνα, ένα δέντρο ή ακόμη και το σώμα ενός ανθρώπου με ότι όλα τα παραπάνω συνεπάγονται.



Σχήμα 8: Σχηματική αντικεραυνική εγκατάσταση

Τα αλεξικέραυνα δεν είναι όλα ίδια. Υπάρχουν διάφοροι τύποι αλεξικεραυνών που εφαρμόζονται ανάλογα με την κατασκευή που επιθυμούμε να προστατέψουμε. Την απόφαση για τον τύπο του αλεξικέραυνου που θα εγκατασταθεί θα την πάρει ο αρμόδιος εξειδικευμένος ηλεκτρολόγος μηχανικός που θα εκπονήσει την μελέτη αντικεραυνικής προστασίας. Αυτός θα πρέπει να διαθέτει την δέουσα εμπειρία και βασιζόμενος σε αυτήν καθώς και στα ιδιαίτερα τεχνικά χαρακτηριστικά του εκάστοτε κτηρίου καθώς και τους ισχύοντες κανονισμούς να επιλέξει και να σχεδιάσει το κατάλληλο για το συγκεκριμένο κτήριο σύστημα. Τα παραπάνω επισημαίνονται με έμφαση καθώς είναι τραγικό λάθος η κατασκευή συστήματος αντικεραυνικής προστασίας χωρίς μελέτη ή με βάση μια πρόχειρη μελέτη που θα συντάξει είτε ένας

απλός εγκαταστάτης ηλεκτρολόγος είτε κάποιος άπειρος μηχανικός ή ακόμα χειρότερο κάποιο κατάστημα που πουλά ηλεκτρολογικά υλικά. Αν το αντικεραυνικό σύστημα δεν είναι σωστά σχεδιασμένο, είναι πολύ καλύτερα να μην εγκατασταθεί καθόλου καθώς σε περίπτωση πτώσης κεραυνού θα έχουμε τα εντελώς αντίθετα από τα αναμενόμενα αποτελέσματα.

8.4: Ανάγκη αντικεραυνικής προστασίας

Κανονισμοί

Η αντικεραυνική προστασία διέπεται από διάφορα διεθνή πρότυπα. Λεπτομερείς κανονισμοί είναι οι γερμανικοί VDE 0185/78, ενώ τα υλικά αντικεραυνικής προστασίας διέπονται από τους κανονισμούς DIN 48852. Αυτοί οι κανονισμοί έχουν εφαρμοσθεί με επιτυχία και στη χώρα μας. Ωστόσο, υπάρχουν και άλλοι εθνικοί κανονισμοί π.χ. οι Αγγλικοί Cp 326, Ολλανδικοί, καθώς και οι κανονισμοί της International Electrotechnical Commission (IEC) που είναι οι IEC Publ 1024 και εκδόθηκαν από τη επιτροπή IEC-TC 81. Το 1990 ο ΕΛΟΤ εξέδωσε μέρος του IEC κανονισμού σαν πρότυπο ΕΛΟΤ-1197. Στην Ευρωπαϊκή Κοινότητα, η επιτροπή CENELEC εκδίδει έγγραφα (όπως το S 030) σχετικά με την αντικεραυνική προστασία, για λόγους κυρίως εναρμονισμού των διαφόρων εθνικών κανονισμών. Σ' αυτό το σημείο πρέπει να λεχθεί ότι συστηματική εργασία πάνω στην αντικεραυνική προστασία σε ηλεκτρικά δίκτυα έχει να παρουσιάσει η επιτροπή CIGRE 33. Στην Ελλάδα γίνονται συχνά αναφορές στις οδηγίες της γερμανικής επιτροπής αντικεραυνικής προστασίας ABB. Αυτές οι οδηγίες καλύπτονται όμως από τους κανονισμούς VDE 0185.

Ωστόσο, επειδή η αντικεραυνική προστασία είναι αρκετά πολύπλοκο αντικείμενο και ανεπαρκώς διερευνηθέν, κανένας κανονισμός δεν εγγυάται απόλυτη επιτυχία με λογικό κόστος. Ο χρήστης των εγκαταστάσεων και ο τεχνικός του σύμβουλος μπορεί να απαιτήσει από τον μελετητή της αντικεραυνικής προστασίας να εφαρμόσει ένα συγκεκριμένο κανονισμό ή συνδυασμό κανονισμών που κατά τη γνώμη του είναι αποδοτικότερος (ΝΤΟΚ/ΛΟΣ, σελ. 578-579).

8.5: Εξωτερική και Εσωτερική Προστασία

Δεν μπορεί να αποφευχθεί η πτώση των κεραυνών και έτσι το μόνο που κάνει κανείς για την προστασία του, είναι το να οδηγήσει ελεγχόμενα το ρεύμα της εκκένωσης στο έδαφος με μεταλλικούς αγωγούς και ακολούθως να μειώσει τις υπερτάσεις που δημιουργούνται με διάφορα μέσα.

Η αντικεραυνική προστασία αποτελείται από δύο ενότητες, την εξωτερική και την εσωτερική προστασία.

- Εξωτερική προστασία.

Σκοπός της είναι να οδηγηθεί η εκκένωση του κεραυνού μακριά από το υπό προστασία αντικείμενο σε ορισμένα σημεία, όπως σε μεταλλικές ράβδους, τεντωμένα συρματόσχοινα, μεταλλικούς κλωβούς και ακολούθως το ρεύμα να περάσει ελεγχόμενα στο έδαφος μέσω μιας εγκατάστασης γείωσης. Δηλαδή, έχουμε

ηλεκτρόδια που έλκουν την εκκένωση πάνω τους, τα αλεξικέραυνα ράβδου, συρματόσχοινων ή κλωβού, λέγονται και συλλεκτήρια εγκατάστασης κεραυνών. Ακολούθως έχουμε πολλούς αγωγούς π.χ. χαλύβδινους 100 mm² διατομής ή χάλκινους 50 mm² διατομής, τους αγωγούς καθόδου, που συνδέουν τα ηλεκτρόδια έλξης κεραυνού με γειωτές, τη λεγόμενη εγκατάσταση γειωτών της αντικεραυνικής προστασίας.

- Εσωτερική προστασία.

Αυτή γίνεται για να προστατευθούν αντικείμενα από υπερτάσεις που προκαλούν οι κεραυνοί. Συνιστάται από μια σειρά μέτρων που λαμβάνει κανείς ανεξάρτητα του εάν έχει εγκατασταθεί εξωτερική προστασία ή όχι. Τα μέτρα που παίρνει κανείς θα εξετασθούν με λεπτομέρειες αργότερα και είναι: τήρηση ορισμένων αποστάσεων από τους αγωγούς καθόδου, εγκατάσταση απαγωγέων τάσεων (π.χ. βαρυστόρων) ή πυκνωτών ή αυτεπαγωγών στα κυκλώματα ισχύος ή στις συσκευές (ΝΤΟΚ/ΛΟΣ, σελ. 579).

8.6: Προστασία κτιρίων

Οι κίνδυνοι συνίστανται κατά κύριο λόγο, στην πρόκληση πυρκαγιών αλλά και σε εκρηκτικά φαινόμενα που οφείλονται σε απότομη ατμοποίηση ποσοτήτων νερού. Τέτοιο κίνδυνο διατρέχουν οι στέγες, οι εξώστες και οι κεφαλές των καπνοδόχων. Πυρκαγιές από κεραυνούς σημειώνονται σε αγροτικά σπίτια με ελαφρές στέγες. Στον κίνδυνο της απότομης ατμοποίησης νερού είναι εκτεθειμένα τα αρχαιολογικά μνημεία. Τα μνημεία αυτά, άφθονα στη χώρα μας, βρίσκονται τις περισσότερες φορές πάνω σε υψώματα. Το πρόβλημα της προστασίας των μνημείων αυτών, έγκειται στη σχεδίαση αντικεραυνικής εγκαταστάσεως αόρατης από τους επισκέπτες, το οποίο παρουσιάζει σημαντική δυσκολία.

8.7: Τρόπος υπολογισμού κινδύνου ζημίας από κεραυνό

$$\text{Ο τύπος: } R = A + B + C + D + E + F + G$$

δίνει το μέγεθος του κινδύνου ζωής από την πτώση κεραυνού και την αναγκαιότητα εγκαταστάσεως αντικεραυνικής προστασίας (ΤΟΜΟΣ Ι, σελ. 21-23).

Για τον υπολογισμό του ανωτέρου δίνονται τα πιο κάτω στοιχεία, που ανάλογα με την περίπτωση τίθεται ο αντίστοιχος αριθμός. Σε περίπτωση όπου το άθροισμα R είναι:

1. $R < 40$ δεν είναι αναγκαία η αντικεραυνική προστασία
2. $R < 50$ συνιστάται αντικεραυνική προστασία
3. $R > 50$ αντικεραυνική προστασία αναγκαία

Α. ΧΡΗΣΗ ΜΕΓΕΘΟΣ Α

Σπίτια και κτίρια μικρών διαστάσεων	2
Ομοίως αλλά με εξωτερικούς χώρους	4
Εργοστάσια, Εργαστήρια	6
Γραφεία, Ξενοδοχεία, Πολυκατοικίες	7
Εκκλησίες, Θέατρα, Μουσεία, Αεροδρόμια	8
Σχολεία, Νοσοκομεία, Παιδικοί Σταθμοί	10

B. ΤΥΠΟΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΚΤΙΡΙΟΥ ΜΕΓΕΘΟΣ Β

Μεταλλικός σκελετός με οροφή όχι μεταλλική	1
Οπλισμένο σκυρόδεμα με οροφή όχι μεταλλική	2
Πλινθοδομή χωρίς σκυρόδεμα με οροφή όχι μεταλλική	4
Μεταλλικός σκελετός και οροφή	5
Πλινθοδομή με μεταλλική οροφή	8
Κτίριο με ξύλινη οροφή και κεραμίδια	10

C. ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ΤΟΥ ΚΤΙΡΙΟΥ ΜΕΓΕΘΟΣ C

Κατοικίες, Εργοστάσια, Μηχανήματα	2
Αγροτικά προϊόντα-ξύλα κλπ.	5
Σταθμοί ενέργειας, Τηλεφωνικά κέντρα	6
Ιστορικά μνημεία, Μουσεία	8
Σχολεία, Νοσοκομεία, Καύσιμα	10

D. ΣΤΑΘΜΗ ΓΕΙΤΝΙΑΣΕΩΣ ΜΕΓΕΘΟΣ D

Κτίρια γειτονεύοντα με άλλα κτίρια-δέντρα	2
Κτίριο σε αραιή περιοχή δομήσεως	5
Μεμονωμένο κτίριο	10

E. ΜΟΡΦΟΛΟΓΙΑ ΕΔΑΦΟΥΣ ΜΕΓΕΘΟΣ E

Πεδιάδα	2
Λόφος	6
Βουνό ως 1000m και παραλίες	8
Βουνό πάνω από 1000m	10

F. ΥΨΟΣ ΚΤΙΡΙΟΥ (ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ) ΜΕΓΕΘΟΣ F

Μέχρι 9m	2
Μέχρι 15m	4
Μέχρι 18m	5
Μέχρι 24m	8
Μέχρι 30m	11
Μέχρι 38m	16
Μέχρι 46m	22
Μέχρι 53m	30

G. ΙΣΟΚΕΡΑΥΝΙΚΗ ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΓΕΘΟΣ G

Μέχρι 20m	20
Μέχρι 24m	24
Μέχρι 27m	27
Μέχρι 30m	30
Μέχρι 35m	35
Μέχρι 40m	40
Μέχρι 45m	45
Μέχρι 50m	50
Μέχρι 60m	60

Γεωγραφικά στον Ελλαδικό χώρο οι ισοκεραυνικές περιοχές κατανέμονται με τα μέχρι σήμερα στοιχεία ως κατωτέρω:

Μέχρι 30 Ανατολική Πελοπόννησος, Αν. Στερεά, Εύβοια, Αν. Κρήτη

Μέχρι 40 Κεντρική Πελοπόννησος, Κεντρική Μακεδονία, Αν. Μακεδονία, Θράκη, Β. Σποράδες, Κυκλάδες

Μέχρι 50 Δυτική Μακεδονία, Κρήτη, Αν. Νησιά Αιγαίου, Ν. Πελοπόννησος

Μέχρι 60 Νησιά Ιονίου, Ήπειρος, Δυτική και Κεντρική Στερεά, Δυτική Πελοπόννησος

8.8: Προστασία Ηλεκτρικών Εγκαταστάσεων

Το τμήμα εκείνο των ηλεκτρικών εγκαταστάσεων, που υποφέρει άμεσα από τις πτώσεις κεραυνών, είναι τα εναέρια ηλεκτρικά δίκτυα και οι υπαίθριες συσκευές, όπως μετασχηματιστές, διακόπτες κλπ. Καθώς και τα τηλεφωνικά δίκτυα, κεραίες, τηλεοράσεις, VIDEO, ηλεκτρονικοί υπολογιστές, ασύρματοι, γενικά ηλεκτρικές συσκευές κ.α. Τα κυριότερα χρησιμοποιούμενα μέσα, για την προστασία των ηλεκτρικών συσκευών είναι:

- Γειώσεις στύλων και ιστών γραμμής
- Γραμμές ή αγωγοί της
- Σπινθηριστές
- Αλεξικέραυνα τύπου βαλβίδας ή μη γραμμικής αντιστάσεως και τύπου απιονισμού (ΤΟΜΟΣ Ι, σελ. 23).

8.9: Γενικά για τα αλεξικέραυνα

Ταξινόμηση αντικεραυνικών συστημάτων

Τα αντικεραυνικά συστήματα μπορούμε να τα κατατάξουμε κυρίως στις παρακάτω κατηγορίες:

- 1) Αλεξικέραυνα ακίδας
- 2) Αλεξικέραυνα πολλών ακίδων
- 3) Αλεξικέραυνα κλωβού (Faraday)
- 4) Αλεξικέραυνα ιονισμού (Ραδιενεργά – ηλεκτρονικά)
- 5) Αλεξικέραυνα απωθητές κεραυνών

Τα πρώτα (4) αλεξικέραυνα βασίζονται κυρίως στην αρχή του Franklin.

Η πράξη έχει δείξει στο παρόν και το παρελθόν, ότι η αξιοπιστία αυτών στην προστασία, κυρίως εγκαταστάσεων υψηλής τεχνολογίας, είναι πολύ μικρή. Αν κάποιος κεραυνός πέσει σε ένα από τα πρώτα (4) παραπάνω αλεξικέραυνα, τότε η ενέργεια που θα χαθεί είναι RI^2t , όπου R είναι η αντίσταση του όλου αντικεραυνικού συστήματος και I το κεραυνικό ρεύμα. Η αντίσταση R είναι και επιδιώκεται να είναι στην πράξη πολύ μικρή. Έτσι, η απώλεια της κεραυνικής ενέργειας είναι πολύ μικρή και το αντικεραυνικό σύστημα θα προστατευθεί και δε θα καταστραφεί.

Αντίθετα, γύρω από τον αγωγό ή τους αγωγούς του αντικεραυνικού συστήματος θα αναπτυχθεί ένα ισχυρότατο μαγνητικό πεδίο, που θα επάγει ισχυρές τάσεις σε κάθε αγωγή στοιχείο, που θα βρεθεί στην περιοχή του. Δηλαδή κάθε

αγωγός του αλεξικέραυνου θα δράσει σαν πρωτεύων Μ/Σ που επάγει τάση σε κάθε άλλο γειτονικό αγωγό. Οι επαγόμενες αυτές τάσεις είναι ικανές να καταστρέψουν προϊόντα υψηλής τεχνολογίας που θα βρεθούν στη δράση του μαγνητικού πεδίου.

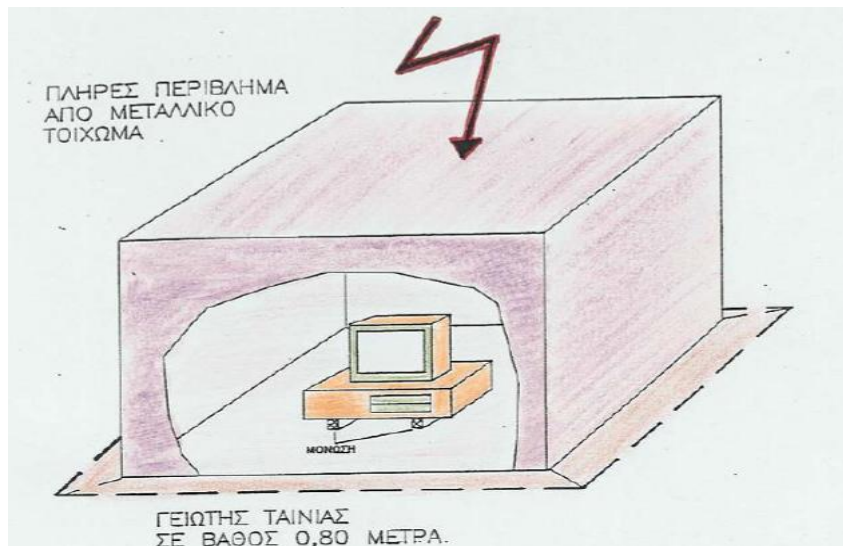
Τα αλεξικέραυνα ιονισμού ιονίζουν τον αέρα γύρω από την ακίδα με φυσικά ραδιενεργά υλικά ή με κάποιο ηλεκτρονικό τρόπο διέγερσης και ιονισμού. Έτσι, επιτείνουν την πρόκληση του κεραυνού στην ακίδα τους.

Στους ηλεκτροστατικούς κλωβούς Faraday προκαλείται ο κεραυνός και επιδιώκεται θωράκιση μιας εγκατάστασης. Η θωράκιση που επιτυγχάνεται είναι πολύ καλή στο ηλεκτροστατικό πεδίο. Στο μαγνητικό πεδίο η θωράκιση αυτή είναι ανύπαρκτη. Εκείνο όμως που καταστρέφει σήμερα τα προϊόντα υψηλής τεχνολογίας είναι το μαγνητικό πεδίο. Αν ο κλωβός είναι μαγνητικός, τότε δεν ισχύουν τα παραπάνω. Ένας όμως μαγνητικός κλωβός απαιτεί βαθιά και συμπαγή σιδεροκατασκευή πάχους αρκετών εκατοστών γύρω από μια εγκατάσταση, πρακτικά και οικονομικά αδύνατο να γίνει. Αν όμως δεχθούμε, ότι ο κλωβός Faraday παρέχει ικανοποιητική προστασία σε όλα τα είδη των εγκαταστάσεων, γεννάται το ερώτημα ένας αρχαιολογικός χώρος, που έχει ειδικές απαιτήσεις, πώς θα προστατευθεί (π.χ. Κνωσός);

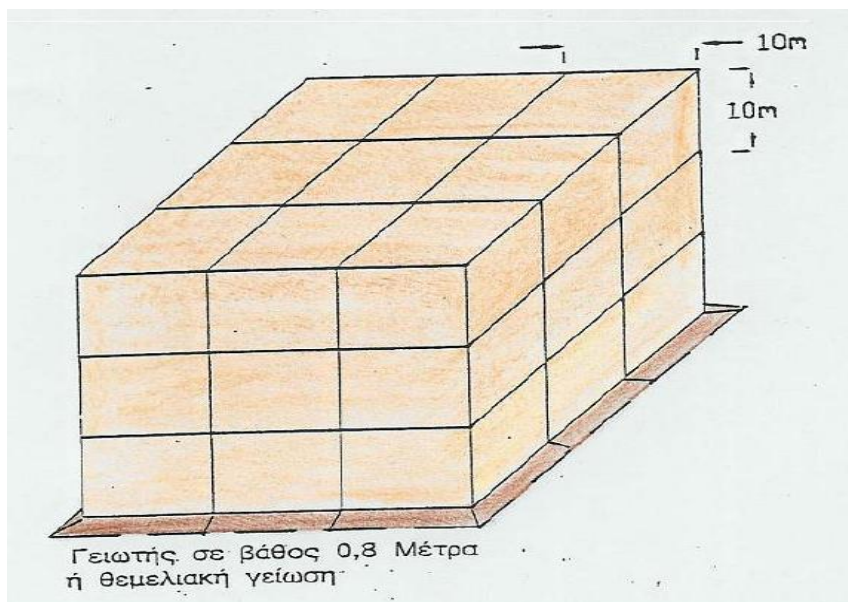
Τα αλεξικέραυνα που είναι γνωστά σαν “απωθητές” είναι καινούργια προϊόντα και εντάσσονται στα προϊόντα υψηλής τεχνολογίας. Σαν καινούργια και υψηλής τεχνολογίας προϊόντα δεν εμπίπτουν στις σχετικές γνωστές συμβατικές διεθνείς προδιαγραφές. Αντίθετα, διέπονται από προδιαγραφές Ινστιτούτων ή κατασκευαστικών οίκων, που τυγχάνουν αναγνώρισης από τα αντίστοιχα υπουργεία των χωρών αυτών (ΤΕΕ, σελ. 46-47).

8.10: Συλλεκτήρια συστήματα κεραυνών

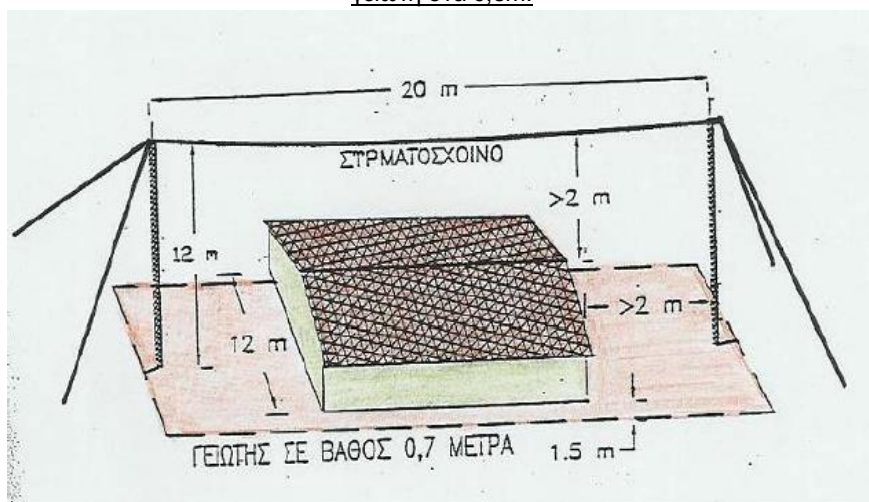
Ένα συλλεκτήριο σύστημα έχει σκοπό να οδηγεί τους κεραυνούς σε προκαθορισμένα σημεία μακριά από το υπό προστασία αντικείμενο. Το συλλεκτήριο σύστημα ονομάζεται κοινώς και αλεξικέραυνο και έχει μια περιοχή προστασίας. Το απολύτως αποτελεσματικό σύστημα είναι ένας χώρος (κουτί) με μεταλλικά τοιχώματα, (σχήμα 9) ακολουθούν σε αποτελεσματικότητα ο κλωβός αποτελούμενος από βρόγχους, τα τεταμένα συρματόσχοινα, και τέλος ράβδοι μέχρι 45m ύψος περίπου, σχ. 10, 11, 12 και 13. Τα σχήματα 14 δείχνουν τις περιοχές προστασίας ράβδου και συρματόσχοινων. Οι περιοχές κλωβού είναι αυτό που εμπεριέχεται μέσα στον κλωβό, σχήμα 10. Ωστόσο το μεταλλικό κουτί είναι στις περιπτώσεις προστασίας κτιρίων αδύνατον να υλοποιηθεί, εκτός αν το κτίριο είναι από μέταλλο. Έτσι η λύση του μεταλλικού κουτιού εφαρμόζεται κυρίως σε μικρές συσκευές, όπου πρέπει να εξασφαλισθεί 100% προστασία.



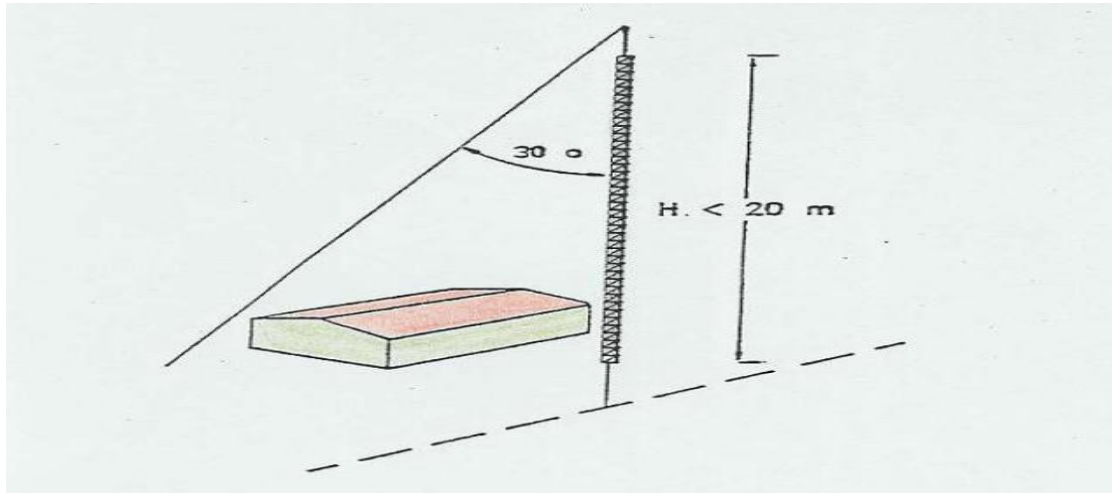
Σχήμα 9: Μέγιστη προστασία κατά της κεραυνοπληξίας προσφέρει το πανταχόθεν κλειστό μεταλλικό κουτί.



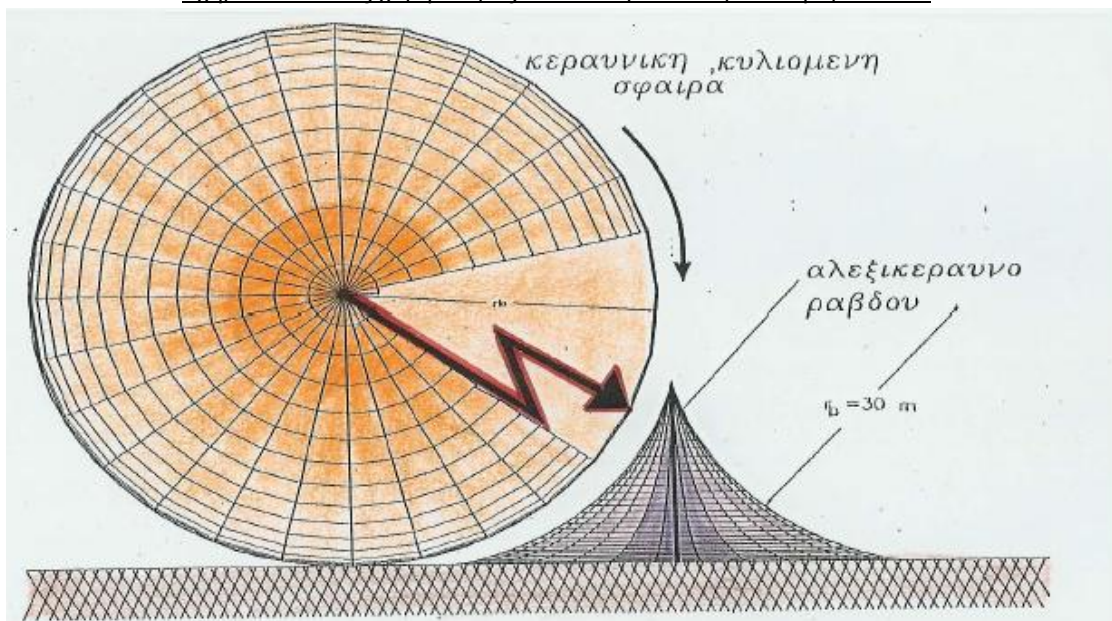
Σχήμα 10: Κλωβός με ανοίγματα 10 x 10m και δακτυλοειδή γείωση για αντικεραυνική προστασία με γειωτή στα 0,8m.



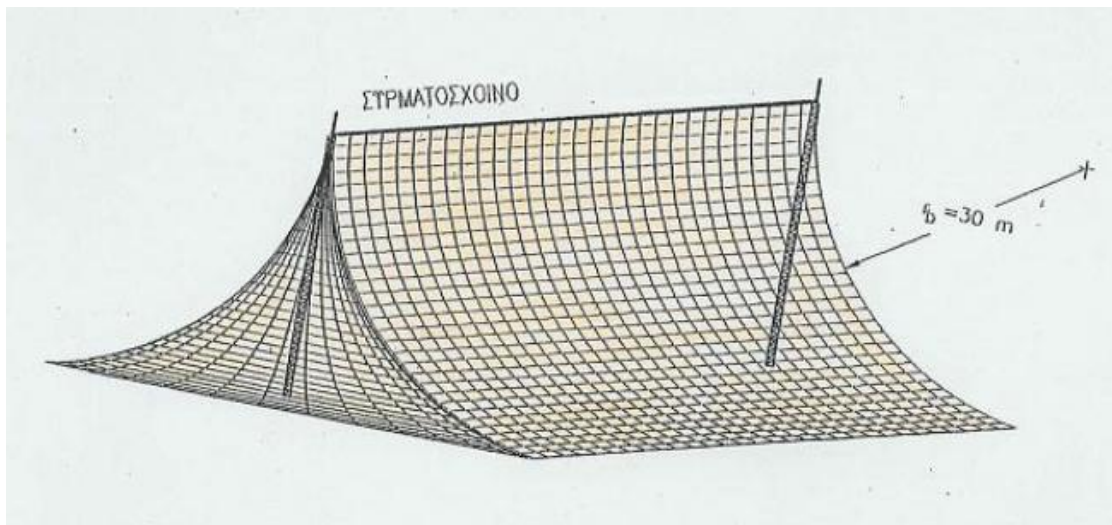
Σχήμα 11: Τεταμένο συρματόσχοινο για αντικεραυνική προστασία



Σχήμα 12: Στύλος χαμηλότερος των 20m για αντικεραυνική προστασία



Σχήμα 13: Περιοχή προστασίας ραβδου για ακτίνα κεραυνικής σφαίρας $r_b=20m$ που είναι η πιο απαισιόδοξη περίπτωση.



Σχήμα 14: Περιοχή προστασίας ραβδου τεταμένου συρματοσχοινου

Ο προσδιορισμός της περιοχής προστασίας γίνεται κατά IEC 1024 εναλλακτικά με τρεις ισοδύναμους τρόπους:

- α) Με τη μέθοδο της κεραυνικής ή κυλιόμενης σφαίρας ακτίνας r_b
- β) Με τη μέθοδο του κλωβού ανοίγματος α
- γ) Με τη μέθοδο της γωνίας προστασίας φ

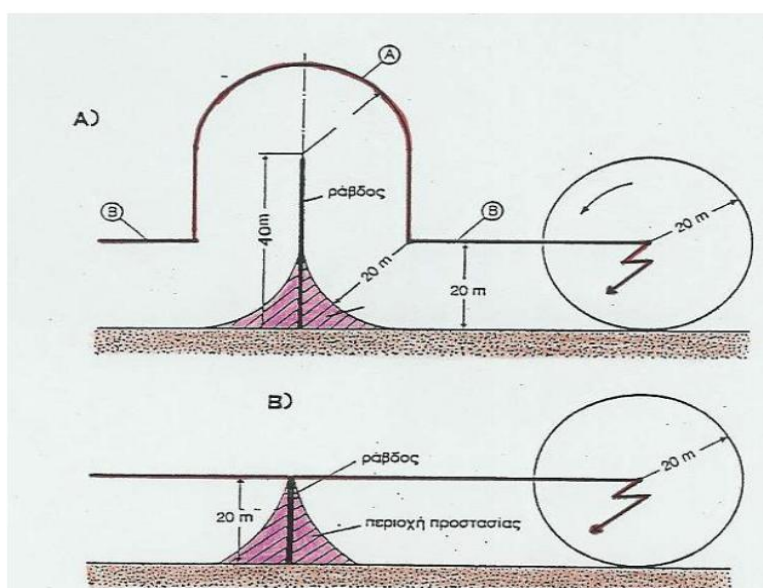
Ακολουθεί η ανάλυση αυτών των μεθόδων

α) Μέθοδος της κεραυνικής ή κυλιόμενης σφαίρας.

Η περιοχή προστασίας προσδιορίζεται με βάση την εξής αρχή (CIGRE 33). Η οδήγος εκκένωση μπορεί να πλησιάσει γειωμένα αντικείμενα από οποιαδήποτε κατεύθυνση, δηλαδή και οριζοντίως (από το πλάι). Όταν η εκκένωση πλησιάσει γειωμένα αντικείμενα σε μια συγκεκριμένη απόσταση, τότε αυτή θα προχωρήσει, δηλαδή ο κεραυνός θα πέσει, στο πλησιέστερο αντικείμενο. Αυτή η συγκεκριμένη απόσταση λέγεται ακτίνα της κεραυνικής ή κυλιόμενης σφαίρας. Η ακτίνα της σφαίρας επιλέγεται από 60m έως 20m ανάλογα με τη στάθμη προστασίας.

Στάθμη Προστασίας	r_b (m)	Άνοιγμα βρόγχου (m)	Γωνία προστασίας ϕ (ο) για διάφορα ύψη h της συλλεκτήριας εγκατάστασης			
			$h= 20$ (m)	$h= 30$ (m)	$h=45$ (m)	$h=60$ (m)
I	20	5	25	0	0	0
II	30	10	35	25	0	0
III	45	10	45	35	25	0
IV	60	20	55	45	35	25

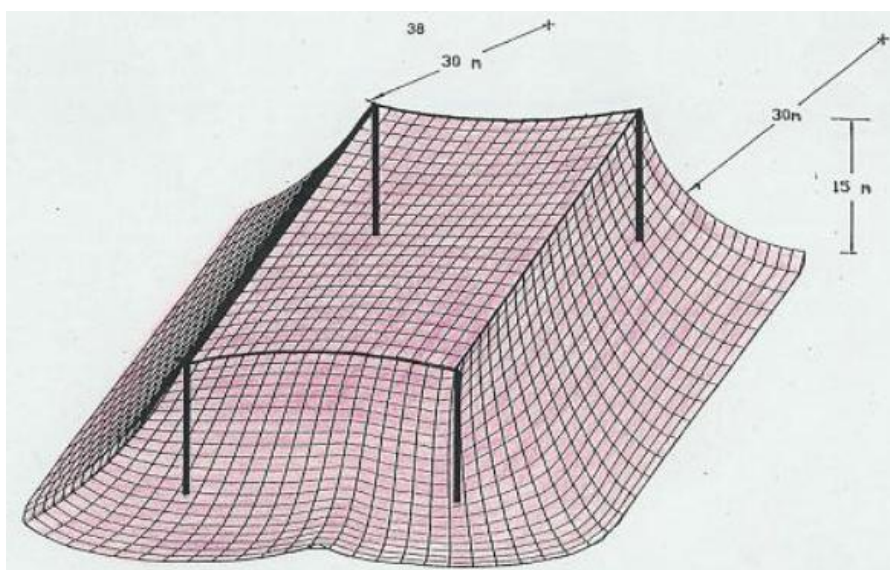
Ας κάνουμε την πιο πάνω αρχή σαφή, εξετάζοντας τη διάταξη στο σχήμα 16, όπου θα διερευνήσουμε την περιοχή προστασίας αλεξικέραυνου ράβδου μήκους 40 m.



Σχήμα 15: Κυλιόμενη κεραυνική σφαίρα και περιοχές προστασίας ράβδων ύψους α)40m και β)20m.

Εκκενώσεις που πλησιάζουν από δεξιά ή αριστερά της ράβδου σε οποιοδήποτε σημείο της γραφής (B), οδηγούνται κατευθείαν στη γη. Εκκενώσεις που πλησιάζουν οποιοδήποτε σημείο της καμπύλης A, οδηγούνται στο αλεξικέραυνο ράβδου. Αντικείμενα που βρίσκονται στη σκιαγραφημένη περιοχή είναι προστατευμένα. Το σχήμα 15 δείχνει και την περίπτωση όπου το αλεξικέραυνο ράβδου έχει ύψος 20m, όπου παρατηρούμε ότι η περιοχή προστασίας είναι η ίδια όπως της ράβδου ύψους 40m, εφόσον φυσικά ισχύει η παραδοχή της ακτίνας των 20m για την κεραυνική σφαίρα. Τα σχήματα 13 και 16 δείχνουν την εφαρμογή στην περίπτωση ράβδου και ενός και δύο τεταμένων συρματόσχοινων.

Ο τρόπος με τον οποίο προσδιορίζουμε την περιοχή προστασίας μπορεί να συμπυκνωθεί στο εξής:



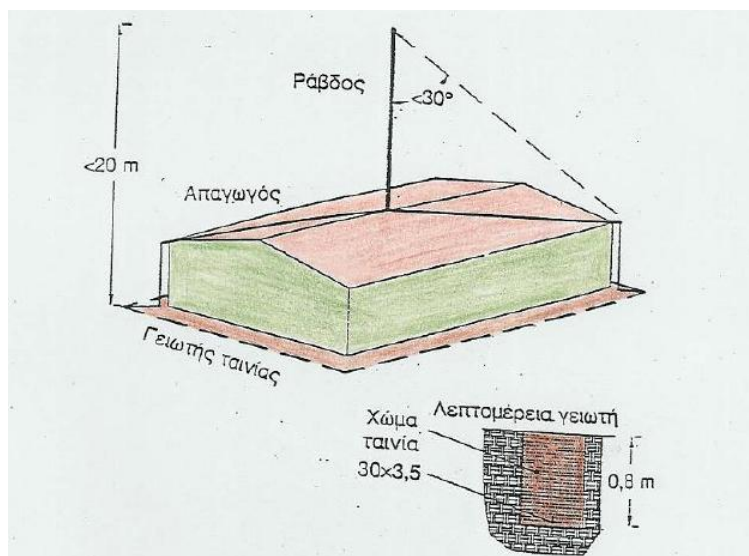
Σχήμα 16: Θεωρούμε μια κυλιόμενη σφαίρα ακτίνας r_b να κυλιέται παντού πάνω στη συλλεκτήρια εγκατάσταση και τη γη. Τα σημεία που δεν αγγίζει η σφαίρα είναι προστατευμένα. Περιοχή προστασίας προσδιορισμένη από κυλιόμενη σφαίρα ακτίνας 30m.

β) Μέθοδος του κλωβού.

Ένας κλωβός μεταλλικός με ανοίγματα μικρότερης διάστασης a προστατεύει ότι βρίσκεται στο εσωτερικό του. Το a είναι κατά IEC από 5 έως 20m ανάλογα με τη στάθμη προστασίας. Προτείνεται εδώ οι διαστάσεις του βρόγχου να λαμβάνονται 5 – 10m (σχήμα 10).

γ) Μέθοδος της γωνίας προστασίας φ .

Αυτή εκφράζεται κατά IEC για ύψη κάτω από 60m ή κατά VDE για ύψη κάτω από 20m. Η γωνία είναι $25^\circ - 55^\circ$. Προτείνεται η μέθοδος να εφαρμόζεται για ύψη ράβδου κάτω από 20m (ΝΤΟΚ/ΛΟΣ, σελ. 582-588)



Σχήμα 17: Περιοχή προστασίας ράβδου κατά IEC, VDE

Πινάκας 2: Ελάχιστες διαστάσεις συλλεκτήριων αγωγών της αντικεραυνικής προστασίας. Οι διαστάσεις αντιστοιχούν στους κανονισμούς VDE 0185 που καλύπτουν και τους αντίστοιχους κανονισμούς IEC 1024.

α/α	Υλικά	Διατομή(mm ²)	Διάμετρος (mm) ή Διαστάσεις ή Πάχος λαμαρίνας
1	Χάλυβας γαλβανισμένος (DIN 48801)	50	8φ
2	Χαλκός (DIN 48801)	50	8φ
3	Αλουμίνιο (DIN 48801)	78	10φ
4	Ανοξείδωτος χάλυβας	78	10φ
5	Χαλύβδινο συρματόσχοινο	50	10x1,6φ
6	Χάλκινο συρματόσχοινο	35	7x2,5φ
7	Σύνθετος αγωγός ACSR (St-Al)κατά DIN 48204	50/8	9,6φ
8	Ράβδοι είτε γαλβανισμένου χάλυβα είτε χαλκού κατά DIN 48204, όχι για καμινάδες	-	16φ
9	Ράβδοι όπως στην περίπτωση 8 αλλά για καμινάδες	-	20φ
10	Προφίλ για καμινάδες από χάλυβα γαλβανισμένο DIN 48814, ανοξείδωτο χάλυβα ή χαλκό	-	50x50x5
11	Λαμαρίνα γαλβανισμένου χάλυβα	-	0,5

	DIN 48814		
12	Λαμαρίνα χάλκινη	-	0,3
13	Λαμαρίνα μολύβδου	-	2
14	Λαμαρίνα αλουμινίου	-	0,5
15	Λαμαρίνα τσίγκου	-	0,7

Στην περίπτωση λαμαρινών 11-15 οι τιμές που δίνονται, αντιστοιχούν στα πάχη των λαμαρινών σκεπών. Ωστόσο, αν εφαρμοστούν τα αναφερόμενα ελάχιστα πάχη πρέπει να αναμένονται τοπικές τήξεις και τρύπημα της λαμαρίνας. Αν αυτό δεν ενοχλεί, καλώς. Αν όμως θέλουμε να αποφύγουμε τήξεις, τότε πρέπει να κατασκευαστεί πρόσθετο συλλεκτήριο σύστημα κλωβού π.χ. 10 x 5m² σε απόσταση 0,5m πάνω από τη λαμαρινοκατασκευή. Οι κανονισμοί IEC δίνουν τα πάχη λαμαρίνας που δεν τίκονται ως εξής: για χάλυβα 4mm, για χαλκό 5mm, για αλουμίνιο 7mm.

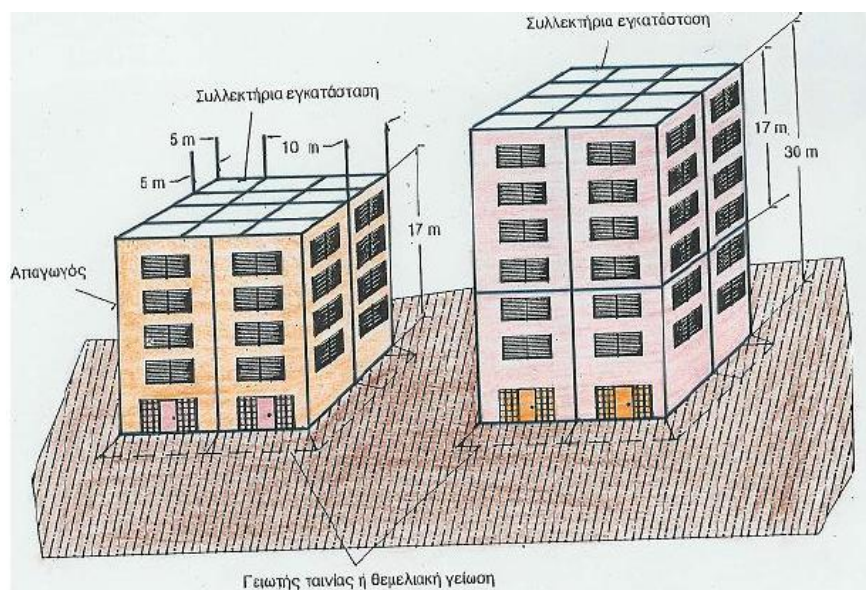
8.11: Συλλεκτήριες εγκαταστάσεις πάνω σε κτίρια

Κατά κανόνα εγκαταστάσεις σύλληψης πρέπει να γίνονται τύπου κλωβού διαστάσεων όχι μεγαλύτερων από 10 x 20m που περιβάλλουν το κτίριο. Αυτές συνοδεύονται με τα μεταλλικά μέρη της σκεπής. Κανένα σημείο της σκεπής δεν πρέπει να απέχει πάνω από 5m από τους αγωγούς του κλωβού (Σχήμα 18). Συνιστανται βρόγχοι 5 x 5m² σε περιπτώσεις υψηλών απαιτήσεων.

Σε κτίρια χαμηλά μπορεί να γίνει απόκλιση και να χρησιμοποιηθούν μια ή περισσότεροι ράβδοι. Το ύψος όμως της ράβδου πρέπει να είναι κάτω των 20m. Η περιοχή προστασίας είναι ο κώνος που σχηματίζεται από γωνία μικρότερη των 45°-30° ως προ τη ράβδο (σχ. 13). Μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν δύο ράβδοι ενωμένες με αγωγό, οπότε η περιοχή προστασίας είναι μια γωνία και δύο εφαπτόμενοι κώνοι αντίστοιχα με το σχήμα 14.

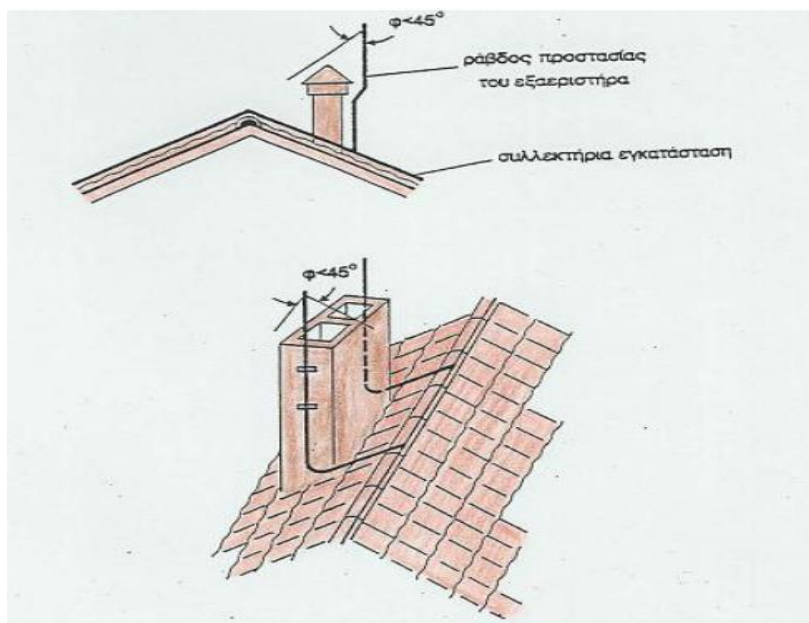
Τμήματα στέγης μη μεταλλικά που δεν προεξέχουν πάνω από 0,3m από το επίπεδο ενός κλωβού θεωρούνται προστατευμένα.

Τμήματα στέγης μεταλλικά δεν χρειάζεται να ενωθούν με τον συλλεκτήριο κλωβό, εφόσον προεξέχουν το πολύ 0,3m, η επιφάνεια τους είναι μικρότερη του 1m², το μεγαλύτερο μήκος είναι μικρότερο των 2m και απέχουν το πολύ 0,5m από τους αγωγούς της εγκατάστασης.



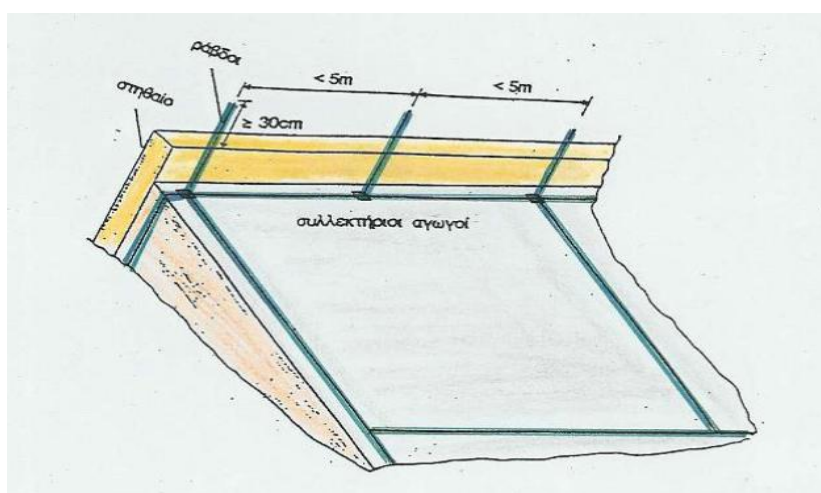
Σχήμα 18: Προστασία υψηλών κτηρίων με κλωβούς

Αν δεν πληρούνται οι συνθήκες, τότε τα μη μεταλλικά σημεία που προεξέχουν προστατεύονται με ράβδο που ενώνεται με τη συλλεκτήρια εγκατάσταση ή προκειμένου περί μεταλλικών επιφανειών αυτές συνδέονται με τη συλλεκτήρια εγκατάσταση (σχήμα 19).



Σχήμα 19: Αντικείμενα που προεξέχουν πάνω από 30cm μπορούν να προστατευθούν με ράβδο ενωμένη με το ΣΑΠ

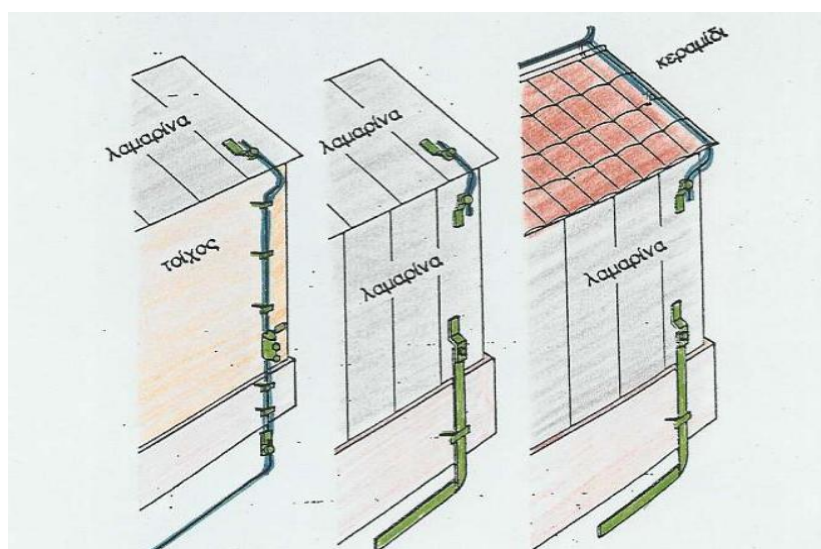
Οι συλλεκτήριοι αγωγοί τοποθετούνται στις ακμές των κτιρίων. Αν τοποθετηθούν κάτωθεν της ακμής, τότε απαιτούνται κάθε 5m ράβδοι ενωμένες με τη συλλεκτήρια εγκατάσταση που να προεξέχουν 30cm από την ακμή (Σχήμα 20).



Σχήμα 20: Αν οι συλλεκτήριοι αγωγοί είναι κάτω από τη στηθαίο της τάρταςας τότε εγκαθίστανται τουλάχιστον κάθε 5m ακίδες

Οι συλλεκτήριοι αγωγοί μπορεί να είναι κάτω από την τελική επιφάνεια του κτιρίου. Τότε, όμως απαιτούνται κάθε 5m ακίδες που να προεξέχουν πάνω από 0,3m πάνω από τις ακμές της σκεπής. Αν η σκεπή είναι μεταλλική π.χ. λαμαρίνα και έχει εκτεταμένα μεταλλικά πλαίσια γυμνά ή απλώς βαμμένα, αυτά μπορεί να

αντικαταστήσουν την εγκατάσταση έλξης αρκεί να έχουν τα πάχη. Σε περιπτώσεις λαμαρίνας να υπάρχει καλή σύνδεση και μια επικάλυψη 100mm τουλάχιστον (Σχήμα 21).



Σχήμα 21: Μεταλλικές λαμαρίνες αντικαθιστούν το συλλεκτήριο σύστημα, εφόσον έχουν ένα ελάχιστο πάχος

Όταν σκεπές μεταλλικές είναι καλυμμένες με μονωτικά, τότε χρειάζεται συλλεκτήρια εγκατάσταση και σύνδεση της σκεπής κάθε 10m με την συλλεκτήρια εγκατάσταση.

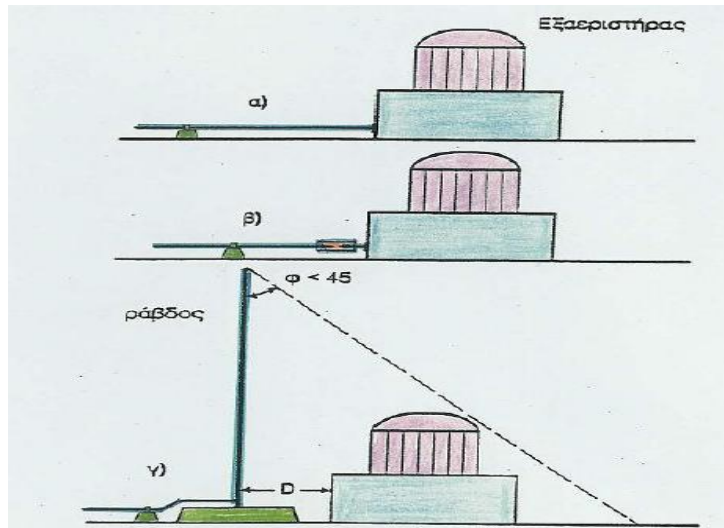
Σε σκεπές από πλάκες αμιαντοσιμέντου (ΕΛΕΝΙΤ) πάνω σε χαλύβδινο σκελετό δεν χρειάζεται πρόσθετη συλλεκτήρια εγκατάσταση, γιατί οι πολλές βίδες λειτουργούν σαν συλλεκτήριες ακίδες.

Σε κτίρια με ύψος πάνω από 30m απαιτούνται και συλλεκτήριοι αγωγοί στους εξωτερικούς τοίχους. Όμως, αν πρόκειται για κτίρια με οπλισμένο σκυρόδεμα ή μεταλλικό φέροντα οργανισμό από χάλυβες χρησιμοποιημένους και σαν αγωγούς καθόδου, τότε μπορεί να λείπουν οι πλευρικοί συλλεκτήριοι αγωγοί.

Σε κτίρια ύψους μέχρι 20m μεταλλικά αντικείμενα που προεξέχουν π.χ. μπαλκόνια, υπόστεγα κλπ., δεν χρειάζεται να ενωθούν με τους αγωγούς, εφόσον βρίσκονται στην περιοχή προστασίας της αντικεραυνικής εγκατάστασης. Εάν είναι εκτός περιοχής, πρέπει να συνδεθούν εφόσον έχουν επιφάνεια πάνω από 5m² ή μήκος πάνω από 10m.

Σε κτίρια πάνω από 20m εξωτερικά μεταλλικά τμήματα μήκους πάνω από 2m και επιφάνειας πάνω από 1m² π.χ. μπαλκόνια πρέπει να συνδεθούν με τους απαγωγούς.

Ηλεκτρομηχανολογικές εγκαταστάσεις κλιματισμού, αερισμού και ανελκυστήρων που βρίσκονται στην ταράτσα του κτιρίου πρέπει κατά δυνατότητα να μη συνδεθούν με συλλεκτήριοι αγωγοί, σχήμα 22. Σε κτίρια με ύψος πάνω από 30m μπορεί να είναι σκόπιμο να συνδεθεί η εγκατάσταση της κεραίας με την εγκατάσταση σύλληψης των κεραυνών.



Σχήμα 22. Προστασία εξαεριστήρα στην ταράτσα κτιρίου.

α) σύνδεση με την συλλεκτήρια εγκατάσταση, β) όπως το α) αλλά μέσω σπινθηριστή, γ) προστασία με ράβδο και με μεγάλη απόσταση γειτνίαςης D από τη ράβδο, $D > 0,5m$

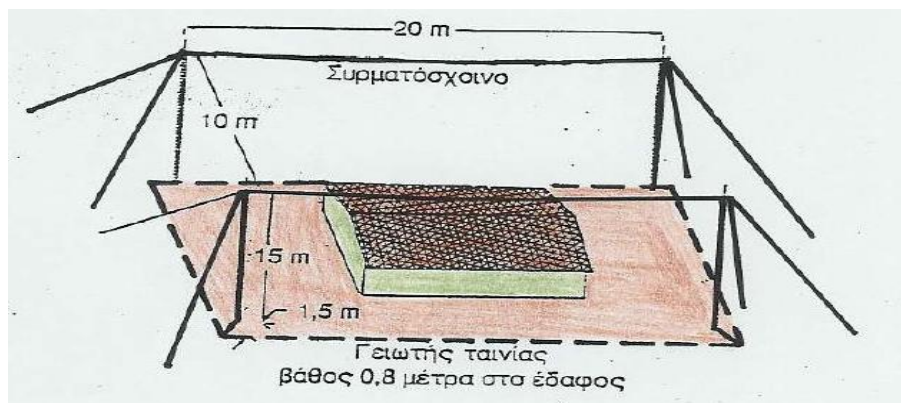
Ηλεκτρομηχανολογικές εγκαταστάσεις π.χ. αερισμός, φώτα, αεροπλοΐας, κάμερες μπορεί να προστατευθούν με μια ράβδο συνδεδεμένη στο συλλεκτήριο σύστημα, εφόσον βρίσκονται στον κώνο των 45° της ράβδου, ή μπορεί να προστατευθούν ακόμη καλύτερα με πρόσθετο κλωβό (ΝΤΟΚ/ΛΟΣ, σελ. 593-599).

8.12: Συλλεκτήριες εγκαταστάσεις μονωμένες από τις λοιπές εγκαταστάσεις

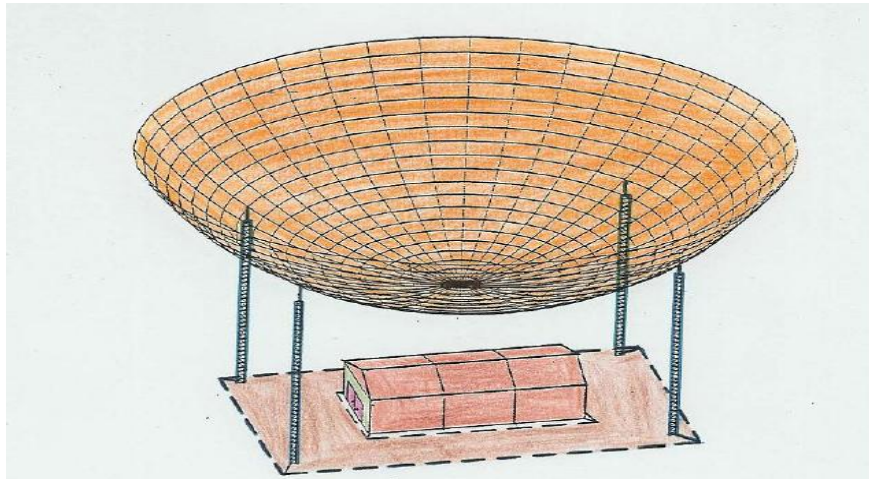
Μονωμένες εγκαταστάσεις είναι οι πιο αποτελεσματικές αλλά απαιτούν πολύ χώρο που συνήθως προσφέρεται μόνο σε αραιοκατοικημένες περιοχές. Εδώ, το υπό προστασία αντικείμενο είναι στη ζώνη προστασίας της συλλεκτήριας εγκατάστασης και μάλιστα 2-3m μακριά από τους αγωγούς της.

Αυτή μπορεί να αποτελείται από:

- Ένα ή περισσότερα συρματόσχοινα παράλληλα (σχ. 11, 23)
- Μια ή περισσότερες ράβδους (σχ. 12, 24)
- Δίκτυο συρματόσχοινων 8-10mm διαμέτρου και ανοιγμάτων ανάλογα με τη στάθμη προστασίας 5 – 20m (σχ. 25)



Σχήμα 23: Μονωμένο συλλεκτήριο σύστημα αποτελούμενο από δύο τεταμένα συρματόσχοινα. Πανταχόθεν απόσταση του οικισμού από το ΣΑΠ 2m. Ο οικίσκος πρέπει επιπλέον να είναι στην περιοχή προστασίας.

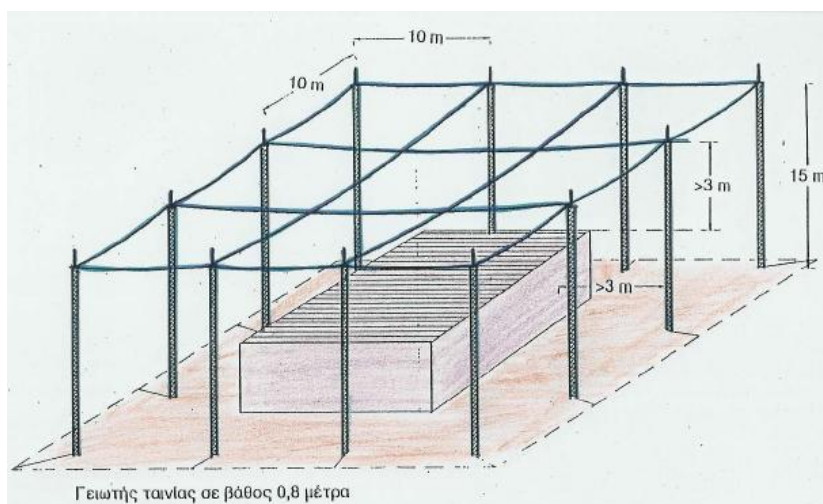


Σχήμα 24: Μονωμένο συλλεκτήριο σύστημα αποτελούμενο από 4 ράβδους με σχεδιασμένη την “κεραυνική κυλιόμενη” σφαίρα

Τα σχήματα 13, 14, 16 δείχνουν τις περιοχές προστασίας λαμβάνοντας υπόψη μια ακτίνα κεραυνικής σφαίρας 30m για άλλες ακτίνες οι περιοχές προστασίας προκύπτουν ανάλογα.

Πρέπει κανείς να παρατηρεί ότι:

- Ράβδοι προστατεύουν σημαντικά όταν το ύψος τους είναι μικρότερο από την ακτίνα της κεραυνικής σφαίρας. Έτσι π.χ. οι κανονισμοί VDE 0185 ορίζουν σαν μέγιστο επιτρεπόμενο ύψος 20m για μια ράβδο ή 30m για πολλές ράβδους.
- Για τα τεταμένα παράλληλα συρματόσχοινα υφίστανται περιορισμοί ύψους. Οι κανονισμοί VDE 0185 ορίζουν 20m για ένα συρματόσχοινο.
- Για δίκτυο από συρματόσχοινα το ύψος είναι απεριόριστο.



Σχήμα 25: Μονωμένο συλλεκτήριο σύστημα αποτελούμενο από δίκτυο συρματόσχοινων

Τα υπό προστασία μεταλλικά αντικείμενα σε μονωμένες εγκαταστάσεις πρέπει:

- Να είναι στην περιοχή προστασίας, όπως προσδιορίζεται στα σχήματα 12, 13, 14 και 15

- Να απέχει από αγωγούς ΣΑΠ απόσταση S μεγαλύτερη μιας τιμής D που λέγεται ελάχιστη επιτρεπόμενη απόσταση γεινίασης και υπολογίζεται σε άλλο κεφάλαιο. Απόσταση “ S ” από τους αγωγούς ΣΑΠ $>$ ελάχιστη επιτρεπόμενη απόσταση γεινίασης “ D ” (ΝΤΟΚ/ΛΟΣ, σελ. 599-601).

8.13: Απαγωγοί ή αγωγοί καθόδου

Αυτοί είναι αγωγοί με διαστάσεις, όπως στον πίνακα 3, που συνδέουν το συλλεκτήριο σύστημα με το σύστημα γείωσης. Τυπικά, επαρκούν αγωγοί από χάλυβα γαλβανισμένο 10φ. Προτιμούνται συνεχείς και όχι συνενωμένοι απαγωγοί.

Πίνακας 3. Ελάχιστες διαστάσεις απαγωγών (αγωγών καθόδου) και ισοδυναμικών συνδέσεων κατά DIN / VDE 0185. Οι τιμές καλύπτουν τους κανονισμούς IEC 1024 και ΕΛΟΤ 1197. Για ισοδυναμικές συνδέσεις χρησιμοποιείται συνήθως H07V-R-50mm².

α/α	Υλικό	Διαστάσεις Διάμετρος (mm)	Διατομή (mm ²)
1	Γαλβανισμένος χάλυβας κυκλικής διατομής	8 [10(1), 16(2)]	50 [78(1), 200(2)]
2	Γαλβανισμένος χάλυβας Ορθογώνιας διατομής	20 x 2,5	50
3	Ανοξειδωτος χάλυβας π.χ. DIN 17440 κυκλικής διατομής	10 [12(1), 26(2)]	78 [113(1), 200(2)]
4	όπως 3 αλλά ορθογώνιας διατομής	30 x 3,5 [30 x 4(2)]	105 [120(2)]
5	Χαλκός κυκλικής διατομής	8	50
6	Χαλκός Ορθογώνιας διατομής	20 x 2,5	50
7	Καλώδιο H07V-R (3)	20 x 2,5(2)	50 [16(3)]
8	Χαλκός με 1mm Μόλυβδο	10φ x 8φ	50
9	Χάλυβας με 1mm Μόλυβδο	10φ x 8φ	50

1)σε καμινάδες, 2)σε καμινάδες στην περιοχή καυσαερίων, 3)ειδικά και μόνο για γέφυρες με ολισθαίνουσες δράσεις προδιαγράφονται καλώδια υπερυψηλής ευκαμψίας H05RN-H 50mm².

Η προστασία βελτιώνεται:

- Με αύξηση του αριθμού απαγωγών
- Με μείωση του μήκους των απαγωγών (ΝΤΟΚ/ΛΟΣ, σελ. 601-603)

8.14: Εγκαταστάσεις σε κτίρια

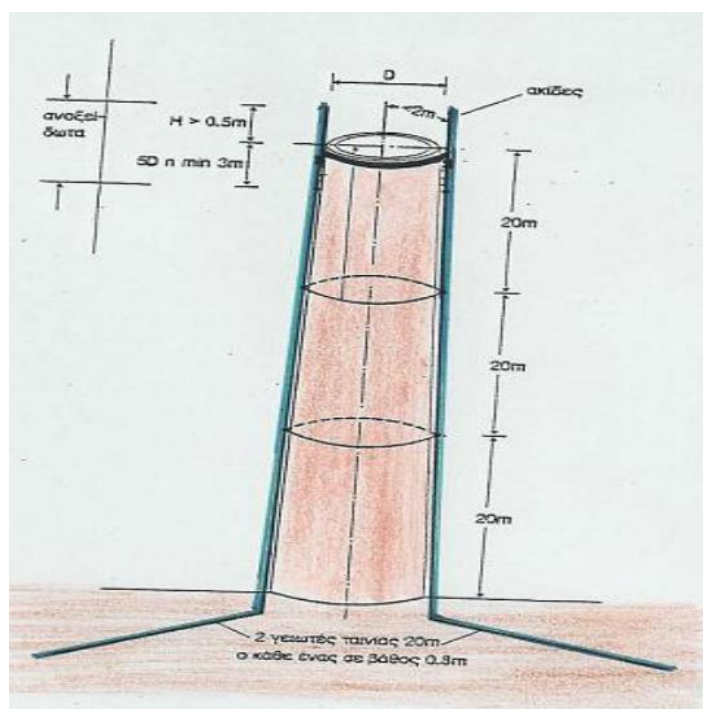
Οι αποστάσεις των απαγωγών είναι $X < 10m$ έως $25m$ για συστήματα κλωβού ανάλογα με τη στάθμη προστασίας, όπως δείχνει ο πίνακας 3. Για συστήματα ράβδων μπαίνει ένας τουλάχιστον απαγωγός ανά ράβδο.

Οι απαγωγοί εγκαθίστανται κατά δυνατότητα δίπλα ή πάνω στις εξωτερικές ακμές του κτιρίου (σχ.25).

Κτίρια με κατόψεις κάτω από $40 \times 40 m^2$ καλό είναι να έχουν και εσωτερικούς απαγωγείς. Αυτοί θα απέχουν από τους εξωτερικούς τοίχους λιγότερο από $40m$. Κτίρια ψηλά $> 20m$ ή καμινάδες έχουν δύο απαγωγούς τουλάχιστον (σχήμα 26).

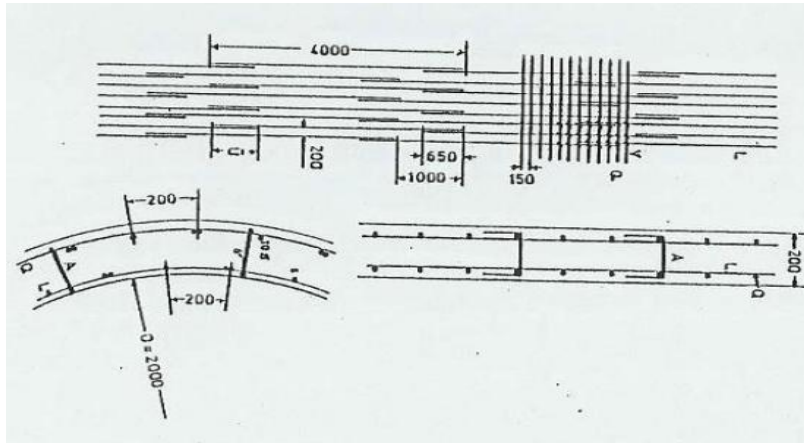
Οι απαγωγοί απέχουν πάνω από $0,5m$ από παράθυρα και πόρτες. Μεταλλικές κατασκευές ή μεταλλικοί σκελετοί κτιρίων μπορούν να αντικαταστήσουν τους απαγωγούς. Αν αυτές είναι από λαμαρίνες μεταλλικές το πάχος τους πρέπει να είναι μεγαλύτερο του $0,5mm$. Παραδείγματα απαγωγών τέτοιων είναι οι μεταλλικές σκάλες, μεταλλικές διακοσμητικές λαμαρίνες, υδρορροές, σχ. 21.

Οι απαγωγοί μπορεί να είναι ενσωματωμένοι στον σκελετό του δικτύου, στο σκυρόδεμα. Εναλλακτικά μπορεί να χρησιμοποιηθεί ο χαλύβδινος οπλισμός του κτιρίου, εφόσον έχει επαρκής ηλεκτρική συνέχεια.



Σχήμα 26: Συλλεκτήριο σύστημα με απαγωγούς για καμινάδα. Οι απαγωγοί είναι ενταφιασμένοι σε γωνία 60ο έως 12ο στο έδαφος σε βάθος άνω του $0,5m$.

Ο χαλύβδινος οπλισμός θεωρείται ότι έχει συνέχεια αν 50% των διασταυρώσεων είναι συγκολλημένες, και αν οι κατακόρυφοι ράβδοι του οπλισμού είναι γεφυρωμένοι κατά μήκος ίσο με 20 φορές τη διάμετρο τους ή είναι επαρκώς συγκολλημένοι (σχήμα 27).



Σχήμα 27: Συνδέσεις οπλισμού που θεωρούνται επαρκείς για ΣΑΠ

9. Συστήματα γειωτών

Η αντικεραυνική προστασία απαιτεί ειδικές κατάλληλες γειώσεις με προδιαγραφές, όπως ακολουθούν. Αν όμως άλλες, ήδη υπάρχουσες γειώσεις, π.χ. γείωση της μέσης τάσης, που χρησιμοποιούνται για άλλα κυκλώματα πληρούν αυτές τις προδιαγραφές, τότε δεν χρειάζεται να κατασκευαστεί ένα πρόσθετο ιδιαίτερο σύστημα για την αντικεραυνική προστασία. Προτείνεται μάλιστα να επιδιώκουμε ένα μόνο μοναδικό σύστημα γειωτών για όλα τα κυκλώματα που απαιτούν γειώσεις, όπως η γείωση προστασίας, η μέση τάση, τα τηλεπικοινωνιακά δίκτυα, η αντικεραυνική προστασία. Η εγκατάσταση γειωτών συνδέεται κατά τον συντομότερο τρόπο με τους απαγωγούς και με τον ζυγό εξίσωσης δυναμικών.

9.1: Αντίσταση γείωσης:

Η αντίσταση γείωσης δεν ενδιαφέρει γενικά. Μόνο αν για οποιοδήποτε λόγο δεν υπάρχει ισοδυναμική προστασία έστω και σ' ένα μέρος της εγκατάστασης, τότε η αντίσταση γείωσης R πρέπει να είναι αρκετά μικρή. $R < 5D$ όπου R = αντίσταση γείωσης σε Ω , D = απόσταση σε m μεταλλικών (αγείωτων) μερών του κτιρίου ή των καλωδίων της εγκατάστασης από τους αγωγούς του συστήματος της αντικεραυνικής προστασίας.

Επειδή η γείωση της αντικεραυνικής προστασίας είναι λογικό να είναι από κοινού γείωση προστασίας σε υποσταθμούς ΜΤ ή σε εγκαταστάσεις ΧΤ, καλό είναι να επιδιώκουμε μικρή αντίσταση γείωσης, π.χ. $R < 1\Omega$.

Η αντίσταση μετριέται με γειωσόμετρο συχνότητας λειτουργίας 45 – 140 Hz.

Το ανώτερο ανεκτό που μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε είναι 3Ω σε δύσκολα εδάφη.

9.2: Κατάλληλοι γειωτές

Αυτοί είναι εναλλακτικά τρεις:

- α) Θεμελιακή γείωση ή
- β) Ένας δακτύλιος κατά δυνατότητα κλειστός γύρω από το κτίριο ή
- γ) Δύο τουλάχιστον μεμονωμένοι γειωτές ράβδων βάθους 9m ή ταινιών μήκους 20m (βάθος > 0,5m)

Οι απαγωγοί συνδέονται κατευθείαν ή μέσω διακένων με τη θεμελιακή γείωση ή με τον δακτύλιο γείωσης. Στην περίπτωση που αποσφραγίζουμε για μεμονωμένους γειωτές, τότε αυτοί συνδέονται ένας γειωτής ανά απαγωγό, δηλαδή ο αριθμός των απαγωγών είναι ίσος με τον αριθμό των γειωτών. Οι μεμονωμένοι γειωτές επιτρέπεται να είναι ράβδοι διατομής όπως στον πίνακα σε βάθος > 9m ή ταινίες ή αγωγοί μήκους 20m (π.χ. 30 x 3,5 m² γαλβανισμένη ταινία χάλυβα) σε βάθος μεγαλύτερου του 0,5m. Οι ράβδοι βρίσκονται σε απόσταση 1m έως 1,5m περίπου από τον εξωτερικό τοίχο του κτιρίου. Αντί μιας ευθείας ταινίας των 10m μπορεί να τοποθετηθούν δύο ταινίες των 20m σε γωνία μεγαλύτερη των 60°. Αντί μιας ράβδου (> 9m) μπορεί να χρησιμοποιηθούν δύο ή περισσότεροι ράβδοι παράλληλοι με το συνολικό μήκος άνω των 9m. Οι αποστάσεις των ράβδων να είναι τουλάχιστον 4 φορές το βάθος τους. Αντί ράβδου γείωσης μπορεί να χρησιμοποιηθεί ο σπλισμός

των θεμελίων εφόσον ο όγκος των θεμελίων είναι άνω των 5m³. Αν χρησιμοποιηθούν μεμονωμένοι γειωτές, ο αριθμός των γειωτών είναι πάντα μεγαλύτερος του 2.

Αν δεν είναι δυνατόν να κλείσει ο δακτυλιοειδής γειωτής μέσα στο έδαφος, τότε μπορεί να κλείσει στον αέρα ή πάνω στον τοίχο με πρόσθετους αγωγούς. Το μήκος που του λείπει πρέπει να συμπληρωθεί με πρόσθετους γειωτές. Μεταλλικές κατασκευές ενταφιασμένες στο έδαφος θεωρούνται ισοδύναμες με μεμονωμένους γειωτές, όταν αυτές έχουν τις ίδιες διαστάσεις όπως οι γειωτές που απαιτούνται. Δοχεία ή κατασκευές μεταλλικές σε επαφή με το έδαφος δεν χρειάζονται επιπρόσθετες γειώσεις.

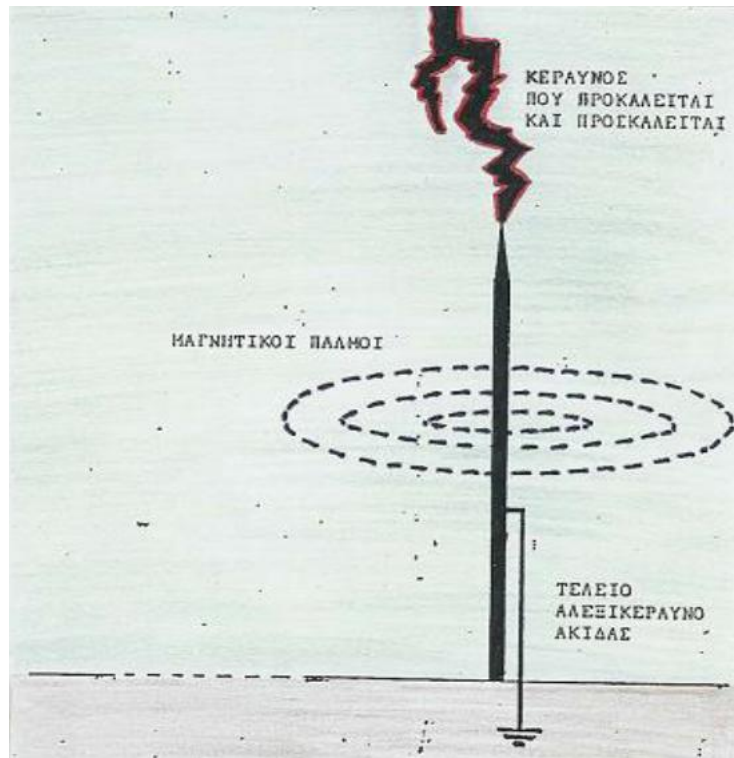
Σε κτίρια πάνω σε βράχους, όταν δεν είναι δυνατή η γείωση με δακτύλιο στη γη ή με μεμονωμένους γειωτές, η γείωση γίνεται ως εξής: Κατασκευάζεται δακτύλιος πάνω στο έδαφος, όπου συνδέονται οι απαγωγοί. Ακολούθως συνδέει κανείς δύο γειωτές ταινίας 20m κατά τον συντομότερο τρόπο με τον δακτύλιο. Συνδέσεις πάνω σε δρόμους πεζών καλύπτονται με σκυρόδεμα.

Γειώσεις σε μέρη κεραυνόπληκτα και προσπελάσιμα από το κοινό, γίνονται με ιδιαίτερη προσοχή για να αποφευχθούν μεγάλες βηματικές τάσεις. Τέτοιες εγκαταστάσεις είναι εκκλησίες, πύργοι τηλεόρασης, γέφυρες, πύργοι φωτισμού σε γήπεδα. Εδώ γίνεται χρήση ειδικών πλεγμάτων για έλεγχο των δυναμικών και επιπλέον γίνονται μονώσεις του δαπέδου ή του πύργου (ΝΤΟΚ/ΛΟΣ, σελ.605-607).

10. Αλεξικέραυνα

Προσγειωμένη μεταλλική ακίδα ή μεταλλικός στύλος (Αλεξικέραυνο Franklin)

Μια προσγειωμένη ακίδα προστατεύει την κωνική περιοχή που έχει κορυφή την κορυφή της ακίδας και γωνία κορυφής τη “γωνία προστασίας” της ακίδας (σχ. 28).



Σχήμα 28

Έτσι μπορούμε να πούμε ότι, κατά το μέτρο που η έννοια της γωνίας προστασίας αποδίδει πρακτικά την αποτελεσματικότητα της ακίδας σαν μέσου προστασίας, η ακίδα μπορεί να θεωρηθεί σαν σίγουρο και αποτελεσματικό μέσο προστασίας.

Ένα ακόμη πλεονέκτημα του αλεξικέραυνου ακίδας είναι και ότι η κατασκευή του είναι σχετικώς απλή, αντιστοίχως δε και σχετικώς φθηνή. Το τελευταίο, όμως, αυτό ισχύει μόνο όταν έχουμε να κάνουμε με την προστασία κατασκευών σχετικώς μικρού όγκου. Αλλιώς η διάταξη προστασίας καθίσταται πολύ μεγάλη (αποκτά πολύ μεγάλο ύψος), αντιστοίχως δεν αυξάνει σημαντικά και το κόστος της, ίσως μάλιστα και η όλη κατασκευή της να καθίσταται τεχνικά προβληματική.

Ο αποφασιστικός παράγοντας που καθορίζει την αποτελεσματικότητα των αλεξικέραυνων ακίδων είναι η γωνία προστασίας τους. Σημειωτέον ότι, μια προσπάθεια τεχνητής αύξησης της γωνίας προστασίας αλεξικέραυνων ακίδων αντιπροσωπεύει και επί σειρά ετών εγκατάσταση αλεξικέραυνων με ραδιενεργό ουσία στη ακίδα τους, η οποία ουσία, κατά τους κατασκευαστές τέτοιων αλεξικέραυνων, διευκόλυne την ανάπτυξη εκκενώσεων από την κορυφή της ακίδας προς το νέφος, λόγω του πρόσθετου ιονισμού που αναπτύσσεται από την ύπαρξη των ραδιενεργών στοιχείων. Τέτοια αλεξικέραυνα ανήκουν επίσης στην κατηγορία των διατάξεων συλλήψεως των κεραυνών.

Δυνατότητες αύξησης της αποτελεσματικότητας αλεξικέραυνων ακίδας (αλεξικέραυνα ιονισμού)

10.1: Αναγκαίες προϋποθέσεις για την αύξηση της αποτελεσματικότητας.

Ένα αλεξικέραυνο ακίδας είναι τόσο αποτελεσματικότερο, όσο μεγαλύτερη είναι η ικανότητα της ακίδας να συλλαμβάνει οδηγούς οχετούς κεραυνών που βρίσκονται στην άμεση γειτονία της. Η ικανότητα αυτή είναι ισοδύναμη προς την ικανότητα της ακίδας να παράγει και αυτή, καθόσον χρόνο αναπτύσσεται ο εκ του νέφους οδηγός οχετός, οδηγούς οχετούς που κατευθύνονται προς τα άνω. Όσο εντονότερη είναι η δυνατότητα αυτή και όσο ταχύτερα πραγματοποιείται η δημιουργία των ανοδικών στοιχείων, τόσο αποτελεσματικότερη είναι η ακίδα σαν μέσο προστασίας έναντι των κεραυνών.

10.2: Η παραγωγή οδηγών οχετών από αλεξικέραυνα ακίδας

Αναγκαίες συνθήκες για την παραγωγή οδηγών οχετών από αλεξικέραυνα ακίδας. Οι αναγκαίες συνθήκες για την παραγωγή οδηγών οχετών από ένα αλεξικέραυνο ακίδας είναι οι εξής:

- Η ακίδα πρέπει να έχει την κατάλληλη ακτίνα καμπυλότητας, έτσι ώστε η κατανομή της πεδιακής έντασης στη γειτονία της να είναι η επιθυμητή.
- Η πεδιακή ένταση γύρω από την ακίδα πρέπει να υπερβαίνει την πεδιακή ένταση ανάπτυξης των θυσάνων που έχει τιμή 5KV/cm και 18KV/cm υπό θετική και αρνητική πολικότητα αντίστοιχα.
- Η (χρονική) καθυστέρηση σχηματισμού θυσάνων και οδηγών οχετών πρέπει να είναι η ελάχιστη δυνατή, πράγμα που πάλι κατά κανόνα σημαίνει υψηλότερα δυναμικά της ακίδας. Για να μειωθεί η καθυστέρηση ιονισμού, αρκεί, όσο το δυνατόν συντομότερα, να μπορέσουμε να δημιουργήσουμε στο χώρο ιονισμού ελεύθερα ηλεκτρόνια, κάτι που μπορεί να γίνει και κατ' άλλους τρόπους, εκτός από την ανύψωση του δυναμικού της ακίδας (π.χ. με έκθεση της ακίδας σε μια ισχυρή ακτινοβολία). Τέτοιες όμως λύσεις είναι στην περίπτωση του αλεξικέραυνου ακίδας, πρακτικά ανέφικτες.
- Για να καταστεί δυνατός ο μετασχηματισμός των θυσάνων σε οδηγό οχετό, απαιτείται το ρεύμα, που διαρρέει του θυσάνους, να έχει αρκετά υψηλή τιμή.

Όσο καλύτερα ικανοποιούνται οι προηγούμενες συνθήκες, τόσο πιο ταχεία και πιο έντονη είναι η δημιουργία οδηγών οχετών στην ακίδα, δηλαδή τόσο αποτελεσματικότερη είναι η από αυτήν παρεχόμενη προστασία και άρα τόσο μεγαλύτερη είναι είτε η τιμή της γωνίας προστασίας είτε η τεχνητή αύξηση του ύψους του αλεξικέραυνου.

Δυνατότητες για την εξασφάλιση των αναγκαίων συνθηκών αύξησης της γωνίας προστασίας αλεξικέραυνων ακίδων:

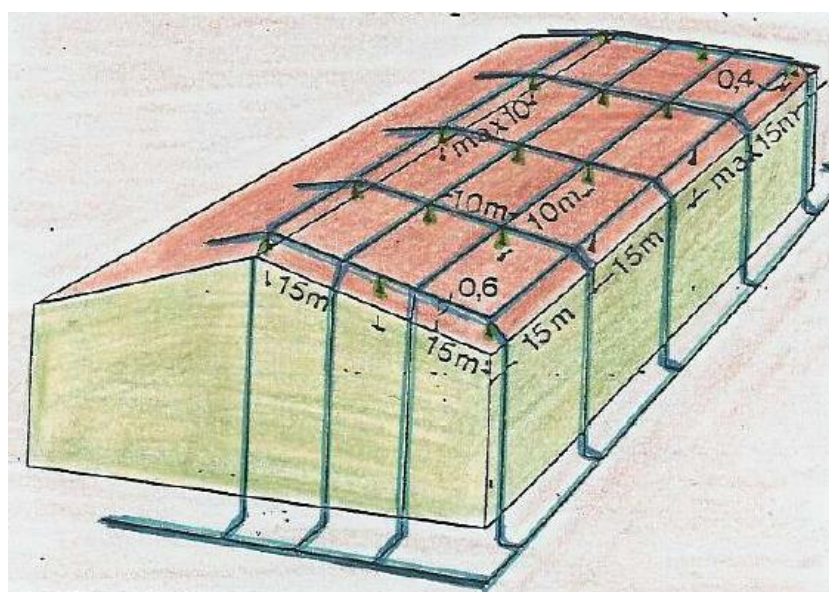
Ως μια τέτοια δυνατότητα, θα μπορούσε να φανταστεί κανείς την επιβολή στην ακίδα μιας υψηλής τάσης ως προς γη, αποστολή της οποίας θα είναι η

δημιουργία στην γειτονία της ακίδας, την κατάλληλη στιγμή, ενός αρκετά έντονου ηλεκτρικού πεδίου, που να μπορεί να προκαλέσει μετά βεβαιότητας την παραγωγή ενός οδηγού οχετού.

Πηγές τάσης κατάλληλες για τον παρόντα σκοπό είναι σήμερα σχετικά εύκολα πραγματοποιήσιμες. Επομένως, η προσθήκη μιας τέτοιας πηγής σε ένα αλεξικέραυνο ακίδας συνιστά πράγματι μια τεχνική με την οποία είναι δυνατή η αύξηση της αποτελεσματικότητας του. Αλεξικέραυνα ακίδας με πρόσθετη πηγή τάσης ή με άλλο μέσο ενίσχυσης του ιονισμού στην άμεση γειτονία της ακίδας συνηθίζεται να λέγονται “αλεξικέραυνα ιονισμού”.

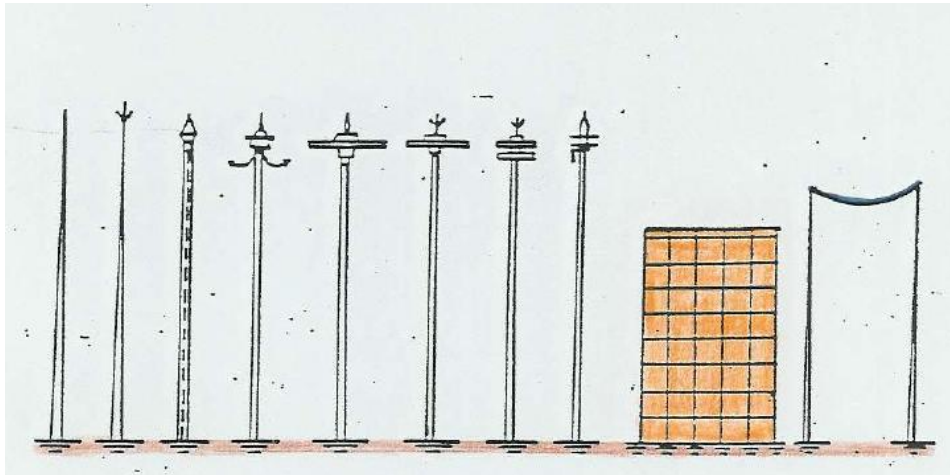
Το μόνο υποκατάστατο των κλωβών Faraday, σαν διατάξεων προστασίας έναντι των κεραυνών, που μπορούμε να θεωρήσουμε με τα σημερινά δεδομένα, είναι το αλεξικέραυνο ακίδας. Μια τέτοια διάταξη είναι πιο αποτελεσματική σαν “ενισχυμένο”, αλεξικέραυνο ακίδας, δηλαδή σαν αλεξοκέραυνο ιονισμού.

Δεδομένου ότι δεν είναι δυνατή η δοκιμή των αλεξικέραυνων υπό πραγματικές συνθήκες καταπόνησης, αυτό δε διότι δεν είναι δυνατή η τεχνητή παραγωγή κεραυνών, η αποτελεσματικότητα των αλεξικέραυνων πρέπει να ελεγχθεί από τεχνητά πραγματοποιήσιμες συνθήκες που να πλησιάζουν όσο το δυνατόν περισσότερο τις πραγματικές συνθήκες καταπόνησης.



Σχήμα 29: Το δίκτυο αυτό λέγεται Ηλεκτροστατικός κλωβός Faraday

Βασικά, έστω και αν παρόμοιες δοκιμές δεν είναι απλές αλλά αντίθετα απαιτούν ικανότητα και πείρα (και επίσης ειδικές εγκαταστάσεις), δεν πρέπει με κανένα λόγο να θεωρηθούν ως αδύνατες. Αντίθετα, είναι πραγματοποιήσιμες και μπορούν να οδηγήσουν σε ουσιαστικά συμπεράσματα (ΤΕΕ, σελ.15-16).



Σχήμα 30: Διάφορα αλεξικέραυνα με ακίδες ή οξείες γωνίες, με ή χωρίς ιονισμό και μηδενική αντίσταση, που προκαλούν και προσκαλούν τον κεραυνό. Τα αλεξικέραυνα αυτά μεταφέρουν τα φορτία του κεραυνού στο έδαφος, όχι όμως και την καταστρεπτική ενέργεια του κεραυνού, την οποία ακτινοβολούν στο γύρω χώρο προκαλώντας εκτεταμένες άλλες ζημιές. Κατά τον J.C.Maxwell- πατέρα του ηλεκτρομαγνητισμού- προστατεύουν τον απώτερο γύρω χώρο και όχι τα κτίρια στα οποία είναι εγκατεστημένα.

10.3: Προστασία κτιρίων με σύστημα κλωβού

Ιδεώδης προστασία θα ήταν ο εγκλωβισμός ενός κτιρίου, δηλαδή η τοποθέτηση ενός μεταλλικού κλωβού γύρω από αυτό, ο οποίος θα απομόνωνε το εσωτερικό από κάθε εξωτερική ηλεκτρική επίδραση. Επειδή αυτό δεν είναι δυνατό, και μπορεί (μερικά) να γίνει μόνο σε κτίρια που έχουν μεταλλική στέγη ή σε περίπτωση μεταλλικών κτιρίων, σχεδιάζεται για εγκατάσταση, η οποία προσφέρει σχετική προστασία πλην όμως επαρκή. Μια πλήρης αντικεραυνική εγκατάσταση με σύστημα κλωβού αποτελείται από:

- Την εξωτερική εγκατάσταση προστασίας
- Την εσωτερική εγκατάσταση προστασίας
- Την προστασία της ηλεκτρικής εγκαταστάσεως

Η εξωτερική εγκατάσταση προστασίας αποτελείται από:

- α) την εγκατάσταση συλλήψεως
- β) την εγκατάσταση απαγωγών
- γ) την εγκατάσταση γειώσεως

Επιπλέον πρέπει να προστεθούν και οι απαιτήσεις της εσωτερικής προστασίας κτιρίων.

α) Η εγκατάσταση συλλήψεως τοποθετείται στο υψηλότερο μέρος του κτιρίου και αποτελείται από αγωγούς, ράβδους ακίδες και άλλα αντικείμενα που έχουν σκοπό την δημιουργία ικανής πεδιακής εντάσεως, ώστε να προσελκύουν πάνω σε αυτά τον οχετό του κεραυνού που κατεβαίνει.

β) Η εγκατάσταση των απαγωγών, συνδέει την εγκατάσταση συλλήψεως με την εγκατάσταση γειώσεως και αποτελείται από:

-
- Τους αγωγούς στέγης
 - Τους κύριους και δευτερεύοντες απαγωγούς
 - Τα εξαρτήματα συνδέσεως

γ) Η εγκατάσταση γειώσεως χρησιμεύει στο να απάγει το ρεύμα του κεραυνού στο έδαφος και αποτελείται από αγωγούς και ράβδους γειώσεως.

10.4: Γενικές οδηγίες για τη σχεδίαση ενός συστήματος κλωβού

α) Όλοι οι αγωγοί της εγκαταστάσεως πρέπει να είναι προσιτοί για επιθεώρηση. Μόνο σε εξαιρετικές περιπτώσεις, που καθορίζονται από κανονισμούς μπορεί το 50% των κυρίων απαγωγών να σκεπάζονται από επίχρισμα ή τοιχοποιία. Οι συνδέσεις ελέγχου της εγκαταστάσεως πρέπει πάντα να είναι προσιτές. Οι αγωγοί στέγης μπορούν να τοποθετηθούν κάτω από τη στέγη μόνο σε περίπτωση χαλύβδινης στέγης και όταν κάτω από αυτή δεν υπάρχουν εύφλεκτες ύλες ή κατοικήσιμος χώρος.

β) Η εγκατάσταση συλλήψεως πρέπει να σχεδιαστεί κατά τέτοιο τρόπο, ώστε να συλλαμβάνει όλους τους κεραυνούς χωρίς κατά το δυνατό, να έρχεται σε επαφή με τα αντικείμενα που προστατεύει, για όσο το δυνατό μεγαλύτερο χρονικό διάστημα.

γ) Οι απαγωγοί πρέπει να σχεδιάζονται κατά τέτοιο τρόπο, ώστε να οδηγούν από την εγκατάσταση συλλήψεως στην εγκατάσταση γειώσεως από τον συντομότερο δρόμο.

δ) Πρέπει να αποφεύγεται η δυνατότητα υπερπηδήσεως μεταξύ των στοιχείων της αντικεραυνικής εγκαταστάσεως και των μεταλλικών μερών του κτιρίου. Η αιτία αυτών των υπερπηδήσεων είναι οι σημαντικές υπερτάσεις που δημιουργούνται εξαιτίας της μεγάλης τιμής του ρεύματος καθώς και από τις μεγάλες ταχύτητες μεταβολής του ρεύματος και ενδεχομένως των σημαντικών τιμών επαγωγικής αντιστάσεως. Για να γίνει αυτό πιο κατανοητό ας υποθέσουμε ότι μια αντικεραυνική εγκατάσταση έχει ωμική αντίσταση 5Ω (χωρίς την αντίστοιχη γείωση) και αυτεπαγωγή $20\mu\text{H}$. Αν θεωρήσουμε ότι από την εγκατάσταση αυτή περάσει τυπικό ρεύμα κεραυνού 30KA που περιγράψαμε παραπάνω, τότε η τάση μεταξύ των άκρων της εγκατάστασης θα είναι:

$$e=R*i+L*(di/dt)=5*30+20*30=750\text{KV}$$

Από το παράδειγμα αυτό φαίνεται ότι η τάση που προέρχεται από την αυτεπαγωγή είναι τετραπλάσια από την τάση που προέρχεται από την ωμική αντίσταση. Για το λόγο αυτό πρέπει να αποφεύγεται η δημιουργία μεγάλων τιμών αυτεπαγωγής. Η εικόνα 11 δείχνει τις επιτρεπόμενες και απαγορευμένες καμπές για να αποφεύγονται οι μεγάλες αυτεπαγωγικές αντιστάσεις. Υπερπηδήσεις μεταξύ των στοιχείων της αντικεραυνικής εγκαταστάσεως και των μεταλλικών μερών του κτιρίου είτε αυτά είναι γειωμένα ή όχι μπορούν να αποφεύγονται.

- Είτε με τήρηση αρκετής αποστάσεως από τα (D)
- Είτε με γεφύρωση με αυτά.

Η ελάχιστη απόσταση D πρέπει να πληροί τις συνθήκες, που αναφέρονται στο παρακάτω κεφάλαιο. Μόνο όταν οι συνθήκες αυτές δεν είναι δυνατό να ικανοποιηθούν κάνουμε γεφύρωση, οπότε δεν υπάρχει ανάγκη τηρήσεως των όρων αυτών.

ε) Όσον αφορά την απόσταση μεταξύ αγωγών της αντικεραυνικής εγκαταστάσεως και μεταλλικών μερών ηλεκτρικών συσκευών ισχύουν οι παραπάνω κανόνες, πλην όμως, επειδή η γεφύρωση επιτρέπεται μόνο σε ορισμένες περιπτώσεις που ορίζουν κανονισμοί, είναι προτιμότερο να τηρείται ο όρος της αρκετής αποστάσεως.

στ) Στην περίπτωση όπου δύο ακίδες εγκαταστάσεως συλλήψεως απέχουν λιγότερο από το 1/10 του μήκους των αγωγών που τις συνδέουν, πρέπει να γεφυρωθούν. Στην περίπτωση αυτή είναι δυνατή η χρησιμοποίηση ενός ενδιάμεσου κυρίου ή βοηθητικού στοιχείου συλλήψεως υπό τον όρο ότι θα τηρηθούν όλοι οι κανόνες που εξασφαλίζουν την ύπαρξη αρκετά ελαττωμένων επαγωγικών αντιστάσεων (ΤΟΜΟΣ Ι, σελ. 24-25). Παρακάτω επισυναπτόμενα στο κατάλογο του ΠΙΤΤΑ με όλα τα πρότυπα εγκαταστάσεων και στο http://www.pittas.gr/pittas_catalog_gr.pdf

10.5: Εγκατάσταση συλλήψεως

Τα σημεία ενός κτιρίου που προσβάλλονται από κεραυνούς είναι συνήθως:

- Κορυφές αετωμάτων και πύργων
- Στηθαία και κορυφές στεγών
- Καπνοδόχοι και ειδικές εξάρσεις στέγης
- Οι γωνίες των αετωμάτων από την κορυφή μέχρι την υδρορροή
- Οι γωνίες των τοίχων και της στέγης στις οριζόντιες στέγες

Τα σημεία αυτά ανάλογα με την κατασκευή της στέγης πρέπει να φέρουν τα στοιχεία της εγκαταστάσεως συλλήψεως ή και σε ορισμένες περιπτώσεις αν είναι μεταλλικά με αρκετή διατομή, να αποτελέσουν στοιχεία της. Συρμάτινοι αγωγοί που τοποθετούνται πάνω στη στέγη σαν συλλεκτήριοι αγωγοί διατάσσονται σε δικτυωτή μορφή. Οι συλλεκτήριοι αγωγοί που διατάσσονται σε δικτυωτή μορφή πάνω σε μια στέγη μαζί με τα υπάρχοντα τυχόν μεταλλικά στοιχεία της στέγης, πρέπει να έχουν τέτοια διάταξη, ώστε κανένα σημείο της στέγης να βρίσκεται σε απόσταση μεγαλύτερη από 5m από κάποιο συλλεκτήριο αγωγό.

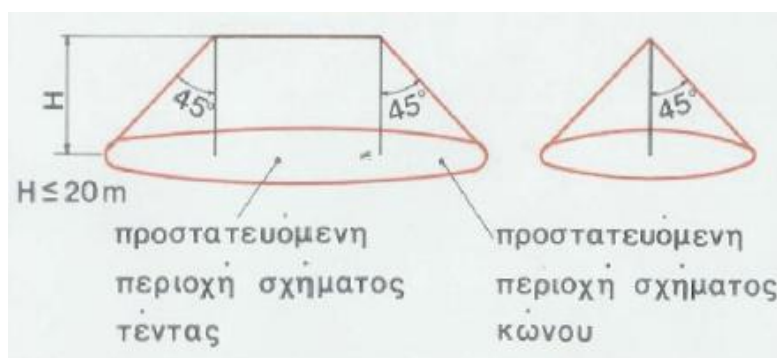
Η διάσταση του κάθε βρόγχου δεν πρέπει να υπερβαίνει τα 10 x 20m, η δε τοποθέτηση του μπορεί να εκλεγεί ελεύθερα, αν και πρέπει να δοθεί προτεραιότητα στην κάλυψη των ακμών και αιχμών από συλλεκτήριο αγωγό σε συνδυασμό πάντα με υπάρχοντα μεταλλικά αντικείμενα πάνω στη στέγη. Στην περίπτωση κτιρίων με συνολικό ύψος μέχρι 20m μετρούμενη μέχρι το υψηλότερο σημείο συλλεκτηρίου στοιχείου, η εγκατάσταση συλλήψεως μπορεί να αποτελείται από μια συλλεκτήριο ράβδο αν η προστατευόμενη περιοχή είναι αρκετά μεγάλη.

Σαν προστατευόμενη περιοχή ορίζεται ο χώρος που σχηματίζεται υπό γωνία 45° ως προς την κατακόρυφο (σχήματα 31-33). Εξάρσεις στέγης που αποτελούνται από μη ηλεκτρικά αγώγιμο υλικό, θεωρούνται ασφαλείς, αν προεξέχουν μέχρι 0,30m

από την προστατευμένη περιοχή. Μεταλλικές αγείωτες εξάρσεις δεν χρειάζεται να συνδεθούν με τους συλλεκτήριους αγωγούς αν:

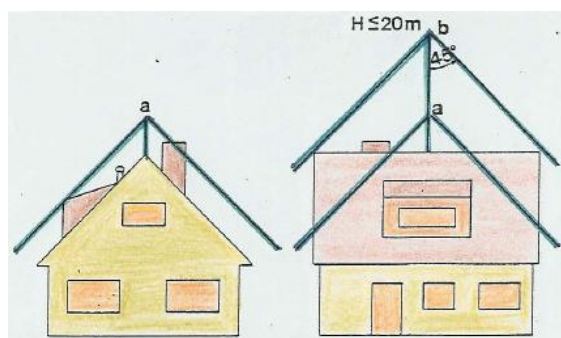
- Προεξέχουν από την προστατευόμενη περιοχή μέχρι 0,30m
- Περικλείουν μια επιφάνεια το πολύ 1m^2 ή έχουν μήκος το πολύ 2m
- Απέχουν το πολύ 0,5m από ένα συλλεκτήριο αγωγό

Αν οι εξάρσεις στέγης δεν πληρούν τους παραπάνω όρους, τότε πρέπει να προβλεφθούν συλλεκτήριοι αγωγοί ή να συνδεθούν με αυτούς.



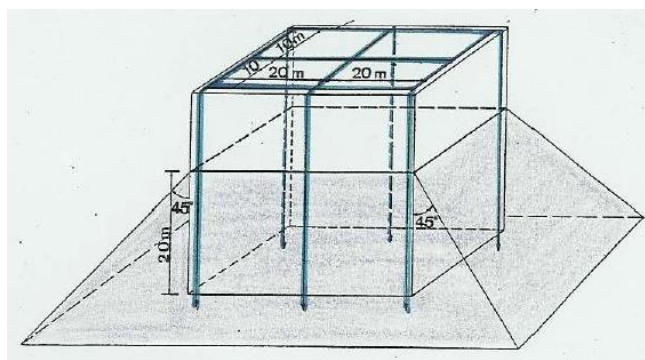
Σχήμα 31: Περιοχή προστασίας ενός συλλεκτήριου αγωγού

Ανεξάρτητα από το ύψος του κτιρίου αυτές οι διατάξεις συλλήψεως πρέπει να προστατεύουν τα αντικείμενα κάτω από αυτές υπό γωνία 45° ως προς την κατακόρυφο. Τα υλικά εγκατάστασης συλλήψεως καθώς και οι ελάχιστες διατομές δίνονται στον pdf του ΠΙΤΤΑ που ακολουθεί.



Σχήμα 32: Περιοχή προστασίας μιας ράβδου

a) Ράβδος με ανεπαρκές ύψος. b) Ράβδος με αρκετό ύψος



Σχήμα 33: Προστατευόμενη περιοχή για κτίρια ύψους μεγαλύτερου από 30m. Συλλεκτήριοι αγωγοί: Μέγιστη διάσταση βρόγχου 10m x 20m


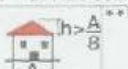

























Οι συλλεκτήριοι αγωγοί δεν πρέπει να έχουν ηλεκτρική μόνωση όμως να έχουν προστατευτική βαφή. Η διάταξη των στοιχείων εγκαταστάσεως συλλήψεως εξαρτάται από τις διατάξεις και τη μορφή της στέγης (σχ.34).

Οι συλλεκτήριοι αγωγοί που τοποθετούνται στις ακμές της στέγης πρέπει να τοποθετούνται όσο το δυνατόν πλησιέστερα σ' αυτές. Στην περίπτωση ειδικών κατασκευών της στέγης, όπως πυργίσκος, καπνοδόχος κλπ. οι συλλεκτήριοι αγωγοί μπορούν να αντικατασταθούν από ανάλογα μορφοτεμάχια, όπως δακτυλίους, μεταλλικά καλύμματα κλπ.

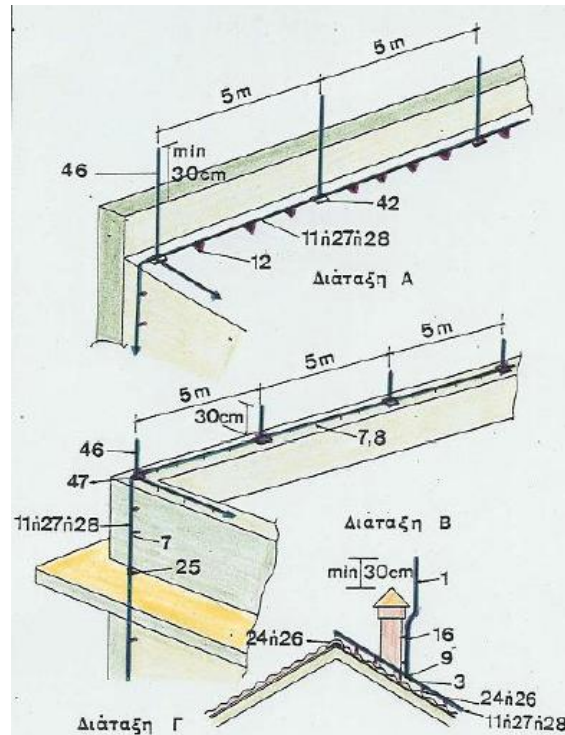
Όταν οι συλλεκτήριοι αγωγοί διατάσσονται κάτω από την αντίστοιχη ακμή, τότε πρέπει να προβλεφθούν πρόσθετες διατάξεις συλλήψεως αποτελούμενες από κατακόρυφους ράβδους, ακίδες, ύψους τουλάχιστον 0,30m πάνω από την ακμή και σε απόσταση το πολύ 5m μεταξύ τους (σχ.35).

Οι συλλεκτήριοι αγωγοί που τοποθετούνται κατά μήκος των ακμών πρέπει να φτάνουν μέχρι τα άκρα της ακμής και μετά από αυτή να καμφθούν προς τα άνω (σχ.36).

Οι συλλεκτήριοι αγωγοί μπορούν να αντικατασταθούν σε συλλεκτήριους ράβδους που συνδέονται μεταξύ τους κάτω από τη στέγη, σε αποστάσεις μέχρι το πολύ 5m και εξέχουσες πάνω από τη στέγη τουλάχιστον 0,30m. Οι αγωγοί συνδέσεως κάτω από τη στέγη πρέπει να είναι επισκέψιμοι κατά το δυνατόν. Η διάταξη αυτή δεν επιτρέπεται σε εγκαταστάσεις εύφλεκτων ή εκρηκτικών υλικών (σχ.37).

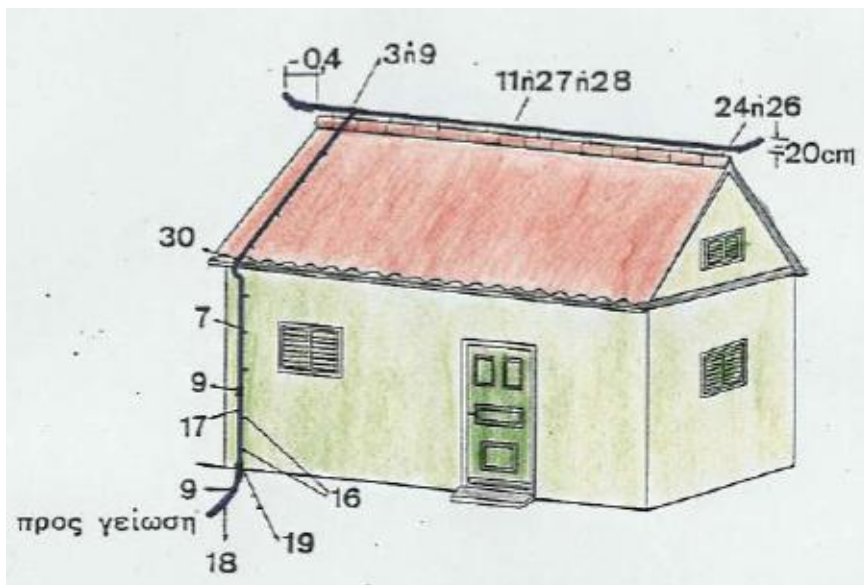
ΜΗΚΟΣ m	ΠΛΑΤΟΣ m	ΠΛΗ- ΘΟΣ ΑΠΑ- ΓΩΓΩΝ	ΜΟΡΦΗ ΣΤΕΓΗΣ		
				 $h > \frac{A}{8}$	 $h \leq \frac{A}{8}$
έως 20	έως 10	2			
έως 20	10 ÷ 20	4			
20 ÷ 40	10 ÷ 20	6			
20 ÷ 40	20 ÷ 40	8			
40 ÷ 60	10 ÷ 20	8			
40 ÷ 60	20 ÷ 40	10 · 1			
40 ÷ 60	40 ÷ 60	12 · 1			
60 ÷ 80	20 ÷ 40	12 · 1			

Σχήμα 34: Γενική ενδεικτική διάταξη συλλεκτήριων αγωγών σε επίπεδες και επικλινείς στέγες σε σχέση με την επιφάνεια τους. *Για κλίση στέγης $h \geq 1/8 A$ ($A =$ πλάτος κτιρίου) **Για κλίση στέγης $h \leq 1/8 A$ ($A =$ πλάτος κτιρίου) $a =$ εσωτερικός απαγωγός και σύνδεση σε δύο σημεία με την περιμετρική γείωση ή σε γείωση με $R \leq 10 \Omega$. εάν δεν είναι δυνατό να προβλεφθούν εσωτερικοί απαγωγοί, αυξάνεται ο αριθμός των εξωτερικών απαγωγών σε απόσταση μεταξύ των όχι μικρότερη των 10m. 1) Εσωτερικός απαγωγός δεν απαιτείται.

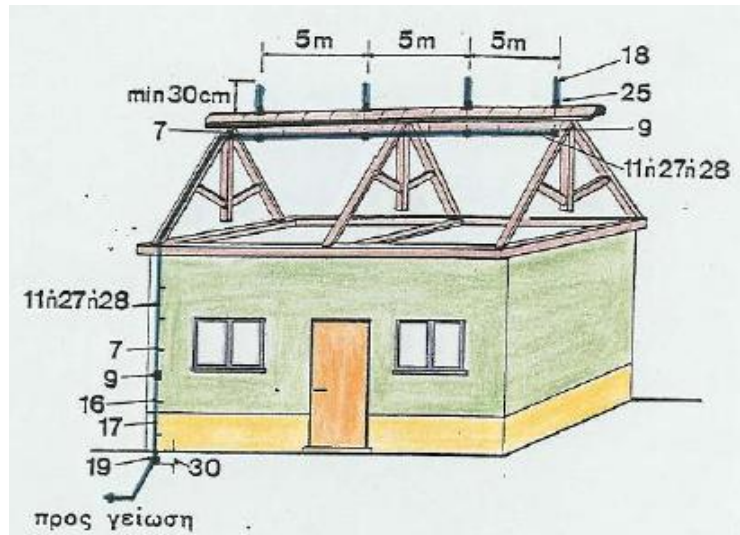


Σχήμα 35: Ενδεικτική διάταξη ακίδων σε κτιριακές ακμές.

1. Ακίδα 64 02 100, 2. Σφιγκτήρας 62 01 828, 7. Στήριγμα 61 01 100, 8. Παρέμβυσμα 61 03 200, 9. Σύνδεσμος 62 05 200, 11. Αγωγός AlMgSi 64 40 008, 12. Στήριγμα 61 30 101, 16. Στήριγμα 61 01 300, 24. Στήριγμα 61 02 101, 25. Διαπεραστήρας 61 30 200, 26. Στήριγμα 61 01 016, 27. Αγωγός St/tZn 64 00 008, 28. Αγωγός Cu*64 20 008, 42. Βάση 61 03 100, 46. Ακίδα 64 03 100 *Για χρήση χάλκινου αγωγού, επιλογή χάλκινων εξαρτημάτων.



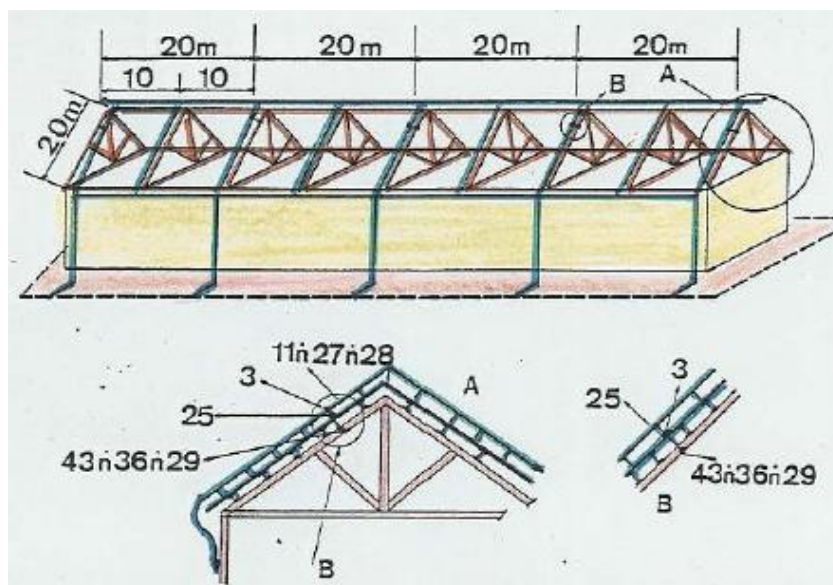
Σχήμα 36: Συλλεκτήριος αγωγός κατά μήκος ακμής και κάμψη των άκρων του προς τα πάνω.
3. Σφιγκτήρας 62 01 828, 7. Στήριγμα 61 01 100, 9. Σύνδεσμος 62 05 200, 11. Αγωγός AlMgSi 64 40 008, 16. Στήριγμα 61 01 300, 17. Προστατευτικός αγωγός 64 03 250, 18. Αγωγός St/tZn 64 00 010, 19. Αντιδιαβρ. Ταινία 61 03 300, 24. Στήριγμα 61 02 101, 26. Στήριγμα 61 01 016, 27. Αγωγός St/tZn 64 00 008, 28. Αγωγός Cu* 64 20 008, 30. Στήριγμα 65 03 335. *Για χρήση χάλκινου αγωγού, επιλογή χάλκινων εξαρτημάτων.



Σχήμα 37: Συλλεκτήριοι ράβδοι (ακίδες) συνδεόμενοι κάτω από τη στέγη

7. Στήριγμα 61 01 100, 9. Σύνδεσμος 62 05 200, 11. Αγωγός AlMgSi 64 40 008, 16. Στήριγμα 61 01 300, 17. Προστ. αγωγός 64 03 250, 18. Αγωγός St/tZn 64 00 010, 19. Αντιδιαβρ. Ταινία 61 01 300, 24. Στήριγμα 61 02 101, 25. Διαπεραστήρας 61 30 200, 26. Στήριγμα 61 01 016, 27. Αγωγός St/tZn 64 00 008, 28. Αγωγός Cu* 64 20 008 *Για χρήση χάλκινου αγωγού, επιλογή χάλκινων εξαρτημάτων.

Στην περίπτωση στέγης από σιδηροκατασκευή με επικάλυψη μη ηλεκτρικά αγώγιμου υλικού, πρέπει να προβλεφθούν συνδέσεις της σιδηροκατασκευής με τους συλλεκτήριοι αγωγούς κατά διαστήματα 20m το πολύ (σχ.38).



Σχήμα 38: Γεφυρώσεις μεταλλικών ζευκτών με συλλεκτήριοι αγωγούς (κάθε 20m τουλάχιστον)
3. Σφιγκτήρας 62 01 828, 11. Αγωγός AlMgSi 64 40 008, 25. Διαπεραστήρας 61 30 200, 27. Αγωγός St/tZn 64 00 008, 28. Αγωγός Cu* 64 20 008, 29. Γεφυρωτής μετ. 65 04 402, 36. Σύνδεσμος 62 05 300, 43. Σύνδεσμος 62 05 400 *Για χρήση χάλκινου αγωγού, επιλογή χάλκινων εξαρτημάτων.

Στην περίπτωση κτιρίων ύψους μεγαλύτερου από 30m, όπου στους εξωτερικούς τοίχους δεν υπάρχουν μεταλλικά στοιχεία, όπως απαγωγοί, μεταλλικές προσόψεις ή άλλες σιδηροκατασκευές πρέπει να ληφθεί υπ' όψιν ο κίνδυνος οριζοντίου προσβολής του κτιρίου από κεραυνό και να προβλεφθούν οριζόντιοι συλλεκτήριοι αγωγοί από του ύψους των 30m και ανά 20m ύψους.

Σε κτίρια με μέγιστο ύψος 20m, μεταλλικά προεξέχοντα στοιχεία από τους τοίχους δεν χρειάζεται να συνδεθούν με τους απαγωγούς, αν είναι μέσα στην προστατευόμενη περιοχή των συλλεκτήριων αγωγών. Αν δεν είναι, τότε συνδέονται, στην περίπτωση που έχουν μεταλλική επιφάνεια μεγαλύτερη των 5m² ή συνολικό μήκος μεγαλύτερο των 10m. Οι τιμές αυτές μειώνονται σε 1m² και 2m μήκος αντίστοιχα στην περίπτωση κτιρίων με ύψος μεγαλύτερο των 20m.

Μηχανικές και ηλεκτρικές εγκαταστάσεις ανελκυστήρων, εγκαταστάσεων κλιματισμού κλπ., που βρίσκονται πάνω στη στέγη δεν συνδέονται κατά το δυνατόν με τους συλλεκτήριους αγωγούς.

Μικρές ηλεκτρικές συσκευές πάνω στη στέγη (π.χ. ανεμιστήρες) είναι προτιμότερο να προστατεύονται με συλλεκτήριους ράβδους που τοποθετούνται δίπλα σ' αυτές, μέσα σε μια περιοχή προστασίας 45° ως προς την κατακόρυφο, άλλως να εφαρμόζεται ότι προβλέπεται.

Οι αγωγοί της εγκατάστασης συλλήψεως πρέπει να σχεδιάζονται έτσι ώστε να μην μπορούν να πέσουν πάνω σε εναέρια ηλεκτρικά καλώδια (ΤΟΜΟΣ Ι, σελ. 30-36).

10.6: Προσέγγιση μεταλλικών αντικειμένων

Η προσέγγιση συλλεκτήριων αγωγών με μεταλλικά αντικείμενα κάθε τύπου, εκτός από κάθε ιδιαίτερο μέτρο, πρέπει να αποφεύγεται κατά το δυνατό ή με αύξηση της αποστάσεως ή με γεφύρωση. Αυτό αφορά ιδιαίτερα τους αεραγωγούς εξαερισμού ή κλιματισμού, οδηγούς ανελκυστήρων, σωληνώσεις ύδρευσης, φωταερίου ή θερμάνσεως.

Η προσέγγιση στις ηλεκτρομηχανολογικές εγκαταστάσεις ανελκυστήρων, εγκαταστάσεων κλιματισμού κλπ., πρέπει να αποφεύγεται καλύτερα η αύξηση της αποστάσεως.

Σε εγκαταστάσεις με μόνο ένα συλλεκτήριο στοιχείο και μόνο ένα απαγωγό, η απόσταση D μεταξύ του συλλεκτήριου στοιχείου ή του αγωγού και κάποιου μεταλλικού αντικειμένου πρέπει να είναι τουλάχιστον ίση με το 1/5 της αποστάσεως του απαγωγού από το σημείο της προσέγγισης μέχρι της συνδέσεως στον επόμενο αγωγό της ισοδυναμικής προστασίας.

$$D \geq L/5 \text{ όπου } D, L \text{ σε m}$$

Σε κτίρια με περισσότερους αγωγούς σε απόσταση 20m μεταξύ τους η επιτρεπόμενη απόσταση D ελαττώνεται στο 1/7 X n της παραπάνω απόστασης L, όπου n το πλήθος των απαγωγών.

$$D \geq L/7 \times n \text{ όπου } D, L \text{ σε m}$$

Αν η απόσταση μεταξύ των απαγωγών είναι σημαντικά μικρότερη από 20m, τότε μπορεί κανείς να θεωρήσει και μικρότερες αποστάσεις D.

Αν σε ένα κτίριο δεν υπάρχει ισοδυναμική προστασία, τότε οι παραπάνω σχέσεις γίνονται:

- Για ένα συλλεκτήριο σύστημα: $D \geq L/5 + R/5$
- Για περισσότερα συλλεκτήρια συστήματα: $D \geq L/7 \times n + R/5$

10.7: Προσέγγιση ηλεκτρολογικών εγκαταστάσεων ισχύος

Η προσέγγιση συλλεκτήριων αγωγών και απαγωγών με ηλεκτρικές συσκευές ισχύος συνιστάται να αποφεύγεται. Η ελάχιστη επιτρεπόμενη απόσταση είναι η ίδια που ισχύει για τα μεταλλικά αντικείμενα, όπως έχει εκτεθεί παραπάνω. Δεν επιτρέπεται η προσέγγιση ηλεκτρικών συσκευών ισχύος με οπλισμένο σκυρόδεμα του οποίου ο οπλισμός χρησιμοποιείται σαν απαγωγός ή με φέρουσες σιδηροκατασκευές.

Επίσης, η απόσταση μεταξύ των κυρίων στοιχείων της αντικεραυνικής εγκαταστάσεως και εναέριων αγωγών μεγάλης ισχύος πρέπει να τηρείται όσο το δυνατό μεγάλη. Αν υπάρξει απόσταση μικρότερη από 0,50m, τότε πρέπει να προβλεφθεί σπινθηριστής κλειστού τύπου (οι σπινθηριστές αυτοί είναι ειδικοί, προστασίας IP 54, για τάση λειτουργίας τουλάχιστον 10KV, 50Hz τύπου ΕΛΕΜΚΟ 66 01 000) (ΤΟΜΟΣ Ι, σελ. 51-52).

10.8: Γειώσεις

- Ηλεκτρόδια γειώσεων
- Εξαρτήματα γειώσεων
- Υλικά CADWELD

Με τον όρο ΓΕΙΩΣΗ εννοούμε την ηλεκτρική σύνδεση μιας ηλεκτρικής εγκαταστάσεως με τη γη. Οι απαιτήσεις της γειώσεως καθορίζονται ανάλογα με τα χαρακτηριστικά της ηλεκτρικής εγκαταστάσεως.

Π.χ. Η γείωση της αντικεραυνικής προστασίας πρέπει να κατασκευαστεί έτσι ώστε να έχει ικανότητα διελεύσεως πολύ μεγάλων ηλεκτρικών φορτίων πολύ μικρής χρονικής διάρκειας, τάξεως msec. Η γείωση προστασίας ηλεκτρικών εγκαταστάσεων πρέπει να έχει ικανότητα διελεύσεως μεγάλων φορτίων και χρονικής διάρκειας της τάξεως msec έως sec, δηλαδή αρκετά μεγαλύτερης διάρκειας απ' ότι του κεραυνού.

Για το λόγο αυτό οι απαιτήσεις της γειώσεως προστασίας είναι πολύ μεγαλύτερες και η επιλογή των υλικών (ηλεκτρόδια, επαφές, σφικτήρες, κολλήσεις κλπ.) γίνεται αυστηρότερα.

Γενικά, υλικά κατάλληλα για γείωση αντικεραυνικής προστασίας, δεν είναι πάντοτε κατάλληλα και για γειώσεις προστασίας, ουδέτερου κόμβου, ηλεκτρονικών συσκευών κλπ.

10.9: Ηλεκτρικές συνδέσεις CADWELD

Η μέθοδος CADWELD είναι ένας οικονομικός τρόπος ηλεκτρικών συνδέσεων με συγκόλληση. Η σύνδεση πραγματοποιείται με την τήξη των υπό σύνδεση αγωγών σε μια ενιαία μάζα και δεν έχει καμία σχέση με τη συγκόλληση δύο αγωγών με λιωμένο μέταλλο ή μηχανικό σύνδεσμο. Η σύνδεση αυτή έχει ικανότητα διελεύσεως ρεύματος μεγαλύτερη από τον αγωγό.

Η σύνδεση CADWELD πραγματοποιείται με μια εξώθερμη αντίδραση που παράγει έναν υπέρθερμο λιωμένο χαλκό που τήκει τα άκρα των υπό σύνδεση μεταλλικών επιφανειών και συγκολλούνται μεταξύ των σε μια ενιαία μάζα. Για να γίνει

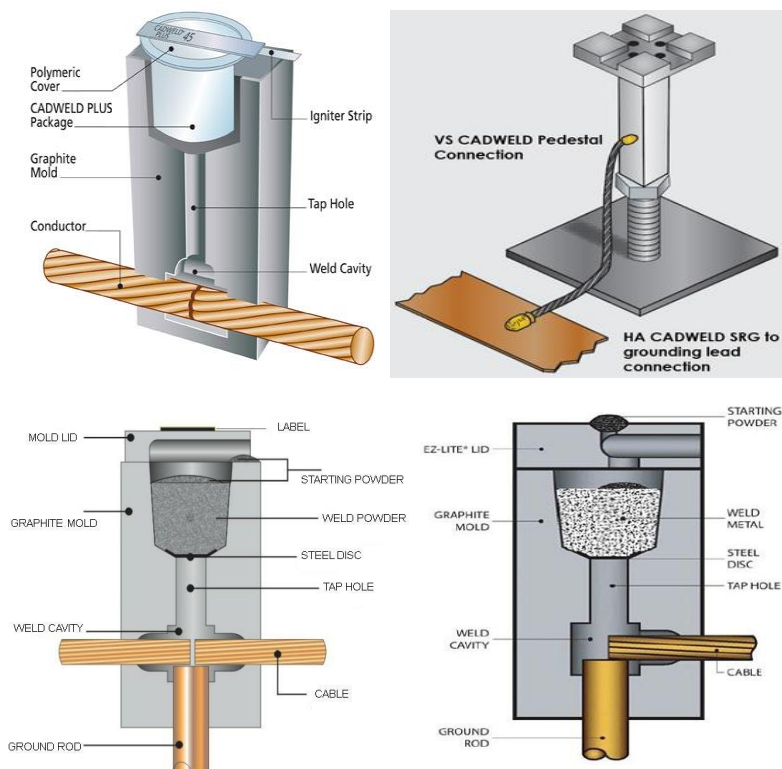
σύνδεση, χρησιμοποιείται ένα ελαφρύ γραφίτη μέσα στο οποίο πραγματοποιείται η εξώθερμη αντίδραση και παράλληλα δίνει την μορφή της σύνδεσης.

Η σύνδεση CADWELD δεν μεταβάλλεται κατά τη διάρκεια του χρόνου και αντέχει κάτω από τις πλέον δυσμενείς περιβαλλοντολογικές συνθήκες. Με τη μέθοδο CADWELD πραγματοποιούνται ηλεκτρικές συνδέσεις χαλκού-χαλκού, χαλκού-χάλυβα, αλουμινίου-χαλκού, αλουμινίου-αλουμινίου, χωρίς να απαιτείται εξωτερική πηγή θερμότητας ή ενέργειας.

Το απαιτούμενο υλικό συγκόλλησης που είναι συσκευασμένο σε πλαστικά κυάθια τοποθετείται στο χώρο τήξεως του καλουπιού.

Το υλικό αυτό σκεπάζεται με το υλικό αρχικής εναύσεως, που με τη βοήθεια ειδικού αναπτήρα με τσακμακόπετρα αναφλέγεται και μεταδίδει την ανάφλεξη στο συγκολλητικό υλικό. Η αναπτυσσόμενη θερμότητα, τήκει τον δίσκο που κλείνει τη δίοδο στο χώρο, όπου βρίσκονται τα προ σύνδεση μεταλλικά μέρη που είναι κατάλληλα διαμορφωμένος να δεχθεί την απαιτούμενη ποσότητα του συγκολλητικού υλικού. Η αναπτυσσόμενη θερμότητα του τηκόμενου υλικού που γεμίζει τον χώρο, που βρίσκονται οι μεταλλικές επιφάνειες, τήκει τα προς σύνδεση μέρη δημιουργώντας έτσι μια ομοιόμορφη ενιαία μάζα. Για να πραγματοποιηθεί μια σύνδεση απαιτείται ένα συγκεκριμένο καλούπι, μια συγκεκριμένη ποσότητα συγκολλητικού υλικού, μια χειρολαβή για το κράτημα και κλείσιμο του καλουπιού, καθώς και ένα καθαριστικό καλουπιού.

Για τις μικρές διατομές πολύκλωνων αγωγών απαιτείται μια υποδοχή για την προφύλαξη των λεπτών κλώνων από την υψηλή θερμοκρασία, που αναπτύσσεται κατά την τήξη. Σε μερικές περιπτώσεις είναι δυνατό να πραγματοποιηθούν συνδέσεις με ειδικά μικρά καλούπια με κατάλληλη χειρολαβή με αντίστοιχα διακριτικά Z και L-161. Λόγω της μεγάλης ποικιλίας μορφών συνδέσεων CADWELD που πρακτικά είναι απεριόριστες, παρακάτω παρουσιάζονται οι συνηθέστερες.



11. ΓΕΝΙΚΑ

Ένα αυτόνομο σύστημα πέρα από τα μεγάλα πλεονεκτήματα του όπως το να σας παρέχει δωρεάν ηλεκτρικό ρεύμα, να είναι οικολογικό και ευέλικτο στην εγκατάσταση, έχει αρκετές ιδιαιτερότητες. Τηρήστε τις παρακάτω οδηγίες ορθής χρήσης για την εξασφάλιση της σωστής λειτουργίας του συστήματος για πολλά χρόνια. Πολύ σημαντική είναι και η συντήρηση του συστήματος τουλάχιστον 1 φορά τον χρόνο από εξειδικευμένο προσωπικό.

11.1: Μετατροπέας (Inverter)

Ο αντιστροφέας (επίσης μετατροπέας ή αναστροφέας) (inverter) είναι ένα ηλεκτρονικό κύκλωμα που μετατρέπει τη συνεχή τάση σε εναλλασσόμενη.

Ο αντιστροφέας είναι δυνατόν να υπάρχει ως αυτόνομη ηλεκτρονική συσκευή, ή ως βαθμίδα άλλης ηλεκτρονικής συσκευής. Ως αυτόνομη συσκευή, χρησιμοποιείται σε εγκαταστάσεις φωτοβολταϊκών συστημάτων, αυτόνομα συστήματα ενέργειας με συσσωρευτές, και όπου αλλού χρειάζεται να μετατρέψουμε συνεχή τάση 12 V ή 24 V (συνηθέστερες τιμές), σε εναλλασσόμενη 220 V. Ως τελική βαθμίδα, υπάρχει στα UPS (συστήματα αδιάλειπτης παροχής ισχύος).

Η κυριότερη διάκριση των αντιστροφέων όσον αφορά τη χρήση τους σε εγκαταστάσεις Α.Π.Ε. είναι σε αντιστροφείς "διασυνδεδεμένων συστημάτων" και "αυτόνομων συστημάτων".

Όσον αφορά την τεχνολογία κατασκευής αντιστροφέων "αυτόνομων συστημάτων", η κυριότερη διάκριση είναι ανάμεσα σε αντιστροφείς "καθαρού ημιτόνου" και "τροποποιημένου ημιτόνου". Οι μετατροπείς καθαρού ημιτόνου έχουν υψηλότερο κόστος αλλά επιτυγχάνουν υψηλότερο βαθμό απόδοσης, είναι συμβατοί με όλες τις συσκευές και έχουν γενικά μεγαλύτερη διάρκεια ζωής.

Ο μετατροπέας τάσης (Inverter) είναι η καρδιά της εγκατάστασης. Ρόλος του είναι να μετατρέπει το ρεύμα από τις μπαταρίες σε κατάλληλη μορφή ώστε να μπορούν να το χρησιμοποιήσουν οι οικιακές συσκευές.

- Πρέπει να τον διατηρούμε καθαρό και ιδιαίτερα τις γρίλιες από όπου περνά ο αέρας που τον ψύχει
- Δεν τοποθετούμε διακοσμητικά επάνω του και σε καμία περίπτωση δεν τον καλύπτουμε με πανιά, σακούλες, σεντόνια κλπ.
- Δεν τον υπερφορτώνουμε. Δεν λειτουργούμε ταυτόχρονα πολλές συσκευές βαρέως τύπου (δράπανα, πιεστικά, κομπρεσέρ αέρα κλπ)
- Κάνουμε τακτικούς οπτικούς ελέγχους στις συνδέσεις του και τους ηλεκτρολογικούς πίνακες.
- Παρακολουθούμε την λειτουργία του μόνο από τις ενδεικτικές λυχνίες και την οθόνη του και δεν επεμβαίνουμε με οποιονδήποτε τρόπο στην λειτουργία του.

11.2: Μπαταρίες (ή συσσωρευτές)

Οι μπαταρίες είναι το πιο ευαίσθητο κομμάτι της εγκατάστασης και εκεί γίνεται η αποθήκευση ενέργειας από τα φωτοβολταϊκά για να χρησιμοποιηθεί μετά την δύση του ήλιου ή όταν υπάρχει νέφωση. Οι παρακάτω κανόνες είναι απαραίτητο να τηρούνται, ώστε να συνεχίσουν να λειτουργούν σωστά για αρκετό καιρό. Σε ακραίες

περιπτώσεις μη τήρησης των παρακάτω οδηγιών, υπάρχει ακόμα και το ενδεχόμενο καταστροφής των μπαταριών ξεφεύγοντας από τα πλαίσια της εγγύησης του κατασκευαστή :

- Παρακολουθούμε το επίπεδο φόρτισης από την οθόνη ή τις ενδεικτικές λυχνίες του φορτιστή. Δεν αποφορτίζουμε ποτέ τις μπαταρίες κάτω από το 50-60%. Οι μπαταρίες πρέπει να φορτίζονται τακτικά στο 100%. Μία μπαταρία που κάνει κύκλους συνέχεια μεταξύ 50% και 80% φορτισμένη χωρίς να φορτίζει 100% τουλάχιστον μια φορά το μήνα θα καταστραφεί πολύ γρήγορα.
- Αν έχουμε εγκατεστημένες μπαταρίες υγρού οξέως (ανοιχτού τύπου) ελέγχουμε την πυκνότητα (Specific Gravity) των οξέων τουλάχιστον 1 φορά ανά τετράμηνο.
- Αν υπάρχει η δυνατότητα, προσθέτουμε στο σύστημα γεννήτρια. Μια γεννήτρια μπορεί να προστατέψει τις μπαταρίες από μεγάλες αποφορτίσεις, αυξάνοντας την διάρκεια ζωής τους.
- Κατά τις ημέρες με νέφωση, περιορίζουμε την χρήση ενεργοβόρων οικιακών συσκευών (πλυντήριο, κλιματιστικά κλπ.) και προσπαθούμε να κάνουμε οικονομία ηλεκτρικού ρεύματος.
- Δεν αφήνουμε συσκευές που δεν χρησιμοποιούμε στις πρίζες (φορτιστές κινητών, τηλεοράσεις, cd-player κλπ). Ακόμα και απενεργοποιημένες, σχεδόν όλες οι συσκευές καταναλώνουν ενέργεια και γι αυτόν τον λόγο τις βγάζουμε από τις πρίζες ή χρησιμοποιούμε πολύπριζα που απενεργοποιούνται με διακόπτη.
- Δεν καλύπτουμε ή σκεπάζουμε τις μπαταρίες με σακούλες, νάιλον, πανιά κλπ.
- Αντικαθιστούμε παλιές συσκευές που καταναλώνουν πολύ ρεύμα με νέες, πιο αποδοτικές ενεργειακά (λάμπες, ψυγείο, κλιματιστικά κλπ).

Ο σχεδιασμός ενός αυτόνομου φωτοβολταϊκού συστήματος στηρίζεται στη μέση ηλεκτρική κατανάλωση του συστήματος και στη μέση ηλιακή ακτινοβολία που δέχονται οι συλλέκτες στην επιλεγμένη κρίσιμη περίοδο λειτουργίας του (π.χ. ένα θερινό ή χειμερινό μήνα, μια εποχή του έτους ή και ολόκληρο το έτος). Όμως οι μέσες τιμές είναι στατιστικά μεγέθη που μπορεί να αποκλίνουν σημαντικά από ενδεχόμενες πραγματικές συνθήκες. Επίσης, ένα αξιόπιστο σύστημα πρέπει να παρέχει επαρκή ηλεκτρική ενέργεια για την ικανοποίηση της ζήτησης και στα χρονικά διαστήματα που δεν υπάρχει αντίστοιχη ηλιακή ακτινοβολία. Προφανώς, τα διαστήματα αυτά είναι κυρίως οι νυχτερινές ώρες, οι συννεφιασμένες ημέρες και οι χρονικές αιχμές τις κατανάλωσης.

Τα φωτοβολταϊκά συστήματα που είναι συνδεδεμένα με κεντρικά ηλεκτρικά δίκτυα διανομής, αντλούν από αυτά την απαιτούμενη συμπληρωματική ηλεκτρική ενέργεια. Επίσης διοχετεύουν προς τα δίκτυα την ενδεχόμενη περίσσεια της παραγόμενης φωτοβολταϊκής ηλεκτρικής ενέργειας όταν υπερβαίνει την κατανάλωση του συστήματος. Όμως, τα απομονωμένα αυτόνομα φωτοβολταϊκά συστήματα δεν έχουν αυτή τη δυνατότητα ενεργειακής ανταλλαγής. Η αυτονομία των συστημάτων αυτών απαιτεί μπαταρίες, στις οποίες θα αποθηκεύεται η ηλεκτρική ενέργεια που θα παράγεται από τα φωτοβολταϊκά πλαίσια και θα χρησιμοποιείται κατά τις βραδινές

ώρες ή σε περιόδους όπου η ηλιακή ακτινοβολία δε θα είναι επαρκής για να καλύψει τις ανάγκες του συστήματος.

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

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

11.3: Φωτοβολταϊκά Πλαίσια

Τα φωτοβολταϊκά πλαίσια δεν απαιτούν ιδιαίτερη παρακολούθηση και είναι σχεδιασμένα έτσι ώστε να αντέχουν στα καιρικά φαινόμενα για πολλά χρόνια. Παρ' όλα αυτά συστήνεται να εκτελούνται οι παρακάτω έλεγχοι τουλάχιστον 1 φορά ανά εξάμηνο :

- οπτικός έλεγχος των πλαισίων, καλωδιώσεων και βάσεων. Ταρακουνάμε τις βάσεις ελέγχοντας την στιβαρότητα των στηριγμάτων και συγκρατητών
- καθαρισμός των πλαισίων με την χρήση νερού, απομακρύνουμε τυχόν ρύπους και περιπτώματα πουλιών που μπορεί να έχουν κολλήσει στο γυαλί των πλαισίων

Η προσθήκη επιπλέον φωτοβολταϊκών πλαισίων είναι πάντα μια καλή επιλογή, αν επιθυμούμε την λειτουργία περισσότερων συσκευών για περισσότερες ώρες.

Σύγκριση-Πλεονεκτήματα ρυθμιστής φόρτισης τύπου PWM σε σχέση με ρυθμιστή φόρτισης τύπου MPPT

Οι ρυθμιστές φόρτισης MPPT που εγκαθίστανται στα αυτόνομα φωτοβολταϊκά συστήματα και καθορίζουν τα κατάλληλα επίπεδα φόρτισης των μπαταριών δημιουργούν προϋποθέσεις λειτουργίας των φωτοβολταϊκών συστημάτων παρέχοντας περιορισμένες έως ελάχιστες απώλειες στις πραγματικές τους. Ένας συμβατικός ρυθμιστής φόρτισης τύπου PWM διανέμει την παραγόμενη ενέργεια του φωτοβολταϊκού πλαισίου προς τις μπαταρίες περίπου κατά το 80% ενώ η υπολειπόμενη ενέργεια της τάξεως του 20% περίπου χάνεται επειδή οι απλοί ρυθμιστές φόρτισης PWM δεν κάνουν ανίχνευση του μέγιστου σημείου ισχύος του φωτοβολταϊκού πλαισίου.

Δείτε το παρακάτω παράδειγμα:

- A. Φωτοβολταϊκά πλαίσια εγκατεστημένης ισχύος 1000Wr με ένα ρυθμιστή φόρτισης τύπου PWM αποδίδουν συνολικά ενέργεια ισχύος $1000\text{watt} \times 0.8$ λόγος απόδοσης = 800W περίπου 4.0KWh το 24ωρο κατά την καλοκαιρινή περίοδο.
- B. Φωτοβολταϊκά πλαίσια εγκατεστημένης ισχύος 1000Wr με ένα ρυθμιστή φόρτισης τύπου MPPT αποδίδουν συνολικά ενέργεια ισχύος $1000\text{watt} \times 0.96$ λόγος απόδοσης = 960W περίπου 4.8KWh το 24ωρο κατά την καλοκαιρινή περίοδο.

Αποτέλεσμα: Στην δεύτερη περίπτωση με χρήση ρυθμιστού φόρτισης τύπου MPPT κερδίζουμε 800wh (δηλαδή περίπου 16% επιπλέον της παραγόμενης ενέργειας)

12. Επιλεγμένα στοιχεία εγκατάστασης

12.1: Πάνελ

Electrical data (STC)							
		NU-RD300	NU-RD295	NU-RD290	NU-RD285		
Maximum power	P_{max}	300	295	290	285	W_p	
Open-circuit voltage	V_{oc}	39.4	39.3	39.3	39.2	V	
Short-circuit current	I_{sc}	9.97	9.87	9.80	9.73	A	
Voltage at point of maximum power	V_{mpp}	31.2	31.3	31.3	31.3	V	
Current at point of maximum power	I_{mpp}	9.63	9.42	9.25	9.1	A	
Module efficiency	η_m	18.3	18.0	17.6	17.3	%	
<small>STC = Standard Test Conditions: irradiance 1,000W/m², AM 1.5, cell temperature 25 °C. Rated electrical characteristics are within ±10% of the indicated values of Isc, Voc and 0 to +5% of Pmax (power measurement tolerance ±3%). Reduction of efficiency from an irradiance of 1,000W/m² to 200W/m² (Tmodule = 25 °C) is less than 2%.</small>							
Electrical data (NOCT)							
		NU-RD300	NU-RD295	NU-RD290	NU-RD285		
Maximum power	P_{max}	219	215	211	207	W_p	
Open-circuit voltage	V_{oc}	36.3	36.2	36.0	36.0	V	
Short-circuit current	I_{sc}	8.07	7.99	7.93	7.88	A	
Voltage at point of maximum power	V_{mpp}	28.5	28.4	28.3	28.3	V	
Current at point of maximum power	I_{mpp}	7.72	7.59	7.45	7.33	A	
Module efficiency	η_m	16.7	16.4	16.0	15.7	%	
<small>Electrical values measured under nominal operating conditions of cells : 800W/m² irradiance, air temperature of 20 °C, wind speed of 1 m/s. NOCT : 49 °C (nominal operating cell temperature).</small>							
Temperature coefficient		Dimensions (mm)					
P_{max}	-0.40 %/°C						
V_{oc}	-0.29 %/°C						
I_{sc}	0.05 %/°C						
Mechanical data		<small>*Please refer to Sharp's installation manual for details.</small>					
Length	1,660 mm						
Width	990 mm						
Depth	50 mm						
Weight	20 kg						
Limit values							
Maximum system voltage	1,000 V						
Over-current protection	20 A						
Temperature range	-40 to 85° C						
Max. mechanical load (snow/wind)	2,400 Pa						
Tested snow load (IEC61215 test pass*)	5,400 Pa						
General data		Packaging data					
Cells	monocrystalline, 156 mm x 156 mm, 60 cells in series	Modules per pallet		22 pcs			
Front glass	low iron tempered glass, 3.2 mm	Pallet size (L x W x H)		1.2 m x 1.0 m x 1.85 m			
Frame	anodized aluminium alloy, black	Pallet weight		approx. 477 kg			
Connection box	PPE/PPO resin, IP67 Rating, 148 x 123 x 27 mm, 3 bypass diodes	Modules packed in one carton		22 pcs			
Cable	CE cable, length 1,200 mm (+), 800 mm (-)						
Connector	MC4						
		Contact Sharp SHARP ELECTRONICS GMBH ENERGY SOLUTIONS NAGELSWEG 33 - 35 20097 HAMBURG GERMANY T : +49 (0) 40 / 2376 - 2436 F : +49 (0) 40 / 2376 - 2193			Contact Installer		
www.sharp.eu 		<small>Local responsibility: Benelux SolarInfo.seb@sharp.eu, France SolarInfo.fr@sharp.eu, Germany SolarInfo.de@sharp.eu, Poland energy-info.pl@sharp.eu Spain & Portugal SolarInfo.es@sharp.eu, United Kingdom SolarInfo.uk@sharp.eu, Other countries SolarInfo.Europe@sharp.eu</small>					

12.2: Inverter

ABB string inverters

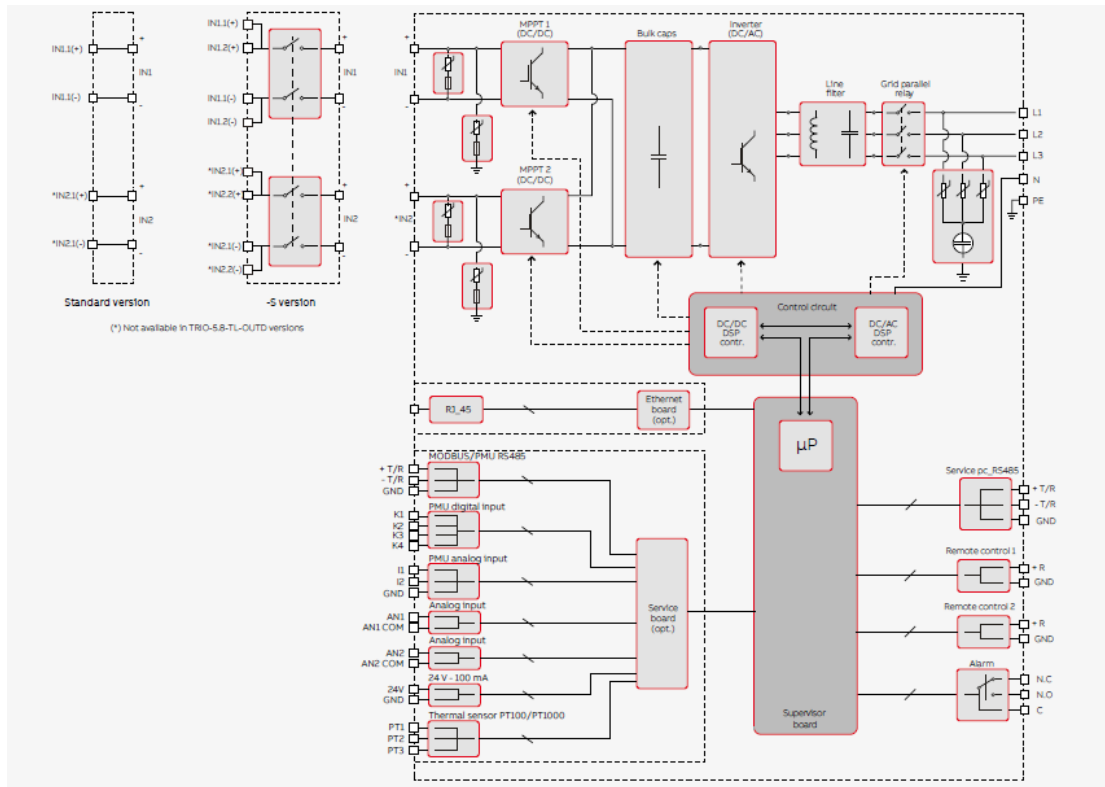
TRIO-5.8/7.5/8.5-TL-OUTD

5.8 to 8.5 kW



Technical data and types

Type code	TRIO-5.8-TL-OUTD	TRIO-7.5-TL-OUTD	TRIO-8.5-TL-OUTD
Input side			
Absolute maximum DC input voltage ($V_{max,abs}$)	1000 V		
Start-up DC input voltage (V_{start})	350 V (adj. 200...500 V)		
Operating DC input voltage range ($V_{dcmin}...V_{dcmax}$)	0.7 x V_{start} ...950 V (min 200 V)		
Rated DC input voltage (V_{dc})	620 V		
Rated DC input power (P_{dc})	5950 W	7650 W	8700 W
Number of independent MPPT	1	2	2
Maximum DC input power for each MPPT ($P_{MPPTmax}$)	6050 W Linear derating from max to null [800 V ≤ V_{MPPT} ≤ 950 V]	4800 W	4800 W
MPPT input DC voltage range ($V_{MPPTmin}...V_{MPPTmax}$) at P_{dc}	320...800 V	-	-
DC input voltage range with parallel configuration of MPPT at P_{dc}	-	320...800 V	320...800 V
DC power limitation with parallel configuration of MPPT	-	Linear derating from max to null [800 V ≤ V_{MPPT} ≤ 950 V]	
DC power limitation for each MPPT with independent configuration of MPPT at P_{dc} , max unbalance example	-	4800 W [320 V ≤ V_{MPPT} ≤ 800 V] the other channel: P_{dc} -4800 W [215 V ≤ V_{MPPT} ≤ 800 V]	4800 W [320 V ≤ V_{MPPT} ≤ 800 V] the other channel: P_{dc} -4800 W [290 V ≤ V_{MPPT} ≤ 800 V]
Maximum DC input current (I_{dcmax}) / for each MPPT ($I_{MPPTmax}$)	18.9 A	30.0 A / 15.0 A	30.0 A / 15.0 A
Maximum input short circuit current for each MPPT	24.0 A	20.0 A	20.0 A
Number of DC input pairs for each MPPT	2 (-S version)		
DC connection type	PV quick fit connector ³⁾ on -S version / Screw terminal block on standard version		
Input protection			
Reverse polarity protection	Yes, from limited current source		
Input over voltage protection for each MPPT - varistor	Yes, 4		
Photovoltaic array isolation control	According to local standard		
DC switch rating for each MPPT (version with DC switch)	16 A /1000 V, 25 A / 800 V		
Output side			
AC grid connection type	Three-phase 3W+PE or 4W+PE		
Rated AC power ($P_{acr}@cos\phi=1$)	5800 W	7500 W	8500 W
Maximum apparent power (S_{max})	5800 VA	7500 VA	8500 VA
Rated AC grid voltage (V_{acr})	400 V		
AC voltage range	320...480 V ³⁾		
Maximum AC output current ($I_{ac,max}$)	10.0 A	12.5 A	14.5 A
Contributory fault current	12.0 A	14.5 A	16.5 A
Rated output frequency (f_r)	50 Hz / 60 Hz		
Output frequency range ($f_{min}...f_{max}$)	47...53 Hz / 57...63 Hz ²⁾		
Nominal power factor and adjustable range	> 0.995, adj. ± 0.9 with P_{acr} =5.22 kW, ± 0.8 with max 5.8 kVA	> 0.995, adj. ± 0.9 with P_{acr} =6.75 kW, ± 0.8 with max 7.5 kVA	> 0.995, adj. ± 0.9 with P_{acr} =7.65 kW, ± 0.8 with max 8.5 kVA
Total current harmonic distortion	< 2%		
AC connection type	Screw terminal block, cable gland M32		
Output protection			
Anti-islanding protection	According to local standard		
Maximum external AC overcurrent protection	16.0 A	16.0 A	20.0 A
Output overvoltage protection - varistor	4 plus gas arrester		
Operating performance			
Maximum efficiency (η_{max})	98.0%		
Weighted efficiency (EURO/CEC)	97.4% / -	97.5% / -	97.5% / -
Feed in power threshold	32 W	36 W	36 W
Night consumption	< 3 W		

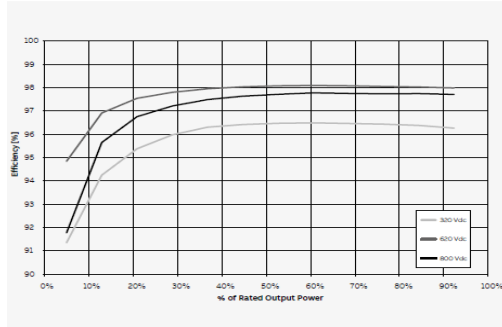


Technical data and types

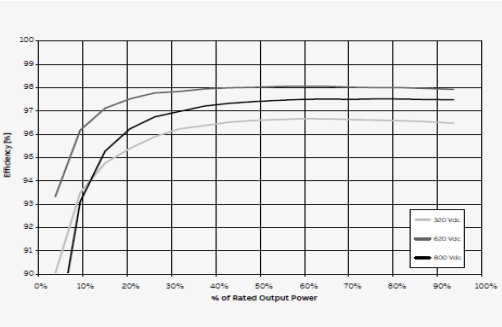
Type code	TRIO-5.8-TL-OUTD	TRIO-7.5-TL-OUTD	TRIO-8.5-TL-OUTD
Communication			
Wired local monitoring	Ethernet card with webserver (opt.), PVI-USB-R5232_485 (opt.)		
Remote monitoring	Ethernet card (opt.), VSN300 Wifi Logger Card (opt.), VSN700 Data Logger (opt.)		
Wireless local monitoring	VSN300 Wifi Logger Card (opt.)		
User interface	Graphic display		
Environmental			
Ambient temperature range	-25...+60°C / -13...140°F with derating above 50°C/122°F		
Relative humidity	0...100% condensing		
Sound pressure level, typical	50 dBA @ 1 m		
Maximum operating altitude without derating	2000 m / 6560 ft		
Physical			
Environmental protection rating	IP65		
Cooling	Natural		
Dimension (H x W x D)	641mm x 429 mm x 220 mm / 25.2" x 16.9" x 8.7" (855 mm x 429 mm x 237 mm / 33.7" x 16.9" x 9.3" with open front cover)		
Weight	25.0 kg / 55.1 lbs	28.0 kg / 61.7 lbs	28.0 kg / 61.7 lbs
Mounting system	Wall bracket		
Safety			
Isolation level	Transformerless		
Marking	CE (50 Hz only), RCM		
Safety and EMC standard	EN 62109-1, EN 62109-2, AS/NZS3100, EN 61000-6-2, EN 61000-6-3, EN 61000-3-2, EN 61000-3-3		
Grid standard (check your sales channel for availability)	CEI 0-21, CEI 0-16, DIN V VDE V 0126-1-1, VDE-AR-N 4105, G83/2, G59/3, RD 1699, RD 413, NRS-097-2-1, AS 4777, IEC 61727, IEC 62116, VFR 2014		
Available products variants			
Standard	TRIO-5.8-TL-OUTD-400	TRIO-7.5-TL-OUTD-400	TRIO-8.5-TL-OUTD-400
With DC switch	TRIO-5.8-TL-OUTD-S-400	TRIO-7.5-TL-OUTD-S-400	TRIO-8.5-TL-OUTD-S-400

¹⁾ The AC voltage range may vary depending on specific country grid standard ²⁾ The Frequency range may vary depending on specific country grid standard
³⁾ Please refer to the document "String Inverters – Product manual appendix" available at www.abb.com/solarinverters for information on the quick-fit connector brand and model used in the inverter
 Remark: Features not specifically listed in the present data sheet are not included in the product

Efficiency curves of TRIO-5.8-TL-OUTD



Efficiency curves of TRIO-8.5-TL-OUTD



12.3: Φορτιστές

Οδηγίες ενεργοποίησης Ρυθμιστών φόρτισης MPPT σειρά Tracer 12V/24V 10A ~ 40A Η σειρά ρυθμιστών φόρτισης MPPT για αυτόνομα φωτοβολταϊκά συστήματα, διαθέτει έναν έξυπνο αλγόριθμο ανίχνευσης του μέγιστου σημείου ισχύος του φωτοβολταϊκού ανάλογα την ηλιοφάνεια και τη θερμοκρασία, μεγιστοποιώντας έτσι την απόδοση του συστήματος κατά 30%. Η σειρά ρυθμιστών MPPT tracer έχει απόδοση υψηλότερη 97% με ελάχιστες απώλειες ενέργειας.

Η σειρά Tracer είναι ειδικά σχεδιασμένη για να λειτουργεί με όλες τις φωτοβολταϊκές μονάδες για αυτόνομα (36Cell & 72cell) ή διασυνδεδεμένα 60cell.

Γενικά Χαρακτηριστικά :

- Τεχνολογία MPPT
- Μέγιστη απόδοση 97%
- Μεγάλη ταχύτητα ανίχνευσης MPPT
- 4 στάδια φόρτισης μπαταριών
- Ψύξη με ελεύθερο αερισμό
- Πλήρης ισχύς λειτουργίας με θερμοκρασία περιβάλλοντος έως 45 °C
- Περιορισμό τάσης φόρτισης ανάλογα με τη θερμοκρασία $-30\text{mV}/^{\circ}\text{C}/12\text{V}$ (25°C ref)
- Για μπαταρίες μολύβδου κλειστού τύπου, Gel και μολύβδου ανοιχτού τύπου.
- Προγραμματισμός ημερήσιας και νυχτερινής λειτουργίας.
- Ανεξάρτητος έλεγχος φορτίων
- Διεπαφή RJ45.
- Προαιρετικά οθόνη LCD με 2μ καλώδιο (ενδείξεις : V – A – Ah – Wh)
- CE certificate

Ηλεκτρονικές προστασίες:

- Προστασία από βραχυκύκλωμα στην πλευρά των φωτοβολταϊκών
- Προστασία αποφόρτισης
- Προστασία υπερφόρτισης
- Προστασία από Υπερφόρτωση φορτίου
- Προστασία από βραχυκύκλωμα στα φορτία
- Προστασία από ανάποδη πολικότητα φωτοβολταϊκών
- Προστασία από λάθος σύνδεση πολικότητας μπαταρίας.

1. Τοποθέτηση

Τοποθετήστε το ρυθμιστή φόρτισης σε μέρος καλά αεριζόμενο και χωρίς υγρασία. Να υπάρχει τουλάχιστον 15cm κενός χώρος πάνω κάτω. Είναι απαραίτητο να βρίσκεται στον ίδιο χώρο με τις μπαταρίες, ώστε να ελέγχεται η θερμοκρασία του χώρου για σωστή φόρτιση των μπαταριών.

2. Σύνδεση – Ενεργοποίηση

Συνδέστε τα καλώδια στο ρυθμιστή με την ακόλουθη σειρά :

- Σύνδεση καλωδίων μπαταρίας με ασφαλιστική διάταξη.
- **ΠΡΟΣΟΧΗ** : Στη πολικότητα των καλωδίων (πρώτα σύνδεση των καλωδίων στο ρυθμιστή και μετά στη μπαταρία).

- **ΠΡΟΣΟΧΗ** : Μη βραχυκυκλώνεται τα καλώδια της μπαταρίας κίνδυνος εκρήξεως. Η τάση της μπαταρίας πρέπει να είναι ανάλογα τη λειτουργία του συστήματος 12V ή 24V

Για σύστημα 12V ελάχιστη τάση λειτουργίας ρυθμιστή είναι τα 9V και για συστήματα 24V ελάχιστη τάση 18V. Οι Ρυθμιστές φόρτισης Tracer κάνουν αυτόματη αναγνώριση τάσης μπαταρίας 12V ή 24V.

- Σύνδεση καλωδίων στα φορτία DC με τη σωστή πολικότητα.
- **ΠΡΟΣΟΧΗ** : Μη βραχυκυκλώνεται τα καλώδια προς τα φορτία dc εφόσον έχουν συνδεθεί στην έξοδο του ρυθμιστή. Ο ρυθμιστής θα υπερφορτωθεί και θα βγάλει σφάλμα.
- **ΠΡΟΣΟΧΗ** : Πριν συνδέσετε τα καλώδια του φ/β στο ρυθμιστή προσέξτε να μην υπάρχει τάση από τα φ/β, υπάρχει κίνδυνος ηλεκτροπληξίας. Η συνολική τάση των φ/β πρέπει να είναι ίση ή μεγαλύτερη από την τάση της μπαταρίας.
- Συνδέστε τα καλώδια των φωτοβολταϊκών στο ρυθμιστή.
- Συνδέστε το remote-control για απομακρυσμένο έλεγχο του συστήματος, εφόσον το έχετε επιλέξει.

Μετά την σύνδεση της μπαταρίας ο ρυθμιστής ενεργοποιείτε και το LED της μπαταρίας ανάβει πράσινο, αν όχι ο ρυθμιστής δεν έχει ενεργοποιηθεί και το led θα δήξει βλάβη.

Φόρτιση Μπαταριών

Οι ρυθμιστές φόρτισης Tracer MPPT φορτίζουν μπαταρίες μολύβδου, με 4 στάδια φόρτισης.

- Στο πρώτο στάδιο φόρτισης (Bulk Charge), ο ρυθμιστής φορτίζει την μπαταρία με το 100% της παραγόμενης ενέργειας των φ/β.
- Στο δεύτερο στάδιο φόρτισης (Boost), ο ρυθμιστής φορτίζει με σταθερή τάση την μπαταρία για 2h και μετά πάει σε φόρτιση συντήρησης. Κάθε φορά που η τάση της μπαταρίας πέφτει κάτω από το όριο τάσης Float, ο ρυθμιστής πάει πάλι σε φόρτιση Boost.
- Στο τρίτο στάδιο φόρτισης (Float) ο ρυθμιστής θα παραμείνει για όσο διάστημα ισχύουν τα όρια τάσης (μεγαλύτερο – μικρότερο).

Η εξισωτική φόρτιση επιλέγεται αυτόματα από την επιλογή τύπου μπαταρίας και μόνο για μπαταρίες ανοιχτού τύπου (Flooded battery).

ΠΡΟΣΟΧΗ : κίνδυνος έκρηξης αν γίνει εξισωτική φόρτιση σε μπαταρίες GEL ή κλειστού τύπου.

ΤΥΠΟΣ ΜΠΑΤΑΡΙΑΣ	ΕΠΙΛΟΓΗ
Κλειστού τύπου Sealed lead acid battery	1
Gel Battery	2
Ανοιχτού τύπου Flooded battery	3

Τρόπος επιλογής τύπου μπαταρίας:

Πατήστε και κρατήστε πατημένο για 5” το κουμπί “setting” μέχρι το LED Battery type να αρχίσει να αναβοσβήνει. Συνεχίστε να πατάτε διαδοχικά το πλήκτρο,

ενώ η οθόνη αλλάζει νούμερα 1,2,3. Επιλέξτε τον τύπο μπαταρίας όπως φαίνεται στον παραπάνω πίνακα.

Ενδείξεις φόρτισης.

Το LED της μπαταρίας όταν ανάβει δείχνει τη διαθεσιμότητα της μπαταρίας και όταν αναβοσβήνει δείχνει μεγάλη τάση στη μπαταρία.

Ενδείξεις LED μπαταρίας.

Πράσινο led μόνιμα αναμμένο : Μπαταρία κανονική

Πράσινο led αναβοσβήνει : Μπαταρία πλήρως φορτισμένη.

Πορτοκαλί led αναμμένο : Χαμηλή τάση μπαταρίας.

Κόκκινο led αναμμένο : Η μπαταρία έχει αποφορτιστεί.

Ενδείξεις led φωτοβολταϊκών.

Αν η τάση των φωτοβολταϊκών ανοιχτού κυκλώματος (Voc), είναι μεγαλύτερη από την τάση εισόδου φ/β του ρυθμιστή τότε ο ρυθμιστής δεν ενεργοποιείται, το led PV γίνεται κόκκινο και ανάβει η ένδειξη P στην οθόνη. Αν το ρεύμα των φωτοβολταϊκών γίνει μεγαλύτερο από το συνεχόμενο ρεύμα λειτουργίας του ρυθμιστή, τότε ο ρυθμιστής απενεργοποιείται αυτόματα, το led PV γίνεται κόκκινο και στην οθόνη ανάβει η ένδειξη C. Ενδείξεις led φορτίων. Αν το ρεύμα των φορτίων dc ανέβει 1,25 φορές για 60" το μέγιστο ρεύμα τροφοδοσίας του ρυθμιστή ή 1,5 φορές για 5" ή γίνει βραχυκύκλωμα στα φορτία, το led της μπαταρίας θα γίνει κόκκινο και θα αναβοσβήνει.

Βλάβες	Πιθανοί λόγοι	Ανίχνευση Βλάβης
Το Led φόρτισης παραμένει σβηστό παρόλο που υπάρχει ηλιοφάνεια στα φ/β πάνελ.	Διακοπή στο κύκλωμα φωτοβολταϊκών πάνελ.	Ελέγξτε τις καλωδιώσεις των φωτοβολταϊκών και της μπαταρίας, αν είναι σωστά συνδεδεμένα.
Το Led της φόρτισης αναβοσβήνει σε πράσινο χρώμα.	Υπερβολική τάση μπαταρίας, αποσύνδεση του ρυθμιστή από τη μπαταρία. (OVD)	Ελέγξτε γιατί η τάση της μπαταρίας είναι μεγάλη. Αποσυνδέστε τα φωτοβολταϊκά πάνελ.
Το LED της μπαταρίας ανάβει πορτοκαλί.	Χαμηλή τάση μπαταρίας.	Εφόσον το φορτίο είναι κανονικό, το LED της φόρτισης θα γίνει πράσινο μόλις ολοκληρωθεί η φόρτιση.
Το LED της μπαταρίας ανάβει κόκκινο.	Αποφορτισμένη μπαταρία.	Ο ρυθμιστής θα κόψει την έξοδο αυτόματα. Το LED της φόρτισης θα γίνει πράσινο μόλις ολοκληρωθεί η φόρτιση.
Η ψηφιακή λυχνία LED Παρουσιάζει —P	Υψηλή τάση φωτοβολταϊκών	Ελέγξτε εάν η τάση των φωτοβολταϊκών είναι στα όρια λειτουργίας του ρυθμιστή. Ο ρυθμιστής αναγνωρίζει αυτόματα την τάση των φωτοβολταϊκών να είναι μέσα στα όρια λειτουργίας του, διαφορετικά δεν ενεργοποιείτε.
Η ψηφιακή λυχνία LED Παρουσιάζει —C	Υπερβολικό ρεύμα φωτοβολταϊκών.	Ελέγξτε εάν το ρεύμα των φωτοβολταϊκών είναι στα όρια λειτουργίας του ρυθμιστή. Ο ρυθμιστής αναγνωρίζει αυτόματα το ρεύμα των φωτοβολταϊκών να είναι μέσα στα όρια λειτουργίας του, διαφορετικά δεν ενεργοποιείτε.
Το Led της μπαταρίας αναβοσβήνει.	Υπερβολικό φορτίο στο ρυθμιστή ή βραχυκύκλωμα	Υπερβολικό φορτίο : ελαττώστε φορτίο και πατήστε το μπουτόν μία φορά, ο ρυθμιστής θα ξεκινήσει μετά από 3". Βραχυκύκλωμα : μετά το πρώτο βραχυκύκλωμα, ο ρυθμιστής ξεκινά αυτόματα μετά από 10". Μετά το δεύτερο βραχυκύκλωμα, πάτησε το μπουτόν μία φορά για να ξεκινήσει ο ρυθμιστής μετά από 3".

12.4: Μπαταρίες



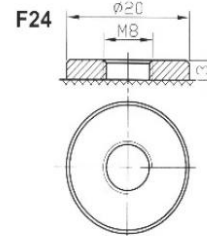
GEL Deep Cycle Battery

Model: WT-EB-200 (2V200AH)



Application

- ☆ UPS power supply
- ☆ Telecom Equipment
- ☆ Power Station



General Features

- ☆ Designed floating charging service life: 18 years (25°C)
- ☆ Sealed and maintenance free operation
- ☆ Safety valve installation for explosion proof
- ☆ Low self-discharge characteristic
- ☆ Wide operating temperature range from -10°C~ 50°C
- ☆ Lead Calcium Aluminum Tin alloy high energy, prevent corrosion

PHYSICAL SPECIFICATIONS

Nominal Voltage		2V
Nominal Capacity (10HR)		200AH
Dimensions	Length	173±2mm
	Width	110±2mm
	Container height	329±3mm
	Total Height (with terminal)	363±3mm
Weight±3%		Approx 13.6Kg(29.99lbs)
Internal Resistance(In full charge status)		≈0.78mΩ
Standard Terminals		F24

Constant – Voltage Charge

Cycle application	<ol style="list-style-type: none"> Limit initial current less than 30A. Charge until battery voltage (under charge) reaches 2.30V to 2.35V at 25°C (77F) . Hold at 2.30V to 2.35V until current drop to under 1.2A for at least 3 hours. Temperature compensation coefficient of charging voltage is -5mV/°C .
Standby service	<ol style="list-style-type: none"> Hold battery across constant voltage source of 2.26to 2.28 volts with current limit 30A continuously .When held at this voltage , the battery will seek its own current level and maintain itself in a fully charge status. Temperature compensation coefficient of charging voltage is -3mV/°C

NOTE : The battery should be charged within 9 months of storage ,Otherwise , permanent loss of capacity might occur as a result of sulfation

Constant Current Discharge Data Sheet (Amperes at 25°C)

End Voltage/cell	Minute (M)				Hour (H)					
	5	10	20	45	1	2	4	8	10	20
1.70	430.2	331.7	276.1	144.4	125.9	74.2	42.8	24.5	50.3	10.9
1.75	426.3	328.8	274.1	143.4	122.9	71.6	41.3	24.3	35.2	10.8
1.80	421.5	324.9	271.2	141.5	120.0	68.9	39.7	24.0	20.0	10.7

Constant Power Discharge Data Sheet (Watt at 25°C)

End Voltage/cell	Minute (M)				Hour (H)					
	5	10	20	45	1	2	4	8	10	20
1.70	778.5	610.7	512.6	275.8	244.2	144.8	83.9	50.0	101.7	22.4
1.75	777.6	608.8	511.7	273.1	238.5	140.3	81.3	49.0	70.8	22.3
1.80	775.6	606.8	510.8	270.2	232.8	135.7	78.6	47.8	40.0	22.1

12.5: Αλεξικέραυνο

- Ακίδα Franklin:



- Σύνδεσμος αγωγού αλεξικέραυνου Στρογγυλός Rd8-10/επίπεδο FI30 Χάλυβας



- Αγωγός Φ10mm St/tZn ΕΛΕΜΚΟ 76,41 ΕΥΡΩ ΑΝΑ 50 ΜΕΤΡΑ
- Στήριγμα αγωγού Φ8-10 hilti M6 Zg



13. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ

Τοποθεσία μετρήσεων: Πλάτος 37°58'50.16"B, Μήκος 22°46'44.56"A
Σταθερή τοποθέτηση Πάνελ στις 30°.

➤ Πίνακας προσπίπτουσας ενέργειας στα φωτοβολταϊκά πάνελ

Month	kWh/ημέρα	kWh/μήνα	kWh/m ² /ημέρα	kWh/m ² /μήνα
Ιανουάριος	8,45	262	3,67	114
Φεβρουάριος	9,36	262	4,14	116
Μάρτιος	13	404	5,84	181
Απρίλιος	13,6	408	6,17	185
Μάιος	14,6	451	6,68	207
Ιούνιος	15,4	462	7,16	215
Ιούλιος	15	466	7,09	220
Αύγουστος	14,8	458	7,01	217
Σεπτέμβριος	13,7	411	6,43	193
Οκτώβριος	11,8	367	5,42	168
Νοέμβριος	9,68	290	4,33	130
Δεκέμβριος	7,85	243	3,43	106
Μέση παραγωγή	12,3	374	5,62	171
Συνολική χρονιά		4480		2050

➤ Πίνακας καταναλώσεων εγκατάστασης

ΣΥΣΚΕΥΕΣ	ΙΣΧΥΣ	ΦΟΡΤΙΟ	ΩΡΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ	ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΙΣΧΥΣ
ΛΑΜΠΕΣ	100 W	0,5 A	4,0 h	400 Wh
ΠΛΥΝΤΗΡΙΟ	3000 W	13 A	2,0 h	6000 Wh
ΨΥΓΕΙΟ	300 W	1,3 A	9,0 h	2700 Wh
ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΑ	1000 W	4,4 A	7,0 h	7000 Wh
ΣΥΝΟΛΟ	4400 W	19,2 A		16100 Wh

➤ Επιλεγμένα στοιχεία

i. ΠΑΝΕΛ << NU-RD300 >>

$P_{max}=300Wp$

$V_{DC}=39,4 V$

$I_{DC}=9,97 A$

$V_{mp}=31,2 V$

$I_{mp}=9,63 A$

$\eta_{\phi/\beta}=16,7$

ii. ΦΟΡΤΙΣΤΗΣ (4 Τεμάχια)

MPPT σειρά Tracer 12V/24V 10A ~ 40A

$\eta_{\text{φορτιστη}}=96\%$

iii. INVERTER TRIO 8,5 (2 Τεμάχια)

iv. ΜΠΑΤΑΡΙΕΣ

Χωρητικότητα: 200 Ah

Στοιχεία 2V

Βάθος εκφόρτισης: 50%

Αυτονομία 3 ημέρες

➤ Αποδόσεις:

n_1 : απόδοση πλακών

n_2 : απόδοση ηλεκτή φόρτισης

n_3 : απόδοση συσσωρευτών κατά την φόρτιση

n_4 : απόδοση συσσωρευτών κατά την εκφόρτιση

n_5 : απόδοση inverter

➤ Υπολογισμοί εγκατάστασης

$E_{ολ} = 16100 \text{ Wh}$

$E_1 = 40\%$ Από άμεση : $16100 \times 0,4 = 6440 \text{ Wh}$

$E_2 = 60\%$ Από έμμεση : $16100 \times 0,6 = 9660 \text{ Wh}$

Ημερήσια κατανάλωση:

$E = 16,1 \text{ kWh}$

Άμεση τροφοδότηση 40%

$E_1 = E \times 0,4 = 16,1 \times 0,4 = 6,44 \text{ kWh}$

Έμμεση τροφοδότηση 60%

$E_2 = E \times 0,6 = 16,1 \times 0,6 = 9,66 \text{ kWh}$

Απαιτούμενη προσπίπτουσα:

$E' = E_1' + E_2'$

$E_1' = E_1 / n_1 n_2 n_5 = 6,44 / 0,167 * 0,95 * 0,98 = 41,42 \text{ kWh}$

$E_2' = E_2 / n_1 n_2 n_3 n_5 n_4 = 9,66 / 0,167 * 0,96 * 0,9 * 0,9 * 0,98 = 76,7 \text{ kWh}$

$E' = 41,42 + 76,7 = 118,12 \text{ kWh}$

Δεκέμβριος: 106 kWh/m^2

Προσπίπτουσα Ενέργεια ημέρας

$E'_{\text{ημέρας}} = 106 / 31 = 3,42 \text{ kWh/m}^2$ την ημέρα

Η συνολική επιφάνεια των Φ/Β γεννητριών είναι:

$m^2_{\text{φ/β}} = E' / E'_{\text{ημέρας}} = 118,12 / 3,42 = 34,54 \text{ m}^2$

Με γεννήτριες εμβαδού $1,6434 \text{ m}^2$

$34,54 / 1,6434 = 22$ Φ/Β γεννήτριες

Συνδεσμολογία:

- 39,4V το οποίο είναι κατάλληλο για φόρτιση
- 9,97 A στην είσοδο A και 19,94 A στην είσοδο B

Καλώδια συνδεσμολογίας πάνελ ανάλογα με το ρεύμα που διαρρέονται και την θερμοκρασία του εξωτερικού χώρου μέσα σε κατάλληλους αγωγούς. Το πρότυπο το εφαρμόζουμε καθώς η εγκατάσταση είναι μικρότερη από 1000V DC για την πλευρά πριν τον Inverter. Θα εξετασθούν πιο κάτω.

Inverter 1:

- Είσοδος A: 9 Φ/B με 354,6 V (Άνω των 320) και 9,97A σε σειρά
- Είσοδος B: 2 Φ/B με 39,4V και 19,94A σε παράλληλη σύνδεση

Inverter 2:

- Είσοδος A: 9 Φ/B με 354,6 V (Άνω των 320) και 9,97A σε σειρά
- Είσοδος B: 2 Φ/B με 39,4V και 19,94A σε παράλληλη σύνδεση

Σύνολα συνδεσμολογίας: 788V και 59,8A

Συσσωρευτές:

Για αυτονομία 3 ημερών και βάθος εκφόρτισης 50% η χωρητικότητα των συσσωρευτών είναι:

$$\frac{3 * E}{0,6 * n4 * n5} = \frac{3 * 16,1}{0,5 * 0,9 * 0,98} = 109,52kWh$$

Για τάση 24V: 109520 / 24 = 4563 Ah στρογγυλοποιημένο 4600 Ah / 2 = 2300 Ah

Συνδεσμολογία συσσωρευτών:

Δύο συστοιχίες παράλληλα 12 στοιχείων 2V με 2400Ah η κάθε μία

Η αυτονομία δεν βγαίνει κατευθείαν 3 ημέρες αν πάμε ανάποδα τον τύπο επειδή έχουμε μπαταρίες με χωρητικότητα 200Ah με 2V τάση.

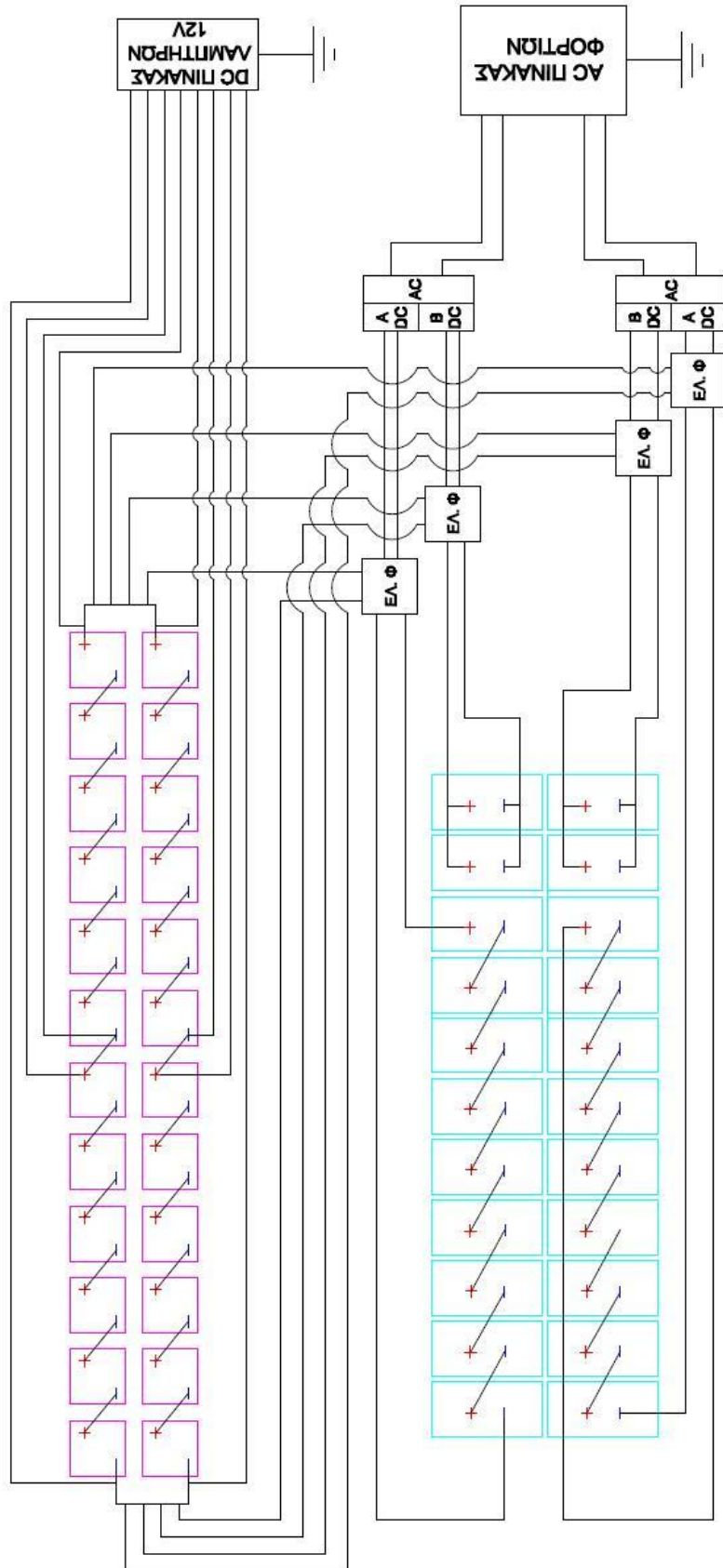
Η αυτονομία είναι λίγο παραπάνω από 3 ημέρες.

Καλώδια συνδέσεων:

- Πάνελ: 4mm² με μόνωση απο PVC για ανώτερο στα 34A για αγωγή 22A με συντελεστή διόρθωσης από πίνακα Π2-Κ3 (ΕΛΟΤ HD 384) για 50°C (καλώδια τοποθετημένα σε έκθεση στην θερμότητα εξωτερικού χώρου).
- Από εκεί και πέρα χρησιμοποιούμε καλώδιο 4mm² με μόνωση από PVC για σύνδεση με ελεγκτή φόρτισης.
- Σύνδεση μπαταριών με ελεγκτή φόρτισης και inverter θα γίνει με 6mm².

-
- Από τον Inverter μέχρι τον πίνακα διανομής AC ρευμάτων χρησιμοποιούμε 10mm² με μόνωση από PVC.
 - Η σύνδεση των φορτίων από τον πίνακα διανομής AC γίνεται με 2,5mm² με μόνωση από PVC.
 - Τέλος η σύνδεση των λαμπτήρων θα γίνει κατευθείαν από τις μπαταρίες μέσω του πίνακα DC φορτίων. Θα χωρίσουμε την κάθε συστοιχία σε 2 κομμάτια για να πετύχουμε 12V που χρειαζόμαστε για τους λαμπτήρες. Στην συνέχεια οι λαμπτήρες θα χωριστούν σε 4 ομάδες. Εκεί θα χρησιμοποιήσουμε καλώδια 2,5mm² με μόνωση PVC.

ΣΧΕΔΙΟ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ



14. Βιβλιογραφία

1. <https://el.wikipedia.org/>
2. <http://solardat.uoregon.edu/SunChartProgram.html>
3. <http://new.abb.com/gr>
4. <http://www.eshops.gr/battery-chargers/mppt-charger.html>
5. <http://alexiadi.gr/>
6. <http://www.iqsolarpower.com>
7. <http://www.iqsolarpower.com/store/epsolar-tracer-mppt-controllers/>
8. <http://www.karaferis.gr/>
9. <https://www.smart-cover.gr/plirofories-gia-mpataries-w-80953.html>
10. <http://www.iqsolarpower.com/batteriespv/>
11. <http://www.iqsolarpower.com/serial-parallel-connections/>
12. <https://www.mp-energy.gr/>
13. <http://www.michanikos.gr/topic/>
14. <http://www.anadrasi.com/fotovoltaika-net-metering.php>
15. https://en.wikipedia.org/wiki/Power_inverter
16. <http://el.wikipedia.org/wiki/%CE%97%CE%BB%CE%B5%CE%BA%CF%84%CF%81%CE%B9%CF%83%CE%BC%CF%8C%CF%82>
17. Isidor Buchmann, Batteries in a Portable World, Cadex Electronics Inc, 2nd edition 2001
18. Antonio Luque, Steven Hegedus, Handbook of Photovoltaic Science and Engineering, John Wiley & Sons Ltd 2003
19. Θωμάς Ζαχαρίας, Ήπιες Μορφές Ενέργειας II, Εκδόσεις Πανεπιστημίου Πατρών 2005
20. Νικόλαος Α. Βοβός, Ανάλυση, Έλεγχος και Ευστάθεια Συστημάτων Ηλεκτρικής Ενέργειας, Εκδόσεις Ζήτη, Θεσσαλονίκη 2004
21. European Photovoltaic Industry Association (EPIA), Solar Photovoltaics Competing in the Energy Sector – On the Road to Competitiveness, EPIA website <http://www.epia.org/publications/epiapublications.html>, 09/2011
22. Κ. Καγκαράκης, Φωτοβολταϊκή Τεχνολογία, Εκδόσεις Συμμετρία, Αθήνα 1992
23. A. Daoud, A. Midoun, Fuzzy Control of a Lead Acid Battery Charger, Journal of Electrical Systems 01/2005
24. David Linden, Thomas Reddy, Handbook of Batteries, Mc Graw – Hill, 3rd edition 2001
25. Tom Markvart, Luis Castaner, Practical Handbook of Photovoltaics: Fundamentals and Applications, Elsevier Ltd 2003
26. Maria Teresa Penella – Lopez, Manuel Gasulla – Forner, Powering Autonomous Sensors: An Integral Approach With Focus On Solar And RF Energy Harvesting, Springer 2011
27. DOE Handbook, Primer on Lead Acid Storage Batteries, Department of Energy, United States of America, 09/1995
28. H.A. Kiehne, Battery Technology Handbook, Marcel Dekker Inc, 2nd edition 2003
29. http://batteryuniversity.com/learn/article/battery_definitions
30. Thomas Crompton, Battery Reference Book, Newnes, 3rd edition 2000
31. Simon Schwunk, Battery Systems for Storing Renewable Energy, Branchen -/ und Expertenforum Erneuerbare Energien, Hannover, 04/2011

-
32. Y. Thiaux, L. Schmerber, J. Seigneurbieux, B. Multon, H. Ben Ahmed, Comparison Between Lead – acid and Lithium – ion Accumulators in Stand Alone Photovoltaic System Using the Gross Energy Requirement Criteria, Published in 24th European Photovoltaic Solar Energy Conference, Hamburg, Germany 2009
 33. James P. Dunlop, Batteries and Charge Control in Stand Alone Photovoltaic Systems: Fundamentals and Application, Prepared for Sandia National Laboratories, Photovoltaic Systems Application Dept., 01/1997
 34. Joseph R. Woodworth, Michael G. Thomas, John W. Stevens, Steven R. Harrington, James P. Dunlop, M. Ramu Swamy, Leighton Demetrius, Evaluation of the Batteries and Charge Controllers in Small Stand Alone Photovoltaic Systems, Presented at the 24th IEEE Photovoltaic Specialists Conference, 1994
 35. James P. Dunlop, Brian N. Farhi, Recommendations for Maximizing Battery Life in Photovoltaic Systems: A Review of Lessons Learned,
 36. Proceeding of Forum 2001 – Solar Energy: The Power to Choose, 04/2001
 37. F. Mattera, D. Benchetrite, D. Desmettre, J.L. Martin, E. Potteau, Irreversible Sulphation in Photovoltaic Batteries, Journal of Power Sources, 2003
 38. P. Baca, P. Krivak, Causes of the Life Shortening of Lead – acid Batteries in Photovoltaic (PV) Applications, 7th Advanced Batteries and Accumulators – ABA 2006
 39. Cesar Ortega – Sanchez, Individual – cell Monitoring System in Energy Backup Banks, 26th IEEE Annual International Telecommunications Energy Conference, Chicago USA, 09/2004
 40. Philip T. Krein, Robert Balog, Life Extension Through Charge Equalization of Lead – acid Batteries, 24th Annual International Telecommunications Energy Conference, INTELEC 2002
 41. Abd El – Shafy A. Nafeh, An Effective and Safe Charging Algorithm for Lead – acid Batteries in PV Systems, World Engineering & Applied Sciences Journal 1, 2010
 42. <http://www.freewebs.com/acselectronics/batterypulser.html>
 43. http://en.wikipedia.org/wiki/Lead-acid_battery#Sulfation_and_desulfation
 44. Y. Shi, C. Ferone, C. Rao, C.D. Rahn, Capacity Recovery of a Sulfated Lead – Acid Battery Using Pressure Feedback Charging Control, to appear in Proceedings of 2012 ASME Dynamic Systems and Control Conference (DSCC), 10/2012
 45. ΑΝΤΙΚΕΡΑΥΝΙΚΟΣ ΚΩΔΙΚΑΣ – ΔΗΜΗΤΡΙΟΥ ΚΟΝΤΟΥ Μ-Η ΜΗΧΑΝΙΚΟΥ ΤΟΜΟΣ 1. Προστασία κτισμάτων και κατασκευών με την αρχή κλωβού Faraday και ακίδα Franklin. ΤΟΜΟΣ 2. Ισοδυναμική Προστασία κα θεμελιακή γείωση.
 46. ΗΛΕΚΤΡΙΚΕΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ ΚΑΤΑΝΑΛΩΤΩΝ ΜΕΣΗΣ ΚΑΙ ΧΑΜΗΛΗΣ ΤΑΣΗΣ - ΠΕΤΡΟΣ ΝΤΟΚΟΠΟΥΛΟΣ
 47. ΑΝΤΙΚΕΡΑΥΝΙΚΗ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΤΕΕ (Πρακτικά ΤΕΕ)
 48. Η προστασία των κατασκευών από τους κεραυνούς – ΠΑΝΤ. ΚΟΥΚΟΥ – ΕΛ. ΠΥΡΓΙΩΤΗ, ΔΙΠΛ. ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
 49. ΑΛΕΞΙΚΕΡΑΥΝΑ – ΓΕΙΩΣΕΙΣ – ΑΛΕΞΙΚΕΡΑΥΝΑ ΥΠΕΡΤΑΣΕΩΝ – ΠΙΤΤΑΣ (ΠΡΟΣΠΕΚΤΟΥΣ)
 50. ΕΛΟΤ HD 384