

Αυτόνομο υβριδικό σύστημα παραγωγής ενέργειας από Φωτοβολταϊκά  
και φυσικό αέριο



**ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΚΕΝΤΡΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ**  
**ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ Τ.Ε.**

## **ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**«ΑΥΤΟΝΟΜΟ ΥΒΡΙΔΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΑΠΟ  
ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΑ ΚΑΙ ΦΥΣΙΚΟ ΑΕΡΙΟ»**



**ΕΚΠΟΝΗΤΕΣ:**

**ΛΑΓΟΥΡΟΣ** Ευστράτιος του Κυριάκου

**M05458**

**ΜΗΤΡΕΛΗΣ** Νικόλαος του Κωνσταντίνου

**M05368**

**ΕΙΣΗΓΗΤΗΣ : ΠΡΟΔΡΟΜΟΥ** Ιωάννης

**ΣΕΡΡΕΣ ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ 2015**

### **ΠΕΡΙΛΗΨΗ**

Στην πτυχιακή εργασία που ακολουθεί, θα ασχοληθούμε με τη μελέτη ενός υβριδικού φωτοβολταϊκού συστήματος για την τροφοδότηση κατοικίας 150 τ.μ. στη Χίο. Το φωτοβολταϊκό αυτό σύστημα διαθέτει συσσωρευτές για την αποθήκευση της ηλεκτρικής ενέργειας καθώς και εφεδρική πηγή ενέργειας. Την εφεδρική πηγή ενέργειας θα αποτελέσει μια γεννήτρια φυσικού αερίου, η οποία και θα αναλάβει να καλύπτει πιθανές αιχμές φορτίου όταν αυτές εμφανίζονται στο σύστημα αλλά και να φορτίζει τους συσσωρευτές.

Αρχικά γίνεται μια αναφορά σε όλες τις πηγές ενέργειας, συμβατικές και ανανεώσιμες, προκειμένου να καταλήξουμε στην ηλιακή ενέργεια την οποία και εκμεταλλεύονται τα φωτοβολταϊκά συστήματα. Εδώ αναφέρονται τα πλεονεκτήματα, μειονεκτήματα και οι εφαρμογές των φωτοβολταϊκών συστημάτων.

Στη συνέχεια γίνεται λόγος για την ηλιακή ακτινοβολία, τη διακύμανσή της αλλά και για τους ηλιακούς συλλέκτες. Ο προσανατολισμός και η βέλτιστη κλίση των ηλιακών συλλεκτών θα μας απασχολήσει αρκετά. Επίσης αναφερόμαστε στην θεωρία του φωτοβολταϊκού φαινομένου και στα φωτοβολταϊκά στοιχεία. Στα υλικά και στις τεχνολογίες των φωτοβολταϊκών στοιχείων αλλά και στα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά τόσο των στοιχείων όσο και των πλαισίων.

Εν συνεχεία αναφερόμαστε στους συσσωρευτές που χρησιμοποιούνται για την αποθήκευση της ηλεκτρικής ενέργειας. Αναλυτικά βλέπουμε την δομή, την αρχή λειτουργίας, τις κατηγορίες, τους τύπους και όλα τα χαρακτηριστικά μεγέθη που περιγράφουν ένα συσσωρευτή.

Τα ηλεκτρονικά των φωτοβολταϊκών συστημάτων, δηλαδή τον ανιχνευτή μέγιστου σημείου ισχύος, το μετατροπέα DC-AC και τον ελεγκτή φόρτισης τα βλέπουμε και αυτά επίσης αναλυτικά μέσα την εργασία μας.

Αυτόνομο υβριδικό σύστημα παραγωγής ενέργειας από Φωτοβολταϊκά  
και φυσικό αέριο

Το θεωρητικό κομμάτι της εργασίας τελειώνει κάνοντας μια σύντομη αναφορά στη γεννήτρια του φυσικού αερίου που χρησιμοποιούμε και στη λειτουργία αυτής κατά την ενσωμάτωση της στο φωτοβολταϊκό σύστημα που μελετάμε.

Τέλος γίνεται η μελέτη του υβριδικού φωτοβολταϊκού συστήματος με Η/Ζ δηλαδή με γεννήτρια φυσικού αερίου για την τροφοδότηση κατοικίας 150 τ.μ. στην περιοχή της Χίου. Η μελέτη χωρίζεται σε τρία κύρια κομμάτια, στον υπολογισμό της ενεργειακής κατανάλωσης της κατοικίας, στον υπολογισμό του συστήματος που θα χρησιμοποιηθεί και στον τρόπο με τον οποίο θα καταμερισθεί η ισχύς ζήτησης.

***ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ***

Ξεκινώντας αυτή την εργασία δυσκολευτήκαμε αρκετά στο να συλλέξουμε ορθές πληροφορίες, αφού το διαδίκτυο κατακλύζεται από αρκετές πληροφορίες οι οποίες είναι αβάσιμες και χωρίς καμία τεκμηρίωση. Για τον λόγο αυτό ψάξαμε αρκετά, και καθοδηγούμενοι από ανθρώπους που ήταν γνώστες του αντικειμένου της εργασίας συλλέξαμε πληροφορίες που μας βοήθησαν γι να τελειοποιήσουμε την πτυχιακή μας εργασία.

Σε αυτό το σημείο θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε θερμά τον καθηγητή μας κ. ΙΩΑΝΝΗ ΠΡΟΔΡΟΜΟΥ, ο οποίος ήταν πάντα δίπλα μας και με τις συμβουλές του, αλλά και τις γνώσεις του μας βοήθησε για να περατωθεί αυτή η εργασία. Επίσης θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε τις οικογένειες μας που στάθηκαν δίπλα μας όλο αυτό το διάστημα των σπουδών μας, και με την συνεχή στήριξη τους μας έδωσαν την ώθηση για να επιτύχουμε τους στόχους μας.

Επίσης κλείνοντας θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε και όλους όσους μας βοήθησαν όπως μπορούσαν και με τον δικό τους τρόπο για να φτάσουμε σε αυτό το επιθυμητό αποτέλεσμα.

## **ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ**

	<b>ΣΕΛ.</b>
<b><u>ΕΙΣΑΓΩΓΗ :</u></b>	<b>1 - 9</b>
<b><u>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 :</u></b>	
<b>ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΑΥΤΟΝΟΜΩΝ ΥΒΡΙΔΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ</b>	
<b>ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ</b>	<b>10 - 14</b>
1.1 Αυτόνομο Υβριδικό Σύστημα	11
1.2. Εφαρμογή αυτόνομων υβριδικών συστημάτων	12 - 14
<b><u>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 :</u></b>	
<b>ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΗΣ ΜΟΝΑΔΑΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ</b>	
<b>ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ ΓΙΑ</b>	
<b>ΑΥΤΟΝΟΜΟ ΥΒΡΙΔΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ</b>	<b>15 - 34</b>
2.1 Φωτοβολταϊκά Συστήματα	18
2.2 Εφαρμογές Φωτοβολταϊκών Συστημάτων	18
2.2.1 Κυριότερες κατηγορίες εφαρμογών	
Φωτοβολταϊκών Συστημάτων	19 - 21
2.3 Κατηγορίες Φωτοβολταϊκών Συστημάτων	21 - 22
2.4 Χαρακτηριστικές καμπύλες λειτουργίας	
φωτοβολταϊκών συστημάτων	23 - 28
2.5 Ο βαθμός απόδοσης	29 - 32
2.6 Αυτόνομα Φ/Β Συστήματα	33
2.7 Εξέλιξη της Εγκατεστημένης Ισχύος	
των Φωτοβολταϊκών στην Ελλάδα	34
<b><u>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 :</u></b>	
<b>ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΜΟΝΑΔΑΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ</b>	
<b>ΑΠΟ ΦΥΣΙΚΟ ΑΕΡΙΟ ΓΙΑ ΑΥΤΟΝΟΜΟ ΥΒΡΙΔΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ</b>	<b>35 - 38</b>
3.1 Χρήσεις του μεθανίου	36
3.2 Εισαγωγή φυσικού αερίου στην Ελλάδα	37 - 38

**ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 :**

**ΒΑΣΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΥΒΡΙΔΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΜΕ**

**ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΑ (ΦΒ) ΚΑΙ ΗΛΕΚΤΡΟΠΑΡΑΓΩΓΟ ΖΕΥΓΟΣ (HZ) 39 - 44**

- 4.1. Φωτοβολταϊκό Υβριδικό Σύστημα  
    με Ηλεκτροπαραγωγό Ζεύγος 39 - 40
- 4.2. Δεξαμενή αποθήκευσης φυσικού αερίου 41
- 4.3. Επιλογή ισχύος φωτοβολταϊκών 42
- 4.4. Επιλογή ισχύος HZ 42 - 44
- 4.5. Λειτουργία του υβριδικού συστήματος 44

**ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 :**

**ΕΞΕΤΑΣΗ ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΩΝ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ ΠΑΡΑΓΩΜΕΝΗΣ**

**ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ 44 - 60**

- 5.1. Δομή Συσσωρευτών 45 - 46
- 5.2. Αρχή Λειτουργίας Συσσωρευτών 46 - 47
- 5.3. Κατηγορίες Στοιχείων και Συσσωρευτών 47 - 48
- 5.4. Τύποι Συσσωρευτών 48 - 51
- 5.5. Κύκλος Λειτουργίας (DUTY CYCLE) 51 - 53
- 5.6. Χαρακτηριστικά Μεγέθη ενός Συσσωρευτή 53 - 60

**ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 :**

**ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΕΛΕΓΧΟΥ ΚΑΙ ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗΣ ΤΗΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΕΙΑΣ ΤΟΥ**

**ΥΒΡΙΔΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ 61 - 74**

- 6.1. Μονάδες Μετατροπής Ισχύος 62 - 63
- 6.2. Μετατροπέας (inverter) DC-AC 63 - 68
- 6.3. Κατάσταση λειτουργίας 68 - 71
- 6.4 Απόδοση 71 - 72
- 6.5 Ελεγκτής φόρτισης 72
- 6.6 Παράλληλος Ρυθμιστής Φόρτισης (Shunt controller) 73
- 6.7 Ρυθμιστής φόρτισης σε σειρά (Series controller) 74

**ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7:**

**ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΜΙΑΣ ΕΠΕΝΔΥΣΗΣ**

<b>ΑΥΤΟΝΟΜΟΥ ΥΒΡΙΔΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ</b>	<b>75 - 99</b>
7.1. Ηλεκτρική Ενέργεια Κατανάλωσης Κατοικίας	76 - 81
7.2. Υπολογισμός Υβριδικού Φωτοβολταϊκού Συστήματος	81 - 92
7.3. Καταμερισμός της ισχύος ζήτησης	92 - 96
7.4. Συμπεράσματα	96 - 99

## ***ΕΙΣΑΓΩΓΗ***

Μετά τη βιομηχανική επανάσταση, η άποψη πως υπάρχει τεράστια αφθονία σε φυσικά διαθέσιμα και μεγάλη επάρκεια σε ενεργειακούς πόρους οδήγησε την ανθρωπότητα να βασιστεί σε ένα πρότυπο ανάπτυξης, κύριο χαρακτηριστικό του οποίου ήταν η κατασπατάληση των ενεργειακών και φυσικών πόρων και η συνεχής υποβάθμιση του περιβάλλοντος. Για πάνω από μια εικοσαετία, ο πλανήτης έχει έρθει αντιμέτωπος με τα αρνητικά αποτελέσματα αυτών των πολιτικών, κοινωνικών, οικονομικών και πολιτιστικών επιλογών, για τα οποία ζητά να βρει λύσεις.

Σήμερα, με τη βοήθεια της επιστήμης και της τεχνολογίας, υπάρχει πλήθος επιλογών που μπορούν να εγγυηθούν την ενεργειακή επάρκεια της ανθρωπότητας, την προστασία του περιβάλλοντος, την υψηλή τεχνική αξιοπιστία και την οικονομική εφικτότητα των επενδύσεων. Σε αυτές τις επιλογές, πρωταγωνιστικό ρόλο παίζουν και οι Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας, η αξιοποίηση των οποίων εάν συνδυαστεί με την προσπάθεια εξοικονόμησης συμβατικών ενεργειακών πηγών και με την ορθολογική διαχείριση της ενέργειας θα δώσει τη δυνατότητα ανατροπής του σημερινού ενεργειακού σκηνικού, το οποίο τυγχάνει καταναλωτικά ασύδοτο, οικονομικά άνισο και κοινωνικά άδικο.

Η Ελλάδα, ακολουθώντας τις οδηγίες και τους κανονισμούς της Ευρωπαϊκής Ένωσης, έχει κάνει την τελευταία δεκαετία σημαντικά βήματα στην αξιοποίηση των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΑΠΕ), τα οποία, όμως, δε μπορούν σε καμιά περίπτωση να θεωρηθούν επαρκή, δεδομένων των σημερινών ενεργειακών αναγκών. Η λειτουργία των θερμικών σταθμών ηλεκτροπαραγωγής, οι οποίοι εξυπηρετούν τις ενεργειακές απαιτήσεις της Ελλάδας, η εξάρτηση των πολυπληθών και διάσπαρτων νησιών της χώρας από το πετρέλαιο και η συγκεντρωμένη λειτουργία σταθμών παραγωγής ενέργειας από ΑΠΕ, συνθέτουν το ενεργειακό σκηνικό της Ελλάδας, το οποίο πια δε συνάδει με τις σύγχρονες απαιτήσεις της κοινωνίας. Το 2008 το ποσοστό παραγωγής ηλεκτρισμού από ΑΠΕ έφτασε μόλις στα μισά του ευρωπαϊκού στόχου, ο οποίος, σύμφωνα με την Κοινοτική Οδηγία 2009/28/ΕΚ, έχει καθοριστεί στο 20% της συνολικής ηλεκτροπαραγωγής μέχρι το 2020.

Αυτόνομο υβριδικό σύστημα παραγωγής ενέργειας από Φωτοβολταϊκά και φυσικό αέριο

**Τα βασικά μέρη ενός αυτόνομου ΦΒ συστήματος είναι:**

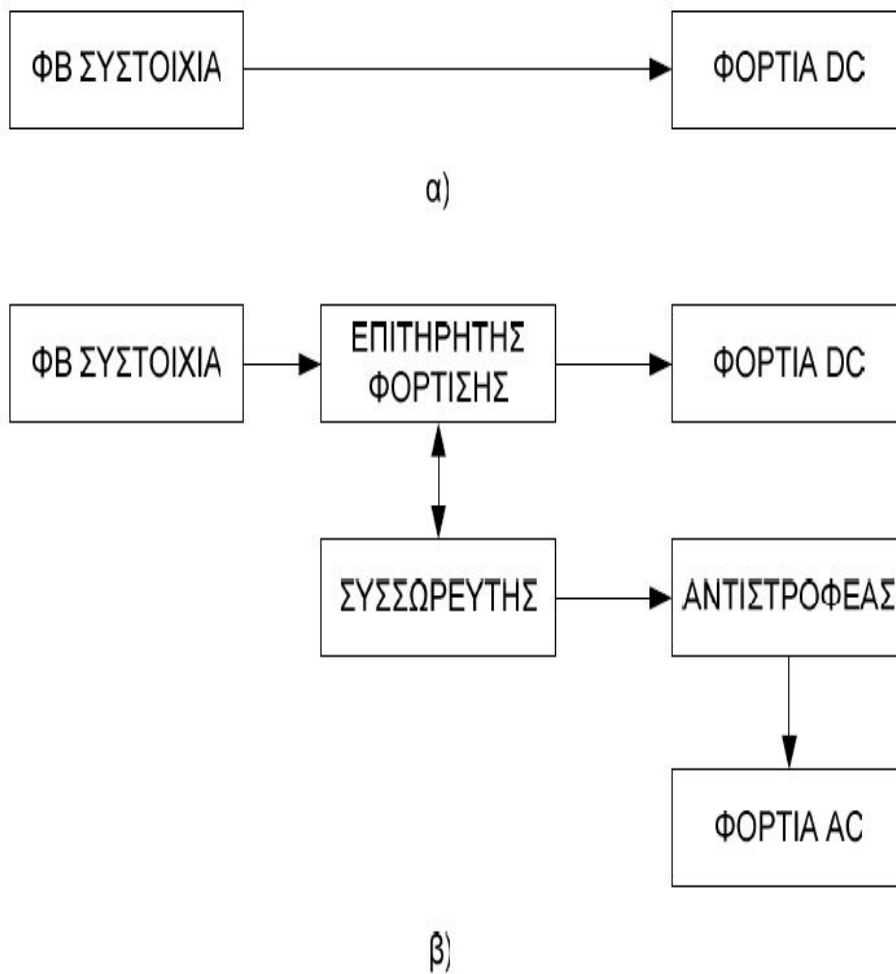
- Οι φωτοβολταϊκοί συλλέκτες.
- Οι αντιστροφείς.
- Οι μετατροπείς τάσης DC/AC.
- Οι ελεγκτές φόρτισης μπαταριών.
- Οι μπαταρίες βαθιάς εκφόρτισης (Τράπεζα μπαταριών)



Εικόνα 1 : Οικία εξοπλισμένη με αυτόνομο Φ/Β σύστημα



Αυτόνομο υβριδικό σύστημα παραγωγής ενέργειας από Φωτοβολταϊκά  
και φυσικό αέριο



Εικόνα 2 : Στοιχεία μονάδος Φ/Β

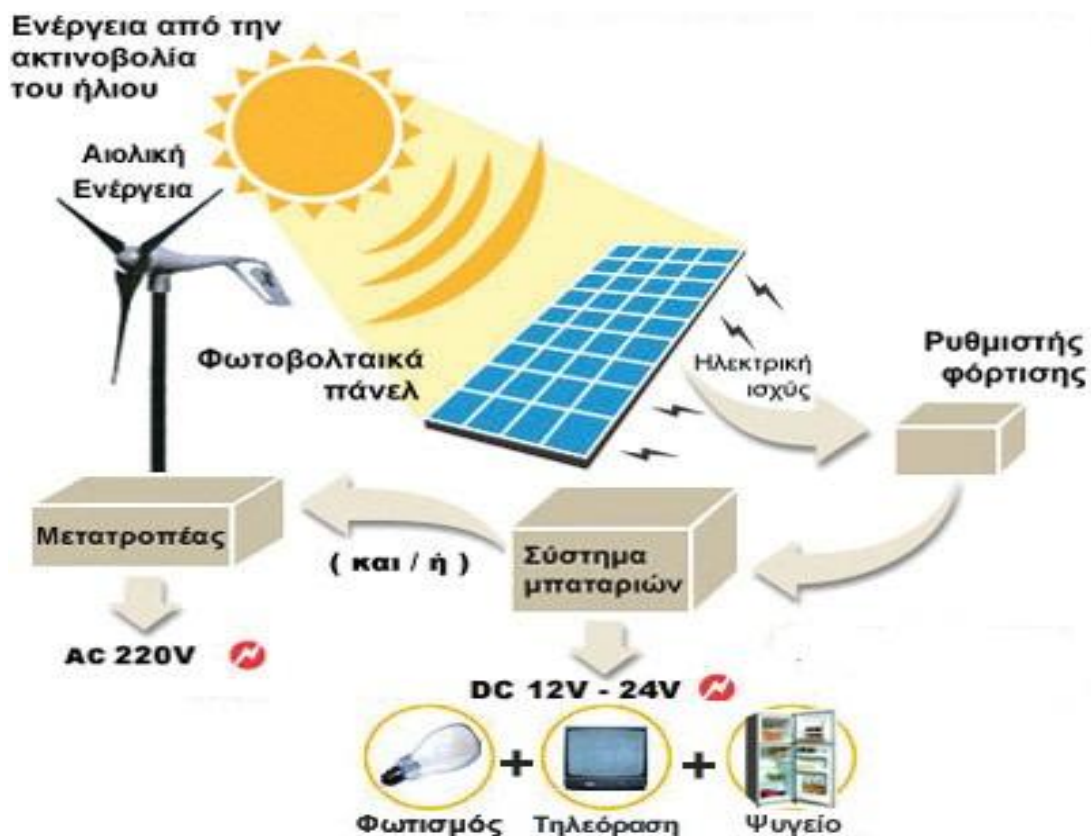
Όταν η απαιτούμενη ηλεκτρική ενέργεια δεν καλύπτεται από τη Φ/Β συστοιχία σε αυτόνομα Φ/Β συστήματα τότε χρησιμοποιείται ο συνδυασμός της με κάποια άλλη πηγή ηλεκτρικής ενέργειας. Αυτές οι πηγές μπορεί να είναι συμβατικών καυσίμων ή από Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (Α.Π.Ε). Κυρίως χρησιμοποιούνται ηλεκτροπαραγωγό ζεύγος ή ανεμογεννήτριες αντίστοιχα. Συχνά στα συστήματα αυτά προβλέπεται αποθήκευση της παραγόμενης ενέργειας. Χαρακτηριστικά παραδείγματα αποτελούν εφαρμογές στις οποίες υπάρχει μεγαλύτερη ανάγκη ηλεκτρικής ενέργειας σε σχέση με αυτά που προαναφέρθηκαν παραπάνω όπως Ιερές Μονές και εξοχικές κατοικίες. Χαρακτηριστική εφαρμογή αποτελεί η ενσωμάτωση Φ/Β συστημάτων σε κατοικίες η μελέτη μίας εκ των οποίων αποτελεί το αντικείμενο της παρούσας εργασίας.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

### ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΑΥΤΟΝΟΜΩΝ ΥΒΡΙΔΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

#### Υβριδικά συστήματα

Τα υβριδικά συστήματα παράγουν ενέργεια (εικόνα 1.1) χρησιμοποιώντας διαφορετικές πηγές ενέργειας, οι οποίες μπορεί να είναι συμβατικές ή ανανεώσιμες. Σε συνδυασμό με μια διάταξη εξαρτημάτων και οργάνων και ένα σημαντικό σύστημα ελέγχου παρέχεται ηλεκτρική ενέργεια στην απαιτούμενη ποιότητα. Τα εξαρτήματα για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας μπορούν να αξιοποιήσουν τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, όπως ανεμογεννήτριες, φωτοβολταϊκά, ηλιακή θερμική ενέργεια, υδροηλεκτρική ενέργεια, κυματική ενέργεια ή τη βιομάζα κλπ. Επιπλέον, στο υβριδικό μας σύστημα μπορούν να προστεθούν γεννήτριες, αεριοστρόβιλοι ή κυψέλες καυσίμου που θα κάνουν το σύστημα μας πιο αξιόπιστο και πιο λειτουργικό.



Εικόνα 1 : Υβριδικό σύστημα ηλεκτροπαραγωγής

### **1.1. Αυτόνομο Υβριδικό Σύστημα**

Αυτόνομο σύστημα είναι το σύστημα που δεν είναι συνδεδεμένο με το κεντρικό ηλεκτρικό δίκτυο. Το σύστημα αυτό ονομάζεται και Υβριδικό Ενεργειακό Σύστημα αν περιλαμβάνει περισσότερες από μία ενεργειακές πηγές. Απαρτίζεται από πολλές ταυτόχρονα ενεργειακές πηγές και συνοδεύεται από τον κατάλληλο ηλεκτρονικό εξοπλισμό για έλεγχο και επιτήρηση της λειτουργίας τους.

Οι βασικές κατηγορίες συστημάτων που αποτελούν ένα υβριδικό σύστημα είναι:

- **Ανεμογεννήτρια (Α/Γ)**
- **Φωτοβολταϊκά πλαίσια (Φ/Β)**
- **Ηλεκτροπαραγωγό ζεύγος (Η/Ζ)**

Η εγκατάσταση μόνο φωτοβολταϊκών στοιχείων ή ανεμογεννητριών για την παράγωγή ηλεκτρικού ρεύματος έτσι ώστε να εξυπηρετήσει εξ ολοκλήρου τις ανάγκες μιας εγκατάστασης να μην είναι εφικτή άλλα οικονομική ασύμφορη .

Για παράδειγμα στην περίπτωση μιας κατοικίας, το πρόβλημα εστιάζεται όταν τεθούν σε λειτουργία συσκευές όπως π.χ. Πλυντήριο , κουζίνα ,σιδερωτήριο κ.α. Μια ΑΠΕ είναι δυνατό στη διάρκεια μιας χρονικής περιόδου να παράγει την ενέργεια που χρειαζόμαστε. Αν όμως θέλουμε να εξασφαλίσουμε ότι θα μπορεί πάντα να μας παρέχει την απαιτούμενη ισχύ τότε θα έπρεπε να την υπερδιαστασιολογήσουμε. Πέραν αυτού οι ΑΠΕ συνήθως είναι διαθέσιμες όταν δε τις χρειαζόμαστε και δεν είναι διαθέσιμες όταν τις χρειαζόμαστε. Συνεπώς υπάρχει ανάγκη αποθήκευσης της ενέργειας των ΑΠΕ όταν αυτή είναι διαθέσιμη ώστε να χρησιμοποιηθεί όταν η ΑΠΕ δεν είναι διαθέσιμη. Η αποθήκευση αυτή γίνεται συνήθως σε συσσωρευτές.

Το μέγεθος των συσσωρευτών (χωρητικότητα Ah) θα πρέπει να είναι ικανό να διαχειριστεί καταστάσεις απότομης μεταβολής φορτίου (αποφόρτιση και εκφόρτιση) σε άλλη δε περίπτωση να αδειάσει και επιπλέον να καταστραφεί. Σε αυτές τις περιπτώσεις μπορούν να χρησιμοποιηθούν μπαταρίες μολύβδου τόσο με επίπεδες πλάκες όσο και ειδικές μπαταρίες με σωληνωτές θετικές πλάκες μεγάλης αντοχής, 1500 κύκλων και ικανότητας βαθιών εκφορτίσεων.

### **1.2. Εφαρμογή αυτόνομων υβριδικών συστημάτων**

Σε μεγαλύτερα συστήματα, όπου οι απαιτήσεις αλλάζουν, συνήθως το κόστος εμποδίζει την σωστή κάλυψη της εγκατάστασης μας από συσσωρευτές. Η ανάγκη για αποθήκευση θα οδηγούσε σε απαίτηση για πολύ μεγάλους συσσωρευτές. Σε αυτές τις περιπτώσεις στο σύστημα προστίθεται μια ηλεκτρογεννήτρια η οποία λειτουργεί με την βοήθεια ενός κινητήρα συμβατικού καυσίμου. Για να πετύχουμε το αποτέλεσμα της καλής λειτουργίας στο δίκτυο μας, πρέπει το σύστημα μας να ανταποκρίνεται στη ζήτηση του δικτύου μας όταν αυτό βρίσκεται σε πλήρη λειτουργία, οποιαδήποτε χρονική στιγμή και για μεγάλο χρονικό διάστημα. Για να αποφευχθούν βραχυπρόθεσμες πτώσεις τάσης χρησιμοποιούνται αποθήκες ενέργειας. Αυτές οι αποθήκες παρέχουν υψηλή ισχύ για σύντομες περιόδους.

Σε γενικές γραμμές, τα υβριδικά συστήματα πρέπει να ανταποκρίνονται σε διάφορες απαιτήσεις, ανάλογα με τις συσκευές που εξυπηρετούν, από τη συμπεριφορά των καταναλωτών, από τις απαιτήσεις του καταναλωτή για την ποιότητα του ηλεκτρικού ρεύματος, και οι πηγές ενέργειας θα πρέπει να είναι διαθέσιμες σε τοπικό επίπεδο. Για παράδειγμα σε κεραιές κινητής τηλεφωνίας (εικόνα 1.2.1) η απαιτούμενη ισχύς είναι σχεδόν σταθερή στο χρόνο σε αντίθεση με την τροφοδοσία οικισμών που η απαιτούμενη ισχύς αυξομειώνεται συνεχώς.



Εικόνα 1.2.1 : Κεραιές κινητής τηλεφωνίας με Υβριδικό συστήματα

## Αυτόνομο υβριδικό σύστημα παραγωγής ενέργειας από Φωτοβολταϊκά και φυσικό αέριο

Η ενσωμάτωση της αιολικής ενέργειας (εικόνα 1.2.2) σε μια περιοχή με ικανοποιητικό αιολικό δυναμικό απαιτεί διαφορετικά χαρακτηριστικά ενός υβριδικού συστήματος ηλεκτροπαραγωγής από μια μονάδα υδροηλεκτρικής ενέργειας συνεχώς σε λειτουργία. Υπάρχουν πολλές παράμετροι που θα πρέπει να ληφθούν υπόψη στο σχεδιασμό ενός συστήματος εάν θέλουμε αυτό, όχι μόνο να παράγει ηλεκτρική ενέργεια με αποδοτικό τρόπο, αλλά και να προσφέρει την παραγόμενη ισχύ εντός των προδιαγεγραμμένων ορίων επιπέδου ποιότητας (τάση, συχνότητα κλπ)



Εικόνα 1.2.2 : Ενσωμάτωση της αιολικής ενέργειας σε υβριδικό συστήματα

Τα υβριδικά συστήματα μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε περιοχές, για παροχή ρεύματος, όπου η δυνατότητα ηλεκτροδότησης από την ΔΕΗ μπορεί να χαρακτηριστεί αδύνατη ή πολύ δαπανηρή. Υπάρχουν μεγάλες δυνατότητες για την ηλεκτροδότηση των αγροτικών περιοχών, ιδίως με τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας που μπορούν να βρεθούν στις αναπτυσσόμενες χώρες. Δυστυχώς, η αγορά αυτών των συστημάτων δεν έχει αναπτυχθεί σε σημαντική κλίμακα ακόμη, διότι δεν υπάρχει το

## Αυτόνομο υβριδικό σύστημα παραγωγής ενέργειας από Φωτοβολταϊκά και φυσικό αέριο

κατάλληλο οικονομικό ή και πολιτικό πλαίσιο που θα επέτρεπε ή θα έδινε κίνητρο για τέτοιες επενδύσεις.

Επιπλέον, σε πολλές χώρες η απαιτούμενη υποδομή για τη συναρμολόγηση, λειτουργία και συντήρηση των πολύπλοκων τεχνικών συστημάτων δεν είναι διαθέσιμη τοπικά. Το 2005, η Παγκόσμια Ένωση Αιολικής Ενέργειας σε υβριδικά συστήματα, συνέστησε ομάδα εργασίας. Στόχος της είναι να παρέχει μια πλατφόρμα για συζητήσεις σχετικά με όλα τα προβλήματα που αφορούν Υβριδικά συστήματα ανοίγοντας το δρόμο για αυξημένη αξιοποίηση Υβριδικού συστήματος ισχύος.

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2**

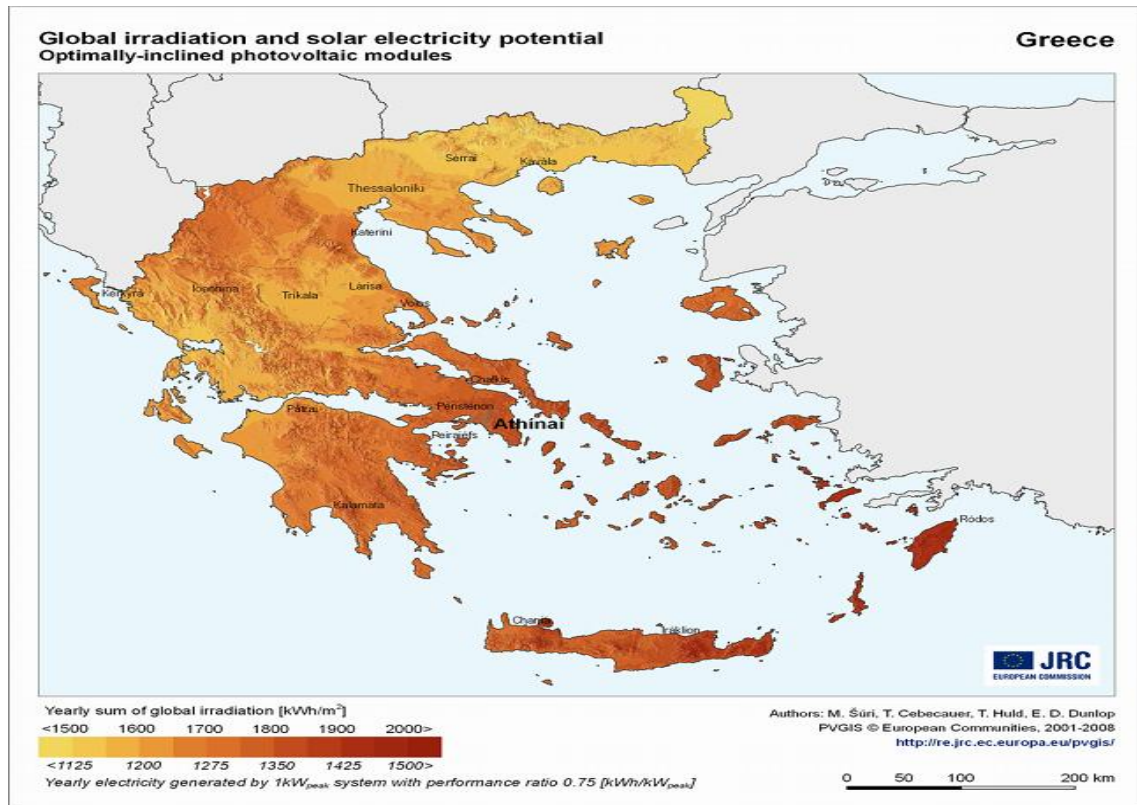
### **ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΗΣ ΜΟΝΑΔΑΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ ΓΙΑ ΑΥΤΟΝΟΜΟ ΥΒΡΙΔΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ**

#### ***Ηλιακή ενέργεια***

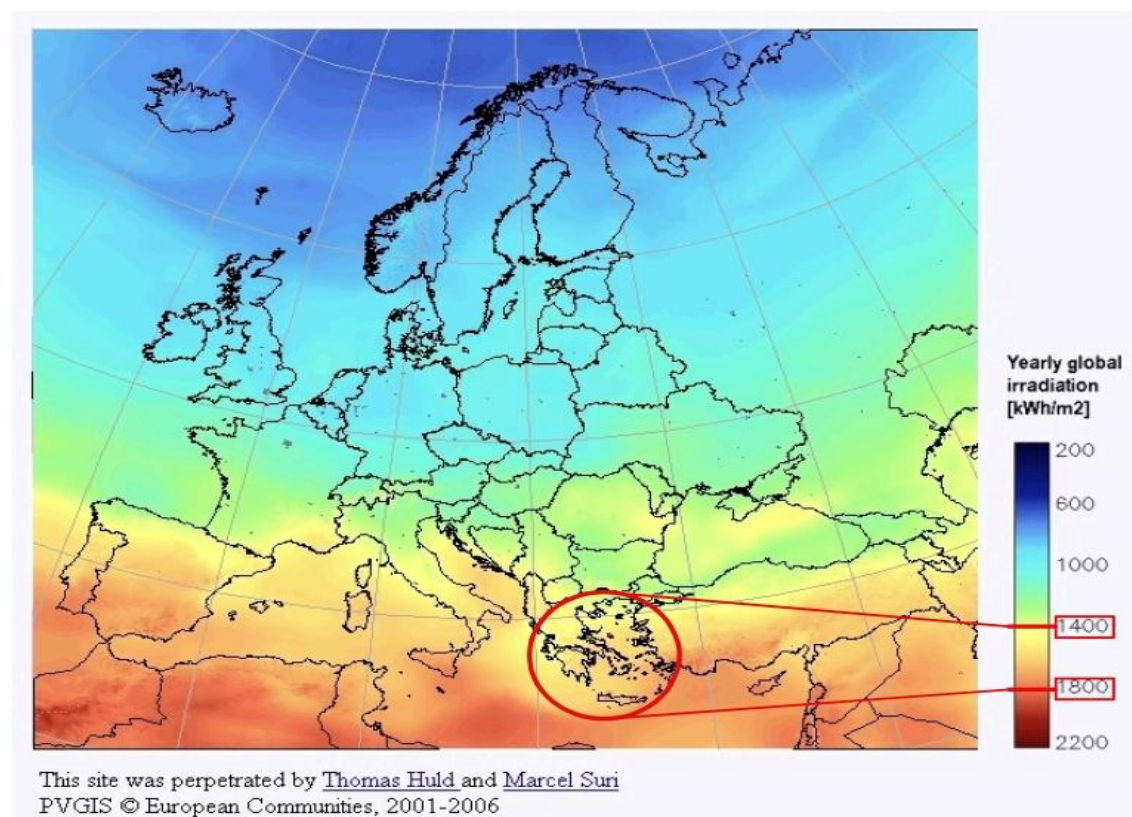
Ηλιακή ενέργεια χαρακτηρίζεται το σύνολο των διαφόρων μορφών ενέργειας που προέρχονται από τον Ήλιο. Η ηλιακή ενέργεια φθάνει στη γη μόνο μέσω ακτινοβολίας. Αυτή η ακτινοβολία παρέχεται σε διαφορετικά μήκη κύματος. Ένα τμήμα της αντιστοιχεί στην υπεριώδη ακτινοβολία, ένα τμήμα στην ορατή (η οποία αναφέρεται κάποιες φορές και ως ηλιακή ακτινοβολία) και ένα τμήμα της ως υπέρυθρη (η οποία κάποιες φορές αναφέρεται ως θερμική ακτινοβολία). Η ηλιακή ενέργεια στο σύνολό της είναι πρακτικά ανεξάντλητη, αφού προέρχεται από τον ήλιο, και ως εκ τούτου δεν υπάρχουν περιορισμοί χώρου και χρόνου για την εκμετάλλευσή της.

Η ηλιακή ακτινοβολία παρέχει ένα τεράστιο ποσό ενέργειας στη γη. Το συνολικό ποσό ενέργειας που ακτινοβολείτε από τον ήλιο στην επιφάνεια της γης είναι ίσο με 10.000 φορές περίπου την ετήσια παγκόσμια ενεργειακή κατανάλωση. Παρακάτω βλέπουμε τον χάρτη της Ελλάδας (εικόνα 2.1) με τις ζώνες ηλιοφάνειας κατά τόπους, στην συνέχεια τον Ευρωπαϊκό χάρτη ηλιοφάνειας (εικόνα 2.2) και τέλος τον παγκόσμιο χάρτη ηλιοφάνειας (εικόνα 2.3).

Αυτόνομο υβριδικό σύστημα παραγωγής ενέργειας από Φωτοβολταϊκά και φυσικό αέριο



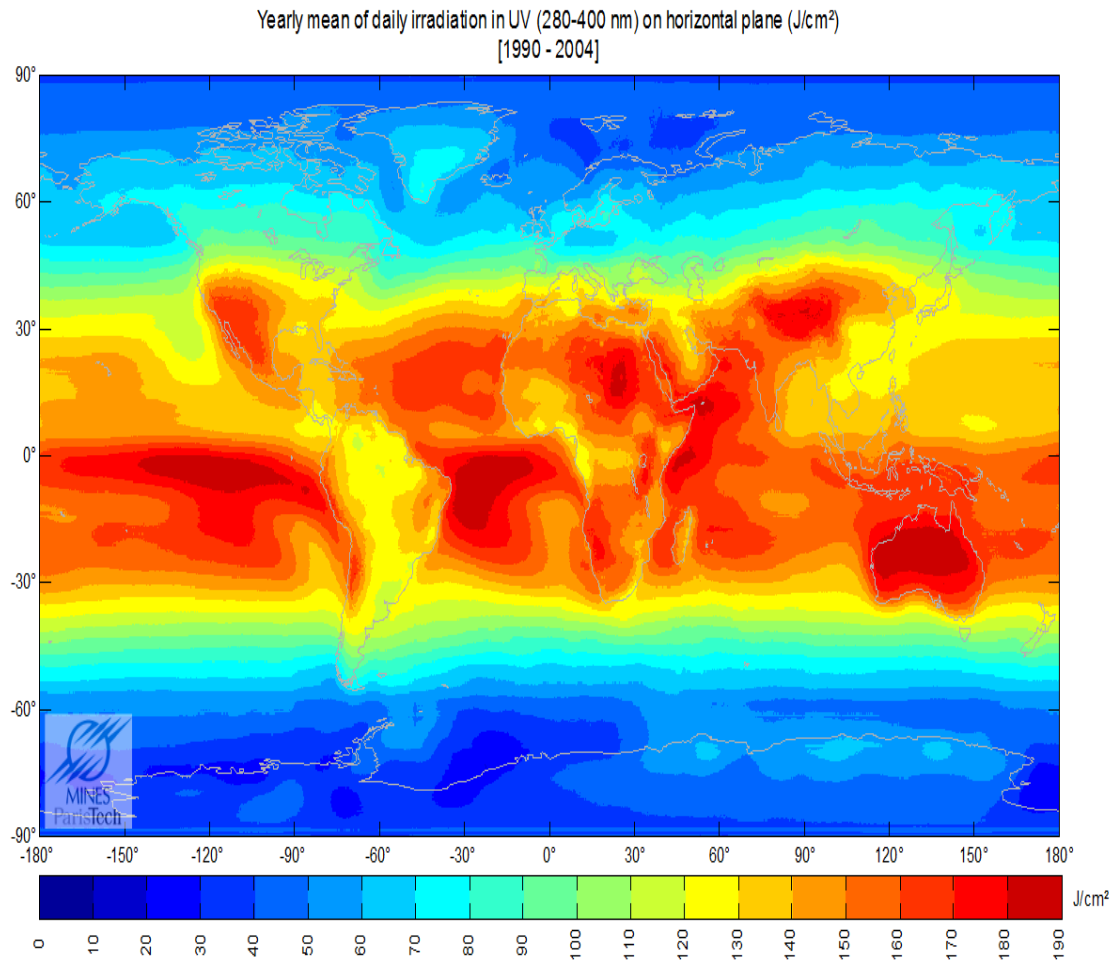
Εικόνα 2.1 : Ο χάρτης της Ελλάδας με τις ζώνες ηλιοφάνειας



Εικόνα 2.2 : Ο Ευρωπαϊκός χάρτης με τις ζώνες ηλιοφάνειας



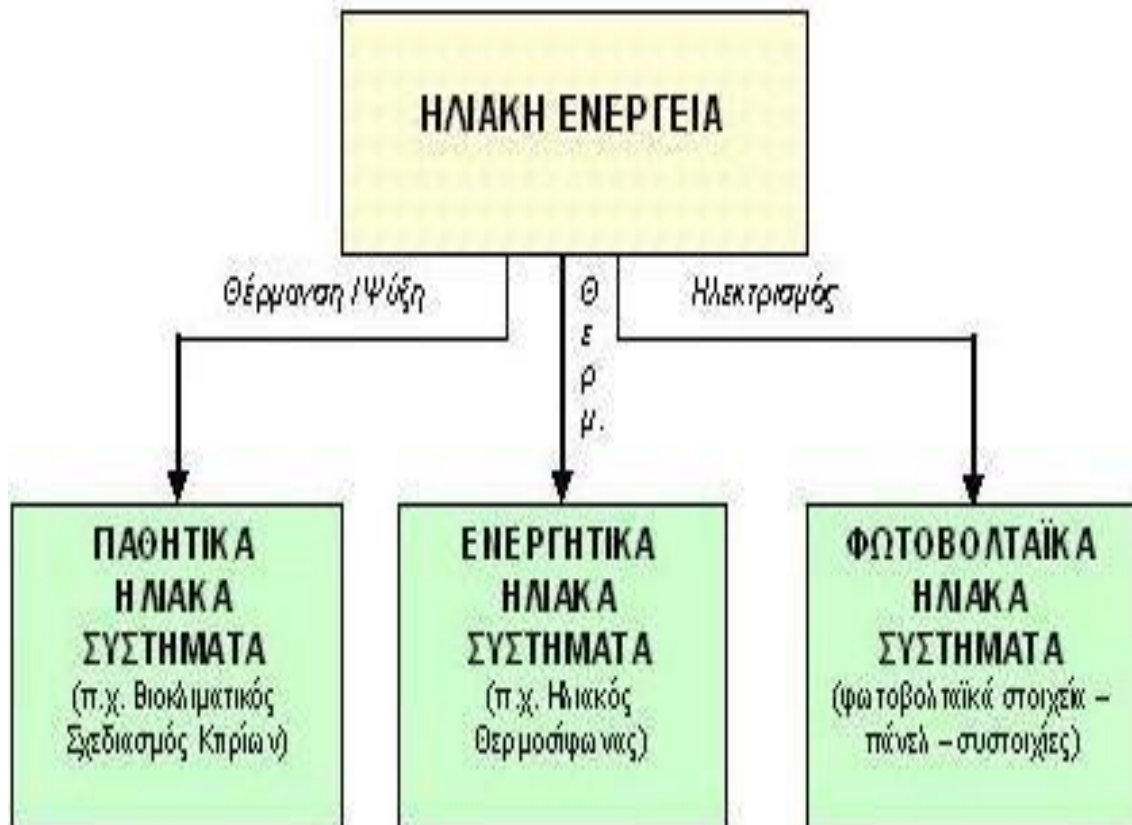
## Αυτόνομο υβριδικό σύστημα παραγωγής ενέργειας από Φωτοβολταϊκά και φυσικό αέριο



Εικόνα 2.3 : Παγκόσμιος χάρτης ηλιοφάνειας

Όσον αφορά την εκμετάλλευση της ηλιακής ενέργειας θα μπορούσαμε να πούμε ότι χωρίζεται σε τρεις κατηγορίες εφαρμογών: τα παθητικά ηλιακά συστήματα, τα ενεργητικά ηλιακά συστήματα και τα φωτοβολταϊκά συστήματα (εικόνα 2.4). Τα παθητικά και τα ενεργητικά ηλιακά συστήματα μετατρέπουν σε θερμότητα την ηλιακή ακτινοβολία ενώ τα φωτοβολταϊκά συστήματα στηρίζονται στη μετατροπή της ηλιακής ακτινοβολίας σε ηλεκτρικό ρεύμα μέσω του φωτοβολταϊκού φαινομένου.

Αυτόνομο υβριδικό σύστημα παραγωγής ενέργειας από Φωτοβολταϊκά και φυσικό αέριο



Εικόνα 2.4 : Κατηγορίες εφαρμογών ηλιακής ενέργειας

### 2.1 Φωτοβολταϊκά Συστήματα

Τα φωτοβολταϊκά στοιχεία έχουν τις ρίζες τους στα διαστημικά προγράμματα των ΗΠΑ και χρησιμοποιήθηκαν για πρώτη φορά γύρω το 1960 σε δορυφόρους ισχύος. Ακόμα εκπληρώνουν αυτό το ρόλο. Ο άλλος πρώιμος τομέας που οδήγησε στην επέκταση της αγοράς ήταν εφαρμογές για πολύ μικρές ποσότητες ισχύος όπως σε τηλεπικοινωνίες.

### 2.2 Εφαρμογές Φωτοβολταϊκών Συστημάτων

Τα Φ/Β συστήματα χρησιμοποιούνται ευρέως για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας σε διασυνδεδεμένα συστήματα με σκοπό την πώληση της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας, ενώ το κόστος τους είναι χαμηλό σε σχέση με το κόστος που υπήρχε πιο παλιά. Οι εφαρμογές αυτές συνήθως χαρακτηρίζονται από:

- Χαμηλές ενεργειακές ανάγκες.
- Έλλειψη εναλλακτικών τρόπων παροχής ενέργειας ή όπου υπάρχουν, αυτοί είναι πολύ ακριβοί (π.χ. σύνδεση με ένα απομακρυσμένο δίκτυο).
- Απαιτήσεις υψηλής αξιοπιστίας ή και χαμηλές ανάγκες συντήρησης.

### **2.2.1 Κυριότερες κατηγορίες εφαρμογών Φωτοβολταϊκών Συστημάτων**

Σαν κυριότερες κατηγορίες εφαρμογών Φ/Β συστημάτων μπορούν να θεωρηθούν οι εξής:

- Καταναλωτικά προϊόντα (0,001– 100 W). Τα συστήματα της κατηγορίας αυτής χρησιμοποιούνται σε περιοχές που δεν είναι συνδεδεμένες με το δίκτυο ή σε τροχόσπιτα, σκάφη αναψυχής, κλπ, για την εξυπηρέτηση αναγκών φωτισμού και ψύξης και για προϊόντα όπως ηλεκτρονικοί υπολογιστές, φανοί κ.ά.
- Αυτόνομα ή απομονωμένα συστήματα (100W – 200 kW). Στην κατηγορία αυτή συγκαταλέγονται συστήματα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας για κατοικίες και μικρούς οικισμούς που δεν είναι συνδεδεμένοι στο δίκτυο. Επίσης χρησιμοποιούνται:
  - ✓ Αφαλάτωση / άντληση / καθαρισμό νερού.
  - ✓ Φωτισμό (δρόμων , πάρκων , αεροδρομίων).
  - ✓ Συστήματα τηλεπικοινωνιών, τηλεμετρήσεων και συναγερμού.
  - ✓ Συστήματα σηματοδότησης (οδικής κυκλοφορίας, ναυτιλίας, αεροναυτιλίας).
  - ✓ Ψύξη (αγροτικών προϊόντων , φαρμάκων κλπ).
- Συστήματα συνδεδεμένα με το δίκτυο ( 200 kW - αρκετά MW). Η κατηγορία αυτή, διακρίνεται σε δύο κατηγορίες συστημάτων :
  - ✓ Φ/Β συστήματα μεγέθους έως μερικών εκατοντάδων kW που τροφοδοτούν κατοικίες, συγκροτήματα κατοικιών ή άλλα κτίρια και όπου η τυχόν πλεονάζουσα ενέργεια τροφοδοτείται (πωλείται) προς το δίκτυο.
  - ✓ Φ/Β σταθμοί παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, όπου η παραγόμενη ενέργεια διοχετεύεται απευθείας στο δίκτυο. Για τα Φ/Β συστήματα που αναρτώνται σε κτίρια (σε προσόψεις, οροφές , κλπ), σε σύνδεση με το δίκτυο, τελευταία έχει εκδηλωθεί ιδιαίτερο ενδιαφέρον. Τα οφέλη που προκύπτουν είναι:
    1. Συγχρονισμός Ψυκτικών φορτίων κτιρίων με μέγιστη παραγόμενη ισχύ από Φ/Β.
    2. Αποφυγή χρήσης γης.
    3. Αποκεντρωμένη παραγωγή ενέργειας.

### **Πλεονεκτήματα Φωτοβολταϊκών Συστημάτων**

- Λειτουργούν αθόρυβα, καθαρά, χωρίς κατάλοιπα, αποφεύγοντας τη μόλυνση του περιβάλλοντος.
- Λειτουργούν χωρίς κινητά μέρη, με ελάχιστη συντήρηση.

## Αυτόνομο υβριδικό σύστημα παραγωγής ενέργειας από Φωτοβολταϊκά και φυσικό αέριο

- Λειτουργούν χωρίς καύσιμα.
- Λειτουργούν και με νεφελώδη ουρανό (διάχυτη ακτινοβολία).
- Δεν χρησιμοποιούν υγρά ή αέρια σε αντίθεση με τα θερμικά συστήματα.
- Κατασκευάζονται από πυρίτιο, ένα από τα πλέον σε αφθονία στοιχεία.
- Πλέον αποδοτικά σε χαμηλές θερμοκρασίες.
- Έχουν γρήγορη απόκριση σε ξαφνικές μεταβολές της ηλιοφάνειας.
- Αν ένα κομμάτι πάθει βλάβη το σύστημα συνεχίζει τη λειτουργία του μέχρι την αντικατάστασή του.
- Μεγάλες δυνατότητες σε μια ευρεία περιοχή ισχύων (από W μέχρι MW).
- Έχουν μεγάλο λόγο ισχύος/βάρος επομένως κατάλληλα για εγκατάσταση σε στέγες.
- Είναι κατάλληλα για επιτόπιες εφαρμογές όπου δεν υπάρχει ή δε συμφέρει η επέκταση του ηλεκτρικού δικτύου.
- Είναι δυνατόν να συναρμολογηθούν τυποποιημένα στοιχεία μαζικής παραγωγής σε σύστημα οποιουδήποτε μεγέθους (και βαθμό απόδοσης πρακτικά ανεξάρτητο του μεγέθους) για να καλύψουν μικρές, μέσες και μεγάλες ενεργειακές ανάγκες.

### **Μειονεκτήματα Φωτοβολταϊκών Συστημάτων**

- Το σχετικά υψηλό κόστος αγοράς και η έλλειψη επιδοτήσεων ήταν ως πριν λίγο ο κυριότερος λόγος για τη στασιμότητα της ελληνικής αγοράς Φ/Β, (π.χ. η έλλειψη επιχορήγησης για τον οικιακό καταναλωτή, έλλειψη επιχορήγησης της παραγόμενης Φ/Β kWh).
- Τα φωτοβολταϊκά, όπως άλλωστε και όλες οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (ΑΠΕ), έχουν υψηλό αρχικό κόστος επένδυσης και ασήμαντο λειτουργικό κόστος, αντίθετα με τις συμβατικές ενεργειακές τεχνολογίες που συνήθως έχουν σχετικά μικρότερο αρχικό επενδυτικό κόστος και υψηλά λειτουργικά κόστη. Το κλίμα αυτό όμως τώρα αλλάζει δραματικά. Πολλές χώρες, μέσα σε αυτές συγκαταλέγετε και η Ελλάδα, έχουν ξεκινήσει τα τελευταία χρόνια σημαντικά προγράμματα ενίσχυσης των φωτοβολταϊκών, με γενναίες επιδοτήσεις τόσο της αγοράς και εγκατάστασης φωτοβολταϊκών, όσο και της παραγόμενης ηλιακής κιλοβατώρας και αυτό έχει αλλάξει το τοπίο στην αγορά και τοποθέτηση των φωτοβολταϊκών.

## Αυτόνομο υβριδικό σύστημα παραγωγής ενέργειας από Φωτοβολταϊκά και φυσικό αέριο

- Ο απαραίτητος περιοδικός καθαρισμός της επιφάνειας των φωτοβολταϊκών πλαισίων με απορρυπαντικό για να αποφευχθεί η μείωση της απόδοσης από τη ρύπανση (αιθάλη, σκόνη, αλάτι θαλάσσης κτλ).
- Υπάρχει ανάγκη αποθήκευσης της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας των φωτοβολταϊκών με ανεμογεννήτριες και συμβατικές μηχανές παραγωγής λόγω ετεροχρονισμού φορτίου και παραγωγής.

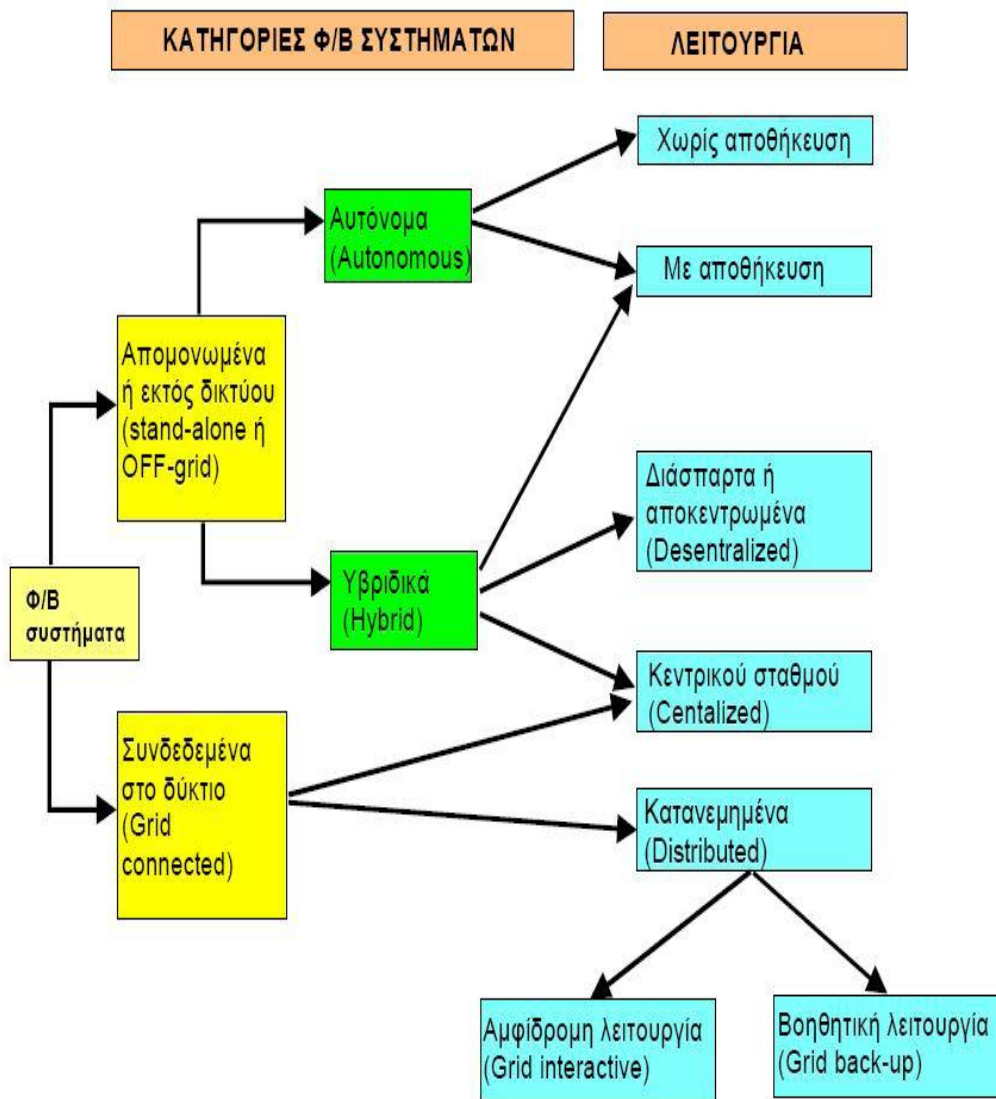
### **2.3 Κατηγορίες Φωτοβολταϊκών Συστημάτων**

Τα Φ/Β Συστήματα χαρακτηρίζονται από μεγάλο εύρος εφαρμογών με κριτήριο την απαίτηση ισχύος. Το εύρος αυτό αναφέρεται στην κάλυψη ηλεκτρικής ισχύος καταναλωτικών προϊόντων χαμηλής ισχύος, όπως αριθμομηχανές και ωρολόγια, έως συστήματα μεγάλης ισχύος όπως της τροφοδοσίας απομακρυσμένων ή όχι από κεντρικά ηλεκτρικά δίκτυα κτιριακών συγκροτημάτων ή ακόμη και νησιών.

Σύμφωνα με τα παραπάνω υπάρχει διάκριση των Φ/Β συστημάτων σε δύο βασικές κατηγορίες (εικόνα 2.3.1) οι οποίες είναι:

- 1.) Απομονωμένα ή εκτός δικτύου Φ/Β συστήματα (Stand-alone – Off-grid).
- 2.) Συστήματα συνδεδεμένα σε δίκτυο (On-grid).

Αυτόνομο υβριδικό σύστημα παραγωγής ενέργειας από Φωτοβολταϊκά και φυσικό αέριο



Εικόνα 2.3.1. : Κατηγορίες Φ/Β συστημάτων

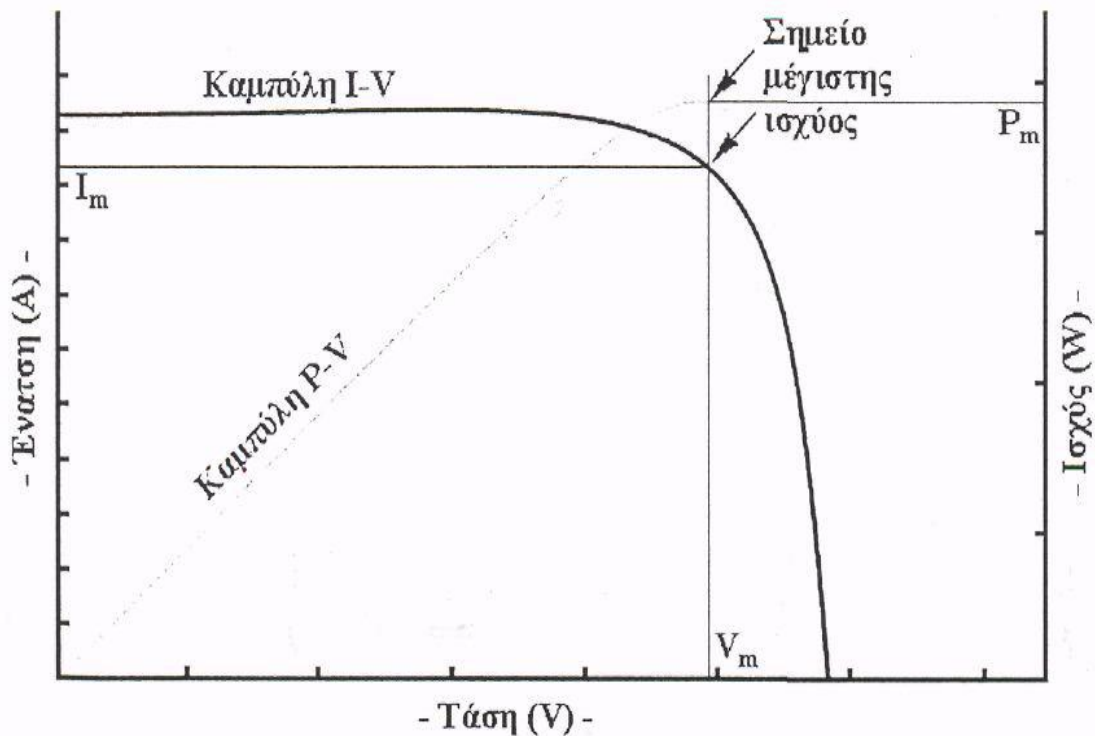
Τα απομονωμένα συστήματα δεν είναι συνδεδεμένα σε κάποιο εθνικό ή τοπικό δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας γι' αυτό ονομάζονται επίσης και Φ/Β συστήματα εκτός δικτύου (off - grid). Χρησιμοποιούνται σε περιπτώσεις που χρειάζεται ηλεκτρική ισχύς σε κάποιο σημείο όπου είναι αδύνατη η μεταφορά ενέργειας ή αν υπάρχει η επιθυμία πλήρους αυτονομίας ηλεκτρικής ενέργειας από κάποιο δίκτυο και έχουν τυπικές τιμές ισχύος 100 W έως 200 kW.

Διακρίνονται σε δύο επιμέρους κατηγορίες:

- Αυτόνομα Φ/Β συστήματα.
- Υβριδικά Φ/Β συστήματα.

#### 2.4 Χαρακτηριστικές καμπύλες λειτουργίας φωτοβολταϊκών συστημάτων

Ως πηγή παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας το Φ/Β στοιχείο έχει μια αρκετά ασυνήθιστη συμπεριφορά. Δηλαδή σε αντίθεση με τις περισσότερες κοινές ηλεκτρικές πηγές οι οποίες διατηρούν περίπου σταθερή τάση στην περιοχή κανονικής λειτουργίας, η τάση των φωτοβολταϊκών στοιχείων μεταβάλλεται ριζικά και μη γραμμικά συναρτήσει της έντασης του ρεύματος που δίνουν στο κύκλωμα, έστω και αν η ακτινοβολία παραμένει σταθερή. Η γραφική παράσταση μεταξύ ρεύματος στην έξοδο (  $I$  ) και τάσεως στην έξοδο (  $V$  ) ενός ηλιακού κυττάρου καλείται  $I - V$  χαρακτηριστική και έχει επικρατήσει να παριστάνεται στο πρώτο τεταρτημόριο.



Εικόνα 2.4.1 : Καμπύλες  $I - V$  και  $P - V$  φωτοβολταϊκού στοιχείου Si για σταθερές συνθήκες ακτινοβολίας και θερμοκρασίας.

Για σταθερές συνθήκες ακτινοβολίας (και θερμοκρασίας) και για μεταβαλλόμενες τιμές στην αντίσταση του κυκλώματος που τροφοδοτεί το ηλιακό κύτταρο, η τάση και η ένταση του ρεύματος του κυττάρου παίρνουν ενδιάμεσες τιμές ανάμεσα στις ακραίες που αντιστοιχούν σε μηδενική αντίσταση (βραχυκυκλωμένη κατάσταση με μέγιστη τιμή ρεύματος,  $I_{sc}$  και μηδενική τάση) και άπειρη αντίσταση (ανοιχτοκυκλωμένη κατάσταση με μηδενική τιμή ρεύματος και μέγιστη τιμή τάσης,  $V_{oc}$ ). Συνεπώς οι βασικές παράμετροι που χαρακτηρίζουν την καμπύλη είναι:

### **Το ρεύμα βραχυκύκλωσης $I_{sc}$**

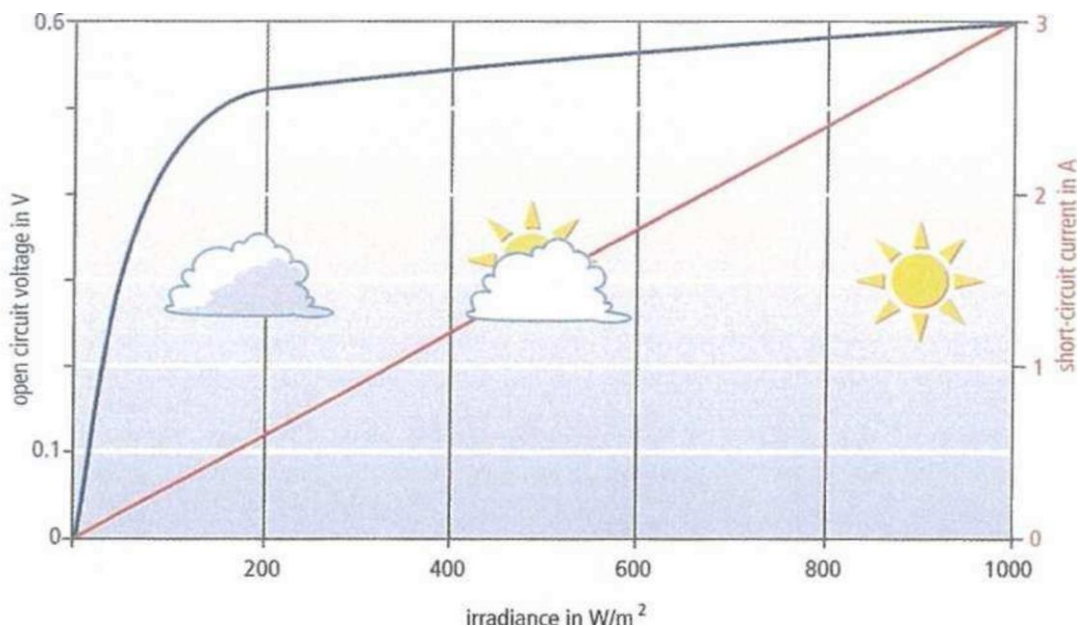
Είναι το ρεύμα για  $V = 0$  και αν θεωρήσουμε την  $R_s$  πολύ μικρή είναι ίσο με το φωτόρευμα  $L I$ .

### **Η τάση ανοικτού κυκλώματος $V_{oc}$**

Είναι η τάση για  $I = 0$  και αν θεωρήσουμε τη  $R_{sh}$  πολύ μεγάλη τότε από την εξίσωση προκύπτει:

$$V_{oc} = \frac{AKT}{q} \ln \left( \frac{I_L}{I_0} + 1 \right)$$

Η τάση ανοικτού κυκλώματος  $V_{oc}$  καθορίζεται, αφενός από τα χαρακτηριστικά της επαφής p-n, όπως το βασικό υλικό, τη συγκέντρωση των προσμείξεων και τη θερμοκρασία και αφετέρου από την ένταση της προσπίπτουσας ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας.



Εικόνα 2.4.2 : Η μεταβολή της ανοιχτοκυκλωμένης τάσης  $V_{oc}$  (μπλε καμπύλη) και της βραχυκυκλωμένης έντασης  $I_{sc}$  του ρεύματος (κόκκινη καμπύλη) ενός Φ/Β στοιχείου πυριτίου σε συνάρτηση με την ισχύ της ακτινοβολίας  $H$ , που δέχεται ανά μονάδα επιφάνειάς του.



## Αυτόνομο υβριδικό σύστημα παραγωγής ενέργειας από Φωτοβολταϊκά και φυσικό αέριο

Από το παραπάνω σχήμα παρατηρούμε ότι:

- Το ρεύμα βραχυκύκλωσης,  $I_{sc}$ , του Φ/Β στοιχείου είναι ανάλογο της πυκνότητας ισχύος,  $H$ , της ακτινοβολίας που προσπίπτει στην κυψελίδα.
- Η τάση ανοικτού κυκλώματος αρχικά αυξάνει, σχετικά απότομα, ως συνάρτηση της πυκνότητας ισχύος,  $H$ , της ακτινοβολίας που προσπίπτει στην κυψελίδα παραμένοντας στη συνέχεια, σχεδόν ανεξάρτητη της  $H$ . Δηλαδή, με το πρώτο φως της ημέρας, η τάση ανοικτού κυκλώματος παίρνει τιμή που μεταβάλλεται αργά (ποσοστιαία μεταβολή), μέσα στο υπόλοιπο χρονικό διάστημα μιας αίθριας ημέρας, σχεδόν μέχρι τη δύση.

### Σημείο μέγιστης ισχύος $P_m$

Στο σημείο αυτό αντιστοιχεί ρεύμα  $I_m$  και τάση  $V_m$  και βρίσκεται στο σημείο από το οποίο μπορούμε να κατασκευάσουμε το ορθογώνιο με την μεγαλύτερη επιφάνεια μέσα στη  $I-V$  καμπύλη. Μια ευθεία που διέρχεται από την αρχή των αξόνων και το σημείο  $P_m$  παριστάνει τη βέλτιστη αντίσταση φορτίου  $R_{Lopt}$ , που έχει κλίση  $1/R_{Lopt} = I_m/V_m$ . Επίσης, η  $I-V$  χαρακτηριστική είναι εφαπτόμενη σε κάποια καμπύλη σταθερής ισχύος στο σημείο μέγιστης ισχύος, όπου  $dP/dV = 0$  και επειδή το σημείο επαφής δε μπορεί να καθορισθεί επακριβώς για καμπύλες που κατασκευάζονται με βάση πειραματικά δεδομένα είναι δυνατόν να κατασκευαστεί μια  $P-V$  καμπύλη και να εντοπιστεί το μέγιστο αυτής.

### Ο συντελεστής πλήρωσης $ff$ (Fill Factor)

Ο συντελεστής ποιότητας (παράγοντας πληρότητας ή πλήρωσης)  $ff$  (fill factor) είναι ο λόγος της μέγιστης ηλεκτρικής ισχύος  $P_m = V_m \cdot I_m$  ενός Φ/Β στοιχείου ή Φ/Β πλαισίου γενικότερα, προς το γινόμενο της τάσεως ανοικτού κυκλώματος  $V_{oc}$  επί το ρεύμα βραχυκύκλωσης  $I_{sc}$ , αντίστοιχα, για τη δεδομένη πυκνότητα ισχύος της προσπίπτουσας ακτινοβολίας και είναι ένα μέτρο του πόσο “τετράγωνη” είναι η  $I-V$  καμπύλη.

$$ff = \frac{V_m \cdot I_m}{V_{oc} \cdot I_{sc}}$$

Είναι ουσιαστικά συνάρτηση μόνο της τάσεως ανοικτού κυκλώματος  $V_{oc}$  επειδή εξαρτάται κυρίως απ' αυτήν. Αν ορίσουμε μια κανονικοποιημένη τάση ( $V_{oc} = V_{oc} (AKT0/q)$ ), η ιδανική (μέγιστη) τιμή του δίνεται από τον εμπειρικό τύπο:

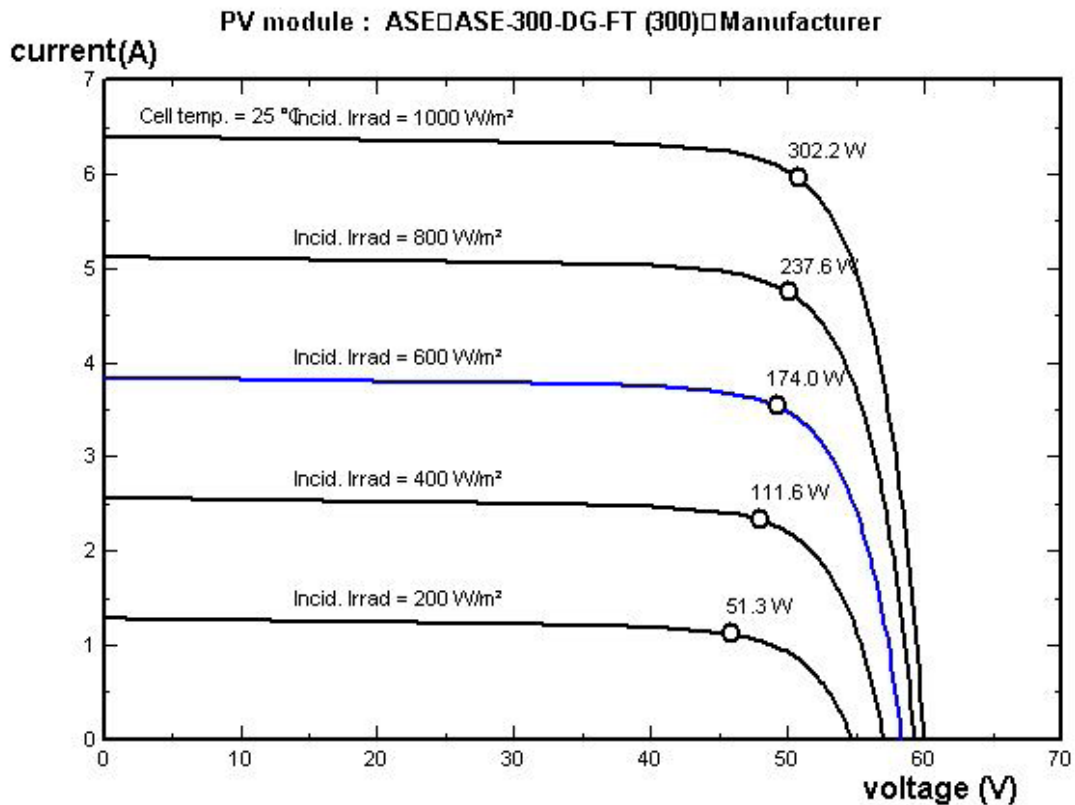
$$ff_o = \frac{U_{oc} - \ln(U_{oc} + 0,72)}{U_{oc} + 1} \text{ για } U_{oc} > 10$$

Οι τιμές του, που καθορίζονται από το υλικό του φωτοβολταϊκού στοιχείου και τις συνθήκες, είναι μεταξύ 0 και 1 και πιο συγκεκριμένα τυπικές τιμές του είναι μεταξύ 0,7 και 0,85. Η τιμή αναφοράς του δίδεται σε πρότυπες συνθήκες ελέγχου STC. Όσο πιο κοντά στη μονάδα είναι οι τιμές του  $ff$ , τόσο περισσότερο η λειτουργία του Φ/Β στοιχείου πλησιάζει την ιδανική συμπεριφορά της πηγής σταθερού ρεύματος στην περιοχή τάσεων 0-  $V_{oc}$ . Σ' αυτές τις περιπτώσεις η διάταξη χαρακτηρίζεται αφενός από μικρή ισοδύναμη αντίσταση σε σειρά, αφετέρου από μεγάλη τιμή παράλληλης αντίστασης. Τυπικές τιμές 0,7 με 0,9 χαρακτηρίζουν Φ/Β στοιχεία με αποδεκτή έως πολύ καλή ενεργειακή απόδοση αντίστοιχα.

Έχοντας δει τη μεταβολή της τάσης ανοικτού κυκλώματος  $V_{oc}$  και του ρεύματος βραχυκυκλώσεως  $I_{sc}$  συναρτήσει της ακτινοβολίας, μπορούμε να δούμε πως μεταβάλλεται και η  $I - V$  χαρακτηριστική του κυττάρου όταν μεταβάλλεται η ένταση της προσπίπτουσας ακτινοβολίας, διατηρώντας σταθερή τη θερμοκρασία του καθώς και ποιες μεταβολές στις παραμέτρους της  $I - V$  χαρακτηριστικής θα προκληθούν με μεταβολή της θερμοκρασίας.

### **Μεταβολή της έντασης της ακτινοβολίας**

Όταν μεταβάλλεται η ένταση της προσπίπτουσας ακτινοβολίας (διατηρώντας σταθερή τη θερμοκρασία του κυττάρου και τη φασματική κατανομή της ακτινοβολίας), μεταβάλλεται και η  $I - V$  χαρακτηριστική του κυττάρου και μάλιστα η απόκριση είναι πολύ γρήγορη (σταθερά χρόνου της τάξεως των  $\mu\text{sec}$ ). Για τους περισσότερους τύπους ηλιακών κυττάρων που έχουν σχεδιασθεί για λειτουργία σε ένταση ακτινοβολίας μιας περίπου ηλιακής σταθεράς, η μορφή της  $I - V$  καμπύλης δε μεταβάλλεται ουσιαστικά με την ένταση στην περιοχή 0,5-2 ηλιακές σταθερές, το ρεύμα  $I_{sc}$  πρακτικά μεταβάλλεται αναλογικά με την ένταση, η τάση  $V_{oc}$  μεταβάλλεται λιγότερο (λογαριθμική εξάρτηση).



Εικόνα 2.4.3. : Χαρακτηριστικές I -V για διάφορες τιμές της προσπίπτουσας ακτινοβολίας. Η θερμοκρασία λειτουργίας πλαισίου παραμένει σταθερή στους 25° C. Με τη μείωση της προσπίπτουσας ακτινοβολίας παρατηρείται σημαντική μείωση του ρεύματος βραχυκύκλωσης και της παραγόμενης ισχύος στο MPP. Αντίθετα η τάση ανοιχτοκύκλωσης μετατοπίζεται ελαφρά.

### Μεταβολή της θερμοκρασίας

Όταν μεταβάλλεται η θερμοκρασία του κυττάρου προκαλούνται οι παρακάτω μεταβολές στις παραμέτρους της I -V χαρακτηριστικής. Με αύξηση της θερμοκρασίας λειτουργίας του κυττάρου:

➤ Το ρεύμα βραχυκύκλωσης  $I_{sc}$  αυξάνεται ελαφρά (εξαρτάται βέβαια και από την ένταση της ακτινοβολίας και οφείλεται σε μεταβολή της δυνατότητας συλλογής των φορέων, αφού και το ενεργειακό χάσμα μειώνεται με αύξηση της θερμοκρασίας).

Τυπικές τιμές:

$$\frac{dI_{sc}}{dT} = 0,01 \text{ mA} \cdot \text{cm}^{-2}/^{\circ}\text{C} \text{ ή } 0,1\%/^{\circ}\text{C}$$

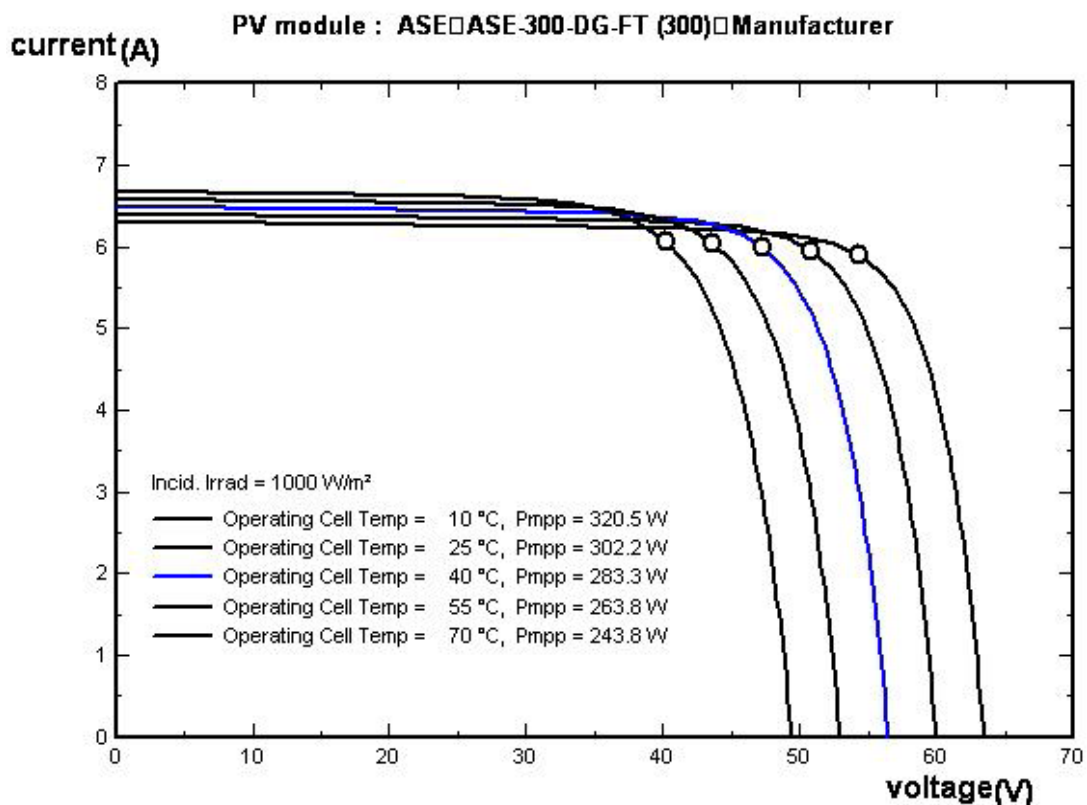
Αυτόνομο υβριδικό σύστημα παραγωγής ενέργειας από Φωτοβολταϊκά και φυσικό αέριο

- Η τάση ανοικτού κυκλώματος  $V_{oc}$  μειώνεται (οφείλεται σε μεταβολή των χαρακτηριστικών αγωγής της διόδου). Τυπικές τιμές:

$$\frac{dV_{oc}}{dT} = -2,2\text{mV}/^{\circ}\text{C} \text{ ή } -0,4\%/^{\circ}\text{C}$$

- Η ισχύς  $P_m$  ( $P_{mpp}$  ή  $P_{max}$ ) μειώνεται, ενώ μεταβάλλεται και η μορφή της καμπύλης (το σημείο μέγιστης ισχύος της καμπύλης γίνεται πιο στρογγυλεμένο με αύξηση της θερμοκρασίας). Τυπικές τιμές:

$$\frac{dP_m}{dT} = -0,4 \text{ έως } -0,5\%/^{\circ}\text{C}$$



Εικόνα 2.4.4. : Χαρακτηριστικές I -V για διάφορες τιμές της θερμοκρασίας λειτουργίας των κυττάρων του πλαισίου. Η τιμή της προσπίπτουσας ολικής ακτινοβολίας παραμένει σταθερή στα 1000 W/m<sup>2</sup>. Με την αύξηση της θερμοκρασίας λειτουργίας των κυττάρων του πλαισίου παρατηρείται μετατόπιση του MPP που αντιστοιχεί σε μείωση της παραγόμενης ισχύος. Το ρεύμα βραχυκύκλωσης αυξάνεται ελαφρά. Η τάση  $V_{oc}$  μειώνεται περισσότερο αισθητά κάτι που οφείλεται στην μεταβολή των χαρακτηριστικών αγωγής της διόδου.

## 2.5 Ο βαθμός απόδοσης

Ο βαθμός απόδοσης του ηλιακού κυττάρου δίνεται από τη σχέση:

$$\eta = \frac{V_{oc} I_m}{P_{in}} = \frac{V_{oc} I_{sc} ff}{P_{in}}$$

Όπου  $P_{in}$  είναι η ολική ισχύς της προσπίπτουσας στο κύτταρο ακτινοβολίας

Ο βαθμός απόδοσης εξαρτάται από την τεχνολογία. Στην περίπτωση του άμορφου πυριτίου κυμαίνεται από 5 -10%, στην περίπτωση των πολυκρυσταλλικών από 12 – 14%) ενώ στην περίπτωση των μονοκρυσταλλικών, που μας ενδιαφέρουν περισσότερο σε υβριδικό σύστημα στην Ελλάδα, από 14 – 16%. Τέλος υπάρχουν και τα πολλαπλών επαφών που φτάνουν και το 17%. Ο θεωρητικά μέγιστος δυνατός βαθμός απόδοσης, με βάση τη σχέση, εξαρτάται από τις μέγιστες τιμές των  $I_{sc}$ ,  $V_{oc}$  και  $ff$ , κυρίως όμως από τα δύο πρώτα, διότι όπως έχει αναφερθεί η μέγιστη τιμή του  $ff$  είναι συνάρτηση του  $V_{oc}$ . Έτσι προκύπτει για το πυρίτιο η μέγιστη τιμή της  $V_{oc}$  περίπου 100 mV. Η αντίστοιχη μέγιστη τιμή του  $ff$  είναι 0,84 οπότε μπορεί να υπολογιστεί η μέγιστη τιμή του βαθμού απόδοσης. Μια λογική εκτίμηση της ελάχιστης τιμής του  $I_0$  που προκύπτει συναρτήσει του ενεργειακού χάσματος είναι:

$$I_0 = 1,5 \cdot 10^5 \cdot \exp\left(-\frac{E_g}{KT}\right)$$

Αυτή η σχέση δείχνει ότι η μέγιστη τιμή του  $V_{oc}$  ελαττώνεται, όταν ελαττώνεται το ενεργειακό χάσμα, τάση που είναι αντίθετα από εκείνη που ισχύει για το  $I_{sc}$ . Κατά συνέπεια θα υπάρχει μια βέλτιστη τιμή του ενεργειακού χάσματος που θα δίνει το μεγαλύτερο βαθμό απόδοσης όπως φαίνεται στο σχήμα όπου η μέγιστη απόδοση συμβαίνει για ενεργειακό χάσμα στην περιοχή (1,4-1,6 eV). Το ενεργειακό χάσμα του πυριτίου (1,1 eV) είναι μικρότερο από το βέλτιστο αλλά η θεωρητικά μέγιστη απόδοση είναι ακόμα πολύ υψηλή, ενώ το GaAs έχει ένα σχεδόν βέλτιστο ενεργειακό χάσμα (1,4 eV).

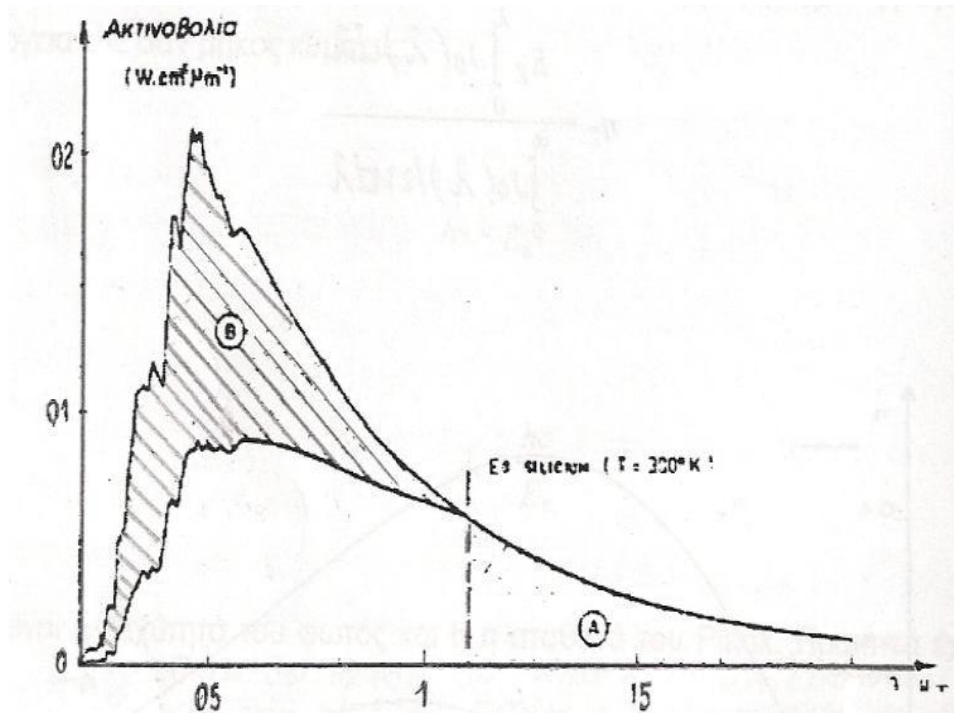
### **Παράγοντες που επηρεάζουν αρνητικά το βαθμό απόδοσης**

Οι παράγοντες που είναι υπεύθυνοι για τη σχετικά χαμηλή τιμή, τός θεωρητική όσο και πρακτική, του βαθμού απόδοσης είναι:

Αυτόνομο υβριδικό σύστημα παραγωγής ενέργειας από Φωτοβολταϊκά  
και φυσικό αέριο

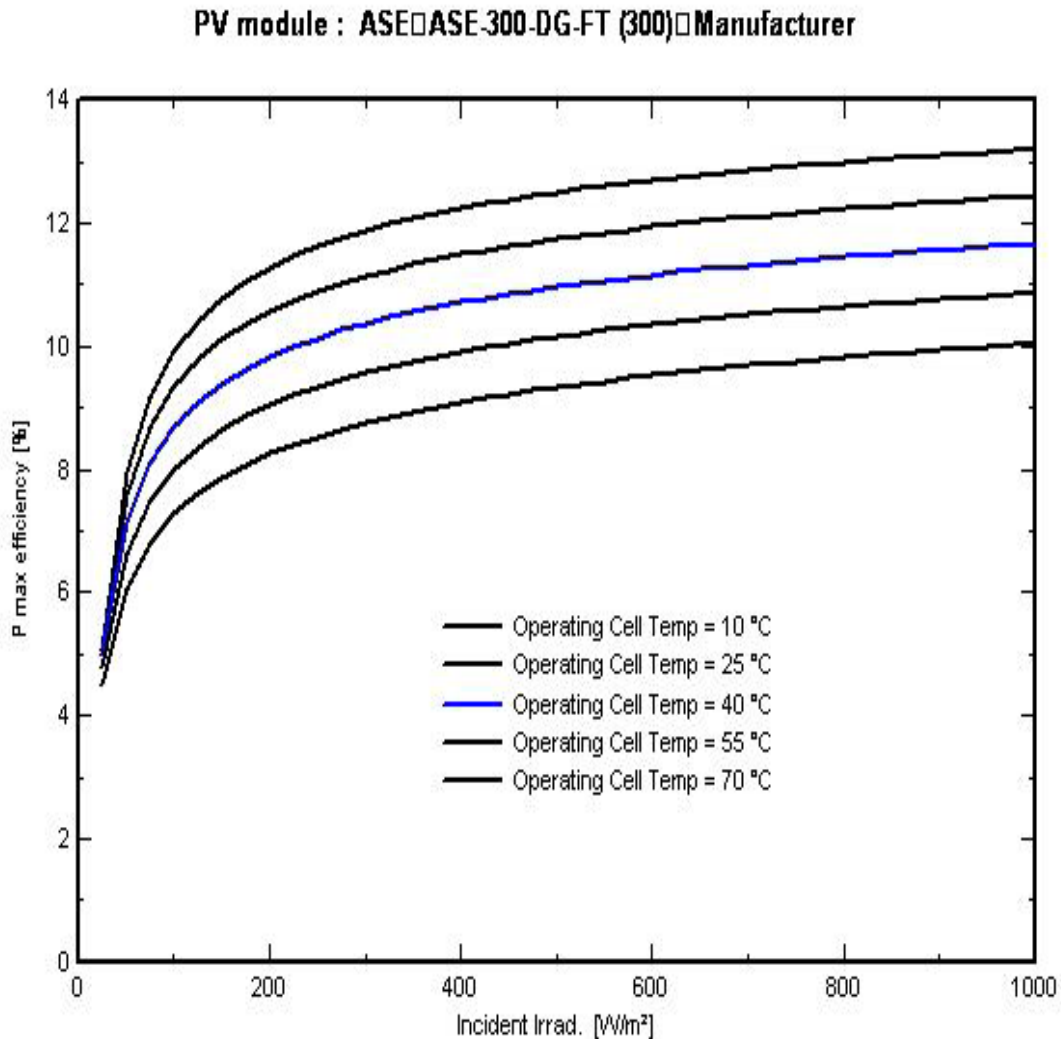
- **Ανάκλαση:** Μη επεξεργασμένη επιφάνεια πυριτίου ανακλά ένα ποσοστό της προσπίπτουσας ακτινοβολίας της τάξεως του 30%. Επεξεργασία της επιφάνειας με χημικά μέσα και/ή επίστρωση με αντιανακλαστικά υλικά περιορίζει δραστικά τις ανακλάσεις μέχρι την τάξη του 3%.
- **Σκίαση από τις επαφές:** Η ανάγκη της κατασκευής ηλεκτροδίων τόσο στην επιφάνεια του υλικού τύπου-p όσο και του υλικού τύπου-n συνεπάγεται τα δημιουργία ενός μεταλλικού πλέγματος επαφών στην επιφάνεια του κυττάρου που εκτίθεται στο ηλιακό φως. Αυτό συμβαίνει επειδή η αντίσταση στην επιφανειακή κίνηση των φορέων στο πάνω επιφανειακό στρώμα του κυττάρου είναι μεγάλη και πρέπει να υπάρχουν πολλά σημεία απαγωγής των φορέων (ηλεκτρικές επαφές) με σκοπό να ελαχιστοποιηθούν τα ωμικά φαινόμενα. Το αποτέλεσμα για τα ηλεκτρόδια είναι μια γεωμετρία μεταλλικού πλέγματος στην πάνω επιφάνεια του κυττάρου, που έχει σαν συνέπεια ένα ποσοστό 5-15% της προσπίπτουσας ακτινοβολίας να εκτρέπεται.
- **Ατελής εκμετάλλευση της ενέργειας των φωτονίων:** Όπως είναι γνωστό η ηλιακή ακτινοβολία που φτάνει στο έδαφος έχει διαφορετικές εντάσεις σε ένα ευρύ φάσμα μηκών κύματος. Δηλαδή στον κρύσταλλο, προσπίπτουν φωτόνια που καλύπτουν ένα ευρύ φάσμα τιμών ενέργειας τα οποία είναι δυνατόν ή να διαπεράσουν το κύτταρο, ή να απορροφηθούν παράγοντας μόνο θερμότητα υπό μορφή ταλαντώσεων των ατόμων, ή να δημιουργήσουν ζεύγος ηλεκτρονίων- οπών, ή να δημιουργήσουν ζεύγος ηλεκτρονίων- οπών και η επιπλέον ενέργεια τους να μετατραπεί σε θερμότητα. Αυτός ο παράγοντας με τους τέσσερις μηχανισμούς του και μόνο περιορίζει τη μέγιστη στο 44% περίπου.

Αυτόνομο υβριδικό σύστημα παραγωγής ενέργειας από Φωτοβολταϊκά και φυσικό αέριο



Εικόνα 2.5.1 : Χάραξη του ηλιακού φάσματος AM0 για ένα ηλιακό κύτταρο Si. Η ζώνη A αντιστοιχεί στη χαμένη ενέργεια από τα φωτόνια τα μη απορροφώμενα. Η ζώνη B αντιστοιχεί στην περίσσεια ενέργειας, μη χρησιμοποιούμενη, των φωτονίων ενέργειας ανώτερης από  $E_g$ .

- **Επανασύνδεση:** Αυτή μπορεί να συμβεί με διάφορους μηχανισμούς στον κυρίως όγκο του ημιαγωγού στις επιφάνειες και στις ατέλειες του υλικού.
- **Αντίσταση:** Μη ικανοποιητικές τιμές τόσο της εν σειρά αντίστασης  $R_s$  όσο και της παράλληλης  $R_{sh}$  τείνουν να ελαττώσουν το συντελεστή  $ff$ , ενώ σε ακραίες περιπτώσεις ακόμη και τα  $I_{sc}$ ,  $V_{oc}$  με τελική συνέπεια τη μείωση της απόδοσης.



Εικόνα 2.5.2 : Όπως αναμενόταν η μέγιστη απόδοση του πλαισίου μειώνεται με την αύξηση της θερμοκρασίας λειτουργίας για τις ίδιες συνθήκες ακτινοβολίας.

➤ **Γήρανση:** Προσδιορίζει την ελάττωση της απόδοσης του φωτοβολταϊκού πλαισίου, άρα και της ισχύος αιχμής του, λόγω γενικότερης αλλοίωσης του φωτοβολταϊκού κυττάρου ως ενσωματωμένου τμήματος του Φ/Β πλαισίου. Οι αιτίες της γήρανσης είναι πολλές όπως αποχρωματισμός των κυττάρων, ράγισμα του γυαλιού κάλυψης, διαχωρισμός του ειδικού πλαστικού μόνωσης από την υγρασία της πίσω πλευράς, και κακή λειτουργία των καλωδιώσεων και του κιβωτίου συνδέσεων. Μετρήσεις μακράς διάρκειας σε πλαίσια κρυσταλλικού πυριτίου δίδουν μείωση της αποδοτικότητάς του κάτω από πρότυπες συνθήκες ~ 1% κατ' έτος χρήσης (ρυθμός γήρανσης).



## 2.6 Αυτόνομα Φ/Β Συστήματα

Στα αυτόνομα φωτοβολταϊκά συστήματα η αναγκαία ηλεκτρική ενέργεια παράγεται αποκλειστικά από Φ/Β συστοιχίες. Η παροχή της ηλεκτρικής ενέργειας μπορεί να είναι άμεση στους καταναλωτές ή μέσω συσσωρευτών. Επίσης, η αποδιδόμενη ηλεκτρική ενέργεια μπορεί να είναι συνεχούς (DC) ή εναλλασσόμενης τάσης (AC).

Σύμφωνα με τα παραπάνω υπάρχει διάκριση των αυτόνομων συστημάτων ως εξής:

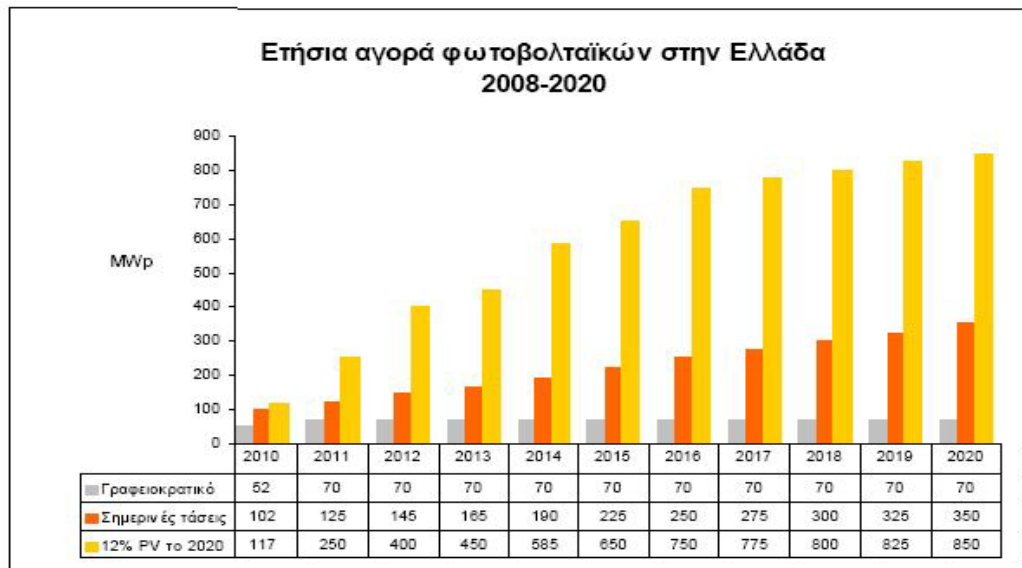
- **Άμεσης τροφοδοσίας του φορτίου (Direct- coupled).** Στα συγκεκριμένα συστήματα η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια αποδίδεται απευθείας στο φορτίο και χρησιμοποιούνται σε εφαρμογές στις οποίες δεν απαιτείται τακτική λειτουργία του συστήματος καθώς και σε φορτία συνεχούς ρεύματος. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελούν τα συστήματα άντλησης νερού.
- **Με αποθήκευση της παραγόμενης ενέργειας.** Τα συστήματα αυτά περιλαμβάνουν συσσωρευτές για την αποθήκευση της ηλεκτρικής ενέργειας. Σχεδιάζονται σύμφωνα με τις επιθυμητές μέρες αυτονομίας πράγμα το οποίο καθορίζει το μέγεθος των συσσωρευτών. Χαρακτηριστικά παραδείγματα αποτελούν τα Φ/Β συστήματα τροφοδοσίας φωτισμού οδών, διατάξεων πυρανίχνευσης δασικών εκτάσεων, τηλεπικοινωνιακού εξοπλισμού σε δύσβατες περιοχές, τροχόσπιτων και φάρων σε θαλάσσιες περιοχές.

## 2.7 Εξέλιξη της Εγκατεστημένης Ισχύος των Φωτοβολταϊκών στην Ελλάδα



Εικόνα 2.7.1: Εξέλιξη της εγκατεστημένης ισχύος των φωτοβολταϊκών στην Ελλάδα.

### Αναμενόμενη Εξέλιξη τα Επόμενα Χρόνια



Εικόνα 2.7.2: Αναμενόμενη εξέλιξη τα επόμενα χρόνια.

### ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

#### ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΜΟΝΑΔΑΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΑΠΟ ΦΥΣΙΚΟ ΑΕΡΙΟ ΓΙΑ ΑΥΤΟΝΟΜΟ ΥΒΡΙΔΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ

##### *Φυσικό αέριο*

Το Φυσικό Αέριο είναι ένα αέριο μίγμα υδρογονανθράκων. Το μεθάνιο ( $\text{CH}_4$ ) είναι το μικρότερο σταθερό μόριο υδρογονάνθρακα με ένα άτομο άνθρακα. Είναι αέριο που καίγεται με χαρακτηριστική φλόγα κυανού χρώματος (εικόνα 1). Εξάγεται από υπόγειες κοιλότητες και εξαιτίας των ιδιοτήτων του θεωρείται οικολογικό καύσιμο. Βρίσκεται σε αφθονία στη φύση ως κύριο (τυπικά: 75% - 90% κ.ό.) συστατικό του φυσικού αερίου. Το φυσικό αέριο (natural gas) δημιουργήθηκε κατά τη διάρκεια εκατομμυρίων χρόνων, όπως και το πετρέλαιο, δηλαδή με αναερόβια αποσύνθεση μικροσκοπικών θαλάσσιων οργανισμών και φυτικών υλών, που εγκλωβίσθηκαν σε βαθιά πετρώματα και λάσπες και υπέστησαν υψηλές πιέσεις και θερμοκρασίες. Επίσης εκλύεται κατά τις γεωτρήσεις και από τις πετρελαιοπηγές λόγω των υψηλών πιέσεών του στα υπόγεια στρώματα.



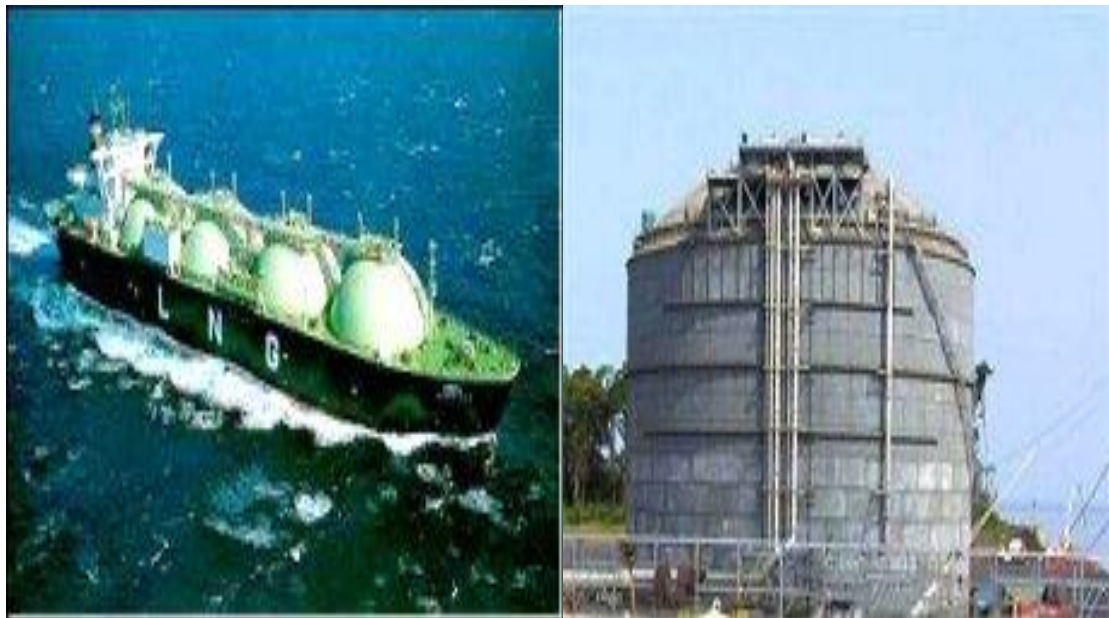
Εικόνα 1 : Χρώμα φλόγας από καύση φυσικού αερίου

### 3.1 Χρήσεις του μεθανίου

Τεράστιες ποσότητες μεθανίου χρησιμοποιούνται κυρίως υπό τη μορφή του φυσικού αερίου, του οποίου η ετήσια παραγωγή φθάνει περίπου τα 280 δισεκατομμύρια κυβικά μέτρα (2006).

Η καύση του μεθανίου είναι ισχυρά εξώθερμη ( $\Delta H = -891 \text{ kJ/mol}$ ) και από αυτή την άποψη το φυσικό αέριο θεωρείται ως καύσιμο υψηλής ποιότητας, το οποίο δεν παράγει ρύπους εφόσον καίγεται πλήρως. Επιπλέον, σε σχέση με τους άλλους υδρογονάνθρακες, το μεθάνιο είναι περιβαλλοντικά φιλικότερο, αφού παράγει το λιγότερο  $\text{CO}_2$  ανά μονάδα παραγόμενης θερμότητας.

Περιέχει και άλλους ελαφρούς υδρογονάνθρακες σε χαμηλά ποσοστά. Τυπικά μπορεί να περιέχει 75-90% μεθάνιο (κ.ό.), 5-15% αιθάνιο, 3-4% βαρύτερα αλκάνια). Επίσης, περιέχει σε πολύ μικρά ποσοστά και μη καύσιμα αέρια ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{N}_2$ , He), όπως και αέρια που μπορεί να είναι τοξικά ή βλαπτικά τόσο για το δίκτυο διανομής, τους καυστήρες, αλλά και το περιβάλλον (π.χ.  $\text{H}_2\text{S}$ , ακόμα και ίχνη Hg). Σχεδόν πάντοτε, το φυσικό αέριο υφίσταται κατεργασία για να απαλλαγθούν όσο το δυνατόν ανεπιθύμητα συστατικά από βαρύτερους υδρογονάνθρακες ( $\text{C}_3\text{-C}_4$ ), οι οποίοι διατίθενται χωριστά ως "υγραέριο" ή "υγροποιημένο αέριο πετρελαίου" (liquefied petroleum gas, LPG)(εικόνα 3.1).



Εικόνα 3.1 : Κρυογόνο τάνκερ μεταφοράς και δεξαμενή αποθήκευσης υγροποιημένου φυσικού αερίου (LNG)

### **3.2 Εισαγωγή φυσικού αερίου στην Ελλάδα**

Το Φυσικό Αέριο κατά συνέπεια, έχει αναδειχθεί στο κατεξοχήν οικολογικό καύσιμο του 21ου αιώνα και η ισχυροποίηση της θέσης του στην ενεργειακή θέση της Ελλάδας θα προωθούσε ουσιαστικά εκείνο το είδος ανάπτυξης που συμβαδίζει με την προστασία της φύσης και του περιβάλλοντος. Συγκεκριμένα η εισαγωγή του Φυσικού Αερίου στην Ελλάδα αποφασίστηκε από την Πολιτεία στα πλαίσια της προσπάθειας εκσυγχρονισμού και βελτίωσης του ενεργειακού ισοζυγίου της χώρας. Το φυσικό αέριο είναι μια σύγχρονη και αποδοτική πηγή ενέργειας, φιλική προς το περιβάλλον, που χρησιμοποιείται εύκολα και με ασφάλεια.

Η εισαγωγή και η αξιοποίηση του προϋποθέτουν την ύπαρξη κατάλληλης υποδομής, για τη μεταφορά, την αποθήκευση και τη διανομή του. Η βασική υποδομή του Ελληνικού Συστήματος περιλαμβάνει:

- Τον κύριο αγωγό, μήκους 511 km, που εκτείνεται από τα βόρεια σύνορα μέχρι την Αττική, με παράπλευρους κλάδους, μήκους 400 km.
- Τον τερματικό Σταθμό του Υγροποιημένου Φυσικού Αερίου (LNG) στη νησίδα Ρεβυθούσα, στον κόλπο των Μεγάρων.
- Τα Δίκτυα Κατανομής και Διανομής Φυσικού Αερίου στις πόλεις, συνολικού μήκους 6500 km περίπου.

#### ***Προμήθεια της Ελλάδας με φυσικό αέριο***

Η Ελλάδα προμηθεύεται Φυσικό Αέριο από δυο διαφορετικές χώρες την Ρωσία και την Αλγερία. Από την Ρωσία φθάνει μέσω αγωγού, ενώ από την Αλγερία μεταφέρεται με ειδικά δεξαμενόπλοια σε υγροποιημένη μορφή. Οι συνολικές ποσότητες του Φυσικού Αερίου, σε πλήρη ανάπτυξη της αγοράς, αναμένεται να είναι πολύ μεγάλες.

#### ***Σύσταση Φυσικού Αερίου***

Βασικό συστατικό του φυσικού αερίου είναι το μεθάνιο, συνυπάρχουν όμως σε αυτό και σημαντικές ποσότητες αιθανίου, προπανίου και βουτανίου καθώς και διοξείδιο του άνθρακα, άζωτο, ήλιο και υδρόθειο (εικόνα 3.2).

Αυτόνομο υβριδικό σύστημα παραγωγής ενέργειας από Φωτοβολταϊκά και φυσικό αέριο

Η καύση του σε σχέση με αυτή άλλων καυσίμων έχει λιγότερο επιβλαβείς συνέπειες για το περιβάλλον παράγοντας μικρότερες ποσότητες διοξειδίου του άνθρακα για κάθε μονάδα παραγόμενης ενέργειας. Αποτελεί την καθαρότερη πηγή πρωτογενούς ενέργειας μετά τις ανανεώσιμες μορφές. Τα μεγέθη των εκπεμπόμενων ρύπων είναι σαφώς μικρότερα σε σχέση με τα συμβατικά καύσιμα, ενώ η βελτίωση του βαθμού απόδοσης μειώνει τη συνολική κατανάλωση καυσίμου περιορίζοντας την ατμοσφαιρική ρύπανση.

Συστατικό	Χώρα προέλευσης φυσικού αερίου	
	Ρωσία	Αλγερία
Μεθάνιο (CH <sub>4</sub> )	98	91,2
Αιθάνιο (C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> )	0,6	6,5
Προπάνιο (C <sub>3</sub> H <sub>8</sub> )	0,2	1,1
Βουτάνιο (C <sub>4</sub> H <sub>10</sub> )	0,2	0,2
Πεντάνιο (C <sub>5</sub> H <sub>12</sub> ) + βαρύτερα	0,1	-
Άζωτο (N <sub>2</sub> )	0,8	1,0
Διοξείδιο του άνθρακα (CO <sub>2</sub> )	0,1	-
Ανωτέρα Θερμογόνο Δύναμη (kcal/m <sup>3</sup> )	8.600-9.200	9.640-10.650

Εικόνα 3.2: Χημική σύσταση του Φυσικού Αερίου

Τα χαρακτηριστικά του το κάνουν συμβατό με τους υφιστάμενους εναλλακτικούς κινητήρες εσωτερικής καύσης (δείκτης οκτανίου υψηλότερος του 110, θερμιδική δύναμη 10% μεγαλύτερη του πετρελαίου).

#### **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4**

### **ΒΑΣΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΥΒΡΙΔΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΜΕ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΑ (ΦΒ) ΚΑΙ ΗΛΕΚΤΡΟΠΑΡΑΓΩΓΟ ΖΕΥΓΟΣ (ΗΖ)**

#### **4.1. Φωτοβολταϊκό Υβριδικό Σύστημα με Ηλεκτροπαραγωγό Ζεύγος**

Ένας πολύ σημαντικός παράγοντας στο κόστος μιας αυτόνομης γεννήτριας φυσικού αερίου είναι το γεγονός ότι η τιμή του φυσικού αερίου αυξάνεται και σαν συνέπεια αυτού και η τιμή σε εθνικό επίπεδο έχει αυξηθεί τα τελευταία έτη.

Επιπλέον η χρήση μιας γεννήτριας φυσικού αερίου για την παραγωγή ενέργειας όλο το 24ωρο σημαίνει ότι αυτή θα πρέπει να αντικαθίσταται κάθε έτος ή να απαιτεί γενική επισκευή.

Επιπλέον τα τρέχοντα έξοδα της επένδυσης αυτής αυξάνουν το συνολικό κόστος λειτουργίας της. Ακόμη σημαντική οικονομική επιβάρυνση αποτελούν και τα λειτουργικά έξοδα της γεννήτριας τα οποία και είναι η μηνιαία συντήρηση, τα ανταλλακτικά και το κόστος των καυσίμων.

Μια γεννήτρια φυσικού αερίου, έχει μικρό κόστος αγοράς, έχει γενικά υψηλό κόστος λειτουργίας και συντήρησης. Χαρακτηριστικό είναι ότι σε χαμηλό, σχεδόν μηδενικό φορτίο, η γεννήτρια χρησιμοποιεί το 30% του καυσίμου που θα χρησιμοποιούσε σε πλήρες φορτίο.

Αυτά τα προβλήματα εξαλείφονται με τη συνεργασία φωτοβολταϊκών στοιχείων με γεννήτρια και μπαταρίες έτσι ώστε να ομαλοποιείται η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και να μειώνεται το κόστος της.

Η ηλεκτρογεννήτρια που θα χρησιμοποιήσουμε είναι τύπου Μ.Ε.Κ. τετράχρονη με καύσιμο φυσικό αέριο. Η ψύξη της γίνεται με νερό (υδρόψυκτη) και θα είναι σύγχρονη γεννήτρια όπου παράγει εναλλασσόμενο ρεύμα, με συχνότητα ανάλογη της ταχύτητας περιστροφής της μηχανής, ενώ η διέγερσή της τροφοδοτείται με συνεχές ρεύμα.

Στις μηχανές φυσικού αερίου ακολουθεί κατά τη λειτουργία της το θερμικό κύκλο του Otto ο οποίος χρειάζεται τέσσερις χρόνους (εικόνα 4.1.1) για την ολοκλήρωση του και την επιτυχία μιας εκτόνωσης. Έχουμε λοιπόν τις φάσεις της: Εισαγωγής- Συμπίεσης- Εκτόνωσης- Εξαγωγής. Παρακάτω αναλύεται ο κύκλος λειτουργίας του τετράχρονου κινητήρα :

Αυτόνομο υβριδικό σύστημα παραγωγής ενέργειας από Φωτοβολταϊκά και φυσικό αέριο

### *1η φάση-εισαγωγής*

**Εισαγωγή:** Το καύσιμο μείγμα εισέρχεται στο θάλαμο καύσης από την ανοιχτή βαλβίδα εισαγωγής

### *2η φάση-συμπίεσης*

**Συμπίεση:** Το έμβολο κινείται προς το άνω νεκρό σημείο και συμπιέζει το καύσιμο μείγμα.

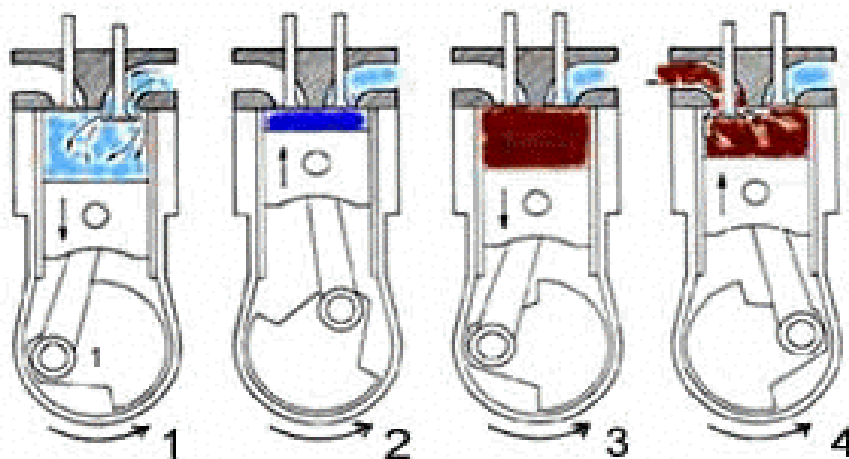
### *3η φάση-ανάφλεξη & εκτόνωση*

**Ανάφλεξη – Εκτόνωση :** Η ταχεία αύξηση της θερμοκρασίας, σε συνδυασμό με τον ηλεκτρικό σπινθήρα που δίνεται από το μπουζί, προκαλούν την ανάφλεξη του καύσιμου μείγματος. Η έναυση δεν γίνεται στο άνω νεκρό σημείο αλλά λίγο πιο πριν (προπορεία ανάφλεξης, «αβάνς»)

### *4η φάση-εκτόνωση εξαγωγή*

**Καύση / Εκτόνωση:** Το μείγμα καίγεται και εκτονώνεται, πιέζοντας το έμβολο προς το κάτω νεκρό σημείο, παράγοντας ωφέλιμο έργο.

**Εξαγωγή:** Το έμβολο, που λόγω της πίεσης των αερίων της καύσης έχει φτάσει στο κάτω νεκρό σημείο, λόγω της αδράνειας του συστήματος έμβολο-τροφαλοφόρος-σφόνδυλος, αρχίζει να κινείται προς τα άνω, σπρώχνοντας τα αέρια προς την ανοιχτή βαλβίδα εξαγωγής. Έτσι τα προϊόντα της καύσης εξέρχονται από το θάλαμο καύσης.



Εικόνα 4.1.1: 1. φάση-εισαγωγής 2. φάση-συμπίεσης 3. φάση-ανάφλεξη & εκτόνωση 4. φάση-εκτόνωση εξαγωγή

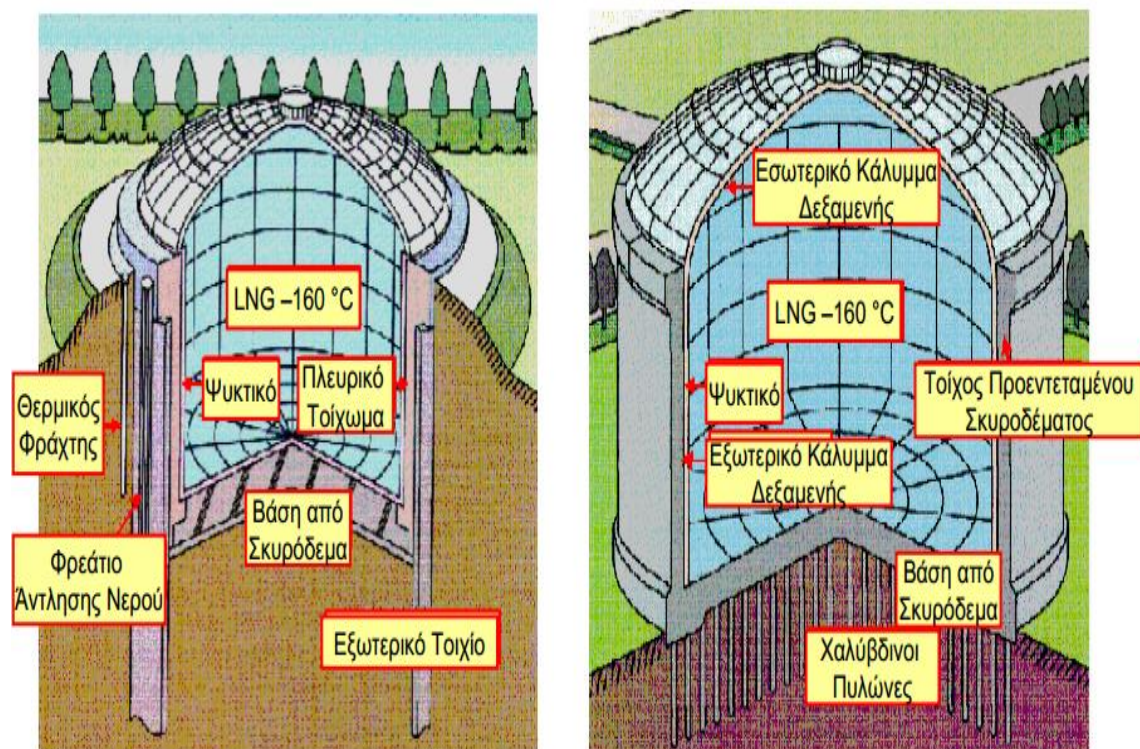


#### 4.2. Δεξαμενή αποθήκευσης φυσικού αερίου

Σκοπός των δεξαμενών αυτών είναι η αποθήκευση φυσικού αερίου σε υγρή μορφή στο εσωτερικό τους αφενός για να ελαχιστοποιείται η εξάτμιση του φυσικού αερίου και αφετέρου να έχουμε στεγανότητα έναντι διαρροών. Κάποια από τα χαρακτηριστικά των δεξαμενών αυτών είναι ότι έχουν ισχυρή θερμική μόνωση και εξαιρετικά ισχυρή κατασκευή έναντι διαρροών (ρωγμών, σεισμών, εξωτερικών πληγμάτων).

Διακρίνονται σε:

- **Υπέργειες:** (Στα υπέρ είναι το χαμηλότερο κόστος κατασκευής ενώ στα κατά είναι ο υψηλότερος βαθμός εξάτμισης και ο κίνδυνος διαρροών)
- **Υπόγειες:** (Στα υπέρ είναι ο χαμηλός βαθμός εξάτμισης και μικρότερος κίνδυνος διαρροών ενώ στα κατά είναι το υψηλό κόστος κατασκευής)



Εικόνα 4.2.1: Υπόγεια και υπέργεια δεξαμενή φυσικού αερίου

Η δεξαμενή που θα χρησιμοποιήσουμε στο υβριδικό μας σύστημα θα είναι υπέργεια γιατί οι απαιτήσεις μας είναι μικρές(οικιακή χρήση) και το κοστολόγιο χαμηλό σε σχέση με τις υπόγειες δεξαμενές.

#### **4.3. Επιλογή ισχύος φωτοβολταϊκών**

Η βέλτιστη επιλογή της ισχύος των φωτοβολταϊκών λαμβάνει πρωτίστως υπόψη την αξιολόγηση του ποσού της προσπίπτουσας ολικής ηλιακής ακτινοβολίας στο οριζόντιο επίπεδο, με μονάδα μέτρησης τα  $W/m^2$ . Συνήθως ενδιαφέρει η ολική ηλιακή ακτινοβολία στη διάρκεια μιας ώρας, η οποία οδηγεί στην εκτίμηση της ωριαίας ολικής ηλιακής ενέργειας, ενώ επίσης σημαντικές πληροφορίες είναι η ημερήσια ολική ηλιακή ακτινοβολία και η μηνιαία ολική ακτινοβολία. Η δική μας επιλογή της ισχύος των φωτοβολταϊκών, καθώς και ο τύπος τους αλλά και η διάταξη τους αναφέρονται στην μελέτη που γίνεται στο κεφάλαιο 7.

Τα Φ/Β που θα χρειαστούν για την κάλυψη των αναγκών του σπιτιού θα τοποθετηθούν στην οροφή του ώστε να έχει όσο το δυνατόν λιγότερα εμπόδια σκίασης που θα περιορίσουν την παραγόμενη ισχύ και τοποθετημένα σε πλαίσια των δύο σειρών, ώστε να μην χρειαστούμε να βάλουμε δυο διαφορετικές σειρές, οπότε τις πρωινές και τις απογευματινές ώρες να έχουμε προβλήματα σκίασης. Τέλος, ο τύπος που επιλέχτηκε είναι φωτοβολταϊκά στοιχεία πολυκρυσταλλικού πυριτίου διότι έχουν μια αρκετά καλή παραγωγή η οποία κυμαίνεται από 17% έως ~20%, σε εργαστηριακή μορφή κυψελίδας και από 10% έως και 14% σε βιομηχανική μορφή φωτοβολταϊκού πλαισίου, χαρακτηρίζεται από σχετικά υψηλή χρονική σταθερότητα ενώ κυμαίνεται σε προσιτές τιμές στο εμπόριο.

#### **4.4. Επιλογή ισχύος ΗΖ**

Στη συνέχεια πρέπει να επιλεχτεί ο τύπος και η ισχύς της γεννήτριας που θα ενσωματωθεί στον υβριδικό σταθμό. Μια γεννήτρια βενζίνης είναι πιο οικονομική από μία γεννήτρια φυσικού αερίου, αλλά έχει μικρότερη διάρκεια ζωής και μεγαλύτερο κόστος λειτουργίας.

Συνήθως στα υβριδικά συστήματα με γεννήτριες φυσικού αερίου, η δευτερεύουσα πηγή ενέργειας χρησιμοποιείται όταν το σύστημα έχει διαστασιολογηθεί έτσι ώστε οι ΑΠΕ, που στην περίπτωσή μας είναι τα φωτοβολταϊκά, να μπορούν να καλύπτουν εξολοκλήρου τις καταναλώσεις μας και η δευτερεύουσα πηγή ενέργειας να καλύπτει τα φορτία αιχμής ή τις αδυναμίες των ΑΠΕ (πχ μεγάλη διάρκεια συνεχόμενης κακοκαιρίας).

## Αυτόνομο υβριδικό σύστημα παραγωγής ενέργειας από Φωτοβολταϊκά και φυσικό αέριο

Οι γεννήτριες φυσικού αερίου τροφοδοτούν με ισχύ και αποθηκεύουν ενέργεια στα μέσα αποθήκευσης, τα οποία είναι κατά κύριο λόγο μπαταρίες. Αν υπάρχουν όμως μεγάλες διακυμάνσεις στην καμπύλη του φορτίου τότε καταλληλότερη είναι η γεννήτρια, έτσι ώστε να καλύπτει με μικρό κόστος τις αιχμές του ημερήσιου φορτίου ή γενικά όταν η διαστασιολόγηση είναι τέτοια ώστε οι ΑΠΕ να καλύπτουν μερικώς το φορτίο.

Στην δική μας περίπτωση επιλέγουμε μια σύγχρονη γεννήτρια φυσικού αερίου, που θα φορτίζει τις μπαταρίες μας. Η συχνότητα της θα είναι ανάλογη της ταχύτητας περιστροφής της μηχανής, ενώ η διέγερση της θα τροφοδοτείτε με συνεχές ρεύμα. Οι σύγχρονες γεννήτριες έχουν πολλά πλεονεκτήματα έναντι των ασύγχρονων και χρησιμοποιούνται σχεδόν πάντα σε ΑΠΕ γιατί η λειτουργία τους είναι πιο ομαλή σε σχέση με αυτή των ασύγχρονων.

Εφόσον έχουμε επιλέξει το είδος της γεννήτριας που θα χρησιμοποιηθεί θα πρέπει να γίνει η διαστασιολόγησή της, η οποία εξαρτάται από διάφορους παράγοντες. Ο κυριότερος από αυτούς είναι η αιχμή του φορτίου. Δηλαδή θα πρέπει η γεννήτρια να έχει την ικανότητα να καλύπτει την αιχμή του φορτίου. Επομένως παράγοντας είναι το είδος του φορτίου που πρέπει να καλυφθεί. Έτσι, αν το φορτίο είναι για παράδειγμα ωμικό τότε δεν υπάρχουν ιδιαίτερες απαιτήσεις από τη γεννήτρια για σταθερή συχνότητα του δικτύου, του οποίου αποτελεί πηγή. Η επιλογή της ισχύος της γεννήτριας αποδίδεται στο κεφάλαιο 7 όπου γίνεται η διαστασιολόγηση του δικτύου μας.

Στην περίπτωση αυτή μπορεί να χρησιμοποιηθεί η τεχνική σχεδιασμού του υβριδικού συστήματος όπου ο αντιστροφέας συνήθως δε λειτουργεί ταυτόχρονα με τη γεννήτρια και η διαστασιολόγηση του ανορθωτή συνήθως καθορίζεται από τη χωρητικότητα των μπαταριών. Μια άλλη λύση είναι οι δύο μετατροπείς ισχύος να αποτελούν ένα μετατροπέα διπλής κατεύθυνσης που χρησιμοποιούνται ευρέως σε ένα τέτοιο σύστημα.

Για λόγους οικονομίας και εάν η χωρητικότητα των μπαταριών είναι τέτοια που είναι αδύνατο να καλυφθεί το φορτίο αιχμής μέσω του αντιστροφέα, τότε ο αντιστροφέας μπορεί να είναι χαμηλότερης ισχύος και το φορτίο αιχμής να καλύπτεται απευθείας από τη γεννήτρια. Στην περίπτωση που οι απαιτήσεις του φορτίου είναι τέτοιες που να απαιτείται όσο το δυνατόν σταθερή συχνότητα, τότε θα

## Αυτόνομο υβριδικό σύστημα παραγωγής ενέργειας από Φωτοβολταϊκά και φυσικό αέριο

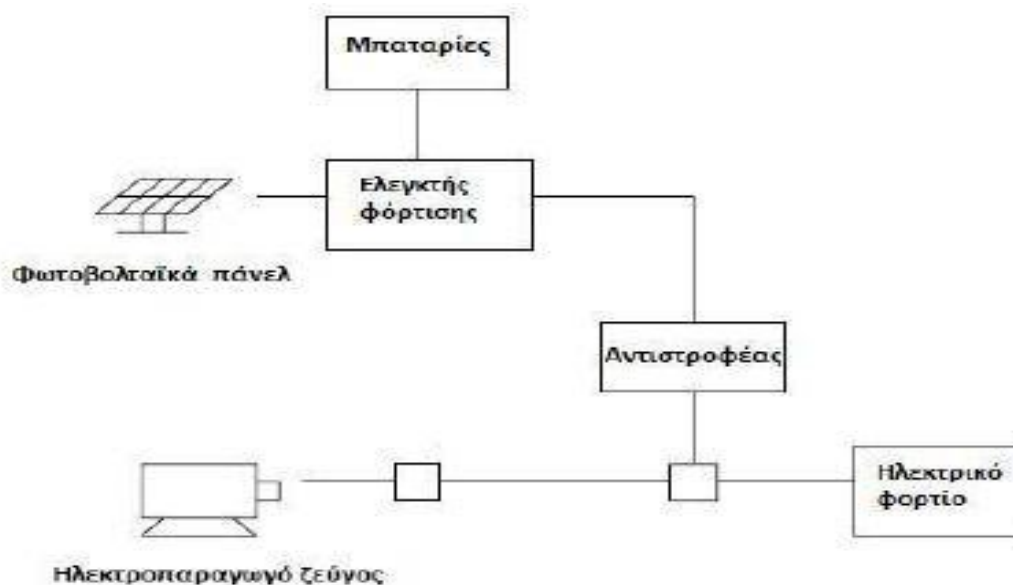
πρέπει η συχνότητα του φορτίου να καθορίζεται από την έξοδο του αντιστροφέα. Η τελευταία περίπτωση είναι και η πιο δαπανηρή.

Ο αντιστροφέας θα τοποθετηθεί δίπλα από τις μπαταρίες και κοντά στην γεννήτρια, ώστε όλα τα υλικά που χρειάζονται για την τροφοδοσία της οικίας με ηλεκτρικό ρεύμα να βρίσκονται σε ένα χώρο που να φυλάσσεται από άτομα χωρίς σχετική ειδικευση αλλά και να γίνεται πιο εύκολα ο έλεγχός τους. Στην συγκεκριμένη οικία αυτός ο χώρος υπάρχει και βρίσκεται πίσω από την θέση που θα τοποθετηθούν τα Φ/Β πλαίσια. Αυτό μας εξυπηρετεί και στον οικονομικό τομέα, αφού δεν θα έχουμε ούτε μεγάλο κόστος καλωδίων αλλά ούτε και απώλειες λόγω απόστασης.

### 4.5. Λειτουργία του υβριδικού συστήματος

Η λειτουργία του υβριδικού συστήματος (εικόνα 4.5.1) στην κανονική του λειτουργία είναι η εξής:

Τα φωτοβολταϊκά παρέχουν την απαιτούμενη ισχύ στο φορτίο μέσω του μετατροπέα ισχύος. Η πρόσθετη ενέργεια από τα φωτοβολταϊκά φορτίζει τις μπαταρίες μέσω του ρυθμιστή φόρτισης μέχρι οι μπαταρίες να φτάσουν στο μέγιστο επιτρεπτό επίπεδο φόρτισης τους. Ο κύριος σκοπός της χρήσης μπαταριών σαν αποθηκευτικό μέσο ενέργειας είναι να παρέχει ή να αποθηκεύει ενέργεια ανάλογα με τη ζήτηση. Η γεννήτρια μπαίνει σε λειτουργία εάν η ζήτηση του φορτίου δε μπορεί να καλυφθεί από τα φωτοβολταϊκά, αλλά ούτε και από τις μπαταρίες.



Εικόνα 4.5.1 : Λειτουργία αυτόνομου υβριδικού συστήματος

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5**

### **ΕΞΕΤΑΣΗ ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΩΝ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ ΠΑΡΑΓΩΜΕΝΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ**

#### ***Ηλεκτρικοί Συσσωρευτές***

Τη λύση του προβλήματος της συχνής ασυμφωνίας ζήτησης και παροχής ηλεκτρικής ενέργειας, μέσω της δυνατότητας της αποταμίευσης της, την παρέχουν οι ηλεκτρικοί συσσωρευτές (μπαταρίες). Μετατρέποντας την ηλεκτρική ενέργεια, ο συσσωρευτής, την αποθηκεύει σε χημική μορφή, για να την αποδώσει στην αρχική της μορφή όταν υπάρξει ζήτηση. Η χημική αποθήκευση ηλεκτρικής ενέργειας με τη βοήθεια συσσωρευτών φαίνεται ότι αποτελεί την πλέον κατάλληλη μέθοδο αποθήκευσης για ένα φωτοβολταϊκό σύστημα.

Τα πλεονεκτήματα ενός Φ/Β συστήματος με συσσωρευτές είναι η δυνατότητα να παρέχουν ενέργεια σε περιόδους που δεν υπάρχει ηλιακή ακτινοβολία, η δυνατότητα να καλύπτουν στιγμιαίες αιχμές ζήτησης φορτίου, η ύπαρξη σταθερής τάσης στο σύστημα, η ικανότητα αποθήκευσης της επί πλέον της ενεργειακής ζήτησης ενέργειας ώστε να μειώνονται οι απώλειες κτλ. Από την άλλη μεριά, η αυξημένη πολυπλοκότητα του συστήματος, το αυξημένο κόστος, ο αυξημένος χρόνος και το κόστος συντήρησης και πολλές φορές η μειωμένη αξιοπιστία μπορούν να καταγραφούν στα μειονεκτήματα ενός τέτοιου συστήματος.



Εικόνα 5.1 :Συσσωρευτές ROLLS

Στο κεφάλαιο αυτό, εκτός από τα βασικά στοιχεία της τεχνολογίας των συσσωρευτών θα εξεταστούν και τα χαρακτηριστικά της λειτουργίας τους, τα οποία πρέπει να λαμβάνονται υπόψη όταν χρησιμοποιούνται σε φωτοβολταϊκά συστήματα.

### **5.1. Δομή Συσσωρευτών**

Ένας συσσωρευτής αποτελείται από ένα ή περισσότερα στοιχεία συνδεδεμένα σε σειρά ή και παράλληλα και ο τρόπος σύνδεσής τους εξαρτάται από την επιθυμητή τάση εξόδου και τη χωρητικότητα της συστοιχίας. Το στοιχείο αποτελείται από τρία βασικά συστατικά:

- Την άνοδο, η οποία δίνει ηλεκτρόνια στο εξωτερικό κύκλωμα και οξειδώνεται κατά τη διάρκεια της ηλεκτροχημικής αντίδρασης.
- Την κάθοδο, η οποία δέχεται τα ηλεκτρόνια από το εξωτερικό κύκλωμα και ανάγεται κατά τη διάρκεια της ηλεκτροχημικής αντίδρασης.
- Τον ηλεκτρολύτη (ιονικός αγωγός) ο οποίος αποτελεί το μέσο για τη μεταφορά των ηλεκτρονίων στο εσωτερικό του στοιχείου μεταξύ της ανόδου και της καθόδου.

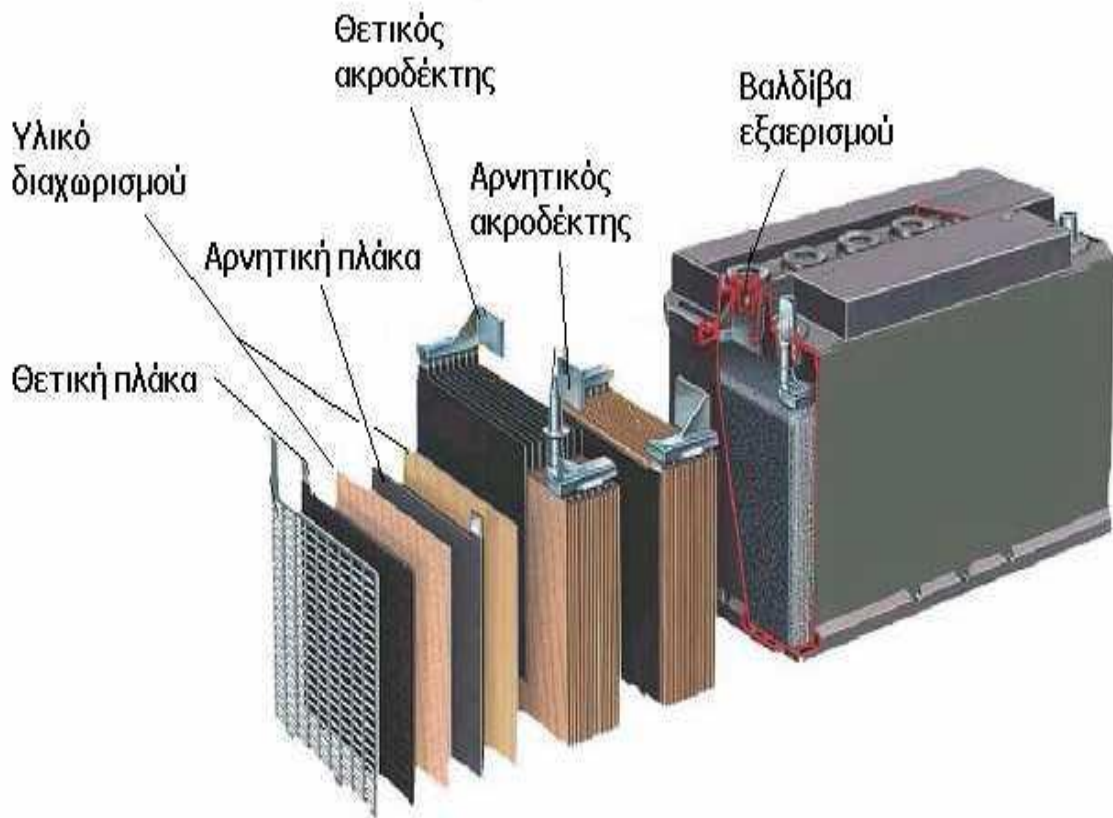
Ο ηλεκτρολύτης είναι συνήθως κάποιο διάλυμα που συμβάλλει στην ιονική αγωγιμότητα της διάταξης.

Σε ένα πρακτικό σύστημα, η άνοδος επιλέγεται λαμβάνοντας υπόψη τα παρακάτω: καλή αγωγιμότητα, σταθερότητα, ευκολία κατασκευής και μικρό κόστος. Συνήθως τα υλικά που επιλέγονται για την κατασκευή ανόδων είναι τα μέταλλα. Η κάθοδος πρέπει να είναι ένας καλός οξειδωτικός παράγοντας και να μην αλληλεπιδρά χημικά με τον ηλεκτρολύτη. Συνήθως τα υλικά που χρησιμοποιούνται για τη κατασκευή καθόδων είναι τα οξείδια μετάλλων. Ο ηλεκτρολύτης πρέπει να έχει καλή ιονική αγωγιμότητα. Η άνοδος και η κάθοδος είναι ηλεκτρικά απομονωμένες μέσα στο στοιχείο για την αποφυγή εσωτερικού βραχυκυκλώματος, αλλά περιβάλλονται από τον ηλεκτρολύτη.

Στις κατασκευές των στοιχείων χρησιμοποιείται ένα υλικό διαχωρισμού για να διαχωρίσει τα ηλεκτρόδια της ανόδου και της καθόδου. Το υλικό διαχωρισμού είναι διαπερατό από τον ηλεκτρολύτη, έτσι ώστε να διατηρηθεί η ιονική αγωγιμότητα του στοιχείου. Κατάλληλα υλικά μπορούν να προστεθούν στα ηλεκτρόδια για τη μείωση της εσωτερικής τους αντίστασης.

## Αυτόνομο υβριδικό σύστημα παραγωγής ενέργειας από Φωτοβολταϊκά και φυσικό αέριο

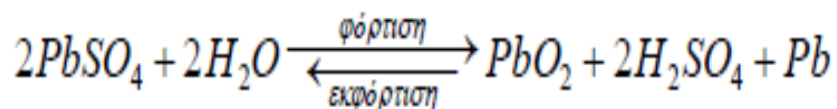
Το στοιχείο μπορεί να κατασκευαστεί σε πολλά σχήματα: κυλινδρικό, επίπεδο ή πρισματικό. Τα στοιχεία σφραγίζονται με διάφορους τρόπους για να αποφευχθεί η διαρροή του ηλεκτρολύτη. Μερικά στοιχεία διαθέτουν βαλβίδες για να επιτρέπουν τη διαφυγή των αερίων που παράγονται κατά τη λειτουργία τους. Στην εικόνα 5.1α φαίνεται η δομή ενός συσσωρευτή όπου διακρίνονται τα δομικά χαρακτηριστικά που έχουν περιγραφεί παραπάνω.



Εικόνα 5.1α : Η δομή ενός συσσωρευτή.

### 5.2. Αρχή Λειτουργίας Συσσωρευτών

Ο μηχανισμός της λειτουργίας των συσσωρευτών στηρίζεται σε μία αντιστρεπτή ηλεκτροχημική διαδικασία, η οποία για τους συσσωρευτές μολύβδου περιγράφεται από την αντίδραση:



## Αυτόνομο υβριδικό σύστημα παραγωγής ενέργειας από Φωτοβολταϊκά και φυσικό αέριο

Η κατεύθυνση προς τα δεξιά αντιστοιχεί στη διαδικασία της εκφόρτισης, ενώ η αντίθετη στη φόρτιση του συσσωρευτή. Πιο συγκεκριμένα, κατά την αρχική επαφή των μολύβδινων πλακών με το ηλεκτρολυτικό διάλυμα  $H_2SO_4$ , λεπτό επιφανειακό στρώμα των ηλεκτροδίων μετατρέπεται από Pb σε  $PbSO_4$ . Κατά τη φόρτιση υπό τάση λίγο μεγαλύτερη της ονομαστικής τάσης της διάταξης, το ηλεκτρόδιο που είναι συνδεδεμένο στον αρνητικό πόλο της πηγής φόρτισης, ανάγεται σε μεταλλικό μόλυβδο (Pb), με σπογγώδη μορφή και το άλλο που είναι συνδεδεμένο με το θετικό πόλο της πηγής, οξειδώνεται προς  $PbO_2$ , φαιού χρώματος.

Ένας συσσωρευτής αποτελείται από μία συνάθροιση κυψελίδων και η ονομαστική του τάση είναι το άθροισμα των ονομαστικών τάσεων των κυψελίδων του. Έτσι, ο συσσωρευτής που χρησιμοποιούμε, με ονομαστική τιμή 60Volt αποτελείται από 30 κυψελίδες ονομαστικής τιμής 2Volt η καθεμία.

### 5.3. Κατηγορίες Στοιχείων και Συσσωρευτών

#### *Πρωτεύοντα Στοιχεία ή Συσσωρευτές*

Τα πρωτεύοντα στοιχεία (ή συσσωρευτές) δε γίνεται να επαναφορτιστούν, γι' αυτό εκφορτίζονται μία φορά και στη συνέχεια αποσύρονται. Ο πρωτεύων συσσωρευτής είναι μία ικανοποιητική και συνήθως φθηνή πηγή ενέργειας. Τα γενικά πλεονεκτήματα τους είναι η γενικά μεγάλη ζωή τους όταν βρίσκονται αποθηκευμένοι, η μεγάλη πυκνότητα ενέργειας για μικρούς ή μεσαίους ρυθμούς εκφόρτισης, η μικρή ή έως καθόλου ανάγκη για συντήρηση, η ευκολία χρήσης και το μικρό αρχικό κόστος. Διάφορες εφαρμογές στις οποίες χρησιμοποιούνται πρωτεύοντες συσσωρευτές είναι φορητές ηλεκτρονικές και ηλεκτρικές συσκευές, φωτισμός, φωτογραφικός εξοπλισμός, παιχνίδια κ.α. Οι πιο συνηθισμένοι πρωτεύοντες συσσωρευτές είναι κυλινδρικοί ή επίπεδοι.



### ***Δευτερεύοντα Στοιχεία ή Συσσωρευτές***

Τα δευτερεύοντα στοιχεία (ή συσσωρευτές) μπορούν να επαναφορτιστούν ηλεκτρικά μετά την εκφόρτιση, μέχρι να επανέλθουν στην αρχική τους κατάσταση πριν τη εκφόρτιση. Αυτό γίνεται με την εφαρμογή ρεύματος με την αντίθετη φορά από αυτή του ρεύματος εκφόρτισης. Χρησιμοποιούνται σε εφαρμογές που απαιτούνται μεγάλες ισχύς. Πιο συγκεκριμένα, οι εφαρμογές στις οποίες χρησιμοποιούνται χωρίζονται σε δύο κύριες κατηγορίες:

- Τις εφαρμογές στις οποίες ο συσσωρευτής εκφορτίζεται μόνο όταν είναι απαραίτητο και φορτίζεται από μία πηγή τάσης ή ρεύματος. Τέτοιες εφαρμογές είναι τα συστήματα αεροπλάνων, συστήματα έκτακτης ανάγκης και συστήματα αποθήκευσης ενέργειας.
- Τις εφαρμογές στις οποίες ο συσσωρευτής χρησιμοποιείται ως κύρια πηγή ενέργειας και επαναφορτίζεται μετά τη χρήση αντί να αποσύρεται. Τέτοιες εφαρμογές συμπεριλαμβάνουν τις φορητές ηλεκτρικές και ηλεκτρονικές συσκευές, ηλεκτρικά οχήματα και γενικά εφαρμογές τις οποίες δε μπορούν να καλύψουν οι πρωτεύοντες συσσωρευτές.

Οι δευτερεύοντες συσσωρευτές χαρακτηρίζονται από υψηλή ενεργειακά πυκνότητα, υψηλούς ρυθμούς εκφόρτισης και καλή απόδοση σε χαμηλές θερμοκρασίες λειτουργίας. Μερικοί συσσωρευτές, οι οποίοι είναι γνωστοί και ως μηχανικά επαναφορτιζόμενοι, φορτίζονται με την αντικατάσταση ενός από τα ηλεκτρόδια, συνήθως της μεταλλικής διόδου. Τους βασικότερους εκπροσώπους αυτής της κατηγορίας, που είναι και πλέον κατάλληλοι για φωτοβολταϊκά συστήματα, αποτελούν οι συσσωρευτές μολύβδου (LEAD-ACID) και οι συσσωρευτές νικελίου- καδμίου (NICKEL-CADMIUM).

#### ***5.4. Τύποι Συσσωρευτών***

Έχει ήδη αναφερθεί ότι τα υλικά του κράματος στο πλέγμα των πλακών κατηγοριοποιούν τους συσσωρευτές μολύβδου και νικελίου σε υποκατηγορίες. Αυτοί οι συνδυασμοί, μαζί με άλλα κατασκευαστικά χαρακτηριστικά των συσσωρευτών, καθορίζουν τις ιδιαιτερότητες των επιδόσεων τους και τις εφαρμογές για τις οποίες είναι περισσότερο κατάλληλοι.

### ***Συσσωρευτές Μολύβδου***

Γνωστοί και ευρέως χρησιμοποιούμενοι τύποι συσσωρευτών μολύβδου είναι:

- ✓ Οι συσσωρευτές μολύβδου-αντιμονίου (Pb-Sb).
- ✓ Οι συσσωρευτές μολύβδου-ασβεστίου (Pb-Ca), οι οποίοι χωρίζονται σε υγρού καταλύτη με ανοικτή ή με σφραγισμένη βαλβίδα εξαέρωσης.
- ✓ Οι υβριδικοί συσσωρευτές μολύβδου-αντιμονίου / μολύβδου-ασβεστίου.
- ✓ Οι μολύβδου με δεσμευμένο καταλύτη που μπορεί να είναι gelled ή absorbed glass material (AGM).

### ***Συσσωρευτές Μολύβδου-Αντιμονίου (Pb-Sd)***

Ιδιαίτερα για αυτόνομα φωτοβολταϊκά συστήματα, όπου δεν υπάρχει εναλλακτική λύση παροχής ηλεκτρικής ενέργειας και όπου οι μεταβολές της ηλιοφάνειας μπορούν να είναι έντονες και μακρόχρονες, απαραίτητοι είναι οι συσσωρευτές που έχουν μεγάλη χωρητικότητα, μπορούν να υποστούν βαθιά εκφόρτιση και συχνά απαιτείται μία καλή σχέση κόστους και διάρκειας ζωής. Για ένα τέτοιο σύστημα, καλή επιλογή θα αποτελούσε ένας συσσωρευτής μολύβδου-αντιμονίου (Pb-Sd).

Αυτοί είναι συσσωρευτές με εξαιρετικά χαρακτηριστικά, όσο αφορά τις δυνατότητες βαθιάς εκφόρτισης και υψηλού ρυθμού εκφόρτισης. Έχουν επίσης μεγάλη διάρκεια ζωής και υφίστανται μικρή διάχυση των ενεργών υλικών τους. Μειονέκτημα τους είναι ο μεγάλος βαθμός αυτοεκφόρτισης που υφίστανται και που οδηγεί στην ανάγκη να υπερφορτίζονται με αποτέλεσμα τη μεγάλη απώλεια υγρών που εξαρτάται και από τις θερμοκρασίες λειτουργίας.

### ***Συσσωρευτές μολύβδου δεσμευμένου ηλεκτρολύτη (Captive Electrolyte Lead- Acid Batteries)***

Πολύ δημοφιλής επιλογή για αυτόνομα φωτοβολταϊκά συστήματα είναι οι συσσωρευτές μολύβδου δεσμευμένου ηλεκτρολύτη (Captive Electrolyte Lead-Acid Batteries), λόγω της στεγανότητας τους και της ευκολίας μετακίνησης που παρουσιάζουν. Το γεγονός ότι δεν έχουν απαιτήσεις συντήρησης (ούτε και δυνατότητα), σε συνδυασμό με την ευκολία στη μετακίνηση τους καθιστά ιδανικούς για συστήματα σε απομακρυσμένα ή δυσπρόσιτα μέρη. Πάνω από τα μισά απομακρυσμένα μικρά φωτοβολταϊκά συστήματα τους χρησιμοποιούν.

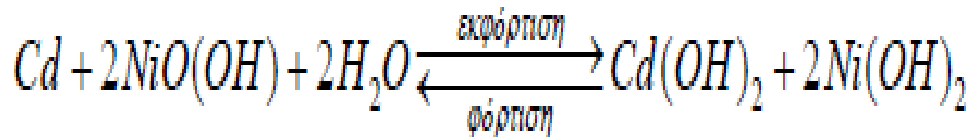
### **Άλλοι Τύποι Συσσωρευτών**

Εκτός από τους συσσωρευτές μολύβδου έχουν αναπτυχθεί κατά καιρούς και έχουν κυκλοφορήσει στο εμπόριο ή βρίσκονται ακόμα υπό μελέτη διάφοροι άλλοι τύποι συσσωρευτών όπως οι συσσωρευτές νικελίου. Γνωστοί και ευρέως χρησιμοποιούμενοι τύποι συσσωρευτών νικελίου είναι:

- ✓ Οι συσσωρευτές Νικελίου-Καδμίου.
- ✓ Οι συσσωρευτές Νικελίου- Σιδήρου.
- ✓ Οι συσσωρευτές Νικελίου- Ψευδαργύρου.
- ✓ Οι συσσωρευτές REDOX.

### **Συσσωρευτές Νικελίου-Καδμίου**

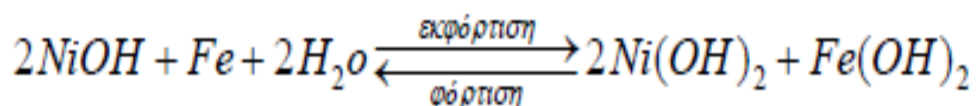
Η χημική αντίδραση που περιγράφει τη φόρτιση-εκφόρτιση είναι:



Ο ηλεκτρολύτης είναι διάλυμα υδροξειδίου του καλίου σε νερό. Στα πλεονεκτήματα των συσσωρευτών αυτών περιλαμβάνονται η δυνατότητα μεγάλων ρυθμών, μεγάλη διάρκεια ζωής, δυνατότητα υπερφόρτισης, σχετικά σταθερή τάση λειτουργίας συναρτήσει της στάθμης φόρτισης, ικανότητα παραμονής σε μέτρια στάθμη φόρτισης χωρίς πολλές φθορές. Χρησιμοποιούνται σε ηλεκτρονικές συσκευές, φορητά εργαλεία, σαν εφεδρικές πηγές και σε διαστημικές εφαρμογές. Στα μειονεκτήματά τους συγκαταλέγονται το υψηλό κόστος και η μικρή χωρητικότητα.

### **Συσσωρευτές Νικελίου- Σιδήρου**

Η χημική αντίδραση που περιγράφει τη φόρτιση-εκφόρτιση είναι:



## Αυτόνομο υβριδικό σύστημα παραγωγής ενέργειας από Φωτοβολταϊκά και φυσικό αέριο

Ο ηλεκτρολύτης είναι διάλυμα υδροξειδίου του καλίου σε νερό. Στα πλεονεκτήματα των συσσωρευτών αυτών περιλαμβάνονται η μεγάλη διάρκεια ζωής και η δυνατότητα να υπερφορτίζονται και να υπερεκφορτίζονται με ελάχιστη μόνιμη βλάβη, ενώ στα μειονεκτήματα το σχετικά υψηλό κόστος και ο μικρός βαθμός απόδοσης.

### ***Συσσωρευτές Νικελίου- Ψευδαργύρου***

Η χημική αντίδραση είναι όμοια με τους προηγούμενους με τη διαφορά ότι χρησιμοποιούν ηλεκτρόδιο ψευδαργύρου στη θέση του σιδήρου. Τα πλεονεκτήματά τους είναι η μεγάλη πυκνότητα ισχύος και ενέργειας που τους κάνει κατάλληλους για συσσωρευτές έλξης, ενώ σαν μειονεκτήματα έχουν τη μικρή διάρκεια ζωής, σχετικά χαμηλό βαθμό απόδοσης και το υψηλό κόστος.

### ***Συσσωρευτές REDOX***

Τα ενεργά υλικά είναι διάλυμα 2 CrCl σε νερό για το θετικό ηλεκτρόδιο και διάλυμα 3 FeCl σε νερό για το αρνητικό ηλεκτρόδιο και αποθηκεύονται σε χωριστά δοχεία εκτός του στοιχείου, όπου βρίσκονται τα δυο ηλεκτρόδια και κυκλοφορούν με τη βοήθεια αντλιών. Στα πλεονεκτήματά τους περιλαμβάνονται η μεγάλη διάρκεια ζωής, η δυνατότητα υπερφόρτωσης ή υπερεκφότισης χωρίς μόνιμη βλάβη, η δυνατότητα ρύθμισης της τάσης με την πρόθεση επί πλέον στοιχείων κατά τη διάρκεια της λειτουργίας, ενώ στα μειονεκτήματα οι ενεργειακές (παρασιτικές) απαιτήσεις για τη λειτουργία των βοηθητικών συσκευών κ.α.

Τέλος, πρέπει να τονισθεί ότι βρίσκονται υπό μελέτη και άλλοι τύποι συσσωρευτών που καθένας παρουσιάζει τα δικά του πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα.

### ***5.5. Κύκλος Λειτουργίας (DUTY CYCLE)***

Μια πλήρης φόρτιση μαζί με την επόμενη επαναφόρτιση αναφέρεται σαν ένας κύκλος (CYCLE). Οι συσσωρευτές ανάλογα με τον τρόπο χρησιμοποίησης χωρίζονται στις ακόλουθες κατηγορίες, που καθεμιά παρουσιάζει ιδιαίτερα κρίσιμα χαρακτηριστικά.

### ***Συσσωρευτές Εκκίνησης (SLI και DIESEL)***

Χρησιμοποιούνται για την εκκίνηση (STARTING), φωτισμό (LIGHTING) και ανάφλεξη (IGNITION) αυτοκινήτων και ντιζελομηχανών. Έχουν μεγάλους ρυθμούς εκφόρτισης και αποδίδουν μεγάλα ποσά ενέργειας σε μικρές χρονικές περιόδους με μικρό βάθος εκφόρτισης, σχετικά χαμηλό κόστος, μεγάλη ταχύτητα αυτοεκφόρτισης, διάρκεια ζωής 2-5 χρόνια για αυτοκίνητα και μέχρι 8 χρόνια για ντιζελομηχανές και μικρή διάρκεια ζωής σε κύκλους (200 κύκλους για 50% DOD και 3-5 κύκλους για 80-100% DOD).

### ***Συσσωρευτές Έλξης (MOTIVE POWER, TRACTION)***

Χρησιμοποιούνται σε ανυψωτικά μηχανήματα, ηλεκτρικούς συρμούς ορυχείων, υποβρύχια και εν γένει ηλεκτροκίνητα οχήματα. Έχουν μεγάλη ταχύτητα αυτοεκφόρτισης και όταν δεν εκφορτίζονται σε βάθος μπορεί να διαρκέσουν 5-15 χρόνια.

### ***Στάσιμοι Συσσωρευτές (STATIONARY FLOAT)***

Χρησιμοποιούνται σε τηλεφωνικά συστήματα, συστήματα αδιάλειπτου παροχής και εν γένει εφεδρικά συστήματα. Αρχίζουν να παρέχουν ενέργεια μόνο όταν η κύρια τροφοδοσία πάθει κάποια βλάβη με ρυθμούς εκφόρτισης C /8 μέχρι 2 C ανάλογα με την εφαρμογή. Έχουν διάρκεια ζωής 15-30 χρόνια.

### ***Συσσωρευτές Κλειστού Τύπου (SEALED)***

Δε χρειάζονται συνήθως συντήρηση (πρόσθεση νερού) διότι χρησιμοποιούν πλάκες ενισχυμένες με ασβέστιο που ελαχιστοποιούν την έκλυση αερίων, καταλύτη για επανασύνδεση των αερίων και βαλβίδες ασφαλείας.

### ***Φωτοβολταϊκοί Συσσωρευτές Μικρού Ρυθμού Εκφόρτισης***

Χρησιμοποιούνται σε απομακρυσμένα αυτόνομα φωτοβολταϊκά συστήματα που σχεδιάζονται για ελάχιστη συντήρηση με μικρούς ρυθμούς εκφόρτισης (C /500), να αντέχουν στις χαμηλές θερμοκρασίες, με μεγάλη διάρκεια ζωής (5-15 χρόνια) και μικρή ταχύτητα αυτοεκφόρτισης.

### ***Φωτοβολταϊκοί Συσσωρευτές Μέσου Ρυθμού Εκφόρτισης***

Χρησιμοποιούνται σε φωτοβολταϊκά συστήματα διασυνδεδεμένα στο δίκτυο ή με εφεδρική πηγή ενέργειας. Είναι συνήθως τροποποιημένοι συσσωρευτές έλξης (π.χ. περιέχουν περισσότερο ηλεκτρολύτη, ώστε να μειώσουν τις απαιτήσεις σε συντήρηση, λιγότερο ανθεκτικές από μηχανική άποψη κτλ). Έχουν μέσους ρυθμούς και μεγάλο ημερήσιο βάθος εκφόρτισης.

## ***5.6. Χαρακτηριστικά Μεγέθη ενός Συσσωρευτή***

### ***Ηλεκτρικά Χαρακτηριστικά***

Τα στοιχεία που προσδιορίζουν τις δυνατότητες ενός ηλεκτρικού συσσωρευτή είναι η ονομαστική τάση στους πόλους του, που εκφράζεται με την έννοια της ηλεκτρεγερτικής δύναμης (ΗΕΔ) και η ονομαστική χωρητικότητά του. Η ΗΕΔ μετρείται σε Volt και ισούται με την πολική τάση του συσσωρευτή όταν δεν είναι συνδεδεμένος σε καταναλωτή.

Οι τιμές των ΗΕΔ των διαφόρων τύπων συσσωρευτών (Pb- H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, NiCd, Ni-Fe, Ni-Zn, Sodium- Sulphur, Zinc- Bromide, Zinc- Chloride, Lithium- Metal Sulphide Nickel- Hydrogen) κυμαίνονται μεταξύ 1V και ~4V ανά στοιχείο. Για να προκύψει μια διάταξη συσσώρευσης σε υψηλότερη ΗΕΔ, όμοια ηλεκτρικά στοιχεία συνδέονται σε σειρά μεταξύ τους. Η ονομαστική τάση ενός στοιχείου συσσωρευτή μολύβδου είναι 2,25 V. Έτσι, οι τυπικές ονομαστικές τάσεις με τις οποίες κυκλοφορούν, με την τυπική εμπορική τους μορφή οι συσσωρευτές μολύβδου είναι 6V, 12V 24V και 48 V.

### ***Χωρητικότητα***

Η ποσότητα της ηλεκτρικής ενέργειας που μπορεί να αποθηκευτεί σε ένα συσσωρευτή ή που μπορεί να αποδοθεί από αυτόν είναι η χωρητικότητα  $C$  του συσσωρευτή. Η χωρητικότητα συνήθως καθορίζεται για ένα συγκεκριμένο ρυθμό εκφόρτισης ή περίοδο εκφόρτισης. Εξαρτάται από αρκετούς σχεδιαστικούς παράγοντες, στους οποίους συμπεριλαμβάνονται η ειδική πυκνότητα του ηλεκτρολύτη, η ποσότητα του ενεργού υλικού, ο αριθμός, ο σχεδιασμός και οι φυσικές διαστάσεις των πλακών (ηλεκτροδίων). Λειτουργικοί παράγοντες που επηρεάζουν τη χωρητικότητα είναι ο ρυθμός εκφόρτισης, το βάθος της εκφόρτισης (ποσοστό της συνολικής χωρητικότητας που αποδόθηκε από τη μπαταρία), η τάση της μπαταρίας στο τέλος της εκφόρτισης (τάση αποκοπής), η θερμοκρασία, η ηλικία της μπαταρίας και το ιστορικό της χρήσης της (κακή χρήση κτλ).

Η συνήθης μονάδα έκφρασης της χωρητικότητας του συσσωρευτή είναι το Amberhour (Ah) και ο ρυθμός εκφόρτισης εκφράζεται ως το κλάσμα της χωρητικότητας  $C$  προς τη διάρκεια της περιόδου εκφόρτισης σε ώρες (π.χ. εκφόρτιση σε 120 ώρες ισοδυναμεί με ρυθμό εκφόρτισης  $C/120$ ). Φυσικά, η μονάδα του ρυθμού εκφόρτισης είναι το Amber. Μερικές φορές, η χωρητικότητα σε αποθηκευμένη ενέργεια του συσσωρευτή εκφράζεται σε Kilowatt-hour (KWh) και υπολογίζεται προσεγγιστικά πολλαπλασιάζοντας τη χωρητικότητα σε Ah με την ονομαστική τάση του συσσωρευτή και διαιρώντας με 1000.

Μέτρο της χωρητικότητας του συσσωρευτή είναι η κατάσταση φόρτισης (state of charge ή SOC), που ορίζεται σαν το ποσό της αποθηκευμένης ενέργειας και εκφράζεται ως το ποσοστό της ενέργειας ενός πλήρως φορτισμένου συσσωρευτή. Έτσι, ένας συσσωρευτής του οποίου τα  $3/4$  της ενέργειας του έχουν αφαιρεθεί, δηλαδή έχει εκφορτιστεί κατά 75%, λέγεται ότι βρίσκεται στο 25% SOC.

### ***Εκφόρτιση και Επιτρεπόμενο Βάθος Εκφόρτισης***

Το επιτρεπόμενο βάθος εκφόρτισης (depth of discharge ή DOD ) είναι το μέγιστο ποσοστό της χωρητικότητας το οποίο μπορεί να αποδοθεί από τη μπαταρία. Συνήθως καταδεικνύεται από την τάση αποκοπής ή τάση βάθους εκφόρτισης και από το ρυθμό εκφόρτισης. Στα τυπικά φωτοβολταϊκά συστήματα προβλέπεται μία τάση αποκοπής του φορτίου από τη συσκευή του ρυθμιστή φόρτισης συσσωρευτών και έτσι καθορίζεται το επιτρεπόμενο βάθος εκφόρτισης για δεδομένο ρυθμό εκφόρτισης. Οι τιμές του επιτρεπόμενου DOD μπορούν να είναι από 80% έως και 15% της χωρητικότητας ανάλογα με τον τύπο της μπαταρίας. Το επιτρεπόμενο βάθος εκφόρτισης πρέπει να μειώνεται θέτοντας την τάση αποκοπής του φορτίου στην συσκευή ρυθμιστή φόρτισης σε κατάλληλο σημείο. Το αποτέλεσμα θα είναι ο συσσωρευτής να μην εκφορτίζεται πλήρως και η θερμοκρασία στερεοποίησης να διατηρείται χαμηλά. Το κόστος θα είναι η μείωση της αυτονομίας του συστήματος μπαταρίας-συσσωρευτή.

Για να διατηρείται η αυτονομία, η χωρητικότητα του συσσωρευτή πρέπει να επιλέγεται λαμβάνοντας υπόψη, τόσο τη μείωση της σε χαμηλές θερμοκρασίες όσο και το DOD στις θερμοκρασίες αυτές. Η τάση του βάθους εκφόρτισης σχετίζεται με το ρυθμό εκφόρτισης για τον οποίο είναι καθορισμένη η χωρητικότητα.

### ***Αυτοεκφόρτιση***

Η αυτοεκφόρτιση είναι η διαδικασία κατά την οποία ο συσσωρευτής υφίσταται μείωση του SOC (state of charge), χωρίς να είναι συνδεδεμένος με κάποια κατανάλωση. Τα αίτια είναι οι εσωτερικοί χημικοί μηχανισμοί ή άλλες απώλειες της μπαταρίας και σημαντικοί παράγοντες στη διαδικασία της αυτοεκφόρτισης είναι τα ενεργά υλικά και τα στοιχεία του κράματος του πλέγματος που επιλέχθηκαν κατά τον σχεδιασμό του συσσωρευτή. Τυπικό μέγεθος αυτοεκφόρτισης είναι η απώλεια του 0,7% του SOC ανά ημέρα και για το λόγο αυτό, οι συσσωρευτές πρέπει να βρίσκονται σε συνθήκες συντηρητικής φόρτισης ακόμα και αν δεν υπάρχει κατανάλωση. Τυπικοί ρυθμοί αυτοεκφόρτισης ενός συσσωρευτή είναι:

- ✓ Σε θερμοκρασία 5° C, η χωρητικότητα ελαττώνεται κατά 2% ανά μήνα.
- ✓ Σε θερμοκρασία 15° C, η χωρητικότητα ελαττώνεται κατά 4% ανά μήνα.
- ✓ Σε θερμοκρασία 25° C, η χωρητικότητα ελαττώνεται κατά 10% ανά μήνα.



### **Φόρτιση**

Η φόρτιση του συσσωρευτή είναι η διαδικασία αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας με παροχή ηλεκτρικού ρεύματος προς το συσσωρευτή. Οι μέθοδοι φόρτισης που εφαρμόζονται από τους ρυθμιστές φόρτισης στα φωτοβολταϊκά συστήματα, διαφέρουν γενικά από αυτές που εφαρμόζουν οι κατασκευαστές για να καθορίσουν τις επιδόσεις της μπαταρίας.

Οι προδιαγραφές δεν περιορίζουν κατά κανόνα το ρεύμα φόρτισης του συσσωρευτή εφόσον δεν γίνει υπέρβαση της τάσης εκλύσεως αερίων. Ωστόσο, η τάση εκλύσεως αερίων γίνεται μικρότερη καθώς το ρεύμα φόρτισης γίνεται μεγαλύτερο. Άλλος παράγοντας που πρέπει να λαμβάνεται υπόψη για το επιδιωκόμενο SOC είναι η θερμοκρασία λειτουργίας του συσσωρευτή. Όσο αυξάνεται η θερμοκρασία αυξάνεται η χωρητικότητα του συσσωρευτή, μειώνεται όμως η τάση εκλύσεως αερίων. Έτσι, το μέγιστο SOC που μπορεί να επιτευχθεί σε δεδομένη θερμοκρασία, κατά κάποιο τρόπο φράσσεται από την τάση εκλύσεως αερίων.

### **Χρόνος Ζωής Συσσωρευτή**

Οι συσσωρευτές δεν πρέπει να υφίστανται παρατεταμένη φόρτιση σε πολύ υψηλή τάση γι' αυτούς (Overcharging), ούτε να εκφορτίζονται κάτω από ένα όριο (Overdischarging). Ο κανόνας αυτός είναι πολύ σημαντικός και καθορίζει το χρόνο ζωής τους. Η υπερφόρτιση έχει ως αποτέλεσμα την ηλεκτρόλυση και συνακόλουθα, την παραγωγή υδρογόνου με ταυτόχρονη έντονη ελάττωση της στάθμης του ηλεκτρολυτικού διαλύματος (απώλεια νερού). Ο χρόνος ζωής των συσσωρευτών εκφράζεται σε κύκλους λειτουργίας, καθένας από τους οποίους περιλαμβάνει τις διαδικασίες εκφόρτισης και φόρτισής του.

Η χωρητικότητα, C του συσσωρευτή δεν παραμένει σταθερή. Μειώνεται όσο αυξάνουν οι κύκλοι λειτουργίας. Ένας πρακτικός κανόνας που προσεγγίζει την πραγματική συμπεριφορά των συσσωρευτών και ουσιαστικά περιγράφει το χρόνο ζωής τους, είναι ο ακόλουθος: Το γινόμενο βάθους εκφόρτισης επί τους κύκλους λειτουργίας είναι με καλή προσέγγιση σταθερό:

$$\beta_{\text{εφ}} N_k = \text{σταθερό}$$

Όπου : k N το πλήθος των κύκλων λειτουργίας του συσσωρευτή.

### **Συντελεστής Γήρανσης Συσσωρευτή**

Η χωρητικότητα του συσσωρευτή ελαττώνεται με την πάροδο του χρόνου, δηλαδή, με την αύξηση του αριθμού των κύκλων λειτουργίας του. Η μείωση αυτή (γήρανση) πρέπει να ληφθεί υπόψη κατά τον υπολογισμό της αρχικής χωρητικότητας του συσσωρευτή, ώστε μέσα στο χρόνο ζωής του να διατηρεί τη δυνατότητα να καλύπτει ημερησίως την ενέργεια που απαιτούν οι καταναλώσεις της εφαρμογής, με το αυτό βάθος εκφόρτισης. Η εμπειρία έχει δείξει ότι, η χωρητικότητα ενός συσσωρευτή μειώνεται σταδιακά και περί το πέρας της ζωής του έχει πέσει στο 80% της αρχικής ονομαστικής χωρητικότητάς του. Συνεπώς, ως τυπική τιμή του συντελεστή γήρανσης του συσσωρευτή λαμβάνεται η τιμή  $\eta_{\gamma,\beta}=0,8$ .

### **Συντελεστής Φόρτισης και Απόδοση**

Τα αμπερώρια (Ah) που είναι απαραίτητα για τη φόρτιση ενός συσσωρευτή και την αύξηση του SOC κατά ένα συγκεκριμένο ποσοστό είναι κατά κανόνα περισσότερα από τα Ah που αποδίδει όταν εκφορτιστεί κατά το ίδιο ποσοστό του SOC. Έτσι, ορίζεται ο συντελεστής φόρτισης ως το κλάσμα της εισερχόμενης ποσότητας Ah προς την εξερχόμενη ποσότητα Ah, δηλαδή ισχύει:

$$\text{Συντελεστής φόρτισης} = \frac{\text{εισερχόμενη ποσότητα Ah}}{\text{εξερχόμενη ποσότητα Ah}}$$

Αντίστοιχα, ο λόγος της ισχύος που δίνει ένας πλήρως φορτισμένος συντελεστής προς την ενέργεια που απαιτείται για να φορτιστεί πλήρως ονομάζεται απόδοση ισχύος. Δηλαδή ισχύει:

$$\text{Απόδοση ισχύος} = \frac{\text{εξερχόμενη ενέργεια (kW)}}{\text{εισερχόμενη ενέργεια (kW)}}$$

Όταν φορτίζεται ένας συσσωρευτής, ένα ποσοστό της τάξεως του 10-20% της προσφερόμενης σ' αυτόν ενέργειας χάνεται, θερμαίνοντας τον ηλεκτρολύτη ή προκαλώντας ηλεκτρόλυση. Έτσι ένας συσσωρευτής χαρακτηρίζεται από συγκεκριμένο βαθμό απόδοσης ενέργειας,  $E_n$ . Ορίζεται ως ο λόγος του ηλεκτρικού έργου που αποδίδει ο συσσωρευτής κατά την εκφόρτιση ( $W = V \cdot I \cdot t$ ), δια του έργου που του προσφέρθηκε κατά την προηγούμενη φόρτισή του. Τυπική τιμή 80-85%.

$$\eta_E = \frac{W_{\text{εκφόρτισης}}}{W_{\text{φόρτισης}}}$$

Εκτός από το βαθμό ενεργειακής απόδοσης, χρησιμοποιείται επίσης ο αντίστοιχος βαθμός απόδοσης φορτίου,  $\eta_n$ , ο οποίος ορίζεται ως ο λόγος του φορτίου κατά την εκφόρτιση, προς το φορτίο κατά τη φόρτιση. Τυπική τιμή  $\eta_n=90\%$ .

$$\eta_n = \frac{Q_{\text{εκφόρτισης}}}{Q_{\text{φόρτισης}}}$$

### ***Οι Συσσωρευτές στα Φωτοβολταϊκά Συστήματα***

Για τη σωστή εκλογή, σχεδίαση και λειτουργία των συσσωρευτών στα φωτοβολταϊκά συστήματα πρέπει να ληφθούν υπόψη πολλές παράμετροι όπως:

- ✓ Τα χαρακτηριστικά της φωτοβολταϊκής συστοιχίας.
- ✓ Οι συσκευές προσαρμογής και ελέγχου της ισχύος.
- ✓ Το φορτίο.
- ✓ Οι μετεωρολογικές συνθήκες.
- ✓ Ο συγκεκριμένος τύπος του συσσωρευτή.

### ***Κύκλος Λειτουργίας σε Αυτόνομα Φωτοβολταϊκά Συστήματα με Εφεδρική Πηγή***

Ο τρόπος με τον οποίο θα λειτουργήσει ένας συσσωρευτής επηρεάζει τόσο τον τύπο όσο και την ιδιαίτερη κατασκευή των στοιχείων του. Σ' ένα φωτοβολταϊκό σύστημα ο κύκλος λειτουργίας των συσσωρευτών καθορίζεται κυρίως από:

- ✓ Το προφίλ του φορτίου.
- ✓ Την προσπίπτουσα ακτινοβολία και τη χρονική σχέση της με το φορτίο.
- ✓ Την ύπαρξη ή μη εφεδρικής πηγής ενέργειας.

### **Αυτόνομα συστήματα με εφεδρική πηγή ενέργειας**

Στα συστήματα αυτά υπάρχει μια εφεδρική πηγή (γεννήτρια φυσικού αερίου), ενώ για περιόδους χαμηλής ακτινοβολίας ή μεγάλης ζήτησης υπάρχουν και συσσωρευτές με χωρητικότητα που κυμαίνεται από μερικές ώρες μέχρι μερικές μέρες, ανάλογα με το ποσοστό του φορτίου που πρέπει να καλύψει το ηλιακό σύστημα και τις κλιματολογικές συνθήκες. Γενικά ο κύκλος λειτουργίας είναι παρόμοιος με των συσσωρευτών των διασυνδεδεμένων στο δίκτυο. Ωστόσο αν υπάρχει διαθέσιμη αρκετή χωρητικότητα (μερικές μέρες) προκύπτουν κάπως χαμηλότεροι ρυθμοί φόρτισης/εκφόρτισης και λιγότεροι πλήρεις κύκλοι στη μονάδα του χρόνου.

### **Ονομαστική Χωρητικότητα και Παρεχόμενη Ισχύς από τους Συσσωρευτές κατά τη Λειτουργία τους σε Φωτοβολταϊκό Σύστημα**

Λαμβάνοντας υπόψη τα παραπάνω καταλήγουμε σε ένα συσσωρευτή ονομαστικής χωρητικότητας  $N C$ . Η αξιοποιήσιμη χωρητικότητα  $C$  δίνεται από:

$$C = C_N \times \beta$$

Όπου :  $\beta$  είναι το βάθος εκφόρτισης του συσσωρευτή.

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

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

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

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

Αυτόνομο υβριδικό σύστημα παραγωγής ενέργειας από Φωτοβολταϊκά  
και φυσικό αέριο

Και τότε η ονομαστική χωρητικότητά του είναι:

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

Ως προς την παρεχόμενη ισχύ, βρίσκουμε εύκολα ότι αν ένας συσσωρευτής απαιτείται να τροφοδοτεί την κατανάλωση με μέση ισχύ P επί μ συνεχείς μέρες, τότε η ενεργός χωρητικότητα θα πρέπει να είναι:

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

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6**

### **ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΕΛΕΓΧΟΥ ΚΑΙ ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗΣ ΤΗΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΕΙΑΣ ΤΟΥ ΥΒΡΙΔΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ**

#### ***Τα Ηλεκτρονικά των Φωτοβολταϊκών***

Η ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται από ένα Φ/Β πλαίσιο είναι υπό μορφή συνεχούς ρεύματος (DC). Η μετατροπή του συνεχούς ρεύματος σε εναλλασσόμενο (AC) είναι απαραίτητη για τη χρήση πολλών κοινών συσκευών όπως και για τη σύνδεση στο υπάρχον ηλεκτρικό δίκτυο και επιτυγχάνεται με ένα μετατροπέα τάσης συνεχούς σε εναλλασσόμενο ρεύμα ή αλλιώς μετατροπέας DC-AC.

Η αποδοτικότητα των μετατροπέων είναι γενικά μεγαλύτερη από 90%, όταν λειτουργούν πάνω από το 10% της μέγιστης παραγωγής τους και μπορεί να φτάσει έως και 96%. Οι μετατροπείς που συνδέονται άμεσα με τα φωτοβολταϊκά ενσωματώνουν μια ηλεκτρονική διάταξη ανίχνευσης του μέγιστου σημείου ισχύος (Maximum Power Point Tracker - MPPT), ρυθμίζοντας συνεχώς τη σύνθετη αντίσταση φορτίων έτσι ώστε ο μετατροπέας να εξάγει πάντα τη μέγιστη ενέργεια από το σύστημα.

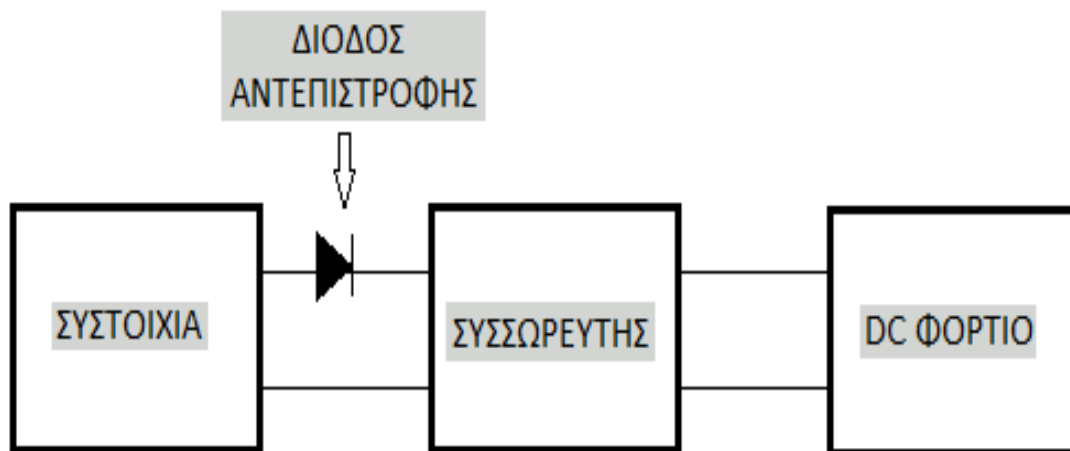
Οι μετατροπείς υπάγονται σε δύο-κύριες κατηγορίες: αυτό - συγχρονιζόμενος και συγχρονισμένος βάση μίας σύνδεσης. Ο πρώτος μπορεί να λειτουργήσει ανεξάρτητα, ενεργοποιούμενος από την πηγή ενέργειας, δηλαδή μόλις υπάρχει ρεύμα από τα Φ/Β τότε ενεργοποιείται για να μην σπαταλάει ρεύμα από τους συσσωρευτές. Αυτοί που υπάγονται στη δεύτερη κατηγορία ενεργοποιούνται και ελέγχονται από το δίκτυο. Αυτό είναι απαραίτητο για να διατηρήσει το δίκτυο σταθερή ποιότητα ρεύματος και να αποφευχθούν τυχόν ατυχήματα.

Παραδοσιακά, ένας μετατροπέας χρησιμοποιείται για ολόκληρη τη συστοιχία. Ξεχωριστοί μετατροπείς μπορούν να χρησιμοποιηθούν για διαφορετικές συστοιχίες Φ/Β σε περίπτωση που η εγκατεστημένη ισχύς είναι μεγάλη. Με αυτόν τον τρόπο επιτυγχάνεται καλύτερη αξιοπιστία, καθώς εάν προκύψει κάποιο πρόβλημα σε μια μονάδα, απομονώνεται χωρίς να σταματήσει την παραγωγή το υπόλοιπο σύστημα.

### 6.1. Μονάδες Μετατροπής Ισχύος

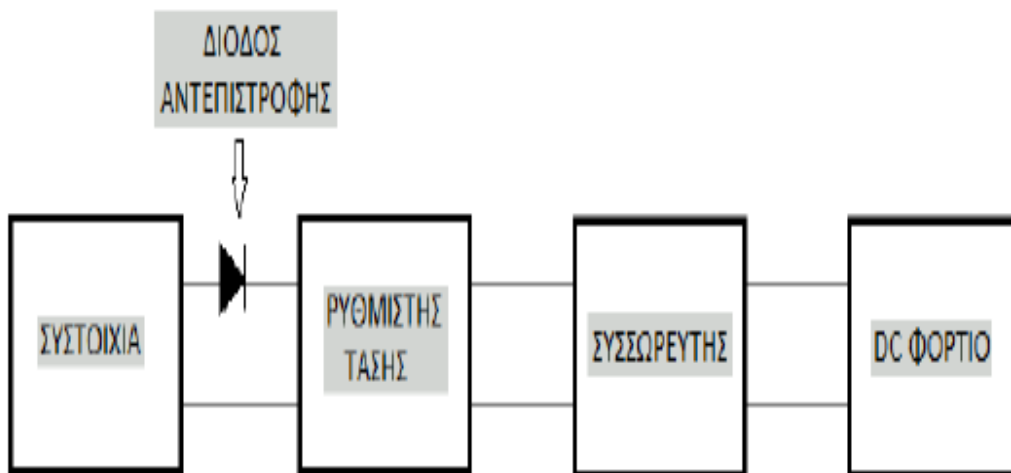
Μονάδες μετατροπής ισχύος είναι οι μονάδες εκείνες που αναλαμβάνουν την προσαρμογή μεταξύ συστοιχίας, συσσωρευτή, φορτίων και εφεδρικής πηγής ενέργειας (αν υπάρχει) μετατρέποντας την «ακατέργαστη» DC ισχύ έξοδο από τη φωτοβολταϊκή συστοιχία σε ισχύ «κατάλληλης ποιότητας» και σύμφωνης με τις απαιτήσεις του φορτίου.

Μια φωτοβολταϊκή συστοιχία παράγει DC ισχύ με μεταβολές της τάσης της τάξης του 30%. Αν οι ανάγκες του φορτίου περιορίζονται σε DC ισχύ (π.χ. φωτισμός, DC κινητήρας, άλλα ωμικά φορτία) τότε ο πιο απλός συνδυασμός είναι η απ' ευθείας σύνδεση της συστοιχίας με ένα συσσωρευτή, μέσω διόδου αντεπιστροφής και στη συνέχεια με το φορτίο (εικόνα 6.1α). Η διάδος αντεπιστροφής τοποθετείται για αποφυγή της εκφόρτισης των συσσωρευτών διαμέσου της φωτοβολταϊκής γεννήτριας, αν μειωθεί σημαντικά η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας. Ο συνδυασμός αυτός συνίσταται μόνο όταν το μέγιστο ρεύμα της συστοιχίας είναι μικρότερο από το 5% της χωρητικότητας των συσσωρευτών.



Εικόνα 6.1α : Αυτορυθμιζόμενο φωτοβολταϊκό σύστημα

Σε πολλά DC συστήματα, οι μεταβολές της τάσης που οφείλονται σε μεταβολή των καιρικών συνθηκών και χειροτέρευση των χαρακτηριστικών τους κυττάρων λόγω γήρανσης, αντισταθμίζονται με έλεγχο της τάσης της συστοιχίας με τη βοήθεια ρυθμιστών τάσης (εικόνα 6.1β). Έτσι, παρέχεται ισχύς σε σταθερή τάση με σκοπό να προστατεύσουμε το συσσωρευτή και το φορτίο από ακραίες τιμές της τάσης με όλες τις γνωστές συνέπειες.



Εικόνα 6.1β : Φωτοβολταϊκό σύστημα με ρυθμιστή τάσης.

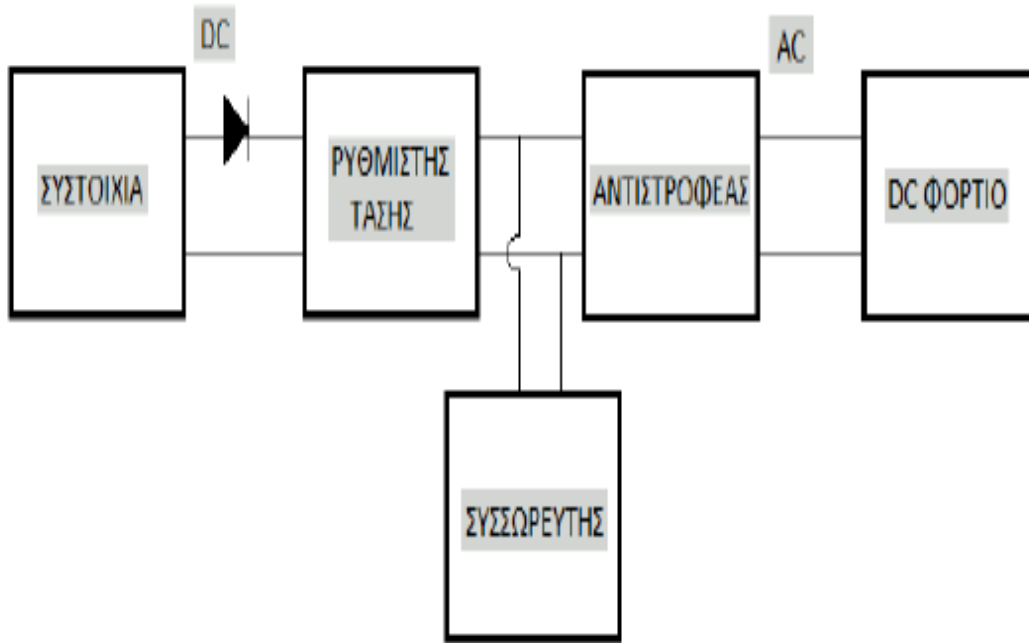
Σε ένα φωτοβολταϊκό σύστημα θέλουμε να εξάγουμε από τη συστοιχία το μέγιστο δυνατό ποσό ενέργειας, δηλαδή σε κάθε χρονική στιγμή το σημείο λειτουργίας να αντιστοιχεί στο σημείο μέγιστης ισχύος. Αν το σύστημα είναι αυτόνομο και περιλαμβάνει συσσωρευτές ο αριθμός τους σε σειρά συνδεδεμένων στοιχείων των συσσωρευτών πρέπει να είναι κατάλληλος, ώστε η τάση του συσσωρευτή να βρίσκεται στη γειτονιά της τάσης που αντιστοιχεί στο σημείο μέγιστης ισχύος της συστοιχίας κατά τη διάρκεια της λειτουργίας. Σε κάθε περίπτωση, δεν υπάρχει αυτή η προσαρμογή λόγω μεταβολής της ακτινοβολίας, της θερμοκρασίας, της στάθμης φόρτισης των συσσωρευτών (SOC), του ρυθμού φόρτισης/εκφόρτισης των συσσωρευτών, με συνέπεια τη μείωση του συνολικού βαθμού απόδοσης. Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιείται μια μονάδα που ονομάζεται ανιχνευτής σημείου μέγιστης ισχύος (Maximum Power Point Tracker), που ακολουθώντας κατάλληλη στρατηγική ανίχνευσης του σημείου μέγιστης ισχύος επιτυγχάνει την απαιτούμενη προσαρμογή.

## 6.2. Μετατροπέας (inverter) DC-AC

Αν οι ανάγκες του φορτίου απαιτούν AC ισχύ (που είναι και η πιο συνηθισμένη περίπτωση) χρησιμοποιείται κι ένας αντιστροφέας, inverter, (εικόνα 6.2α) ώστε να μετατρέπει την DC σε AC ισχύ:



Αυτόνομο υβριδικό σύστημα παραγωγής ενέργειας από Φωτοβολταϊκά  
και φυσικό αέριο

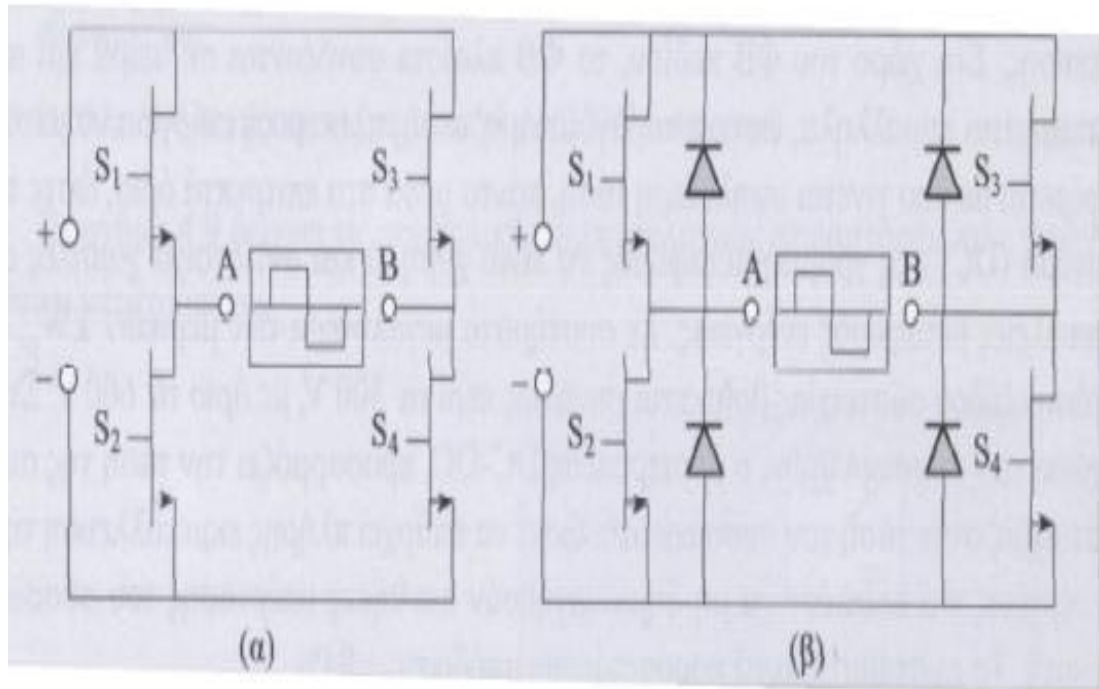


Εικόνα 6.2α : Φωτοβολταϊκό σύστημα με αντιστροφή

Επίσης, στις παραπάνω μονάδες μετατροπής της ισχύος μπορούμε να κατατάξουμε και τις μονάδες ελέγχου του συστήματος που μπορεί να περιλαμβάνουν: αυτόματη εκκίνηση και θέση εκτός λειτουργίας, εκτίμηση του SOC των συσσωρευτών, θέση σε λειτουργία της εφεδρικής πηγής ενέργειας, κατανομή φορτίου, εντοπισμό σφαλμάτων/αυτόματη διόρθωση, διακόπτες, γείωση, άλλα συστήματα προστασίας, συστήματα παρακολούθησης και καταγραφής δεδομένων κλπ.

Ο Inverter είναι ένα ηλεκτρονικό σύστημα ισχύος που μετατρέπει συνεχή τάση σε εναλλασσόμενη (μονοφασική ή τριφασική) (εικόνα 6.2β). Χρησιμοποιείται ευρύτατα σε περιπτώσεις που διαθέτουμε πηγή συνεχούς ηλεκτρικής τάσεως και καταναλωτές εναλλασσόμενης, όπως συμβαίνει στις φωτοβολταϊκές εφαρμογές οικιακής χρήσεως. Αποτελείται από ηλεκτρονικούς διακόπτες (bipolar transistors ισχύος, MOSFETs, thyristors κλπ), η συνδυασμένη λειτουργία των οποίων έχει ως αποτέλεσμα τη δημιουργία σειράς τετραγωνικών παλμών διαδοχικά ορθών και ανεστραμμένων (Inversion).

Αυτόνομο υβριδικό σύστημα παραγωγής ενέργειας από Φωτοβολταϊκά  
και φυσικό αέριο



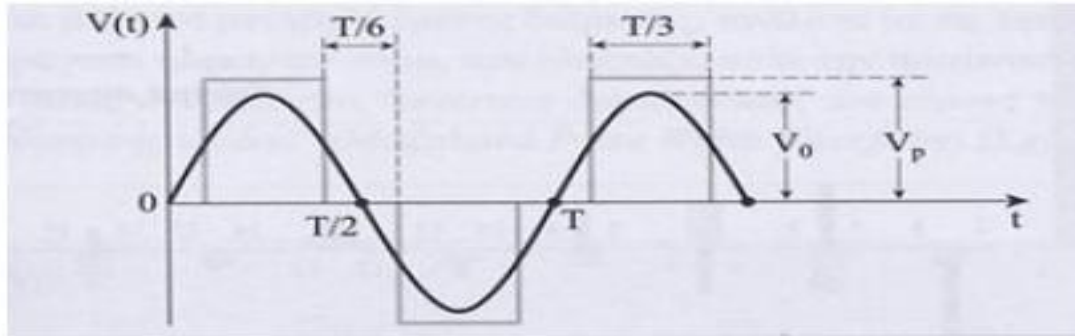
Εικόνα 6.2β : Βασική αρχή λειτουργίας του inverter. Τα S1, S2, S3, S4 είναι διακοπτικά στοιχεία.

Η μετατροπή του συνεχούς ρεύματος σε εναλλασσόμενο (DC-AC conversion) επιτυγχάνεται με κλείσιμο- άνοιγμα των διακοπτικών στοιχείων ανά δύο, χιαστί (1,4 και 2,3). Όσο τα S1, S4 είναι αγωγή και τα S2, S3 σε αποκοπή, τα σημεία A και B έχουν πρόσημα + και - αντίστοιχα. Όταν συμβαίνει το αντίστροφο, τα A και B έχουν πρόσημα - και + αντίστοιχα. Με αυτόν τον τρόπο δημιουργείται η εναλλασσόμενη τετραγωνική τάση (κέντρο του διαγράμματος).

Στο προηγούμενο κύκλωμα (εικόνα 6.2γ) προστίθεται σε κάθε διακοπτικό στοιχείο από μία δίοδος, έτσι ώστε να αποκόπτεται η επιστρεφόμενη ισχύς από μη ωμικά φορτία κατανάλωσης.

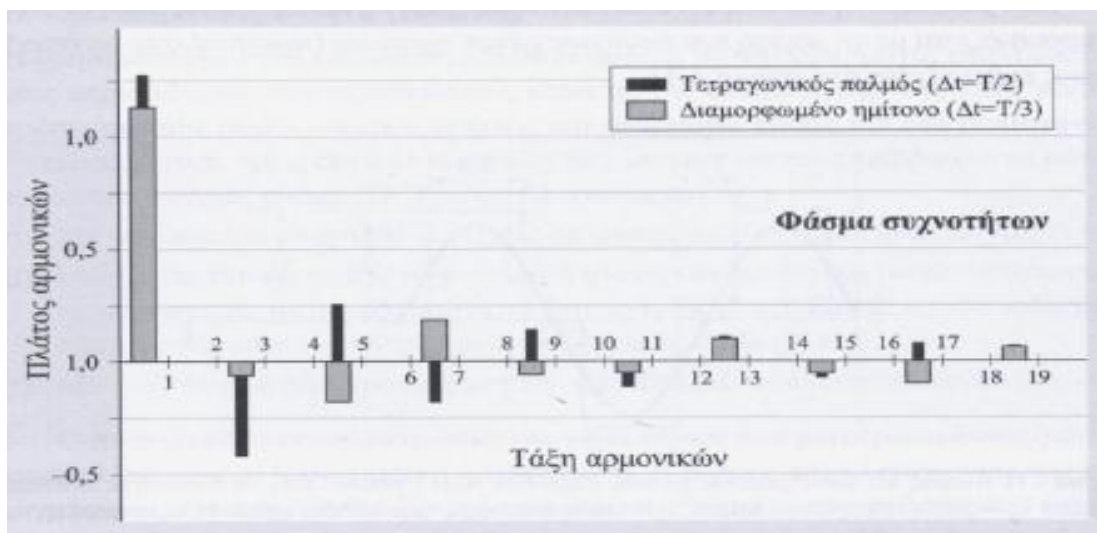
Μία βελτιωμένη έκδοση inverter αποτελεί εκείνος του οποίου η τάση εξόδου παρουσιάζεται με τη μορφή του διαμορφωμένου ημιτόνου (modified sine inverter), όπως εμφανίζεται στην (εικόνα 6.2δ).

Αυτόνομο υβριδικό σύστημα παραγωγής ενέργειας από Φωτοβολταϊκά και φυσικό αέριο



Εικόνα 6.2γ : Η μορφή του τροποποιημένου ημίτονου σε σύγκριση με το καθαρό ημίτονο  $p$

Με κατάλληλη ρύθμιση των χρόνων κλεισίματος – ανοίγματος των διακοπών, επιτυγχάνουμε μικρή τροποποίηση της κυματομορφής εξόδου του, η οποία χαρακτηρίζεται από το ότι ο αρνητικός τετραγωνικός παλμός είναι μετατοπισμένος χρονικά, σε σχέση με το θετικό, κατά  $T/6$  της περιόδου της συνολικής κυματομορφής. Το χρονικό εύρος των τετραγωνικών τμημάτων είναι  $T/3$ . Το πλεονέκτημα αυτής της διαμορφωμένης τετραγωνικής κυματομορφής είναι ότι περιορίζεται το μέγεθος των ανωτέρων αρμονικών και άρα περιορίζεται δραστικά η παραμόρφωση σήματος. Πράγματι, όπως φαίνεται (σχήμα 6.2ε), υπάρχει μεγάλη διαφορά μεταξύ των πλατών των ανωτέρων αρμονικών του διαμορφωμένου σήματος, σε σχέση με τον απλό τετραγωνικό παλμό.



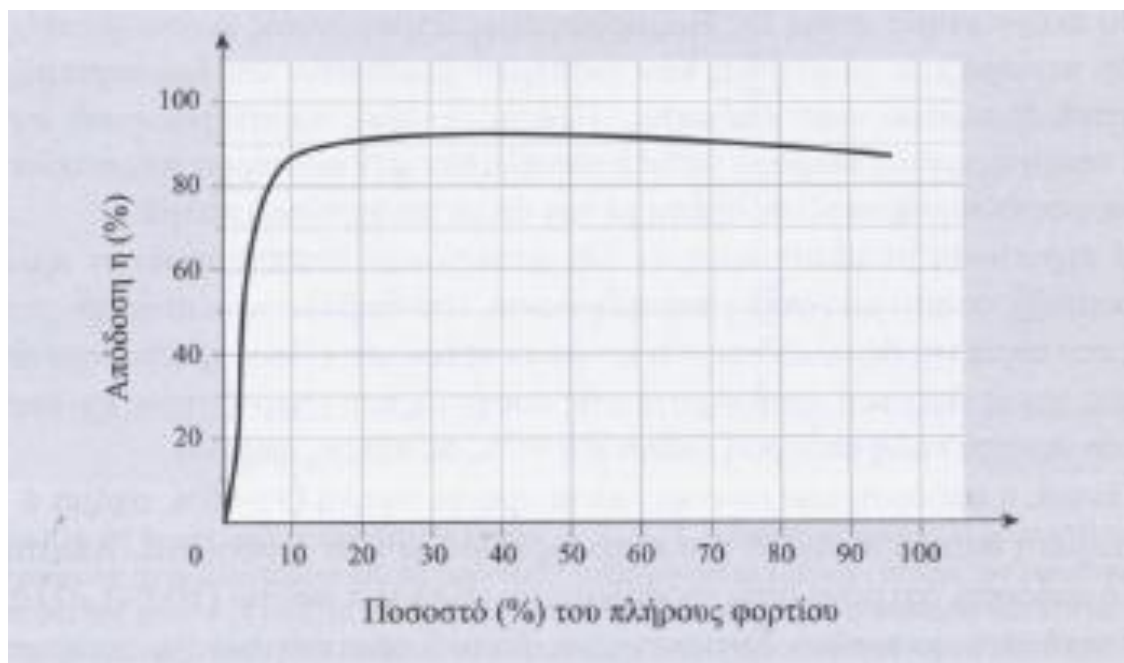
Σχήμα 6.2δ : Φάσμα συχνοτήτων δύο περιοδικών σημάτων, του εναλλασσόμενου τετραγωνικού παλμού(μαύρα παραλληλόγραμμα) και του εναλλασσόμενου διαμορφωμένου τετραγωνικού παλμού.

Αυτόνομο υβριδικό σύστημα παραγωγής ενέργειας από Φωτοβολταϊκά  
και φυσικό αέριο

Το πλάτος της θεμελιώδους αρμονικής (τάξη  $n = 1$ ) είναι  $\sim 1,15$  του πλάτους του τετραγωνικού παλμού

$$(V_0 = 1,15 V_p).$$

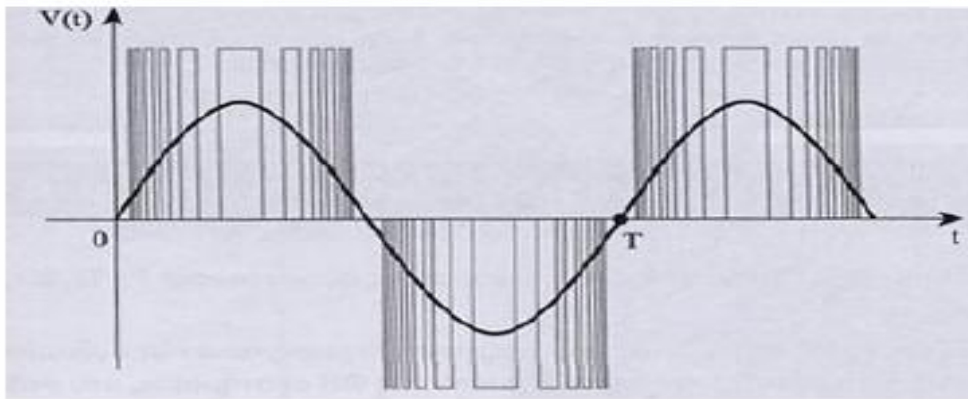
Η περίπτωση με μετατόπιση  $\tau = T / 6$  μεταξύ των αντεστραμμένων παλμών χαρακτηρίζεται από μικρότερη παραμόρφωση, που επιβάλουν οι ανώτερες αρμονικές στο σήμα της θεμελιώδους. Οι inverters αυτού του είδους χρησιμοποιούνται, ευρέως, χωρίς ιδιαίτερα προβλήματα στις συσκευές που τροφοδοτούν και παρουσιάζουν αρκετά καλή απόδοση (μέχρι και 96%, σε πλήρες φορτίο). Γενικά, η απόδοση των inverters είναι αρκετά υψηλή (93-96%), εξαρτώμενη από το ποσοστό του πλήρους φορτίου που τροφοδοτεί. Απαιτείται υψηλή απόδοση, όχι μόνο όταν τροφοδοτείται το πλήρες φορτίο (100%), αλλά και όταν αυτό είναι μειωμένο. Συγκεκριμένα, βασικό απαιτούμενο χαρακτηριστικό ενός inverter είναι η υψηλή απόδοση (>90%) ακόμα και όταν το φορτίο είναι μόνο 10% του πλήρους. Σημειώνεται, επίσης, ότι η λειτουργία τους συνοδεύεται, κατά περίπτωση από παραγωγή μεγάλου πλήθους αρμονικών υψηλών συχνοτήτων (κυρίως με τον απλό τετραγωνικό παλμό), που περιορίζονται με ειδικά ηλεκτρονικά φίλτρα.



Σχήμα 6.2ε : Μεταβολή της απόδοσης του inverter σε συνάρτηση με το ποσοστό του πλήρους φορτίου που τροφοδοτεί.

## Αυτόνομο υβριδικό σύστημα παραγωγής ενέργειας από Φωτοβολταϊκά και φυσικό αέριο

Επιβάλλοντας περισσότερα κλεισίματα των διακοπών 1,4 και 2,3 και μάλιστα μεταβαλλόμενης διάρκειας, ανάλογα με τις τιμές ενός ημιτόνου, παράγεται ηλεκτρικό σήμα που πλησιάζει πολύ την ημιτονική μορφή. Οι διατάξεις αυτές ονομάζονται "inverters διαμόρφωσης του εύρους των παλμών της κυματομορφής εξόδου"



Η κυματομορφή εξόδου ενός inverter διαμόρφωσης εύρους παλμών.

### Σχεδίαση ενός DC-AC Μετατροπέα

#### Πλευρά Εισόδου του Μετατροπέα (Input side)

Επί της ουσίας πρόκειται για την πλευρά του μετατροπέα που συνδέεται με την έξοδο της φωτοβολταϊκής συστοιχίας, η οποία παρέχει ισχύ υπό συνεχή dc τάση και ρεύμα. Τα μεγέθη που παραθέτουμε σε αυτήν την παράγραφο αναφέρονται στην dc πλευρά της συσκευής, δηλαδή σε συνεχές ρεύμα και τάση.

#### 6.3. Κατάσταση λειτουργίας

Ο μετατροπέας έχει ενσωματωμένες στην είσοδο του ηλεκτρονικές διατάξεις που επεξεργάζονται κατάλληλα το ρεύμα και την τάση εξόδου της φ/β συστοιχίας, ώστε για κάθε χρονική στιγμή να απορροφάμε τη μέγιστη ισχύ από τη συστοιχία. Η παραγωγή και άρα απορρόφηση μέγιστης ισχύος όπως είδαμε αντιστοιχεί στο MPP σημείο λειτουργίας. Με τη χρήση τέτοιων διατάξεων το σημείο λειτουργίας διατηρείται σταθερά στο MPP, προφανώς για τις εκάστοτε συνθήκες ακτινοβολίας και θερμοκρασίας. Η κατάσταση λοιπόν λειτουργίας του μετατροπέα λαμβάνεται να αντιστοιχεί πάντα στο MPP.

### ***Ελάχιστη και μέγιστη MPP τάση***

Οι δύο αυτές χαρακτηριστικές τιμές της τάσης ορίζουν ένα «παράθυρο τάσης», άνω και κάτω όριο τάσης, μέσα στο οποίο ο inverter δύναται να αναζητήσει το MPP. Όταν καθορίζουμε την τάση MPP εξόδου της συστοιχίας αυτή θα πρέπει να βρίσκεται μέσα στο «παράθυρο τάσης» του μετατροπέα. Το MPP όπως είδαμε καθορίζεται από το ρεύμα IMPP και την τάση VMPP. Τα μεγέθη αυτά παρέχονται από τους κατασκευαστές των πλαισίων αλλά αναφέρονται στις πρότυπες συνθήκες ελέγχου (STC), όπου η θερμοκρασία λειτουργίας των κυττάρων λαμβάνεται 25.

### ***Μέγιστη τάση***

Είναι η απόλυτη μέγιστη dc τάση κάτω από οποιαδήποτε συνθήκες που μπορεί να δεχθεί στην είσοδό του ο μετατροπέας. Η μέγιστη τάση εξόδου της συστοιχίας δεν πρέπει να υπερβαίνει αυτή την τιμή. Πρέπει λοιπόν να εξετάζουμε αν η  $U_{oc}$  της συστοιχίας είναι μικρότερη από το συγκεκριμένο όριο τάσης. Για να είμαστε στην ασφαλή πλευρά, η ακτινοβολία λαμβάνεται στους 1000, ενώ για τη θερμοκρασία μια καλή προσέγγιση είναι  $-10^{\circ} C$  για την Ευρώπη. Σε υψηλότερες θερμοκρασίες η  $U_{oc}$  ελαττώνεται.

### ***Κατώφλι ισχύος (Power threshold)***

Είναι η ελάχιστη ισχύς εισόδου που χρειάζεται ο inverter για να λειτουργήσει. Μπορεί να θεωρηθεί ότι είναι ισχύς που καταναλώνει ο ίδιος ο inverter για τη λειτουργία του.

### ***Μέγιστο φωτοβολταϊκό ρεύμα ( $I_{pvmax}$ )***

Είναι το απόλυτο μέγιστο αποδεκτό ρεύμα στην είσοδο του inverter. Για τη διαστασιολόγηση του συστήματος συνήθως εξετάζεται η απαίτηση το  $I_{MPP}$  της συστοιχίας να είναι μικρότερο από την παραπάνω τιμή.

### ***Λοιπά στοιχεία***

Άλλα στοιχεία τα οποία μπορεί κανείς να βρει στους καταλόγους με τα τεχνικά χαρακτηριστικά των κατασκευαστών, αλλά δε χρησιμοποιούνται από το συγκεκριμένο πρόγραμμα για το σχεδιασμό και την εξομοίωση είναι τα εξής:

- **Η Ονομαστική Φωτοβολταϊκή Ισχύς** που είναι μια συνήθης καθοριζόμενη παράμετρος για τους inverter. Εννοείται ως η συνιστώμενη ονομαστική ισχύς της φ/β συστοιχίας.
- **Η Μέγιστη Φωτοβολταϊκή Ισχύς** η τιμή της οποίας μπορεί να δίνεται μερικές φορές. Η σημασία της δεν είναι σαφώς ορισμένη. Μπορεί να γίνει αντιληπτή, ως η απόλυτη μέγιστη ισχύς της φωτοβολταϊκής συστοιχίας σε STC συνθήκες αν και ο ακριβής της ορισμός διαφέρει από κατασκευαστή σε κατασκευαστή.

### ***Πλευρά Εξόδου του Μετατροπέα***

Εννοείται η πλευρά του μετατροπέα που συνδέεται στο δίκτυο ή εν γένει στο φορτίο που τροφοδοτεί. Προφανώς στην πλευρά εξόδου έχουμε εναλλασσόμενη (AC) τάση και ρεύμα. Τα χαρακτηριστικά μεγέθη που εξετάζονται στις επόμενες υποπαραγράφους αναφέρονται στην ac πλευρά του μετατροπέα.

### ***Ονομαστική ισχύς***

Η ονομαστική ισχύς είναι ένα από τα πιο σημαντικά χαρακτηριστικά μεγέθη για τους μετατροπείς. Εννοείται ως η ισχύς που μπορεί να παρέχει διαρκώς στο δίκτυο. Όταν έχουμε υπέρβαση των ορίων, δηλαδή σε ακραίες περιπτώσεις υπερπαραγωγής ισχύος στο MPP, εφαρμόζεται κάποια μέθοδος περιορισμού, π.χ. μετατόπιση του σημείου λειτουργίας της I -V χαρακτηριστικής. Η ονομαστική ισχύς είναι το μόνο από τα μεγέθη που χρησιμοποιεί το πρόγραμμα για τη διαστασιολόγηση της εγκατάστασης.

### ***Μέγιστη AC ισχύς***

Η σημασία της δεν είναι σαφώς ορισμένη αν και μερικές φορές παρέχεται από τους κατασκευαστές. Μπορεί να εννοηθεί ως η μέγιστη ισχύς που μπορεί να δώσει ο μετατροπέας στην έξοδο του για ένα χρονικό διάστημα, μετά την υπέρβαση του οποίου επέρχεται η υπερθέρμανση της συσκευής οπότε και πρέπει να σταματήσει η λειτουργία της στο σημείο αυτό.

### Ονομαστική AC τάση

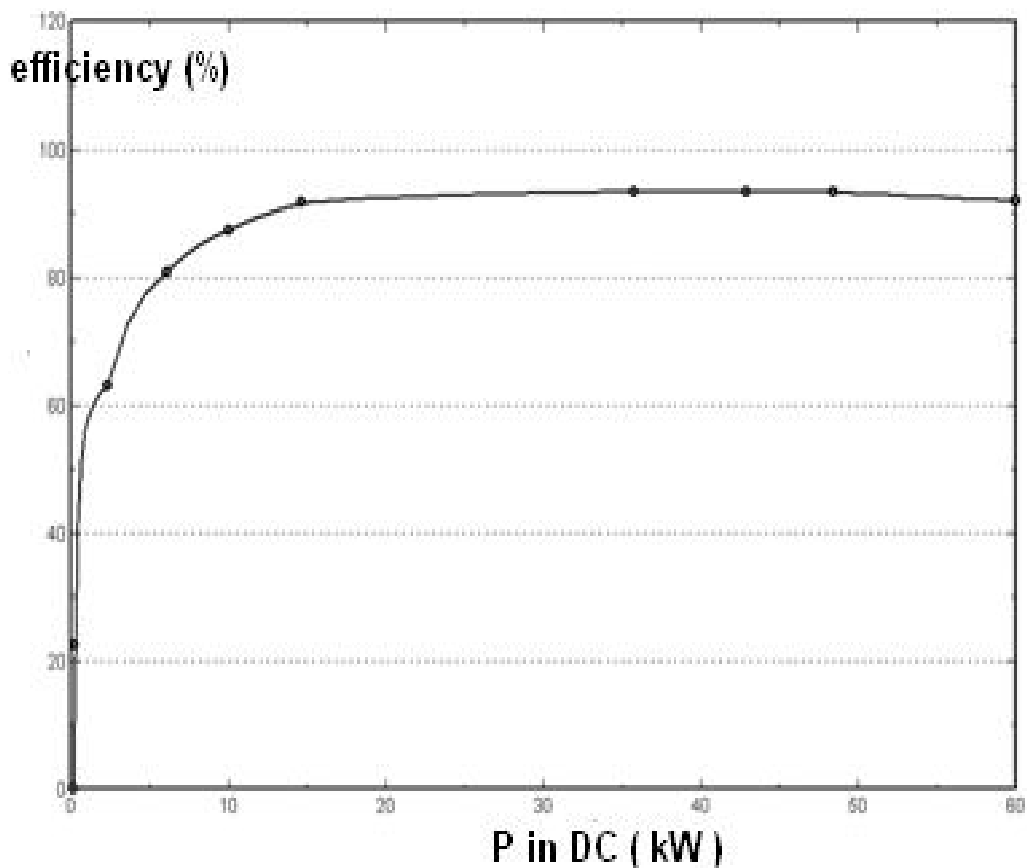
Είναι η τάση υπό την οποία παρέχει την ονομαστική ισχύ του ο μετατροπέας στην έξοδό του. Εξαρτάται από την τάση του δικτύου για την οποία είναι σχεδιασμένος να συνδέεται ο μετατροπέας.

### Συχνότητα δικτύου

Οι περισσότεροι μετατροπείς μπορούν να συνδεθούν σε δίκτυο με συχνότητα 50 Hz και 60 Hz. Για την Ελλάδα λαμβάνουμε 50 Hz.

### 6.4 Απόδοση

Γενικά οι μετατροπείς χαρακτηρίζονται από υψηλή απόδοση (93%-97%), η οποία όμως εξαρτάται από τη στιγμιαία ισχύ. Υπάρχει η απαίτηση ο μετατροπέας να έχει μεγάλη απόδοση και για μικρή ισχύ, συγκεκριμένα 90% για 10% της ονομαστικής ισχύος.



Σχήμα 6.4α :Απόδοση μετατροπέα συναρτήσει της ισχύος εισόδου της συσκευής



Να σημειώσουμε ακόμα ότι οι κατασκευαστές δίνουν την «ευρωπαϊκή απόδοση», που επιχειρεί να περιγράψει την απόδοση της συσκευής για τη μέση παραγωγή ισχύος στις συνθήκες λειτουργίας ενός έτους

### **6.5 Ελεγκτής φόρτισης**

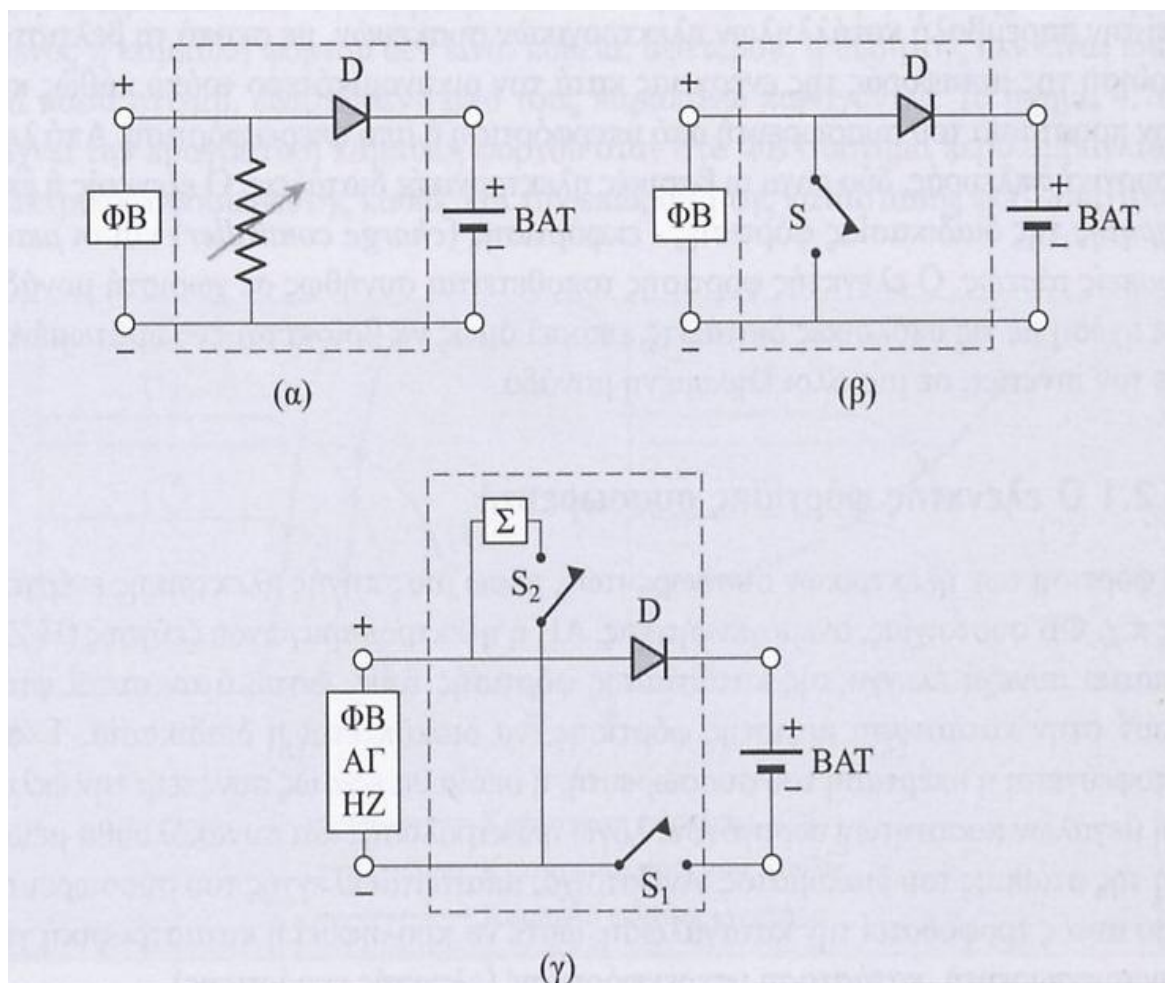
Η φόρτιση των συσσωρευτών μέσω της φωτοβολταϊκής συστοιχίας απαιτεί συνεχή έλεγχο της κατάστασης φόρτισης τους, ώστε όταν αυτοί φτάσουν στην κατάσταση μέγιστης φόρτισης να διακόπτεται η διαδικασία. Έτσι αποφεύγεται η υπέρταση του συσσωρευτή, η οποία θα είχε ως συνέπεια την έκλυση μεγάλων ποσοτήτων υδρογόνου λόγω ηλεκτρόλυσης και συνακόλουθα μείωση της στάθμης του διαλύματος. Αντίστοιχα, απαιτείται έλεγχος του συσσωρευτή όσο αυτός τροφοδοτεί την κατανάλωση, ώστε να προληφθεί η καταστροφική κατάσταση υπερεκφόρτισης.

Γενικά ο ελεγκτής φόρτισης-εκφόρτισης, στην πιο περιορισμένη του μορφή, εποπτεύει τη διαδικασία φόρτισης και εκφόρτισης ώστε να απομονώνει το σύστημα αποθήκευσης, αφενός από το σύστημα παραγωγής της ενέργειας, στην περίπτωση της υπερφόρτισης, και αφετέρου από το σύστημα κατανάλωσης, στην περίπτωση της υπερεκφόρτισης. Και στις δύο περιπτώσεις, η διακοπή αυτή προκαλείται όταν η τάση στα άκρα του συσσωρευτή ξεπεράσει, προς τα άνω και αντίστοιχα προς τα κάτω ορισμένα όρια τάσης, όπου ενεργοποιούνται οι ηλεκτρικοί διακόπτες.

Μια μονάδα ελέγχου φόρτισης- εκφόρτισης, περιλαμβάνει σύνολο ολοκληρωμένων συστημάτων είτε μικροελεγκτές, που ελέγχουν ηλεκτρικούς διακόπτες, είτε ηλεκτρομηχανικούς (ρελέ), είτε ηλεκτρονικούς ισχύος. Σε κάθε περίπτωση, στο κύκλωμα παρεμβάλλεται μια δίοδος, για την προστασία του συστήματος αποθήκευσης από εκφόρτιση, μέσω της διάταξης ή του υπόλοιπου συστήματος.

### 6.6 Παράλληλος Ρυθμιστής Φόρτισης (Shunt controller)

Χαρακτηριστικό αυτού του ρυθμιστή είναι το ότι το ελεγχόμενο στοιχείο είναι συνδεδεμένο παράλληλα με το φωτοβολταϊκό σύστημα (shunt controller), με δυνατότητα να λειτουργεί, είτε μεταβαλλόμενο γραμμικά, ανάλογα με τη μέγιστη φόρτιση (εικόνα 6.6α), είτε ως διακόπτης ON/OFF (εικόνα 6.6β) Στην περίπτωση του παράλληλου ρυθμιστή, όταν επιτευχθεί η μέγιστη φόρτιση (όριο τάσης) το ελεγχόμενο σημείο βραχυκυκλώνει το φωτοβολταϊκό σύστημα, χωρίς να προκαλείται καμία βλάβη σε αυτό. Έτσι, απομονώνεται το σύστημα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από το σύστημα αποθήκευσής της.



Εικόνα 6.6α : Τυπικά διαγράμματα παράλληλου ρυθμιστή φόρτισης (α) με γραμμικό και (β) με διακοπτικό στοιχείο. Το διάγραμμα (γ) αφορά ρυθμιστή φόρτισης σε σειρά με στοιχείο απόρριψης ή απόδοσης της περίσσειας ενέργειας.

### **6.7 Ρυθμιστής φόρτισης σε σειρά (Series controller)**

Η βασική αρχή λειτουργίας της δεύτερης διάταξης ελέγχου φόρτισης βασίζεται στη χρήση δύο διακοπών S1, S2. Ο πρώτος διακόπτει το ρεύμα από το σύστημα ενέργειας στο σύστημα αποθήκευσης, όταν η τάση φόρτισης φτάσει στο όριό της. Την ίδια στιγμή ενεργοποιείται ο διακόπτης S2, ο οποίος εισάγει στην έξοδο του συστήματος ενέργειας, ένα στοιχείο απόδοσης ( $\Sigma$ ) της επί πλέον ενέργειας, την οποία δεν έχει την δυνατότητα να απορροφήσει το σύστημα αποθήκευσης. Το στοιχείο απόδοσης, πρέπει να μπορεί να αποβάλλει εύκολα την αποδιδόμενη σε αυτό ενέργεια, προς το περιβάλλον. Ο ρυθμιστής αυτός ονομάζεται ρυθμιστής με το ελεγχόμενο στοιχείο (S1) σε σειρά (Series controller) και μπορεί να ελέγξει τη φόρτιση συσσωρευτών από το φωτοβολταϊκό σύστημα. Υπάρχουν διάφορες εκδόσεις του ρυθμιστή, με διαφορές που εντοπίζονται στον τρόπο που προσεγγίζεται η τελική κατάσταση φόρτισης, από καθεμιά από αυτές.

Η διάταξη φόρτισης συμπληρώνεται από παρόμοια διάταξη ελέγχου εκφόρτισης του συστήματος αποθήκευσης ενέργειας, με σκοπό την προστασία του συσσωρευτή από υπερεκφόρτιση (overdischarging) και η οποία συνήθως ενσωματώνεται στην πρώτη. Διακόπτει το κύκλωμα παροχής ενέργειας από το συσσωρευτή στην κατανάλωση, όταν η τάση στα άκρα του συσσωρευτή μειούμενη φτάσει ορισμένη τιμή (disconnect setpoint).

Στο υβριδικό σύστημα ο πρώτος διακόπτης σταματά την φόρτιση όταν έχουμε μεγάλη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από τα φωτοβολταϊκά για να προστατεύει τον συσσωρευτή από υπερφόρτιση ενώ ο δεύτερος διακόπτης σταματά την τροφοδοσία, όταν υπάρχει μεγάλη ζήτηση ηλεκτρικού ρεύματος και μικρή παραγωγή, για να προστατεύει το συσσωρευτή από υπερεκφόρτιση.

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7**

### **ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΜΙΑΣ ΕΠΕΝΔΥΣΗΣ ΑΥΤΟΝΟΜΟΥ ΥΒΡΙΔΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ**

#### ***Μελέτη αυτόνομου υβριδικού φωτοβολταϊκού συστήματος για την τροφοδότηση Οικίας 150 τ.μ.***

Στο κεφάλαιο που ακολουθεί μελετάται το πρόβλημα ηλεκτρικής τροφοδότησης μιας οικίας, η οποία είναι απομακρυσμένη από το δίκτυο της ΔΕΗ. Η συγκεκριμένη κατοικία έχει εμβαδόν 150 τ.μ., στεγάζει μια μέση ελληνική οικογένεια και βρίσκεται στο νομό Χίου.

Η οικογένεια αποφάσισε να εγκαταστήσει φωτοβολταϊκά για την τροφοδότηση της κατοικίας με ηλεκτρικό ρεύμα. Δεδομένης της κατάστασης, όλα τα μέλη της οικογένειας συμφώνησαν να περιορίσουν στο μέγιστο δυνατό βαθμό τις ανάγκες τους σε ηλεκτρικό ρεύμα, τουλάχιστον κατά τη διάρκεια των χειμερινών μηνών όπου η ηλιοφάνεια στην περιοχή είναι περιορισμένη.

Μαζί με τα φωτοβολταϊκά και τους συσσωρευτές που θα τροφοδοτήσουν την οικία θα χρησιμοποιηθεί και ως εφεδρική πηγή ενέργειας μία γεννήτρια φυσικού αερίου. Η γεννήτρια θα χρησιμοποιείται προκειμένου να καλυφθούν φορτία αιχμής όταν τα φωτοβολταϊκά και οι συσσωρευτές δεν επαρκούν και σε περιπτώσεις έκτακτης ανάγκης. Η γεννήτρια θα αναλάβει επίσης τη φόρτιση των συσσωρευτών όταν αυτό δε θα γίνεται από τα φωτοβολταϊκά.

Το πρόβλημα λοιπόν που πρόκειται να μελετήσουμε είναι η τροφοδότηση οικίας 150 τ.μ. με υβριδικό φωτοβολταϊκό σύστημα και ηλεκτροπαραγωγό ζεύγος, Η/Ζ.

### 7.1. Ηλεκτρική Ενέργεια Κατανάλωσης Κατοικίας

Ο υπολογισμός της ηλεκτρικής ενέργειας κατανάλωσης κατοικίας γίνεται με τα παρακάτω βήματα:

- Βήμα 1: Καταγραφή όλων των ηλεκτρικών συσκευών, της ισχύς τους και τον πιθανό χρόνο λειτουργίας τους σε ένα εικοσιτετράωρο.
- Βήμα 2: Υπολογισμός ημερήσιας ενέργειας κατανάλωσης. Πολλαπλασιάζοντας την ηλεκτρική ισχύ επί το χρόνο λειτουργίας κάθε συσκευής, έχουμε την ηλεκτρική της κατανάλωση ( $E_k = P_k \times T$ ) από το άθροισμα των καταναλώσεων προκύπτει η ημερήσια ηλεκτρική ενέργεια κατανάλωσης της εγκατάστασης  $E_k$ .
- Βήμα 3: Εκτίμηση της μέγιστης ισχύς στην κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας, δηλαδή καταγράφεται η πιθανότητα της ταυτόχρονης λειτουργίας περισσότερων συσκευών και υπολογίζεται η μέγιστη απαιτούμενη ηλεκτρική ισχύς.

Το αυτόνομο υβριδικό σύστημα που θα χρησιμοποιήσουμε όπως είδαμε έχει σαν στόχο την κάλυψη των αναγκών μίας κατοικίας 150 τ.μ. Επειδή είναι λογικό οι απαιτήσεις να είναι πολύ υψηλές σε ένα τόσο μεγάλο οίκημα, θα ακολουθήσουμε κάποιους βασικούς κανόνες, ώστε να είναι το σύστημα οικονομικότερο:

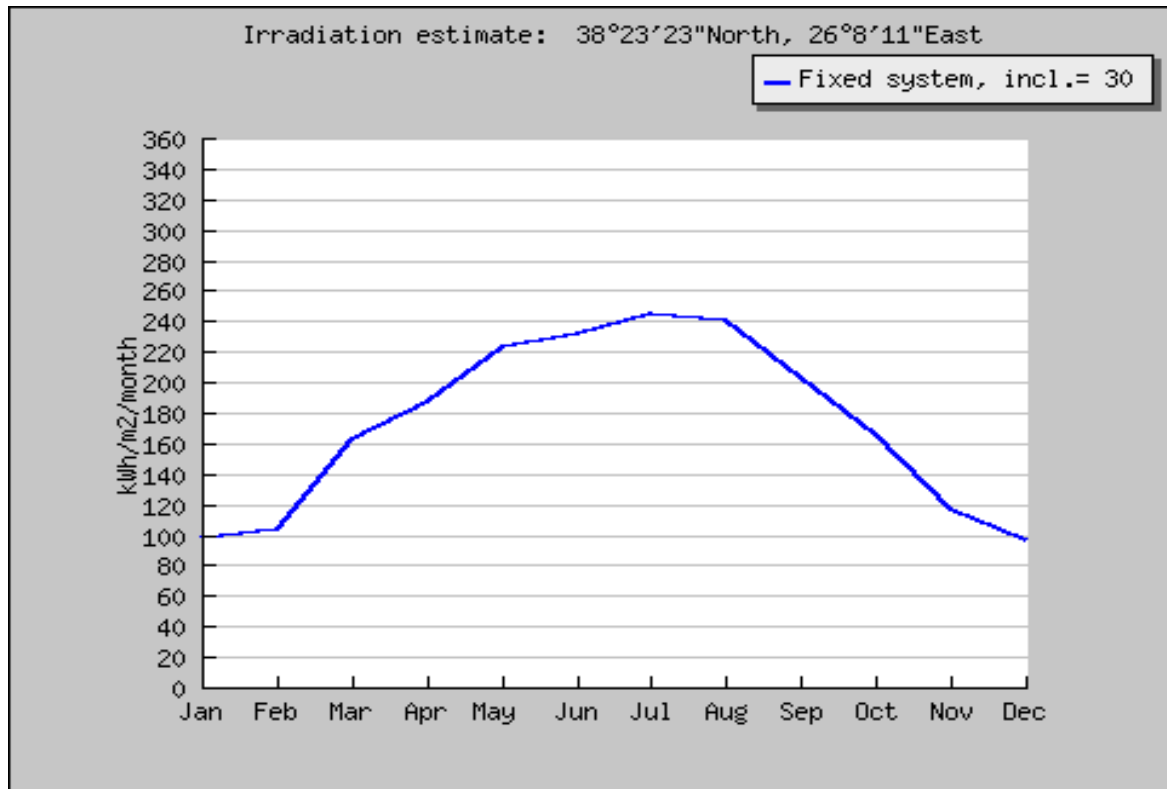
- Είναι αντιοικονομικό να επιδιώκεται η χρήση υβριδικού φωτοβολταϊκού συστήματος για τροφοδότηση ηλεκτρικών συσκευών με μεγάλη θερμική κατανάλωση (ηλεκτρικές κουζίνες, ηλεκτρικά καλοριφέρ, ηλεκτρικοί θερμοσίφωνες). Οι ανάγκες αυτές πρέπει να καλύπτονται από εναλλακτικές πηγές ενέργειας, όπως υγραέριο, πετρέλαιο, ήλιος κλπ. Στο συγκεκριμένο οίκημα χρησιμοποιήσαμε καυστήρα φυσικού αερίου για θέρμανση, ηλιακό θερμοσίφωνα και boiler για τη θέρμανση νερού το χειμώνα και εστίες φυσικού αερίου.
- Χρησιμοποιήσαμε ηλεκτροπαραγωγό ζεύγος (H/Z) για την αντιμετώπιση αιχμών ζήτησης από το να επιδιώκεται η πλήρης ικανοποίηση των καταναλώσεων με αποθήκευση της ηλεκτρικής ενέργειας σε συσσωρευτές, οι οποίοι χαρακτηρίζονται από μεγάλο βάρος και κόστος. Με το H/Z χρησιμοποιούμε συσσωρευτές μικρότερης χωρητικότητας και φωτοβολταϊκή συστοιχία με μικρότερη ισχύ.
- Χρησιμοποιούμε συσκευές υψηλής ενεργειακής απόδοσης, δηλαδή χαμηλότερης ενεργειακής κατανάλωσης (για παράδειγμα χρησιμοποιήσαμε ανεμιστήρες οροφής αντί για κλιματιστικά (A/C).

## Αυτόνομο υβριδικό σύστημα παραγωγής ενέργειας από Φωτοβολταϊκά και φυσικό αέριο

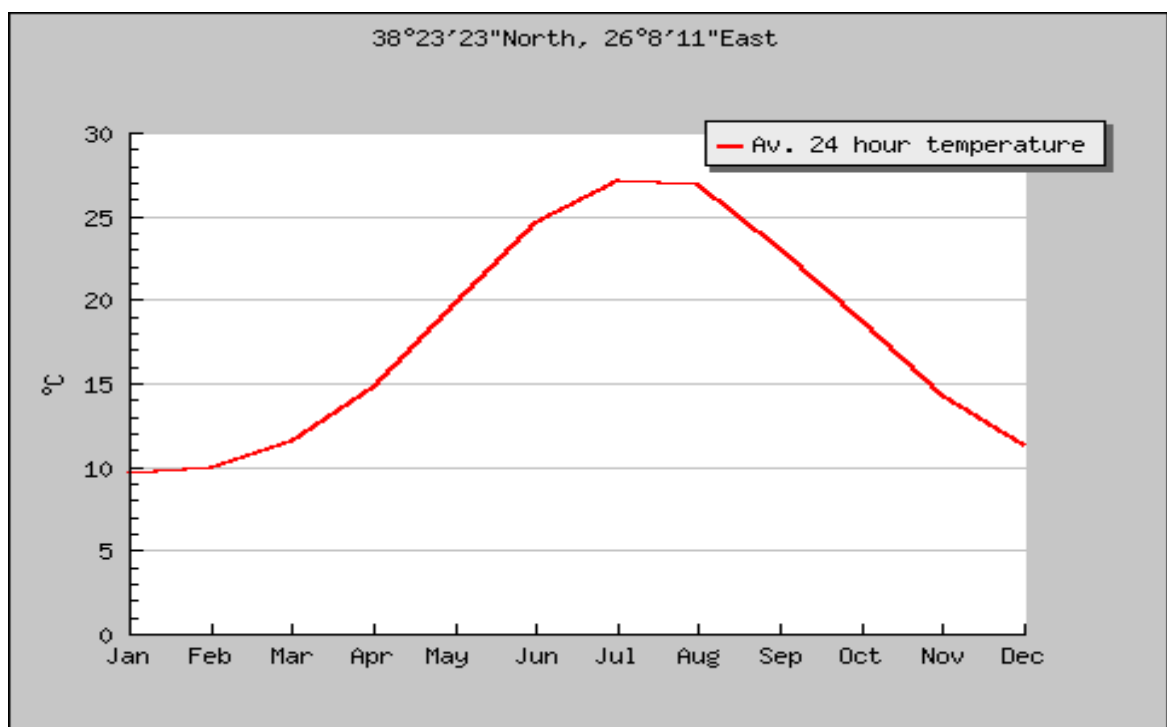
Για να επιλέξουμε τους χαρακτηριστικούς μήνες τον χρόνο που μας ενδιαφέρει να μελετήσουμε ώστε το σύστημά μας να είναι επαρκές, χρησιμοποιήσαμε το πρόγραμμα PV GIS [re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/]. Μετά από διαδοχικές δοκιμές στο πρόγραμμα (βλέπε παράρτημα), καταλήξαμε στην επιλογή της κλίσης των 30° για τη φωτοβολταϊκή συστοιχία, διότι τους χειμερινούς μήνες (κατά τους οποίους έχουμε την ελάχιστη παραγόμενη ενέργεια από τα φωτοβολταϊκά πλαίσια), η κλίση αυτή δίνει τα καλύτερα αποτελέσματα. Επιλέξαμε Νότιο προσανατολισμό (αζιμούθια γωνία 0ο), επειδή η Ελλάδα βρίσκεται στο βόρειο ημισφαίριο.

Στο παρακάτω (Διάγραμμα 7.1.1) φαίνεται η μηνιαία ηλιακή ακτινοβολία σε αυτές τις συνθήκες για την περιοχή της Χίου και στο (Διάγραμμα 7.1.2) φαίνεται η μέση μηνιαία θερμοκρασία σε °C στην συγκεκριμένη περιοχή.

Αυτόνομο υβριδικό σύστημα παραγωγής ενέργειας από Φωτοβολταϊκά και φυσικό αέριο



Διάγραμμα 7.1.1: Μηνιαία ηλιακή ακτινοβολία για κλίση 30° (Wh/m<sup>2</sup>/day) για την περιοχή της Χίου, όπως προκύπτουν από το πρόγραμμα PVGIS.



Διάγραμμα 7.1.2 : Μέση μηνιαία θερμοκρασία στην περιοχή της Χίου

Αυτόνομο υβριδικό σύστημα παραγωγής ενέργειας από Φωτοβολταϊκά και φυσικό αέριο

Από το (Διάγραμμα 7.1.1) βλέπουμε ότι ο μήνας με τη χαμηλότερη ηλιακή ακτινοβολία (σε πλαίσια κλίσης 30°) είναι ο Ιανουάριος, ενώ αυτός με την υψηλότερη είναι ο Ιούλιος. Άρα, αρκεί να μελετήσουμε αυτούς τους δύο μήνες για την εγκατάσταση και ειδικά τον Ιανουάριο (για να είναι το σύστημά μας ασφαλές).

Στους παρακάτω πίνακες (7.1α και 7.1β) γίνεται μια καταγραφή των ηλεκτρικών συσκευών, της ισχύς τους και του πιθανού χρόνου λειτουργίας τους κατά τη διάρκεια ενός εικοσιτετραώρου, για τους μήνες Ιανουάριο και Ιούλιο. Τέλος υπολογίζεται η συνολική εγκατεστημένη ισχύς των συσκευών που λειτουργούν, η εκτιμώμενη ημερήσια ενεργειακή κατανάλωση κάθε συσκευής καθώς και της όλης οικίας.

ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΣΥΣΚΕΥΗ	ΙΣΧΥΣ (kW)	ΩΡΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ	ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ (kWh)
Καυστήρας Φ. Αερίου	0,25	5	1,25
Πλυντήριο Πιάτων	1	0,8	0,8
Πλυντήριο Ρούχων	2	0,8	1,6
Απορροφητήρας Κουζίνας	0,25	0,5	0,125
6 χ Ανεμιστήρας Οροφής	0	0	0
DVD player	0,03	2	0,06
Ραδιόφωνο	0,08	1	0,08
Σίδερο Σιδερώματος	1	0,6	0,6
Ηλεκτρική Σκούπα	0,8	0,6	0,48
Στεγνωτήρας Μαλλιών	0,4	0,3	0,12
Στερεοφωνικό Συγκρότημα	0,15	1,5	0,225
2 χ Τηλεόραση	0,2	6	1,2
Υπολογιστής	0,1	1,5	0,15
Εκτυπωτής	0,05	0,1	0,005
Φούρνος Μικροκυμάτων	1,5	0,15	0,225
Τοστιέρα	1	0,3	0,3
Αναμκτήρας Τροφών	0,2	0,15	0,03
Ψυγείο με Αυτόματη Απόψυξη	0,4	24	9,6
Καφετιέρα	0,7	0,3	0,21
Εσωτερικός Φωτισμός 1	0,3	6	1,8
Εσωτερικός Φωτισμός 2	0,2	3	0,6
Εξωτερικός Φωτισμός	0,3	1	0,3
Φορτιστής Κινητού	0,012	1	0,012
<b>Σύνολο</b>	<b>10,922</b>		<b>19,772</b>

Πίνακας 7.1α: Για το μήνα Δεκέμβριο, χρησιμοποιούμενες ηλεκτρικές συσκευές, ισχύς και χρόνος λειτουργίας τους, ημερήσια ηλεκτρική κατανάλωσή τους, συνολική εγκατεστημένη ισχύς τους και ολική κατανάλωση οικίας.



Αυτόνομο υβριδικό σύστημα παραγωγής ενέργειας από Φωτοβολταϊκά  
και φυσικό αέριο

Το Δεκέμβριο δε χρησιμοποιούνται οι 6 ανεμιστήρες οροφής, συνολικής ισχύος 0,5 kW. Όμως χρησιμοποιείται καυστήρας πετρελαίου ισχύος 0,25 kW και επιπλέον ο φωτισμός εκτιμάται ότι λειτουργεί για περισσότερες ώρες. Αντίθετα, τον Αύγουστο, χρησιμοποιούνται οι 6 ανεμιστήρες ισχύος 0,5 kW, αλλά δε χρησιμοποιείται ο καυστήρας πετρελαίου, ενώ ο φωτισμός λειτουργεί λιγότερες ώρες.

ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΣΥΣΚΕΥΗ	ΙΣΧΥΣ (kW)	ΩΡΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ	ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ (kWh)
Καυστήρας Φ. Αερίου	0	0	0
Πλυντήριο Πιάτων	1	0,8	0,8
Πλυντήριο Ρούχων	2	0,8	1,6
Απορροφητήρας Κουζίνας	0,25	0,5	0,125
6 χ Ανεμιστήρας Οροφής	0,5	18	9
DVD player	0,03	2	0,06
Ραδιόφωνο	0,08	1	0,08
Σίδερο Σιδερώματος	1	0,6	0,6
Ηλεκτρική Σκούπα	0,8	0,6	0,48
Στεγνωτήρας Μαλλιών	0,4	0,3	0,12
Σtereοφωνικό Συγκρότημα	0,15	1,5	0,225
2 χ Τηλεόραση	0,2	6	1,2
Υπολογιστής	0,1	1,5	0,15
Εκτυπωτής	0,05	0,1	0,005
Φούρνος Μικροκυμάτων	1,5	0,15	0,225
Τοστιέρα	1	0,3	0,3
Αναμκτήρας Τροφών	0,2	0,15	0,03
Ψυγείο με Αυτόματη Απόψυξη	0,4	24	9,6
Καφετιέρα	0,7	0,3	0,21
Εσωτερικός Φωτισμός 1	0,3	3	0,9
Εσωτερικός Φωτισμός 2	0,2	2	0,4
Εξωτερικός Φωτισμός	0,3	2	0,6
Φορτιστής Κινητού	0,012	1	0,012
<b>Σύνολο</b>	<b>11,172</b>		<b>26,722</b>

Πίνακας 7.1β: Για το μήνα Ιούλιο, χρησιμοποιούμενες ηλεκτρικές συσκευές, ισχύς και χρόνος λειτουργίας τους, ημερήσια ηλεκτρική κατανάλωσή τους, συνολική εγκατεστημένη ισχύς τους και ολική κατανάλωση οικίας.

Διαπιστώνουμε ότι η συνολική εγκατεστημένη ισχύς είναι λίγο μεγαλύτερη το Καλοκαίρι, λόγω της υψηλής κατανάλωσης των ανεμιστήρων. Παρ' όλα αυτά, η διαφορά είναι τόσο μικρή (περίπου 0,25 kW) ώστε να μην επηρεάζει τις αιχμές ζήτησης. Αυτό πετυχαίνεται με την αποφυγή χρήσης κλιματιστικών συσκευών.

## Αυτόνομο υβριδικό σύστημα παραγωγής ενέργειας από Φωτοβολταϊκά και φυσικό αέριο

Η συνολική καταναλισκόμενη ενέργεια από τις συσκευές τους χειμερινούς μήνες είναι 19,772 kWh, ενώ τους καλοκαιρινούς 26,722 kWh. Η διαφορά αυτή δεν είναι αμελητέα και οφείλεται στις ανάγκες ψύξης του κτιρίου για αρκετές ώρες. Κοιτώντας το (Διάγραμμα 7.1.1) κατανοούμε ότι η απόκλιση καλύπτεται πλήρως από τη μεγάλη ηλιακή ακτινοβολία (καλύτερη λειτουργία του φωτοβολταϊκού συστήματος).

Συνεπώς, η μελέτη της λειτουργίας της υβριδικής εγκατάστασης αποφασίσαμε να γίνει για το μήνα Ιανουάριο (που επικρατούν οι χειρότερες συνθήκες).

### 7.2. Υπολογισμός Υβριδικού Φωτοβολταϊκού Συστήματος

Στην προηγούμενη ενότητα (7.1), όπως φαίνεται και από τον πίνακα 7.1.1 επιλέξαμε με τη χρήση του προγράμματος PVGIS κλίση 30° για τα φωτοβολταϊκά πλαίσια και Νότιο προσανατολισμό αφού είμαστε στο βόρειο ημισφαίριο. Επιπλέον, δείξαμε ότι η μικρότερη μέση ημερήσια ενέργεια ηλιακής ακτινοβολίας για την περιοχή της Χίου σ' αυτή την κλίση είναι:

$$E_{HA} = 2,09 \text{ Kwh/m}^2/\text{day} \text{ (για τον μήνα Ιανουάριο)}$$

Η ισχύς αιχμής  $P_{P\Sigma}$  της φωτοβολταϊκής συστοιχίας για την κάλυψη των ενεργειακών απαιτήσεων μίας ημέρας αυτονομίας είναι:

$$P_{P\Sigma} = \frac{E_{\kappa} \times P_{STC} \times N}{E_{HA} \times \sigma_{AS} \times \sigma_{\mu} \times (N - n)}$$

όπου,

$P_{STC} = 1 \text{ kW/m}^2$ , ισχύς προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας στις πρότυπες συνθήκες STC.

$E_{\kappa} = 19,772 \text{ kWh}$ , η ημερήσια ηλεκτρική ενέργεια κατανάλωσης το Χειμώνα.

$E_{HA} = 2,09 \text{ kWh/m}^2/\text{day}$  (για το μήνα Ιανουάριο), ημερήσια ενέργεια προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας.

$\sigma_{\mu} = 0,8 \times \sigma_{\theta}$ , συντελεστής απωλειών συστοιχίας για πλαίσια ελαφρώς σκονισμένα.

**Συντελεστής θερμοκρασίας:**

$$\sigma_{\theta} = 1 [(ta + 30) - 25] \times 0,004 = 0,8612 \text{ με}$$

$ta = 9.7 \text{ }^{\circ}\text{C}$ , μέση μηνιαία θερμοκρασία αέρα τον Ιανουάριο.

Αυτόνομο υβριδικό σύστημα παραγωγής ενέργειας από Φωτοβολταϊκά  
και φυσικό αέριο

$\sigma_{\mu} = 0,9$  , συντελεστής μεταφοράς απωλειών ενέργειας της εγκατάστασης, η οποία περιλαμβάνει ηλεκτρικό συσσωρευτή, ελεγκτή φόρτισης και inverter.

$N = 31$  **ημέρες** (χρονική περίοδος αναφοράς).

$n = 1$  **ημέρα** (αριθμός ημερών αυτονομίας).

Μετά τους απαραίτητους υπολογισμούς, προκύπτει από τη παραπάνω σχέση ότι η απαραίτητη ισχύς των φωτοβολταϊκών για το χειμώνα θα πρέπει να είναι:

$$\mathbf{PPS = 15,766 \text{ kWp}}$$

Άρα, η εγκατεστημένη ισχύς των φωτοβολταϊκών πλαισίων πρέπει να είναι κοντά σε αυτή την τιμή για την κάλυψη των ενεργειακών μας αναγκών για τους χειμερινούς μήνες.

Κάνοντας τις ίδιες ενέργειες για τους καλοκαιρινούς μήνες (Ιούλιος από Πίνακα 7.1.1) ισχύει:

$E_{\kappa} = 26.722 \text{ kWh/day}$  για το καλοκαίρι

$E_{HA} = 26.722 \text{ kWh/m}^2/\text{day}$  για τον Ιούλιο

$PSTC = 1 \text{ kW/m}^2$

$\sigma_{\alpha} = 0,8$  χ  $\sigma_{\theta}$  (συντελεστής απωλειών λόγω σκόνης στα πλαίσια).

$\sigma_{\theta} = 1 - [(t_a + 30) - 25] \times 0,004 = 0,7916$

$t_a = 27,1 \text{ }^{\circ}\text{C}$  μέση θερμοκρασία τον Ιούλιο

$\sigma_{\mu} = 0,9$  συντελεστής απωλειών ενέργειας

$N = 31$  **ημέρες**

$n = 1$  **ημέρα** αυτονομίας

Οπότε έχουμε:

$$\mathbf{PPS = 5,908 \text{ kWp}}$$

Άρα, η απαιτούμενη ισχύς αιχμής της φωτοβολταϊκής συστοιχίας για το Καλοκαίρι είναι:

$$\mathbf{PPS = 5,908 \text{ kWp}}$$

Συνεπώς, αρκεί η κάλυψη των αναγκών μας το μήνα Ιανουάριο για να καλύψουμε τις ανάγκες της οικίας όλο το έτος.

Αυτόνομο υβριδικό σύστημα παραγωγής ενέργειας από Φωτοβολταϊκά  
και φυσικό αέριο

Στη συνέχεια, για να υπολογίσουμε τον ακριβή τύπο, αριθμό και συνδεσμολογία φωτοβολταϊκών πλαισίων έπρεπε να ορίσουμε τη μέγιστη τάση  $V_{m\Sigma}$  της φωτοβολταϊκής συστοιχίας. Ισχύει:

$$V_{m\Sigma} > 1,2 V_B (\alpha)$$

όπου,

$V_B$  η ονομαστική τάση του ηλεκτρικού συσσωρευτή και με τιμή 48 V.

Άρα,

$$V_{m\Sigma} > 57,6 V$$

Επιλέγουμε τη χρήση φωτοβολταϊκών πλαισίων Γερμανικής προέλευσης Luxor Eco Line 60 / 225Wp (Εικόνα 7.2α).



Εικόνα 7.2α : Φωτοβολταϊκό πλαίσιο

ΗΛΕΚΤΡΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ	LX 225 - P
Ονομαστική Ισχύς (Wp)	225
Ονομαστικό Ρεύμα ( mpp I )	7,62
Ονομαστική Τάση ( mpp V )	29,6
Ρεύμα Βραχυκυκλώσεως (A)	8,14
Τάση Ανοικτοκυκλώσεως (V)	37
Βαθμός Απόδοσης (STC)	13,83 %

Πίνακας 7.2α. Τεχνικά χαρακτηριστικά του πλαισίου Luxor LX 225 – P.

Αυτόνομο υβριδικό σύστημα παραγωγής ενέργειας από Φωτοβολταϊκά  
και φυσικό αέριο

Για να υπολογίσουμε τον αριθμό των πλαισίων που θα χρειαστούμε για τη  
εγκατάσταση αρκεί να υπολογίσουμε :

$$N = \frac{P_{p\Sigma}}{P_{p\Pi}}$$

όπου,

**$P_{p\Pi} = 225 \text{ W}$  και  $P_{p\Sigma} = 15,766 \text{ kWp}$ .**

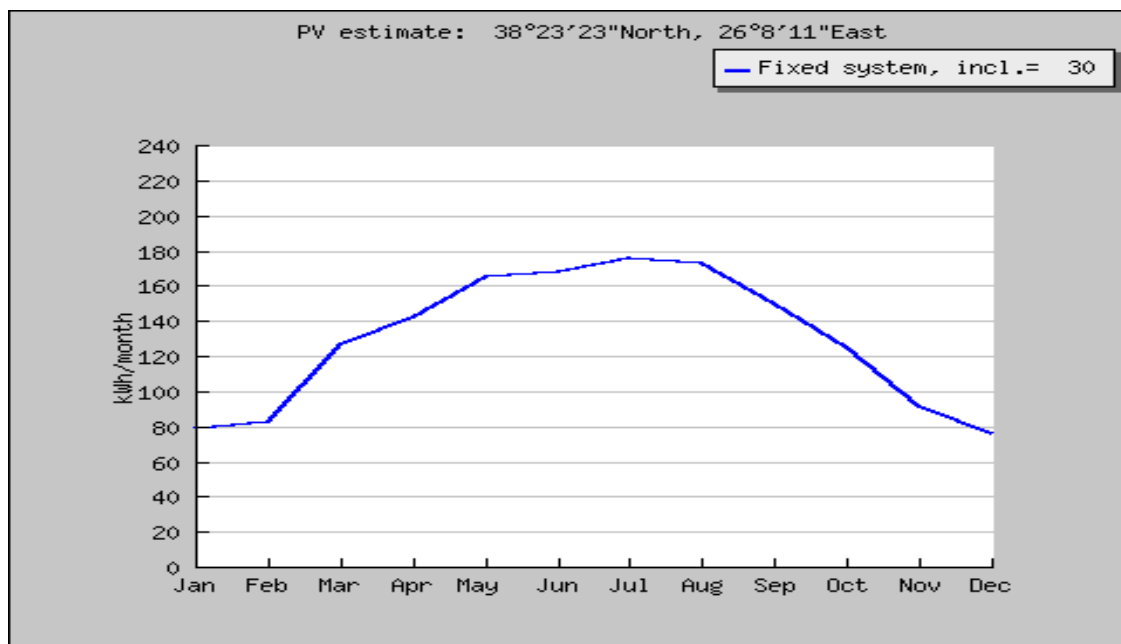
Άρα,  **$N = 70$**  περίπου φωτοβολταϊκά πλαίσια.

Για οικονομικούς λόγους και εφόσον είναι πολύ κοντά στις καταναλώσεις που  
χρειαζόμαστε θα χρησιμοποιήσουμε :

**$N_{\beta\epsilon\lambda\tau} = 69$  φωτοβολταϊκα πάνελ**

Επιλέξαμε τη δημιουργία 23 παράλληλων κλάδων , ο καθένας εκ των οποίων  
θα έχει 3 πλαίσια. Με τη χρήση 69 πλαισίων 225 Wp το καθένα, η συνολική  
εγκατεστημένη ισχύς είναι τελικά 15,53 kWp.

Με τη χρήση του προγράμματος PVGIS, προκύπτει το παρακάτω Διάγραμμα  
(7.2β), στον οποίον φαίνεται η μέση ημερήσια ενεργειακή απόδοση της  
φωτοβολταϊκής συστοιχίας (σε κλίση  $30^\circ$  ).



Διάγραμμα 7.2β : Μέση μηνιαία ενεργειακή απόδοση

Αυτόνομο υβριδικό σύστημα παραγωγής ενέργειας από Φωτοβολταϊκά  
και φυσικό αέριο

Από το Διάγραμμα 7.2β, φαίνεται ότι η εγκατάσταση καλύπτει πλήρως τις ενεργειακές μας ανάγκες, καθ' όλη τη διάρκεια του έτους, άρα το ηλεκτροπαραγωγό ζεύγος (που θα επιλεγθεί στη συνέχεια) θα έχει στόχο να καλύψει τις αιχμές ζήτησης μέσα στη μέρα και τις ημέρες αυτονομίας.

Κατόπιν, υπολογίζεται η χωρητικότητα  $C$  του ηλεκτρικού συσσωρευτή. Ισχύει ο παρακάτω τύπος:

$$C = \frac{n \times E_{\kappa}}{\sigma_{\gamma B} \times \sigma_{\epsilon \kappa} \times \beta_{\epsilon \kappa} \times V_B}$$

όπου,

$E_{\kappa} = 19,772 \text{ kWh/ day}$ , η ημερήσια ηλεκτρική κατανάλωση οικίας (για τους χειμερινούς μήνες).

$\sigma_{\gamma B} = 0,8$ , συντελεστής γήρανσης συσσωρευτή.

$\sigma_{\epsilon \kappa} = 0,91$ , συντελεστής μεταφοράς ενέργειας στο κύκλωμα εκφόρτισης.

$\beta_{\epsilon \kappa} = 0,4$ , βάθος εκφόρτισης συσσωρευτών για 1-3 ημέρες αυτονομίας.

$V_B$ ,  $n$  γνωστά.

Από τη παραπάνω σχέση, υπολογίζουμε τη χωρητικότητα  $C = 353,5 \text{ Ah}$ .

Το μέγιστο ρεύμα εισόδου του ελεγκτή είναι **1,5  $I_{M\Sigma}$  με**

$$I_{M\Sigma} = I_{M\Pi} \times N_{\beta\epsilon\lambda\tau} = 175,26 \text{ A}$$

Οπου

$I_{M\Pi} = 7,62 \text{ A}$  η μέγιστη ένταση ρεύματος φωτοβολταϊκού πλαισίου

$N_{\beta\epsilon\lambda\tau} = 23$  ο αριθμός των παράλληλων κλάδων

Άρα, το μέγιστο ρεύμα εισόδου του ρυθμιστή φόρτισης είναι:

$$1,5 \times I_{M\Sigma} = 262,89 \text{ A}$$

Αυτόνομο υβριδικό σύστημα παραγωγής ενέργειας από Φωτοβολταϊκά και φυσικό αέριο

Θα χρησιμοποιηθούν για ακόμα μεγαλύτερη ασφάλεια μπαταρίες PVX - 2120L της εταιρείας SUN – XTENDER με τάση 12 V και χωρητικότητα 253 Ah (Εικόνα 7.2α).



Εικόνα 7.2α: Μπαταρίες PVX - 2120L

Η συστοιχία των συσσωρευτών θα περιλαμβάνει 2 παράλληλους κλάδους με 4 συσσωρευτές σε σειρά ανά κλάδο, δηλαδή συνολικά απαιτούνται 8 συσσωρευτές. Η σύνδεση σε σειρά καθορίζει την ονομαστική τάση ( $V_B = 4 \times 12 = 48 \text{ V}$ ) και η παράλληλη σύνδεση καθορίζει την ονομαστική χωρητικότητα ( $C = 2 \times 253 = 506 \text{ Ah}$ ).

Το επόμενο βήμα μας είναι η επιλογή του κατάλληλου ελεγκτή φόρτισης. Η τάση του ελεγκτή φόρτισης πρέπει να είναι ίση με την ονομαστική τάση του συσσωρευτή, δηλαδή 48 V.

Το μέγιστο ρεύμα εισόδου του ελεγκτή είναι  $1,5 I_{m\Sigma}$ , όπου  $I_{m\Sigma}$  είναι η μέγιστη ένταση ρεύματος φωτοβολταϊκής συστοιχίας.

Ισχύει ,

$$I_{m\Sigma} = I_{m\Pi} \times N_{\pi} = 167,64 \text{ A}$$

όπου,

$I_{m\Pi} = 7,62 \text{ A}$ , μέγιστη ένταση ρεύματος φωτοβολταϊκού πλαισίου.

$N_{\pi} = 22$ , ο αριθμός των παράλληλων κλάδων της φωτοβολταϊκής εγκατάστασης.

Αυτόνομο υβριδικό σύστημα παραγωγής ενέργειας από Φωτοβολταϊκά  
και φυσικό αέριο

Άρα, το μέγιστο ρεύμα εισόδου του ρυθμιστή φόρτισης είναι  $1,5 \times I_{m\Sigma} = 251,46 \text{ A}$ .

Το ρεύμα εξόδου του ελεγκτή φόρτισης πρέπει να μπορεί να δώσει το μέγιστο ρεύμα στα φορτία κατανάλωσης που λειτουργούν ταυτόχρονα.

Θεωρούμε ότι η μέγιστη απαιτούμενη ηλεκτρική ισχύς για την ταυτόχρονη λειτουργία συσκευών είναι  $P_k = 8 \text{ kW}$ . Η τάση κατανάλωσης είναι  $V_k = 230 \text{ V}$ . Άρα το ρεύμα εξόδου θα είναι  $P_k / V_k = 34,7 \text{ A}$  περίπου.

Συνεπώς, θα πρέπει να επιλέξουμε ελεγκτή φόρτισης **48V / 252 A / 35A**. Επιλέγεται ο ελεγκτής GS-300D PV controller, της εταιρείας Guyana Power Equipment Co. (Εικόνα 7.2β).



Εικόνα 7.2β : Ελεγκτής GS-300D PV

Στη συνέχεια, προχωρούμε στην επιλογή του κατάλληλου μετατροπέα τάσεως



Αυτόνομο υβριδικό σύστημα παραγωγής ενέργειας από Φωτοβολταϊκά  
και φυσικό αέριο

DC/AC (inverter). Ο μετατροπέας αυτός θα πρέπει να καλύπτει τις παρακάτω απαιτήσεις:

- ❖ Τάση εισόδου ίση με την ονομαστική τάση των συσσωρευτών (δηλαδή 48 V).
- ❖ Η ισχύς στην έξοδο του μετατροπέα θα πρέπει να είναι τουλάχιστον ίση με τη μέγιστη ηλεκτρική ισχύ  $P_k$  των φορτίων που λειτουργούν ταυτόχρονα (δηλαδή 8 kW, όπως θεωρήσαμε νωρίτερα).
- ❖ Η ισχύς αιχμής του μετατροπέα πρέπει να είναι τουλάχιστον ίση με τη συνολική εγκατεστημένη ισχύ κατανάλωσης (περίπου 12 kW, όπως φαίνεται από τον Πίνακα 6.3).
- ❖ Η τάση εξόδου του μετατροπέα πρέπει να είναι ίση με την τάση των φορτίων κατανάλωσης, δηλαδή 230 V.

Επειδή τα φορτία της οικίας είναι πολυάριθμα, επιλέξαμε σ' αυτό το σημείο να χρησιμοποιήσουμε 2 τριφασικούς μετατροπείς στους οποίους θα ισομοιράζονται τα συνολικά φορτία και που καθένας από αυτούς θα πρέπει να χαρακτηρίζεται από ισχύ εξόδου 4 kW και ισχύ αιχμής 6 kW.

Έτσι, επιλέγουμε 2 μετατροπείς Sunny Island 5048 (εικόνα 7.2γ), της εταιρείας SMA. Οι μετατροπείς αυτοί προσφέρουν ολοκληρωμένη διαχείριση του αυτόνομου συστήματος, υψηλό βαθμό απόδοσης, έξυπνη διαχείριση του συσσωρευτή για μέγιστη διάρκεια ζωής, καθώς και υπολογισμό φόρτισης του συσσωρευτή. Τα τεχνικά χαρακτηριστικά των μετατροπέα φαίνονται στον Πίνακα 7.4.

Αυτόνομο υβριδικό σύστημα παραγωγής ενέργειας από Φωτοβολταϊκά  
και φυσικό αέριο



Εικόνα 7.2γ : Μετατροπείς Sunny Island

<b>Έξοδος AC (καταναλωτές)</b>	<b>Τιμές</b>
<b>Ονομαστική Τάση Εξόδου AC</b>	<b>230 V (202 V - 253 V)</b>
<b>Συχνότητα Δικτύου AC</b>	<b>50 – 60 Hz</b>
<b>Συνεχής Ισχύς AC στους 25°C/ 45°C</b>	<b>5000 W / 4000 W</b>
<b>Ισχύς AC στους 25°C για 30min</b>	<b>6500 W</b>
<b>DC Τάση Συσσωρευτή (Εύρος)</b>	<b>48 V (41 – 63 V)</b>
<b>Μέγιστος Βαθμός Απόδοσης</b>	<b>95 %</b>
<b>Διαστάσεις (Π / Υ / Β) σε mm</b>	<b>467 / 612 / 235</b>

Πίνακας 7.4. Τεχνικά χαρακτηριστικά του μετατροπέα Sunny Island 5048.

Τέλος, απομένει να επιλέξουμε το κατάλληλο Ηλεκτροπαραγωγό Ζεύγος (H/Z). Στο σημείο αυτό οφείλουμε να υπενθυμίσουμε, ότι στην περίπτωση ενός υβριδικού φωτοβολταϊκού συστήματος, σχεδιάζουμε το σύστημα με λίγες μέρες αυτονομίας (εμείς επιλέξαμε μία), καθώς η κάλυψη των απαιτήσεων πέραν του χρόνου αυτονομίας γίνεται από το H/Z. Η επιλογή του κατάλληλου H/Z γίνεται με βάση τις 2 παρακάτω παραμέτρους:

- 1) Το H/Z πρέπει να εξασφαλίζει τη λειτουργία της εγκατάστασης όταν το φωτοβολταϊκό σύστημα δε μπορεί να ανταποκριθεί στην επιπλέον ζήτηση της ηλεκτρικής ενέργειας.

Αυτόνομο υβριδικό σύστημα παραγωγής ενέργειας από Φωτοβολταϊκά  
και φυσικό αέριο

2) Το H/Z πρέπει επίσης να είναι ικανό να επαναφέρει τον εκφορτισμένο ηλεκτρικό συσσωρευτή στην κατάσταση πλήρους φόρτισης.

Ο χρόνος φόρτισης  $t_{\varphi}$  του συσσωρευτή από το H/Z καθορίζεται από τον παρακάτω τύπο:

$$t_{\varphi} = \frac{\beta_{\varepsilon\kappa} \times C}{n_q \times I_{\varphi}} \text{ h}$$

όπου,

$\beta_{\varepsilon\kappa} = 0,4$ , το βάθος εκφόρτισης του συσσωρευτή για 1-3 ημέρες αυτονομίας.

$C = 506 \text{ Ah}$ , η ονομαστική χωρητικότητα του συσσωρευτή.

$n_q$ , ο βαθμός απόδοσης φορτίου, δηλαδή ο λόγος του φορτίου κατά την εκφόρτιση προς το φορτίο κατά τη φόρτιση (τυπική τιμή 0,9).

$I_{\varphi}$ , το ρεύμα φόρτισης του συσσωρευτή (επιλέγεται συνήθως  $< C / 10$ ). Εμείς επιλέξαμε  $I_{\varphi} = C / 12$ .

Έτσι, από τη παραπάνω σχέση προκύπτει  $t_{\varphi} = 5,33 \text{ h}$ . Άρα, το H/Z θα πρέπει να έχει τη δυνατότητα να λειτουργεί συνεχώς για τουλάχιστον **6 h**.

Η ηλεκτρική ισχύς  $P_{\varphi}$  του H/Z για τη φόρτιση του συσσωρευτή δίνεται από τη σχέση:

$$P_{\varphi} = I_{\varphi} \times V_{\text{H/Z}},$$

όπου,

$V_{\text{H/Z}} = 1,25V_B$ , η τάση εξόδου του H/Z προς τον συσσωρευτή και  $V_B$  η τάση του συσσωρευτή (**48 V**).

Άρα, από τη παραπάνω σχέση, η ηλεκτρική ισχύς του H/Z προκύπτει  $P_{\varphi} = 3,8 \text{ kW}$ .

Αυτόνομο υβριδικό σύστημα παραγωγής ενέργειας από Φωτοβολταϊκά και φυσικό αέριο

Η συνολική απαιτούμενη ηλεκτρική ισχύς  $P_{H/Z}$  του Η/Ζ δίνεται από τη σχέση:

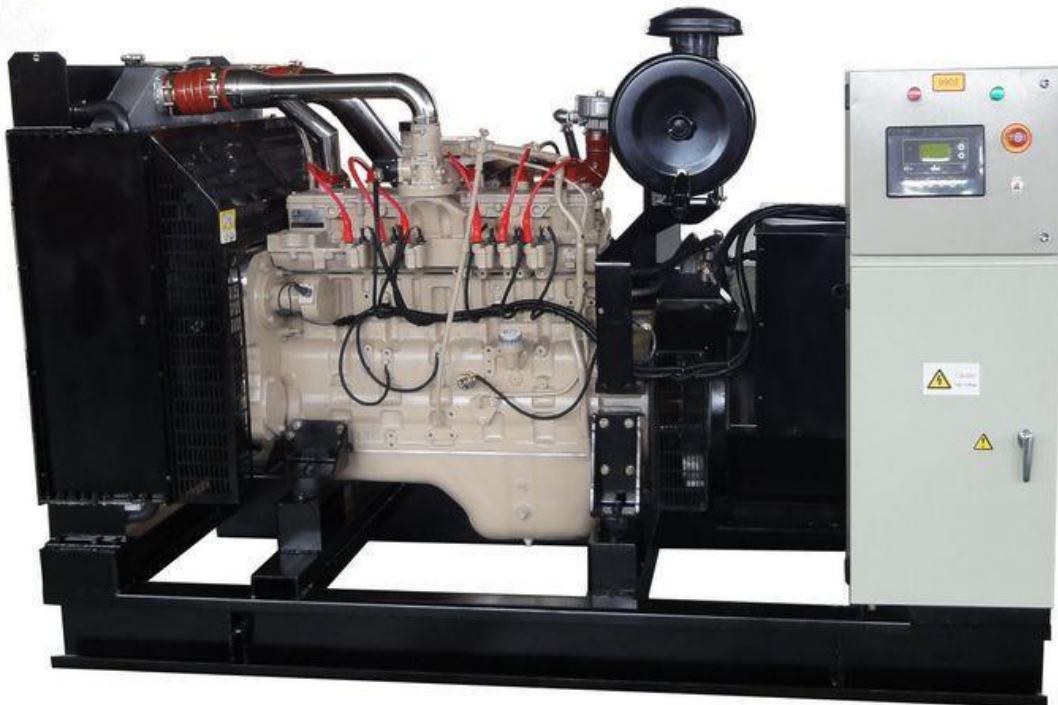
$$P_{H/Z} \geq P_{\kappa} + P_{\phi},$$

οπου,

$P_{\kappa} = 11,172 \text{ kW}$  , η συνολική ηλεκτρική ισχύς κατανάλωσης,

$P_{\phi} = 3,8 \text{ kW}$  , η ηλεκτρική ισχύς για τη φόρτιση του συσσωρευτή.

Άρα, από τη παραπάνω σχέση προκύπτει  $P_{H/Z} > 14,9 \text{ kW}$ . Δηλαδή χρειαζόμαστε μια γεννήτρια ισχύος τουλάχιστον **15 kW**. (εικόνα 7.2στ)



Εικόνα 7.2δ: Ηλεκτρογεννήτρια φυσικού αερίου GNP10

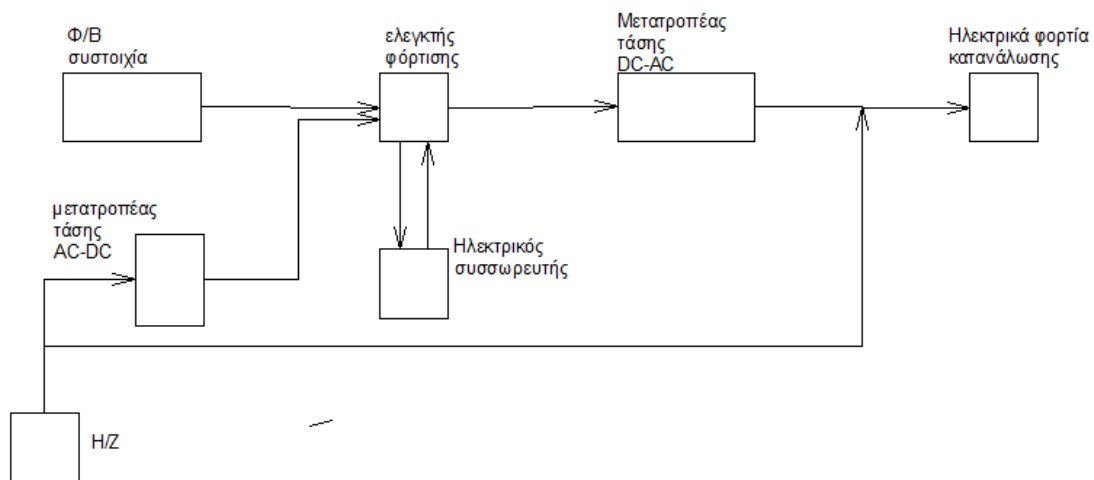
Πρότυπο Genset	Πρωταρχική δύναμη		Εφεδρική δύναμη		Κύλινδρος αριθ.	Διάσταση (L×B×H) χιλ.
	KW	KVA	KW	KVA		
GNP10	20	25	22	27.5	4	2100*730*1575

## Αυτόνομο υβριδικό σύστημα παραγωγής ενέργειας από Φωτοβολταϊκά και φυσικό αέριο

Λεπτομέρειες:	
Τόπος καταγωγής:	Κίνα
Πιστοποίηση:	ISO9001:2008, CE
Μηχανή:	Gas Engine
Εναλλάκτης:	Stamford, Leroy somer, μαραθώνιος, Engga
Πίνακα ελέγχου:	Smartgen, βαθύβιο, ComAp
Ονομαστική ισχύς:	20kw
Εκτιμημένη περιστροφή/λεπτό:	1500rpm ή 1800rpm
συχνότητας:	50Hz ή 60Hz
Ονομαστική τάση:	120v/208v, 220V/380V, 240V/415V

Πίνακας 7.5: Τεχνικά χαρακτηριστικά της γεννήτριας GNPG10

Συνοπτικά, τα στοιχεία που απαρτίζουν συνολικά το υβριδικό φωτοβολταϊκό σύστημα που εξετάσαμε φαίνονται στο σχήμα 7.6.



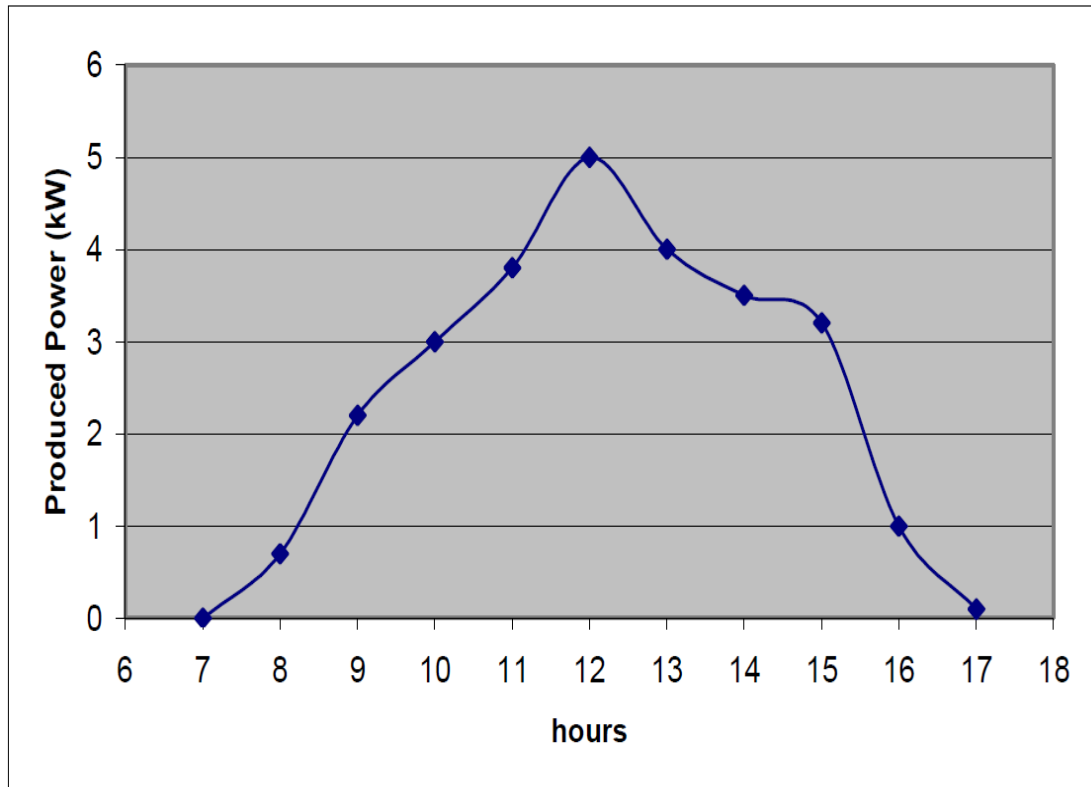
Εικόνα 7.6: Υβριδικό φωτοβολταϊκό σύστημα αυτόνομης κατοικίας με ηλεκτρικό συσσωρευτή και Ηλεκτροπαραγωγό Ζεύγος.

### 7.3. Καταμερισμός της ισχύος ζήτησης

Είναι απολύτως λογικό η ισχύς ζήτησης μίας αυτόνομης κατοικίας να διαφέρει κατά τη διάρκεια μιας ημέρας, αλλά και ανάμεσα σε μία τυπική καλοκαιρινή και χειμερινή ημέρα. Στην υποενοότητα αυτή θα γίνει μια προσπάθεια να υπολογίσουμε την κατανομή της ισχύος ζήτησης στο διάστημα μιας καλοκαιρινής και μιας χειμερινής ημέρας, με τελικό σκοπό να εντοπίσουμε πότε εμφανίζεται η αιχμή της ισχύος ζήτησης, δηλαδή πότε ενεργοποιείται το Η/Ζ.

## Αυτόνομο υβριδικό σύστημα παραγωγής ενέργειας από Φωτοβολταϊκά και φυσικό αέριο

Αρχικά, μελετήσαμε μια χειμερινή ημέρα. Με βάση τα αποτελέσματα του προγράμματος PVGIS δημιουργήσαμε (με τη βοήθεια του Excel) την καμπύλη μέγιστης παραγόμενης ισχύος της φωτοβολταϊκής συστοιχίας για μια τυχαία ημέρα του Δεκεμβρίου.



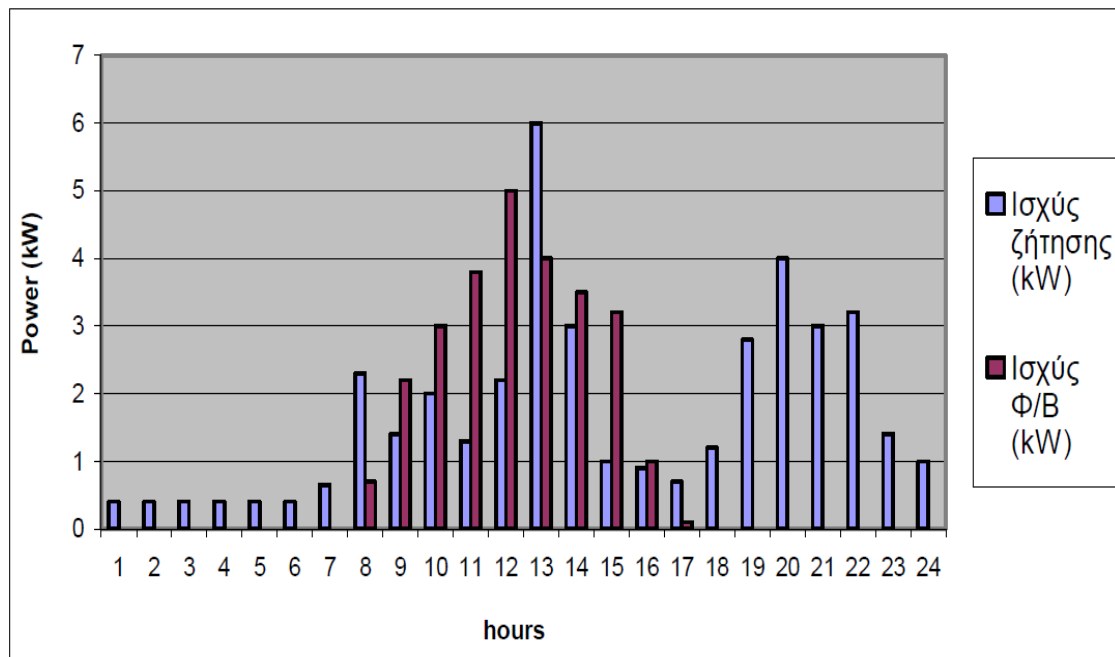
Σχήμα 7.3α Διακύμανση της μέγιστης παραγόμενης ισχύος της φωτοβολταϊκής συστοιχίας για μια τυχαία ημέρα του Ιανουαρίου για κάθε ώρα της ημέρας.

Ύστερα, ορίσαμε με βάση τη δικιά μας αξιολόγηση τις καταναλώσεις της οικίας για κάθε ώρα του εικοσιτετραώρου. Για παράδειγμα, τις νυχτερινές ώρες που η οικογένεια κοιμάται, η μόνη κατανάλωση προέρχεται από τη λειτουργία του ψυγείου, ενώ το μεσημέρι και το απόγευμα που ενδεχομένως όλα τα μέλη της οικογένειας βρίσκονται στο σπίτι έχουμε αυξημένη ισχύ ζήτησης. Συνολικά, η εκτιμώμενη κατανάλωση κάθε ώρα της ημέρας φαίνεται στον Πίνακα 7.3α.

Έτσι, προκύπτει ένα συγκριτικό ιστόγραμμα (Σχήμα 7.3α), που παρουσιάζει την κατανάλωση κάθε ώρα της ημέρα, καθώς και την παραγόμενη από τα φωτοβολταϊκά πλαίσια ισχύ.

## Αυτόνομο υβριδικό σύστημα παραγωγής ενέργειας από Φωτοβολταϊκά και φυσικό αέριο

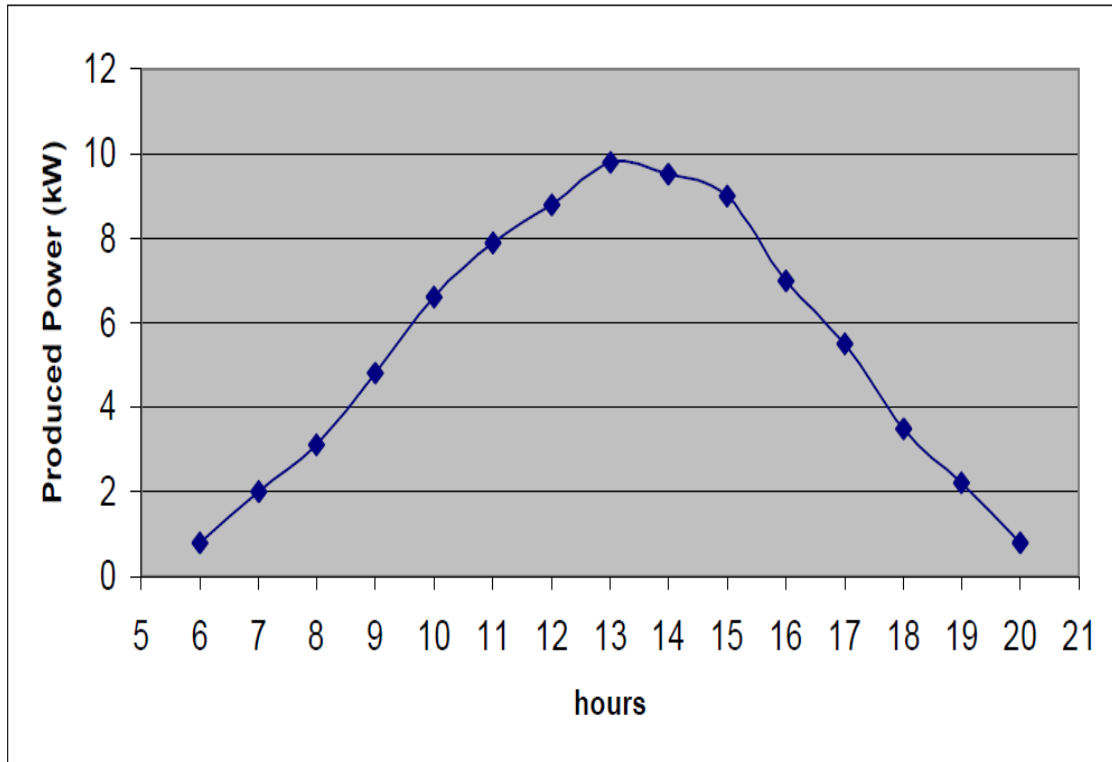
Με τη γαλάζια ράβδο παρουσιάζεται η ισχύς ζήτησης για κάθε ώρα, ενώ με την κόκκινη παρουσιάζεται η παραγόμενη από τα πλαίσια ισχύς κάθε ώρα. Τις νυκτερινές ώρες η ζήτηση καλύπτεται πλήρως από τους ηλεκτρικούς συσσωρευτές και μόνο στη σπάνια περίπτωση αυτοί να είναι εκφορτισμένοι, τίθεται σε λειτουργία το Η/Ζ. Κατά τη διάρκεια της ημέρας παρατηρούμε ότι στις 8 π.μ. και στη 1 μ.μ. έχουμε αιχμές ζήτησης που δεν καλύπτονται από το φωτοβολταϊκό σύστημα. Αυτές τις ώρες τίθεται σε λειτουργία το Η/Ζ και καλύπτει την επιπλέον ζήτηση, ενώ ταυτόχρονα φορτίζει τους συσσωρευτές.



Σχήμα 7.3α: Συγκριτικό ιστόγραμμα παραγόμενης ισχύος πλαισίων και καταναλισκομένης ισχύος από οικιακές συσκευές για κάθε ώρα ημέρας Ιανουαρίου.

Μετέπειτα, μελετήσαμε μια καλοκαιρινή ημέρα. Με βάση τα αποτελέσματα του προγράμματος PVGIS δημιουργήσαμε την καμπύλη μέγιστης παραγόμενης ισχύος της φωτοβολταϊκής συστοιχίας για μια τυχαία ημέρα του Ιουλίου.

Αυτόνομο υβριδικό σύστημα παραγωγής ενέργειας από Φωτοβολταϊκά  
και φυσικό αέριο



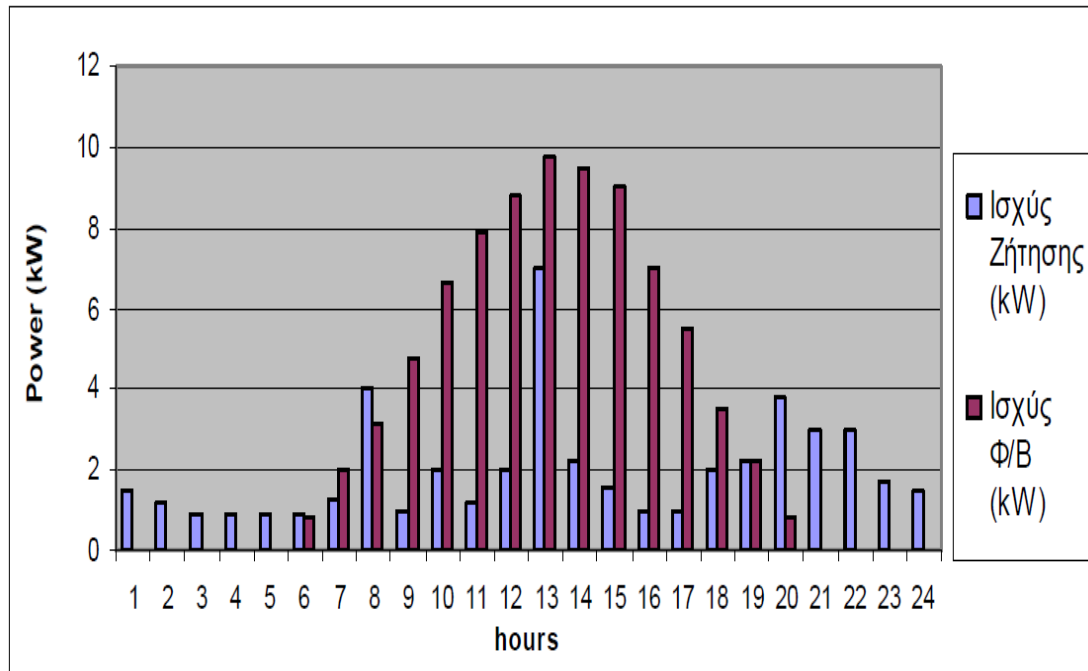
Σχήμα 7.3β. Διακύμανση της μέγιστης παραγόμενης ισχύος της φωτοβολταϊκής συστοιχίας για μια τυχαία ημέρα του Ιουλίου για κάθε ώρα της ημέρας.

Ορίσαμε με βάση τη δικιά μας αξιολόγηση τις καταναλώσεις της οικίας για κάθε ώρα του εικοσιτετραώρου. Για παράδειγμα, τις νυχτερινές ώρες που η οικογένεια κοιμάται, η κατανάλωση προέρχεται από τη λειτουργία του ψυγείου και κάποιων ανεμιστήρων οροφής, ενώ το μεσημέρι και το απόγευμα που ενδεχομένως όλα τα μέλη της οικογένειας βρίσκονται στο σπίτι έχουμε αυξημένη ισχύ ζήτησης. Συνολικά, η εκτιμώμενη κατανάλωση κάθε ώρα της ημέρας φαίνεται στο σχήμα 7.3β.

Έτσι, προκύπτει ένα συγκριτικό ιστόγραμμα (Πίνακας 7.3β), που παρουσιάζει την κατανάλωση κάθε ώρα της ημέρας, καθώς και την παραγόμενη από τα φωτοβολταϊκά πλαίσια ισχύ.



Αυτόνομο υβριδικό σύστημα παραγωγής ενέργειας από Φωτοβολταϊκά  
και φυσικό αέριο



Σχήμα 7.3β. Συγκριτικό ιστόγραμμα παραγόμενης ισχύος πλαισίων και καταναλισκομένης ισχύος από οικιακές συσκευές για κάθε ώρα ημέρας Ιουλίου.

Από το σχήμα 7.3β παρατηρούμε ότι η παραγόμενη από τα φωτοβολταϊκά πλαίσια ισχύς είναι σχεδόν καθ' όλη τη διάρκεια της ημέρας πολύ μεγάλη σε σχέση με την ισχύ κατανάλωσης. Άρα στην ουσία δεν χρησιμοποιείται το Η/Ζ, γιατί ακόμα και αν έχουμε μεγαλύτερη ζήτηση κάποιες ώρες της ημέρας (π.χ. στις 8 π.μ.) ή και κάποιες νυκτερινές ώρες, οι συσσωρευτές είναι φορτισμένοι και επαρκούν για την κάλυψη αυτής.

#### 7.4. Συμπεράσματα

Με την ολοκλήρωση της μελέτης τροφοδότησης οικίας 150 τ.μ. με φωτοβολταϊκά και ηλεκτροπαραγωγό ζεύγος προέκυψαν τα εξής αποτελέσματα και συμπεράσματα.

Αρχικά ύστερα από διαδοχικές δοκιμές στο πρόγραμμα PVGIS προέκυψε ότι η βέλτιστη κλίση τοποθέτησης της φ/β συστοιχίας είναι  $30^{\circ}$ . Η μελέτη της λειτουργίας της υβριδικής εγκατάστασης αποφασίσαμε να γίνει για το μήνα Ιανουάριο (που επικρατούν οι χειρότερες συνθήκες).

Η συνολική ισχύς των ηλεκτρικών συσκευών που χρησιμοποιήθηκαν είναι αντίστοιχα **10,922 kW** για το μήνα Ιανουάριο (χειμώνας) και **11,172 kW** για το μήνα

Αυτόνομο υβριδικό σύστημα παραγωγής ενέργειας από Φωτοβολταϊκά  
και φυσικό αέριο

Ιούλιο (καλοκαίρι). Οι αντίστοιχες ολικές καταναλώσεις της οικίας είναι **19,772 kWh** και **26,722 kWh**.

Η ισχύς αιχμής  $P_{p\Sigma}$  της φ/β συστοιχίας για την κάλυψη των ενεργειακών απαιτήσεων μιας ημέρας αυτονομίας υπολογίστηκε ότι είναι **15,766 kWp** για τους χειμερινούς μήνες και **5,908 kWp** για τους καλοκαιρινούς.

Ο αριθμός των πλαισίων που βρέθηκε ότι θα χρησιμοποιηθεί είναι περίπου 66, των **225 Wp** το καθένα. Άρα η συνολική εγκατεστημένη ισχύς θα είναι τελικά **15,77 kWp**. Με βάση αυτή την τιμή και κάνοντας χρήση του προγράμματος PVGIS προέκυψε ο πίνακας που δίνει την ημερήσια ενεργειακή απόδοση της φ/β συστοιχίας ( $50^\circ$ ).

Στη συνέχεια υπολογίστηκε η χωρητικότητα των συσσωρευτών όπου και βρέθηκε **353 Ah**. Με χρήση συσσωρευτών χωρητικότητας **253 Ah** βρέθηκε ότι τελικά η εγκατάσταση θα περιλαμβάνει 2 παράλληλους κλάδους με 4 συσσωρευτές σε σειρά ο καθένας, δηλαδή συνολικά 8 συσσωρευτές.

Στη συνέχεια επιλέχτηκε ο κατάλληλος ελεγκτής φόρτισης με χαρακτηριστικά **48 V/ 252 A/ 35 A**.

Με δεδομένο το γεγονός ότι η μέγιστη ηλεκτρική ισχύς  $P_k$  των φορτίων που λειτουργούν ταυτόχρονα υποτέθηκε ότι είναι **8 kW**, ενώ η συνολική εγκατεστημένη ισχύς περίπου **12 kW**, χρησιμοποιήθηκαν 2 τριφασικοί μετατροπείς με ισχύ εξόδου **4 kW** και ισχύ αιχμής **6 kW** ο καθένας.

Όσον αφορά το H/Z, ο χρόνος φόρτισης  $t_\phi$  του συσσωρευτή από το H/Z βρέθηκε ότι είναι **5,33 h**, ενώ η ηλεκτρική ισχύς  $P_\phi$  του H/Z που απαιτείται για τη φόρτιση του συσσωρευτή **3,8 kW**. Η συνολική απαιτούμενη ηλεκτρική ισχύς του H/Z  $P_{HZ}$  υπολογίστηκε ότι πρέπει να είναι  $> 14,9 \text{ kW}$ . Γι' αυτό τελικά έγινε χρήση γεννήτριας φυσικού αερίου **18 kW** και χρόνου φόρτισης **6 h**.

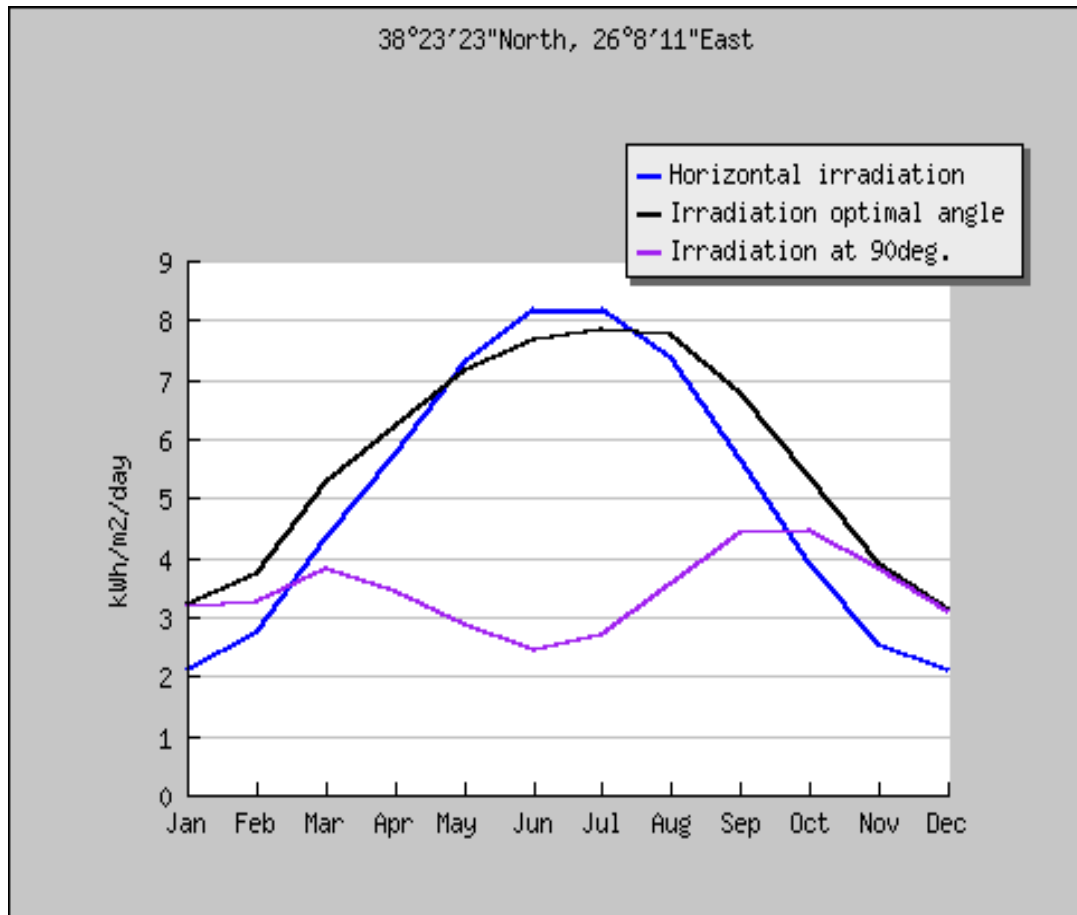
Η μελέτη τελειώνει με τα διαγράμματα που απεικονίζουν τη διακύμανση της μέγιστης παραγόμενης ισχύς της φ/β συστοιχίας για μια τυχαία ημέρα του Δεκεμβρίου και του Αυγούστου αντίστοιχα, για κάθε ώρα της ημέρας και με τα συγκριτικά ιστογράμματα παραγόμενης ισχύς πλαισίων και καταναλισκόμενης ισχύς από οικιακές συσκευές, για κάθε ώρα ημέρας Δεκεμβρίου και Αυγούστου αντίστοιχα.

Η μελέτη λοιπόν ενός τέτοιου συστήματος δεν είναι ιδιαίτερα απλή. Ο μηχανικός πρέπει να λάβει υπόψη του ένα πλήθος παραγόντων πριν προχωρήσει στην επιλογή των μονάδων και το μέγεθος της εγκατάστασης. Βασικό κριτήριο στις

Αυτόνομο υβριδικό σύστημα παραγωγής ενέργειας από Φωτοβολταϊκά  
και φυσικό αέριο

επιλογές του αποτελεί η επιθυμητή αξιοπιστία του μελετώμενου συστήματος που όμως αντικρούεται με το αυξημένο κόστος των απαραίτητων μονάδων για την συγκρότηση του.

Στην συνέχεια θα δούμε το διάγραμμα για προσπιπόμενη ηλιακή ακτινοβολίας (**Wh/m<sup>2</sup>/day**) στην περιοχή της Χίου



Διάγραμμα 7.9 :της προσπιπόμενης ακτινοβολίας στην περιοχή της Χίου σε οριζόντια επιφάνεια, (μπλε καμπύλη), σε επιφάνεια με βέλτιστη κλίση (μαύρη καμπύλη) και σε επιφάνεια με κλίση 50ο (μωβ καμπύλη).

Στο παραπάνω διάγραμμα παρατηρούμε ότι η βέλτιστη ακτινοβολία υπερτερεί έναντι των άλλων, τους μήνες Απρίλιο, Μάιο, Ιούνιο, Ιούλιο και Αύγουστο (5 μήνες).

## Αυτόνομο υβριδικό σύστημα παραγωγής ενέργειας από Φωτοβολταϊκά και φυσικό αέριο

Η μικρότερη πρόσπτωση ηλιακής ακτινοβολίας παρατηρείται το Δεκέμβριο (μήνας με τις χειρότερες συνθήκες). Για κλίσεις συλλεκτών  $30^{\circ}$  και  $35^{\circ}$  η προσπιπώμενη ακτινοβολία το Δεκέμβριο είναι μικρότερη από την ακτινοβολία που προσπίπτει όταν έχουμε κλίση  $90^{\circ}$ . Αυτό έχει ως αποτέλεσμα για κλίση  $0^{\circ}$  την αύξηση της απαιτούμενη ισχύς της φ/β συστοιχίας, άρα και την αύξηση του συνολικού αριθμού των πλαισίων. Συνεπώς οικονομικά μας συμφέρει καλύτερα η κλίση των  $30^{\circ}$ , γιατί σε αυτή απαιτείται φ/β συστοιχία με μικρότερη ισχύ συγκριτικά με τις άλλες.

Η επιλογή αυτή επιβεβαιώνεται γιατί παρατηρούμε ότι καθ' όλη τη διάρκεια του έτους η εγκατάσταση των  $30^{\circ}$  που χρησιμοποιήσαμε καλύπτει πλήρως τις ενεργειακές μας ανάγκες. Οι οριζόντια κλίση και η κλίση των  $90^{\circ}$  θα έδιναν μεγαλύτερες τιμές τους μήνες από Μάρτιο έως Σεπτέμβριο που ούτως ή άλλως και με την κλίση των  $30^{\circ}$  «πετάμε» ενέργεια με αποτέλεσμα να «πετάμε» ακόμα περισσότερη, ενώ τους υπόλοιπους μήνες οι κλίσεις αυτές δίνουν χειρότερα αποτελέσματα.

### ***BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ***

- « Ήπιες – Φιλικές μορφές ενέργειας », Δρ. Α.Α. Νασίκας, εκδόσεις ΤΕΙ Λάρισας
- « Ήπιες μορφές ενέργειας Ι – Περιβάλλον & Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας », Σ.Ν.Καπλάνης, εκδόσεις Ίων
- « Φωτοβολταϊκά Συστήματα », Ι. Φραγκιαδάκης, εκδόσεις Ζήτη
- « Φωτοβολταϊκή Τεχνολογία », Κ. Καγκαράκη, εκδόσεις Συμμετρία
- « Ένας πρακτικός οδηγός για τα φωτοβολταϊκά », Σύνδεσμος Εταιρειών Φωτοβολταϊκών
- « Μετατροπή της Ηλιακής Ενέργειας σε Ηλεκτρική με Φωτοβολταϊκά Συστήματα », Νεοκλέους-Κωνσταντινίδη, εκδόσεις Ίων
- « Φωτοβολταϊκές Εγκαταστάσεις », Σ. Περγίος, εκδόσεις Τεχνική εκδοτική
- « Επενδύσεις Φωτοβολταϊκών στην Ελλάδα », Α. Ζαχαρίου
- « Τεχνοοικονομική Μελέτη Εγκατάστασης Φωτοβολταϊκών Συστημάτων στα κτίρια του Ξενία », διατριβή μεταπτυχιακού διπλώματος ειδίκευσης της Αικατερίνης Πολυχρονιάδου, τμήμα Περιβάλλοντος, Πανεπιστήμιο Αιγίου
- « Παραμετρική Μελέτη Μηδενισμού Σκίασης Ηλιακών Συλλεκτών-Κώδικας-Εφαρμογές », διπλωματική εργασία του Σταμάτιου Καλάκιου, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο 2010
- « Διαχείριση Δεδομένων Μέτρησης της Ηλιακής Ακτινοβολίας », διπλωματική εργασία του Παναγιώτη Κεραμιτζή, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο 2010
- « Τεχνοοικονομική Μελέτη και Σύγκριση Υβριδικών Συστημάτων. Εφαρμογή σε Αυτόνομη Κατοικία », διπλωματική εργασία των Δ. Σαραφιανού και Μ. Σειραγάκη, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, 2009
- « Σχεδιασμός Αυτόνομου Φωτοβολταϊκού Συστήματος για την Τροφοδότηση Αγροικίας », διπλωματική εργασία της Φ. Μπουγιούκου, Πανεπιστήμιο Πατρών 2010
- « Σχεδίαση αυτόνομου υβριδικού φωτοβολταϊκού συστήματος », διπλωματική εργασία της Μαρίας Μαρκάτου, Πανεπιστήμιο Πατρών 2011

Αυτόνομο υβριδικό σύστημα παραγωγής ενέργειας από Φωτοβολταϊκά  
και φυσικό αέριο

- <http://el.wikipedia.org/wiki/>
- [www.adam-europe.eu/adam/project/view.htm?prj=4557](http://www.adam-europe.eu/adam/project/view.htm?prj=4557)
- [www.ecocenter.hu/en/hun-hypos-project](http://www.ecocenter.hu/en/hun-hypos-project)
- <http://www.mgd-energy.gr/el/2011-12-05-23-02-22.html>
- [http://www.cres.gr/energy-saving/efarmoges\\_autonomi\\_electr.htm](http://www.cres.gr/energy-saving/efarmoges_autonomi_electr.htm)
- <http://www.depa.gr/content/article/002002001001/12.html>
- <http://www.greenenergia.gr/>
- [http://www.selasenergy.gr/fv\\_systems\\_main.php](http://www.selasenergy.gr/fv_systems_main.php)
- <http://www.dei.gr/>
- [www.solar-systems.gr](http://www.solar-systems.gr)
- [www.hellascams.gr/grc/products/solar\\_panel/pv\\_fundamentals.html](http://www.hellascams.gr/grc/products/solar_panel/pv_fundamentals.html)
- [www.cres.gr/kape/energeia\\_politis/energeia\\_politis\\_photovol.htm](http://www.cres.gr/kape/energeia_politis/energeia_politis_photovol.htm)
- [www.physics4u.gr/energy/sunenergy.html](http://www.physics4u.gr/energy/sunenergy.html)
- [www.helapco.gr](http://www.helapco.gr)
- <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps4/pvest.php#>
- <http://e-fotovoltaika.blogspot.com>
- [www.iqsolarpower.com/index.html](http://www.iqsolarpower.com/index.html)
- [www.cres.gr/energy-saving/technologies\\_technologies\\_ape.htm](http://www.cres.gr/energy-saving/technologies_technologies_ape.htm)