# ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΜΕΣΟΛΟΓΓΙΟΥ

# ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΩΝ ΓΕΩΠΟΝΩΝ

# ΤΜΗΜΑ:ΓΕΩΡΓΙΚΗΣ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΑΣ & ΥΔΑΤΙΝΩΝ ΠΟΡΩΝ

## 

## ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**ΘΕΜΑ :**

**<<ΜΕΛΕΤΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΑΝΤΛΗΣΗΣ-ΑΡΔΕΥΣΗΣ ΜΕ ΧΡΗΣΗ   
 ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ>>**

**Εισηγητές: Σπουδαστές:**

**ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ** ΠΟΝΗΡΗΣ ΧΑΡΑΛΑΜΠΟΣ

ΒΑΡΕΛΗΣ ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ Α.Μ: 9744

Περιεχόμενα

i [Οι πηγές ενέργειας 3](#_Toc217151199)

[Είδη ήπιων μορφών ενέργειας 4](#_Toc217151200)

ii [Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα των ήπιων μορφών ενέργειας 5](#_Toc217151201)

[ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ 5](#_Toc217151202)

[ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ 5](#_Toc217151203)

iii [Ιστορική Αναδρομή 6](#_Toc217151204)

iv [ΣΚΟΠΟΣ 7](#_Toc217151205)

v [Κεφάλαια που απαρτίζουν την εργασία 10](#_Toc217151206)

1 [ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΑΝΤΛΗΣΗΣ 11](#_Toc217151207)

1.1 [Ύδρευση 12](#_Toc217151208)

1.1.2 [Άρδευση 13](#_Toc217151209)

1.2 [Απώλειες σε αγωγούς μεταφοράς ύδατος - υπολογισμός μανομετρικού ύψους 17](#_Toc217151210)

[Re: αριθμός Reynolds 18](#_Toc217151211)

1.3 [Υπολογισμός ισχύος αντλίας 20](#_Toc217151212)

1.4 [Κατηγόριες αντλιών 21](#_Toc217151213)

1.4.1 [Υποβρύχιες φυγοκεντρικές αντλίες 21](#_Toc217151214)

1.4.2[Υποβρύχιες αντλίες με το κινητήρα τοποθετημένο στην επιφάνεια του εδάφους 25](#_Toc217151215)

1.4.3 [Φυγοκεντρικού τύπου 25](#_Toc217151216)

1.4.4 [Μικτού τύπου (διαγώνιες αντλίες) 26](#_Toc217151217)

1.4.5 [Αντλίες θετικής μετατόπισης 27](#_Toc217151218)

1.4.6 [Αντλίες που επιπλέουν στην επιφάνεια του νερού 27](#_Toc217151219)

1.4.7 [Αντλίες που βρίσκονται στην επιφάνεια του εδάφους 27](#_Toc217151220)

1.5 [Μέσα αποθήκευσης υδάτινων πόρων 30](#_Toc217151221)

2 [ΤΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΕΝΟΣ Φ/Β ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ 32](#_Toc217151222)

2.1 [Η ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΗ ΔΡΑΣΗ 32](#_Toc217151223)

2.2 [Τα ηλεκτρικά χαρακτηρίστηκα του φ/β στοιχείου 33](#_Toc217151224)

2.3 [Κατασκευαστικά στοιχεία φ/β γεννητριών 42](#_Toc217151225)

2.4 [Τρόποι σύνδεσης φ/β γεννητριών 44](#_Toc217151226)

2.5 [Τρόποι στήριξης συλλεκτών 46](#_Toc217151227)

2.5.1 [Σταθερή στήριξη 46](#_Toc217151228)

2.5.2 [Στήριξη με εποχιακή ρύθμιση 47](#_Toc217151229)

2.5.3 [Στήριξη με δυνατότητα στροφής του συλλέκτη γύρω από άξονες 48](#_Toc217151230)

2.6 [Τύποι και χαρακτηριστικά στοιχεία φ/β πλαισίων εμπορίου 50](#_Toc217151231)

2.7 [Τύποι φ/β συστημάτων 51](#_Toc217151232)

3 [ΜΟΝΑΔΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΙΣΧΥΟΣ 53](#_Toc217151233)

3.1 [Γενικα 53](#_Toc217151234)

3.2 [Ρυθμιστής φόρτισης-εκφόρτισης 53](#_Toc217151235)

3.3 [Μετατροπείς DC/DC ΚΑΙ DC/AC. 56](#_Toc217151236)

3.3.1 [Μετατροπέας συνεχούς τάσεως σε συνεχή (DC/DC converter) - ηλεκτρονικό σύστημα παρακολούθησης (Η.Σ.Π.) του σημείου μέγιστης ισχύος (M.P.P.: MAXIMUM POWER POINT) 56](#_Toc217151237)

3.3.2 [Μετατροπέας συνεχούς ρεύματος σε εναλλασσόμενο οποιουδήποτε πλάτους (DC/AC inverter) 60](#_Toc217151238)

4 [ΗΛΕΚΤΡΙΚΟΙ ΣΥΣΣΩΡΕΥΤΕΣ 63](#_Toc217151239)

4.1 [Γενικα 63](#_Toc217151240)

4.2 [Χαρακτηριστικά στοιχεία μιας μπαταρίας 65](#_Toc217151241)

4.2.1 [Χρόνος ζωής μπαταρίας 68](#_Toc217151242)

4.3 [Τύποι μπαταριών 69](#_Toc217151243)

[Μπαταρία μολύβδου-αντιμονίου (Pb-Sb) 69](#_Toc217151244)

[Μπαταρία νικελίου-καδμίου (Nι-Cd) 69](#_Toc217151245)

[Μπαταρία θειικού οξέος–μολύβδου (H2SO4-Pb) 69](#_Toc217151246)

[Χαρακτηριστικές μπαταριών θειικού οξέος- μολύβδου 72](#_Toc217151247)

4.4 [Βαθμός απόδοσης κατά την φόρτιση μιας μπαταρίας 77](#_Toc217151248)

4.5 [Εγκατάσταση – συντήρηση μπαταριών 78](#_Toc217151249)

5 [ΒΑΣΙΚΑ ΣΤΑΔΙΑ ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗΣ ΣΕ ΑΥΤΟΝΟΜΟ Φ/Β ΣΥΣΤΗΜΑ ΠΟΥ ΛΕΙΤΟΥΡΓΕΙ ΓΙΑ ΤΗ ΤΡΟΦΟΔΟΤΗΣΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟΥ ΡΕΥΜΑΤΟΣ ΣΕ ΣΥΣΤΗΜΑ ΑΝΤΛΗΣΗΣ 80](#_Toc217151250)

5.1 Κόστος………………………………………………………………………………………………………………………………………..93

5.2 Συντήρηση φωτοβολταϊκού σταθμού ……………………………………………………………………………………….93

6 [ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ – ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΜΕΛΟΝΤΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ 94](#_Toc217151251)

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

# Οι πηγές ενέργειας

Η ενέργεια είναι μία θεμελιώδης ανάγκη για την ανάπτυξη κάθε κοινωνίας και πολιτισμού. Το ποσό ενέργειας που απαιτείται τόσο για την έναρξη όσο και για την διατήρηση της ανάπτυξης μιας κοινωνίας εξαρτάται από παράγοντες όπως το επίπεδο της ανάπτυξης, τους τοπικούς πόρους της, το οικονομικό αλλά και το κοινωνικό μοντέλο που έχει επιλέξει η κοινωνία.

Το σύνολο των πηγών ενέργειας, που έχει ο άνθρωπος στη διάθεσή του, χωρίζεται σε δύο βασικές κατηγορίες: α) σε αυτή που βασίζεται στα υπάρχοντα αποθέματα καύσιμης ύλης μέσα στο φλοιό της γης και τα οποία έχουν συγκεκριμένη διάρκεια ζωής. Σε αυτή την κατηγορία ανήκουν τα ορυκτά καύσιμα (πετρέλαιο, φυσικό αέριο, κάρβουνο) ή αλλιώς συμβατικά καύσιμα και η καθ’ όλα μη ήπια μορφή ενέργειας, η πυρηνική ενέργεια. β) σε αυτή που πηγάζει από τον ήλιο και που καθημερινά μπορούμε να εκμεταλλευόμαστε χωρίς να υπάρχει ο κίνδυνος εξαντλήσεως της πηγής.

Η ακτινοβολούμενη από τον ήλιο ενέργεια που φτάνει στη γη, εκτός από την γενικότερη συμβολή της στην δημιουργία και διατήρηση της ζωής στον πλανήτη μας, δίνει ακατάπαυστα τεράστια ποσά ενέργειας σε διάφορές μορφές αξιοποίησης. Άμεσα θερμαίνει, εξατμίζει μεγάλες ποσότητες θαλασσινού νερού και συντηρεί τον γνωστό φυσικό κύκλο, δημιουργώντας τις λίμνες και τα ποτάμια, που αποτελούν πρόσθετη πηγή ενέργειας (υδατοπτώσεις). Θέτει σε κίνηση τις αέριες μάζες της ατμόσφαιρας (αιολική ενέργεια), δημιουργεί τα κύματα (ταλαντωτική ενέργεια κυμάτων) και όταν απορροφάται από συγκεκριμένα υλικά παράγει ηλεκτρισμό (φωτοβολταϊκή ενέργεια).

Οι **ήπιες μορφές ενέργειας** ή **΄΄**ανανεώσιμες πηγές ενέργειας ΄΄ είναι μορφές εκμεταλλεύσιμης ενέργειας που προέρχεται από διάφορες φυσικές διαδικασίες, όπως ο άνεμος, η γεωθερμία, η κυκλοφορία του νερού και άλλες. Ο όρος ΄΄ήπιες΄΄ αναφέρεται σε δυο βασικά χαρακτηριστικά τους. Καταρχήν, για την εκμετάλλευση τους δεν απαιτείται κάποια ενεργητική παρέμβαση, όπως εξόρυξη, άντληση, καύση, όπως με τις μέχρι τώρα χρησιμοποιούμενες πηγές ενέργειας, άλλα απλώς η εκμετάλλευση της ήδη υπάρχουσας ροής ενέργεια στη φύση. Δεύτερο, 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.

## Είδη ήπιων μορφών ενέργειας

* **Αιολική ενέργεια**. Γενικά αιολική ενέργεια ονομάζετε η ενέργεια που παράγεται από την εκμετάλλευση του πνέοντος ανέμου.
* **Ηλιακή ενέργεια**. Ηλιακή ενέργεια χαρακτηρίζετε το σύνολο των διάφορων μορφών ενέργειας που προέρχονται από τον ήλιο.
* **Υδατοπτώσεις**. Είναι τα γνωστά υδροηλεκτρικά έργα, που στο πεδίο των ήπιων μορφών ενέργειας εξειδικεύονται περισσότερο στα μικρά υδροηλεκτρικά**.**
* **Βιομάζα**. Με τον όρο βιομάζα ονομάζουμε οποιοδήποτε υλικό παράγεται από ζωντανούς οργανισμούς (όπως είναι το ξύλο και άλλα προϊόντα του δάσους, υπολείμματα καλλιεργειών, κτηνοτροφικά απόβλητα, απόβλητα βιομηχανιών τροφίμων κ.λπ.) και μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως καύσιμο για παραγωγή ενέργειας.
* **Γεωθερμική ενέργεια**. Προέρχεται από τη θερμότητα που παράγεται απ' 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.
* **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.
* **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.

## Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα των ήπιων μορφών ενέργειας

Οι ήπιες μορφές ενέργειας παρουσιάζουν κάποια πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα ως προς τις κλασσικές τα οποία αναφέρονται παρακάτω:

### Πλεονεκτήματα

1. Είναι πολύ φιλικές προς το περιβάλλον, έχοντας ουσιαστικά μηδενικά κατάλοιπα και απόβλητα.
2. Μπορούν να βοηθήσουν την ενεργειακή αυτάρκεια μικρών και αναπτυσσόμενων χωρών, καθώς και να αποτελέσουν την εναλλακτική πρόταση σε σχέση με την οικονομία του πετρελαίου.
3. 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.
4. Ο εξοπλισμός είναι απλός στην κατασκευή και τη συντήρηση και έχει μεγάλο χρόνο ζωής.

### Μειονεκτήματα

1. Έχουν αρκετά μικρό συντελεστή απόδοσης, της τάξης του 30% ή και χαμηλότερο. Συνεπώς απαιτείται αρκετά μεγάλο αρχικό κόστος εφαρμογής σε μεγάλη επιφάνεια γης. Γι αυτό το λόγο μέχρι τώρα χρησιμοποιούνται σαν 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 απ' το νερό κι έτσι συντελούν στο φαινόμενο του θερμοκηπίου.

## Ιστορική Αναδρομή

Από το 1839 που ο Γάλλος φυσικός Edmonde Becquerel απέδειξε ότι ένα βυθισμένο ηλεκτρόδιο μέσα σε αγώγιμο διάλυμα δημιουργεί διαφορά δυναμικού όταν εκτεθεί σε φως, οι επιστήμονες άρχισαν να απασχολούνται με την προοπτική της παραγωγής ενέργειας από τον ήλιο. Μέχρι το 1954, το φαινόμενο που παρατήρησε ο Becquerel ήταν κλεισμένο στα εργαστήρια. Τη χρονιά αυτή όμως δημιουργείται στα εργαστήρια της "Bell Telephone" το πρώτο φωτοβολταϊκό κύτταρο, ένα στοιχείο που είχε τη δυνατότητα να μετατρέπει τη θερμότητα του ήλιου σε ηλεκτρισμό με απόδοση 6%. Τρεις Αμερικανοί ερευνητές οι Chapin, Pearson και Prince είχαν τη λαμπρή ιδέα να εκμεταλλευτούν την ημιαγωγιμότητα ορισμένων υλικών όταν είναι κομμένα σε πολύ μικρές φέτες. Λίγα χρόνια αργότερα κατασκευάζεται στη Γαλλία, από τους Rondeau και Valdmand, το πρώτο φωτοβολταϊκό στοιχείο από κρυσταλλικό πυρίτιο το οποίο είχε τη δυνατότητα να παράγει ένα watt ηλεκτρικής ισχύος αφού λάβει ισχύ δέκα watt από τον ήλιο, δηλαδή η απόδοση φθάνει στο 10%. Το 1973 η πρώτη πετρελαϊκή κρίση επιταχύνει τις έρευνες και οι ημιαγωγοί μπαίνουν στα μικροσκόπια όλων των εργαστηρίων.   
Έτσι τελικά η απόδοση των κρυστάλλων πυριτίου φθάνει στο 14% και η χρήση τους γενικεύεται. Σήμερα η χρήση της ηλιακής ενέργειας, με τη βοήθεια πλέον του άμορφου πυριτίου, γίνεται σε σχετικά μικρή κλίμακα, εκτός από τα διαστημικά προγράμματα (σχ. Α) όπου τα φωτοβολταϊκά κύτταρα είναι οι ουσιαστικές πηγές ενέργειας στις επανδρωμένες ή μη αποστολές.

|  |
| --- |
|  |

**Σχήμα 1:** Η χρήση φ/β συστημάτων αναπτύχτηκε σε μεγάλο βαθμό στα διαστημικά προγράμματα, αφού αποτελούν ουσιαστικά τις πηγές ενέργειας των δορυφόρων.

## Σκοπός της παρούσας εργασίας

Ο πληθυσμός της γης από τον 17ο αιώνα αυξήθηκε από 0,5 δις σε 6 δις ενώ η κατανάλωση ενέργειας αυξήθηκε 140 φορές κατά το ίδιο χρονικό διάστημα και συνεχώς αυξάνεται. Παρόλα αυτά, στην εποχή μας, περίπου το 1/3 του πληθυσμού του πλανήτη ζει χωρίς να έχει πρόσβαση στην ηλεκτρική ενέργεια. Παράλληλα, εάν εξετάσουμε την ενεργειακή κατάσταση στις αναπτυσσόμενες χώρες, καταλήγουμε στη διαπίστωση ότι λιγότερο από το 30% του πληθυσμού έχουν πρόσβαση στο ηλεκτρικό δίκτυο.

Σε αντίθεση με την κατάσταση που επικρατούσε πριν 20 χρόνια σχετικά με την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών μέσω φωτοβολταϊκών γεννητριών, διαπιστώνουμε ότι το 1999 οι πωλήσεις των φ/β γεννητριών παγκοσμίως ξεπέρασαν τα 200 MW , ενώ ενδέχεται να φθάσει τα 550 MW το 2005 και 1800 το 2010 - δεδομένου ότι το κόστος εγκατάστασης για τα εντός δικτύου φωτοβολταϊκά συστήματα αναμένεται να μειωθεί σε λιγότερο από $4 ανά W το 2005 και $3 το 2010. Εφαρμογές των φ/β συστημάτων παρατηρούμε στην παραγωγή, στις μεταφορές, στην αγροτική οικονομία και στον οικιακό τομέα όπως φαίνεται στα σχήματα 1.2 - 1.5.

|  |
| --- |
|  |
| **Σχήμα 2** :φ/β πλαίσια τοποθετημένα σε στέγες σπιτιών, για την κάλυψη των ηλεκτρικών αναγκών αυτών. |

Τα τελευταία χρόνια η αγορά των φ/β γεννητριών αυξάνει παγκοσμίως με ετήσιο ρυθμό άνω του 20%, ενώ προβλέπεται ακόμη ταχύτερη αύξηση των πωλήσεων λόγω της βελτίωσης της φ/β τεχνολογίας, της αύξησης της απόδοσης των φ/β εγκαταστάσεων και της μείωσης του κόστους των φ/β πλαισίων. Οι φ/β γεννήτριες χρησιμοποιούνται ακόμα και για τις ανάγκες συστημάτων επικοινωνίας, συστημάτων μετρήσεων μετεωρολογικών και άλλων φυσικών μεγεθών και φαινομένων, ηλεκτροφωτισμού περιοχής, στάθμευσης- σήμανσης κ.τ.λ.

|  |  |
| --- | --- |
| **Σχήμα 3:**  Προειδοποιητική πινακίδα με εγκατεστημένο φ/β πλαίσιο στην κορυφή της (λεπτομέρεια) που της παρέχει την κατάλληλη ηλεκτρική ενέργεια. | **Σχήμα 4:** Φ/β γεννήτρια εγκατεστημένη σε σύστημα μέτρησης μετεωρολογικών μεγεθών. |

Η αγορά φωτοβολταϊκών στην Ελλάδα είναι σήμερα σε εμβρυακή θα λέγαμε κατάσταση. Κύρια αιτία της σημερινής δυστοκίας αποτελεί αναμφίβολα το υψηλό κόστος αυτών των συστημάτων και η έλλειψη μέχρι πρόσφατα κινήτρων. Η υψηλή αρχική επένδυση είναι που αποθαρρύνει τους καταναλωτές. Αν λοιπόν υπήρχε μια ενίσχυση για την αγορά φωτοβολταϊκών συστημάτων με τη μορφή άμεσης ή έμμεσης επιδότησης τα πράγματα θα άλλαζαν δραστικά. Αυτή είναι άλλωστε η φιλοσοφία των προγραμμάτων που εφαρμόστηκαν σε διάφορες χώρες. Ειδικότερα, θα ασχοληθούμε με την άντληση νερού για ύδρευση ή άρδευση, με την βοήθεια φ/β γεννήτριας η οποία παρέχει την απαραίτητη ενέργεια για την λειτουργία της αντλίας. Η άντληση ύδατος, με χρήση φ/β γεννήτριας, είναι ένας από τους πιο ανταγωνιστικούς χώρους των φ/β εφαρμογών δεδομένου ότι είναι απλή εφαρμογή, αξιόπιστη, και δεν απαιτεί σχεδόν καμία συντήρηση. Οι γεωργικές ανάγκες ποτίσματος είναι συνήθως μέγιστες κατά τη διάρκεια των ηλιόλουστων περιόδων, δηλαδή το άνοιξη και καλοκαίρι, όπου μπορεί περισσότερο νερό να αντληθεί με ένα φ/β σύστημα. Αντίθετα η άρδευση μίας περιοχής δεν διαφοροποιείται πολύ από μήνα σε μήνα. Παρόλα αυτά, είναι σημαντικό να εξασφαλίζουμε μία επαρκή αποθηκευμένη ποσότητα ύδατος σε μία δεξαμενή, τόσο για την ύδρευση όσο και για την άρδευση, για να καλύπτουμε τις περιόδους συννεφιάς όπου μία φ/β γεννήτρια δεν μπορεί να λειτουργήσει αποδοτικά (σχήμα 1.6). Τα φ/β συστήματα είναι άριστα για τις μικρές και μεσαίες ανάγκες άντλησης και σπάνια χρησιμοποιούνται σε εφαρμογές άντλησης που απαιτούν έναν ηλεκτροκινητήρα μεγαλύτερο των 3 hp (σχήμα 1.7). Τα κύρια πλεονεκτήματα των φ/β συστημάτων άντλησης είναι ότι δεν απαιτούν κανένα καύσιμο ενώ χρειάζονται ελάχιστη συντήρηση.

|  |
| --- |
| **Σχήμα 6:** Μια φ/β εγκατάσταση παρέχει την απαραίτητη ηλεκτρική ενέργεια, σε απομακρυσμένες αγροτικές περιοχές, όπου αδύνατη να φτάσει το ηλεκτρικό δίκτυο, για λειτουργιά αντλητικού συγκροτήματος. |

**Σχήμα 5:** Διάταξη φ/β συστήματος

άντλησης για άρδευση.

## Κεφάλαια που απαρτίζουν την εργασία

Στο πρώτο κεφάλαιο γίνεται αναφορά για τα στοιχεία της άντλησης, δηλαδή αναφερόμαστε στα στοιχεία και εξαρτήματα εκείνα που υπάρχουν σε ένα αντλητικό συγκρότημα τα οποία εκμεταλλεύονται από τους υδάτινους πόρους.

Στο δεύτερο κεφάλαιο περιγράφουμε την λειτουργία του φωτοβολταϊκού συστήματος και των υπολογισμό των διαφόρων εξαρτημάτων.

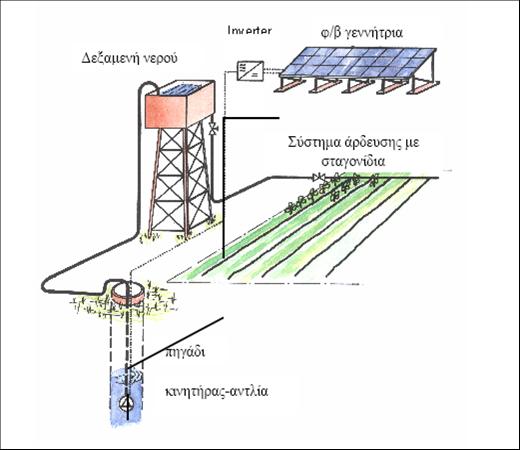
Στο τρίτο και τέταρτο κεφάλαιο γίνεται αναφορά για τη μονάδα ισχύος και τους συσσωρευτές στους οποίους γίνεται αποθήκευση της ενέργειας των φωτοβολταϊκών στοιχείων.

Στο πέμπτο κεφάλαιο παρουσιάζεται διεξοδικά η μελέτη κατασκευή και λειτουργία ενός αντλητικού συστήματος.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

# ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΑΝΤΛΗΣΗΣ

Τα κύρια στοιχεία που απαρτίζουν ένα αντλητικό σύστημα φαίνεται στο παρακάτω σχήμα:



αποτελείται από:

α) τον κινητήρα-αντλία η οποία χρησιμοποιείται για την άντληση του νερού

β) την δεξαμενή νερού η οποία χρησιμοποιείται για την αποθήκευση του νερού

γ) το inverter το οποίο χρησιμεύει στην μετατροπή του ρεύματος και

δ) την φ/β γεννήτρια η οποία συλλέγει την ηλιακή ακτινοβολία και την μετατρέπει σε ηλεκτρικό ρεύμα

# 1.1 Ύδρευση

Η ποσότητα του νερού που θα αντλείται ανά χρονικό διάστημα, από ένα σύστημα υδροληψίας θα προορίζεται για την κάλυψη υδατικών αναγκών μιας   
κοινότητας. Για να υπολογίσουμε την αναγκαία παροχή ύδατος που θα   
τροφοδοτείται η κοινότητα, θα πρέπει να δούμε τις ανάγκες που έχει για νερό   
και να υπολογίσουμε για καθεμία απ’ αυτές την παροχή νερού για κάθε   
ημέρα. Έτσι θα αθροίσουμε τις επιμέρους παροχές και θα βρούμε την   
συνολική παροχή που θα την χρησιμοποιήσουμε αργότερα για τον   
υπολογισμό της ισχύος του κινητήρα του αντλητικού ζεύγους.

Η κατανάλωση ύδατος κατά άτομο παρουσιάζει μεγάλες διακυμάνσεις   
ανάλογα την εποχή και τον τόπο. Έτσι σήμερα (21ος αιώνας) η κατανάλωση   
ύδατος έχει αυξηθεί πάρα πολύ λόγο του τρόπου ζωής του σύγχρονου   
ανθρώπου. Η κατανάλωση για προσωπ. υγιεινή, ντους, φροντίδα σώματος   
ήταν 73 lit./ημέρα /κάτοικο το 1969 και 147 lit./ ημέρα /κάτοικο το 2000. Έχουμε μια αύξηση της τάξής του 50%. Η κατανάλωση ύδατος είναι μεγαλύτερη σε αστικές περιοχές και λιγότερη σε αγροτικές για οικιακή χρήση ανά άτομο. Εκτιμάτε ότι η ημερήσια κατανάλωση ανά άτομο στην Ελλάδα διακυμαίνεται κατά μέσο όρο σε 100 έως 150 lit./ ημέρα٭ . Η κατανάλωση του νερού δεν είναι σταθερή καθ’ όλη τη διάρκεια της ημέρας, της εβδομάδας, του μήνα, του χρόνου. Υπολογίζουμε τη μέση ημερήσια κατανάλωση Qμ.η.κ. με βάση το πληθυσμό **Π** που εξυπηρετούμε και την κατανάλωση κατ’ άτομο ημερησίως **Κ** (m3/h).

 (1.1)

Ο πληθυσμός μιας πόλης αυξάνεται κατά γεωμετρική πρόοδο και δίδεται από τη σχέση: Πν = Π1 (1+α)ν .

Πν: ο πληθυσμός τη χρονική στιγμή ν.

Π1: ο πληθυσμός αυτή τη χρονική στιγμή.

α : το ποσοστό αύξησης του πληθυσμού μετά από ν έτη (σε εκατοστά).

ν : τα έτη μετά, που ζητάμε να βρούμε τον πληθυσμό.

Η μέγιστη ημερήσια κατανάλωση υπολογίζεται από τη σχέση:

Qμέγ. = Σ **.** Qμ.η.κ (1.2)

Σ: συντελεστής αναλογίας όπου,

* Για αγροτικούς οικισμούς ο χρόνος κατανομής της κατανάλωσης είναι Τ=8 h, τότε ο συντελεστής Σ είναι Σ= 3.
* Για ημιαστικές περιοχές Τ=10 h και ο Σ=2,4.
* Για αστικές περιοχές Τ=12 - 14 h και ο Σ=2 έως 1,75.

# 1.1.2 Άρδευση

Η άρδευση χρησιμοποιείται πιο πολύ σε συστήματα άντλησης. Ενδεικτικό είναι το ποσοστό των συνολικών αντλήσεων κατά το έτος 1997 στην Ελλάδα που χρησιμοποιήθηκε για αρδευτικούς σκοπούς, που είναι 87%. Από αυτό, το 58% έγινε άντληση επιφανειακών νερών και το 42% υπόγειων.

Υπάρχουν τρία συστήματα άρδευσης:

Α) Άρδευση με ελεύθερη ροή. Αυτό το σύστημα τείνει να εγκαταλειφθεί λόγω πολλαπλών δυσκολιών που αντιμετωπίζει.

Β) Άρδευση με καταιονισμό(τεχνητή βροχή). Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιείται ευρύτατα σήμερα στην άρδευση διότι:

Εξυπηρετείται η άρδευση σε μη ομαλά εδάφη.

Γίνεται με αυτόματη λειτουργία.

Ρυθμίζεται η ποσότητα αρδεύσιμου νερού ώστε σε εδάφη με μεγάλη απορροφητικότητα

να πέφτει λιγότερη ποσότητα και να γίνεται οικονομία νερού και σε εδάφη με

μικρή απορροφητικότητα να πέφτει σε μικρές δόσεις ώστε το έδαφος να μπορεί να το απορροφήσει.

Εξασφαλίζεται ομοιομορφία άρδευσης.

Έχουμε ολοκληρωτική αξιοποίηση του λιπάσματος

Γ) Άρδευση με σταγονίδια. Η μέθοδος αυτή είναι πιο καλύτερη και από τις δύο προηγούμενες γιατί είναι η πιο οικονομική. Επίσης:

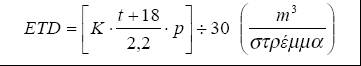
Εξασφαλίζει σταθερή παροχή νερού στην καλλιέργεια χωρίς να επηρεάζεται από τον αέρα, όπως συμβαίνει με τη μέθοδο της τεχνητής βροχής.

Τα μπέκ της άρδευσης είναι μικρά και βγάζουν νερό κοντά στις ρίζες των φυτών με μορφή σταγονιδίων ή με ψεκασμό σε ακτίνα 10-50 cm. Έτσι δεν διατρέχεται ο κίνδυνος αφενός της απομάκρυνσης των φυτοφαρμάκων που έχουν ψεκαστεί στα φυτά για διάφορες ασθένειες και αφετέρου της δυσμενής επίδρασης του νερού με μεγάλη σκληρότητα στο φύλλωμα των δέντρων και των φυτών, τα οποία είναι μειονεκτήματα και αυτά, της τεχνητής βροχής.

Και στην τεχνητή βροχή και στα σταγονίδια διατρέχεται ο κίνδυνος να   
βουλώσουν τα μπέκ από διάφορες φερτές ύλες, έτσι επιβάλλεται η χρήση   
φίλτρου σε αυτά και η κατά διαστήματα παρακολούθηση της ροής, ώστε να   
προλαμβάνονται φαινόμενα μείωσης ή και διακοπής της ροής του νερού.

Ο υπολογισμός της παροχής για άρδευση θα γίνει με βάση τη μέθοδο άρδευσης με σταγονίδια.

Καταρχήν υπολογίζουμε την ημερήσια υδατοκατανάλωση ανάλογα με τη καλλιέργεια, η οποία δίνεται από τη σχέση Blaney - Criddle:

 (1.3)

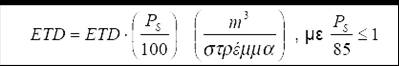
όπου, **Κ:** Εμπειρικός μηνιαίος φυτικός συντελεστής.

**t:** μέση μηνιαία θερμοκρασία (οC). Την παίρνουμε από τον πλησιέστερο μετεωρολογικό σταθμό.

**p:** μηνιαίο ποσοστό διάρκειας ωρών ημέρας σε εκατοστά του συνόλου των ωρών ημέρας του έτους.

Χονδρικά μπορούμε να δεχτούμε την ημερήσια υδατοκατανάλωση των περισσοτέρων καλλιεργειών από 4 - 6 m3/στρέμμα ανάλογα με το είδος της καλλιέργειας.

Έχουμε όμως μείωση των αναγκών λόγω συστήματος, οι οποίες υπολογίζονται από τη σχέση:

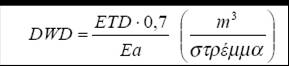
 (1.4)

όπου **PS**: Το ποσοστό % της επιφάνειας του αγρού που καλύπτεται από την καλλιέργεια. (ποσοστό σκιάσεως του εδάφους της μεσημβρινές ώρες).

Συνήθως όμως υπολογίζεται πολλαπλασιάζοντας την υδατοκατανάλωση με ένα συντελεστή 0,6 – 0,8

Ο **βαθμός απόδοσης της άρδευσης** (*Εα*) κυμαίνεται από 0,85 – 0,95.

Το **ημερήσιο υδατικό έλλειμμα** υπολογίζεται από τη σχέση:

 (1.5)

Το καθαρό ύψος νερού ή δόση άρδευσης υπολογίζεται από τη σχέση:

 (1.6)

όπου, **FC:** Η υδατοϊκανότητα (% ξηρού βάρους εδάφους).

**PWP:** Το σημείο μάρανσης των φυτών (% ξηρού βάρους εδάφους).

**ASW:** Φαινόμενο ειδικό βάρος (gr/cm3).

**RD:** Βάθος ριζοστρώματος.

**P:** Ποσοστό ύγρανσης εδάφους (%).

**f:** Συντελεστής εξάντλησης της διαθέσιμης υγρασίας. Οι τιμές κυμαίνονται από 0,3 για ευαίσθητες καλλιέργειες μέχρι 0,6 για μη ευαίσθητες καλλιέργειες.

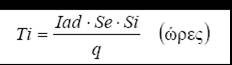
Το **ύψος άρδευσης** ή **δόση εφαρμογής** υπολογίζεται από τη σχέση:

 (1.7)

Η **συχνότητα άρδευσης** υπολογίζεται από τη σχέση:

 (1.8)

Η **διάρκεια άρδευσης** υπολογίζεται από τη σχέση:

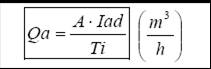
 (1.9)

όπου, **Se:** Η απόσταση των σταλακτήρων πάνω στη γραμμή άρδευσης σε m.

**Si:** Η απόσταση μεταξύ των γραμμών άρδευσης σε m.

**q:** Η παροχή του σταλακτήρα σε l/h.

Οπότε **η απαιτούμενη παροχή άρδευσης** που θα είναι και παροχή της αντλίας υπολογίζεται από την παρακάτω σχέση:

 (1.10)

**όπου,** **Α**: Η έκταση του αγρού σε στρέμματα**.**

# 1.2 Απώλειες σε αγωγούς μεταφοράς ύδατος - υπολογισμός μανομετρικού ύψους

Έστω έχουμε την παρακάτω εγκατάσταση άντλησης ύδατος, μέσω μίας υποβρύχιας αντλίας, από ένα πηγάδι και της μεταφοράς του σε μία δεξαμενή που βρίσκεται ψηλότερα από την επιφάνεια του εδάφους. Για να υπολογίσουμε την ισχύ της αντλίας, αφού προηγουμένως υπολογίσαμε την απαιτούμενη παροχή **Q,** ανάλογα με της ανάγκες, θα πρέπει να υπολογίσουμε και το μανομετρικό ύψος **H**μαν..

|  |
| --- |
|  |
| Σ**χήμα 1.1: Αυτόνομο φ/β σύστημα για την άντληση νερού** |

Το μανομετρικό ύψος του αγωγού Hμαν., που αντιπροσωπεύει το συνολικό ύψος φορτίου είναι το άθροισμα των παρακάτω υψών:

* Του στατικού ύψους HΣΤ, που είναι η υψομετρική διαφορά από τη στάθμη άντλησης του νερού μέχρι τη στάθμη νερού στη δεξαμενή αποθήκευσης.
* Του ύψους των γραμμικών απωλειών φορτίου λόγω τριβών, στον σωλήνα μεταφοράς νερού από την πηγή υδροληψίας στη δεξαμενή αποθήκευσης, hf.
* Του ύψους των τοπικών απωλειών hκ. λόγω ειδικών εξαρτημάτων που παρεμβάλουν στη σωληνογραμμή (βαλβίδες, βάνες, γωνίες, ταυ, κ.λ.π.). Το στατικό ύψος HΣΤ, όπως φαίνεται για παράδειγμα στο παραπάνω σχήμα είναι: HΣΤ = 12+4 = 16 m. Για να υπολογίσουμε το ύψος των γραμμικών απωλειών φορτίου hf., θα πρέπει πρώτα να ελέγξουμε το είδος της ροής στον σωλήνα μεταφοράς νερού. Αυτό γίνεται από την αδιάστατη ποσότητα:

 (1.11)

όπου:

## Re: αριθμός Reynolds

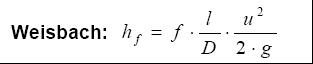
u:μέση ταχύτητα ροής (m/sec.)

D: διάμετρος του αγωγού (m)

ν: συντελεστής κινηματικού ιξώδους (m2/sec)

* για Re < 2000 η ροή θεωρείται στρωτή,
* για 2000 < Re < 3000 η ροή θεωρείται μεταβατική
* και για Re > 3000 η ροή θεωρείται τυρβώδης.

Έτσι υπολογίζουμε τις απώλειες φορτίου, που δίδονται από τον τύπο των Darcy-

 (1.12)

όπου: **l:** το μήκος του σωλήνα

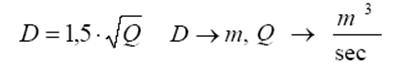
**D**: η διάμετρος του σωλήνα

**f:** συντελεστής τριβής.

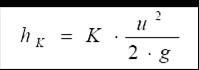
Για τυρβώδης ροή δίνεται από το διάγραμμα Moody (βλέπε παράρτημα).

Για τη στρωτή ροή ο συντελεστής τριβής είναι (1.1.3)

Ο Bresse καθόρισε μια εμπειρική σχέση που συνδέει τη παροχή με την οικονομική διάμετρο του αγωγού, που είναι η εξής:

 (1.14)

Το υλικό κατασκευής των σωλήνων διαμορφώνει σημαντικό ρόλο στις απώλειες φορτίου, γιατί διαφοροποιείται ο συντελεστής τραχύτητας e ανάλογα με το υλικό. Έτσι η χρήση σωλήνων από τσιμεντοαμίαντο ή χυτοσίδηρο αυξάνει της απώλειες σε σχέση με το σίδηρο κατά 60%, ενώ η χρήση πλαστικού σωλήνα τις μειώνει κατά 35%. Με βάση το συντελεστή τραχύτητας του υλικού υπολογίζουμε τη σχετική τραχύτητα e / D. Έχοντας υπολογίσει και τον αριθμό Reynolds, από το διάγραμμα Moody βρίσκουμε το συντελεστή τριβής f. Οι τοπικές απώλειες που οφείλονται στα διάφορα εξαρτήματα που παρεμβάλουν στο δίκτυο σωληνώσεων δίνονται από τη σχέση:

 (1.15)

Ο συντελεστής Κ τοπικών απωλειών, δίνεται από το πίνακα 3 του παραρτήματος, και διαφοροποιείται ανάλογα με τα ειδικά τεμάχια που παρεμβαίνουν στη σωληνογραμμή που προκαλούν τις τοπικές απώλειες. Οι τιμές του Κ είναι προσεγγιστικές και διαφέρουν σημαντικά αν το υγρό ρέει μέσα από περισσότερες συνδέσεις χωρίς τη παρεμβολή ευθύγραμμου σωλήνα. Γενικά μπορούμε να πούμε ότι οι τοπικές απώλειες εκτιμώνται από 5 - 10% των απωλειών φορτίου του δικτύου των σωληνώσεων ανάλογα με τον αριθμό των εξαρτημάτων.

# 1.3 Υπολογισμός ισχύος αντλίας

Η υδραυλική ισχύς εξόδου της αντλίας σε μία πρώτη προσέγγιση δίνεται από τη σχέση:

 (1.16)

Όπου: Q= η παροχή της αντλίας 7m3/sec),

ρ= 1000kg/m3

g= 9,81 m/sec2 και

Hμαν.: το μανομετρικό ύψος σε (m)

PT: είναι ο χρόνος άντλησης σε ώρες (h).

nm-p: είναι η απόδοση του συστήματος κινητήρα - αντλίας.

# 1.4 Κατηγόριες αντλιών

Υπάρχουν πολλών ειδών τύποι αντλιών ανάλογα με τη περίπτωση άντλησης και την εφαρμογή που εξυπηρετεί η ίδια η άντληση. Οι σύγχρονές αντλίες κατατάσσονται σε δύο κύριες κατηγορίες που είναι οι δυναμικές αντλίες και οι αντλίες θετικής μετατοπίσεως. Οι δυναμικές αντλίες χωρίζονται στις φυγοκεντρικές (centrifugal) και στις στροβιλαντλίες (turbine). Οι αντλίες θετικής μετατοπίσεως χωρίζονται σε παλινδρομικές (reciprocating) και σε περιστροφικές (rotary).

Στα φ/βσυστήματα άντλησης μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε ποικίλες διατάξεις συστημάτων κινητήρα - αντλίας. Χρειάζεται προσεκτική επιλογή της διάταξης. Οι παράγοντες που θα πρέπει να λάβουμε υπόψη για την παραπάνω επιλογή είναι: το στατικό ύψος του νερού από τη επιφάνεια του εδάφους (για άντληση π .χ. από πηγάδι, λίμνη, ποτάμι), η απαίτηση σε νερό που έχει η εφαρμογή που χρησιμοποιούμε και η μεταβαλλόμενη ηλιακή ακτινοβολία, η ενέργεια της οποίας εισέρχεται στη φ/βσυστοιχία. Έτσι θα μπορεί να επιτευχθεί μια σωστή διαστασιολόγηση του συστήματος όπως θα δούμε σε επόμενο κεφάλαιο. Μία καλή ταξινόμηση διατάξεων φ/βαντλητικών συστημάτων που χρησιμοποιούνται ευρέως σε ολόκληρο τον κόσμο είναι οι παρακάτω:

## 1.4.1 Υποβρύχιες φυγοκεντρικές αντλίες

Είναι ο πιο κοινός τύπος αντλίας που χρησιμοποιείται σε εφαρμογές υδροδότησης μικρών κοινοτήτων σε απομακρυσμένες περιοχές από τα αστικά κέντρα. Το αντλητικό συγκρότημα κινητήρα-αντλίας βρίσκεται ολόκληρο μέσα στο νερό συνήθως σε κατακόρυφη διάταξη σε σχετικά μικρές διαμέτρους ώστε να μπορούν να αντλήσουν νερό μέσα από γεώτρηση μεγάλου βάθους. (σχήμα 1.9, τύπος α). Υπάρχουν υποβρύχιες αντλίες που έχουν εξωτερική διάμετρο από 90 -180 mm και χρησιμοποιούνται σε γεωτρήσεις διαμέτρων των 4" - 8". Στο σχήμα 1.2 φαίνονται διάφοροι τύποι υποβρύχιων αντλιών.

|  |
| --- |
|  |
| Σχήμα 1.2: Τύποι υποβρύχιων αντλιών. |

|  |  |
| --- | --- |
| **Σχήμα 1.3: Υποβρύχια αντλία με κινητήρα που δε περιβρέχεται.** Κ:κινητήρας, Α:σώμα της αντλίας, Σ:σωλήνας­ αέρος με οπές, Ο, Δ:παροχή αέρος από αεραντλία, Ε:καλώδιο παροχής ρεύματος | Ο κινητήρας είναι άμεσα ζευγαρωμένος με τα πτερύγια της αντλίας. Η αντλία είναι φυγοκεντρικού τύπου. Μπορεί να είναι μονοβάθμια ή πολυβάθμια, ανάλογα με το μανομετρικό ύψος στο οποίο πρόκειται να λειτουργήσει. Ο κινητήρας της αντλίας μπορεί να μην έρχεται σε επαφή με το νερό ή να μην περιβρέχεται από αυτό. Στην πρώτη περίπτωση είναι τοποθετημένος πάνω από το σώμα της αντλίας (σχήμα 1.3). Μεταξύ του σώματος της αντλίας Α και του κινητήρα Κ υπάρχει ένας σωλήνας Σ με οπές Ο στο κάτω μέρος του. Όταν η αντλία βυθίζεται στο νερό, εγκλωβίζεται ο αέρας που υπάρχει στο πάνω μέρος του σωλήνα και μέσα στον κινητήρα. Ο εγκλωβισμένος αέρας συμπιέζεται από τη στήλη του νερού που έχει ύψος h ίσο με τη διαφορά των υψών της στάθμης του νερού του φρέατος και της στάθμης του νερού του κυλίνδρου. Επειδή με τη πάροδο' του χρόνου ο αέρας διαλύεται στο νερό, η στάθμη μέσα στο κύλινδρο ανυψώνεται και όταν το νερό φτάσει στο κινητήρα θα τον καταστρέψει. Για την αποφυγή του κινδύνου αυτού ένα ζεύγος ηλεκτροδίων τοποθετείται σε ορισμένο ύψος μέσα στον κύλινδρο. Όταν το νερό φτάσει στο ζεύγος των ηλεκτροδίων (επιτρεπόμενο ύψος) μπαίνει σε λειτουργία μια αεραντλία που είναι τοποθετημένη στην επιφάνεια του εδάφους και στέλνει αέρα μέσα στο κύλινδρο από το σωλήνα Δ. |

Στη δεύτερη περίπτωση ο κινητήρας είναι τοποθετημένος κάτω από το σώμα της αντλίας (σχήμα 1.4). Τα τυλίγματα Τ του στάτη Σ είναι μονωμένα με υλικό που δεν διαβρώνεται από το νερό. Κατά τη λειτουργία του κινητήρα, το νερό κυκλοφορεί ανάμεσα στα τυλίγματα και τα ψύχει. Η διάρκεια ζωής του κινητήρα εξαρτάται κυρίως από την επιτυχία της μόνωσης. Έχει τη δυνατότητα άντλησης πολύ μικρών παροχών σε πολύ μεγάλα βάθη, γεώτρησης ή ανοιχτού πηγαδιού, πράγμα που δεν επιτυγχάνεται από μία απλή φυγοκεντρική αντλία που βρίσκεται στην επιφάνεια του εδάφους, ή από μια αντλία που επιπλέει στην επιφάνεια του νερού. Η μέγιστη παροχή των υποβρύχιων αντλιών φτάνει τα 1000 m3/h και το βάθος άντλησης μέχρι και 600 m. Η ταχύτητα περιστροφής φθάνει τις 3000 στρ. /λεπτό. Ο βαθμός απόδοσής τους κυμαίνεται από 50-70%. Ο κινητήρας της αντλίας λειτουργεί με εναλλασσόμενο ρεύμα (A.C.). Η παροχή του ρεύματος γίνεται με ανθυγρό καλώδιο. Έχει το πλεονέκτημα της εύκολης εγκατάστασης, και απομακρύνεται οποιοσδήποτε εξωτερικός κίνδυνος αφού η αντλία και ο κινητήρας βρίσκονται μέσα στο νερό. Δεν έχει την ανάγκη τοποθετήσεως ποτηριού (ποδοβαλβίδα) και λειτουργεί χωρίς την επιτήρηση αρμοδίου. Λειτουργεί με τη βοήθεια οργάνων αυτοματισμού. Έχει το μειονέκτημα ότι δεν υπάρχει δυνατότητα άμεσης επέμβασης για συντήρηση επειδή είναι μέσα στο νερό και πολλές φορές σε μεγάλο βάθος. Έτσι η εξαγωγή της από το νερό απαιτεί χρόνο και πρέπει να γίνει με προσοχή ώστε να μη κοπεί ο σωλήνας, από το βάρος του ή από ενδεχόμενη οξείδωση του από το νερό.

|  |
| --- |
|  |
| **Σχήμα 1.4: υποβρύχια αντλία με κινητήρα που περιβρέχεται.** Π: Πτερύγια της πτερωτής. Δ: Πτερύγια διαχύσεως. Σ:Στάτης. Ρ: Δρομέας. Τ: Τα τυλίγματα Β: Τριβέας για πλάγια φορτία. Κ: Κέλυφος του τριβέα. Ε: Καλώδιο παροχής ρεύματος. |

Βέβαια θα πρέπει να γίνει εκ τον προτέρων σωστός υπολογισμός του βάρους του σωλήνα που θα συγκρατεί την αντλία ή ενδεχομένως την συγκράτηση της αντλίας από κατάλληλο συρματόσκοινο. Όπως σε όλες τις αντλίες, έτσι και σε αυτή υπάρχει ο κίνδυνος μεταφοράς διάφορων-στερεών ουσιών (άμμος, χαλίκι) από το νερό στα πτερύγια της αντλίας και να προκαλέσουν φθορά σε αυτά. Άλλος κίνδυνος είναι το ίδιο το αλάτι που μπορεί να υπάρχει στο αντλούμενο νερό το οποίο μπορεί να προκαλέσει διάβρωση στα μεταλλικά μέρη του

## 1.4.2 Υποβρύχιες αντλίες με το κινητήρα τοποθετημένο στην επιφάνεια του εδάφους

|  |  |
| --- | --- |
|  | Σε αυτή τη διάταξη η αντλία βρίσκεται μέσα στο νερό και ο κινητήρας ο οποίος οδηγεί την αντλία είναι εγκατεστημένος στην επιφάνεια του εδάφους (σχήμα 1.9, τύπος β). Η μετάδοση της κίνησης γίνεται μέσο ενός κατακόρυφου άξονα μεγάλου μήκους που αποτελείται από τμήματα μήκους 2-3 μέτρων και ο οποίος περιστρέφεται ομοαξονικά μέσα στο σωλήνα ανυψώσεως του νερού και είναι απόλυτα ευθυγραμμισμένος με τον άξονα του σώματος της αντλίας (σχήμα 1.5).  Η αντλία μπορεί να είναι είτε φυγοκεντρικού τύπου (σχήματα 1.5, 1.7), είτε μικτού τύπου (σχήμα 1.6), είτε θετικής μετατοπίσεως (σχήμα 1.9, τύπος γ). Αν είναι αντλία θετικής μετατοπίσεως μπορεί να είναι παλινδρομικού τύπου διπλής ενέργειας εμβόλου, ή παλινδρομικού τύπου με διάφραγμα. |
| **Σχήμα 1.5: Φυγοκεντρική κατακόρυφη αντλία και Τομή σώματος αντλίας μικτής ροής με κλειστές φτερωτές.** |  |

## 1.4.3 Φυγοκεντρικού τύπου

Για την κατακόρυφη φυγοκεντρική αντλία η παροχή μπορεί να φτάνει τα 1200 m3/h. Το βάθος άντλησης μπορεί να φτάνει τα 170 m. Στις περισσότερες όμως περιπτώσεις δεν ξεπερνά τα 50 m. Η ταχύτητα περιστροφής φτάνει τις 1450 στρ. / λεπτό. Η κατακόρυφος φυγόκεντρος αντλία χρησιμοποιείται για την άντληση νερού από πηγάδια και γεωτρήσεις εσωτερικής διαμέτρου, μεγαλύτερης των 100 mm. Παρουσιάζει σημαντικά υψηλό βαθμό απόδοσης που φθάνει στο 90% και γι αυτό έχει υψηλό κόστος εγκατάστασης σε σχέση με τις άλλες. Έχει το πλεονέκτημα της εύκολης συντήρησης, αφού τα κύρια μέρη τριβής και ο κινητήρας βρίσκονται έξω από το νερό. Με τη κατακόρυφο φυγόκεντρο αντλία μπορούμε να αντλήσουμε θολά νερά με υψηλή περιεκτικότητα σε άμμο και λάσπη. Αυτό μας βοηθάει στο καθαρισμό των νέων γεωτρήσεων αν η παροχή τους ξεπερνάει τα 8 m3/h. Για παροχές μικρότερες από 8 m3/hδεν προσφέρεται ο συγκεκριμένος τύπος αντλίας. Πλεονεκτούν στο ότι μπορούν να λειτουργήσουν και με πετρελαιομηχανή.

|  |
| --- |
|  |
| **Σχήμα 1.7: φυγοκεντρικές και διαγώνιες πολυβάθμιες κατακόρυφές αντλίες** |

## 1.4.4 Μικτού τύπου (διαγώνιες αντλίες)

Οι αντλίες μικτού τύπου και συγκεκριμένα οι διαγώνιες χρησιμοποιούνται για μεγάλες παροχές (από 20 m3/h μέχρι τις μεγαλύτερες παροχές που μπορούν να δώσουν οι φυγοκεντρικές) και για μανομετρικό ύψος 40 m ή και περισσότερο. Στις αντλίες αυτές το νερό εισέρχεται αξονικά στη συνέχεια κινείτε διαγωνίως με τη βοήθεια των πτερυγίων διαχύσεως και εξέρχεται τελικώς αξονικά. Μπορεί να είναι μονοβάθμιες και πολυβάθμιες.

## 1.4.5 Αντλίες θετικής μετατόπισης

Στις αντλίες θετικής μετατόπισης η παροχή του νερού στην έξοδο τους είναι σχεδόν ανεξάρτητη του βάθους άντλησης και ευθέως ανάλογη της ταχύτητας περιστροφής. Συχνά παρουσιάζονται πιο αποτελεσματικές από τις φυγοκεντρικές αντλίες για μεγάλα βάθη άντλησης και για μικρές παροχές, όπου οι δυνάμεις τριβείς είναι αναφορικά μικρότερες από τις υδροστατικές δυνάμεις. Προβλήματα που παρουσιάζουν είναι η δημιουργία κυκλικού φορτίου στο κινητήρα και οι δυνάμεις τριβής, πρακτικά κατά το ξεκίνημα τους. Οι αντλίες θετικού εκτοπίσματος είναι βαριές, στιβαρές και αξιόπιστες.

## 1.4.6 Αντλίες που επιπλέουν στην επιφάνεια του νερού

Σ’ αυτή τη διάταξη η αντλία με το κινητήρα ενώνονται άμεσα όπως στις υποβρύχιες και στις επιφανειακές αντλίες. Μόνο που εδώ το συγκρότημα αντλία-κινητήρας επιπλέει πάνω στην επιφάνεια του νερού (σχήμα 2.9,τύπος δ). Είναι ένα είδους "φλοτεραντλίας". Η αντλία είναι φυγοκεντρικού τύπου και η όλη διάταξη είναι ιδανική κυρίως για άντληση άρδευσης από επιφανειακά ύδατα όπως ανοικτά κανάλια, λίμνες, ποτάμια. Δεν είναι ιδανική για μεγάλα βάθη ,άντλησης όπου εκεί ευδοκιμούν οι υποβρύχιες κυρίως αντλίες. Το συγκρότημα αντλία - κινητήρας έχει το πλεονέκτημα της εύκολης μεταφοράς του, αφού βρίσκεται στην επιφάνεια του νερού και δε στηρίζεται από πουθενά. Επιπλέον έχει αμελητέο το ενδεχόμενο να λειτουργήσει χωρίς νερό αφού βρίσκεται σε συνεχή επαφή με αυτό. Δηλαδή εξαλείφεται ο κίνδυνος στεγνής λειτουργίας.

## 1.4.7 Αντλίες που βρίσκονται στην επιφάνεια του εδάφους

Οι αντλίες αυτές μπορεί να είναι αντλίες φυγοκεντρικές, θετικής μετατόπισης παλινδρομικές και θετικής μετατόπισης περιστροφικές.

* Οι φυγοκεντρικές επιφανειακές αντλίες βρίσκονται στην επιφάνεια του εδάφους και η αντλία και ο κινητήρας (σχήμα 1.9,τύπος ε). Η αντλία μπορεί να είναι μονοβάθμια ή πολυβάθμια ανάλογα με τις απαιτήσεις αύξησης του μανομετρικού ύψους. Έχουν δική τους αρχική δεξαμενή στην πλευρά της αναρρόφησης η οποία αποδεικνύεται περισσότερο αξιόπιστη από την ποδοβαλβίδα. Χρησιμοποιούνται για μεγάλες παροχές και για μικρά ύψη άντλησης σε εφαρμογές κυρίως για άρδευση από ποτάμια. Το βασικό μειονέκτημα τους είναι ότι δεν μπορούν να αναρροφήσουν από ύψη μεγαλύτερα των 7 μέτρων. Έχει εύκολη εγκατάσταση, εύκολη συντήρηση και μεγάλο εύρος δυνατοτήτων. Είναι σχετικά μειωμένης απόδοσης σχετικά με τις αντλίες με εγχυτήρα. Μειώνεται η απόδοση τους όσο αυξάνεται το ύψος αναρρόφησης. Σε συνθήκες τραχύτητας τα πτερύγια φθείρονται με αποτέλεσμα να μειώνουν την απόδοση της αντλίας.
* Οι επιφανειακές θετικής μετατόπισης παλινδρομικές αντλίες χρησιμοποιούνται για μεγάλα ύψη (μέχρι 150 m) και για μικρές παροχές. Είναι αποδοτικές για πολύ μεγάλο εύρος ταχυτήτων περιστροφής του κινητήρα. Έχουν απλό σχεδιασμό και εύκολη επισκευή. Δεν μπορεί να διηθήσει στερεές ουσίες όπως άμμο ή διάφορα ιζήματα που περιέχονται στο νερό. Απαιτούν χρήση μπαταριών στο σύστημα ή συνθήκες ενέργειας τέτοιες, που να παρέχουν υψηλή αρχική ροπή. Είναι πιο ακριβές από φυγοκεντρικές ίδιου μεγέθους αντλίες.

|  |
| --- |
|  |
| **Σχήμα 1.8:** Φυγοκεντρικές πολυβάθμιες επιφανειακές αντλίες |

Οι επιφανειακές θετικής μετατόπισης περιστροφικές αντλίες χρησιμοποιούνται για μεσαία και μεγάλα ύψη και για μεσαίες και μεγάλες παροχές. Λειτουργούν με συνεχές ρεύμα (D.C.). Είναι απλές και πολύ στιβαρές από άποψη κατασκευής. Είναι αποδοτικές για πολύ μεγάλο εύρος υψών εκτός για κάτω από 20m. Έχουν αυτόματο ξεκίνημα. Δεν απαιτούν τη χρήση βαλβίδας αντεπιστροφής. Το πολύ σκληρό νερό ή η περιεκτικότητα του σε άμμο μπορεί να προκαλέσει πρόωρη διάσπαση των ελαστικών μερών του στάτορα του κινητήρα. Απαιτούν γρανάζια για τη μετάδοση της κίνησης. Η εγκατάστασή τους είναι δύσκολη. Απαιτούν χρήση μπαταριών στο σύστημα ή συνθήκες ενέργειας.

|  |
| --- |
|  |
| **Σχήμα 1.9: Διατάξεις διάφορων τύπων φ/β αντλητικών συστημάτων** |

Για την επιλογή του σωστού τύπου αντλίας θα πρέπει να κάνουμε μια προσεκτική μελέτη που θα αφορά τα παρακάτω κύρια σημεία σύμφωνα με τις απαιτήσεις άντλησης για τη συγκεκριμένη εφαρμογή που εξυπηρετεί και ικανοποιώντας αυτές, πάντα με το μικρότερο δυνατό κόστος εγκατάστασης και συντήρησης. Έτσι τα σημαντικότερα κριτήρια που θα πρέπει λάβουμε υπόψη μας είναι τα ακόλουθα:

1) *Το βάθος άντλησης.* Είναι ένα πολύ σημαντικό στοιχείο που θα πρέπει να δούμε. Γνωρίζουμε ότι η επιφανειακή φυγοκεντρική αντλία δεν μπορεί να αναρροφήσει νερό σε υψόμετρο μεγαλύτερο των 7 m. Όσο μικρότερο το ύψος αναρρόφησης τόσο καλύτερη θα είναι η απόδοση της αντλίας. Αν η άντληση γίνεται από πηγάδι ή από γεώτρηση και σε μεγάλο βάθος, τότε επιβάλλεται η χρήση υποβρύχιας αντλίας. Αν οι ανάγκες για παροχή νερού είναι μεγάλες και σε μεγάλο μανομετρικό ύψος, τότε κρίνεται σκόπιμο η επιλογή κατακόρυφης αντλίας.

2) *Το ολικό μανομετρικό ύψος άντλησης*. Σε μεγάλα μανομετρικά ύψη χρησιμοποιούνται πολυβάθμια, υποβρύχια ή κατακόρυφη αντλία. Όχι επιφανειακή φυγοκεντρική αντλία.

3) *Η απαιτούμενη παροχή νερού (m3/h)*.Η επιλογή γίνεται με βάση τεχνοοικονομικούς παράγοντες των αντλιών όπως και για το μανομετρικό ύψος.

4) *Η καθαρότητα του νερού*. Για θολά νερά (με άμμο) χρησιμοποιούμε φυγοκεντρική αντλία με ανοικτή φτερωτή, αν το ύψος είναι μικρό. Αν είναι μεγάλο τότε χρησιμοποιούμε κατακόρυφη φυγοκεντρική αντλία.

5) *Η απαίτηση μας για αυτόματη λειτουργία*. Για αυτόματη λειτουργία της αντλίας χρησιμοποιούμε αντλίες που η λειτουργία τους δεν εξαρτάτε από ποδοβαλβίδα και να μην κινδυνεύει να λειτουργήσει χωρίς να αντλεί νερό (στεγνή λειτουργία). Το αυτόματο ξεκίνημα καθορίζεται π.χ. από φλοτέρ που καθορίζει την στάθμη του νερού στη κύρια δεξαμενή αποθήκευσης. Έτσι όταν η στάθμη του νερού φτάσει στο σημείο υπερχείλισης ή και λίγο πριν, τότε μέσω του φλοτέρ και ενός απλού αυτοματισμού, ξεκινάει η λειτουργία της αντλίας.

## 1.5 Μέσα αποθήκευσης υδάτινων πόρων

Η δεξαμενή αποθήκευσης, του νερού που θα αντλείται από τη πηγή άντλησης, στοχεύει στην εξίσωση της διαφοράς μεταξύ εισροής και κατανάλωσης με βάση τη μέγιστη ημερήσια παροχή. Αυτή η διαφορά μπορεί να οφείλεται σε κάποια βλάβη του δικτύου ύδρευσης με αποτέλεσμα τη διακοπή τροφοδοσίας του δικτύου και επομένως η αντλία να συνεχίζει να αντλεί νερό που θα πρέπει κάπου να αποθηκευτεί. Η πιθανή βλάβη της ίδιας της αντλίας που επιβάλει την ανάγκη διακοπή της λειτουργίας της, για επισκευή της. Μια άλλη αιτία χρησιμοποίησης της δεξαμενής αποθήκευσης σε ένα φ/βσύστημα άντλησης, είναι η ανάγκη αποθήκευσης νερού σε μέρες που υπάρχει συννεφιά καθώς και κατά τη διάρκεια της νύχτας όπου η φ/β γεννήτρια δεν παράγει ρεύμα. Βέβαια το σύστημα μπορεί να διαθέτει συσσωρευτές για την αποθήκευση ηλεκτρικής ενέργειας, όμως η χρήση δεξαμενής παρουσιάζεται πιο οικονομική αλλά και πολλές φορές η χρήση συσσωρευτών δεν είναι εφικτή. Ο όγκος της δεξαμενής αποθήκευσης ύδατος πρέπει να υπολογιστεί έτσι ώστε να μπορεί να ικανοποιήσει τις απαιτήσεις σε ωριαία ποσοστά κατά την ημέρα της μέγιστης κατανάλωσης. Για χρήση του νερού άντλησης σε δίκτυο ύδρευσης ο όγκος της δεξαμενής υπολογίζεται με βάση το διάγραμμα κατανομής της κατανάλωσης καθ' όλη τη διάρκεια του χρόνου άντλησης. Έτσι από το διάγραμμα φέρνουμε ευθεία παράλληλη με τον άξονα του χρόνου σε απόσταση α. Όπου *α* = Q / 24 , με Q: μέση ημερήσια κατανάλωση σε m3/day κατά το μήνα με τη μεγαλύτερη κατανάλωση. Το άθροισμα των εμβαδών των ορθογωνίων πάνω, από την ανωτέρω ευθεία δίδει τον όγκο της δεξαμενής αποθήκευσης ύδατος.

**Για αγροτικούς οικισμούς: V = 2 Χ 2α + 3 Χ 1,2α + 4 Χ 0,65α = 10,2α**

**Για αστικούς οικισμούς: V = 3 Χ 0,5α + 2 Χ 0,75α + 5 Χ 0,4α = 5α**

|  |
| --- |
|  |
| **Σχ. 1.10 Διαγράμματα διακύμανσης της ωριαίας κατανάλωσης** |

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

# ΤΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΕΝΟΣ Φ/Β ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

## 2.1 Η φωτοβολταική δράση

Η φωτοβολταϊκή κυψέλη (φ/β στοιχείο, ηλιακό κύτταρο) είναι η βασική δομική μονάδα εργαστηριακής παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από τον ήλιο. Είναι κατασκευασμένη από ημιαγωγό υλικό, που έχει σαν βασικό στοιχείο συνήθως το πυρίτιο **Si** (κρυσταλλικό, πολυκρυσταλλικό ή άμορφο), που είναι ευρέως διαδεδομένο στη φύση με τη μορφή διάφορων ενώσεων όπως το οξείδιο του πυριτίου (αποτελεί κύριο συστατικό της άμμου)**.** Από το τελευταίο παίρνουμε καθαρό πυρίτιο μετά από μια σειρά εργασιών. Για να κατασκευάσουμε ημιαγωγό υλικό προσθέτουμε προσμίξεις σε καθαρό πυρίτιο. Έτσι για παράδειγμα η προσθήκη μικρής ποσότητας βορίου **Β** μας δίνει ημιαγωγό υλικό πυριτίου **τύπου-p**, με περίσσεια θετικών φορέων (οπών). Ενώ η προσθήκη φωσφόρου **P** δίνει πυρίτιο **τύπου-n**, με περίσσεια αρνητικών φορέων (ελεύθερα ηλεκτρόνια). Η παραπάνω διαδικασία ονομάζεται ντοπάρισμα (doping). Το υλικό και στις δύο περιπτώσεις είναι ηλεκτρικά ουδέτερο.



Σχήμα 2.1: **Ένδειξη συσσώρευσης φορτίου**

Αν ενώσουμε δυο ημιαγωγούς πυριτίου τύπου –p και τύπου –n με μια διαδικασία σύντηξης σε υψηλή θερμοκρασία, τότε θα δημιουργηθεί ηλεκτρικό πεδίο στην ένωση λόγω της διάχυσης των ηλεκτρικών φορέων από το ένα σώμα στο άλλο. Όταν ένα φωτόνιο\* επαρκούς ενέργειας εισέλθει στο φ/β στοιχείο, αλληλεπιδρά με τα άτομα του, φτιάχνοντας ζεύγη ηλεκτρονίων- οπών, τα οποία με τη βοήθεια του ηλεκτρικού πεδίου διαχωρίζονται τα μεν ηλεκτρόνια στο υλικό τύπου-n και οι μεν οπές στο υλικό τύπου-p, εμποδίζοντας έτσι την επανασύνδεσή τους. Κατά συνέπεια έχουμε συσσώρευση φορτίου που οδηγεί στη δημιουργία ηλεκτρικού δυναμικού στα άκρα του φ/β στοιχείου (σχήμα 2.1). Έτσι αν συνδέσουμε στα άκρα του, φορτίο θα περάσει ρεύμα μέσα από αυτό.

## 2.2 Τα ηλεκτρικά χαρακτηρίστηκα του φ/β στοιχείου

Ένα σημαντικό μέγεθος που χαρακτηρίζει το φ/β στοιχείο, το φ/β πλαίσιο **(module)** και καθ’ επέκταση τη φ/β γεννήτρια, είναι η **ισχύ αιχμής**, η οποία ορίζεται ως εξής:

Ένα φ/β στοιχείο χαρακτηρίζεται από ισχύ αιχμής 1 Wp, όταν παράγεται από αυτό ηλεκτρική ισχύς 1 W κάτω από τις παρακάτω συνθήκες λειτουργίας φ/β πλαισίων (**S.O.C. Standard Operating Conditions)**:

* Ένταση ηλιακής ακτινοβολίας
* Φασματική καταγραφή ΑΜ 1,5
* Θερμοκρασία αέρα (περιβάλλοντος): Τα = 20 οC
* Ταχύτητα ανέμου
* Προσανατολισμός προς Νότο και μετρήσεις κατά το ηλιακό μεσημέρι
* Προσανατολισμός προς Νότο και μετρήσεις κατά το ηλιακό μεσημέρι
* Μετρήσεις υπό συνθήκες ανοικτού κυκλώματος

Οι παραπάνω συνθήκες είναι τέτοιες που να προσεγγίζουν περισσότερο μια πραγματική κατάσταση λειτουργίας. Για να μπορέσουμε να καταλάβουμε καλύτερα την τεχνολογία των φωτοβολταϊκών, θα πρέπει πρώτα να κατανοήσουμε τη χαρακτηριστική του ρεύματος **( I )** με τη τάση **( V )** ενός απλού φ/β στοιχείου στο οποίο έχει συνδεθεί φορτίο το οποίο μεταβάλλεται. Στο συγκεκριμένο κύκλωμα αρχικά μελετάμε τη μεταβολή **I~V**, θεωρώντας σταθερή τη πυκνότητα ισχύος της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας του ήλιου και ίση με Ε = *1KW / m2*

Το φωτόνιο, έννοια που εισήχθη από τον Einstein, είναι το ελάχιστο ποσό ενέργειας ηλεκτρομαγνητικού κύματος συχνότητας ν. Η ενέργεια του είναι ίση με Ε=h·ν ,όπου h η σταθερά του Planck. Το φως συνίσταται από κύματα διαφόρων συχνοτήτων, καθ’ ένα από τα οποία αποτελείται από μεγάλο πλήθος φωτονίων αντίστοιχης συχνότητας, π.χ. ηλιακό φως. Η συχνότητα του ηλεκτρομαγνητικού κύματος συνδέεται με το μήκος κύματος από τη σχέση υ=λ·ν , όπου υ η ταχύτητα του που είναι σταθερή.

|  |
| --- |
|  |
| Σχήμα 2.2: Κύκλωμα μέτρησης των ηλεκτρικών χαρακτηριστικών της φ/β κυψέλης |

Η χαρακτηριστική λαμβάνεται καθώς η αντίσταση του φορτίο μεταβάλλεται από μηδέν (βραχυκύκλωμα) σε πολύ μεγάλη-άπειρη (ανοικτό κύκλωμα). Στο σημείο που η χαρακτηριστική τέμνει τον άξονα του ρεύματος I, το φορτίο έχει πάρα πολύ μικρή αντίσταση (πρακτικά μηδέν), έχουμε τάση μηδέν και ρεύμα ISC(sort-circuit current) που ορίζεται ως ρεύμα βραχυκυκλώσεως. Ενώ στο σημείο που τέμνει τον άξονα της τάσης **V**, το φορτίο έχει πάρα πολύ μεγάλη αντίσταση(άπειρη), έχουμε ρεύμα μηδέν και τάση **VOC** (open-circuit voltage) που ορίζεται ως τάση ανοιχτού κυκλώματος. Παρατηρώντας τη χαρακτηριστική, μπορούμε να πούμε ότι στο μεγαλύτερο τμήμα της συμπεριφέρεται σαν πηγή ρεύματος . Παρέχει δηλαδή ένα σταθερό ρεύμα και μεταβάλλει τη τάση τόσο όσο χρειάζεται για να διατηρήσει αυτό το ρεύμα παρά τις αλλαγές του φορτίου. Όμως καθώς η αντίσταση του φορτίου συνεχίζει να αυξάνει, φτάνουμε σ’ ένα σημείο “κατάρρευσης”, όπου το φ/β στοιχείο αδυνατεί πλέων να διατηρήσει αυτό το ρεύμα και η καμπύλη αρχίζει να πέφτει προς το μηδέν.

|  |
| --- |
|  |
|  |

Το ερώτημα που κυρίως μας ενδιαφέρει να απαντήσουμε είναι: Σε ποίο σημείο της καμπύλης πρέπει να λειτουργήσει το φ/β στοιχείο, ώστε να έχουμε την μέγιστη παροχή ισχύος στο φορτίο;

Σχεδιάζουμε τη χαρακτηριστική της ισχύος **Ρ** σε συνάρτηση με την τάση **V**, πάνω στο ίδιο διάγραμμα της **I ~ V** (σχήμα 2.4)**.** Στο σημείο μέγιστης ισχύος αντιστοιχεί μια τιμή της τάσης **Vm.** Από το διάγραμμα **I ~ V** για την τιμή της τάσης **Vm** παίρνουμε και μια αντίστοιχη τιμή ρεύματος **Im**. Το ζευγάρι τιμών αυτό, αντιστοιχεί σε ένα σημείο πάνω στη καμπύλη **I ~ V** το οποίο ονομάζεται σημείο μέγιστης ισχύος (Σ.Μ.Ι.)-**MPP (Maximum Power Point)**, το οποίο ονομάζεται και γόνατο της καμπύλης. Αν διαιρέσουμε την τάση **Vm** με την ένταση Imπαίρνουμε την τιμή της αντίστασης του φορτίου για την οποία θα έχουμε τη βέλτιστη απόδοση για το φ/β στοιχείο μας.

Τώρα θα μελετήσουμε την συμπεριφορά του φ/β στοιχείου κάτω από μεταβαλλόμενες συνθήκες ηλιακού φωτός. Στο παρακάτω σχήμα φαίνονται οι χαρακτηριστικές **I ~V** με μεταβαλλόμενη την ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας για καθεμία από αυτές

|  |
| --- |
|  |
| **2.4** Xαρακτηριστική καμπύλη P- V |

Το σχήμα της **I ~V** παραμένει το ίδιο. Από αυτές προκύπτει το συμπέρασμα ότι το ρεύμα επηρεάζεται αισθητά, συγκεκριμένα μειώνεται, ενώ η τάση ελάχιστα διαφοροποιείται, από την μεταβολή της έντασης **Ε** της ηλιακής ακτινοβολίας. Το εμβαδόν του χωρίου μεταξύ καμπύλης και αξόνων ελαττώνεται. Επίσης παρατηρούμε ότι όταν ελαττώνεται η **Ε,** τότε το **MPP** κινείται ελαφρώς προς τα αριστερά και το εμβαδόν κάτω από τη χαρακτηριστική **I ~V** ελαττώνεται με αποτέλεσμα να μειώνεται η αποδιδόμενη ισχύ αιχμής (σχήμα 2.5).

|  |
| --- |
|  |
| **Σχήμα 2.5:** Η μετατόπιση των σημείων λειτουργίας (ΣΛ) ενός φ/β στοιχείου πυριτίου και η απομάκρυνση του από τα αντίστοιχα σημεία της μέγιστης ισχύος (ΜΡ) της καμπύλης έντασης (Ι) – τάσης (V), για διαφορετικές συνθήκες ακτινοβολίας αλλά για σταθερή τιμή της αντίστασης του κυκλώματος. |

Η επίδραση της ακτινοβολίας στα ISCκαι VOC φαίνεται στο παρακάτω διπλό διάγραμμα των **ISC**, **VOC** συναρτήσει της έντασης της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας **Ε** (σχήμα 2.6). Παρατηρώντας τις δύο καμπύλες βλέπουμε ότι το **ISC** είναι ευθέως ανάλογο του **Ε,** ενώ η **VOC** αυξάνει εκθετικά για μικρές τιμές του **Ε** φτάνοντας μια τιμή κορεσμού απ’ όπου μετά παραμένει αμετάβλητη. Δηλαδή με το πρώτο φως της ημέρας η τάση ανοικτού κυκλώματος παίρνει την οριακή της τιμή.

|  |
| --- |
|  |
| **Σχήμα 2.6** Η επίδραση της ακτινοβολίας στα ISCκαι VOC συναρτήσει της έντασης της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας **Ε** |

Ας δούμε τώρα την εξάρτηση της απόδοσης και της μέγιστης ισχύος **Ρm** του φ/β στοιχείου, σε συνθήκες υπαίθρου, ως συνάρτηση της πυκνότητας ισχύος της προσπίπτουσας σε αυτό ηλιακής ακτινοβολίας (σχήμα 2.7).

|  |
| --- |
|  |
| **Σχήμα 2.7** Η εξάρτηση της απόδοσης και της μέγιστης ισχύος **Ρm** του φ/β στοιχείου, σε συνθήκες υπαίθρου, ως συνάρτηση της πυκνότητας ισχύος της προσπίπτουσας σε αυτό ηλιακής ακτινοβολίας. |

##### Από το παραπάνω διάγραμμα παρατηρούμε από τη μία, ότι η μέγιστη ισχύς που αποδίδει το φ/β στοιχείο αυξάνει γραμμικά σε συνάρτηση της πυκνότητας ισχύος της ακτινοβολίας μέχρι τις υψηλές πυκνότητες ισχύος (800 W/m2 και πάνω). Από την άλλη η απόδοση του παίρνει γρήγορα την μέγιστη τιμή της (γύρο στα 200 W/m2). Και στις δύο περιπτώσεις έχουμε πτώση των τιμών της μέγιστης ισχύς και της απόδοσης για μεγάλες τιμές της πυκνότητας ισχύος. Η επίδραση της θερμοκρασίας στη **I~V** χαρακτηριστική φαίνεται στα παρακάτω διαγράμματα των **I~V** για διαφορετική σε κάθε περίπτωση θερμοκρασία (σχήμα 2.8). Εδώ παρατηρούμε ότι το ρεύμα βραχυκυκλώσεως **ISC** δεν επηρεάζεται ουσιαστικά από τη θερμοκρασία (αυξάνει λιγότερο από 0,1% ανά oC). Η τάση ανοικτού κυκλώματος **VOC** όμως μειώνεται κατά 0,3% ανά oC(μεγαλύτερη επίδραση). Συμπεραίνουμε λοιπόν ότι με αύξηση της θερμοκρασίας μειώνεται η μέγιστη ισχύς του στοιχείου και επομένως η απόδοσή του.

|  |
| --- |
|  |
| **Σχήμα 2.8** . Η επίδραση της θερμοκρασίας στη **I~V** χαρακτηριστική φαίνεται στα παρακάτω διαγράμματα των **I~V** για διαφορετική σε κάθε περίπτωση θερμοκρασία |

**Ονομαστική τιμή θερμοκρασίας λειτουργίας** ενός φ/β πλαισίου **(N.O.C.T. Nominal Operation Cell Temperature)**, ονομάζεται η θερμοκρασία που αποκτά ένα φ/β πλαίσιο όταν λειτουργεί υπό συνθήκες **Standard Operating Conditions (S.O.C.)**. Η τιμή που παίρνει η **N.O.C.T.** είναι κατά 20 – 40 οC πάνω από τη θερμοκρασία περιβάλλοντος και χρησιμοποιείται για να προσδιορίσει την θερμοκρασία **ΤC** του φ/β πλαισίου υπό συνθήκες διαφορετικές των **S.O.C.** Έτσι η θερμοκρασία λειτουργίας των φ/β πλαισίων **ΤC** προσδιορίζεται από τη παρακάτω σχέση:

 (2.1)

όπου Τα η μέση ημερήσια μηνιαία θερμοκρασία περιβάλλοντος.

Αν η φ/β γεννήτρια βρίσκεται σε περιοχή με αυξημένη ρύπανση τότε σκόπιμο θα ήταν να προβλέπεται στους υπολογισμούς ένας αδιάστατος **συντελεστής ρύπανσης (σρ)** που ορίζεται ως ο λόγος της ηλεκτρικής ισχύος που παράγει το ρυπασμένο φ/β πλαίσιο προς την ισχύ που παράγει όταν η επιφάνεια είναι εντελώς καθαρή. Οι τιμές που παίρνει είναι μεταξύ 0 – 1. Πλησιάζει τη μονάδα όσο καθαρότερη είναι η επιφάνεια του φ/β πλαισίου. Ένας άλλος αδιάστατος συντελεστής είναι ο **συντελεστής κάλυψης** (**σρ)** του πλαισίου, που ορίζεται ως ο λόγος της συνολικής ενεργού επιφάνειας των ηλιακών στοιχείων προς τη συνολική επιφάνεια του φ/β πλαισίου. Εξαρτάται από το σχήμα και τη πυκνότητα τοποθέτησης των ηλιακών στοιχείων πάνω στο φ/β πλαίσιο. Οι τιμές που παίρνει κυμαίνονται μεταξύ 0,78 – 0,98 (σχήμα 2.9).

|  |
| --- |
|  |
| **Σχήμα 2.9:** Τρεις συνηθισμένοι τρόποι παράθεσης των ηλιακών στοιχείων στα φ/β πλαίσια. Οι αντίστοιχοι συντελεστές κάλυψης είναι περίπου 0,78 για την (α) περίπτωση, 0,88 για την (β) περίπτωση και 0,98 για τα εξαγωνικά στοιχεία της (γ) περίπτωσης |

Το παραλληλόγραμμο με πλευρές **Im, Vm** του σχήματος 2.3, έχει εμβαδόν ίσο με την μέγιστη αποδιδόμενη ισχύ του φ/β στοιχείου. Ενώ το εμβαδόν του παραλληλογράμμου με πλευρές **ISC, VOC,** αποδίδει τη μέγιστη ισχύ του στοιχείου στην ιδανική συμπεριφορά αυτού. Το πηλίκο του πρώτου εμβαδού προς το δεύτερο δίδει το μέτρο ιδανικότητας λειτουργίας της επαφής, ως φ/β στοιχείο.

 (2.2)

Το πηλίκο αυτό λέγεται **παράγοντας πλήρωσης, FF (Fill Factor)** ,και οι τιμές που παίρνει είναι μεταξύ 0 και 1. Οι συνήθεις τιμές του κυμαίνονται από 0,5 – 0,8. Όσο πιο κοντά στη μονάδα είναι οι τιμές του **FF**, τόσο περισσότερο πλησιάζει η διάταξη την ιδανική συμπεριφορά. Η **απόδοση (n)** του φ/β στοιχείου ορίζεται ως, το πηλίκο της ηλεκτρικής ισχύς **Pm**, που αποδίδεται από το φ/β στοιχείο προς τη προσπίπτουσα συνολική ισχύ της Η/Μ ακτινοβολίας, **Pin**(inside), που προσπίπτει κάθετα πάνω στην ενεργή επιφάνεια **AC** του φ/β στοιχείου.

 (2.3)

όπου Ε: η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας 1000 W/m2.

Η απόδοση ενός φ/β πλαισίου εξαρτάται από πολλούς παράγοντες μεταξύ των οποίων είναι το υλικό κατασκευής των φ/β στοιχείων, ο αριθμός και η διάταξη των φ/β στοιχείων στο φ/β πλαίσιο, η κλήση των πλαισίων, τα οποία αναφέρονται εκτενέστερα σε επόμενα κεφάλαια, επίσης η θερμοκρασία του πλαισίου, η καθαρότητα της επιφάνειας του που αναφέρθηκαν προηγουμένως.

Ένας άλλος συντελεστής ο οποίος ορίζεται ως ισοδύναμος αριθμός ωρών ηλιοφάνειας είναι ο **PSH.** Ο συντελεστής αυτός είναι ένας αριθμός που εκφράζεται σε ώρες (h) και αντιστοιχεί σε χρονική διάρκεια πρόσπτωσης ηλιακής ακτινοβολίας στο φ/β πλαίσιο όταν η ένταση της **IT** είναι 1000 W/m2.

Το **PSH** είναι αριθμητικά ίσο με τη τιμή της ενέργειας της ηλιακής ακτινοβολίας που προσπίπτει σ’ ένα φ/β πλαίσιο κατά τη διάρκεια μιας μέρας, όταν η ενέργεια αυτή εκφράζεται σε KWh/m2 (σχήμα 2.10). Ο μαθηματικός ορισμός του PSH είναι:

|  |
| --- |
|  |
| **Σχήμα 2.10:** Μεταβολή της ηλιακής ακτινοβολίας κατά τη διάρκεια της ημέρας. Μέτρηση του εργαστηρίου Η.Μ.Ε. του Τ.Ε.Ι. Πάτρας στις 15.7. Το σκιασμένο ορθογώνιο έχει εμβαδόν ίσο με αυτό κάτω από τη καμπύλη της έντασης Ι κατά την ημέρα της 15.7. Το PSH μετριέται από της 10:00 μέχρι της 16:00. Δηλαδή PSH = 6, για τη συγκεκριμένη ημέρα**.** |

## 2.3 Κατασκευαστικά στοιχεία φ/β γεννητριών

Ο βαθμός απόδοσης που ορίσαμε προηγουμένως, εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την διαδικασία κατασκευής του φ/β στοιχείου και από τα χρησιμοποιούμενα σ’ αυτή υλικά. Όπως έχουμε προαναφέρει το υλικό από το οποίο είναι κατασκευασμένο το φ/β στοιχείο είναι συνήθως το πυρίτιο **Si**. Οι διαφορετικοί τύποι παρασκευής φ/β στοιχείων (σχήμα 2.11), ανάλογα με τη δομή του βασικού υλικού είναι οι εξής

|  |
| --- |
|  |
| **Σχήμα 2.11** Οι διαφορετικοί τύποι παρασκευής φ/β στοιχείων ανάλογα με τη δομή του βασικού υλικού |

1. **Φ/Β στοιχεία κρυσταλλικού πυριτίου***.* Το βασικό υλικό είναι μόνο- κρυσταλλικό. Το πάχος του υλικού είναι σχετικά μεγάλο (300 μm). Η απόδοσή τους κυμαίνεται μεταξύ 13 έως 15%. Χαρακτηρίζονται από υψηλό κόστος κατασκευής. Έχουν χρώμα μπλε σκούρο.

2. **Φ/Β στοιχεία πολύ-κρυσταλλικού πυριτίου**. Το βασικό υλικό είναι πολύ-κρυσταλλικό. Είναι σε τετραγωνικής μορφής στοιχεία. Το πάχος του υλικού είναι λεπτό (10 έως 50 μm). Η απόδοσή τους κυμαίνεται μεταξύ 10 έως 14%. Το κόστος παρασκευής τους είναι χαμηλότερο σε σχέση με το αντίστοιχο του μόνο-κρυσταλλικού πυριτίου. Έχουν χρώμα γαλάζιο.

3. **Φ/Β στοιχεία ταινίας**. Έχουν απόδοση γύρο στο 13%.

4. **Φ/Β στοιχεία άμορφου πυριτίου**. Το υλικό κατασκευής (άμορφο πυρίτιο) που έχουν τη μορφή λεπτών υμένων (films). Η απόδοσή τους κυμαίνεται στο 10%. Θεωρητικά έχουν πολύ χαμηλό κόστος παρασκευής.

Εξωτερικά το φ/β στοιχείο καλύπτεται από μία αντανακλαστική επίστρωση που είναι μια διαφανής ουσία (π.χ.SiO2, Al2O3, TiO2), η οποία χαρακτηρίζεται από δείκτη διάθλασης τέτοιο ώστε, για μια ευρεία περιοχή μήκων κύματος να ελαχιστοποιείται η ανακλώμενη συνιστώσα του φωτός.

|  |
| --- |
|  |
| **Σχήμα 2.12 :** Σχηματική απεικόνιση της τομής ενός συσκευασμένου ηλιακού φ/β στοιχείου. |

Το πάχος του φ/β στοιχείου, περιορίζεται στην ενεργή περιοχή του, στην οποία δηλαδή η απορροφούμενη Η/Μ ακτινοβολία δίδει τι Φ/Β φαινόμενο. Τα μεταλλικά ηλεκτρόδια συλλογής των φορέων πρέπει να βρίσκονται κοντά στην ενεργή περιοχή. Το πίσω ηλεκτρόδιο καλύπτει όλη την έκταση του φ/β και αποτελείται από σχετικά πυκνό λεπτό δικτυωτό μεταλλικό πλέγμα. Το πλέγμα, που τοποθετείται στην όψη πρόσπτωσης του φωτός, πρέπει να έχει το σχήμα αραιής μεταλλικής σχάρας, με μορφή χτενιού ή σκελετού ψαριού, έτσι ώστε οι ελεύθεροι ηλεκτρικοί φορείς να συλλέγονται απ’ όλη την έκταση της επιφάνειας όψεως του φ/β στοιχείου, προκαλώντας, ταυτόχρονα, την ελάχιστη δυνατή μείωση στη διέλευση του φωτός. Η διατομή των τελικών μεταλλικών απολήξεων αυξάνει προς την κατεύθυνση του κεντρικού ηλεκτροδίου, επειδή προς αυτή την κατεύθυνση αυξάνει το συλλεγόμενο ηλεκτρικό ρεύμα. Τα φ/β στοιχεία διατίθενται σε ποικιλία μεγεθών και σχημάτων. Οι πιο διαδεδομένες είναι οι ορθογώνιες, οι κυκλικές και αυτές που αποτελούν μέρη κύκλου. Όπως γνωρίζουμε η ηλεκτρική γεννήτρια παράγει ηλεκτρική ενέργεια παίρνοντας περιστροφική κίνηση από κινητήριες μηχανές. Έτσι υπάρχει και η φ/β γεννήτρια, η οποία παράγει ηλεκτρική ενέργεια, βασιζόμενη στο φ/β φαινόμενο. Ανάλογα με τις απαιτήσεις ενέργειας, διαμορφώνουμε και τη διάταξη της φ/β γεννήτριας, η οποία μπορεί να αποτελείται από μία κυψέλη μέχρι μια συστοιχία (array) από πολλά φ/β πλαίσια (modules) τα οποία μπορεί να είναι συνδεδεμένα σε σειρά ή/ και παράλληλα ώστε να επιτυγχάνονται οι επιθυμητές, σε κάθε εφαρμογή τιμές της τάσεως και της ισχύος. Τα φ/β πλαίσια διατίθενται στο εμπόριο τυποποιημένα, με ευρεία κλίμακα σε τάση και ένταση για να καλύπτουν όλες τις απαιτήσεις ενέργειας. Το κάθε φ/β πλαίσιο αποτελείται από έναν αριθμό φ/β στοιχείων (συνήθως 33 ή 36) συνδεδεμένα σε σειρά.

## 2.4 Τρόποι σύνδεσης φ/β γεννητριών

Οι φωτοβολταϊκές γεννήτριες μπορούν να συνδεθούν σε σειρά ή παράλληλα, ανάλογα με τον στόχο που θέλουμε να επιτύχουμε. Παρακάτω στο σχήμα 2.13 φαίνεται η σταδιακή μετάβαση από το φ/β στοιχείο στο φ/β συγκρότημα.

|  |
| --- |
|  |
| **Σχήμα 2.13**: Από το φ/β στοιχείο στο φ/β συγκρότημα. |

Με τον συνδυασμό πολλών **φ/β στοιχείων** (PV cell) δημιουργείται η **φ/β γεννήτρια** (PV module), που αποτελεί την βασική βιομηχανική μονάδα. Ο συνδυασμός πολλών Φ/Β γεννητριών, συνδεδεμένων μεταξύ τους σε σειρά ή παράλληλα, σε μία επίπεδη συνήθως επιφάνεια, σταθερή ή περιστρεφόμενη, αποτελεί την **φ/β συστοιχία** (PV array). Κάθε κλάδος αποτελείται από σειρά συνδεδεμένες φ/β γεννήτριες. Οι ισοδύναμοι κλάδοι συνδέονται παράλληλα μεταξύ τους. Η σύνδεση σε σειρά αυξάνει την ολική τάση ενώ η παράλληλη σύνδεση αυξάνει το ολικό ρεύμα. Συνήθως, οι φ/β γεννήτριες στη συστοιχία συνδυάζονται έτσι ώστε η μεταφορά της ηλεκτρικής ενέργειας να γίνεται με τις μικρότερες απώλειες στη γραμμή μεταφοράς, δηλαδή, με χαμηλό ρεύμα και αντίστοιχα υψηλή ηλεκτρική τάση. Ενδεικτική τιμή μίας συστοιχίας είναι από 200 W – 1000W. Η σύνδεση σε σειρά Ν όμοιων φ/β στοιχείων οδηγεί σε σύστημα με ανάλογη πολλαπλάσια τάση ανοικτού κυκλώματος ( Vtoc=NVoc). Το ρεύμα βραχυκύκλωσης ισούται με το αντίστοιχο του ενός (Ιtsc=Isc). Ενώ η παράλληλη σύνδεση Ν όμοιων φ/β στοιχείων οδηγεί σε σύστημα στη ίδια τάση ανοικτού κυκλώματος (Vtoc=Voc), ενώ το ρεύμα βραχυκύκλωσης είναι πολλαπλάσιο του ρεύματος βραχυκύκλωσης εκάστου στοιχείου. Αν τα συνδεόμενα φ/β στοιχεία έχουν διαφορετικά χαρακτηριστικά, τότε η συνολική διάταξη των Ν στοιχείων παρουσιάζει σημαντική απόκλιση από την εικόνα που είδαμε προηγουμένως. Στη περίπτωση αυτή το στοιχείο με το μικρότερο ρεύμα βραχυκύκλωσης επιβάλλεται. Ένα συνεργαζόμενο σύνολο φ/β συστοιχιών, με όλες εκείνες τις διατάξεις που απαιτούνται για την παραγωγή ηλεκτρικής ισχύος επαρκούς για την τροφοδοσία οικισμών, χωριών κ.λπ., αποτελούν ένα **φ/β συγκρότημα** ή **φ/β σταθμό** (PV Factor).

## 2.5 Τρόποι στήριξης συλλεκτών

Υπάρχουν τρεις διαφορετικοί τρόποι στήριξης των φ/β συλλεκτών, οι οποίοι είναι: α) σταθερής στήριξης, β) εποχιακά ρυθμιζόμενης στήριξης και γ) συνεχούς παρακολούθησης της θέσης του ήλιου, με διάταξη που ονομάζεται tracker. Τα σχήματα παρακάτω δείχνουν τους τρόπους στήριξης των φ/β γεννητριών.

### 2.5.1 Σταθερή στήριξη

Είναι το πιο απλό είδος στήριξης ηλιακού συλλέκτη. Η απουσία κινητών μερών προσδίδει στη διάταξη περισσότερη μηχανική αντοχή, χαρακτηριστικό που συμβάλλει στην αξιόπιστη συμπεριφορά της, ιδιαίτερα αν πρόκειται να χρησιμοποιηθεί σε απομακρυσμένη περιοχή. Στατικές συλλεκτικές επιφάνειες χρησιμοποιούνται επίσης ενσωματωμένες σε κτίρια (σχήμα 2.14).

|  |  |
| --- | --- |
|  | **Σχήμα 2.14**: Ενσωματωμένοι φ/β συλλέκτες και ηλιακοί συλλέκτες στην οροφή του κτιρίου*.* |

Στην περίπτωση που υπάρχει δυνατότητα αρχικού προσανατολισμού, πριν την σταθεροποίηση της διάταξης, προσανατολίζουμε τον συλλέκτη προς το νότο και του δίνουμε κλίση ίση με το γεωγραφικό πλάτος του τόπου τοποθέτησης του συλλέκτη (σχήμα 2.15). Η μέση τιμή της ενεργειακής απολαβής ετησίως, στον σταθερό συλλέκτη, με κλίση ίση με το γεωγραφικό πλάτος, ισούται με την ενέργεια που θα συνέλεγε, αν φωτιζόταν συνεχώς με ένταση αντίστοιχη της εαρινής ή της φθινοπωρινής ισημερίας. Για κλίση μεγαλύτερη ή μικρότερη του γεωγραφικού πλάτους η ετήσια απολαβή είναι μικρότερη. Στην πράξη τοποθετούμε τους φ/β συλλέκτες υπό κλίση ίση με το γεωγραφικό πλάτος συν 10ο~15ο. Αυτό γίνεται για να ενισχύσουμε την απολαβή κατά το διάστημα του χειμώνα

|  |
| --- |
|  |
| **Σχήμα 2.15:** Σταθερή τοποθέτηση φ/β συστοιχίας στο έδαφος |

### 2.5.2 Στήριξη με εποχιακή ρύθμιση

Στο παρακάτω σχήμα 2.16 δείχνει μία διάταξη φ/β συλλεκτών, με αζιμουθιακό προσανατολισμό προς το νότο, η οποία εκ κατασκευής έχει τη δυνατότητα εποχιακής ρύθμισης της κλίσης της. Προσδιορίζονται οι κατάλληλες κλίσεις και ο χρόνος των αλλαγών. Οι θέσεις του συλλέκτη είναι δύο: μία για το θερινό εξάμηνο (21/3 – 21/9) με κλίση ίση με αε = {υπ.- (10ο~15ο)} και μία για το χειμερινό (21/9–21/3) με κλίση ίση με αμ= {υπ. + (10ο~15ο)}.

|  |
| --- |
|  |
| **Σχήμα 2.16:** Εποχιακή ρύθμιση της κλίσης του φ/β συλλέκτη δύο φορές μέσα στο έτος. |

### 2.5.3 Στήριξη με δυνατότητα στροφής του συλλέκτη γύρω από άξονες

**Στροφή γύρω από ένα άξονα** Η διάταξη περιστρέφεται με κατάλληλο μηχανισμό, γύρω από ένα άξονα. Το πρωί με την ανατολή του ηλίου, στρέφεται έτσι ώστε ο ήλιος να αποδίδει το μέγιστο της διαθέσιμης ενέργειας. Στο τέλος δε της ημέρας, η διάταξη επιστρέφει σε θέση αναμονής, συνήθως στο νοτιά. Υπάρχουν δύο περιπτώσεις: α) η περιστροφή γίνεται έτσι ώστε ο ήλιος να παραμένει στο κατακόρυφο επίπεδο που περιέχει την κάθετη στο συλλέκτη και β) η διάταξη μπορεί να στρέφεται γύρω από άξονα xx΄, με κλίση ίση με το γεωγραφικό πλάτος του τόπου.

**Στροφή γύρω από δύο άξονες** Η παρακολούθηση του ήλιου με περιστροφή δύο αξόνων γίνεται μέσω δύο, συνήθως, διαδοχικών κινήσεων του συλλέκτη, με ηλεκτρικούς κινητήρες (είτε βηματικούς, είτε κινητήρες συνεχούς περιστροφής). Ο συλλέκτης στρέφεται έτσι ώστε οι ακτίνες του ήλιου να προσπίπτουν πάντα κάθετα στην επιφάνειά του (σχήμα 2.17). Μειονέκτημα μίας τέτοιας διάταξης είναι η οικονομική επιβάρυνση για την κατασκευή μηχανολογικών και ηλεκτρολογικών τμημάτων της καθώς και η έκθεση της συστοιχίας στον κίνδυνο καταστροφής υψηλού κόστους επένδυσης, εξ αιτίας ισχυρών ανέμων, κατά την διάρκεια των οποίων προσανατολίζεται οριζοντίως.

|  |
| --- |
|  |
| **Σχήμα 2.18:** δύο άλλοι τρόποι κίνησης φ/β συστοιχίας. 1. περιστροφή ως προς κατακόρυφο άξονα και 2. περιστροφή ως προς ένα άξονα χχ’, ο οποίος συνήθως κεκλιμένος υπό γωνία ίση με το γεωγραφικό πλάτος του τόπου και τότε ονομάζεται πολικός άξονας. |

Το σκιασμένο φ/β στοιχείο, όταν το κύκλωμα είναι κλειστό δέχεται μια ισχυρή ανάστροφη τάση από τα άλλα φ/β στοιχεία (τα μη σκιασμένα), η οποία σ συνδυασμό και με την τάση των συσσωρευτών που πιθανόν συνδέεται η φ/β γεννήτρια, ενισχύεται ακόμα περισσότερο. Έτσι το σκιασμένο φ/β στοιχείο λειτουργεί ως μια μεγάλη αντίσταση στο οποίο αποδίδεται η ενέργεια που προσφέρουν τα υπόλοιπα φ/β στοιχεία. Έτσι η φ/β γεννήτρια παύει να λειτουργεί. Ο παρατεταμένος σκιασμός του φ/β στοιχείου σε συνδυασμό με τον έντονο φωτισμό των υπόλοιπων μπορεί να οδηγήσει στην καταστροφή του στοιχείου και κατά συνέπεια όλης της διάταξης επειδή δεν υπάρχει δυνατότητα αντικατάστασης του στοιχείου αυτού. Για να προλάβουμε μια τέτοια εξέλιξη, που οδηγεί σε καταστροφή της φ/β γεννήτριας, τοποθετούμε σε αυτή **διόδους παράκαμψης**, μέσω των οποίων, περνά το φωτόρευμα, παρακάμπτοντας το σκιασμένο στοιχείο (σχήμα 2.18). Εκτός από τις διόδους παράκαμψης τοποθετούνται και **δίοδοι απομόνωσης** οι οποίες εμποδίζουν αφενός την εκφόρτιση των συσσωρευτών μέσω της φ/β γεννήτριας κατά τη διάρκεια μη λειτουργίας αυτής (νύχτα) και αφετέρου τη κυκλοφορία ρευμάτων μέσα από κλάδους φ/β γεννητριών, συνδεδεμένων παράλληλα. Οι δίοδοι παράκαμψης και απομόνωσης χρησιμοποιούνται τόσο στα φ/β στοιχεία όσο και στα φ/β πλαίσια οι οποίες τελικώς συνθέτουν τη δομή της φ/β γεννήτριας.

## 2.6 Τύποι και χαρακτηριστικά στοιχεία φ/β πλαισίων εμπορίου

Τα μεγέθη με τα ηλεκτρικά και φυσικά χαρακτηριστικά των φ/β πλαισίων παρουσιάζονται στους παρακάτω πίνακες, που παρέχονται από τους κατασκευαστές των πλαισίων. Οι παρακάτω μετρήσεις των μεγεθών έγιναν κάτω από κανονικές συνθήκες (**S.T.C. Standard Test Conditions),** για να μπορεί να γίνει σύγκριση της απόδοσης και της ισχύος αιχμής των φ/β πλαισίων. Οι συνθήκες αυτές είναι οι ακόλουθες:

Ένταση ηλιακής ακτινοβολίας

Φασματική καταγραφή Α.Μ. 1,5

Θερμοκρασία του φ/β στοιχείου 25 οC

Παρακάτω παρατίθενται πίνακες με ηλεκτρικά και φυσικά χαρακτηριστικά φ/β πλαισίων διαφόρων εταιριών, από τους οποίους γίνεται η επιλογή των πλαισίων. Η ισχύ αιχμής που αναγράφεται στους πίνακες είναι η **ονομαστική ισχύ αιχμής Pm** υπό συνθήκες S.T.C. και όχι η πραγματική που ορίσαμε σε προηγούμενο εδάφιο. Ομοίως και η **ονομαστική απόδοση** του φ/β στοιχείου θα ορίζεται διαφορετικά από τη πραγματική που ορίσαμε προηγούμενα. Έτσι η ονομαστική απόδοση θα ισούται:

 (2.4)

όπου: Pm = ονομαστική ισχύ αιχμής

ΑP = εμβαδόν επιφάνειας πλαισίου

Ε = ένταση ηλιακής ακτινοβολίας

|  |
| --- |
|  |

## 2.7 Τύποι φ/β συστημάτων

Γενικά τα φ/β συστήματα μπορούν να ταξινομηθούν σε τρεις κατηγορίες.

* Η πρώτη κατηγορία είναι το αυτόνομο φ.β σύστημα το οποίο περιλαμβάνει τη φ/β γεννήτρια συνδεδεμένη με ηλεκτρονικό σύστημα παρακολούθησης (M.P.P.T.), μετατροπέα DC/AC, συγκρότημα κινητήρα-αντλίας που μπορεί να λειτουργεί με AC τάση ή με DC. Το αυτόνομο φ.β σύστημα λειτουργεί χωρίς μπαταρία. Η μπαταρία είναι ένα είδους ενίσχυσης του συστήματος για να τα καταστήσει πιο αυτοδύναμο για ημέρες μειωμένης ή και καθόλου ηλιοφάνειας. Επίσης μειώνουν το αρχικό κόστος αφού χρησιμοποιούμε λιγότερα φ/β πλαίσια.
* Η δεύτερη κατηγορία είναι αυτή που έχουμε ένα φ/β σύστημα όμοιο με το προηγούμενο το οποίο είναι συνδεδεμένο με δίκτυο διανομής ηλεκτρικής ενέργειας. Το οποίο μπορεί να λειτουργεί είτε το ίδιο το σύστημα ως τροφοδότης συμπληρωματικής ηλεκτρικής ενέργειας στο δίκτυο, είτε το δίκτυο μπορεί να συμπληρώνει τις ηλεκτρικές ανάγκες του συστήματος όταν δεν επαρκεί η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια από τη φ/β γεννήτρια.
* Και η τρίτη κατηγορία περιλαμβάνει ένα αυτόνομο φ/β σύστημα του οποίου η φ/β γεννήτρια μπορεί να είναι συνδεδεμένη με άλλες πηγές ενέργειας όπως ηλεκτροπαραγωγά ζεύγη (Η/Ζ) diesel, υδροηλεκτρικές μηχανές (υδροστρόβιλοι), ανεμογεννήτριες. Το σύστημα τότε ονομάζεται υβριδικό. Ένα τέτοιο σύστημα όπως και το προηγούμενο που είναι συνδεδεμένο με το δίκτυο έχουν σαν απώτερο σκοπό την μείωση της εγκατάστασης και λειτουργίας ενός αυτόνομου φ/β συστήματος. Έτσι παρουσιάζεται πιο οικονομικό από το αυτόνομο φ/β σύστημα.

Μπορούμε να μειώσουμε κατά πολύ το αρχικό κόστος ενός αυτόνομου φ/β συστήματος συνδέοντας το με μια άλλη πηγή ενέργειας όπως ένα Η/Ζ, χρησιμοποιώντας αυτή τη πηγή ενέργειας όχι μόνο επικουρικά αλλά συστηματικά μαζί με τη φ/β γεννήτρια. Γενικά τα υβριδικά συστήματα είναι η πιο συμφέρουσα λύση και για τα αυτόνομα φ/β συστήματα αλλά και για τα Η/Ζ μίας και το κόστος του καυσίμου μειώνεται σημαντικά σε σχέση με αυτό που θα ήταν αν λειτουργούσε το Η/Ζ χωρίς τη φ/β γεννήτρια.

|  |
| --- |
|  |
| **Σχήμα 2.2:** Block διάγραμμα αυτόνομου φ/β συστήματος |

|  |
| --- |
|  |
| **Σχήμα 2.3:** Βlock διάγραμμα φ/β συστήματος συνδεδεμένο με το δίκτυο |

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

# ΜΟΝΑΔΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΙΣΧΥΟΣ

# 3.1 Γενικά

Για να μπορέσουν να λειτουργήσουν μία φ/β συστοιχία και μία μπαταρία σε ένα ικανοποιητικό βαθμό και να τροφοδοτήσουν σωστά κάποιο φορτίο, χρειάζεται να συνδεθούν με έναν εξοπλισμό "διαχείρισης" τη ισχύος (power conditioning unit). Τα προβλήματα που λύνει αυτός ο εξοπλισμός είναι: (α) το γεγονός ότι η φ/β συστοιχία δεν λειτουργεί όλες τις ώρες στο σημείο μέγιστης ισχύος, (β) ότι η χωρητικότητα της μπαταρίας συχνά απαιτείται να είναι μεγαλύτερη σχετικά με την μέγιστη ηλεκτρική ενέργεια που προσφέρει η φ/β συστοιχία (γεγονός που απαιτεί μεγαλύτερη μπαταρία, άρα μεγαλύτερο κόστος) και (γ) ότι πρέπει να υπάρχουν κάποια όρια τόσο στην τάση φόρτισης όσο και στην τάση εκφόρτισης της μπαταρίας, ώστε να προστατευτεί και η μπαταρία και το φορτίο. Από λειτουργικής πλευράς, δύο είναι οι βασικές ηλεκτρονικές διατάξεις: ο ρυθμιστής φόρτισης-εκφόρτισης (charge-discharge regulator) και οι μετατροπείς τάσεως (converters). Ο ρυθμιστής φόρτισης μπορεί να είναι τοποθετημένος σε ξεχωριστή μονάδα σε σχέση με τις υπόλοιπες διατάξεις, μπορεί όμως να είναι και ενσωματωμένος με τον μετατροπέα τάσεως, σε μία ολοκληρωμένη μονάδα.

# 3.2 Ρυθμιστής φόρτισης-εκφόρτισης

Εξαιτίας της σπουδαιότητας των μπαταριών σε ένα αυτόνομο φ/β σύστημα, καθώς η ζωή τους εξαρτάται από ένα πλήθος παραγόντων όπως η ταχύτητα φόρτισης και εκφόρτισης, το βάθος της κ.α., για να τις προστατεύσουμε από υπερφόρτιση ή βαθιά εκφόρτιση χρησιμοποιούμε ένα ηλεκτρονικό σύστημα παρακολούθησης την τιμή του S.O.C. Βέβαια η τιμή του S.O.C. μπορεί να υπολογιστεί κατά προσέγγιση από την μέτρηση της τάσεως Vb στα άκρα των μπαταριών. Δεν είναι όμως ικανοποιητική μέτρηση καθώς το S.O.C. εξαρτάται από το ρεύμα (επανα)φόρτισης, το ρεύμα εκφόρτισης, την θερμοκρασία κ.α. Ο μετρητής του S.O.C. βασίζεται σε έναν μικροεπεξεργαστή και ανάλογα με τις τιμές του S.O.C. παράγει ζεύγη σημάτων για να θέσει σε κατάσταση ΟΝ/ΟFF τις συνδέσεις:

α) φ/β συστοιχίας / μπαταρίας

β) μπαταρίας / φορτίου

Ο **ρυθμιστής φόρτισης** συνδέεται μεταξύ της φ/β συστοιχίας και της μπαταρίας και ο σκοπός του είναι να προστατεύει την μπαταρία από υπερφόρτιση και τα φ/β πλαίσια από ρεύμα αντίθετης φοράς στην περίπτωση που τα φ/β πλαίσια δεν παρέχουν ισχύ (επιτυγχάνεται με μία δίοδος αντεπιστροφής). Όταν η τάση της μπαταρίας υπερβεί τη μέγιστη επιτρεπόμενη τιμή, ο ρυθμιστής τάσης επεμβαίνει και αποσυνδέει την φ/β συστοιχία ή τμήματα αυτής, με αποτέλεσμα να έχουμε μηδενισμό ή μείωση αντίστοιχα του ρεύματος φόρτισης της μπαταρίας. Όταν η μπαταρία δεν είναι φορτισμένη τελείως ή αρχίζει να εκφορτίζεται ο ρυθμιστής φόρτισης επανασυνδέει σταδιακά την φ/β συστοιχία

Ο **ρυθμιστής εκφόρτισης** συνδέεται μεταξύ της μπαταρίας και του φορτίου και ο σκοπός του να αποσυνδέει το φορτίο από το σύστημα, όταν η τάση της μπαταρίας μειωθεί κάτω από την τάση αποκοπής (cutoff voltage). Έτσι προστατεύεται η μπαταρία από τις βλαβερές συνέπειες μίας υπερβολικής εκφόρτισης. Όταν η μπαταρία φτάσει στα επιτρεπτά όρια της, ο ρυθμιστής εκφόρτισης επανασυνδέει το φορτίο.

|  |
| --- |
|  |
| **Σχήμα 3.2:** Τυπική συνδεσμολογία ρυθμιστή φόρτισης χωρίς δίοδο αντεπιστροφής. |

|  |
| --- |
|  |
| **Σχήμα 3.3 :** Τυπική συνδεσμολογία ρυθμιστή φόρτισης με δίοδο αντεπιστροφής. |

Σήμερα έχουν αναπτυχθεί διάφοροι τύποι ρυθμιστών φόρτισης που προσφέρουν και άλλες λειτουργίες ελέγχου σε ολόκληρο το φ/β σύστημα. Ανάλογα με τον τρόπου με τον οποίο οι ρυθμιστές φόρτισης ρυθμίζουν το ρεύμα προς της μπαταρίες, διακρίνονται σε διάφορες κατηγορίες:

1. Ρ.Φ. εν σειρά

2. Ρ.Φ. εν παραλλήλω

3. Ρ.Φ. διαδοχικών συνδέσεων

4. Ρ.Φ. με προσδιορισμό και των Ah

* Οι παράγοντες που λαμβάνονται υπόψη για την επιλογή του ρυθμιστή φόρτισης-εκφόρτισης που θα χρησιμοποιηθεί σε ένα φ/β σύστημα είναι:
* Η απώλεια ισχύος. Όλα τα στοιχεία που χρησιμοποιούνται στους ρυθμιστές έχουν μία εσωτερική πτώση τάσης, που σημαίνει απώλεια ισχύος όταν το στοιχείο διαρρέετε από ρεύμα.
* Η χαμηλή και υψηλή τάση αποκοπής. Για μια μπαταρία π.χ. των 12V η χαμηλή τάση αποκοπής του ρυθμιστή που θα συνδεθεί είναι 11V-12V και υψηλή τάση αποκοπής είναι14,5V- 15V.
* Η αντοχή σε άσχημες περιβαλλοντικές συνθήκες. Η υψηλή θερμοκρασία, η σκόνη και η ομίχλη επιδρούν στην σωστή λειτουργία του ρυθμιστή και μπορεί ακόμα να τον θέσουν εκτός λειτουργίας.
* Η αξιοπιστία. Ένα αρκετά αξιόπιστο σύστημα, εγγυάται εν μέρει και την ασφάλεια του φ/β συστήματος.
* Το κόστος. Το κόστος του ρυθμιστή είναι πολύ μικρό μπροστά στο συνολικό κόστος ενός αυτόνομου φ/β συστήματος. Έχοντας υπόψη μάλιστα ότι παράλληλα προστατεύει και την μπαταρία, προτείνεται να μην γίνει οικονομία στην αγορά του ρυθμιστή, ώστε να μην έχουμε κακή απόδοση ή βλάβη της μπαταρίας.

# 3.3 Μετατροπείς DC/DC ΚΑΙ DC/AC.

Οι μετατροπείς τάσης διακρίνονται σε δυο κατηγορίες: τους μετατροπείς από συνεχή σε συνεχή τάση μεγαλύτερης ή μικρότερης τιμής και στους μετατροπείς από συνεχήσε εναλλασόμενη. Παρακάτω παρουσιάζονται αναλυτικά οι 2 τ[ύποι.

## 3.3.1 Μετατροπέας συνεχούς τάσεως σε συνεχή (DC/DC converter) - ηλεκτρονικό σύστημα παρακολούθησης (Η.Σ.Π.) του σημείου μέγιστης ισχύος (M.P.P.: MAXIMUM POWER POINT)

Η μονάδα αυτή μετατρέπει συνεχή τάση, V1, σε συνεχή,V0, μεγαλύτερης ή μικρότερης τιμής, ανάλογα με τις απαιτήσεις, συμβάλλοντας στη μείωση των καταναλώσεων σε γραμμή μεταφοράς από τον χώρο παραγωγής στο χώρο αποθήκευσης. Στο χώρο του φ/β πεδίου, οι φ/β συστοιχίες συνδέονται σε σειρά και παράλληλα, έτσι ώστε η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια να μεταφέρεται, με όσο επιτρέπεται, υψηλή τάση, ώστε το ρεύμα (DC) στη γραμμή μεταφοράς να είναι χαμηλό και αντίστοιχα χαμηλές οι απώλειες μεταφοράς ενέργειας. Στον χώρο των μπαταριών, ο μετατροπέας DC-DC, προσαρμόζει την τάση της φ/β συστοιχίας στη τάση της μπαταρίας, ώστε να υπάρχει πλήρης εκμετάλλευση της ενέργειας και επιπλέον να μην δημιουργούνται συνθήκες υπερφόρτισης της μπαταρίας. Πολλές φορές όμως σε ένα φ/β σύστημα υπάρχει ένα ηλεκτρονικό σύστημα παρακολούθησης μεταξύ φ/β συστοιχίας και φορτίου. Η ανάγκη τοποθέτησης αυτής της διάταξής οφείλεται στην μεταβολή της έντασης της ηλιακής ακτινοβολίας και στη μεταβολή της θερμοκρασίας του φ/β πλαισίου. Έτσι όταν μεταβάλλεται η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας που προσπίπτει πάνω στο φ/β πλαίσιο, μεταβάλλονται η τάση και το ρεύμα εξόδου (δηλαδή η ισχύς) από τη φ/β γεννήτρια. Το αποτέλεσμα σε κάθε διαφοροποίηση της έντασης της ηλιακής ακτινοβολίας (Ε) ή της θερμοκρασίας του πλαισίου είναι να έχουμε και διαφορετική χαρακτηριστική για τη φ/β γεννήτρια και διαφορετικό σημείο μέγιστης ισχύος (σχήματα 2.5 και 2.8 αντίστοιχα). Όμως το φορτίο μας έχει μια συγκεκριμένη χαρακτηριστική i~v, που δεν διαφοροποιείται με μεταβολή της έντασης (Ε) ή της θερμοκρασίας (θ). Η τομή της χαρακτηριστικής του φορτίου με την εκάστοτε κάθε φορά χαρακτηριστική του φ/β πλαισίου, μας δίνει το σημείο λειτουργίας του συστήματος. Το σημείο όμως αυτό, δεν συμπίπτει με το σημείο μέγιστης ισχύος (**M.P.P.**) του φ/β πλαισίου, παρά μόνο για μια χαρακτηριστική (1) του φ/β στοιχείου (σχήμα 3.4). Έτσι δε μεταφέρεται η μέγιστη δυνατή ισχύς από το φ/β στοιχείο στο φορτίο. Αν το φορτίο είναι μια αντλία νερού δεν θα μεταφέρεται η κατάλληλη ηλεκτρική ενέργεια για να λειτουργήσει ο κινητήρας της αντλίας αλλά η ενέργεια θα μεταφέρεται από το φ/β πλαίσιο υπό μορφή θερμότητας (αντί για ηλεκτρική). Έτσι σκοπός αυτής της διάταξης είναι η καλύτερη δυνατή ηλεκτρική προσαρμογή μεταξύ φ/β γεννήτριας και φορτίου, ώστε το σύστημά μας να λειτουργεί με τη μέγιστη μεταφορά ισχύος από τη φ/β γεννήτρια προς το φορτίο για τις οποιεσδήποτε τιμές της έντασης Ε της ηλιακής ακτινοβολίας.

Στην περίπτωσή μας το φ/β σύστημα έχει σαν φορτίο την αντλία νερού. Χαράσσουμε τη χαρακτηριστική της αντλίας πάνω στο διάγραμμα με τις χαρακτηριστικές ενός φ/β πλαισίου.

|  |
| --- |
|  |
| **Σχήμα 3.4** Η τομή της χαρακτηριστικής του φορτίου με την εκάστοτε κάθε φορά χαρακτηριστική του φ/β πλαισίου, μας δίνει το σημείο λειτουργίας του συστήματος. |

Παρατηρούμε (σχήμα 3.4) ότι το σημείο C είναι σημείο λειτουργίας της αντλίας και ταυτόχρονα σημείο μέγιστης ισχύος (**M.P.P.**) της φ/β γεννήτριας για τη χαρακτηριστική (1) που αντιστοιχεί σε E. Αν ελαττωθεί η τιμή της Ε σε Ε΄ τότε η χαρακτηριστική της φ/β γεννήτριας είναι η (2) και το σημείο λειτουργίας του συστήματος θα είναι το Β (τομή των δύο καμπύλων). Ενώ το σημείο μέγιστης ισχύος (Σ.Μ.Ι.) είναι το ΒMPP. Το Η.Σ.Π. μεταβάλλει ηλεκτρονικά τα μεγέθη i και V ελέγχοντας ηλεκτρονικά την τιμή Ο έλεγχος αυτός απεικονίζεται γραφικά με τη διακεκομμένη καμπύλη- υπερβολή που ικανοποιεί τη σχέση οι τιμές της έντασης και της τάσης στο Σ.Μ.Ι. η καμπύλη αυτή χαρακτηρίζεται υπερβολή σταθερής ισχύος. Επειδή το ΒMPP είναι μακριά από τη χαρακτηριστική της αντλίας, αναλαμβάνει το Η.Σ.Π. να μετακινήσει το σημείο λειτουργίας στο ΒMΑΧ, όπου το ΒMΑΧ έχει την ίδια ισχύ με αυτή του ΒMPP. Έτσι το σύστημα θα αυξήσει την ισχύ του και θα λειτουργεί με τη μέγιστη δυνατή ισχύ που μπορεί να του παρέχει το φ/β πλαίσιο. Στην περίπτωσή μας το φ/β σύστημα έχει σαν φορτίο την αντλία νερού. Χαράσσουμε τη χαρακτηριστική της αντλίας πάνω στο διάγραμμα με τις χαρακτηριστικές ενός φ/β πλαισίου.

Παρατηρούμε (σχήμα 3.4) ότι το σημείο C είναι σημείο λειτουργίας της αντλίας και ταυτόχρονα σημείο μέγιστης ισχύος (**M.P.P.**) της φ/β γεννήτριας για τη χαρακτηριστική (1) που αντιστοιχεί σε E. Αν ελαττωθεί η τιμή της Ε σε Ε΄ τότε η χαρακτηριστική της φ/β γεννήτριας είναι η (2) και το σημείο λειτουργίας του συστήματος θα είναι το Β (τομή των δύο καμπύλων). Ενώ το σημείο μέγιστης ισχύος (Σ.Μ.Ι.) είναι το ΒMPP. Το Η.Σ.Π. μεταβάλλει ηλεκτρονικά τα μεγέθη i και V ελέγχοντας ηλεκτρονικά την τιμή

Ο έλεγχος αυτός απεικονίζεται γραφικά με τη διακεκομμένη καμπύλη- υπερβολή που ικανοποιεί τη σχέση οι τιμές της έντασης και

της τάσης στο Σ.Μ.Ι. η καμπύλη αυτή χαρακτηρίζεται υπερβολή σταθερής ισχύος. Επειδή το ΒMPP είναι μακριά από τη χαρακτηριστική της αντλίας, αναλαμβάνει το Η.Σ.Π. να μετακινήσει το σημείο λειτουργίας στο ΒMΑΧ, όπου το ΒMΑΧ έχει την ίδια ισχύ με αυτή του ΒMPP. Έτσι το σύστημα θα αυξήσει την ισχύ του και θα λειτουργεί με τη μέγιστη δυνατή ισχύ που μπορεί να του παρέχει το φ/β πλαίσιο. Καταλήγουμε ότι το Η.Σ.Π. είναι ένας μετατροπέας DC/DC που μεταβάλει την τάση εξόδου από το φ/β πλαίσιο έτσι ώστε στην έξοδο του, ο μετατροπέας, να έχει τέτοια τιμή (μεγαλύτερη ή μικρότερη) που να ικανοποιεί τις παραπάνω απαιτήσεις για βέλτιστη δυνατή προσαρμογή φ/β πλαισίου – φορτίου (αντλία). Έχει σταθερή τάση εξόδου και αναγκάζει τη φ/β γεννήτρια να λειτουργεί περί το Σ.Μ. Καταλήγουμε ότι το Η.Σ.Π. είναι ένας μετατροπέας DC/DC που μεταβάλει την τάση εξόδου από το φ/β πλαίσιο έτσι ώστε στην έξοδο του, ο μετατροπέας, να έχει τέτοια τιμή (μεγαλύτερη ή μικρότερη) που να ικανοποιεί τις παραπάνω απαιτήσεις για βέλτιστη δυνατή προσαρμογή φ/β πλαισίου – φορτίου (αντλία). Έχει σταθερή τάση εξόδου και αναγκάζει τη φ/β γεννήτρια να λειτουργεί περί το Σ.Μ.Ι

|  |
| --- |
|  |

Ο μετατροπέας DC/DC δεν προσφέρει πολύ περισσότερη ισχύ στο σύστημα όταν σε αυτό χρησιμοποιούνται συσσωρευτές. Ενώ αντίθετα στη περίπτωση επαγωγικού φορτίου όπως αντλία- κινητήρας προσφέρει πολύ περισσότερη ισχύ. Η απόδοσή του είναι συνήθως υψηλή και μεγαλύτερη του 90%. Ορίζεται ως εξής**:**

** (3.1)**

όπου PPT: ισχύς εξόδου από τον μετατροπέα DC/DC

PPV: ισχύς εξόδου από τη φ/β γεννήτρια στον μετατροπέα DC/DC

Παρακάτω (σχήμα 3.6) απεικονίζεται το διάγραμμα της απόδοσης, του μετατροπέα DC/DC σε συνάρτηση με το λόγο της ισχύος εισόδου στον μετατροπέα DC/DC προς την ονομαστική ισχύ του.

|  |
| --- |
|  |
| **Σχήμα 3.6** Το διάγραμμα της απόδοσης, του μετατροπέα DC/DC σε συνάρτηση με το λόγο της ισχύος εισόδου στον μετατροπέα DC/DC προς την ονομαστική ισχύ του |

**Συμπεράσματα:**

- Η PPΤ, είναι προφανώς ίση με τη PPV.

- Από τη παραπάνω καμπύλη συμπεραίνουμε ότι για λόγο PPT/PPV > 0,4 η απόδοση του μετατροπέα DC/DC ξεπερνάει το 90%. Για τιμές του λόγου περί το 0,1 – 0,2 η απόδοση του είναι χαμηλή και κυμαίνεται στο 70 – 80%.

- Τελικώς συμπεραίνουμε ότι η χρήση Η.Σ.Π. του Σ.Μ.Ι. αυξάνει την τελική απόδοση της φ/β γεννήτριας.

## 3.3.2 Μετατροπέας συνεχούς ρεύματος σε εναλλασσόμενο οποιουδήποτε πλάτους (DC/AC inverter)

Τα φορτία που εξυπηρετεί ένα φ/β σύστημα είναι δυνατό να λειτουργήσουν είτε με συνεχές ρεύμα, είτε με εναλλασσόμενο ρεύμα. Αυτή τη στιγμή οι περισσότερες ηλεκτρικές συσκευές λειτουργούν με εναλλασσόμενο ρεύμα. Το ίδιο συμβαίνει και με τους κινητήρες, όπου προτιμούνται αυτοί που λειτουργούν με εναλλασσόμενο ρεύμα, διότι έχουν μεγαλύτερη αξιοπιστία, μικρότερο κόστος και λιγότερα έξοδα συντήρησης. Άλλωστε το εναλλασσόμενο ρεύμα προσφέρει ασφαλή εγκατάσταση, εύκολο μετασχηματισμό και απλούς διακόπτες. Έτσι όταν το δίκτυο διανομής λειτουργεί με εναλλασσόμενο ρεύμα είναι απαραίτητη η εγκατάσταση ενός μετατροπέα DC/AC πριν το φορτίο (σχήμα 3.8).

|  |
| --- |
|  |
| **Σχήμα 3.7 :** Λειτουργικό διάγραμμα μετατροπέα (inverter) DC/AC με εναλλασσόμενο φορτίο. |

Ο μετατροπέας κάνει πιο πολύπλοκο το σύστημα και αυξάνει το κόστος του, ενώ μειώνει την αξιοπιστία του και αυξάνει τις απώλειες. Ο βαθμός απόδοσής του κυμαίνεται περίπου στο 90%- 95% όταν λειτουργεί στο 100% της διατιμημένης ισχύος του και μειώνεται δραματικά όταν λειτουργεί σε πολύ μικρότερη ισχύ. Ο μόνος τρόπος για να καλυφθούν αυτές οι απώλειες είναι η αύξηση του μεγέθους της φ/β συστοιχίας και της μπαταρίας, γεγονός που αυξάνει το κόστος του συστήματος. Όταν το φ/β σύστημα είναι μικρό και οι συσκευές που θα τροφοδοτηθούν από αυτό λίγες, τότε είναι βολικότερη η χρήση του συνεχούς ρεύματος. Αυτό όμως δεν ισχύει για φ/β συστήματα μεγάλου ή μεσαίου μεγέθους, όπου ακόμα και αν λάβουμε υπ’ όψιν τις απώλειες του μετατροπέα (inverter), είναι ευκολότερο και οικονομικότερο να μετατρέψουμε το ρεύμα της φ/β συστοιχίας από συνεχές σε εναλλασσόμενο, παρά να τροποποιήσουμε όλες τις συσκευές, ώστε να λειτουργήσουν με συνεχές ρεύμα. Διάφοροι τύποι μετατροπέων DC/AC έχουν αναπτυχθεί ανάλογα με τις απαιτήσεις του φορτίου. Η επιλογή του μετατροπέα εξαρτάται από:

* την επιθυμητή ή αποδεκτή κυματομορφή στην έξοδό του που είναι η είσοδος στο φορτίο και
* την απόδοση του μετατροπέα.

Διάφορα τεχνικά χαρακτηριστικά διαθέσιμων μετατροπέων DC/AC φαίνονται στον επόμενο πίνακα του σχήματος 3.8.

|  |
| --- |
|  |
| **Σχήμα 3.8 :** Χαρακτηριστικά των διαθέσιμων μετατροπέων DC/AC |

Η λειτουργική συμπεριφορά του μετατροπέα χαρακτηρίζεται από την ονομαστική ισχύ στην έξοδό του, την αντοχή του σε απότομη αύξηση της ισχύος εισόδου, την απόδοσή του και την παραμόρφωση των αρμονικών (ηλεκτρονική παραμόρφωση). Μερικά φορτία (μη ωμικά) απαιτούν ισχυρά ρεύματα εκκίνησης όπως οι κινητήρες αντλιών. Άλλα φορτία είτε θα θερμαίνονται, είτε θα παράγουν θόρυβο, εάν η παραμόρφωση των αρμονικών στην έξοδο του DC/AC υπερβαίνει ένα επίπεδο.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

# ΗΛΕΚΤΡΙΚΟΙ ΣΥΣΣΩΡΕΥΤΕΣ

# 4.1 Γενικά

Η παραγόμενη από την φ/β συστοιχία ηλεκτρική ενέργεια μπορεί να χρησιμοποιηθεί είτε απ’ ευθείας, είτε σε χρόνο μεταγενέστερο της παραγωγής της, π.χ. κατά την διάρκεια της νύκτας. Άρα παρουσιάζεται η ανάγκη μίας διάταξης αποθήκευσης της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας. Η καλύτερη λύση μέχρι στιγμής, από πλευράς κόστους πυκνότητας αποταμιευμένης ενέργειας ανά κιλό και όγκο της διάταξης, είναι οι ηλεκτρικοί συσσωρευτές (μπαταρίες) οι οποίοι είναι αναπόσπαστο τμήμα οποιουδήποτε αυτόνομου φωτοβολταϊκού συστήματος, εξαιτίας των ικανοτήτων τους να αποθηκεύει ενέργεια και να απομονώνει τη φ/β συστοιχία από το φορτίο. Η μπαταρία φορτίζεται κατά τις ώρες τις υψηλής εντάσεως της ακτινοβολίας από την φ/β συστοιχία και εκφορτίζεται κατά την νύχτα και οποτεδήποτε η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια από την συστοιχία είναι μικρότερη από το φορτίο. Ο ρόλος της μπαταρίας ως απομονωτή μεταξύ συστοιχίας και φορτίου, συνίσταται στην διατήρηση μίας σχετικά σταθερής τάσης στο σύστημα (δεδομένου ότι η συστοιχία δεν είναι σταθερή πηγή ρεύματος και τάσεως) και στην κάλυψη των στιγμιαίων αιχμών ισχύος που συμβαίνουν κατά την εκκίνηση του κινητήρα του φορτίου.

Υπάρχουν δύο βασικά είδη μπαταριών:

α) Πρωτεύουσες μπαταρίες (primary batteries)

Δεν επαναφορτίζονται και χρησιμοποιούνται μόνο μία φορά.

Δεν χρησιμοποιούνται στα φ/β συστήματα

β) Δευτερεύουσες μπαταρίες (secondary batteries)

Οι μπαταρίες αυτού του είδους επαναφορτίζονται πολλές φορές, λόγω της αντιστρεψιμότητας της χημικής αντίδρασης με βάση την οποία λειτουργούν. Οι μπαταρίες που χρησιμοποιούνται στα αυτοκίνητα και στα φ/β συστήματα ανήκουν σε αυτό το είδος των μπαταριών (σχήμα 4.4 – 4.2). Υπάρχουν διαθέσιμες μπαταρίες σε πολλούς τύπους, όπως η μπαταρία θειικού οξέος-μολύβδου (H2SO4-Pb), νικελίου-καδμίου (Ni- Cd), μολύβδου-αντιμονίου (Pb- Sb), μολύβδου-ασβεστίου (Pb-Ca) κ.α. Οι μπαταρίες που χρησιμοποιούνται σήμερα στο μεγαλύτερο βαθμό σε ηλιακές εγκαταστάσεις είναι τύπου H2SO4- Pb (ανοικτού ή κλειστού τύπου) και Ni-Cd. Ειδικότερα, περί των χαρακτηριστικών αυτών των μπαταριών θα αναφερθούμε σε επόμενη παράγραφο.

|  |
| --- |
|  |
| **Σχήμα 4.1:** Μπαταρίες για την αποθήκευση ενέργειας που παράγεται από τα φ/β πλαίσια |

|  |
| --- |
|  |
| **Σχήμα 4.2:**  Διάφοροι τύποι δευτερεύουσων μπαταριών. |

# 4.2 Χαρακτηριστικά στοιχεία μιας μπαταρίας

Τα στοιχεία που προσδιορίζουν τις δυνατότητες μιας μπαταρίας είναι δύο: η **ονομαστική τάση** στους πόλους της, που εκφράζεται με την έννοια της ***Ηλεκτρεγερτικής Δύναμης*** (**ΗΕΔ**) και η **ονομαστική χωρητικότητά** της (**C**). Η ΗΕΔ μετριέται σε Volt και ισούται με την πολική τάση της μπαταρίας, όταν δεν είναι συνδεδεμένη με καταναλωτή. Η χωρητικότητα C, μίας μπαταρίας αφορά το ηλεκτρικό φορτίο που είναι αποθηκευμένο στο εσωτερικό της με τη μορφή χημικής ενέργειας και εκφράζεται σε Ah (αμπερώρια) ή σε Wh (βαττώρες). Η χωρητικότητα μετρούμενη Ah είναι το μέτρο του ρεύματος που μπορεί να δώσει η μπαταρία όταν εκφορτιστεί σε κάποιο καθορισμένο χρόνο επί το χρόνο αυτό, δηλαδή:

 (4.1)

Οι κατασκευαστές τείνουν να εκφράζουν την χωρητικότητα σε Αh. Όμως σε ένα φ/β σύστημα είναι ίσως πιο χρήσιμο να γνωρίζουμε την χωρητικότητα της μπαταρίας σε Wh, που δηλώνει την ποσότητα την ενέργειας που μπορεί να αποθηκεύσει, και υπολογίζεται ως το γινόμενο της χωρητικότητας σε Αh επί την ονομαστική τάση στα άκρα V, δηλαδή:

 (4.2)

Η χωρητικότητα μίας μπαταρίας που είναι διαθέσιμη για την κάλυψη κάποιου φορτίου ονομάζεται ***ενεργή χωρητικότητα*** *(effective capacity)* και είναι συνάρτηση της τιμής, της μορφής του ρεύματος εκφορτίσεως και της θερμοκρασίας λειτουργίας. Η ονομαστική τιμή της ενεργούς χωρητικότητας, Βe, μετριέται με μία πλήρη εκφόρτιση της μπαταρίας σε 10h στους 25 οC. Οι τιμές των ΗΕΔ των διαφόρων τύπων μπαταριών (H2SO4-Pb, Ni-Cd, Pb-Sb κ.α.) κυμαίνονται μεταξύ 1V~ 4V ανά στοιχείο. Για να προκύψει μία διάταξη μπαταριών με υψηλότερη ΗΕΔ, όμοια ηλεκτρικά στοιχεία συνδέονται κατάλληλα μεταξύ τους. Η ονομαστική τάση ενός στοιχείου μπαταρίας π.χ. μολύβδου είναι 2,25V. Έτσι, οι τυπικές τάσεις με τις οποίες κυκλοφορούν, με την εμπορική τους μορφή, οι μπαταρίες μολύβδου είναι 6V, 12V και 24V. Μία μπαταρία 12V, αποτελείται από έξι 2βολτα στοιχεία,

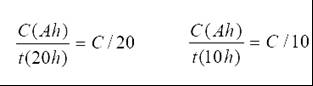
|  |
| --- |
|  |
| **Σχήμα 4.3:** Μπαταρία των 12V χωρητικότητας C το καθένα |

Τις μπαταρίες μπορούμε να τις συνδέσουμε με τρεις τρόπους ανάλογα με τι θέλουμε να πετύχουμε. Οι τρόποι αυτοί είναι: α)σύνδεση σε σειρά, β)παράλληλη σύνδεση και γ)μικτή σύνδεση

|  |
| --- |
|  |
|  |
| **Σχήμα 4.4** Τρόπος σύνδεσης μπαταριών |

Αν δύο μπαταρίες με ΗΕΔ 12V και χωρητικότητας C, συνδεθούν σε σειρά η νέα διάταξη χαρακτηρίζεται από ΗΕΔ 24V και χωρητικότητά C/2. Αν όμως οι μπαταρίες συνδεθούν παράλληλα, τότε η νέα διάταξη έχει ΗΕΔ 12V και χωρητικότητα 2C. Δηλαδή η σύνδεση σε σειρά Ν, καθ’ όλα ίδιων, μπαταριών οδηγεί σε συστοιχία με ανάλογα πολλαπλάσια ΗΕΔ, (ΗΕΔσυστ = N.ΗΕΔ μπαταρίας) ενώ η χωρητικότητα υποδιαιρείται Ν φορές. Αντίθετα σε παράλληλη σύνδεση Ν μπαταριών οδηγεί σε συστοιχία με ΗΕΔ σταθερή και ανάλογα πολλαπλάσια ονομαστικής χωρητικότητας (Cmax = N.Coν). Προσοχή πρέπει να δοθεί στο γεγονός ότι στην παράλληλη και στην μικτή σύνδεση θα πρέπει όλες οι μπαταρίες να έχουν την ίδια ΗΕΔ, γιατί αν μία μπαταρία έχει μεγαλύτερη ΗΕΔ από τις άλλες θα προκαλέσει ροή ρεύματος προς αυτές.

**Ρυθμός φόρτισης-εκφόρτισης** είναι ο χρόνος σε ώρες που απαιτείται για να φορτιστεί ή να εκφορτιστεί η μπαταρία στην ονομαστική τιμή της χωρητικότητας της. Συνηθισμένες τιμές του είναι t=10-20h, οπότε το αντίστοιχο ρεύμα φόρτισης εκφόρτισης είναι:

 (4.3)

Γενικά όσο πιο μικρός είναι ο ρυθμός εκφόρτισης (π.χ. C/40) τόσο μεγαλύτερη είναι η διαθέσιμη χωρητικότητα, ενώ αν ο ρυθμός εκφόρτισης είναι μεγάλος (π.χ C/3) τότε η διαθέσιμη χωρητικότητα μειώνεται αισθητά. Ο παρακάτω πίνακας 4.1 δίνει διάφορα χαρακτηριστικά στοιχεία διαφόρων τύπων μπαταριών που χρησιμοποιούνται σε ένα ευρύ φάσμα εφαρμογών

|  |
| --- |
|  |
| **Πίνακας 4.1** Διάφορα χαρακτηριστικά στοιχεία διαφόρων τύπων μπαταριών που χρησιμοποιούνται σε ένα ευρύ φάσμα εφαρμογών |

## 4.2.1 Χρόνος ζωής μπαταρίας

Οι μπαταρίες δεν πρέπει να δέχονται παρατεταμένη φόρτιση σε πολύ υψηλή τάση για αυτούς (overcharging), ούτε να εκφορτίζονται κάτω από ένα όριο (overdischarging). O κανόνας αυτός είναι πολύ σημαντικός και καθορίζει τον χρόνο ζωής τους. Η υπερφόρτιση τραγικά αποτέλεσμα για μια μπαταρία, για τα οποία θα αναφερθούμε σε παρακάτω παράγραφο. Η λειτουργία της μπαταρίας σε ένα αυτόνομο Φ/Β σύστημα χαρακτηρίζεται από δύο είδη κύκλων φορτίσεως και εκφορτίσεως: τον ημερήσιο και τον εποχιακό. Ο ημερήσιος κύκλος λειτουργίας της μπαταρίας, που χονδρικά είναι μία φόρτιση την ημέρα και μία εκφόρτιση την νύχτα, χαρακτηρίζεται από το ημερήσιο ***βάθος εκφορτίσεως***, ***DODd*** (**D**epth **Ο**f **D**ischarge). Το βάθος εκφόρτισης εκφράζει το ποσοστό (%) της ονομαστικής χωρητικότητας C (Ah) της μπαταρίας που καταναλώνεται κατά την διάρκεια ενός κύκλου φόρτισης-εκφόρτισης. Το βάθος εκφορτίσεως της μπαταρίας και η ***στάθμη φορτίσεως*** της (**S**tate **Ο**f **C**harge), που και αυτή εκφράζεται ως ποσοστό της ονομαστικής χωρητικότητας της μπαταρίας, συνδέονται με την προφανή σχέση:

 (4.4)

Οι φθηνές μπαταρίες αντέχουν μόνο σε αβαθείς κύκλους και το βάθος εκφόρτισής τους κυμαίνεται από 10-20%. Αντίθετα οι ακριβές μπαταρίες είναι αυτές που έχουν την ικανότητα να δέχονται βαθιές εκφορτίσεις μέχρι 70-80% (χωρίς να κινδυνεύουν να καταστραφούν) και παράλληλα να προσφέρουν την δυνατότητα μεγάλου αριθμού κύκλων φορτίσεων-εκφορτίσεων. Σε αυτή την κατηγορία ανήκουν και οι μπαταρίες που θα χρησιμοποιήσουμε και στις οποίες θα αναφερθούμε αναλυτικά στην επόμενη παράγραφο.

Ομοίως, ο εποχιακός κύκλος λειτουργίας της μπαταρίας κατά τον οποίο η μπαταρία φορτίζεται τους θερινούς μήνες και εκφορτίζεται τους χειμερινούς, χαρακτηρίζεται από το εποχιακό βάθος εκφορτίσεως, DODS.

Ένας πρακτικός κανόνας που περιγράφει τον χρόνο ζωής μίας μπαταρίας είναι: **το γινόμενο βάθους εκφόρτισης επί τους κύκλους φορτοεκφόρτισης είναι, με καλή προσέγγιση, σταθερό**.

**ΚΥΚΛΟΙ** Χ **DOD ≈ ΣΤΑΘΕΡΟ≈1200**

## 4.3 Τύποι μπαταριών

**Μπαταρία μολύβδου-ασβεστίου (Pb-Ca)** Το χαρακτηριστικό αυτής της μπαταρίας είναι η χαμηλή τιμή του συντελεστή αυτοεκφόρτισης που κυμαίνεται στο 1-4% ανά μήνα (στους 25 οC) και η μικρή εκπομπή φυσαλίδων κατή την φόρτιση. Έχει καλή συμπεριφορά στην κυκλική φόρτιση-εκφόρτιση, αλλά όχι πολύ καλές επιδόσεις σε βαθιές εκφορτίσεις. Βασικό πλεονέκτημά της είναι ότι απαιτεί μικρή συντήρηση.

Μπαταρία μολύβδου-αντιμονίου (Pb-Sb) Το αντιμόνιο περιέχεται στον μόλυβδο σε ποσοστό 2,5-4% και η συνεισφορά του έγκειται στην επίτευξη χαμηλότερων τιμών του βάθους εκφορτίσεως (DOD) και καλύτερης απόδοσης στις κυκλικές φορτίσεις-εκφορτίσεις στα φ/β συστήματα. Παρ’ όλα αυτά όμως έχει υψηλότερο συντελεστή αυτοεκφόρτισης, γεγονός όχι και τόσο μεγάλης σημασίας αν το σύστημα των μπαταριών είναι πάντα συνδεδεμένο με φ/β γεννήτρια.

Μπαταρία νικελίου-καδμίου (Nι-Cd) Το στοιχείο Ni-Cd χαρακτηρίζεται από ονομαστική τάση 1,3V και η συνήθης μορφή με την οποία κυκλοφορεί στο εμπόριο χαρακτηρίζεται από τάση ~ 14,5V. Οι μπαταρίες Ni-Cd έχουν την δυνατότητα να δέχονται βαθιές εκφορτίσεις ακόμα και να εκφορτίζονται εντελώς, χωρίς ουσιαστικό πρόβλημα, σε αντίθεση με τις μπαταρίες H2SO4-Pb. Να δέχονται υπερφόρτιση, να αντέχουν σε πολύ χαμηλές θερμοκρασίες και είναι ανθεκτικότερες στην μεταφορά. Παρουσιάζουν όμως το πρόβλημα της «μνήμης» κατά την φόρτιση, αν αυτή διακοπεί, πριν ολοκληρωθεί η διαδικασία. Το πρόβλημα συνίσταται στην αδυναμία της μπαταρίας NiCd, σε επόμενες προσπάθειες συνέχισης της φόρτισης, να αποκτήσει την αρχική της χωρητικότητα και πολική τάση. Ακόμα έχουν υψηλότερο κόστος και μικρότερο βαθμό απόδοσης από τις μπαταρίες H2SO4-Pb ενώ δεν αντέχουν σε υψηλές θερμοκρασίες.

Μπαταρία θειικού οξέος-μολύβδου (H2SO4-Pb) Η μπαταρία θειικού οξέος – μολύβδου χρησιμοποιείται στην πλειοψηφία των εφαρμογών των φωτοβολταϊκών συστημάτων αλλά και σε πολλές άλλες εφαρμογές. Οι βιομηχανικής παραγωγής μπαταρίες μολύβδου, έχουν αυξημένη μηχανική αντοχή, χαμηλό κόστος (σπουδαίος παράγοντας για φωτοβολταϊκά συστήματα) και αυξημένη δυνατότητα για βαθιές εκφορτίσεις, με μεγάλα ρεύματα, σε αντίθεση με τις κοινές μπαταρίες μολύβδου.

Κατασκευαστικά τα ηλεκτρόδια των μπαταριών μολύβδου αποτελούνται από πλάκες με την μορφή κυψελών. Οι κυψέλες αυτές στον αρνητικό πόλο έχουν πληρωθεί με πορώδη μόλυβδο ενώ στο θετικό, με φαιά οξείδια του μολύβδου. Τα ηλεκτρόδια είναι εμβαπτισμένα σε διάλυμα νερού και θειικού οξέος (H2SO4). Η άνοδος αποτελείται από οξείδιο του μολύβδου (PbO2) και η κάθοδος από καθαρό μόλυβδο (Pb), σχήμα 4.5

Οι βασικές χημικές αντιδράσεις, οι οποίες λαμβάνουν χώρα στο εσωτερικό μίας μπαταρίας μολύβδου περιγράφονται από την παρακάτω αμφίδρομη αντίδραση:



|  |
| --- |
|  |
| Σχήμα 4.5 Τα ηλεκτρόδια των μπαταριών μολύβδου |

**Προς τη δεξιά κατεύθυνση αντιστοιχεί στη διαδικασία της εκφόρτισης, ενώ η αντίθετη, στη φόρτιση της μπαταρίας*.*** Άρα κατά την εκφόρτιση της μπαταρίας ελαττώνεται η περιεκτικότητα του θειικού οξέος στο διάλυμα και κατά την φόρτιση αυξάνεται η περιεκτικότητα του θειικού οξέος. Η διαφοροποίηση της περιεκτικότητας του H2SO4 στο διάλυμα, εκφρασμένη με την πυκνότητά του (g/cm3), κατά τους χρόνους εκφόρτισης-φόρτισης, αποτελεί ένα πολύ απλό τρόπο ελέγχου της καταστάσεως της μπαταρίας. Συνεπώς η κατάσταση της φόρτισης της μπαταρίας είναι καλύτερη όσο μεγαλύτερο είναι το ειδικό βάρος του ηλεκτρολύτη της. Τότε και η τάση στα άκρα της παίρνει μεγαλύτερες τιμές. Κατά την φόρτιση επιδιώκουμε αυτή να γίνεται με χαμηλό ρεύμα. Αν η ονομαστική χωρητικότητα της μπαταρίας είναι C (Ah), συνίσταται ρεύμα φόρτισης ίσο με Ι = C/10 (A). Μια τέτοια αντίδραση (εκφόρτισης – φόρτισης) μπορεί να γίνει 1000 έως 4000 φορές στις μπαταρίες **βαθιάς εκφορτίσεως**. Οι μπαταρίες αυτές είναι βαριές και πολύ ακριβές μιας και έχουν παχιά ηλεκτρόδια μολύβδου και μεγαλύτερη χωρητικότητα ηλεκτρολύτη, ώστε να αντέχουν έως και 15 χρόνια και να λειτουργούν κάτω από δύσκολες συνθήκες. Συνήθως σε φωτοβολταϊκά συστήματα χρησιμοποιούνται μπαταρίες βαθιάς εκφορτίσεως και όχι απλές. Αυτό συμβαίνει διότι σε μία μεγάλη περίοδο έλλειψης ηλιοφάνειας, μία μπαταρία απλή θα αποφορτιστεί έως και 75%-80%, με αποτέλεσμα λίγες τέτοιες επαναλήψεις βαθιάς εκφόρτισης να την καταστήσουν άχρηστη.

Οι βασικές χημικές αντιδράσεις, οι οποίες λαμβάνουν χώρα στο εσωτερικό μίας μπαταρίας μολύβδου περιγράφονται από την παρακάτω αμφίδρομη αντίδραση:



**Προς τη δεξιά κατεύθυνση αντιστοιχεί στη διαδικασία της εκφόρτισης, ενώ η αντίθετη, στη φόρτιση της μπαταρίας*.*** Άρα κατά την εκφόρτιση της μπαταρίας ελαττώνεται η περιεκτικότητα του θειικού οξέος στο διάλυμα και κατά την φόρτιση αυξάνεται η περιεκτικότητα του θειικού οξέος. Η διαφοροποίηση της περιεκτικότητας του H2SO4 στο διάλυμα, εκφρασμένη με την πυκνότητά του (g/cm3), κατά τους χρόνους εκφόρτισης-φόρτισης, αποτελεί ένα πολύ απλό τρόπο ελέγχου της καταστάσεως της μπαταρίας. Συνεπώς η κατάσταση της φόρτισης της μπαταρίας είναι καλύτερη όσο μεγαλύτερο είναι το ειδικό βάρος του ηλεκτρολύτη της. Τότε και η τάση στα άκρα της παίρνει μεγαλύτερες τιμές. Κατά την φόρτιση επιδιώκουμε αυτή να γίνεται με χαμηλό ρεύμα. Αν η ονομαστική χωρητικότητα της μπαταρίας είναι C (Ah), συνίσταται ρεύμα φόρτισης ίσο με Ι = C/10 (A). Μια τέτοια αντίδραση (εκφόρτισης – φόρτισης) μπορεί να γίνει 1000 έως 4000 φορές στις μπαταρίες **βαθιάς εκφορτίσεως**. Οι μπαταρίες αυτές είναι βαριές και πολύ ακριβές μιας και έχουν παχιά ηλεκτρόδια μολύβδου και μεγαλύτερη χωρητικότητα ηλεκτρολύτη, ώστε να αντέχουν έως και 15 χρόνια και να λειτουργούν κάτω από δύσκολες συνθήκες. Συνήθως σε φωτοβολταϊκά συστήματα χρησιμοποιούνται μπαταρίες βαθιάς εκφορτίσεως και όχι απλές. Αυτό συμβαίνει διότι σε μία μεγάλη περίοδο έλλειψης ηλιοφάνειας, μία μπαταρία απλή θα αποφορτιστεί έως και 75%-80%, με αποτέλεσμα λίγες τέτοιες επαναλήψεις βαθιάς εκφόρτισης να την καταστήσουν άχρηστη.

### Χαρακτηριστικές μπαταριών θειικού οξέος- μολύβδου

Παρακάτω θα παρουσιάσουμε τις χαρακτηριστικές που αφορούν την λειτουργία των μπαταριών μολύβδου. Οι χαρακτηριστικές αυτές πρέπει να λαμβάνονται οπωσδήποτε υπ’ όψη κατά το σχεδιασμό και το sizing οποιουδήποτε φ/β συστήματος που συνεργάζεται με μπαταρίες.

#### Τάση εξόδου (ανοικτού κυκλώματος) της μπαταρίας συναρτήσει του βάθους εκφόρτισης (DOD), με παράμετρο τον λόγο εκφόρτισης.

Το πώς μεταβάλλεται η τάση εξόδου μίας στήλης μολύβδου, συναρτήσει του DOD και του λόγου εκφορτίσεως, φαίνεται στο σχήμα 4.6. Αν δούμε την καμπύλη που έχει βαθμό εκφόρτισης C/10, που είναι και η πιο ευρέως χρησιμοποιούμενη, βλέπουμε πως η τάση εξόδου μειώνεται σχεδόν γραμμικά συναρτήσει του DOD μέχρι το σημείο εκείνο στο οποίο περαιτέρω εκφόρτιση οδηγεί σε απότομη πτώση της τάσης. Η τάση που αντιστοιχεί στο σημείο αυτό λέγεται τάση αποκοπής (cut off voltage). Η αποφόρτιση της στήλης δεν πρέπει να συνεχίζεται και πιο κάτω από την τάση αποκοπής, διότι προκαλεί μόνιμη βλάβη σε αυτήν. Οι κατασκευαστές συνήθως δίνουν την τάση αποκοπής ενός συγκεκριμένου τύπου στήλης να είναι λίγο υψηλότερη από την κανονική τιμή. Για παράδειγμα, για μια στήλη των 2V, με ρυθμό εκφόρτισης C/500 και στους 25οC, δίνουν τάση αποκοπής 1,95V και αντίστοιχα DOD 75%.

|  |
| --- |
|  |
| **Σχήμα 4.6 :** Τάση εξόδου μιας μπαταρίας Pb σε διαφορετικές καταστάσεις φορτίσεως και ρυθμούς εκφόρτισης |

#### Μέγιστη αποδεκτή τάση που απαιτείται για την φόρτιση μίας μπαταρίας συναρτήσει της θερμοκρασίας

Το παρακάτω σχεδιαγράμματα, σχήμα 4.7, δείχνει το πώς επιδρά η θερμοκρασία τόσο στην τάση εξόδου ενός πλαισίου 32στοιχείων (32-cell module) όσο και στην μέγιστη αποδεκτή τάση, που απαιτείται για να φορτιστεί πλήρως μία μπαταρία με ονομαστική τάση 12V.

|  |
| --- |
|  |
| **Σχήμα 4.7:** Θερμοκρασιακές χαρακτηριστικές για μπαταρία και φ/β γεννήτρια. |

Όπως παρατηρούμε και οι δύο τάσεις πέφτουν γραμμικά, όταν αυξάνεται η θερμοκρασία, αλλά με διαφορετικές κλίσεις η καθεμία. Αυτή η πτώση μπορεί να δημιουργήσει αρκετά προβλήματα, κυρίως σε εφαρμογές όπου η συστοιχία βρίσκεται σε χαμηλή θερμοκρασία, ενώ η μπαταρία βρίσκεται σε εσωτερικό χώρο και προστατεύεται από ακραίες θερμοκρασίες. Μπορεί δηλαδή, η τάση εξόδου της συστοιχίας να αυξηθεί σε τέτοιο σημείο που να υπερφορτίζει την μπαταρία. Η υπερφόρτιση της μπαταρίας οδηγεί σε αύξηση της τάσης, εντός της μπαταρίας. Η αύξηση αυτή προκαλεί υπερβολική παραγωγή υδρογόνου και οξυγόνου, που οδηγεί σε επιβλαβή αποτελέσματα για την μπαταρία (π.χ. κατανάλωση ενός μέρους του ρεύματος φόρτισης λόγω ατμοποίησης, κίνδυνος πρόκλησης έκρηξης εξαιτίας της διαφυγής οξυγόνου και υδρογόνου κ.α.). Ο κίνδυνος υπερφόρτισης υπάρχει κυρίως στα μεγάλα φ/β συστήματα, στα οποία το ρεύμα εξόδου της συστοιχίας είναι μεγάλο σε σχέση με το ρεύμα βραδείας φόρτισης που απαιτεί η μπαταρία. Το πρόβλημα αντιμετωπίζεται με την χρήση ενός ρυθμιστή τάσης (regulator) μεταξύ μπαταρίας και φ/β συστήματος, γεγονός που αναλύσαμε παραπάνω.

#### Αριθμός κύκλων εκφόρτισης της μπαταρίας συναρτήσει του βάθους εκφόρτισης (DOD)

Όπως προαναφέραμε στην 3η παράγραφο, ο χρόνος ζωής των μπαταριών εκφράζεται σε κύκλους φορτοεκφόρτισης. Με αρχή την κατάσταση πλήρους φόρτισης, ένας κύκλος ζωής μπαταρίας περιλαμβάνει τις διαδικασίες εκφόρτισης-φόρτισης. Η χωρητικότητα της μπαταρίας μειώνεται όσο αυξάνουν οι κύκλοι φορτοεκφόρτισης (σχήμα 4.8). Ακόμα το πόσο βαθιά εκφορτίζουμε την μπαταρία σε κάθε κύκλο, επηρεάζει σημαντικά τον αναμενόμενο χρόνο ζωής της, όπως φαίνεται και στο διάγραμμα του σχήματος 4.9. Πρακτικά δεν πρέπει να εκφορτίζουμε την μπαταρία πάνω από 60% περίπου και αυτό μόνο σε λίγες περιπτώσεις. Αν η μέση εκφόρτιση είναι λιγότερο από 30%, η μπαταρία θα διαρκέσει όσο είχαμε σχεδιάσει αρχικά. Παραδείγματος χάριν, η περιοδική εκφόρτιση-φόρτιση μίας καλής ποιότητας μπαταρίας H2SO4-Pb, σε ποσοστό 20% κάτω από τη μέγιστη, σε κάθε φάση φόρτισης, χωρητικότητά της, αντιστοιχεί σε 6000 κύκλους φορτοεκφόρτισης. Αν το βάθος εκφόρτισης αυξηθεί σε 40%, οι κύκλοι φορτοεκφόρτισης ελαττώνονται περίπου στους μισούς.

|  |
| --- |
|  |
| **Σχήμα 4.8:** Τυπική εξάρτηση της χωρητικότητας μίας μπαταρίας Pb ως ποσοστό της ονομαστικής τιμής της, από το χρόνο ζωής της, εκφρασμένο σε κύκλους φορτοεκφόρτισης. |
|  |
| **Σχήμα 4.9:** Επίδραση του βάθους εκφόρτισης στη διάρκεια ζωής μιας μπαταρίας. |

#### Βαθμός αυτοεκφόρτισης συναρτήσει της θερμοκρασίας της στήλης και με παράμετρο την σύνθεση των ηλεκτροδίων.

Γενικά, όλες οι μπαταρίες αυτοεκφορτίζονται, χάνουν δηλαδή ένα μέρος από την χωρητικότητά τους ενώ βρίσκονται σε αναμονή, λόγω ορισμένων εσωτερικών χημικών αντιδράσεων. Η τιμή της αυτοεκφόρτισης κυμαίνεται από 5% ανά μήνα έως 1% ανά ημέρα και εξαρτάται τόσο από την θερμοκρασία όσο και από την σύνθεση των ηλεκτροδίων της μπαταρίας. Γενικά, όπως φαίνεται και στο διάγραμμα του σχήματος 4.10, όσο αυξάνει η θερμοκρασία τόσο αυξάνει και ο ρυθμός αυτοεκφόρτισης μίας μπαταρίας. Παρατηρούμε ότι νέες μπαταρίες με ηλεκτρόδια μολύβδου- αντιμονίου (Pb-Sb) έχουν σχετικά υψηλό βαθμό αυτοεκφόρτισης σε θερμοκρασία δωματίου, ο οποίος μάλιστα αυξάνεται σημαντικά μετά από κάποια χρόνια χρησιμοποίησης. Αν όμως χρησιμοποιηθούν μπαταρίες με ηλεκτρόδια μολύβδου- ασβεστίου (Pb-Ca), βλέπουμε ότι σε θερμοκρασία δωματίου έχουμε αμελητέο βαθμό αυτοεκφόρτισης. Είναι λοιπόν φανερό ότι αν θέλουμε αποθήκευση ενέργειας μακράς προόδου (long term),πρέπει να χρησιμοποιήσουμε μπαταρία με ηλεκτρόδια μολύβδου- ασβεστίου ή καθαρού μολύβδου.

|  |
| --- |
|  |
| **Σχήμα 4.10:** Βαθμός αυτοεκφόρτισης μπαταριών μολύβδου συναρτήσει της θερμοκρασίας. |

#### Η χωρητικότητα της μπαταρίας συναρτήσει της εσωτερικής της θερμοκρασίας και της θερμοκρασίας του περιβάλλοντος.

Ένας άλλος παράγοντας που επιδρά στη διαθέσιμη χωρητικότητα (Αh) που προσφέρει μία μπαταρία μολύβδου είναι η θερμοκρασίας της καθώς και αυτή του περιβάλλοντος. Γενικότερα η ονομαστική χωρητικότητα μίας μπαταρίας αναφέρεται για θερμοκρασία περιβάλλοντος 27oC. Χαμηλότερη θερμοκρασία έχει σαν αποτέλεσμα τη σημαντική μείωση της χωρητικότητας, ενώ η αύξηση της θερμοκρασίας έχει σαν αποτέλεσμα την ελαφριά αύξησή της. Ωστόσο, στην περίπτωση αυτή αυξάνει η απώλεια νερού και μειώνονται οι κύκλοι ζωής της μπαταρίας όπως φαίνεται και στο διάγραμμα του σχήματος 4.11.

|  |
| --- |
|  |
| **Σχήμα 4.11:** Συντελεστής διόρθωσης της χωρητικότητας μίας μπαταρίας μολύβδου συναρτήσει της θερμοκρασίας για διάφορους ρυθμούς εκφόρτισης. |

# 4.4 Βαθμός απόδοσης κατά την φόρτιση μιας μπαταρίας

Κατά την διάρκεια της φόρτισης η προσφερόμενη ηλεκτρική ενέργεια δεν αποθηκεύεται εξ’ ολοκλήρου στην μπαταρία, αλλά ένα ποσοστό της τάξεως περίπου 10-20% μετατρέπεται σε θερμότητα στο εσωτερικό της, λόγω της εσωτερικής της αντίστασης r. Άρα κατά την εκφόρτιση δεν είναι δυνατόν να πάρουμε το ηλεκτρικό φορτίο (Ah) ή την ηλεκτρική ενέργεια (Wh) που προσφέραμε κατά την φόρτιση. Στον τομέα αυτό ορίζονται λοιπόν δύο **βαθμοί απόδοσης nb** για τις μπαταρίες. Ο βαθμός απόδοσης (ρεύματος) nb(Ah) και ο βαθμός απόδοσης (ενέργειας) nB(Wh).

 (4.5)

 (4.6)

Ο βαθμός απόδοσης nB(Ah) είναι χρήσιμος για συγκρίσεις μεταξύ μπαταριών και είναι της τάξεως του 90% διότι εξαρτάται μόνο από το ρυθμό αυτοεκφορτίσεως. Ο βαθμός απόδοσης nB(Wh) είναι χρήσιμος όταν εξετάζουμε την λειτουργία της μπαταρίας σε ένα φ/β σύστημα και είναι της τάξεως του 80%.

# 4.5 Εγκατάσταση – συντήρηση μπαταριών

Μεγάλη προσοχή πρέπει να δοθεί στον χώρο τοποθέτησης των μπαταριών. Η τοποθέτηση τους μέσα σε ράφια είναι η καλύτερη λύση, διότι έτσι είναι μακριά από το πάτωμα και επιτυγχάνεται πιο εύκολα ο καθαρισμός και η συντήρησή τους. Το θειικό οξύ που περιέχουν οι μπαταρίες δίνει μια πολύ διαβρωτική ‘ομίχλη’ κατά την φόρτιση και για αυτό πρέπει να προστατεύονται και τα ράφια και η καλωδίωση της μπαταρίας. Επίσης πρέπει να αερίζεται πολύ καλά ο χώρος στον οποίο βρίσκονται οι μπαταρίες, προς αποφυγή εκρήξεως όταν απελευθερώνεται υδρογόνο και οξυγόνο, όπως προαναφέραμε, κατά την υπερφόρτιση. Συγκέντρωση υδρογόνου πάνω από 8% στον αέρα είναι πολύ επικίνδυνη, αν υπάρξει ένας σπινθήρας ή φλόγα στο χώρο αποθήκευσης. Συνήθως μια μπαταρία έχει κάλυμμα εξαερισμού και εντός αυτού θαλάμους διαχωρισμού αερίου και θειικού οξέος. Παρ’ όλα αυτά μερικές φορές στην οροφή της μπαταρίας εγκαθίσταται, λόγω του αερίου που παράγεται, μία πολύ διαβρωτική ουσία, η οποία πρέπει να απομακρύνεται σε τακτά χρονικά διαστήματα με πλύση (πρώτα με νερό, έπειτα με διάλυμα νερού και διττανθρακικού νατρίου και τέλος ξεβγάζεται με νερό). Αυτή η ουσία είναι αγώγιμη και δίνατε να προκαλέσει ρεύματα διαρροής, που θα εκφορτίσουν την μπαταρία. Τα καλώδια σύνδεσης της μπαταρίας δεν πρέπει να είναι ελαφριά, ούτε να έχουν υψηλή αντίσταση ( έτσι ώστε να αποφεύγονται οι απώλειες κατά την εκφόρτιση και να χρειάζεται μικρότερη τάση κατά την φόρτιση) και οι συνδέσεις πρέπει να είναι σφιχτές. Οι ακροδέκτες μπορεί να είναι είτε κωνικής θέσης (tapered post terminals), είτε κοχλίες με σπείρωμα (threaded stud) από χαλκό ή μόλυβδο. Οι ατσάλινοι ακροδέκτες διαβρώνονται πολύ εύκολα κάτω από τις συνθήκες λειτουργίας της μπαταρίας, οπότε χρειάζονται προσοχή και παρακολούθηση. Σε όλες τις μπαταρίες εκτός των στεγανοποιημένων (sealed type) πρέπει περιοδικά να προστίθεται απεσταγμένο νερό, ώστε να μένει στο κατάλληλο επίπεδο η συγκέντρωση του ηλεκτρολύτη. Το πόσιμο νερό είναι ακατάλληλο να προστεθεί σε μπαταρία λόγω των χημικών ενώσεων που περιέχει, γιατί θα αλλοιώσει την χημική σύνθεση του υγρού της. Ακόμα, δεν πρέπει να κρατάμε μια μπαταρία εκφορτισμένη και αχρησιμοποίητη για πολύ καιρό, γιατί είναι επικίνδυνο να υποστείθειΐκωση. Κατά την θειΐκωση μεγάλοι κρύσταλλοι θειικού άλατος του μολύβδου αναπτύσσονται πάνω στα ηλεκτρόδια της μπαταρίας, αντί των μικροσκοπικών κρυστάλλων που σε κανονικές συνθήκες υπάρχουν σε αυτά. Το φαινόμενο αυτό κάνει εξαιρετικά δύσκολη την επαναφόρτιση της μπαταρίας. Η θειΐκωση συμβαίνει πιο εύκολα σε υψηλότερες θερμοκρασίες και μπορούμε να την αναστρέψουμε μερικώς με προσεκτική ελεγχόμενη επαναφόρτιση της μπαταρίας.

Για να μπορούμε να ελέγχουμε την κατάσταση φόρτισης (SOC) χρησιμοποιούμε δύο τρόπους:

Πυκνόμετρα (hydrtometer). Τα καλύτερα έχουν ένα "πλωτήρα" και ένα θερμόμετρο ενσωματωμένο πάνω του, ώστε να μετράμε το SOC για διαφορετικές θερμοκρασίες.

Τάση εξόδου. Αν τα καλύμματα της μπαταρίας δεν μετακινούνται, μπορούμε να εκτιμήσουμε το SOC από μέτρηση της τάσης εξόδου της μπαταρίας, όταν εκφορτίζεται μέσω ρεύματος μικρότερου περίπου του 1Α και με χρησιμοποίηση του σχεδιαγράμματος του σχήματος 4.7 με τον κατάλληλο βαθμό εκφόρτισης.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

# ΒΑΣΙΚΑ ΣΤΑΔΙΑ ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗΣ ΣΕ ΑΥΤΟΝΟΜΟ Φ/Β ΣΥΣΤΗΜΑ ΠΟΥ ΛΕΙΤΟΥΡΓΕΙ ΓΙΑ ΤΗ ΤΡΟΦΟΔΟΤΗΣΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟΥ ΡΕΥΜΑΤΟΣ ΣΕ ΣΥΣΤΗΜΑ ΑΝΤΛΗΣΗΣ

# 5.1 Γενικά

Στην μελέτη αυτή θα ασχοληθούμε με αυτόνομα φ/β συστήματα, που έχουν σαν φορτίο D/C ή A/C ανάλογα με το συγκρότημα κινητήρα – αντλία. Ένα block-διάγραμμα ενός τέτοιου συστήματος είναι το παρακάτω.

|  |
| --- |
|  |
| **Σχήμα 5.1:** Βlock διάγραμμα αυτόνομου PV συστήματος. |

Η διαστασιολόγηση είναι το πιο σημαντικό μέρος μιας μελέτης του φ/β συστήματος. Τα στοιχεία που μελετάμε – ερευνάμε στη διαστασιολόγηση δεν είναι δυνατόν να απαντηθούν με απόλυτη ακρίβεια αλλά μπορούμε να τα προσεγγίσουμε με αρκετά μεγάλη ακρίβεια στηριζόμενοι πάντα σε οικονομοτεχνικά κριτήρια που θα καταστήσουν το σύστημα αξιόπιστο και με όσο το δυνατό χαμηλότερο κόστος και θα αποτρέψουν φαινόμενα υπερδιαστασιολόγησης με π.χ. φ/β πλαίσια περισσότερα από τα αναγκαία ή αριθμό μπαταριών περισσότερο από τον απαραίτητο. Έτσι η ερευνά μας θα κινηθεί πάνω στα εξής στοιχεία:

* Η εκτίμηση και καταγραφή της απαιτούμενης ενέργειας που χρειάζεται για να λειτουργήσει η αντλία για να καλύψει τις ανάγκες της συγκεκριμένης εφαρμογής (ύδρευση, άρδευση) που εξυπηρετεί το αντλητικό συγκρότημα.
* Η μέση ημερήσια ακτινοβολία, η μέση ημερήσια θερμοκρασία περιβάλλοντος, η ταχύτητα του ανέμου, ο συντελεστής νέφωσης της περιοχής, ακραία καιρικά φαινόμενα, είναι μερικά από τα μετεωρολογικά δεδομένα που θα πρέπει να λαμβάνουμε υπόψη. Τα παραπάνω διαφέρουν ανάλογα με το γεωγραφικό πλάτος (τοποθεσία φ/β εγκατάστασης). Έτσι καθορίζεται η κλίση των φ/β πλαισίων, καθώς επίσης ο αριθμός και η διάταξη τους.
* Η επιλογή κατάλληλου τύπου πλαισίων, ανάλογα με το τι υπάρχει στην αγορά, συγκρίνουμε μεταξύ τους τα τεχνικά και ηλεκτρικά χαρακτηριστικά
* Η χρήση συσσωρευτών στο σύστημα. Ο τύπος, η χωρητικότητα, το βάθος εκφόρτισης, η επίδραση της ηλικίας και η συχνότητα φόρτισης – εκφόρτισης, είναι μερικά από τα στοιχεία που λαμβάνουμε υπόψη στην επιλογή των συσσωρευτών.
* Πέρα από την ενέργεια που υπολογίσαμε στην αρχή για την χρήση των αντλιών, θα πρέπει να συνυπολογίσουμε στη διαστασιολόγηση και την ενέργεια που καταναλώνουν τα μηχανήματα (μπαταρίες, μετατροπείς DCAC, ρυθμιστές φόρτισης κ.α.) για να λειτουργήσουν.
* Η δεξαμενή αποθήκευσης, που διοχετεύεται το νερό που αντλείται από την αντλία. Η χωρητικότητα της και η τοποθεσία της λαμβάνεται υπόψη στους υπολογισμούς με σκοπό πάντα την ελαχιστοποίηση των απωλειών στο σύστημα και τον αριθμό ημερών που θέλουμε να καλύψουμε με νερό. Αυτό μπορεί να γίνει σε συνδυασμό με τις μπαταρίες με βάση πάντα το οικονομικότερο κόστος.

Τα βήματα που ακολουθούμε σε γενικές γραμμές στο στάδιο της διαστασιολόγησης είναι τα εξής:

Βήμα 1ο:**Υπολογισμός ισχύος αντλίας και επιλογή τύπου αυτής.**

Υπολογίζουμε την ισχύ που χρειάζεται η αντλία για να λειτουργήσει. Η οποία υπολογίζεται από τη σχέση:

 (5.1)

**Όπου:** Q**: η παροχή της αντλίας (m3/day),**

**ρ:**1000 kg/m3,

**g:**9,81 m/sec2 και

**Hμαν.:** το μανομετρικό ύψος σε (m)

**PT (Pumping Time)** είναι ο χρόνος άντλησης σε ώρες (h).

**PTF (Pumping Time Factor)** είναι ένας συντελεστής χρόνου άντλησης.

**nm-p** είναι η απόδοση του συστήματος κινητήρα – αντλίας.

Το **PTF** εισάγεται στους υπολογισμούς για να ληφθούν υπ’ όψιν τα ακόλουθα:

* Η χρήση των συσσωρευτών και
* Η λειτουργία ενός **MPPT**

Το γινόμενο **PT**Χ**PTF** αντιπροσωπεύει τον **ενεργό χρόνο άντλησης**.

Εάν στο σύστημα χρησιμοποιήσουμε **συσσωρευτές** τότε το PTF ισούται με το πηλίκο των **ωρών άντλησης/ ημέρα** προς το **PSH.** Εάν χρησιμοποιούμε σύστημα **MPPT** τότε επιτυγχάνεται αύξηση της αντλούμενης ποσότητας του ύδατος, που συνεπάγεται ουσιαστικά αύξηση του χρόνου άντλησης.. Η αύξηση αυτή είναι 20% συνήθως. Έτσι ο PTF = 1,2.Η απόδοση του συστήματος κινητήρα-αντλίας **nm-p** είναι για μικρά συστήματα περίπου 25%, ενώ αυξάνει για μεγαλύτερα.Με βάση την ισχύ του κινητήρα που υπολογίστηκε επιλέγεται η πλησιέστερη σε αυτή τιμή της ισχύος αντλίας του εμπορίου, η οποία με βάση το σχεδιασμό της ανταποκρίνεται συνήθως σε υπερφόρτιση κατά 25%.Προφανώς η ημερήσια ενέργεια **EL** (KWh/m2day) στην έξοδο της αντλίας θα είναι:

 (5.2)

**Βήμα 2ο: *Υπολογισμός ημερήσιας ενέργειας Ε της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας. Καταγραφή του PSH και της μέσης ημερήσιας θερμοκρασίας περιβάλλοντος για κάθε μήνα.***

Με βάση τη περιοχή που θα εγκατασταθούν τα φ/β πλαίσια καθορίζουμε σε ποια ζώνη του γεωγραφικού χώρου βρίσκονται (γεωγραφικό πλάτος), και από πίνακες παίρνουμε τις μέσες μηνιαίες τιμές της έντασης της ηλιακής ακτινοβολίας **ΙΤ** σε οριζόντιο επίπεδο και τις πολλαπλασιάζουμε με το συντελεστή μετατροπής *R* στο κεκλιμένο επίπεδο και διαιρώντας με των αριθμό ημερών του μήνα παίρνουμε την ενέργεια της ηλιακής ακτινοβολίας ανά m2 και ανά ημέρα **Ε** (KWh/m2day). Έτσι παίρνοντας για παράδειγμα την περιοχή της Αττικής όπου η κλίση των φ/β πλαισίων ως προς το οριζόντιο επίπεδο καθορίζεται σε β=45ο. Οι μέσες τιμές της ηλιακής ακτινοβολίας, το PSH και η θερμοκρασία του περιβάλλοντος για κάθε μήνα παρουσιάζονται στο παρακάτω πίνακα:

|  |
| --- |
|  |
|  |

Από τους μήνες του χρόνου επιλέγουμε αυτόν με την μικρότερη τιμή ηλιακής ακτινοβολίας (δυσμενέστερη περίπτωση) ώστε η διαστασιολόγηση “καλύπτοντας” αυτόν θα μπορεί να “καλύψει” και τους άλλους μήνες.

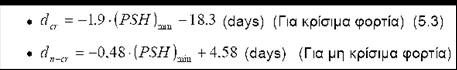
**Βήμα 3ο: Επιλογή κλίσης φ/β πλαισίων ως προς το οριζόντιο επίπεδο και προσανατολισμός αυτών.**

Η κλίση β των φ/β πλαισίων καθορίζεται συνήθως από τις σχέσεις: β = φ +- 15ο ή β = φ

Όπου φ το γεωγραφικό πλάτος του τόπου. Έχει αποδειχθεί πειραματικά ότι η κλίση των β = φ + 15ο για τους χειμερινούς μήνες. Για β = φ λαμβάνεται αν το σύστημα λειτουργεί στις άλλες εποχές. Οι φ/β συστοιχίες μπορεί να είναι σταθερές ή να ρυθμίζονται εποχιακά ή να περιστρέφονται κατά έναν ή δύο άξονες ακολουθώντας την πορεία του ήλιου. Με βάση τη κλίση των πλαισίων υπολογίζουμε όπως είδαμε πριν την ηλιακή ακτινοβολία που προσπίπτει σε αυτά, καθώς επίσης και το PSH που είναι αριθμητικά ίδιο με την ενέργεια της ηλιακής ακτινοβολίας.

**Βήμα 4ο: *Χρόνος αυτοδυναμίας του συστήματος.***

Μία σημαντική παράμετρος στη διαστασιολόγηση του συστήματος είναι η περίοδος αυτοδυναμίας του **d** σε ημέρες. Η παράμετρος αυτή επηρεάζει τόσο το μέγεθος και τον τύπο των συσσωρευτών, όσο και το μέγεθος και τον τύπο των φ/β πλαισίων που θα επιλεγούν καθώς επίσης και το συνολικό κόστος. Η περίοδος αυτοδυναμίας **d** καθορίζεται από τα φορτία που εξυπηρετεί το σύστημα. Έτσι διακρίνουμε δύο είδη συστημάτων με κρίσιμα και μη κρίσιμα φορτία. Στη πρώτη περίπτωση τα φορτία απαιτούν ενέργεια τουλάχιστον κατά το 99% του χρόνου, ενώ στη δεύτερη περίπτωση κατά 95% του χρόνου. Ο αριθμός **d** για κάθε περίπτωση είναι:

 (5.3)

**Βήμα 5ο :Επιλογή στοιχείων συστήματος**.

Επιλέγουμε φ/β πλαίσια, μετά από σχετική έρευνα αγοράς, καθώς επίσης ελεγκτή φόρτισης, μπαταρίες, ηλεκτρονικό σύστημα παρακολούθησης του M.P.P., μετατροπέα DC/AC (αν έχουμε αντλία που ο κινητήρας της λειτουργεί με εναλλασσόμενο ρεύμα). Τα παραπάνω έχουν συγκεκριμένα χαρακτηριστικά λειτουργίας και συγκεκριμένη απόδοση που θα χρησιμεύσουν στη διαστασιολόγηση του συστήματος. Η σωστή επιλογή των παραπάνω θα διαπιστωθεί στη πορεία της μελέτης.

**Βήμα 6ο :Καθορισμός απωλειών του συστήματος.**

Πριν τον υπολογισμό της ισχύος αιχμής **Ppv** της φ/β γεννήτριας θα πρέπει να ληφθούν υπ’ όψιν οι παρακάτω απώλειες ενέργειας σε συγκεκριμένα στοιχεία του συστήματος οι οποίες οφείλονται στην λειτουργία κάποιων συσκευών (όπως μετατροπείς τάσεως, μπαταρίες, ρυθμιστές φόρτισης κ.α.) και στη μεταφορά ρεύματος διαμέσου καλωδιώσεων. Έτσι έχουμε κατ’ εκτίμηση τις παρακάτω απώλειες:

1. Απώλειες 5% στις καλωδιώσεις, όταν η αντλία συνδέεται απευθείας με τη φ/β γεννήτρια.
2. Απώλειες 5% για ελεγκτή φόρτισης και καλωδιώσεις, όταν στο σύστημα υπάρχουν συσσωρευτές.
3. Απώλειες 10% λόγω της απόδοσης των συσσωρευτών (απόδοση συσσωρευτών λόγω φόρτισης-εκφόρτισης, γήρανσης κ.λπ. 90%).
4. Απώλειες 20% για τον μετατροπέας DC/AC, αν ο κινητήρας λειτουργεί με εναλλασσόμενο ρεύμα. (απόδοση μετατροπέα 80%).
5. Απώλειες περίπου 40% της φ/β γεννήτριας λόγω μη λειτουργίας περί το σημείο μέγιστης ισχύος (M.P.P.). Εάν χρησιμοποιείται ηλεκτρονικό σύστημα παρακολούθησης του σημείου μέγιστης ισχύος (M.P.P.T.), τότε οι απώλειες περιορίζονται στο 10% (απόδοση M.P.P.T. 90%).
6. Απώλειες 75% για το σύστημα κινητήρα- αντλίας ή και λιγότερες ανάλογα με το μέγεθός του.

**Βήμα 7ο :Προσδιορισμός της ισχύος αιχμής**

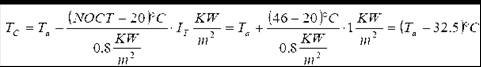
Μετά τον υπολογισμό των απωλειών η ενέργεια **EL** θα αυξηθεί λόγω των απωλειών και θα είναι **E′L**. Η ισχύ αιχμής **Ppv** θα είναι:

 (5.4)

Το PSH λαμβάνεται για τη δυσμενέστερη περίπτωση, το ελάχιστο μηνιαίο απ’ όλους τους μήνες.

**Βήμα 8ο:Διόρθωση της ισχύος που αποδίδουν τα φ/β πλαίσια λόγω της θερμοκρασίας λειτουργίας τους.**

Τα φ/β πλαίσια που επιλέγηκαν έχουν ορισμένα χαρακτηριστικά όπως έχουμε αναφέρει σε προηγούμενο κεφάλαιο. Τα χαρακτηριστικά αυτά (Isc, Voc, Pm, κ.λπ.) έχουν μετρηθεί κάτω από συνθήκες **S.T.C.** Όμως στην πραγματικότητα οι συνθήκες λειτουργίας είναι διαφορετικές. Επίσης γνωρίζοντας την **N.O.C.T.** (περίπου 46ο C) μπορούμε να προσδιορίσουμε την θερμοκρασία **TC** του φ/β πλαισίου η οποία θα είναι πολύ μεγαλύτερη από αυτή των 25ο C με βάση την οποία είχαν μετρηθεί τα χαρακτηριστικά του πλαισίου. Έτσι η **TC** θα είναι:

 (5.5)

Όπου **Τα** είναι η μέση ημερήσια θερμοκρασία περιβάλλοντος, η οποία δίνεται από τον πίνακα του βήματος 2 για την περίπτωση της περιοχής της Αττικής. Με βάση λοιπόν την νέα διορθωμένη θερμοκρασία λειτουργίας της φ/β γεννήτριας, υπολογίζουμε τα νέα μεγέθη Isc, Voc, FF, Pm που διαφοροποιούνται ορισμένα απ’ αυτά με τη μεταβολή της θερμοκρασίας. H **ISC** δεν επηρεάζεται από την θερμοκρασία. Ομοίως και ο παράγοντας πλήρωσης, **FF** (Fill Factor), δεν επηρεάζεται από την μεταβολή της **Τα**.

 (5.6)

Όπου **ns** ο αριθμός των φ/β στοιχείων στο φ/β πλαίσιο.

Έτσι η ισχύς που θα αποδίδουν τα φ/β πλαίσια στην θερμοκρασία **TC** θα είναι:

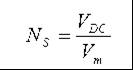
 (5.7)

**Βήμα 9ο :Υπολογισμός αριθμού φ/β πλαισίων.**

Ο αριθμός των φ/β πλαισίων που θα τοποθετηθούν υπολογίζεται από τη σχέση:

 (5.8)

Όπου **Pm** είναι η διορθωμένη τιμή της ισχύος αιχμής του φ/β πλαισίου που υπολογίσαμε στο προηγούμενο βήμα. Ο αριθμός των πλαισίων που θα συνδεθούν σε σειρά θα είναι:

 (5.9)

Όπου: **VDC,** η τάση εξόδου της φ/β γεννήτριας.

**Vm,** η τάση λειτουργίας του φ/β πλαισίου (τάση μέγιστης ισχύος) υπό S.T.C.

Η τάση **VDC** μπορεί να επιλεγεί από τα κριτήρια που θέτει ο παρακάτω πίνακας:



Ο αριθμός των φ/β πλαισίων εν παραλλήλω θα είναι:  (5.10)

**Βήμα 10ο :Υπολογισμός έκτασης φ/β σταθμού.**

Εφόσον γνωρίζουμε των αριθμό των πλαισίων που θα τοποθετηθούν σε σειρά και παράλληλα καθώς επίσης τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά των πλαισίων και τη κλίση τους ως προς το οριζόντιο επίπεδο, προχωράμε στον υπολογισμό της έκτασης του φ/β σταθμού. Η φ/β συστοιχία θα αποτελείται από NPV = NS х NP φ/β πλαίσια. Σχετικά με την σκίαση των φ/β συστοιχιών, επιλέγουμε τη δυσμενέστερη περίπτωση κλίσης του φ/β πλαισίου, όπως είδαμε στο βήμα 3. Το διάγραμμα του σχήματος 5.3, μας βοηθά στον προσδιορισμό της απόστασης ανάμεσα στις παράλληλες σειρές των φ/β συλλεκτών στις συστοιχίες, ώστε η μία σειρά να μην σκιάζει αισθητά την επόμενη.

|  |
| --- |
|  |
| **Σχημα 5.2** Υπολογισμος του πλατους στηριγματος |

Συγκεκριμένα, το διάγραμμα δίνει, ανάλογα με το γεωγραφικό πλάτος του τόπου, την ελάχιστη απαιτούμενη τιμή του λόγου της ελεύθερης απόστασης ανάμεσα στις δύο σειρές (**α**) προς την επικάλυψη του ύψους της κατασκευής στήριξης του συλλέκτη (**υ**). Αν **γ** είναι το πλάτος του στηρίγματος (που συμπίπτει με το πλάτος της φ/β συστοιχίας), **βσ** είναι η κλίση του και **δ** είναι η υψομετρική διαφορά ανάμεσα στα στηρίγματα των δύο σειρών (σχήμα 5.2), τότε το ύψος **υ** δίνεται από τη σχέση:

 (5.11)

Στη συνέχεια θα βρούμε με την βοήθεια του σχήματος 4.2 την αντίστοιχη τιμή του **α**, και από τη παρακάτω σχέση υπολογίζουμε το **ε**, δηλαδή την ελάχιστη απαιτούμενη απόσταση των σειρών.

 (5.12)

Το ύψος της κατασκευής στήριξης στο φ/β σταθμό στην περίπτωσή μας, όπου το δ=0, θα είναι:

 (5.13)

Αν S η συνολική επιφάνεια της φ/β συστοιχίας (PV array) τότε η οριζόντια προβολή της θα ισούται:

 (5.14)

Τελικά το εμβαδόν της οριζόντιας έκτασης SΤ που απαιτείται για την ανάπτυξη των φ/β συστοιχιών είναι:

 (5.15)

|  |
| --- |
|  |
| **Σχήμα 5.3** προσδιορισμό της απόστασης ανάμεσα στις παράλληλες σειρές των φ/β συλλεκτών στις συστοιχίες, ώστε η μία σειρά να μην σκιαζει αισθητα την επόμενη |

**Βήμα 11ο :Επιλογή τύπου συσσωρευτή**

Έχουμε υπολογίσει από πριν (βήμα 4ο) την περίοδος αυτοδυναμίας d του συστήματος. Προχωράμε στη συνέχεια στον υπολογισμό του φορτίου που θα πρέπει να καλύψουν οι μπαταρίες, που θα τοποθετήσουμε στο σύστημα, με βάση την περίοδος αυτοδυναμίας d. Το οποίο θα είναι:

 (5.16)

Η χωρητικότητα των συσσωρευτών όπως γνωρίζουμε, εξαρτάται από τη θερμοκρασία περιβάλλοντος. Έτσι ορίζουμε έναν συντελεστή διόρθωσης της χωρητικότητας **fb,T**, λόγω μεταβολής της θερμοκρασίας, ο οποίος είναι:

 (5.17)

Η χωρητικότητα εξαρτάται επίσης και από το ρυθμό φόρτισης – εκφόρτισης. Έτσι ορίζουμε και τον συντελεστή διόρθωσης της χωρητικότητας fb,ch, λόγω μεταβολής του ρυθμού φόρτισης – εκφόρτισης, ο οποίος είναι:

 (5.18)

Έτσι τελικώς η διορθωμένη χωρητικότητα **Cb** των συσσωρευτών λαμβάνοντας υπ’ όψιν την επίδραση της μεταβολής της θερμοκρασίας και της μεταβολής του ρυθμού φόρτισης – εκφόρτισης, για αυτοδυναμία **d** ημερών και για βάθος εκφόρτισης συσσωρευτή DOD, θα ισούται:

 (5.19)

Κατόπιν συγκρίνουμε την τιμή της διορθωμένης χωρητικότητας **Cb,** για **d** ημέρες αυτοδυναμίας, με το φορτίο **Q10** που αποδίδει η φ/β γεννήτρια για 10 ώρες, που θεωρείτε η κανονική περίοδος φόρτισης του συσσωρευτή. Αν **Cb** < **Q10**, τότε δεχόμαστε για συνολική χωρητικότητα, **Cολικό** ,των συσσωρευτών το φορτίο **Q10** που αποδίδει η φ/β γεννήτρια για 10 ώρες. Επομένως ο τύπος του συσσωρευτή που θα επιλέξουμε θα έχει τα εξής χαρακτηριστικά: ονομαστική χωρητικότητα **Cm,** τάση **Vb,m** η οποία θα είναι και τάση στα άκρα του μετατροπέα ή του κινητήρα απευθείας, αν δεν υπάρχει μετατροπέας και τέλος βάθος εκφόρτισης DOD το ίδιο που είχαμε θεωρήσει από την αρχή. Αν το φορτίο είναι κρίσιμο τότε DOD>0,2.

**Βήμα 12ο:Υπολογισμός αριθμού συσσωρευτών.**

Ο αριθμός των συσσωρευτών που θα συνδεθούν σε σειρά θα είναι:

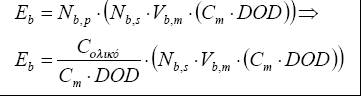
 (5.20)

Η τάση *VDC* είναι η τάση εισόδου στους συσσωρευτές, και η τάση *Vbm*, είναι η τάση του κάθε συσσωρευτή. Ο αριθμός των συσσωρευτών που θα συνδεθούν παράλληλα θα είναι:

 (5.21)

Όπου **Cm** είναι η ονομαστική χωρητικότητα του συσσωρευτή.

Οι αριθμοί που θα προκύψουν από τις παραπάνω σχέσεις στρογγυλοποιούνται πάντα προς τον πλησιέστερο ακέραιο προς τα πάνω. Για να επαληθεύσουμε αν όντως η ενέργεια που παίρνουμε από τις μπαταρίες καλύπτει τις ενεργειακές ανάγκες που δίνει η φ/β γεννήτρια, υπολογίζουμε την ενέργεια που παίρνουμε από τις μπαταρίες για d ημέρες. Η ενέργεια αυτή θα είναι:

 (5.22)

Η παραπάνω ενέργεια θα συγκριθεί με την ενέργεια **EPV** που παράγει η φ/β γεννήτρια για **d** ημέρες και η οποία ισούται: (KWh)

 (5.23)

**Βήμα 13ο:Υπολογισμός μέσης απόδοσης φ/β - αντλητικού συστήματος**

 (5.24)

όπου PL: ισχύς εξόδου αντλίας

μέση ένταση ηλιακής ακτινοβολίας

AC: επιφάνεια φ/β στοιχείου

nc,s: αριθμός φ/β στοιχείων πλαισίου συνδεδεμένα σε σειρά.

nc,p: αριθμός φ/β στοιχείων πλαισίου συνδεδεμένα σε παράλληλα.

Np,s: αριθμός φ/β πλαισίων σε σειρά

Np,p: αριθμός φ/β πλαισίων παράλληλα

**Βήμα 14ο :Υπολογισμός όγκου δεξαμενής αποθήκευσης νερού**

Κάνουμε τη διαστασιολόγηση στη δεξαμενή αποθήκευσης του νερού. Ο όγκος της δεξαμενής για μία ημέρα καθορίζεται από τη παροχή του νερού ανά ώρα επί των αριθμό ωρών άντλησης. Αφού υπολογίσουμε τον όγκο της δεξαμενής για μία ημέρα και με βάση τον αριθμό ημερών αυτονομίας του συστήματος υπολογίζουμε τον απαιτούμενο όγκο δεξαμενής πολλαπλασιάζοντας τον όγκο της μίας ημέρας επί των αριθμό ημερών αυτονομίας του συστήματος.

# 5.1 Κόστος

Ενδεικτικά, το κόστος ενός φωτοβολταϊκού σταθμού είναι 5.500 -6.000€ + ΦΠΑ/ kWp και περιλαμβάνει ό,τι απαιτείται, δηλαδή:   
Βασικό εξοπλισμό (Φ/Β γεννήτριες, αντιστροφείς, βάσεις, καλώδια κλπ.)  
Μεταφορικά,διαμόρφωση χώρου, περίφραξη κλπ.  
Κόστος σύνδεσης (σε μια απόσταση από το δίκτυο της τάξεως των 50-100 m).  
Απαιτούμενες μελέτες  
Επομένως, για κάποιους πρώτους υπολογισμούς, ως ενδεικτικό κόστος κατασκευής σταθμού ισχύος 100kWp, θεωρούμε περίπου 600.000€ +ΦΠΑ

# ****5.2 Συντήρηση φωτοβολταϊκού σταθμού****

Η μόνη πρακτικά συντήρηση που απαιτεί ένας σταθμός είναι ένας περιοδικός καθαρισμός των επιφανειών των Φ/Β γεννητριών και το κόστος της ασφάλισης του σταθμού το οποίο ωστόσο δεν έχει ακόμα προσδιοριστεί επακριβώς στην Ελληνική αγορά (12-13€/kWp/έτος στην Γερμανία).   
Στις επιχειρήσεις παρέχεται από τον Αναπτυξιακό Νόμο η δυνατότητα επιδότησης από 40-60% της αξίας του συστήματος

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

# ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ – ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΜΕΛΟΝΤΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ

Η υψηλή ετήσια ηλιοφάνεια στον ελλαδικό χώρο, σε συνδυασμό με την ανάγκη κάλυψης των ηλεκτρικών φορτίων σε πολλές απομακρυσμένες περιοχές αλλά και η υποστηρίξει του ηλεκτρικού δικτύου από καθαρές ενεργειακές πήγες, καθιστούν την εγκατάσταση ηλιακών φ/β συστημάτων μια ελκυστική τεχνολογικά και τις περισσότερες φορές βιώσιμη λύση.

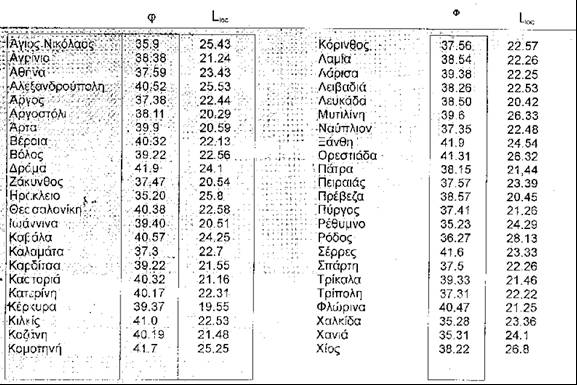
1. Από την μελέτη που κάναμε επάνω στην άντληση με φωτοβολταϊκά στοιχεία έχουμε βγάλει κάποια συμπεράσματα :
2. Είναι πολύ φιλικές προς το περιβάλλον, έχοντας ουσιαστικά μηδενικά κατάλοιπα και απόβλητα.
3. Είναι πολύ φιλικές προς το περιβάλλον, έχοντας ουσιαστικά μηδενικά κατάλοιπα και απόβλητα.
4. Μπορούν να βοηθήσουν την ενεργειακή αυτάρκεια μικρών και αναπτυσσόμενων χωρών, καθώς και να αποτελέσουν την εναλλακτική πρόταση σε σχέση με την οικονομία του πετρελαίου.
5. 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.
6. Ο εξοπλισμός είναι απλός στην κατασκευή και τη συντήρηση και έχει μεγάλο χρόνο ζωής.

Oι ΑΠΕ είναι αποκεντρωμένες πηγές ενέργειας και έτσι πρέπει να χρησιμοποιηθούν για την οικονομικότερη αξιοποίησή τους και τον περιορισμό των όποιων επιπτώσεων κυρίως οπτικών ενοχλήσεων που θέλουν να προβάλουν οι αντίπαλοι. Η εξέλιξη αυτή που έχει και τις λιγότερες επιπτώσεις μέχρι την αντιμετώπιση των προβλημάτων των δικτύων της μεταφοράς και διανομής θα μπορεί να επιτευχθεί με τη διευκόλυνση διάσπαρτης εγκατάστασης φ/β από μικροεπενδυτές

|  |
| --- |
|  |
| **Πίνακας συντελεστής τοπικών απωλειών Κ** |
|  |
| **Σχήμα 6.1: Στοιχεία σωληνογραμμής που προκαλούν τοπικές απώλειες.** |

|  |
| --- |
|  |
| **Σχήμα 6.2: Διάγραμμα Moody** |
|  |
| Σχήμα 6.3: Χωρισμός της χώρας σε ζώνες |

|  |
| --- |
|  |
| Σχήμα 6.4: Κύρια μετεωρολογικά δεδομένα των ζώων |



**ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ:**

ΒΙΒΛΙΑ:

* Σ. Καπάνης, *Τεχνολογία φωτοβολταϊκών συστημάτων,* Πάτρα 2002
* Ε. Βαζαίος, *Εφαρμογές της ηλιακής ενέργειας,* Αθήνα 1987
* Κ. Καγκαράκης, *Φωτοβολταϊκή τεχνολογία,* Αθήνα 1992
* Ν. Νανούσης, *Ρευστομηχανική,* Πάτρα 1998
* Κ. Ακριτίδης, *Αντλίες,* Θεσσαλονίκη 1985
* Π. Κόλλιας, *Υδρεύσεις,* Αθήνα 1998
* Μ. Κάπος, *Άντληση, ύδρευση, άρδευση,* Αθήνα 1991
* Κ. Σώρρας, *Βέλτιστος σχεδιασμός αυτόνομων φωτοβολταϊκών συστημάτων,* Διδακτορική διατριβή, Πανεπιστήμιο Πατρών 1989
* Γ. Φραγκιαδάκης, *Το φωτοβολταϊκό στοιχείο,* Ηράκλειο 1999
* Π. Παπασωτηρίου, *Ανάλυση και βέλτιστος υπολογισμός (sizing) αυτόνομων φωτοβολταϊκών συστημάτων,* Διπλωματική εργασία, Πανεπιστήμιο Πατρών 1991
* Γ. Γιαννακόπουλος, *Μελέτη αυτόνομων φωτοβολταϊκών συστημάτων,* Διπλωματική εργασία, Πανεπιστήμιο Πατρών 1992
* Β. Περράκη, *Φυσική των φωτοβολταϊκών στοιχείων*, Πάτρα 1998

**ΕΡΓΑΣΙΕΣ:**

* Π. Κούτρας, Γ. Τσιλιγκιρίδης, *Οικονομική εξέταση φωτοβολταϊκών σταθμών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας,* Πολυτεχνική Σχολή Α.Π.Θ.

**Sites:**

* [www.dppumps.gr](http://www.dppumps.gr)
* [www.anavalos.gr](http://www.anavalos.gr)
* [www.hydrokinisi.gr](http://www.hydrokinisi.gr)
* [www.solarelectric.com](http://www.solarelectric.com)
* [www.varta.com](http://www.varta.com)
* [www.cres.gr](http://www.cres.gr)
* [www.alternativepower.com](http://www.alternativepower.com)
* [www.terriin.org](http://www.terriin.org)
* [www.nrel.gov](http://www.nrel.gov)
* [www.solarwater.com](http://www.solarwater.com)
* [www.solarteam-rostock.de](http://www.solarteam-rostock.de)
* [www.solarserver.de](http://www.solarserver.de)
* [www.fsec.ucf.edu](http://www.fsec.ucf.edu)
* [www.pv.unsw.edu.au](http://www.pv.unsw.edu.au)
* [www.solarelectric.com](http://www.solarelectric.com)
* [www.soleco.fi](http://www.soleco.fi)
* [www.spitia.gr/greek](http://www.spitia.gr/greek)
* [www.eren.doe.gov](http://www.eren.doe.gov)