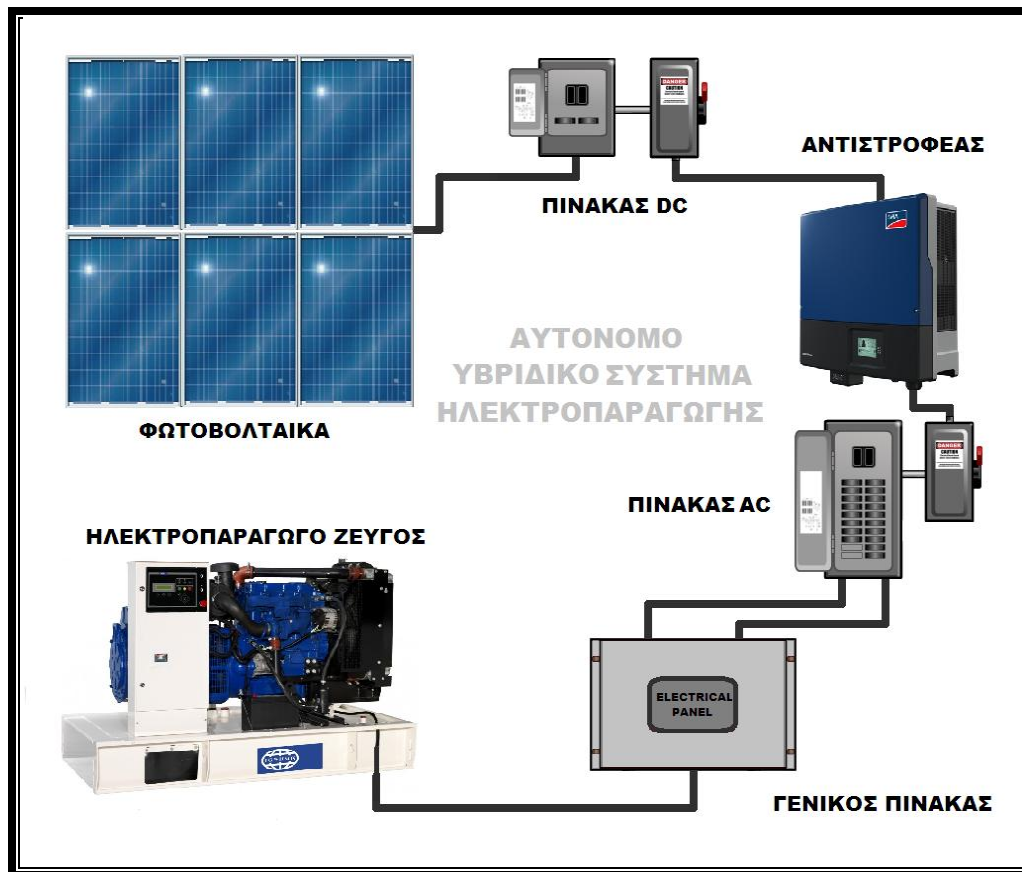




ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ
Τ. Ε. Ι. ΠΕΙΡΑΙΑ
ΣΧΟΛΗ: ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ
ΤΜΗΜΑ: ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ Τ.Ε.
Επιβλέπων: ΠΕΤΡΟΣ Γ. ΒΕΡΝΑΔΟΣ, Ομότιμος Καθηγητής
Συνεπιβλέπων: ΕΡΙΕΤΤΑ Ι. ΖΟΥΝΤΟΥΡΙΑΔΟΥ, Παν. Υπότροφος

«Μελέτη εγκατάστασης υβριδικού συστήματος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας σε βιομηχανική στέγη»

«Study of a hybrid electric energy production system on an industrial roof»



Πτυχιακή Εργασία:

Δημητρίου Γκολέμη (Α.Μ. 38168)

ΑΙΓΑΛΕΩ, ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ 2013

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΠΕΙΡΑΙΑ
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ Τ.Ε.

**«Μελέτη εγκατάστασης υβριδικού συστήματος παραγωγής
ηλεκτρικής ενέργειας σε βιομηχανική στέγη»**

«Study of a hybrid electric energy production system on an industrial roof»

Πτυχιακή Εργασία:

Δημητρίου Γκολέμη (Α.Μ. 38168)

ΑΙΓΑΛΕΩ, ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ 2013

ΕΥΧΑΡΗΣΤΙΕΣ

Στο σημείο αυτό θα ήθελα να ευχαριστήσω την κυρία Ζουντουρίδου και τον κύριο Βερνάδο για το κίνητρο που μου έδωσαν να εργαστώ μαζί τους και όλους εκείνους που με βοήθησαν για την ολοκλήρωσή της εργασίας αυτής. Επίσης την αφιερώνω στην οικογένειά μου και σε όλα τα κοντινά πρόσωπα που μου συμπαραστάθηκαν κατά την διάρκεια της προσπάθειάς αυτής. Η συμβολή τους ήταν καθοριστική.

Γκολέμης Δημήτρης

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σκοπός της συγκεκριμένης πτυχιακής εργασίας είναι η μελέτη της εγκατάστασης ενός αυτόνομου υβριδικού συστήματος, για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας σε μια στέγη βιομηχανική. Το σύστημα αυτό που θα εξεταστεί αποτελεί ένα υβριδικό σύστημα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας αποτελούμενο από τη μια πλευρά, από ένα ζεύγος μιας γεννήτριας (**generator**) και ενός κινητήρα (**motor**) **diesel (H/Z)**, συνδεδεμένα με το πίνακα της γεννήτριας και από την άλλη πλευρά, από ένα φωτοβολταϊκό σύστημα αποτελούμενο από τους φωτοβολταϊκούς συλλέκτες (**panels**), τοποθετημένους σωστά σε 12 στοιχειοσειρές, με συνολικά τρεις αντιστροφείς (**inverter**), τρεις πίνακες συνεχούς ρεύματος (**DC**) και τρεις πίνακες εναλλασσομένου ρεύματος (**AC**). Τα δύο συστήματα αυτά θα ελέγχονται από ένα γενικό πίνακα χαμηλής τάσης (**Γ.Π.Χ.Τ**) ο οποίος περιέχει ένα σύστημα αυτοματισμού που θα ελέγχει την αυτόνομη ή τη παράλληλη λειτουργία των δύο αυτών συστημάτων αυτών όποτε χρειάζεται.

Στην εργασία αυτή το ενδιαφέρον θα επικεντρωθεί στο πως θα πραγματοποιηθεί μια τέτοιου είδους εγκατάσταση, στο ποιες θα πρέπει να είναι οι απαραίτητες συνθήκες για την σωστή λειτουργία του συστήματος αυτού και στο πως θα γίνει σωστά ο σχεδιασμός όλων των πινάκων για τον έλεγχο της συνολικής λειτουργίας του συστήματος. Σκοπός θα είναι, μέσω της εγκατάστασης αυτής, να αυξηθούν τα οφέλη της ηλιακής ενέργειας στην παραγωγή ηλεκτρισμού και τα δύο συστήματα να λειτουργούν μεταξύ τους αρμονικά προσφέροντας παράλληλα πολλά οικονομικά οφέλη.

- Στο **Κεφάλαιο 1** :
Γίνεται μια γενικότερη αναφορά στις διάφορες πηγές ενέργειας που συναντιούνται στις μέρες μας όπως, η αιολική ενέργεια, η υδροηλεκτρική ενέργεια, η βιομάζα κ.α.
- Στο **Κεφάλαιο 2** :
Γίνεται ανάλυση της ηλιακής ενέργειας και ακτινοβολίας ενώ επίσης αναλύεται ο τύπος και η δομή των διάφορων φωτοβολταϊκών συστημάτων.
- Στο **Κεφάλαιο 3** :
Γίνεται ανάλυση και μελέτη των σύγχρονων μηχανών και του μαθηματικού τους υπόβαθρου με την ανάπτυξη πολλών σχετικών εξισώσεων.
- Στο **Κεφάλαιο 4** :
Περιγράφονται τα υβριδικά συστήματα ηλεκτροπαραγωγής και οι εφαρμογές τους, ενώ αναλύεται η δομή τους στα επιμέρους τμήματα που τα απαρτίζουν.
- Στο **Κεφάλαιο 5** :
Γίνεται η περιγραφή της εγκατάστασης και της λειτουργίας των επιμέρους συστημάτων του αυτόνομου υβριδικού συστήματος καθώς και του γενικού πίνακα χαμηλής τάσης.
- Στο **Κεφάλαιο 6** :
Διατυπώνονται τα συμπεράσματα τα οποία προέκυψαν από την μελέτη της εγκατάστασης του υβριδικού συστήματος που παρουσιάστηκε.

ABSTRACT

The graduation thesis that follows introduces the study of installing an autonomous hybrid system, in order to produce electricity in an industrial space. The system that will be examined is a hybrid power system consisting from a pair of a diesel generator and a motor connected to the panel of the generator on one side and of a photovoltaic system placed correctly in 12 strings with a total of three inverters, three **DC** power panels and three **AC** power panels on the other side. The two systems will be controlled by a general table of low voltage and contains an automation system that controls the autonomous or parallel operation of both these systems whenever needed.

In this thesis the interest will focus on how to establish such a facility, on what should be the necessary conditions for the proper operation of this system, like the selection of **KW** for the photovoltaic panels, the **KW** for the generator and the **KW** of the total installation and on how to correctly design all the panels for controlling the overall operation of the system. The aim of this thesis, through this installation, will be to increase the benefits of solar power in order to produce electricity and the two systems to work together harmoniously in order as well to provide several economical benefits.

- **In Chapter 1:**
A general reference is made to several sources encountered nowadays such as wind power, hydropower, biomass, geothermal energy and ocean energy.
- **In Chapter 2 :**
An analysis of solar energy and solar radiation is made, while also an analysis of the type and structure of various photovoltaic systems nowadays.
- **In Chapter 3 :**
An analysis and study is made of synchronous machines and their mathematical background to the development of many related equations.
- **In Chapter 4 :**
The hybrid power systems and their applications are described, while the structure in the different parts that compose them is analyzed.
- **In Chapter 5 :**
A description is made of the installation and operation of the individual systems and the general table of low voltage of the autonomous hybrid system.
- **In Chapter 6 :**
Are formulated the conclusions derived from the study of the installation of the hybrid system presented.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ**ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο : Εισαγωγή.....**

1.1) ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ.....	8
1.2) ΔΙΑΦΟΡΟΙ ΤΥΠΟΙ ΜΟΡΦΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ.....	10
1.2.1) ΑΙΟΛΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ.....	10
1.2.2) ΥΔΡΟΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ.....	11
1.2.3) ΒΙΟΜΑΖΑ.....	13
1.2.4) ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ.....	14
1.2.5) ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΩΚΕΑΝΩΝ.....	15

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο : Φωτοβολταϊκά Συστήματα.....

2.1) ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	16
2.2) ΗΛΙΑΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ.....	17
2.2.1) ΗΛΙΑΚΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ.....	19
2.3) ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ.....	23
2.3.1) ΒΑΣΙΚΕΣ ΕΞΙΣΩΣΕΙΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΗΛΙΑΚΟΥ ΚΥΤΤΑΡΟΥ.....	24
2.3.2) ΙΣΟΔΥΝΑΜΟ ΚΥΚΛΩΜΑ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟΥ ΚΥΤΤΑΡΟΥ.....	25
2.3.3) ΒΑΘΜΟΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΗΛΙΑΚΟΥ ΚΥΤΤΑΡΟΥ.....	26
2.4) ΔΟΜΙΚΑ ΜΕΡΗ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ.....	27
2.4.1) ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΗ ΓΕΝΝΗΤΡΙΑ.....	27
2.4.2) ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ.....	28
2.4.3) ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΗ ΣΥΣΤΟΙΧΙΑ (ARRAY).....	29
2.5) ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ.....	30

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο : Σύγχρονες Μηχανές.....

3.1) ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	31
3.2) ΣΥΓΧΡΟΝΗ ΜΗΧΑΝΗ.....	31
3.2.1) ΣΥΓΧΡΟΝΗ 3Φ ΓΕΝΝΗΤΡΙΑ – ΑΣΥΓΧΡΟΝΟΣ 3Φ ΚΙΝΗΤΗΡΑΣ.....	33
3.2.2) ΕΠΑΓΩΓΙΚΕΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΣΥΓΧΡΟΝΗΣ ΜΗΧΑΝΗΣ.....	35
3.2.3) ΕΞΙΣΩΣΕΙΣ ΣΥΓΧΡΟΝΗΣ ΜΗΧΑΝΗΣ.....	37
3.3) ΙΣΧΥΣ ΣΥΓΧΡΟΝΗΣ ΜΗΧΑΝΗΣ.....	38
3.3.1) ΈΛΕΓΧΟΣ ΙΣΧΥΟΣ ΣΥΓΧΡΟΝΗΣ ΜΗΧΑΝΗΣ.....	39
3.3.2) ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΣΥΓΧΡΟΝΗΣ ΜΗΧΑΝΗΣ ΣΕ 3Φ ΒΡΑΧΥΚΥΚΛΩΜΑ.....	40
3.4) ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΤΗΣ ΙΣΧΥΟΣ.....	41
3.4.1) ΜΟΝΟΦΑΣΙΚΟΣ ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΤΗΣ ΔΥΟ ΤΥΛΙΓΜΑΤΩΝ.....	41
3.4.2) ΤΡΙΦΑΣΙΚΟΣ ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΤΗΣ.....	43

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: Υβριδικά Συστήματα.....

4.1) ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	46
4.2) ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΑΥΤΟΝΟΜΩΝ ΥΒΡΙΔΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ.....	46
4.2.1) ΥΒΡΙΔΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ – ΓΕΝΝΗΤΡΙΑΣ DIESEL.....	47
4.3) ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΥΒΡΙΔΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ.....	48
4.3.1) ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΔΙΑΣΥΝΔΕΔΕΜΕΝΑ ΣΤΟ Κ.Δ.Η.Ε.....	48
4.3.2) ΤΡΟΦΟΔΟΤΗΣΗ ΑΠΟΜΟΝΩΜΕΝΩΝ ΦΟΡΤΙΩΝ Η ΕΙΔΙΚΟΥ ΣΚΟΠΟΥ.....	49
4.4) ΔΟΜΙΚΑ ΜΕΡΗ ΥΒΡΙΔΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ.....	49
4.4.1) ΣΥΣΣΩΡΕΥΤΕΣ.....	50
4.4.2) ΡΥΘΜΙΣΤΕΣ – ΜΕΤΑΤΡΟΠΕΙΣ – ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΕΙΣ.....	50
4.4.3) ΝΤΙΖΕΛΟΓΕΝΝΗΤΡΙΑ.....	52
4.4.4) ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΗ ΓΕΝΝΗΤΡΙΑ.....	52

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: Εγκατάσταση του υβριδικού συστήματος.....

5.1) ΔΟΜΗ ΤΟΥ ΥΒΡΙΔΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ.....	57
5.1.1) ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΥΒΡΙΔΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ.....	58
5.2) ΣΥΜΒΑΤΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ.....	59
5.2.1) ΓΕΝΝΗΤΡΙΑ - ΚΙΝΗΤΗΡΑΣ DIESEL (H/Z).....	59
5.2.2) ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΣΥΜΒΑΤΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ.....	60
5.2.3) ΓΕΝΙΚΟΣ ΠΙΝΑΚΑΣ ΓΕΝΝΗΤΡΙΑΣ.....	64
5.3) ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ.....	66
5.3.1) ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟΙ ΣΥΛΛΕΚΤΕΣ.....	66
5.3.2) ΠΙΝΑΚΑΣ DC ΡΕΥΜΑΤΟΣ.....	77
5.3.3) ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΕΑΣ (INVERTER).....	79
5.3.4) ΔΙΑΤΑΞΗ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ ΠΛΑΙΣΙΩΝ.....	83
5.3.5) ΠΙΝΑΚΑΣ AC ΡΕΥΜΑΤΟΣ.....	84
5.4) ΓΕΝΙΚΟΣ ΠΙΝΑΚΑΣ ΧΑΜΗΛΗΣ ΤΑΣΗΣ.....	88
5.4.1) ΜΕΤΡΗΤΗΣ ΙΣΧΥΟΣ.....	89

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: Παρατηρήσεις - Πρότυπα εγκατάστασης.....

6.1) ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ – ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	91
6.2) ΠΡΟΤΥΠΑ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ.....	92

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ..... 94

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ..... 96

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1°

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1) Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας

Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (ΑΠΕ) ή "ήπιες μορφές ενέργειας" ή αλλιώς "νέες μορφές ενέργειας", είναι μορφές εκμεταλλεύσιμης ενέργειας που προέρχονται από διάφορες φυσικές διαδικασίες όπως, ο άνεμος, η γεωθερμία, η ηλιακή ακτινοβολία, η κυκλοφορία του νερού αλλά και άλλες.

Για ένα μεγάλο αριθμό χωρών παγκοσμίως οι Α.Π.Ε. συνιστούν μια εγχώρια πηγή ενέργειας με δυνατότητες και προοπτικές ανάπτυξης σε τοπικό και εθνικό επίπεδο. Συνεισφέρουν σημαντικά στο ενεργειακό τους ισοζύγιο συμβάλλοντας στη μείωση της εξάρτησης από το ακριβό εισαγόμενο πετρέλαιο και στην ενίσχυση της ασφάλειας του ενεργειακού τους εφοδιασμού. Παράλληλα συντελούν στη προστασία του περιβάλλοντος καθώς έχει διαπιστωθεί ότι μειώνουν κατά πολύ τα υψηλά ποσοστά της ατμοσφαιρικής ρύπανσης. Παρά τους πρόσφατους υψηλούς ρυθμούς ανάπτυξης της ηλιακής και της αιολικής ενέργειας τα τελευταία χρόνια στην Ε.Ε. η συνεισφορά των Α.Π.Ε. στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας είναι ακόμη μικρή. Οι στόχοι που τέθηκαν από το πρωτόκολλο του ΚΙΟΤΟ που υπογράφηκε το Δεκέμβριο του 1997 στη σύμβαση των Ηνωμένων Εθνών για την αλλαγή του κλίματος, προέβλεπαν για την περίοδο 2008-2012 για την Ε.Ε. μείωση των εκπομπών των αερίων θερμοκηπίου κατά 8%. Το Σεπτέμβριο του 2001 το Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο ψήφισε μια νέα οδηγία για τις Α.Π.Ε. σύμφωνα με την οποία τίθενται στόχοι για κάθε κράτος μέλος της Ε.Ε. σε σχέση με το ποσοστό της συμμετοχής των Α.Π.Ε. στο σύνολο της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας. Συγκεκριμένα για την Ελλάδα ο παραπάνω στόχος όριζε κάλυψη της ηλεκτροπαραγωγής από Α.Π.Ε. έως το 2010 σε ποσοστό 20,1% της συνολικά παραγόμενης ενέργειας στη χώρα κάτι το οποίο μέχρι τη σημερινή ημέρα δεν έχει πραγματοποιηθεί.

➤ Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας έχουν πολλά πλεονεκτήματα όπως επίσης και μερικά μειονεκτήματα.

■ Τα **πλεονεκτήματα** των Α.Π.Ε. είναι:

- Συνεισφορά στην ενίσχυση της ενεργειακής ανεξαρτησίας και της ασφάλειας του ενεργειακού εφοδιασμού σε εθνικό επίπεδο.
- Συμβολή στη μείωση της εξάρτησης από συμβατικούς μη ανανεώσιμους ενεργειακούς πόρους.
- Συμβολή στην άμβλυνση του φαινομένου του θερμοκηπίου, καθώς συνεισφέρουν στο περιορισμό της εκπομπής των έξι αερίων του θερμοκηπίου (CO₂, CH₄, N₂O, HFCs, PFCs, SF₆) στην ατμόσφαιρα.
- Αποκέντρωση του ενεργειακού μας συστήματος, εξαιτίας της γεωγραφικής τους διασποράς, με αποτέλεσμα τη δυνατότητα κάλυψης των ενεργειακών αναγκών σε τοπικό και περιφερειακό επίπεδο και τη συνεπακόλουθη ανακούφιση των συστημάτων υποδομής και τον περιορισμό των απωλειών από τη μεταφορά ενέργειας.
- Χαμηλό λειτουργικό κόστος το οποίο δεν επηρεάζεται από της διακυμάνσεις της διεθνούς οικονομίας και ειδικότερα των τιμών των συμβατικών καυσίμων.

- Δυνατότητα ορθολογικής αξιοποίησης των ενεργειακών πόρων, με διαφορετικές λύσεις για διαφορετικές ανάγκες. Όπως παράδειγμα η χρήση της ηλιακής ενέργειας για θερμότητα χαμηλών θερμοκρασιών ή η χρήση της αιολικής ενέργειας για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας κ.τ.λ.
- Συνεισφορά στην αναζωογόνηση οικονομικά και κοινωνικά υποβαθμισμένων περιοχών με τη δημιουργία θέσεων εργασίας και τη προσέλκυση ανάλογων επενδύσεων όπως για παράδειγμα, καλλιέργειες θερμοκηπίων με τη χρήση γεωθερμικής ενέργειας.

■ Τα **μειονεκτήματα** των Α.Π.Ε. είναι:

- Ο συντελεστής απόδοσης τους είναι λίγο χαμηλός και μέχρι στιγμής χρησιμοποιούνται σε μεγαλύτερο εύρος ως συμπληρωματικές πηγές ενέργειας.
- Η παροχή και η απόδοση της αιολικής της ηλιακής και της υδροηλεκτρικής ενέργειας εξαρτάται από την εποχή του έτους, από το γεωγραφικό πλάτος καθώς και από το κλίμα της περιοχής στην οποία εγκαθίστανται.
- Το κόστος παραγωγής ανά KWh, ειδικά στην περίπτωση των φωτοβολταϊκών είναι ακόμη μεγαλύτερο σε σύγκριση με τα ορυκτά καύσιμα. Βέβαια υπάρχει μια τάση σύγκλισης των τιμών, ενώ στις τιμές δεν συμπεριλαμβάνεται το δύσκολο υπολογίσιμο περιβαλλοντικό κόστος της εκμετάλλευσης των ορυκτών καυσίμων.
- Υπάρχει η άποψη ότι οι αιολικές μηχανές δεν είναι κομψές από αισθητικής άποψης, αλλά γίνονται συνεχείς βελτιώσεις με τον καιρό. [1]
- Σχετικό στατιστικό στοιχείο:

Διαθέσιμες Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας			
Τεχνολογία	Μέγιστη Θεωρητική Παραγωγή	Πρακτικά Δυνατή Παραγωγή	Σημερινή Παραγωγή
Αιολική Ενέργεια στην ξηρά (TW)	72	47	0.02
Ηλιακή Ενέργεια (TW)	1700	340	0.001
Υδροηλεκτρική Ενέργεια (TW)	1.9	<1.9	0.32
Γεωθερμική Ενέργεια (TW)	160	0.15	0.007
Κύματα + Παλίρροια	3.5	0.5	0.00006
Παγκόσμια Κατανάλωση Ηλεκτρικής Ενέργειας (TW)			1.6 - 1.8
Παγκόσμια Κατανάλωση Ενέργειας (TW)			9.4 – 13.6

Σχ. 1.1.1 Διαθέσιμες Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας [1]

1.2) Διάφοροι τύποι μορφών ενέργειας

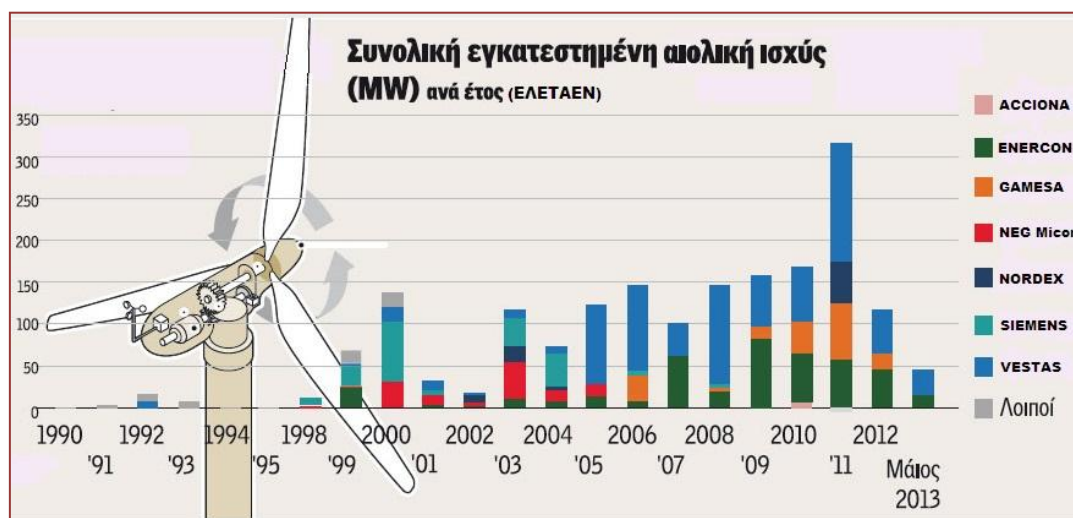
Στην κατηγορία των Α.Π.Ε. επίσης συγκαταλέγονται η αιολική ενέργεια, η υδροηλεκτρική, η βιομάζα, η γεωθερμική και βέβαια η ηλιακή. Η προέλευση και η σημασία τους στην κάλυψη των ανθρώπινων αναγκών περιγράφεται παρακάτω με εξαίρεση την ηλιακή ενέργεια για την οποία γίνεται αναφορά στο δεύτερο κεφάλαιο.

1.2.1) Αιολική ενέργεια

Η πρωτογενής αυτή μορφή ενέργειας του ανέμου είναι μια από τις πιο παλιές φυσικές πηγές ενέργειας η οποία αξιοποιήθηκε σε μηχανική μορφή. Χρησιμοποιήθηκε από παλαιά σε μεγάλη έκταση στα ιστιοφόρα σκάφη για κίνηση και στους ανεμόμυλους π.χ. για άντληση νερού. Με την χρησιμοποίηση του ατμού το 1850 και την εξέλιξη της τεχνολογίας οι διάφορες χρήσεις της αιολικής ενέργειας αντικαταστάθηκαν από άλλες πιο πρόσφορες. Η αύξηση της ζήτησης της ενέργειας μεταπολεμικά οδήγησε κάποιες τεχνολογικά αναπτυγμένες για την εποχή χώρες στην κατάστροψη προγραμμάτων για την εκμετάλλευση της αιολικής ενέργειας. Η προσπάθεια αυτή είχε να ανταγωνιστεί το χαμηλό κόστος των συμβατικών μονάδων παραγωγής και την επέκταση των ηλεκτρικών δικτύων, με αποτέλεσμα να χάσουν το ενδιαφέρον τους οι εφαρμογές της αιολικής ενέργειας. Η πρόσφατη ενεργειακή κρίση όμως με τις συνεχείς ανατιμήσεις του πετρελαίου επέδρασαν ευνοϊκά έτσι ώστε να αναζωογονηθεί το ενδιαφέρον για την εκ νέου εκμετάλλευση της ενέργειας μέσω του ανέμου.

Στη χώρα μας οι επικρατούσες συνθήκες πάνω από το Αιγαίο, το Κρητικό και το Καρπάθιο πέλαγος, τις ανατολικές ακτές της κεντρικής και νότιας Ελλάδας, τη βόρεια Κρήτη αλλά και τα Δωδεκάνησα ευνοούν την εμφάνιση ανέμων σημαντικής εντάσεως καθ' όλη τη διάρκεια του έτους, ικανής να διατηρεί σε λειτουργία ανεμοκινητήρες για μεγάλα χρονικά διαστήματα. Το ίδιο ισχύει στο εσωτερικό της χώρας και ιδιαίτερα σε ορεινές περιοχές. Οι συνθήκες στις παραπάνω περιοχές είναι ιδιαίτερα ευνοϊκές, διότι υπάρχει συνεχής πνοή καλής ποιότητας ανέμου, ελάχιστες ημέρες άπνοιας και ανυπαρξία τυφώνων.

- Σχετικό γράφημα:

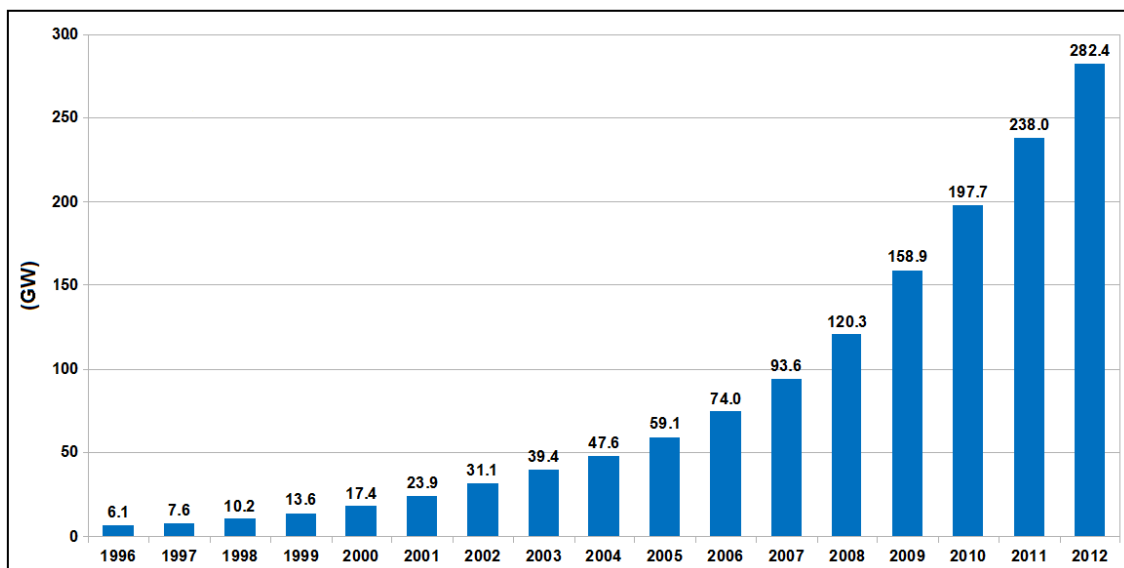


Σχ. 1.2.1.1 Συνολική εγκατεστημένη αιολική ισχύς στην Ελλάδα μέχρι το 2013 [3]

Η ατμόσφαιρα της γής είναι μια γιγαντιαία μηχανή που τροφοδοτείται από τον ήλιο. Το ποσό της θερμότητας που απορροφά η ατμόσφαιρα μεταβάλλεται με το χώρο και το χρόνο. Η δημιουργία των ανέμων είναι αποτέλεσμα της ανομοιόμορφης θέρμανσης της ατμόσφαιρας και οφείλεται στη μετακίνηση τεράστιων αέριων μαζών ώστε να γίνει η ανακατανομή της απορροφημένης ενέργειας. Έχει εκτιμηθεί ότι η συνολική αιολική ισχύς στη γήινη ατμόσφαιρα ανέρχεται σε 10^{14} MW και ότι μια ποσότητα της τάξεως των 10^7 MW είναι διαθέσιμη για μετατροπή σε μηχανική μορφή.

Σήμερα έχουν κατασκευαστεί σύγχρονες ανεμογεννήτριες με προηγμένη τεχνολογία που παράγουν ηλεκτρισμό λειτουργώντας είτε αυτόνομα είτε συνδεδεμένες στο δίκτυο. Η αιολική ενέργεια που είναι μια από τις πιο ελκυστικές μορφές ενέργειας, αναμένεται να αναπτυχθεί ακόμη περισσότερο με την κατασκευή νέων ανεμογεννητριών που θα μειώσουν το κόστος και θα κάνουν την αιολική ενέργεια πιο ανταγωνιστική. Η συνολική ισχύς εγκατεστημένων αιολικών πάρκων, αυξάνεται παγκοσμίως κατά 30% το χρόνο με την Ελλάδα να βρίσκεται παγκοσμίως στην 18^η θέση. [2]

- Σχετικό γράφημα:



Σχ. 1.2.1.2 Παγκόσμια αύξηση αιολικής ισχύος 1996-2012 [3]

1.2.2) Υδροηλεκτρική ενέργεια

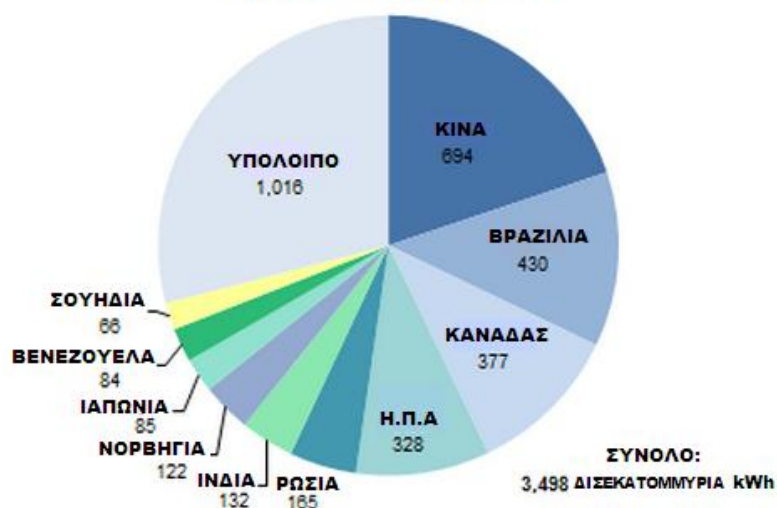
Πρόκειται για μια πηγή ενέργειας που παράγεται από την μετακίνηση του γλυκού νερού πάνω από τους ποταμούς και τις λίμνες. Η δυναμική ενέργεια λόγω βαρύτητας που συνδέεται με αυτό το νερό το αναγκάζει να διατηρεί μια καθοδική ροή. Αυτή η προς τα κάτω κίνηση του ύδατος περιέχει τη κινητική ενέργεια, η οποία μπορεί να μετατραπεί σε μηχανική ενέργεια και έπειτα σε ηλεκτρική ενέργεια στους σταθμούς υδροηλεκτρικής παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος.

Οι πολύ υψηλοί βαθμοί απόδοσης των υδροστρόβιλων, που μερικές φορές υπερβαίνουν και το 90% καθώς και η πολύ μεγάλη διάρκεια ζωής των μικρών υδροηλεκτρικών έργων που μπορεί να υπερβαίνει ακόμη και τα 100 έτη, αποτελούν δύο χαρακτηριστικούς δείκτες

ενεργειακής αποτελεσματικότητας και τεχνολογικής ωριμότητας. Στην Ελλάδα υπάρχουν ακόμη πολλά υδροηλεκτρικά εργοστάσια τα οποία παράγουν το 10% της συνολικής ενέργειας που καταναλίσκεται στην χώρα. [2]

- Σχετικό στατιστικό στοιχείο:

**Παραγωγή Υδροηλεκτρικής Ενέργειας ανα Χώρα έως το 2011
(Δισεκατομμύρια kWh)**



Σχ. 1.2.2.1 Παγκόσμια παραγωγή υδροηλεκτρικής ενέργειας έως το 2011 [3]

1.2.3) Βιομάζα

Γενικά ως βιομάζα ορίζεται η ύλη η οποία έχει βιολογική (οργανική) προέλευση. Πρακτικά στον όρο βιομάζα εμπεριέχεται οτιδήποτε υλικό προέρχεται άμεσα ή έμμεσα από φυτικό κόσμο. Πιο συγκεκριμένα σε αυτήν περιλαμβάνονται:

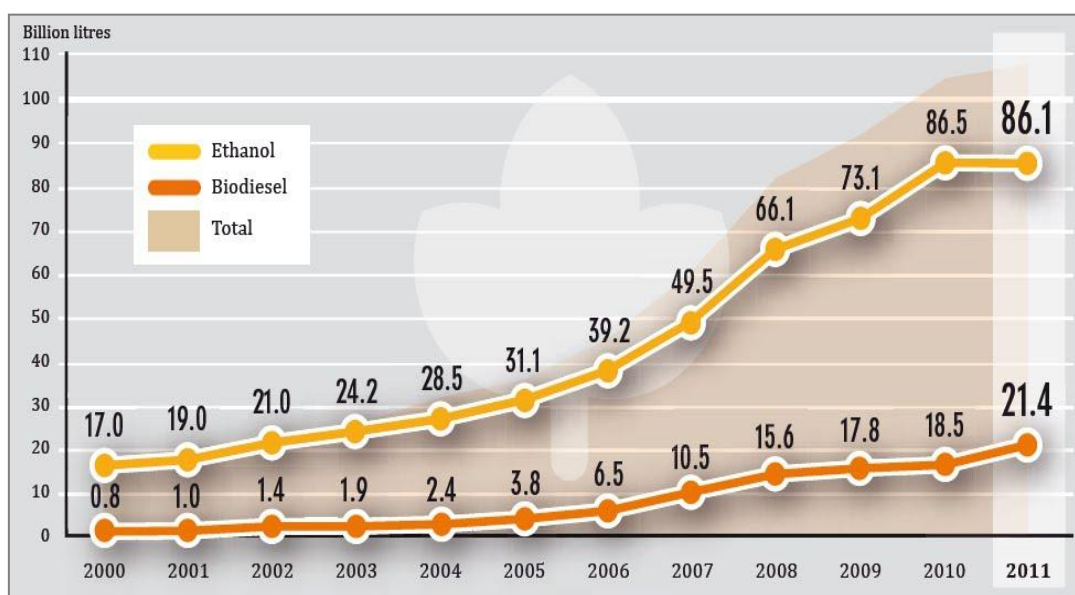
- Οι φυτικές ύλες που προέρχονται είτε από φυσικά οικοσυστήματα είτε από τις ενεργειακές καλλιέργειες.
- Τα υποπροϊόντα και κατάλοιπα της φυτικής, ζωικής, δασικής, και αλιευτικής παραγωγής.
- Τα υποπροϊόντα που προέρχονται από την επεξεργασία ή μεταποίηση των υλικών αυτών.
- Το βιολογικής προέλευσης μέρος των αστικών λυμάτων και σκουπιδιών.

Η βιομάζα αποτελεί μια δεσμευμένη και αποθηκευμένη μορφή της ηλιακής ενέργειας και είναι αποτέλεσμα της φωτοσυνθετικής δραστηριότητας των φυτικών οργανισμών. Η βιομάζα που παράγεται κάθε χρόνο στο πλανήτη μας υπολογίζεται ότι ανέχεται σε 172 δισεκ. τόνους ξηρού υλικού με ενεργειακό περιεχόμενο δεκαπλάσιο της ενέργειας που καταναλίσκεται παγκοσμίως στο ίδιο χρονικό διάστημα. Το τεράστιο όμως παρ' όλα αυτά ενεργειακό δυναμικό παραμένει κατά το μεγαλύτερο του μέρος ανεκμετάλλευτο, καθώς με πρόσφατες εκτιμήσεις μόνο το 1/7 της παγκόσμιας κατανάλωσης ενέργειας καλύπτεται από τη βιομάζα και αφορά κυρίως τις παραδοσιακές χρήσεις της.

- Σχετικά γραφήματα:



Σχ. 1.2.3.1 Συμμετοχή της βιομάζας (%) στην παγκόσμια κατανάλωση ενέργειας [3]



Σχ. 1.2.3.2 Παγκόσμια παραγωγή Αιθανόλης και Βιοντίζελ 2000-2011 [3]

Στην Ελλάδα τα κατά έτος διαθέσιμα γεωργικά και δασικά υπολείμματα ισοδυναμούν ενεργειακά με 3-4 εκατ. τόνους πετρελαίου, ενώ το δυναμικό των ενεργειακών καλλιεργειών μπορεί με βάση τα σημερινά δεδομένα να ξεπεράσει άνετα εκείνο των δασικών και γεωργικών υπολειμμάτων. Το ποσό αυτό αντιστοιχεί ενεργειακά στο 30-40% της ποσότητας του πετρελαίου που καταναλώνεται ετησίως στη χώρα μας. [2]

1.2.4) Γεωθερμική ενέργεια

Η γεωθερμική και η πυρηνική ενέργεια είναι οι μόνες μορφές ενέργειας με γήινη προέλευση που χρησιμοποιούνται από τον άνθρωπο. Η γεωθερμική ενέργεια προέρχεται από το εσωτερικό της Γής είτε μέσω ηφαιστειακών εκροών, είτε μέσω ρηγμάτων του υπεδάφους που αναβλύζουν ατμούς και θερμό νερό. Ανάλογα με τη θερμοκρασία των ρευστών που ανέρχονται στην επιφάνεια, η γεωθερμική ενέργεια χαρακτηρίζεται ως υψηλής ενθαλπίας (για θερμοκρασίες άνω των 150 °C), μέσης ενθαλπίας (για θερμοκρασίες 100 °C - 150 °C) και χαμηλής ενθαλπίας (για θερμοκρασίες κάτω των 100 °C). Η γεωθερμική ενέργεια υψηλής ενθαλπίας χρησιμοποιείται για παραγωγή ηλεκτρισμού σε όλο τον κόσμο.

Η προέλευση της θερμότητας της Γής δεν είναι με ακρίβεια σωστή. Υπάρχουν διάφορες θεωρίες που αναφέρονται στους μηχανισμούς που συμμετέχουν στην παραγωγή της. Επικρατέστερη θεωρείται εκείνη που αναφέρεται στη διάσπαση των ραδιενεργών ισωτόπων του ουρανίου, του θορίου, του καλίου και άλλων στοιχείων. Η μάζα της Γής είναι πολύ μεγάλη σε σχέση με την επιφάνειά της και καλύπτεται από υλικά χαμηλής θερμικής αγωγιμότητας με αποτέλεσμα η θερμότητα να συγκρατείται στο εσωτερικό της. Ο ρυθμός θερμικών απωλειών από την επιφάνεια του πλανήτη μας είναι πολύ μικρός, περίπου 8×10^{-2} W/m. Η θερμοκρασία της Γής αυξάνεται με το βάθος, η μέση δε γεωθερμική βαθμίδα στις ηπειρούς για μάζες που βρίσκονται σχετικά κοντά στην επιφάνεια είναι 300 °C/km. Δηλαδή για κάθε χιλιόμετρο βάθους η θερμοκρασία αυξάνεται κατά 300 °C. Σε πολύ μεγάλα βάθη η θερμοκρασία δεν είναι με ακρίβεια γνωστή. Στα όρια μεταξύ μανδύα και φλοιού, στην ασυνέχεια Mohorovicic, πιστεύεται ότι η θερμοκρασία φτάνει τους 6000 °C ενώ στο κέντρο της Γής τους 60000 °C. Φαίνεται ότι η παραγωγή θερμότητας από ραδιενεργά ισότοπα είναι συγκεντρωμένη περισσότερο στο φλοιό παρά στο πυρήνα, με αποτέλεσμα η γεωθερμική βαθμίδα να μειώνεται με το βάθος.

- Σχετικό στατιστικό στοιχείο:

ΕΓΚΑΤΕΣΤΗΜΕΝΗ ΔΥΝΑΜΙΚΟΤΗΤΑ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΚΑΙ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΗΣ ΗΛΕΚΤΡΟΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΣΤΙΣ ΚΟΡΥΦΑΙΕΣ 20 ΧΩΡΕΣ 2007					
ΧΩΡΑ	ΔΥΝΑΜΙΚΟΤΗΤΑ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ	ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΗ ΗΛΕΚΤΡΟΠΑΡΑΓΩΓΗ	ΧΩΡΑ	ΔΥΝΑΜΙΚΟΤΗΤΑ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ	ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΗ ΗΛΕΚΤΡΟΠΑΡΑΓΩΓΗ
	ΜΕΓΑΒΑΤ	ΕΚΑΤΟΜΜΥΡΙΑ ΚΙΛΟΒΑΤ ΑΝΑ ΩΡΑ		ΜΕΓΑΒΑΤ	ΕΚΑΤΟΜΜΥΡΙΑ ΚΙΛΟΒΑΤ ΑΝΑ ΩΡΑ
ΗΠΑ	2.923,5	15.883	ΚΕΝΥΑ	128,8	824
ΦΙΛΙΠΠΙΝΕΣ	1.969,7	12.596	ΝΙΚΑΡΑΓΟΥΑ	87,4	550
ΙΝΔΟΝΗΣΙΑ	992,0	6.344	ΡΩΣΙΑ	79,0	505
ΜΕΞΙΚΟ	953,0	6.094	ΝΕΑ ΓΟΥΙΝΕΑ	56,0	358
ΙΤΑΛΙΑ	810,3	5.183	ΓΟΥΑΤΕΜΑΛΑ	53,0	339
ΙΑΠΩΝΙΑ	535,2	3.422	ΤΟΥΡΚΙΑ	38,0	243
Ν. ΖΗΛΑΝΔΙΑ	471,6	3.016	ΚΙΝΑ	27,8	178
ΙΣΛΑΝΔΙΑ	421,2	2.693	ΠΟΡΤΟΓΑΛΙΑ	23,0	147
ΕΛ ΣΑΛΒΑΔΟΡ	204,2	1.306	ΓΑΛΛΙΑ	19,3	54
ΚΟΣΤΑ ΡΙΚΑ	162,5	1.039	ΓΕΡΜΑΝΙΑ	8,4	54

Σχ. 1.2.4.1 Παγκόσμια εγκατεστημένη δυναμικότητα γεωθερμικής ενέργειας [3]

Η βασικότερη χρησιμοποίηση του γεωθερμικού ρευστού είναι η παραγωγή ηλεκτρικής ισχύος. Αυτή γίνεται είτε με απευθείας εκτόνωση του ρευστού σε ένα ατμοστρόβιλο με απευθείας έξοδο στο περιβάλλον, είτε με απευθείας εκτόνωση σε τουρμπίνα στην έξοδο της οποίας υπάρχει ψυγείο, είτε με έμμεσο σύστημα με ή χωρίς ψυγείο, όπου το ρευστό δεν εκτονώνεται απευθείας στην τουρμπίνα αλλά παρεμβάλλεται ένα άλλο ρευστό όπως το Freon στο οποίο ο ακατέργαστος ατμός του πεδίου δίνει μια θερμότητα δια μέσω ενός εναλλάκτη θερμότητας. Στις μη ηλεκτρικές χρήσεις της γεωθερμίας συγκαταλέγονται: η θέρμανση οικιών ή θερμοκηπίων, η παραγωγή ψύχους και η παροχή θερμού νερού.

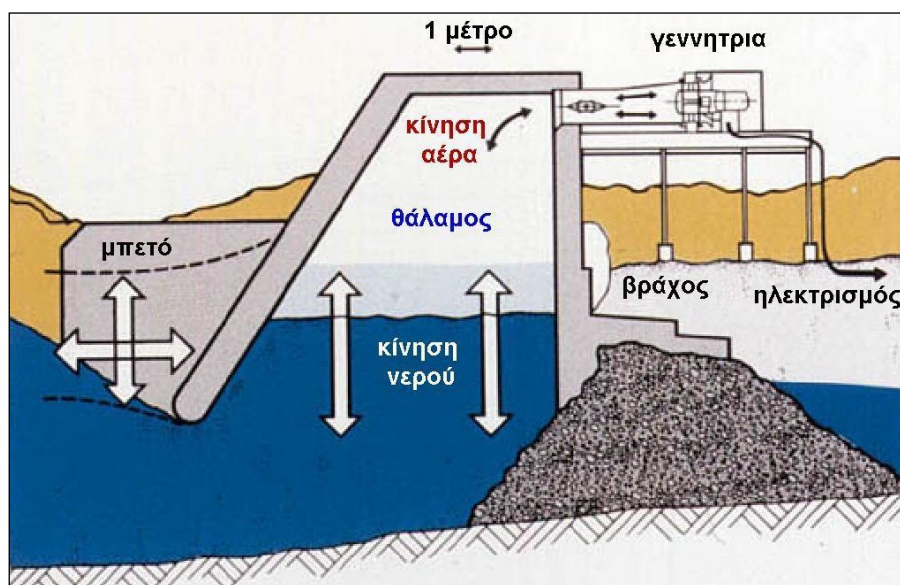
Οι γεωθερμικοί σταθμοί παραγωγής ηλεκτρικής ισχύος πρέπει να χρησιμοποιούνται σαν σταθμοί φορτίου βάσεως διότι το κόστος παραγωγής είναι πολύ μικρό, από τη στιγμή που δεν υπάρχει τρέχον κόστος και η μεταβολή της ροής είναι δύσκολη και ανεπιθύμητη, μιας και εργάζονται συνήθως στο 95% των δυνατοτήτων τους. Επίσης πρέπει να τονισθεί ότι η ονομαστική ζωή των γεωθερμικών εγκαταστάσεων μπορεί να θεωρηθεί ότι είναι 25 χρόνια, εκτός των εξαρτημάτων των πηγαδιών που έχουν χρόνο ζωής έως 10 χρόνια. [2]

1.2.5) Ενέργεια ωκεανών

Οι ωκεανοί οι οποίοι καλύπτουν το 70% της επιφάνειας της Γής διαθέτουν μεγάλα ποσά ενέργειας και έχουν αναπτυχθεί διάφορες τεχνολογίες για την εκμετάλλευσή τους. Σε αυτές περιλαμβάνονται: η ενέργεια των κυμάτων, η ενέργεια των παλιρροιών, η θερμική ενέργεια των ωκεανών και η ενέργεια των θαλάσσιων ρευμάτων.

Η ενέργεια κυμάτων είναι η μεταφορά ενέργειας μέσω των επιφανειακών κυμάτων των ωκεανών και χρησιμοποιείται για παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος ή ακόμα και για αφαλάτωση. Δεν είναι μια πολύ διαδεδομένη τεχνολογία παρόλο που πρόκειται για μια πηγή με πάρα πολλούς τεράστιους πόρους. [2]

- Σχετική εικόνα:



Σχ. 1.2.5.1 Σταθμός παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας μέσω κυμάτων [3]

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2°

ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ

2.1) Εισαγωγή

Η απευθείας μετατροπή της ηλιακής ενέργειας σε ηλεκτρική επιτυγχάνεται με την βοήθεια ηλιακών κυττάρων, η αρχή λειτουργίας των οποίων αποτελεί το φωτοβολταϊκό φαινόμενο. Η διαδικασία αυτή της μετατροπής δεν εξαρτάται από τη θερμοκρασία αλλά αντίθετα η απόδοση των ηλιακών κυττάρων (solar cells) μειώνεται όταν η θερμοκρασία αυξάνεται.

Η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από φωτοβολταϊκά συστήματα έχει κάποια πλεονεκτήματα όπως επίσης και κάποια μειονεκτήματα.

- Τα **πλεονεκτήματα** της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από φωτοβολταϊκά συστήματα είναι:
 - Λειτουργούν αθόρυβα, καθαρά και χωρίς κατάλοιπα αποφεύγοντας την μόλυνση του περιβάλλοντος.
 - Λειτουργούν χωρίς κινητά μέρη, με ελάχιστη συντήρηση και έχουν μεγάλη διάρκεια ζωής.
 - Λειτουργούν χωρίς την χρήση καυσίμων όπως πολλά από τα συμβατικά συστήματα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας.
 - Εκτός από τις ημέρες με καθαρό ουρανό, λειτουργούν και σε εκείνες με νεφελώδη ουρανό (διάχυτη ακτινοβολία).
 - Δεν χρησιμοποιούνται υγρά ή αέρια σε αυτά σε αντίθεση με τα θερμικά συστήματα, όπως είναι γνωστό.
 - Κατασκευάζονται από πυρίτιο, το οποίο αποτελεί ένα από τα στοιχεία με τη μεγαλύτερη αφθονία στην επιφάνεια της γής.
 - Είναι πλέον αποδοτικά και σε χαμηλές θερμοκρασίες.
 - Έχουν γρήγορη απόκριση σε ξαφνικές μεταβολές της ηλιοφάνειας κατά την διάρκεια της ημέρας.
 - Αν ένα τμήμα τους πάθει βλάβη τότε συνεχίζουν την λειτουργία τους μέχρι την αντικατάστασή τους.
 - Διαθέτουν μεγάλες δυνατότητες σε μια ευρύτερη περιοχή ισχύων (από mW μέχρι και MW).
 - Ο λόγος της ισχύος τους προς το βάρος τους είναι μεγάλος δίνοντας έτσι τη δυνατότητα εγκατάστασής τους πάνω σε στέγες.
 - Είναι κατάλληλα για επιτόπιες εφαρμογές, όπου δεν υπάρχει ή δεν είναι δυνατή η επέκταση του ηλεκτρικού δικτύου.
 - Είναι δυνατόν να συναρμολογηθούν τυποποιημένα στοιχεία μαζικής παραγωγής σε σύστημα οποιουδήποτε μεγέθους, για να καλύψουν μικρές, μεσαίες ή μεγάλες ενεργειακές ανάγκες.

- Τα **μειονεκτήματα** της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από φωτοβολταϊκά συστήματα είναι:
 - Το κόστος κατασκευής των ηλιακών στοιχείων είναι μεγάλο.
 - Για της περισσότερες εφαρμογές απαιτείται η δαπανηρή αποθήκευση της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας, λόγω της αστάθειας και της μεγάλης διακύμανσης της ισχύος της ηλιακής ακτινοβολίας.
 - Απαιτείται η χρησιμοποίηση μεγάλων σχετικά επιφανειών, λόγω της μικρής πυκνότητας ισχύος της ηλιακής ακτινοβολίας. [4]

2.2) Ηλιακή ενέργεια

Υπάρχουν διάφορες τεχνολογίες οι οποίες μπορούν να δεσμεύσουν την ηλιακή ακτινοβολία και να την μετατρέψουν σε ενέργεια αξιοποιήσιμη είτε σε επίπεδο ηλεκτροπαραγωγής είτε στον οικιακό τομέα για την παραγωγή ηλεκτρισμού ή απλά για θέρμανση νερού και άλλες οικιακές χρήσεις.

Ο Ήλιος αποτελεί το αστέρι που βρίσκεται στο κέντρο του ηλιακού μας συστήματος. Η μάζα του ισούται με $2 \cdot 10^{30}$ kg και η ακτίνα του με 700.000 km. Ακολουθεί μια τροχιά περί τον γαλαξία μας σε μια απόσταση 25.000 με 28.000 έτη φωτός από το κέντρο του γαλαξία και ολοκληρώνοντας μια περιφορά σε 226 εκατομμύρια έτη περίπου. Γύρω από τον Ήλιο έχουν τις τροχιές τους οι 8 γνωστοί πλανήτες μαζί με τη Γη, με τους δορυφόρους τους όπως επίσης και με άλλα σώματα όπως αστεροειδείς και κομήτες, αυτό που αποκαλούμε Ηλιακό σύστημα. Η μάζα του Ήλιου αποτελείται σε ποσοστό 74% από Υδρογόνο, 24% από Ήλιο και το υπόλοιπο 2% από ένα μείγμα διάφορων άλλων χημικών στοιχείων. Το Υδρογόνο αποτελεί το κύριο στοιχείο για τις θερμοπυρηνικές αντιδράσεις που παράγουν την ενέργεια που ακτινοβολεί, ενώ το Ήλιο προέρχεται από τα προϊόντα της πυρηνικής σύντηξης του Υδρογόνου. Ο Ήλιος δεν έχει σαφή επιφάνεια όπως έχουν οι γήινοι πλανήτες. Η πυκνότητα των αερίων μειώνεται σε συνάρτηση με την ακτίνα του Ηλίου με ένα νόμο αντιστρόφου τετραγώνου. Η ακτίνα του Ηλίου μετριέται από το κέντρο του άστρου μέχρι και την φωτόσφαιρα έξω από την οποία δεν λαμβάνει χώρα η πυρηνική σύντηξη.

Οι συνθήκες όμως στο κέντρο του Ηλίου όπως και σε οποιοδήποτε άλλο αστέρα είναι κάθε άλλο παρά κανονικές. Η θερμοκρασία εδώ φτάνει τους 20 εκατομμύρια βαθμούς Κελσίου. Αυτό έχει σαν συνέπεια τα υπερθερμασμένα άτομα να κινούνται με πολύ μεγάλες ταχύτητες, να συγκρούονται μεταξύ τους σφοδρά και βίαια και έτσι ώστε 2 άτομα υδρογόνου να κολλάνε μεταξύ τους μετά την σύγκρουση. Αν ακολουθήσουν άλλες 2 συγκρούσεις τότε προστίθενται άλλα 2 άτομα υδρογόνου στο σύνολο φτιάχνοντας έτσι ένα σταθερό άτομο ηλίου. Το παράξενο στη διαδικασία αυτή είναι ότι τα 4 μεμονωμένα άτομα υδρογόνου ζυγίζουν πριν την συγχώνευση περισσότερο από ένα άτομο ηλίου μετά τη συγχώνευση. Η υπόλοιπη μάζα μετατράπηκε απλούστατα σε ενέργεια όπως προέβλεψε ο Αλβέρτος Αϊνστάιν στην περίφημη εξίσωσή του : $E=mc^2$.

Δηλαδή, η ενέργεια που εκπέμπεται είναι ίση με το γινόμενο της μάζας που λείπει επί το τετράγωνο της ταχύτητας του φωτός. Πιο απλά ελάχιστη μάζα παρέχει τεράστια ενέργεια η ποσότητα της οποίας που παράγεται είναι απίστευτη. Έχει προσδιοριστεί πως σε κάθε δευτερόλεπτο ο Ήλιος εκπέμπει τόση ενέργεια όση θα έδινε μία έκρηξη 4 δισεκατομμυρίων βομβών υδρογόνου των 100 μεγατόνων η κάθε μια. Δηλαδή ίση κάπου με μερικές εκατοντάδες δισεκατομμυρίων τρισεκατομμυρίων κιλοβατώρες. Και όλα αυτά για ένα μόνο

δευτερόλεπτο ενώ ο Ήλιος εκπέμπει εδώ και 5 δισεκατομμύρια χρόνια και θα συνεχίσει να εκπέμπει για τουλάχιστον άλλα τόσα ακόμα.

Η επιφανειακή θερμοκρασία του Ηλίου είναι 5.780 βαθμοί Kelvin, δίνοντας άσπρο χρώμα το οποίο όμως φαίνεται κίτρινο από την επιφάνεια της Γης λόγω της ατμοσφαιρικής σκέδασης. Η μέση απόσταση του Ήλιου και της Γής είναι 149.6 εκατομμύρια χιλιόμετρα. Το φώς ταξιδεύοντας με 300.000km/s χρειάζεται 8 λεπτά και 19 δευτερόλεπτα για να διανύσει την απόσταση αυτή. Η ενέργεια που προέρχεται από τον Ήλιο με τη μορφή ηλιακού φωτός συντηρεί και είναι απαραίτητη σχεδόν για κάθε μορφή ζωής στον πλανήτη, ενώ καθορίζει το κλίμα και τον καιρό.

Η εκπεμπόμενη ακτινοβολία απομακρύνεται ακτινικά από τον Ήλιο προς το διάστημα, άρα η ένταση J , της ακτινοβολίας του μεταβάλλεται αντιστρόφως ανάλογα με το τετράγωνο της απόστασης:

$$J = P/4\pi d^2$$

Όπου P η ολική, σε όλα τα μήκη κύματος, εκπεμπόμενη από όλη τη επιφάνειά του, ισχύς της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας και d απόσταση από τον Ήλιο στην οποία μετράται η ένταση. Η ένταση της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας, που αντιστοιχεί στη μέση απόσταση πλανήτη-Ήλιου ανά μονάδα χρόνου, που λαμβάνεται ανά μονάδα επιφάνειας σε επιφάνεια κάθετη στη διεύθυνση διάδοσης της ακτινοβολίας ονομάζεται ηλιακή σταθερά του συγκεκριμένου πλανήτη. Στην περίπτωση της Γής χρησιμοποιείται ως πρότυπη τιμή της ηλιακής σταθεράς η $J_0=1367 \text{ W/m}^2$.

Η Γή λαμβάνει στο άνω μέρος της ατμόσφαιρας 174 petawatts (1PW= 10^{15} W). Το 30% περίπου αντανακλάται προς το διάστημα και το υπόλοιπο απορροφάται από ωκεανούς, σύννεφα και στεριά. Αυτό σημαίνει ότι οι χερσαίες μάζες, οι ωκεανοί και η ατμόσφαιρα λαμβάνουν 3.850.000 exajoules (1EX= 10^{18} J) κάθε χρόνο. Το ποσό της ενέργειας αυτής είναι τόσο μεγάλο που σε ένα χρόνο αντιστοιχεί το διπλάσιο της ενέργειας που θα αποκτηθεί συνολικά από όλες της μη ανανεώσιμες πηγές της Γής μαζί, όπως ο άνθρακας, το πετρέλαιο, το φυσικό αέριο και το ουράνιο. Η ηλιακή ενέργεια που δέχτηκε η Γή για μια ώρα το 2002 ήταν περισσότερη από εκείνη που ξοδεύτηκε από τους ανθρώπους σε ένα χρόνο.

Η εκμετάλλευση της ηλιακής ενέργειας γίνεται ε διάφορους τρόπους που διακρίνονται κυρίως σε δυο κατηγορίες. Στην πρώτη κατηγορία ανήκουν τα παθητικά ηλιακά συστήματα, που μετατρέπουν την ηλιακή ενέργεια σε εσωτερική ενέργεια δομικών κατασκευών (εφαρμογή σε κτήρια). Στη δεύτερη κατηγορία ανήκουν τα ενεργειακά ηλιακά συστήματα, τα οποία μετατρέπουν την ηλιακή ενέργεια σε εσωτερική ενέργεια θερμικού ρευστού (θερμοσιφωνικά συστήματα) ή απευθείας σε ηλεκτρικό ρεύμα (φωτοβολταϊκά συστήματα).

Τα μόρια της γήινης ατμόσφαιρας αλλά και τα σωματίδια μεγαλύτερης διαμέτρου (υδρατμοί, σκόνη, καπνός) σκεδάζουν τα φωτόνια μειώνοντας έτσι την ένταση των ηλιακών ακτινών. Το ηλιακό φως που φτάνει στην επιφάνεια της Γής αποτελείται από δύο συνιστώσες. Πρόκειται για την άμεση **B (Beam)** που αφορά στις ακτίνες που φτάνουν απευθείας από τον Ήλιο και την διάχυτη **D (Diffuse)** που αφορά στις ακτίνες που φτάνουν στην επιφάνεια αφού υποστούν πολλαπλές σκεδάσεις στα αέρια συστατικά της ατμόσφαιρας. Γενικά η προσπίπτουσα ακτινοβολία σε ένα συλλέκτη αποτελείται από την απευθείας, από την διάχυτη και από την ανακλώμενη από το έδαφος ηλιακή ακτινοβολία. Η συνολική αυτή ακτινοβολία αναφέρεται ως ολική ακτινοβολία σε κεκλιμένο ή οριζόντιο συλλέκτη και συμβολίζεται με **G (Global Irradiation)**. [4]

- Σχετικό στατιστικό στοιχείο με γράφημα:

ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟΙ ΣΤΑΘΜΟΙ ΔΙΑΣΥΝΔΕΔΕΜΕΝΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ 2009 (Άρθρο 9 Ν.3468/2006)			
ΜΗΝΑΣ	ΕΝΕΡΓΕΙΑ (MWh)	ΙΣΧΥΣ (MW)	
		ΣΥΝΟΛΙΚΑ ΣΥΜΒΟΛΑΙΟΠΟΙΗΜΕΝΗ	ΣΕ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ
ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ	780,11	43,573	14,084
ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ	1.037,16	43,663	17,057
ΜΑΡΤΙΟΣ	1.664,18	48,816	19,207
ΑΠΡΙΛΙΟΣ	2.599,56	50,670	20,297
ΜΑΙΟΣ	4.691,53	53,231	24,307
ΙΟΥΝΙΟΣ	5.417,44	54,936	27,758
ΙΟΥΛΙΟΣ	3.314,96	57,495	29,843
ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ	-	-	-
ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ	-	-	-
ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ	-	-	-
ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ	-	-	-
ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ	-	-	-
ΣΥΝΟΛΟ (MWh)	19.504,92	-	

ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟΙ ΣΤΑΘΜΟΙ ΣΕ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΑΝΑ ΔΙΟΙΚΗΤΙΚΗ ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑ



Σχ. 2.2.1 Φωτοβολταϊκοί σταθμοί διασυνδεδεμένου συστήματος σε λειτουργία ανά διοικητική περιφέρεια μέχρι το 2009 [4]

2.2.1) Ηλιακή ακτινοβολία

Είναι κατανοητό πως για την αξιολόγηση του φωτοβολταϊκού συστήματος απαιτείται η γνώση της πορείας του Ηλίου και εν τέλει ο προσδιορισμός της προσπίπτουσας ακτινοβολίας σε ένα πλαίσιο αυθαίρετης κλίσης και προσανατολισμού. Αυτό που χρειάζεται ως δεδομένο για τον υπολογισμό αυτό είναι η τιμή της ακτινοβολίας στο οριζόντιο επίπεδο. Έτσι περιγράφεται ο τρόπος υπολογισμού της ηλιακής ακτινοβολίας που προσπίπτει σε μια οποιαδήποτε επιφάνεια.

Παρακάτω αναφέρονται όλα τα είδη ηλιακής ακτινοβολίας που συναντούνται και οι ορισμοί τους:

- **Ακτινική/άμεση ακτινοβολία (beam radiation)** : η ηλιακή ακτινοβολία που λαμβάνεται από τον Ήλιο χωρίς να έχει υποστεί διάχυση από την ατμόσφαιρα. Η ακτινική συνιστώσα της ηλιακής ακτινοβολίας συχνά αναφέρεται και ως άμεση συνιστώσα.

- **Διάχυτη ακτινοβολία (diffuse radiation)** : η ηλιακή ακτινοβολία που λαμβάνεται από τον Ήλιο αφού η κατεύθυνσή της έχει αλλάξει από την διάχυση στην ατμόσφαιρα.
- **Ολική ηλιακή ακτινοβολία (total solar radiation)** : το άθροισμα της ακτινικής και της διάχυτης ακτινοβολίας σε μια οριζόντια επιφάνεια αποτελεί την ολική ακτινοβολία.
- **Ένταση ακτινοβολίας (irradiance)** : η τιμή της ακτινοβολούμενης ενέργειας που προσπίπτει σε μοναδιαία επιφάνεια προς την επιφάνεια αυτή (W/m^2). Το σύμβολο που χρησιμοποιείται για την περιγραφή της έντασης της ακτινοβολίας είναι το **G**.
- **Ακτινοβολία ή ηλιακή έκθεση (irradiation)** : η προσπίπτουσα ενέργεια ανά μονάδα επιφάνειας που προκύπτει από την ολοκλήρωση της έντασης ακτινοβολίας σε ορισμένο χρονικό διάστημα, συνήθως μιας ώρας ή μέρας (J/m^2). Το σύμβολο που χρησιμοποιείται για την περιγραφή της ακτινοβολίας σε διάστημα μιας ώρας είναι το **I**. [5]

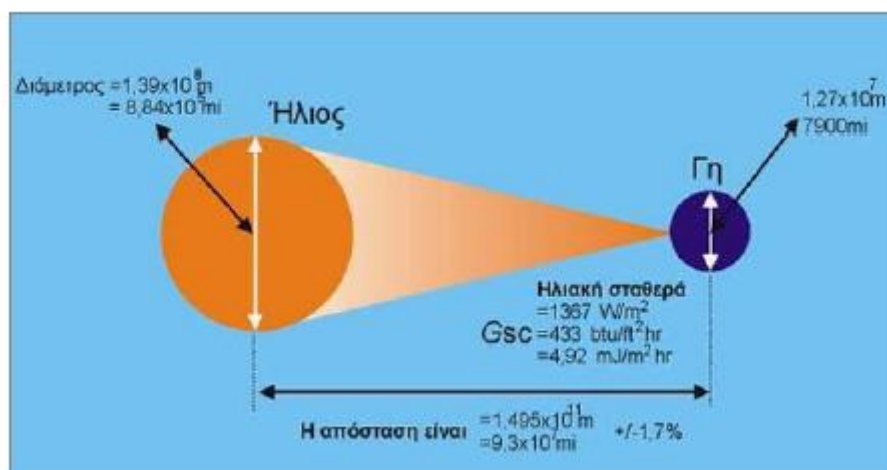
➤ Πορεία του Ήλιου

Ο σημαντικότερος παράγοντας που διαμορφώνει την ισχύ της ηλιακής ακτινοβολίας είναι η θέση του Ήλιου σε σχέση με το σημείο της Γής που δέχεται την ακτινοβολία. Για τον λόγο αυτό θα ήταν απαραίτητο να αναφερθούμε σε βασικές αρχές της ηλιακής ακτινοβολίας.

➤ Εξωγήινη ακτινοβολία

Σημαντικός παράγοντας που καθορίζει την ισχύ της ηλιακής ακτινοβολίας σε κάποιο σημείο της Γής είναι η θέση του Ήλιου ως προς το σημείο αυτό. Η τροχιά της Γής γύρω από τον Ήλιο είναι ελαφρώς ελλειπτική. Γι' αυτό υπάρχει μεταβολή της απόστασης των κέντρων μεταξύ Γής- Ήλιου η οποία είναι της τάξης του 1,7%.

Στην εικόνα παρακάτω φαίνεται σχηματικά η γεωμετρία μεταξύ Γής και Ήλιου:



Σχ. 2.2.1.1 Γεωμετρική σχέση Γής-Ήλιου [5]

Αυτή η μεταβολή της απόστασης επιφέρει και μια μεταβολή στην εξωγήινη ακτινοβολία κατά $\pm 3\%$. Η ισχύς της ακτινοβολίας που φτάνει τελικά στην Γή για κάθε στιγμή του χρόνου δίνεται από την σχέση:

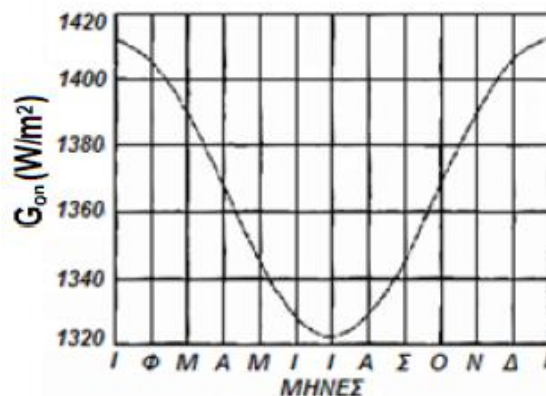
$$G_{on} = G_{sc} \cdot \left(1 + 0.033 \cdot \cos \frac{360 \cdot n}{365}\right) W/m^2 \quad (2.1)$$

Όπου:

- G_{on} : η εξωγήινη ακτινοβολία (W/m^2) σε κάθετη επιφάνεια ως προς την ακτινοβολία.
- n : η ημέρα του χρόνου στην οποία αναφερόμαστε (π.χ. $n=1$ για την 1^η Ιανουαρίου).
- G_{sc} : η ηλιακή σταθερά ($G_{sc}=1367 W/m^2$).

Ως ηλιακή σταθερά ορίζεται η ενέργεια από τον Ήλιο ανά μονάδα χρόνου που δέχεται μονάδα επιφάνειας κάθετη στην κατεύθυνση διάδοσης της ακτινοβολίας, για την μέση απόσταση Γής – Ήλιου έξω από τα όρια της ατμόσφαιρας.

Ως εξωγήινη ακτινοβολία ορίζουμε την ακτινοβολία πάνω στην επιφάνεια της Γής απουσία ατμόσφαιρας. Η μεταβολή της εξωγήινης ακτινοβολίας ανά μήνα του έτους φαίνεται στο παρακάτω διάγραμμα:



Σχ. 2.2.1.2 Μεταβολή της εξωγήινης ακτινοβολίας ανά μήνα του έτους [5]

Συχνά είναι απαραίτητο να υπολογίζεται η ακτινοβολία εκτός ατμόσφαιρας για χρονική περίοδο μιας ώρας. Με ολοκλήρωση της παραπάνω εξίσωσης στο πεδίο του χρόνου και για πεδίο ανάμεσα στις δύο ωριαίες γωνίες ω_1 και ω_2 που καθορίζουν μια ώρα ($\omega_2 > \omega_1$) η σχέση αυτή είναι:

$$I_o = \frac{12 \cdot 3600}{\pi} \cdot G_{sc} \cdot \left(1 + 0.033 \cdot \cos \frac{360 \cdot n}{365}\right) \cdot \left(\cos \varphi \cdot \cos \delta (\sin \omega_2 - \sin \omega_1) + \frac{\pi (\omega_2 - \omega_1)}{180} \cdot \sin \varphi \cdot \sin \delta \right) \quad (2.2)$$

➤ Ηλιακή ώρα

Η ηλιακή ώρα δεν συμπίπτει με την τοπική ώρα κάθε χώρας. Ορίζεται έτσι ώστε το ηλιακό μεσημέρι (12:00 ηλιακής ώρας) να συμπίπτει με τη χρονική στιγμή όπου ο Ήλιος βρίσκεται στον μεσημβρινό του παρατηρητή. Έχει δηλαδή άμεση εξάρτηση με το γεωγραφικό μήκος της περιοχής. Ως γεωγραφικό μήκος ενός τόπου στην επιφάνεια της Γης ορίζεται η γωνία που σχηματίζεται από τον Πρώτο μεσημβρινό, με γεωγραφικό πλάτος θ που βρίσκεται στο **Greenwich**, έως το ζητούμενο σημείο. Το γεωγραφικό μήκος μετράται σε μοίρες αρχής γενομένης της μέτρησης από τον πρώτο μεσημβρινό με τα θετικά προς τα δυτικά. Επειδή σε όλες τις εξισώσεις που ακολουθούν η ώρα αναφέρεται ως ηλιακή θα ήταν χρήσιμο να μετατρέψουμε την τοπική σε ηλιακή.

Η σχέση για την μετατροπή αυτή είναι:

$$\text{Ηλιακή ώρα} = \text{Τοπική ώρα} + E + 4 (L_{st} - L_{oc}) \quad (2.3)$$

Όπου:

- L_{st} : το γεωγραφικό μήκος του μεσημβρινού της τοπικής ζώνης ώρας.
- L_{oc} : το γεωγραφικό μήκος της περιοχής που βρίσκεται ο παρατηρητής (σε μοίρες).
- E : η εξίσωση ώρας (σε λεπτά).

Η εξίσωση της ώρας δίνεται από τη σχέση:

$$E = 229,2 \cdot (0,000075 + 0,001868 \cdot \cos B - 0,032077 \cdot \sin B - 0,014615 \cdot \cos 2B - 0,04089 \cdot \sin 2B)$$

Όπου: (2.4)

$$B = (n-1) \cdot \frac{360}{365} \quad (2.5)$$

➤ Ηλιακή απόκλιση

Κατά τη διάρκεια του έτους η θέση του Ήλιου παίρνει πολύ διαφορετικές τιμές σαν αποτέλεσμα της μεταβολής της απόκλισης (δ), δηλαδή της γωνίας που σχηματίζεται ανάμεσα στην ευθεία που ενώνει το κέντρο της Γης με το κέντρο του Ήλιου και στο επίπεδο του Ισημερινού. Οι τιμές της απόκλισης του Ήλιου είναι θετικές για το βόρειο ημισφαίριο και αρνητικές για το νότιο. Οι ακραίες της τιμές είναι, $+23,45^\circ$ στις 21 Ιουνίου (θερινό ηλιοστάσιο για το βόρειο ημισφαίριο) και $-23,45^\circ$ στις 21 Δεκεμβρίου (χειμερινό ηλιοστάσιο). Άμεση συνέπεια των διαφορετικών τιμών της απόκλισης του Ηλίου κατά την διάρκεια του έτους είναι οι κυκλικές τροχιές που διαγράφονται βοριότερα στον ουρανό το καλοκαίρι, με την ανατολή νωρίτερα και τη δύση αργότερα στο βόρειο ημισφαίριο, ενώ το χειμώνα συμβαίνει το αντίθετο. [5]

Η σχέση που μας δίνει για κάθε μέρα του χρόνου την ηλιακή απόκλιση είναι:

$$\delta = 23.45 \cdot \sin\left(360 \cdot \frac{284+n}{365}\right) \quad (2.6)$$

2.3) Φωτοβολταϊκό φαινόμενο

Η φωτοβολταϊκή μετατροπή της ηλιακής ενέργειας στηρίζεται αφ' ενός μεν στην ηλιακή ακτινοβολία, αφ' ετέρου δε στις ιδιότητες των ημιαγωγικών υλικών.

Το άτομο του Πυριτίου που αποτελεί τον κυριότερο εκπρόσωπο των ημιαγωγών, έχει 14 ηλεκτρόνια τοποθετημένα κατά τέτοιο τρόπο ώστε τα 4 εξωτερικά, που λέγονται και ηλεκτρόνια σθένους, να μπορούν να δοθούν, να γίνουν αποδεκτά ή ακόμα να μοιραστούν με ένα άλλο άτομο. Ένας μεγάλος αριθμός ατόμων μέσω των ηλεκτρονίων σθένους, μπορούν να αλληλοσυνδεθούν με δεσμούς (**bonds**) και να σχηματίσουν ένα κρυσταλλικό πλέγμα (**crystal lattice**) δημιουργώντας έτσι ένα στερεό.

Όταν το ηλιακό φως πέσει πάνω σε κρυσταλλικό πυρίτιο, είναι δυνατόν να ανακλαστεί, να διαπεράσει τον κρύσταλλο ή να απορροφηθεί. Στην τελευταία περίπτωση και αν το φως είναι χαμηλής ενέργειας ($E=h\cdot f$, h : σταθερά του **Planck**) τα άτομα του Πυριτίου ταλαντώνονται περί τη σταθερή θέση τους χωρίς να χαλαρώνουν οι δεσμοί μεταξύ τους. Ενώ τα ηλεκτρόνια των δεσμών αποκτώντας μεγαλύτερη ενέργεια, ανεβαίνουν σε υψηλότερες ενεργειακές στάθμες που δεν είναι που δεν είναι ευσταθείς οπότε τα ηλεκτρόνια επιστρέφουν σύντομα στις χαμηλότερες ενεργειακές στάθμες, αποδίδοντας υπό μορφή θερμότητας την ενέργεια που είχαν κερδίσει.

Από την άλλη αν το φως έχει αρκετή ενέργεια είναι δυνατόν να αλλάξει τις ηλεκτρικές ιδιότητες του κρυστάλλου. Έτσι το ηλεκτρόνιο ενός δεσμού είναι δυνατόν να αποχωριστεί τη θέση του στον κρύσταλλο και να μετακινηθεί στη ζώνη αγωγιμότητας (conduction band) αφήνοντας πίσω στη ζώνη σθένους (valence band) ένα δεσμό από τον οποίο λείπει ένα ηλεκτρόνιο, που καλείται οπή. [6]

2.3.1) Βασικές εξισώσεις κατασκευής ενός ηλιακού κυττάρου

Οι βασικές εξισώσεις που περιγράφουν και τις δυο αυτές περιπτώσεις όπως είναι ένα ηλιακό κύτταρο όταν δεν φωτίζεται, όσο και ενός ηλιακού κυττάρου που φωτίζεται είναι οι ακόλουθες:

A) Ο νόμος του **Gauss** σε διαφορική μορφή στην περιοχή επαφής:

$$\frac{dE}{dx} = \frac{\rho}{\epsilon} \quad (2.7)$$

Όπου: $\rho = q \cdot (n - N_D^+ - N_A^-)$

- $N_D^+ = N_D$ = πυκνότητα στους δότες
- $N_A^- = N_A$ = πυκνότητα στους δέκτες

B) Οι εξισώσεις πυκνότητας ρεύματος (διάχυσης και ολίσθησης):

$$\begin{aligned} J_e &= q \cdot \mu_e \cdot n \cdot E + q \cdot D_e \cdot \frac{dn}{dx} \\ J_h &= q \cdot \mu_h \cdot p \cdot E - q \cdot D_h \cdot \frac{dp}{dx} \end{aligned} \quad (2.8)$$

Γ) Οι εξισώσεις συνέχειας για ένα όγκο διατομής A και μήκους δx :

{ρυθμός εισόδου ηλεκτρονίων (οπών)} – {ρυθμός εξόδου ηλεκτρονίων(οπών)} =
 {ρυθμός παραγωγής (λόγω φωτισμού)} – {ρυθμός επανασύνδεσης}
 που με σύμβολα μεταφράζονται στις δύο παρακάτω εξισώσεις για ηλεκτρόνια και οπές:

$$\frac{1}{q} \frac{dJ_e}{dx} = U - G \quad \frac{1}{q} \frac{dJ_h}{dx} = -(U - G)$$

Όπου: (2.9)

- U : ρυθμός επανασύνδεσης
- G : ρυθμός παραγωγής

Αν και οι επιμέρους μηχανισμοί (φυσικοί και μαθηματικοί) είναι αρκετά πολύπλοκοι, εντούτοις κάνοντας ορισμένες παραδοχές – προσεγγίσεις είναι δυνατόν να καταλήξει κάποιος σχετικά εύκολα στη λύση των παραπάνω εξισώσεων, τόσο για την περίπτωση του κυττάρου που φωτίζεται όσο και για την περίπτωση του κυττάρου που δεν φωτίζεται.

- Έτσι στην περίπτωση ενός ηλιακού κυττάρου που δεν φωτίζεται ($G=0$) το αποτέλεσμα μιας τέτοιας ανάλυσης δίνει την παρακάτω εξίσωση, που αποτελεί τη βασική εξίσωση μιας διόδου **p-n**.

$$I = I_0 * (e^{qV/kT} - 1)$$

(2.10)

Όπου:

- I : το ρεύμα του κυττάρου
- V : η τάση του κυττάρου
- I_0 : το ρεύμα κόρου της διόδου που δίνεται από τη παρακάτω σχέση:

$$I_0 = A * \{ (q * D_e * n_i^2 / i_e * N_A) + (q * D_h * n_i^2 / i_h * N_D) \}$$

(2.11)

- Στην περίπτωση τώρα που το ηλιακό κύτταρο φωτίζεται ($G \neq 0$) το αποτέλεσμα μιας τέτοιας ανάλυσης δίνει την παρακάτω εξίσωση, με τη διαφορά ότι ο ρυθμός παραγωγής είναι $G \neq 0$.

$$I = I_0 * (e^{qV/kT} - 1) - I_L$$

(2.12)

Όπου:

- I_L : το φωτόρευμα (το ρεύμα που παράγεται λόγω του προσπίπτοντος ηλιακού φωτός επί του κυττάρου)
- I_0 : το ρεύμα κόρου της διόδου που υπολογίσαμε προηγουμένως.

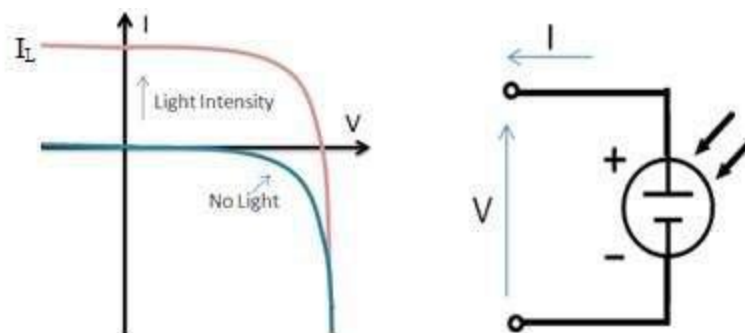
Το I_L δίνεται από τη σχέση:

$$I_L = q * A * G * (i_e + W + i_h)$$

(2.13)

2.3.2) Ισοδύναμο κύκλωμα φωτοβολταϊκού κυττάρου

Το κύτταρο μπορεί να μοντελοποιηθεί ως μια πηγή ρεύματος παράλληλα με μια δίοδο. Όταν δεν υπάρχει παρουσία φωτός για να παράγει κάποιο ρεύμα, το κύτταρο συμπεριφέρεται ως μια δίοδος. Καθώς η ένταση του φωτός όπως προσπίπτει αυξάνεται το ρεύμα που παράγεται από το κύτταρο φαίνεται στο παρακάτω σχήμα:



Σχ. 2.3.2.1 Καμπύλη ηλιακού κυττάρου

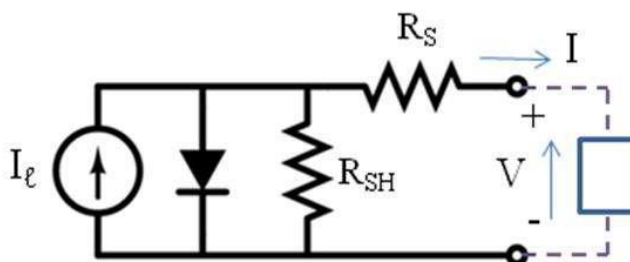
Σε ένα ιδανικό κύτταρο το συνολικό ρεύμα I είναι ίσο με το ρεύμα I_e που παράγεται από το φωτοηλεκτρικό φαινόμενο μείον το ρεύμα της διόδου I_D σύμφωνα με την εξίσωση:

$$I = I_e - I_D = I_e - I_0 \left(e^{\frac{qV}{kT}} - 1 \right) \quad (2.14)$$

Όπου:

- I_0 : το ρεύμα κόρου της διόδου
- q : το στοιχειώδες φορτίο (1.6×10^{-19} Coulomb)
- K : η σταθερά Boltzmann (1.38×10^{-23} J/K)
- T : η απόλυτη θερμοκρασία σε Kelvin
- V : η τάση που παράγεται στην έξοδο του κυττάρου.

Η επέκταση της εξίσωσης δίνει το απλοποιημένο μοντέλο κυκλώματος όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα:



Σχ. 2.3.2.2 Απλοποιημένο μοντέλο - ισοδύναμο κύκλωμα για ένα Φ/Β κύτταρο

Η εξίσωση για το συγκεκριμένο απλοποιημένο ισοδύναμο κύκλωμα παραπάνω είναι:

$$I = I_l - I_0 \left(\exp \frac{q(V+I \cdot R_S)}{n \cdot k \cdot T} - 1 \right) - \frac{V + I \cdot R_S}{R_{SH}} \quad (2.15)$$

Όπου:

- n : ο παράγοντας ιδανικότητας της διόδου (συνήθως μεταξύ 1 κ 2)
- R_S : αντίσταση σε σειρά του κυκλώματος
- R_{SH} : παράλληλη αντίσταση του κυκλώματος

2.3.3) Βαθμός απόδοσης του ηλιακού κυττάρου

Ο βαθμός απόδοσης του ηλιακού κυττάρου δίνεται από τη παρακάτω σχέση:

$$\eta = (V_{MP} * I_{MP}) / P_{in} = (V_{oc} * I_{sc} * FF) / P_{in} \quad (2.16)$$

Όπου:

- P_{in} : η ολική ισχύς της προσπίπτουσας στο κύτταρο ακτινοβολίας

Ο βαθμός απόδοσης των ηλιακών κυττάρων του εμπορίου βρίσκεται ανάμεσα στο 12% με 14% ενώ σε πειραματικά μοντέλα έχουν επιτευχθεί μεγαλύτερες τιμές.

Ο θεωρητικά μέγιστος βαθμός απόδοσης εξαρτάται με βάση την παραπάνω εξίσωση από τις μέγιστες τιμές των: I_{sc} , V_{oc} και FF .

Όπου το ρεύμα I_{sc} αυξάνεται καθώς το ενεργειακό χάσμα μειώνεται, ενώ η τάση V_{oc} μειώνεται καθώς μειώνεται το ενεργειακό χάσμα. Έτσι οδηγούμαστε στο συμπέρασμα ότι υπάρχει μια βέλτιστη τιμή του ενεργειακού χάσματος που θα δίνει τον μεγαλύτερο βαθμό απόδοσης.

Οι παράγοντες εκείνοι που ευθύνονται για τη σχετικά χαμηλή τιμή του βαθμού απόδοσης τόσο σε θεωρητικό όσο και σε πρακτικό επίπεδο είναι:

- **Η ανάκλαση**
Λόγω της μη επεξεργασμένης επιφάνειας Πυριτίου ανακλάται ένα ποσοστό της προσπίπτουσας ακτινοβολίας της τάξεως του 30%.
- **Η σκίαση από τις επαφές**
Η δημιουργία ενός μεταλλικού πλέγματος επαφών στην επιφάνεια του κυττάρου για την ανάγκη της κατασκευής ηλεκτροδίων στην επιφάνεια του υλικού τύπου-p με σκοπό την απαγωγή των φορέων και την ελαχιστοποίηση των ωμικών φαινομένων έχει ως αποτέλεσμα ένα ποσοστό 5-15% της προσπίπτουσας ακτινοβολίας να εκτρέπεται.
- **Η ατελής εκμετάλλευση της ενέργειας των φωτονίων**
Το γεγονός ότι στον κρύσταλλο προσπίπτουν φωτόνια που καλύπτουν ένα ευρύ φάσμα τιμών ενέργειας, τα οποία είναι δυνατόν: **α)** να διαπεράσουν τον κρύσταλλο, **β)** να απορροφηθούν παράγοντας θερμότητα υπό τη μορφή ταλαντώσεων **γ)** να δημιουργήσουν ζεύγος ηλεκτρονίων-οπών **δ)** να δημιουργήσουν ζεύγος ηλεκτρονίων-οπών και η επιπλέον ενέργειά τους να μετατραπεί σε θερμότητα, περιορίζει τη μέγιστη δυνατή απόδοση των ηλιακών κυττάρων στο 44%.

- **Η επανασύνδεση**
Η οποία μπορεί να συμβεί με διάφορους μηχανισμούς στον κυρίως όγκο του ημιαγωγού στις επιφάνειες και σε ατέλειες του υλικού.
- **Η αντίσταση**
Μη ικανοποιητικές τιμές τόσο της εν σειρά αντίστασης R_S όσο και της παράλληλης R_{SH} τείνουν να ελαττώσουν τον συντελεστή FF ενώ σε ακραίες περιπτώσεις ακόμη και τα I_{sc} , V_{oc} με τελική συνέπεια τη μείωση της απόδοσης.
- **Η θερμοκρασία**
Οι αρκετά υψηλές όπως και οι αρκετά χαμηλές θερμοκρασίες τείνουν να μειώσουν σημαντικά το βαθμό απόδοσης.
- **Η γήρανση**
Οι αιτίες γήρανσης όπως το ράγισμα του γυαλιού κάλυψης, ο διαχωρισμός του ειδικού πλαστικού μόνωσης από την υγρασία της πίσω πλευράς κ.α. προκαλούν περισσότερο την μείωση του βαθμού απόδοσης κατά 1% κάτω από τις πρότυπες συνθήκες και ανά έτος χρήσης.

➤ Τρόποι σύνδεσης των Φωτοβολταϊκών στοιχείων

Τα φωτοβολταϊκά στοιχεία μπορούν να συνδεθούν μεταξύ τους με δύο τρόπους, είτε σε σειρά, είτε παράλληλα. Παρακάτω αναλύουμε αυτούς τους δύο τρόπους σύνδεσης:

- **Σύνδεση σε σειρά**
Η σύνδεση σε σειρά N , καθ' όλα όμοιων φωτοβολταϊκών στοιχείων, δηλαδή σύνδεση του (+) ηλεκτροδίου του ενός φωτοβολταϊκού στοιχείου με το (-) του επόμενου φωτοβολταϊκού στοιχείου, οδηγεί σε σύστημα με ανάλογα πολλαπλάσια τάση ανοιχτού κυκλώματος. Το ρεύμα βραχυκύκλωσης είναι ίσο με το αντίστοιχο το ενός.
- **Σύνδεση παράλληλα**
Η παράλληλη σύνδεση N , καθ' όλα όμοιων φωτοβολταϊκών στοιχείων, δηλαδή σύνδεση των (+) ηλεκτροδίων όλων των φωτοβολταϊκών στοιχείων μαζί, όπως και σύνδεση των (-) ηλεκτροδίων αντίστοιχα, δίνει ένα σύνολο με την ίδια τάση ανοιχτού κυκλώματος. Το ρεύμα βραχυκύκλωσης του συνόλου ισούται με N φορές το ρεύμα βραχυκύκλωσης έκαστου φωτοβολταϊκού στοιχείου. [6]

2.4) Δομικά μέρη φωτοβολταϊκού συστήματος

2.4.1) Φωτοβολταϊκή γεννήτρια

Το βασικό και χαρακτηριστικό συστατικό κάθε φωτοβολταϊκής εγκατάστασης είναι πάντα η φωτοβολταϊκή γεννήτρια. Αυτή αποτελείται από τους ηλιακούς συλλέκτες με τα φωτοβολταϊκά στοιχεία ή αλλιώς από τα φωτοβολταϊκά πλαίσια τα οποία ενώνονται και συγκροτούν διαφόρων τύπων και μορφών συστοιχίες.

Η ισχύς στην έξοδο ενός κυττάρου ακόμα και υπό τις καλύτερες συνθήκες είναι σχετικά μικρή (της τάξεως του 1 Watt). Κατά συνέπεια για να ικανοποιήσουμε τις ενεργειακές ανάγκες σε κάποια εφαρμογή, που συνήθως είναι πολύ μεγαλύτερες, απαιτείται ένας αριθμός ηλιακών κυττάρων κατάλληλα συνδεδεμένων, σε σειρά ή/και παράλληλα που θα δώσουν την απαιτούμενη ισχύ (τάση και ρεύμα).

2.4.2) Φωτοβολταϊκό πλαίσιο

Το φωτοβολταϊκό πλαίσιο αποτελεί τη μικρότερη δομική μονάδα ομαδοποιημένων ηλιακών κυττάρων. Μετά την παρασκευή της βασικής δομής του φωτοβολταϊκού στοιχείου, ακολουθεί η κοπή του στο επιθυμητό σχήμα, συνήθως τετραγωνικό έτσι ώστε κατά τη σύνθεσή τους σε μεγαλύτερη μονάδα (φωτοβολταϊκό πλαίσιο) να αφήνουν μεταξύ τους την ελάχιστη μη εκμεταλλεύσιμη επιφάνεια. Συνήθως τα φωτοβολταϊκά στοιχεία σε ένα πλαίσιο συνδέονται μεταξύ τους σε σειρά και σε ομάδες κατάλληλου πλήθους ώστε να εμφανίζουν συγκεκριμένη τάση ανοιχτού κυκλώματος. Η ηλεκτρική έξοδος των φωτοβολταϊκών πλαισίων είναι κοινή, παρ' όλα αυτά όμως για την αύξηση της αξιοπιστίας ενός φωτοβολταϊκού συστήματος είναι σκόπιμο οι συνδέσεις των φωτοβολταϊκών στοιχείων μέσα στα πλαίσια να μην είναι μόνο σε σειρά, αλλά και παράλληλες. Έτσι αν για κάποιο λόγο ένα φωτοβολταϊκό στοιχείο σκιαστεί ή πάθει βλάβη δεν θα μηδενιστεί η ισχύς που παράγει το σύστημα.

- Σχετικό σχήμα:



Σχ. 2.4.2.1 Φωτοβολταϊκό πλαίσιο 120 Watt

Τα φωτοβολταϊκά στοιχεία στερεώνονται με κολλητική ουσία σε ένα ανθεκτικό φύλλο από μέταλλο (συνήθως αλουμινίου) ή από ενισχυμένο πλαστικό που αποτελεί τη πλάτη του πλαισίου. Η εμπρός όψη τους καλύπτεται από ένα προστατευτικό φύλλο γυαλιού ή διαφανούς πλαστικού. Το εμπρός και το πίσω φύλλο συγκρατούνται μεταξύ τους στεγανά και μόνιμα με την βοήθεια μιας ταινίας από φυσικό ή συνθετικό ελαστικό και συσφίγγονται με ένα περιμετρικό μεταλλικό περίβλημα. Η τελική κατασκευή πληρεί ειδικές προδιαγραφές ώστε να διαθέτει την απαραίτητη μηχανική αντοχή, τις κατάλληλες υποδοχές στήριξης και αυξημένη στεγανότητα για προστασία από την υγρασία. Η διάταξη αυτή ονομάζεται φωτοβολταϊκό πλαίσιο και αποτελεί την τυπική βιομηχανική μονάδα.

➤ Φωτοβολταϊκό Panel

Το φωτοβολταϊκό **panel** είναι σχεδόν συνώνυμο με το φωτοβολταϊκό πλαίσιο. Όπως και το πλαίσιο έχει συναρμολογηθεί και προκατασκευαστεί στο εργοστάσιο και είναι έτοιμο για τοποθέτηση σε φωτοβολταϊκή εγκατάσταση. Η διαφορά είναι ότι ένα **panel** αποτελείται από δύο ή περισσότερα χωριστά πλαίσια, το ένα δίπλα στο άλλο, που είναι σε κοινή συσκευασία και συνδεδεμένα μεταξύ τους τόσο από μηχανική όσο και από ηλεκτρική άποψη (σε σειρά ή παράλληλα) που δίνουν μια ενιαία μονάδα έτοιμη για εγκατάσταση.

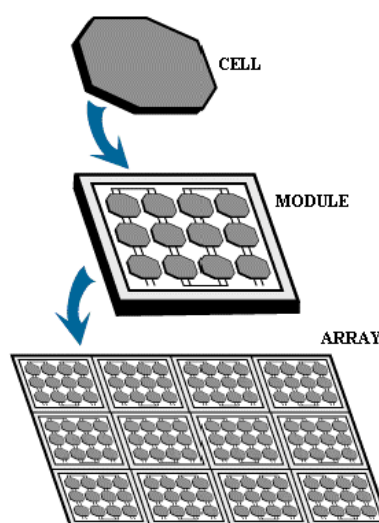
Ο αριθμός των πλαισίων ενός **panel** είναι τόσο, ώστε οι διαστάσεις και το βάρος του να μην είναι εμπόδιο στη μεταφορά και την τοποθέτηση του στη φωτοβολταϊκή εγκατάσταση. Τα τελευταία χρόνια σχεδόν όλες οι εταιρίες που κατασκευάζουν φωτοβολταϊκά στοιχεία δεν διαχωρίζουν καθόλου τα πλαίσια από τα **panel**. Το προϊόν που παράγεται ονομάζεται φωτοβολταϊκό πλαίσιο (**module**) και όπως περιγράφηκε παραπάνω, διατίθεται σε ποικιλία όσον αφορά την ισχύ που παράγει, την τάση και τις διαστάσεις του. [6]

2.4.3) Φωτοβολταϊκή συστοιχία (Array)

Ο συνδυασμός πολλών φωτοβολταϊκών πλαισίων καλωδιωμένων μεταξύ τους σε σειρά ή παράλληλα, σε μια επίπεδη συνήθως επιφάνεια, σταθερή ή περιστρεφόμενη με αντίστοιχο κεντρικό ηλεκτρολογικό κιβώτιο αποτελεί την φωτοβολταϊκή συστοιχία. Τα φωτοβολταϊκά πλαίσια συνδέονται κατά κλάδους και κάθε κλάδος αποτελείται από φωτοβολταϊκά πλαίσια συνδεδεμένα σε σειρά. Οι ισοδύναμοι κλάδοι συνδέονται παράλληλα μεταξύ τους. Η σύνδεση σε σειρά αυξάνει την ολική τάση, ενώ η παράλληλη σύνδεση το ολικό ρεύμα.

Οι συνδέσεις ανάμεσα στα πλαίσια είναι σκόπιμο να είναι τόσο σε σειρά όσο και παράλληλα, όπως άλλωστε και των στοιχείων μέσα στα πλαίσια, για την αύξηση της αξιοπιστίας του φωτοβολταϊκού συστήματος. Με αυτό τον τρόπο, όπως αναφέραμε και παραπάνω, εάν ένα φωτοβολταϊκό στοιχείο σκιαστεί ή πάθει βλάβη δεν θα μηδενιστεί η ισχύς που παράγει το σύστημα.

- Σχετική εικόνα:



Σχ. 2.4.3.1 Δομική ανάλυση φωτοβολταϊκής συστοιχίας

2.5) Κατηγορίες φωτοβολταϊκών συστημάτων

Τα φωτοβολταϊκά συστήματα διακρίνονται σε δύο κατηγορίες. Οι κατηγορίες των φωτοβολταϊκών συστημάτων είναι:

- **Τα αυτόνομα φωτοβολταϊκά συστήματα**

Ως αυτόνομα χαρακτηρίζονται τα φωτοβολταϊκά συστήματα τα οποία παράγουν ηλεκτρική ενέργεια χωρίς να είναι συνδεδεμένα στο κεντρικό ηλεκτρικό δίκτυο, από το οποίο θα μπορούσαν να αντλούν συμπληρωματική ενέργεια ή να στέλνουν την περίσσεια της παραγόμενης. Η απαιτούμενη από την εφαρμογή ηλεκτρική ενέργεια λοιπόν καλύπτεται εξ ολοκλήρου από τη φωτοβολταϊκή συστοιχία (αν συμμετέχουν και άλλες πηγές ενέργειας είτε ανανεώσιμες, όπως π.χ. αιολική γεννήτρια, είτε συμβατικές, τότε κάνουμε λόγο για υβριδικό σύστημα).

Τα αυτόνομα φωτοβολταϊκά συστήματα αποτελούν την ιδανικότερη λύση για περιοχές που βρίσκονται μακριά από το κεντρικό δίκτυο και στις οποίες η διασύνδεσή τους με αυτό θα απαιτούσε τεράστια οικονομικά κεφάλαια. Σε ένα αυτόνομο φωτοβολταϊκό σύστημα μπορεί να περιλαμβάνονται ή όχι ηλεκτρικοί συσσωρευτές. Έτσι διακρίνονται σε δύο κατηγορίες:

A) Στα αυτόνομα φωτοβολταϊκά συστήματα άμεσης τροφοδοσίας του φορτίου της εφαρμογής στα οποία η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια αποδίδεται απευθείας στην κατανάλωση, όσο φωτίζεται η φωτοβολταϊκή συστοιχία χωρίς την αποθήκευση της ηλεκτρικής ενέργειας σε συσσωρευτές.

B) Στα αυτόνομα φωτοβολταϊκά συστήματα με αποθήκευση της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας. Σχεδιάζονται με πρόβλεψη ορισμένων ημερών αυτονομίας του συστήματος, με βάση το κατάλληλο μέγεθος των συσσωρευτών. Σε αυτούς λοιπόν αποθηκεύεται ηλεκτρική ενέργεια προκειμένου να χρησιμοποιηθεί κατά την διάρκεια της νύχτας ή των περιόδων συννεφιάς. Αυτά αποτελούν την πλειοψηφία των αυτόνομων φωτοβολταϊκών συστημάτων.

- **Τα διασυνδεδεμένα φωτοβολταϊκά συστήματα**

Ως διασυνδεδεμένα χαρακτηρίζονται τα φωτοβολταϊκά συστήματα αυτά τα οποία συνδέονται απ' ευθείας από το εθνικό ή τοπικό δίκτυο ηλεκτρικής παροχής (AC). Συνεπώς στα συστήματα αυτά δεν απαιτείται αποθήκευση της παραγόμενης φωτοβολταϊκής ηλεκτρικής ενέργειας. Επίσης η συνολική απόδοση ενός διασυνδεδεμένου φωτοβολταϊκού συστήματος θα είναι καλύτερη από την απόδοση ενός αυτόνομου συστήματος, αφού το δίκτυο έχει πρακτικά απεριόριστη ικανότητα αποθήκευσης. Επομένως η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια μπορεί πάντοτε να αποθηκεύεται.

Τα διασυνδεδεμένα φωτοβολταϊκά συστήματα διακρίνονται σε αυτά που είναι συνδεδεμένα στο δίκτυο, ως καταναμημένα συστήματα και σε αυτά που συνιστούν κεντρικούς φωτοβολταϊκούς σταθμούς μεγάλης ισχύος των οποίων η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια διοχετεύεται στο κεντρικό δίκτυο. Τα καταναμημένα φωτοβολταϊκά συστήματα διακρίνονται σε αυτά που χρησιμοποιούν το δίκτυο ως βοηθητική πηγή ενέργειας και σε εκείνα που λειτουργούν σε συνεχή αλληλεπίδραση με το δίκτυο, διοχετεύοντας την παραγόμενη ενέργεια σε αυτό. [6]

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο

ΣΥΓΧΡΟΝΕΣ ΜΗΧΑΝΕΣ

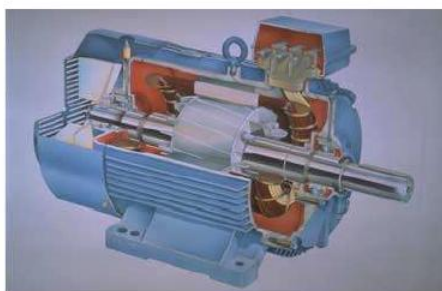
3.1) Εισαγωγή

Σε αυτό το στάδιο της εργασίας αναλύεται η έννοια της σύγχρονης μηχανής και γίνεται μια προσπάθεια να αναπτυχθούν εξισώσεις που να συνδέουν τα μεγέθη του συστήματος που εξετάζεται, ώστε να δημιουργηθεί μια κατάλληλη περιγραφή του.

3.2) Σύγχρονη μηχανή

Η σύγχρονη μηχανή χρησιμοποιούμενη ως γεννήτρια είναι η σπουδαιότερη μηχανή για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και αποτελεί το επίκεντρο κάθε σταθμού παραγωγής μονοφασικού ή τριφασικού ρεύματος.

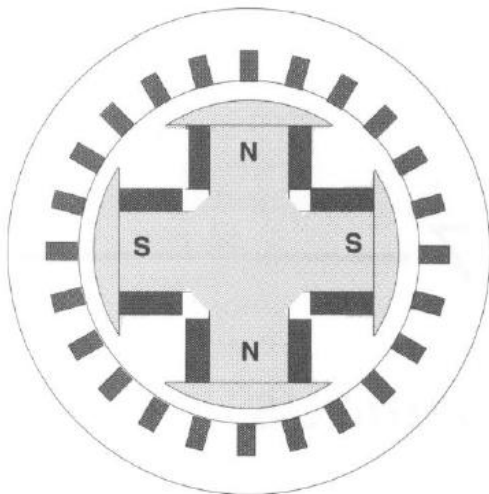
Η Σ.Μ. αποτελείται από τον δρομέα, που τροφοδοτείται με συνεχές ρεύμα και από τον στάτη που φέρει ένα τριφασικό τύλιγμα. Ο στάτης είναι μία κοίλη κυλινδρική κατασκευή από σιδηρομαγνητικό υλικό σε μορφή ελασμάτων, που φέρει διαμήκεις αύλακες στην εσωτερική του επιφάνεια. Στις αύλακες αυτές τοποθετούνται τα τυλίγματα του στάτη, που διευθετούνται σε τρεις συμμετρικές ζώνες (μία για κάθε φάση) που απέχουν μεταξύ τους στο χώρο 120°. Ο δρομέας είναι μία συμπαγής σιδηρομαγνητική κατασκευή, που τοποθετείται στον άξονα της μηχανής και περιστρέφεται μέσα στο στάτη. Στο δρομέα υπάρχει επίσης τύλιγμα, το τύλιγμα πεδίου, που τροφοδοτείται από πηγή συνεχούς ρεύματος, την διεγέρτρια. Η διεγέρτρια μπορεί να είναι μία γεννήτρια συνεχούς που μοντάρεται στον ίδιο άξονα με αυτόν της μηχανής, ή μία ξεχωριστή πηγή συνεχούς ρεύματος που συνδέεται στο τύλιγμα του πεδίου με ψήκτρες. Ο χαρακτηρισμός «σύγχρονη» προέρχεται από το γεγονός, ότι ο δρομέας στρέφεται σύγχρονα με την ίδια ταχύτητα με το στρεφόμενο μαγνητικό πεδίο, το οποίο δημιουργείται από τη διέγερση του συνεχούς ρεύματος.



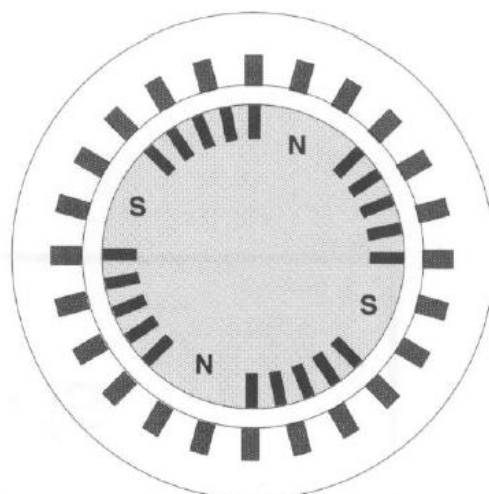
Από τις ηλεκτρικές μηχανές που περιστρέφονται σε σύγχρονη ταχύτητα, οι μεγαλύτερες και επίσης ίσως οι πιο συνηθισμένες είναι οι τριφασικές σύγχρονες μηχανές. Αν και η κατασκευή των τριφασικών σύγχρονων μηχανών είναι σχετικά πιο ακριβή από τις επαγωγικές μηχανές, η μεγαλύτερη απόδοσή τους, τους δίνει το πλεονέκτημα για μεγαλύτερες κλίμακες ισχύος. Συγκεκριμένα, οι τριφασικές σύγχρονες μηχανές χρησιμοποιούνται ευρέως για την παραγωγή ηλεκτρικής ισχύος και σε μεγάλες κινητήριες μηχανές.

Ο στάτης της σύγχρονης μηχανής σχηματίζεται από τον πυρήνα που αποτελείται από μια συστάδα από ελάσματα φερομαγνητικού υλικού, με αυλάκια στην εσωτερική του επιφάνεια όπου τοποθετούνται οι αγωγοί των τυλιγμάτων του. Ο μαγνητικός πυρήνας φωλιάζει μέσα σε ένα μεταλλικό πλαίσιο, πάνω στο οποίο βρίσκεται το ακροκιβώτιο της μηχανής καθώς και τα ρουλεμάν για την περιστροφή του δρομέα. Οι σπείρες των τυλιγμάτων του στάτη διανέμονται εξίσου στα ζεύγη των πόλων και οι άξονες των τριών φάσεων ισαπέχουν κατά $2\pi/3$ ηλεκτρικά ακτίνια. Το σχήμα του δρομέα σε κάθετη τομή μπορεί να είναι έκτυπων πόλων ή κυλινδρικό. Η κατασκευή με έκτυπους πόλους χρησιμοποιείται περισσότερο σε εφαρμογές με χαμηλές ταχύτητες, όπου η διάμετρος σε σχέση με το μήκος του άξονα του δρομέα μπορεί να γίνει μεγαλύτερη ώστε να εξυπηρετεί το μεγάλο αριθμό πόλων. Οι μηχανές έκτυπων πόλων συχνά χρησιμοποιούνται σε υδρογεννήτριες ώστε να συνταιριάζουν με τη χαμηλή ταχύτητα λειτουργίας των υδραυλικών στροβίλων. Οι έκτυποι πόλοι ή αλλιώς και προεξέχοντες πόλοι, τοποθετούνται περιμετρικά στον άξονα του δρομέα και με κέντρο τον δρομέα, σε ένα σχηματισμό που θυμίζει εκείνον του δικτιού της αράχνης. Η εναλλαγή του σιδηροπυρήνα των πόλων και του διακένου έχει σαν αποτέλεσμα την δημιουργία των επιθυμητών μαγνητικών γραμμών της μαγνητικής ροής.

- Στο παρακάτω σχήμα φαίνεται μια κάθετη τομή ενός δρομέα με έκτυπους πόλους και ενός κυλινδρικού δρομέα για μία σύγχρονη μηχανή με τέσσερις πόλους:



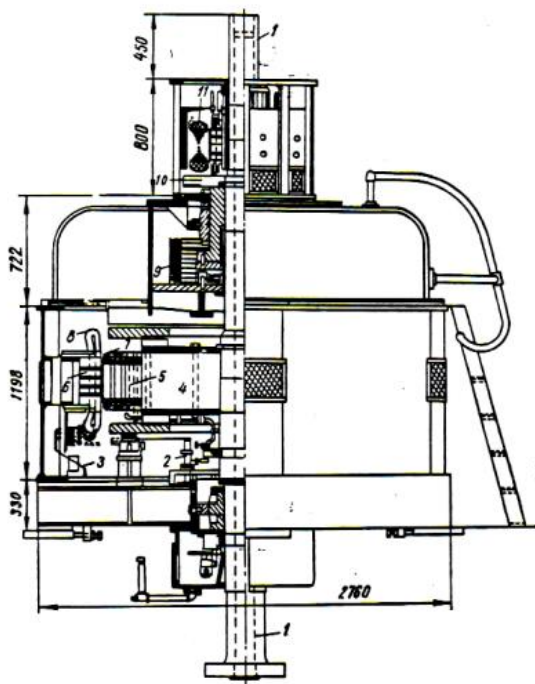
Σχ. 3.2.1 Δρομέας έκτυπων πόλων



Σχ. 3.2.2 Δρομέας κυλινδρικής κατασκευής

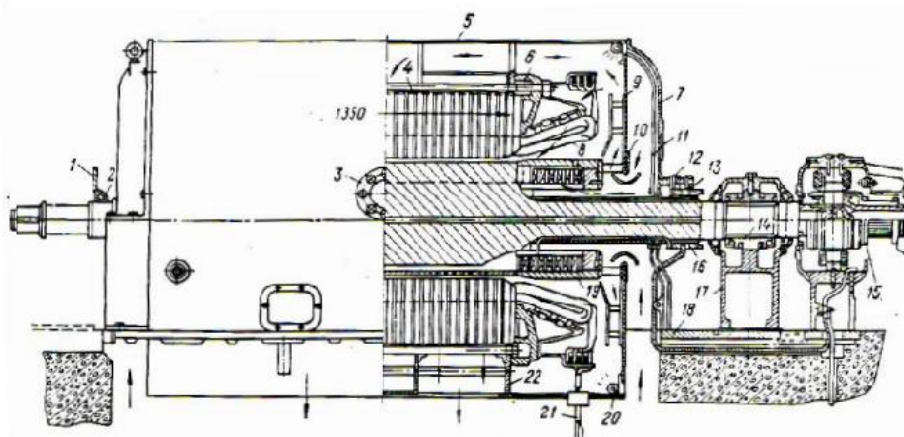
Η κυλινδρικής κατασκευής μορφή του δρομέα είναι πιο δημοφιλής σε εφαρμογές με μεγάλες ταχύτητες όπου η διάμετρος σε σχέση με το μήκος του πρέπει να παραμένει μικρή, ώστε να διατηρούνται οι μηχανικές καταπονήσεις εξαιτίας των φυγόκεντρων δυνάμεων μέσα σε αποδεκτά όρια. Σύγχρονες μηχανές με δύο ή τέσσερις πόλους χρησιμοποιούνται σε γεννήτριες ατμού ώστε να συνταιριάζουν ικανοποιητικά με τη μεγάλη ταχύτητα λειτουργίας των στροβίλων ατμού. Οι μεγάλοι κυλινδρικοί δρομείς κατασκευάζονται από χυτό μολυβδοχρωμιούχο χάλυβα αρκετά συμπαγές με ακτινωτά αυλάκια μέσα στα οποία τοποθετούνται τα τυλίγματα του πεδίου στις δύο πλευρές για κάθε κυρίως πόλο. Στα τυλίγματα του πεδίου του δρομέα μπορεί να εφαρμόζεται ένα συνεχές ρεύμα διέγερσης διαμέσου ενός ζεύγους μονωμένων δακτυλίων ολίσθησης που βρίσκεται τοποθετημένο πάνω στον άξονά του. Εναλλακτικά η συνεχής διέγερση επιτυγχάνεται από την ανορθωμένη έξοδο ενός μικρού μετατροπέα διεγέρσεως που βρίσκεται τοποθετημένος πάνω στον ίδιο άξονα του δρομέα της σύγχρονης μηχανής. Η δεύτερη μέθοδος διέγερσης μας απαλλάσσει από τους δακτυλίους ολίσθησης και ονομάζεται διέγερση χωρίς ψήκτρες. [7]

ΜΗΧΑΝΗ ΜΕ ΡΟΤΟΡΑ ΕΚΤΥΠΩΝ ΠΟΛΩΝ



1. Άξονας γεννήτριας
2. Δακτύλιοι ολίσθησης
3. Ακροδέκτες
4. Ρότορας
5. Πυρήνας πόλου
6. Πυρήνας του στάτη
7. Τύλιγμα πεδίου διέγερσης
8. Τύλιγμα στάτη
9. Αξονικό έδρανο
10. Ανεμιστήρας διεγέρτριας
11. Διεγέρτρια

ΜΗΧΑΝΗ ΚΥΛΙΝΔΡΙΚΟΥ ΡΟΤΟΡΑ

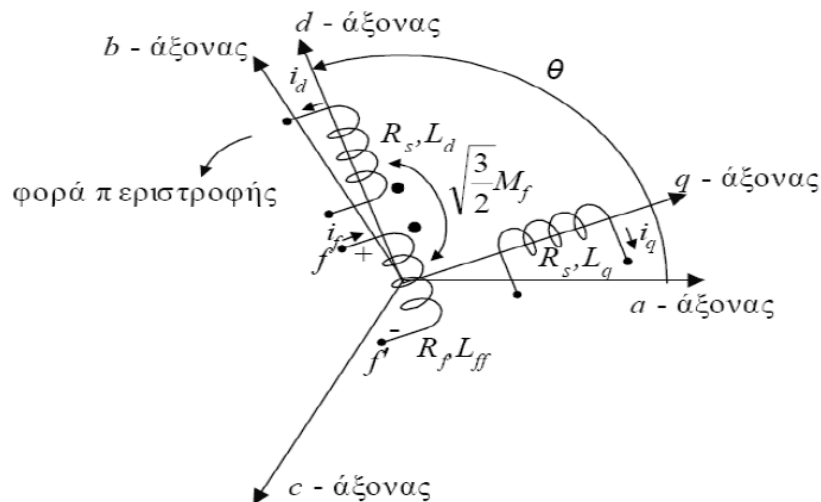


- | | | |
|-------------------------------------|-------------------------------|----------------|
| 1. Συγγραπτής τσιμούχας | 8. Τύλιγμα στάτη | 15. Διεγέρτρια |
| 2. Τσιμούχα | 9. Εσωτερικό καπάκι | 16. Συλλέκτης |
| 3. Μπρακέτο ανύψωσης | 10. Καπάκι αέρα | 17. Έδρανο |
| 4. Πυρήνας στάτη | 11. Στεγανοποιητικό κατακτιού | 18. Βάση |
| 5. (22.) Κέλυφος | 12. Ψηκτροθήκη | 19. Ρότορας |
| 6. Κοχλίας σύνδεσης ελασμάτων στάτη | 13. Ψήκτρα | 20. Πυρόσβεση |
| 7. Καπάκι | 14. Δακτύλιος εδράνου | 21. Ακροδέκτης |

Σε μια βασική απεικόνιση μιας σύγχρονης μηχανής, ο άξονας του βόρειου πόλου ονομάζεται ευθύς ή άξονας-d. Ο κάθετος άξονας ή άξονας-α καθορίζεται από την κατεύθυνση που βρίσκεται 90 ηλεκτρικές μοίρες μπροστά από τον άξονα-d. Σε συνθήκες λειτουργίας χωρίς φορτίο και μόνο με την επίδραση του πεδίου διέγερσης, η μαγνητεργετική

δύναμη επαγωγής (ΜΕΔ) του πεδίου θα είναι κατά μήκος του άξονα-d και η εσωτερική τάση του στάτη $di\ af / dt$, θα είναι κατά μήκος του άξονα-q.

Παρακάτω παρουσιάζεται σχηματικά η απεικόνιση της παράστασης της σύγχρονης μηχανής κατά τους άξονες d-,q- για τους οποίους έγινε αναφορά προηγουμένως:



Σχ. 3.2.3 Παράσταση σύγχρονης μηχανής κατά τους d-,q- άξονες [7]

3.2.1) Σύγχρονη 3Φ γεννήτρια – Ασύγχρονος 3Φ κινητήρας

➤ Λειτουργία σύγχρονων 3Φ γεννητριών

Για τη λειτουργία των σύγχρονων γεννητριών (εναλλακτήρες) απαραίτητη προϋπόθεση είναι η τροφοδοσία του τυλίγματος του δρομέα με συνεχές ρεύμα. Καθώς περιστρέφεται ο δρομέας λόγω κάποιας κινητήριας μηχανής, περιστρέφεται μαζί του και το παραγόμενο μαγνητικό πεδίο, επάγοντας τριφασική τάση στο τύλιγμα του στάτη.

Η τροφοδοσία του δρομέα με συνεχές ρεύμα μπορεί να πραγματοποιηθεί με δύο τρόπους: α) από εξωτερική πηγή συνεχούς ρεύματος, οπότε στο στρεφόμενο δρομέα προσαρμόζονται ψήκτρες και δακτυλίδια και β) από πηγή συνεχούς ρεύματος τοποθετημένη στο άξονα της μηχανής. Στην πρώτη περίπτωση κάθε ένα από τα δύο άκρα του τυλίγματος του δρομέα αντιστοιχεί σε ένα δακτυλίδι, οπότε μέσω των ψηκτρών επιτυγχάνεται η συνεχής τροφοδοσία του κυκλώματος. Τα μειονεκτήματα αυτής της λύσης σχετίζονται με τη φθορά των ψηκτρών (λόγω τριβής), καθώς και με τη πτώση τάσης πάνω σε αυτές, η οποία μπορεί να οδηγήσει σε σημαντικές απώλειες ισχύος. Στη δεύτερη περίπτωση το ρεύμα του δρομέα προέρχεται από μια **διεγέρτρια μηχανή** η οποία είναι μια μικρή γεννήτρια εναλλασσομένου ρεύματος. Το κύκλωμα διέγερσης της τελευταίας τροφοδοτείται από το στάτη της κύριας γεννήτριας και το κύκλωμα οπλισμού της βρίσκεται πάνω στον άξονα του δρομέα. Η τριφασική έξοδος της διεγέρτριας ανορθώνεται από τριφασικό ανορθωτή και το συνεχές ρεύμα που προκύπτει διαρρέει το κύκλωμα διέγερσης της κύριας γεννήτριας. Με τον τρόπο αυτό αποφεύγονται τα μειονεκτήματα του πρώτου τρόπου τροφοδοσίας, αφού πλέον δεν εμπλέκονται μηχανικά τμήματα.

➤ Λειτουργία ασύγχρονων 3Φ κινητήρων

Οι ασύγχρονοι κινητήρες που ονομάζονται και επαγωγικοί κινητήρες διακρίνονται σε μονοφασικούς και τριφασικούς. Οι ασύγχρονοι κινητήρες είναι κινητήρες γενικής χρήσης και χρησιμοποιούνται πάντα, εκτός εάν ειδικές συνθήκες επιβάλλουν τη χρησιμοποίηση άλλων τύπων κινητήρων. Οι κινητήρες αυτοί βέβαια επικράτησαν διότι είναι απλοί στην κατασκευή τους και συνεπώς οικονομικοί, εύκολοι στην συντήρηση, ασφαλείς στην λειτουργία και έχουν και καλό βαθμό απόδοσης.

Η λειτουργία των ασύγχρονων τριφασικών κινητήρων βασίζεται στο φαινόμενο ανάπτυξης ηλεκτρεγερτικών δυνάμεων με επαγωγή στους αγωγούς του δρομέα. Όταν τροφοδοτηθεί τριφασικό ή και διφασικό τύλιγμα του στάτη από αντίστοιχο δίκτυο, θα δημιουργηθεί στο διάκενο της μηχανής μαγνητικό πεδίο που θα περιστρέφεται γύρω από τον άξονά της. Αυτό το πεδίο μοιάζει με το μαγνητικό πεδίο που δημιουργεί ο περιστρεφόμενος δρομέας εναλλακτικά με εσωτερικούς πόλους. Η ουσιαστική διαφορά στην περίπτωση αυτή είναι ότι το περιστρεφόμενο μαγνητικό πεδίο δημιουργείται από ακίνητο πολυφασικό τύλιγμα.

Μεταξύ της συχνότητας του ρεύματος που τροφοδοτεί το τύλιγμα, του αριθμού ζευγών πόλων του τυλίγματος που δημιουργεί το πεδίο και της ταχύτητας περιστροφής του μαγνητικού πεδίου θα ισχύει η εξής σχέση:

$$n_s = \frac{f}{p} (\sigma \theta p s) = \frac{60f}{p} (\sigma \theta p m) \quad (3.0)$$

Η ταχύτητα αυτή που ονομάζεται **σύγχρονη ταχύτητα** του στρεφόμενου πεδίου, εξαρτάται μόνο από την συχνότητα του ρεύματος του δικτύου τροφοδοσίας και τον αριθμό των πόλων του τυλίγματος του στάτη.

Τέλος, οι τριφασικοί ασύγχρονοι κινητήρες υποδιαιρούνται σε δύο κύριες κατηγορίες:

- α) τους κινητήρες με βραχυκυκλωμένο δρομέα και
- β) τους δακτυλιοφόρους κινητήρες. [8]

3.2.1) Επαγωγικές παράμετροι σύγχρονης μηχανής

Τα κατανεμημένα τυλίγματα του στάτη και του δρομέα μιας μηχανής είναι δυνατόν να αντικατασταθούν με ισοδύναμα συγκεντρωμένα τυλίγματα, που θεωρούνται τοποθετημένα κατά μήκος των αξόνων τους και έχουν κατάλληλα ίδιες και αμοιβαίες επαγωγές όπως φαίνονται στο σχήμα 3.2.3. Ο άξονας του τυλίγματος **a**, που επιλέγεται ως άξονας αναφοράς, βρίσκεται σε γωνία $\theta=0^\circ$. Προς την αριστερόστροφη κατεύθυνση και σε γωνίες $\theta=2\pi/3$ και $\theta=4\pi/3$ βρίσκονται οι άξονες των τυλιγμάτων **b** και **c** αντίστοιχα.

Κάθε ένα από τα τυλίγματα της μηχανής χαρακτηρίζεται από μια αντίσταση **R_i**, μια αυτεπαγωγή **L_{ii}** και τις αμοιβαίες επαγωγές με τα άλλα τυλίγματα **L_{ij}**.

- Για τις αντιστάσεις των τυλιγμάτων του στάτη ισχύει:

$$R_a = R_b = R_c = R_s \quad (3.1)$$

- Για τις αυτεπαγωγές των τυλιγμάτων του στάτη ισχύουν οι σχέσεις:

$$L_{aa} = L_s + L_m \cos 2\theta \quad , \quad L_s > L_m > 0 \quad (3.2)$$

και

$$L_{bb} = L_s + L_m \cos 2\left(\theta - 2\frac{\pi}{3}\right)$$

$$L_{cc} = L_s + L_m \cos 2\left(\theta + 2\frac{\pi}{3}\right) \quad (3.3)$$

- Για μηχανή με κυλινδρικό δρομέα, ισχύει ότι $L_m=0$ οπότε:

$$L_{aa} = L_{bb} = L_{cc} = L_s \quad (3.4)$$

- Οι αμοιβαίες επαγωγές τυλιγμάτων του στάτη είναι όλες αρνητικές και περιγράφονται από τις παρακάτω σχέσεις:

$$L_{ab} = -M_s - L_m \cos 2\left(\theta + \frac{\pi}{6}\right) \quad , \quad M_s > L_m > 0$$

$$L_{bc} = -M_s - L_m \cos 2\left(\theta - \frac{\pi}{2}\right)$$

$$L_{ac} = -M_s - L_m \cos 2\left(\theta + \frac{5\pi}{6}\right) \quad (3.5)$$

- Για μηχανή με κυλινδρικό δρομέα, ισχύει ότι $L_m=0$ οπότε:

$$L_{ab} = L_{bc} = L_{ca} = -M_s \quad (3.6)$$

- Για την αυτεπαγωγή τυλίγματος δρομέα ισχύει:

$$L_{ff} = L_f \quad (3.7)$$

- Για τις αμοιβαίες επαγωγές τυλίγματος δρομέα με τυλίγματα του στάτη ισχύει:

$$L_{af} = M_f \cos \theta$$

$$L_{bf} = M_f \cos\left(\theta - \frac{2\pi}{3}\right)$$

$$L_{cf} = M_f \cos\left(\theta - \frac{4\pi}{3}\right) = M_f \cos\left(\theta + \frac{2\pi}{3}\right) \quad (3.8)$$

Όλες αυτές οι εξισώσεις παραπάνω εκφράζουν τις επαγωγικές παραμέτρους των σύγχρονων μηχανών και αποτελούν το μαθηματικό μοντέλο του συστήματος που εξετάζεται.

3.2.2) Εξισώσεις σύγχρονης μηχανής

➤ Εξισώσεις τάσης σύγχρονης μηχανής

- Οι τερματικές εξισώσεις τάσης των τυλιγμάτων της μηχανής δίνονται από τις παρακάτω σχέσεις:

$$\begin{aligned}
 v_a &= -R_s i_a - \frac{d\lambda_a}{dt} \\
 v_b &= -R_s i_b - \frac{d\lambda_b}{dt} \\
 v_c &= -R_s i_c - \frac{d\lambda_c}{dt} \\
 v_f &= -R_f i_f - \frac{d\lambda_f}{dt}
 \end{aligned}
 \tag{3.9}$$

Όπου έχουμε ότι:

$$\begin{aligned}
 \lambda_a &= L_{aa} i_a + L_{ab} i_b + L_{ac} i_c + L_{af} i_f \\
 \lambda_b &= L_{ba} i_a + L_{bb} i_b + L_{bc} i_c + L_{bf} i_f \\
 \lambda_c &= L_{ca} i_a + L_{cb} i_b + L_{cc} i_c + L_{cf} i_f \\
 \lambda_f &= L_{fa} i_a + L_{fb} i_b + L_{fc} i_c + L_{ff} i_f
 \end{aligned}
 \tag{3.10}$$

Είναι οι εξισώσεις των πεπλεγμένων ροών του κάθε τυλίγματος.

➤ Εξισώσεις κίνησης δρομέα σύγχρονης μηχανής

Η κίνηση του δρομέα χαρακτηρίζεται από την ηλεκτρική γωνία θ_r ανάμεσα στον ευθύ άξονα του δρομέα και τον άξονα α της φάσης του στάτη. Αν το πεδίο του δρομέα της μηχανής περιστρέφεται με ηλεκτρική γωνιακή ταχύτητα ω_r (σε ηλεκτρικά **rad/s**) τότε, ο ρυθμός μεταβολής της γωνίας θ_r είναι:

$$\dot{\theta}_r = \omega_r$$

Η γωνία δ του δρομέα της σύγχρονης μηχανής ως η ηλεκτρική γωνία (σε ηλεκτρικά **rad**) μεταξύ του εγκάρσιου μαγνητικού άξονα της μηχανής και ενός άξονα αναφοράς είναι:

$$\delta = \theta_r - \omega_{syn} t + \delta_0 \tag{3.11}$$

Όπου:

- δ_0 : η αρχική τιμή της γωνίας δ
- ω_{sys} : η γωνιακή ταχύτητα του άξονα αναφοράς (σε ηλεκτρικά **rad**)

Παραγωγίζοντας και τα δύο μέλη της εξίσωσης και λόγω της 1^{ης} εξίσωσης, προκύπτει:

$$\dot{\delta} = \omega_r - \omega_{sys} \quad (3.12)$$

Αμελώντας τις μηχανικές απώλειες στον άξονα της μηχανής, καθώς επίσης και τις απώλειες λόγω τριβών, η διαφορική εξίσωση επιταχύνσεως του δρομέα δίνεται από την εξίσωση:

$$2H \frac{\dot{\omega}_r}{\omega_b} = T_m - T_e - D \left(\frac{\omega_r}{\omega_b} - 1 \right) \quad (3.13)$$

Όπου:

- **H** : η ανηγμένη στη βάση του συστήματος σταθερά αδράνειας σε s.
- ω_r : η γωνιακή ταχύτητα του πεδίου του δρομέα σε ηλεκτρικά **rad/s**.
- ω_b : η βασική ηλεκτρική γωνιακή ταχύτητα (σε ηλεκτρικά **rad/s**) του συστήματος.
- **T_m** : η παραγόμενη από το στρόβιλο μηχανική ροπή σε ανά μονάδα τιμή ανηγμένη στη βάση του συστήματος.
- **T_e** : η ηλεκτρομαγνητική ροπή της γεννήτριας σε ανά μονάδα τιμή ανηγμένη στη βάση του συστήματος.
- **D** : ο συντελεστής απόσβεσης σε ανά μονάδα τιμή ανηγμένη στη βάση του συστήματος.

Οι διαφορικές εξισώσεις είναι γνωστές και σαν εξισώσεις ταλάντωσης της μηχανής.

3.3) Ισχύς σύγχρονης μηχανής

Η Πραγματική και η Άεργος ισχύς που παρέχει ή απορροφά μια σύγχρονη μηχανή ανά φάση είναι αντίστοιχα:

$$P_G = \frac{|E||V|}{X_d} \sin \delta_m + \frac{|V|^2}{2} \left(\frac{1}{X_q} - \frac{1}{X_d} \right) \sin 2\delta_m$$

$$Q_G = \frac{|E||V|}{X_d} \cos \delta_m - |V|^2 \left(\frac{\cos^2 \delta_m}{X_d} + \frac{\sin^2 \delta_m}{X_q} \right) \quad (3.14) \text{ και } (3.15)$$

Όπου:

- δ_m : γωνία ισχύος και ορίζεται: $\delta_m = \angle E_a - \angle V_a$
- X_d : σύγχρονη αντίδραση κατά τον d άξονα
- X_q : σύγχρονη αντίδραση κατά τον q άξονα

Για μηχανή με κυλινδρικό δρομέα ισχύει $X_q = X_d$ επομένως:

$$P_G = \frac{|E||V|}{X_d} \sin \delta_m$$

$$Q_G = \frac{|V|(|E| \cos \delta_m - |V|)}{X_d}$$

(3.16) και (3.17)

Θετική τιμή του P_G δείχνει λειτουργία γεννήτριας και λαμβάνεται για θετικό δ_m , αντίθετα αρνητική τιμή του Q_G αντιστοιχεί σε λειτουργία κινητήρα και λαμβάνεται για αρνητικό δ_m . Σε μηχανή με έκτυπους πόλους η μέγιστη πραγματική ισχύς λαμβάνεται P_{max} παρέχεται σε μια γωνία $\delta_m = \delta_c < 90^\circ$, ενώ σε μια μηχανή με κυλινδρικό δρομέα η μέγιστη πραγματική ισχύς παρέχεται υπό γωνία $\delta_m = 90^\circ$. Προσπάθεια για αύξηση της παρεχόμενης ισχύος πέραν της οδηγεί σε αποσυγχρονισμό της γεννήτριας από το δίκτυο. [9]

3.3.1) Έλεγχος ισχύος σύγχρονης μηχανής

Αν θεωρήσουμε την περίπτωση ότι έχουμε μια σύγχρονη γεννήτρια, όπως και στο σύστημα που εξετάζει αυτή η εργασία, τότε η συμπεριφορά της γεννήτριας ελέγχεται μέσω δύο δυνάμεων ελέγχου:

- Το ρεύμα του πεδίου i_{fi}
- Τη μηχανική ροπή στον άξονα της γεννήτριας τ_{mi}

Όταν μια από αυτές τις δύο ποσότητες μεταβληθεί τότε μεταβάλλονται όλες οι έξοδοι της γεννήτριας, δηλαδή οι P_G, Q_G, V_i και f .

Μεταβάλλοντας τη μηχανική ροπή του άξονα τ_{mi} , διατηρώντας το ρεύμα διέγερσης i_{fi} σταθερό, επηρεάζουμε κυρίως την πραγματική ισχύ P_{Gi} . Επηρεάζεται και η άεργος ισχύς Q_{Gi} αλλά αυτή η επίδραση είναι σχετικά μικρή.

Αν μεταβάλλουμε το ρεύμα διέγερσης i_f διατηρώντας σταθερή τη μηχανική ροπή του άξονα τ_m , θα μεταβληθεί ανάλογα και συνεπώς και η άεργος ισχύς Q_G , ενώ η πραγματική ισχύς P_G θα παραμείνει σταθερή.

3.3.2) Συμπεριφορά σύγχρονης μηχανής σε τριφασικό βραχυκύκλωμα

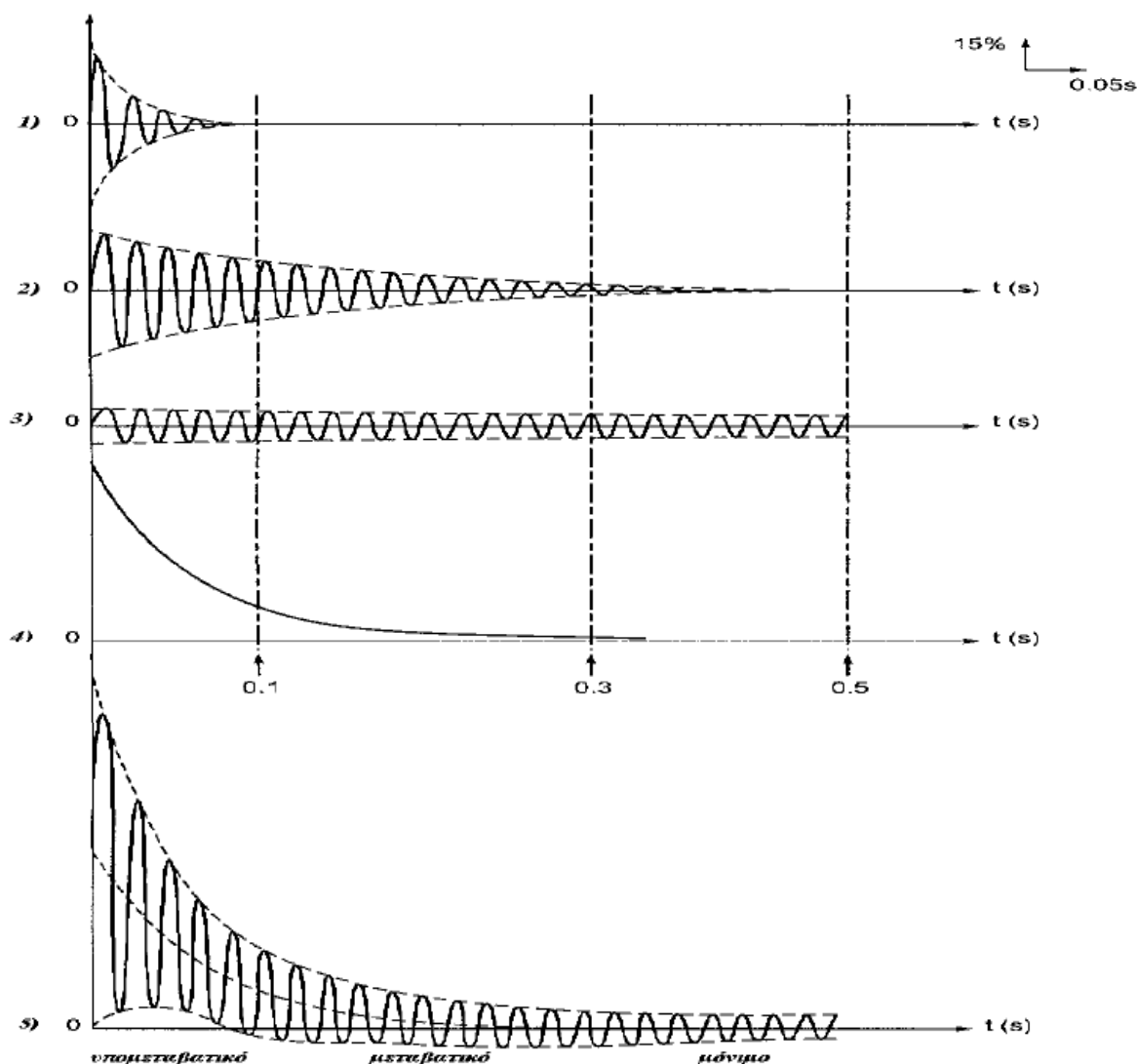
➤ Τριφασικό βραχυκύκλωμα

Το τριφασικό ρεύμα βραχυκύκλωσης δίνεται από τη σχέση:

$$I_{sc3} = \frac{U}{\sqrt{3} Z_{sc}}, \quad (3.18)$$

Όπου:

- U : η ονομαστική πολική τάση του δικτύου
- Z_{sc} : η συνολική ισοδύναμη σύνθετη αντίσταση του δικτύου, όπως αυτή προκύπτει από το σημείο του σφάλματος.



Σχ. 3.3.2.1 Συνιστώσες του ρεύματος: 1) υπομεταβατική συνιστώσα, 2) μεταβατική συνιστώσα, 3) μόνιμο ρεύμα σφάλματος, 4) συνεχής συνιστώσα, 5) συνιστώσα σε τριφασικό κύκλωμα κοντά στη γεννήτρια.

Αμέσως μετά το βραχυκύκλωμα τα ρεύματα είναι πολύ μεγαλύτερα απ' ό τι είναι μερικούς κύκλους αργότερα. Όπως φαίνεται και στο σχήμα **3.4.1** το ρεύμα βραχυκύκλωσης αποτελείται από δύο συνιστώσες, μια ημιτονοειδής μεταβαλλόμενη συνιστώσα σταθερού εύρους και μία συνιστώσα συνεχούς ρεύματος που φθίνει εκθετικά και προκαλεί ασυμμετρία των κυματομορφών ως προς τον άξονα του χρόνου.

Το συνεχώς μεταβαλλόμενο ρεύμα μπορούμε να το προσεγγίσουμε με τέσσερις συνιστώσες:

- Την υπομεταβατική συνιστώσα
- Την μεταβατική συνιστώσα
- Το μόνιμο ρεύμα σφάλματος
- Τη συνεχή συνιστώσα

Οι χρονικές περίοδοι που σχετίζονται με αυτά τα ρεύματα αναφέρονται ως υπομεταβατική, μεταβατική και περίοδος μόνιμης κατάστασης. Η υπομεταβατική περίοδος εκτείνεται από **0** έως και **0,1** δευτερόλεπτα μετά τη διαταραχή, η μεταβατική εκτείνεται από **0,1** έως **6** δευτερόλεπτα και η περίοδος μόνιμης κατάστασης αποκαθίσταται σε περισσότερο από **6** δευτερόλεπτα μετά την διαταραχή. [9]

3.4) Μετασχηματιστής ισχύος

Για τη σύνδεση τμημάτων του συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας που λειτουργούν σε διαφορετικά επίπεδα τάσης χρησιμοποιούνται οι μετασχηματιστές ισχύος. Ανάλογα με την λειτουργία τους οι μετασχηματιστές διακρίνονται σε τρεις κατηγορίες:

- **Μετασχηματιστές γεννήτριας**, που χρησιμοποιούνται για την ανύψωση της τάσης από το επίπεδο της γεννήτριας στο επίπεδο μεταφοράς.
- **Μετασχηματιστές μεταφοράς**, που χρησιμοποιούνται για τον μετασχηματισμό της ισχύος μεταξύ των διαφόρων επιπέδων τάσης του συστήματος μεταφοράς.
- **Μετασχηματιστές διανομής**, που χρησιμοποιούνται για τον υποβιβασμό της τάσης στα χαμηλά επίπεδα τάσης που ζητούνται από τους καταναλωτές.

3.4.1) Μονοφασικός μετασχηματιστής δυο τυλιγμάτων

Όταν το ρεύμα i_1 δρά μόνο του παράγει μαγνητική ροή Φ_{11} που αποτελείται από τη συνιστώσα της αμοιβαίας ροής, Φ_{m1} και από τη συνιστώσα ροής σκέδασης Φ_{11} άρα ισχύει:

$$\Phi_{11} = \Phi_{11} + \Phi_{m1} \quad (3.19)$$

Ομοίως, όταν το ρεύμα i_2 δρά μόνο του παράγει μαγνητική ροή Φ_{22} που αποτελείται από τη συνιστώσα της αμοιβαίας ροής, Φ_{m2} και από τη συνιστώσα ροής σκέδασης Φ_{12} άρα ισχύει:

$$\Phi_{22} = \Phi_{12} + \Phi_{m2} \quad (3.20)$$

Η συνολική ροή εντός του πυρήνα είναι:

$$\varphi_m = \varphi_{m1} + \varphi_{m2} \quad (3.21)$$

Οπότε η συνολική ροή που εμπλέκει τα τυλίγματα 1 και 2 είναι:

$$\varphi_1 = \varphi_{11} + \varphi_{m2} = \varphi_{11} + \varphi_{m1} + \varphi_{m2} = \varphi_{11} + \varphi_m \quad (3.22)$$

Και

$$\varphi_2 = \varphi_{22} + \varphi_{m1} = \varphi_{12} + \varphi_{m2} + \varphi_{m1} = \varphi_{12} + \varphi_m \quad (3.23)$$

Αν θεωρήσουμε ότι οι ροές σκέδασης φ_{11} και φ_{12} είναι ισοδύναμες ροές που εμπλέκουν το σύνολο των σπειρών των αντίστοιχων τυλιγμάτων, τότε οι πεπλεγμένες ροές των δύο τυλιγμάτων είναι:

$$\begin{aligned} \lambda_1 &= N_1 \varphi_1 = N_1 \varphi_{11} + N_1 \varphi_m \\ \lambda_2 &= N_2 \varphi_2 = N_2 \varphi_{12} + N_2 \varphi_m \end{aligned} \quad (3.24)$$

Οι τερματικές εξισώσεις τάσης συνεπώς γράφονται:

$$\begin{aligned} v_1 &= r_1 i_1 + \frac{d\lambda_1}{dt} = r_1 i_1 + N_1 \frac{d\varphi_{11}}{dt} + N_1 \frac{d\varphi_m}{dt} \\ v_2 &= r_2 i_2 + \frac{d\lambda_2}{dt} = r_2 i_2 + N_2 \frac{d\varphi_{12}}{dt} + N_2 \frac{d\varphi_m}{dt} \end{aligned} \quad (3.25) \text{ και } (3.26)$$

Όπου:

- **r1 και r2:** Οι αντιστάσεις των δύο τυλιγμάτων.

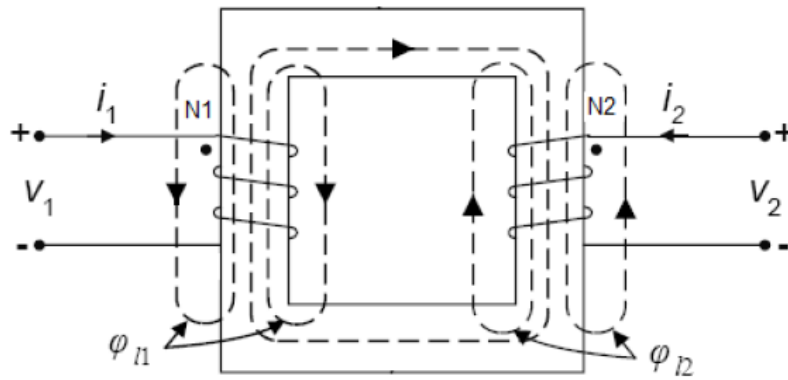
Η συνολική μαγνητεργετική δύναμη **F** που απαιτείται για να παραχθεί η ροή του πυρήνα φ_m είναι:

$$F = N_1 i_1 + N_2 i_2 = \frac{\varphi_m}{P_m} \quad (3.27)$$

Όπου:

- **P_m** : η μαγνητική ισχύς.

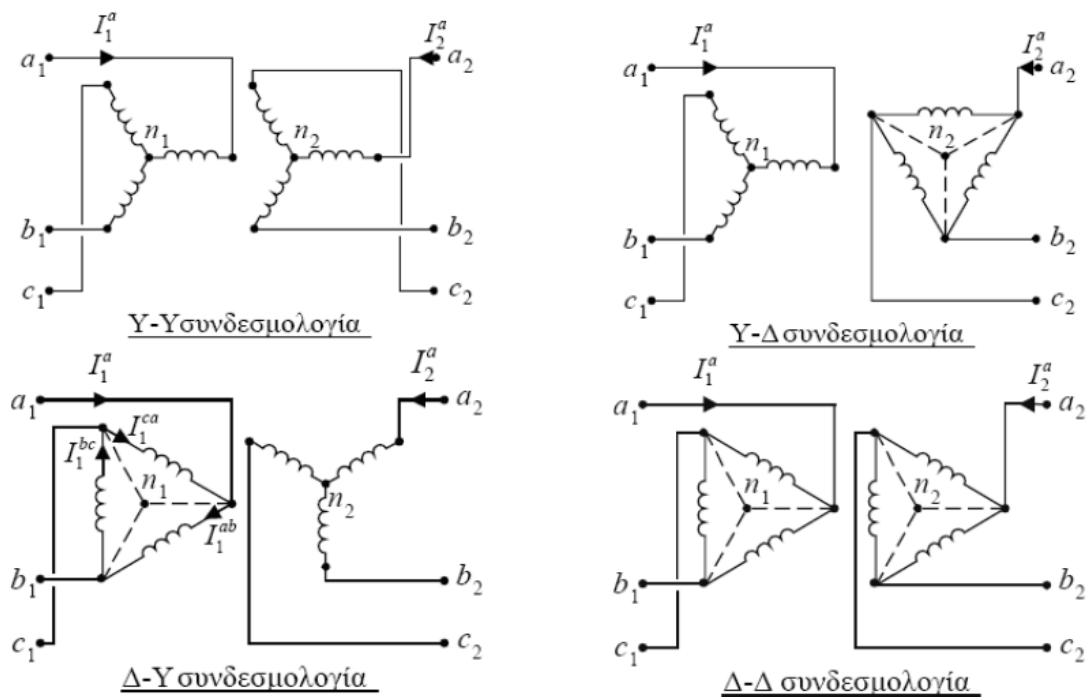
Παρακάτω φαίνεται η σχηματική παράσταση μονοφασικού μετασχηματιστή δυο τυλιγμάτων:



Σχ. 3.4.1.1 Μονοφασικός μετασχηματιστής δυο τυλιγμάτων

3.4.2) Τριφασικός μετασχηματιστής

Οι τριφασικοί μετασχηματιστές μπορούν να συνδεθούν με τέσσερις διαφορετικούς τρόπους που φαίνονται στο σχήμα που ακολουθεί:



Σχ. 3.4.2.1 Συνδεσμολογίες τριφασικών μετασχηματιστών

Οι λόγοι των φασικών τάσεων πρωτεύοντος – δευτερεύοντος V_1^a/V_2^a , για τις τέσσερις δυνατές συνδεσμολογίες συνοψίζονται παρακάτω:

Συνδεσμολογία μετασχηματιστή	$t = V_1^a / V_2^a$
Υ-Υ	$N_1 : N_2 = a$
Υ-Δ	$(N_1 : N_2 / \sqrt{3})e^{-j30^\circ} = \sqrt{3}ae^{-j30^\circ}$
Δ-Υ	$(N_1 / \sqrt{3} : N_2)e^{-j30^\circ} = \frac{a}{\sqrt{3}}e^{-j30^\circ}$
Δ-Δ	$(N_1 / \sqrt{3} : N_2 / \sqrt{3}) = a$

Σχ. 3.4.2.2 Λόγος φασικών τάσεων ,t, ισοδύναμων συνδεσμολογιών

Η σύνδεση Υ υπερτερεί της σύνδεσης Δ για μεγαλύτερες τάσεις, αλλά η σύνδεση Δ πλεονεκτεί όταν τα ρεύματα των τυλιγμάτων είναι μεγάλα.

Για την συνδεσμολογία Δ-Υ έχουμε:

$$V_2^a = \frac{N_2}{N_1} V_1^{ab} = \frac{N_2}{N_1} (V_1^a - V_1^b) = \frac{N_2}{N_1} \sqrt{3} e^{j30^\circ} V_1^a \quad (3.28)$$

➤ Σύνδεση τριγώνου αστέρα (Δ-Υ)

Στο παρακάτω σχήμα φαίνεται ένας μετασχηματιστής με σύνδεση Δ-Υ όπου ο κοινός κόμβος n του δευτερεύοντος γειώνεται μέσω μιας αντίστασης R_n . Όταν τα τυλίγματα συνδέονται με τον τρόπο αυτό, η σχέση αναφοράς από το πρωτεύον στο δευτερεύον είναι:

$$\sqrt{3} N_1 / N_2$$

και η τάση του δευτερεύοντος είναι μετατοπισμένη κατά 30° προς την ωρολογιακή φορά σε σχέση με την τάση του πρωτεύοντος.

Με τα τυλίγματα του πρωτεύοντος ενός τριφασικού μετασχηματιστή να συνδέονται όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα, οι τάσεις εισόδου των τυλιγμάτων του πρωτεύοντος μπορούν να υπολογιστούν άμεσα από τις τάσεις των πηγών:

$$\begin{aligned} V_{AB} &= V_{AO} - V_{BO} \\ V_{BC} &= V_{BO} - V_{CO} \\ V_{CA} &= V_{CO} - V_{AO} \end{aligned} \quad (3.29)$$

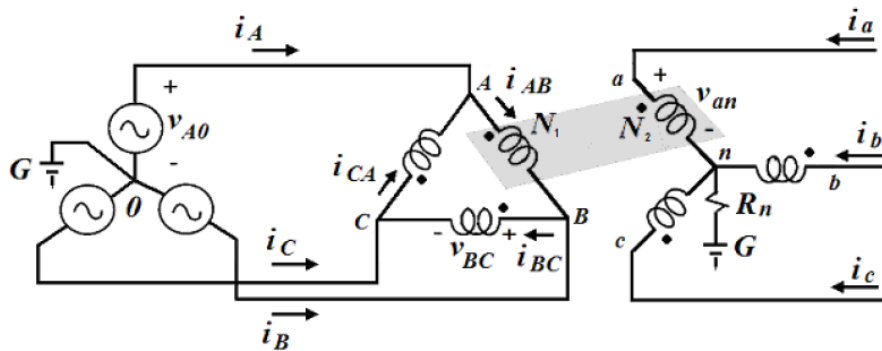
Οι τάσεις εξόδου των τυλιγμάτων του δευτερεύοντος, είναι συνάρτηση του κοινού κόμβου του δευτερεύοντος με τη Γή, όπως ακολουθεί:

$$\begin{aligned}
 V_{an} &= V_{an} - V_{nG} \\
 V_{bn} &= V_{bn} - V_{nG} \\
 V_{cn} &= V_{cn} - V_{nG} \\
 \text{όπου } V_{nG} &= (i_a + i_b + i_c)R_n
 \end{aligned}
 \tag{3.30}$$

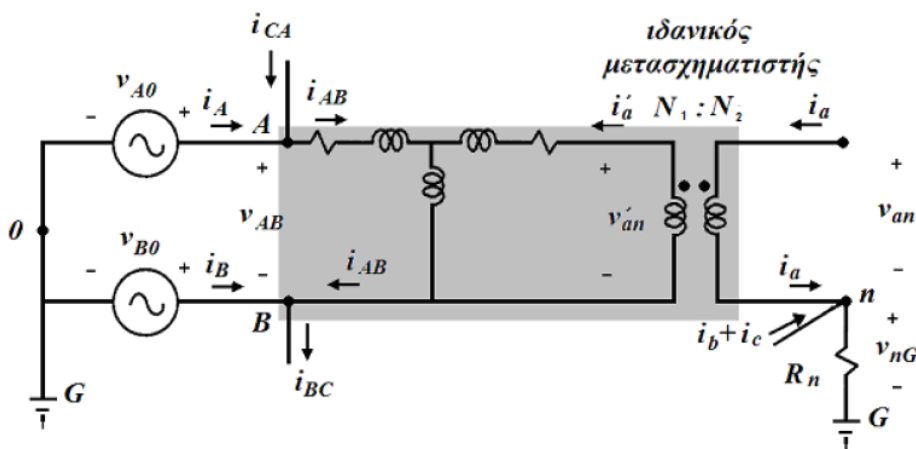
Τα ρεύματα γραμμής από την πλευρά του πρωτεύοντος μπορούν να υπολογιστούν από τα ρεύματα των τυλιγμάτων του πρωτεύοντος από τις σχέσεις:

$$\begin{aligned}
 i_A &= i_{AB} - i_{CA} \\
 i_B &= i_{BC} - i_{AB} \\
 i_C &= i_{CA} - i_{BC}
 \end{aligned}
 \tag{3.31}$$

Με την βοήθεια των εξισώσεων και με τη θεώρηση ότι ο μετασχηματιστής με σύνδεση Δ-Y σχηματίζεται από τρία ξεχωριστά μονοφασικά κυκλώματα, μπορούμε να αναπαραστήσουμε το μετασχηματιστή με το ισοδύναμο του κύκλωμα όπως φαίνεται παρακάτω:



Σχ. 3.4.2.3 Πηγή και σύνδεση μετασχηματιστή



Σχ. 3.4.2.4 Ισοδύναμη αναπαράσταση κυκλώματος [9]

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4°

ΥΒΡΙΔΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ

4.1) Εισαγωγή

Όπως προαναφέρθηκε στα προηγούμενα κεφάλαια 1 και 2, υπάρχουν αρκετές εναλλακτικές μορφές ενέργειας όπως η ηλιακή, η αιολική, η βιομάζα, η γεωθερμική κ.τ.λ. Η χρήση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας έχει ως στόχο την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, χωρίς δυσμενείς για το περιβάλλον συνέπειες. Όμως θα πρέπει να διασφαλίζεται εξίσου η αξιοπιστία και η ποιότητα, γι' αυτό οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας μπορούν να συνδυάζονται με τις ήδη υπάρχουσες μονάδες παραγωγής ή και μεταξύ τους. Τα συστήματα που αποτελούνται από τουλάχιστον δύο διαφορετικά συστήματα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας ονομάζονται υβριδικά συστήματα.

4.2) Αυτόνομα υβριδικά συστήματα

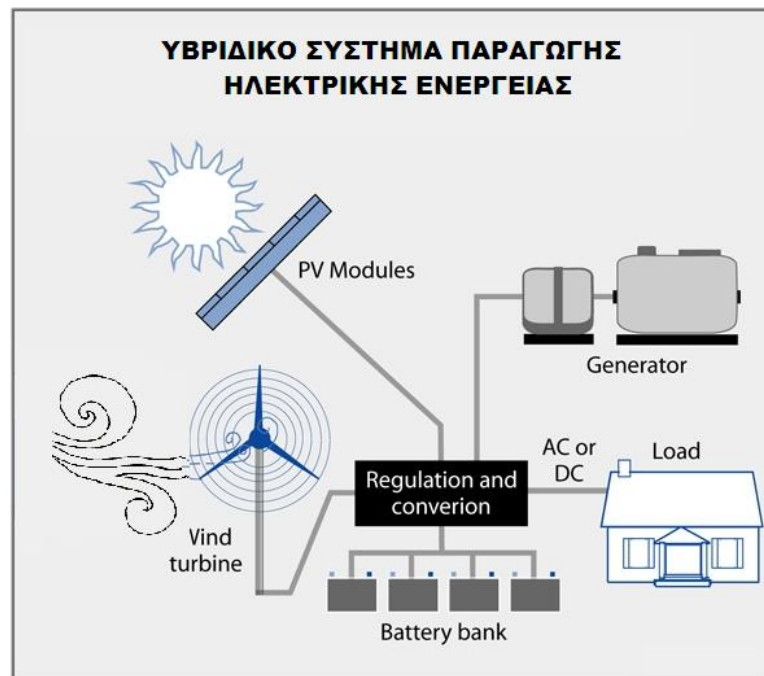
Τα Αυτόνομα Υβριδικά Συστήματα Ηλεκτροπαραγωγής (**Α.Υ.Σ.Η**) σχεδιάζονται για την παραγωγή και τη διαχείριση της ηλεκτρικής ισχύος. Είναι ανεξάρτητα από τα μεγάλα εθνικά δίκτυα και ενσωματώνουν πολλούς και διαφορετικούς τύπους ισχύος που συνίστανται από Α.Π.Ε. αλλά και από μη Α.Π.Ε. Το μέγεθος τους από πλευράς ισχύος μπορεί να κυμαίνεται από πολλά MW όπως για παράδειγμα στα αυτόνομα δίκτυα απομονωμένων νησιών, μέχρι λίγα kW όπως στις περιπτώσεις απομονωμένων εξοχικών κατοικιών. Μικρά υβριδικά συστήματα που τροφοδοτούν μόνο φορτία συνεχούς (DC) ισχύος λίγων kW μπορούν να χρησιμοποιούνται σε απομονωμένες περιοχές για εφαρμογές χαμηλής κατανάλωσης ισχύος, όπως για παράδειγμα σε αναμεταδότες τηλεπικοινωνιών. Τα υβριδικά πάκα είναι το πρώτο βήμα για μια εκτεταμένη χρήση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, καθώς συνδυάζουν αιολική, ηλιακή και υδροηλεκτρική ενέργεια με τις υπάρχουσες μονάδες παραγωγής ρεύματος (με ορυκτά καύσιμα ή πετρέλαιο). Με τον τρόπο αυτό οι ανανεώσιμες πηγές και οι παραδοσιακές αλληλοσυμπληρώνονται όταν τα στοιχεία της φύσης δεν βοηθούν

Τα αυτόνομα υβριδικά συστήματα εμπερικλείουν τουλάχιστον μια συμβατική γεννήτρια ντίτζελ AC, ένα σύστημα διανομής, ένα διανεμημένο φορτίο AC, συσκευές αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας και κάποιες ανανεώσιμες πηγές ισχύος όπως φωτοβολταϊκά, ανεμογεννήτριες κ.α. Να σημειωθεί ότι οι συσκευές αποθήκευσης λειτουργούν σε ορισμένες περιπτώσεις και σαν φορτία. Γενικά ένα υβριδικό σύστημα μπορεί να περιλαμβάνει γεννήτριες ντίτζελ AC, γεννήτριες ντίτζελ DC, ένα σύστημα διανομής ηλεκτρικής ενέργειας AC ή DC, φορτία, ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (φωτοβολταϊκά, ανεμογεννήτριες, υδροηλεκτρικά), συστήματα αποθήκευσης ενέργειας, μετατροπείς ισχύος, σύγχρονους πυκνωτές, διατάξεις αυτόματης απόρριψης φορτίου και ένα διαχείρισης και εποπτικού ελέγχου του αυτόνομου δικτύου.

Τα περισσότερα ελληνικά νησιά υποφέρουν από έλλειψη νερού. Το παραπάνω σύστημα μπορεί να συνδυαστεί με μονάδες αφαλάτωσης που θα χρησιμοποιούν μέρος της αιολικής ενέργειας για την παραγωγή πόσιμου νερού. Έτσι εξασφαλίζεται η διαθεσιμότητα του νερού όχι μόνο για ενεργειακή χρήση, αλλά και για ύδρευση-άρδευση. [10], [11], [12]

Έτσι, τα υβριδικά έργα δίνουν τη δυνατότητα μεγαλύτερης αξιοποίησης των Α.Π.Ε. σε δίκτυα με περιορισμένη δυνατότητα απορρόφησης από Α.Π.Ε. όπως στις περιπτώσεις με τα μη διασυνδεδεμένα νησιά.

➤ Εικόνα ενός αυτόνομου υβριδικού συστήματος ηλεκτροπαραγωγής:



Σχ. 4.2.1 Αυτόνομο υβριδικό σύστημα ηλεκτροπαραγωγής για μια κατοικία

Τα διαφορετικά είδη γεννητριών ηλεκτρικής ισχύος τα οποία μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να τροφοδοτήσουν ένα Υβριδικό Σύστημα Ηλεκτροπαραγωγής μπορούν να συνδεθούν με το δίκτυο με διαφορετικούς τρόπους. Η συγκεκριμένη αρχιτεκτονική που υιοθετείται κάθε φορά, όπως το είδος και το μέγεθος των πηγών που θα χρησιμοποιηθούν εξαρτάται από τις εκάστοτε τοπικές συνθήκες της περιοχής.

4.2.1) Υβριδικό σύστημα φωτοβολταϊκών – γεννήτριας diesel

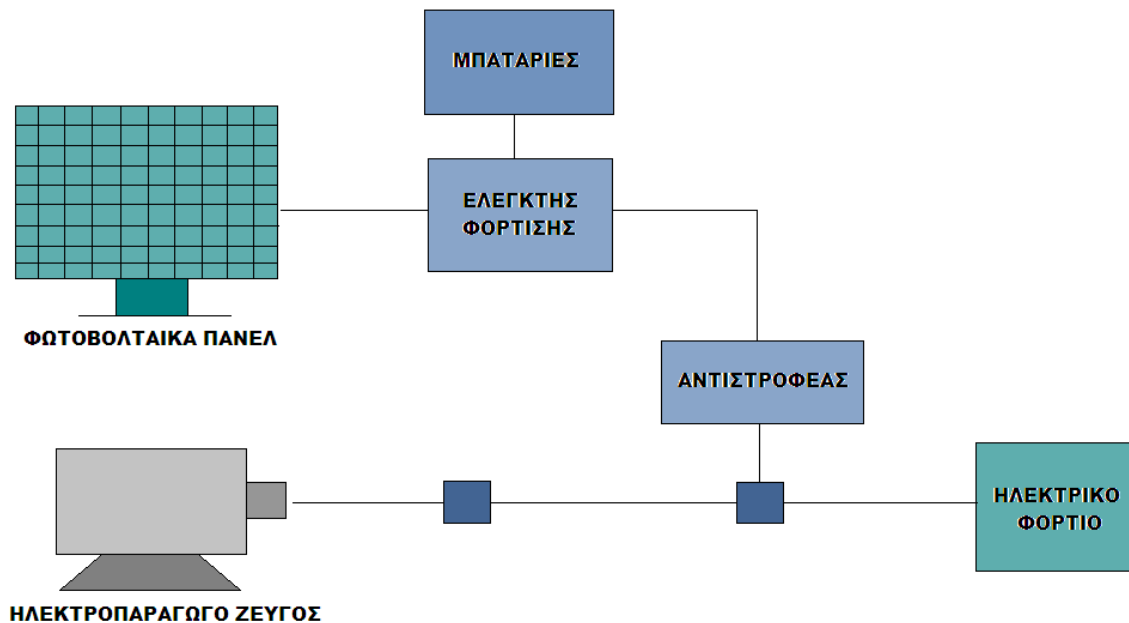
Η κανονική λειτουργία ενός υβριδικού συστήματος αποτελούμενου από ένα σύστημα φωτοβολταϊκών και μιας γεννήτριας **diesel** είναι η εξής:

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 φόρτισής τους. Ο κύριος σκοπός της χρήσης μπαταριών σαν αποθηκευτικό μέσο ενέργειας είναι να παρέχουν ή να αποθηκεύουν ενέργεια ανάλογα με την ζήτηση. Η γεννήτρια ντίζελ μπαίνει σε λειτουργία αν τη ζήτηση του φορτίου δεν μπορούν να την καλύψουν τα φωτοβολταϊκά, αλλά ούτε και οι μπαταρίες στην προκειμένη περίπτωση.

Μια γεννήτρια ντίζελ αν και έχει μικρό κόστος αγοράς, έχει γενικώς υψηλό κόστος λειτουργίας και συντήρησης ενώ είναι επίσης επιβαρυντική για το περιβάλλον λόγω των

αερίων που παράγονται μέσω της καύσης του πετρελαίου. Χαρακτηριστικό γεγονός είναι ότι σε χαμηλό-σχεδόν μηδενικό φορτίο η ντιζελογεννήτρια χρησιμοποιεί το 30% του καυσίμου που θα χρησιμοποιούσε σε πλήρες φορτίο. [10], [11], [12]

Αυτά τα προβλήματα όμως εξαλείφονται με την συνεργασία φωτοβολταϊκών στοιχείων με την ντιζελογεννήτρια σε τέτοιο βαθμό ώστε να ομαλοποιείται η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και να μειώνεται το κόστος της. Παρακάτω φαίνεται σχηματικά η τοπολογία ενός τέτοιου υβριδικού συστήματος:



Σχ. 4.2.1.1 Τοπολογία Υβριδικού Συστήματος Φωτοβολταϊκών-Γεννήτριας Diesel

4.3) Κατηγορίες υβριδικών συστημάτων

Τα υβριδικά συστήματα μπορούν επίσης να βρουν εφαρμογή και σε διάφορες άλλες περιπτώσεις οι δυο πιο σημαντικές από τις οποίες αναφέρονται παρακάτω.

4.3.1) Συστήματα διασυνδεδεμένα στο Κ. Δ. Η. Ε.

Τα κεντρικά ηλεκτρικά δίκτυα απαρτίζονται από τα συστήματα παραγωγής, μεταφοράς και διανομής της ηλεκτρικής ενέργειας. Χαρακτηριστικό των δικτύων αυτών είναι ότι διανέμονται από εναλλασσόμενο ρεύμα και ότι η τάση και η συχνότητα δεν επηρεάζονται από την παρουσία επιπρόσθετων γεννητριών ή φορτίων, είναι δηλαδή δίκτυα άπειρου ζυγού. Εάν ένας υβριδικός σταθμός συνδεθεί σε ένα τέτοιο δίκτυο, τότε γίνεται λόγος για διεσπαρμένη παραγωγή. Δεδομένου ότι το κεντρικό δίκτυο έχει την ευθύνη για τον έλεγχο της τάσης και της συχνότητας αλλά και για την παραγωγή έργου ισχύος, ο σχεδιασμός του υβριδικού συστήματος απλοποιείται καθώς δεν απαιτούνται συστήματα ελέγχου. Τα διασυνδεδεμένα με το δίκτυο υβριδικά συστήματα ηλεκτροπαραγωγής μπορεί να εγκαθίστανται, είτε αποκλειστικά για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, είτε ως

συστήματα υποστήριξης σε περιπτώσεις διακοπής του ηλεκτρικού δικτύου, είτε σε λειτουργία τις ώρες αιχμής όταν η τιμή της **kWh** είναι υψηλή. Τα συστήματα αυτά περιλαμβάνουν μονάδες ΑΠΕ οι οποίες είτε διασυνδέονται απ' ευθείας στο δίκτυο, είτε αποθηκεύουν την ενέργειά τους σε μέσα αποθήκευσης ώστε αυτή να χρησιμοποιηθεί όταν αυτό κριθεί απαραίτητο. Συνήθως οι παράγοντες που επηρεάζουν την επιλογή αυτή είναι η μορφή της παραγόμενης **kWh** από την κάθε μορφή ΑΠΕ και το φορτίο που πρέπει να καλυφθεί όταν αυτό κριθεί απαραίτητο. Σε μερικές περιπτώσεις η παρουσία του υβριδικού σταθμού επηρεάζει την ικανότητα του κεντρικού δικτύου να διατηρεί σταθερή τάση και συχνότητα, όποτε γίνεται λόγος για ασθενές δίκτυο και συνήθως απαιτείται επιπλέον εξοπλισμός και διατάξεις ελέγχου. [10], [11], [12]

4.3.2) Τροφοδότηση απομονωμένων φορτίων ή φορτίων ειδικού σκοπού

Υβριδικά συστήματα χωρίς δίκτυο διανομής μπορούν να χρησιμοποιηθούν, για την τροφοδότηση απομονωμένων φορτίων ή φορτίων ειδικού σκοπού, τα οποία μπορεί να είναι συνεχούς ή εναλλασσομένου ρεύματος ή ακόμα και μεταβλητής τάσης και συχνότητας. Παράδειγμα τέτοιων φορτίων αποτελούν οι ηλεκτρικοί φάροι, ο φωτισμός της σήμανσης στους αυτοκινητόδρομους, η άντληση νερού, τα συστήματα αφαλάτωσης, καθώς και οι ηλεκτρικοί μύλοι. Μια εφαρμογή ενός τέτοιου συστήματος θα μπορούσε να περιλαμβάνει φωτοβολταϊκά πάνελ, μαζί με μπαταρίες και ηλεκτρονικά ισχύος.

Σε αυτά τα συστήματα ο έλεγχος συχνότητας και τάσης καθώς και η διαχείριση της περίσσειας ισχύος δεν αποτελούν τις κύριες παραμέτρους σχεδίασης.

Υπάρχει επίσης και η δυνατότητα χρησιμοποίησης συμβατικής γεννήτριας που λειτουργεί όποτε η παραγωγή ΑΠΕ δεν επαρκεί, αλλά συνήθως δεν λειτουργεί παράλληλα με τις γεννήτριες ΑΠΕ.

➤ Εικόνα για block- διάγραμμα αυτόνομου υβριδικού συστήματος:



Σχ. 4.2.2 Γενικό διάγραμμα αυτόνομου υβριδικού συστήματος ηλεκτροπαραγωγής

4.4) Δομικά μέρη υβριδικών συστημάτων

Εδώ γίνεται μια αναφορά για τα βασικά δομικά μέρη των υβριδικών συστημάτων και στον τρόπο λειτουργίας τους:

4.4.1) Συσσωρευτές

Η συσσώρευση της ηλεκτρικής ενέργειας σε μια μπαταρία και η παράλληλη δυνατότητα συνεχούς απόδοσής τη επιτυγχάνεται όταν η μπαταρία έχει τις εξής ιδιότητες:

- **Μεγάλη αντοχή σε κύκλους φόρτισης εκφόρτισης:** Ο αριθμός των κύκλων εξαρτάται κατά κύριο λόγο από το βάθος εκφόρτισης. Δηλαδή, όσο πιο μικρό το βάθος εκφόρτισης, τόσο μεγαλύτερος είναι ο κύκλος ζωής της μπαταρίας.
- **Ικανοποιητικά υψηλή δεκτικότητα φόρτισης:** Χαρακτηρίζεται από την όσο το δυνατό υψηλή ένταση ρεύματος φόρτισης σε δεδομένη τάση φόρτισης με αποφυγή πτώσης τάσης στο εσωτερικό της. Ο συντελεστής απόδοσης της φόρτισης βρίσκεται στο 90% περίπου. Επίσης η μπαταρία πρέπει να μπορεί να φορτίζεται και με ρεύμα χαμηλής τάσης.
- **Δυνατότητα επαρκούς επαναφόρτισης:** Παρατηρείται για γρήγορη επαναφόρτιση μέχρι την ονομαστική της χωρητικότητα, με αμελητέες απώλειες στη συσσωρευμένη χωρητικότητα.
- **Απλή και αξιόπιστη λειτουργία:** Στη διάρκεια ενός έτους είναι επιθυμητή η συμπλήρωση υγρών μια με δυο φορές, διατήρηση της μπαταρίας καθαρή, αποφυγή υπερχειλίσης υγρών και τυχόν βραχυκυκλώματα των πόλων.

Τα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά που προσδιορίζουν τις δυνατότητες ενός συσσωρευτή είναι, η ονομαστική τάση στους πόλους του, που εκφράζεται με την έννοια της Ηλεκτρεγερτικής Δύναμης (ΗΕΔ) και η ονομαστική χωρητικότητα του «C». Η ΗΕΔ μετράται σε Volt και ισούται με την πολική τάση του συσσωρευτή, όταν δεν είναι συνδεδεμένος σε καταναλωτή. Η χωρητικότητα ενός συσσωρευτή αφορά στο ηλεκτρικό φορτίο που μπορεί να αποθηκευθεί στο εσωτερικό του, με τη μορφή χημικής ενέργειας, κάτω από ορισμένες συνθήκες, καθοριζόμενες, κυρίως, από τη θερμοκρασία και εκφράζεται σε Ah (Αμπερώρια).

Στη βασική του μορφή, ένα στοιχείο ηλεκτρικού συσσωρευτή αποτελείται από δύο μεταλλικά ηλεκτρόδια, συνήθως, με τη μορφή επίπεδων πλακών, εμβαπτισμένα σε ορισμένο διάλυμα ηλεκτρολύτη, ο οποίος αντιδρά επιφανειακά με τις πλάκες. Κατά το στάδιο της φόρτισης του, μια ηλεκτρική πηγή συνεχούς τάσεως, συνδέεται στα άκρα του και δημιουργεί στο εσωτερικό του ηλεκτρικό πεδίο, το οποίο κινεί ευκίνητα ιόντα του ηλεκτρολύτη, προς τις αντίθετα πολωμένες πλάκες του συσσωρευτή (+ και -), όπου αποδίδουν το φορτίο τους. Αποτέλεσμα των χημικών αντιδράσεων που συμβαίνουν στα μεταλλικά ηλεκτρόδια, είναι η αλλοίωση της δομής τους, σε βάθος μερικών μικρών, μετατρέπόμενα σε νέα, διαφορετικά μεταξύ τους σώματα. Τα αλλοιωμένα ηλεκτρόδια εμφανίζουν διαφορετικά ηλεκτροχημικά δυναμικά ως προς το διάλυμα, η δε διαφορά μεταξύ τους ισούται με την ΗΕΔ του συσσωρευτή. [10], [11], [12]

4.4.2) Ρυθμιστές – Μετατροπείς – Αντιστροφείς

Η καλή λειτουργία και η αυξημένη απόδοση των υβριδικών συστημάτων υποβοηθείται συχνά με τη χρησιμοποίηση ειδικών διατάξεων, συνήθως ηλεκτρονικών ισχύος, που επεξεργάζονται την ηλεκτρική ενέργεια που παράγει η κάθε ενεργειακή πηγή. Ο **ρυθμιστής φόρτισης** (charge) της μπαταρίας είναι μια τέτοια διάταξη, αποτελεί το σύνδεσμο μεταξύ της όποιας ενεργειακής πηγής, της μπαταρίας και του φορτίου και έχει ως στόχο να αποτρέψει την υπερφόρτιση και την βαθιά εκφόρτιση της μπαταρίας.

Σε περίπτωση που χρησιμοποιούνται στο υβριδικό σύστημα και ανεμογεννήτριες, πριν το ρυθμιστή φόρτισης συνδέεται και ένας **ανορθωτής τάσης** (rectifier) ο οποίος μετατρέπει το εναλλασσόμενο ρεύμα που παράγει η μηχανή σε συνεχές, προκειμένου, μέσω του ρυθμιστή φόρτισης, η περίσσεια ενέργειας να οδηγηθεί και να αποθηκευτεί κατάλληλα στη συστοιχία των συσσωρευτών. Ο ρυθμιστής φόρτισης φροντίζει να διατηρείται η τάση εξόδου της ενεργειακής πηγής, είτε αυτή προέρχεται από Φ/Β, είτε από ανορθωμένη τάση ανεμογεννήτριας, στην επιθυμητή τιμή, έχοντας ταυτόχρονα την ικανότητα, όταν οι συσσωρευτές του συστήματος φορτισθούν πλήρως, να διοχετεύει την περίσσεια του ηλεκτρικού ρεύματος που παράγεται στην εκάστοτε ενεργειακή πηγή σε κατάλληλες αντιστάσεις ή προς τη γη, προστατεύοντας έτσι τους συσσωρευτές από τους κίνδυνους της υπερφόρτισης. Επίσης, η τάση φόρτισης των συσσωρευτών μπορεί να ανεξαρτητοποιηθεί εντελώς από την τάση εξόδου της Φ/Β γεννήτριας, με την παρεμβολή ενός **μετατροπέα συνεχούς ρεύματος**. Ο μετατροπέας αυτός παραλαμβάνει την τάση που δίνει η Φ/Β γεννήτρια, που είναι αναγκαστικά ασταθής λόγω των διακυμάνσεων της ηλιακής ακτινοβολίας, τη μετατρέπει στην ευνοϊκή τάση για τη φόρτιση των συσσωρευτών και τη σταθεροποιεί, ώστε να εξασφαλίζονται οι βέλτιστες συνθήκες φόρτισης.

Όσο αυξάνει η πολυπλοκότητα ενός αυτόνομου συστήματος, τότε πρέπει να λαμβάνονται περισσότερα υπόψη στο σχεδιασμό του. Με κατάλληλη διαχείριση της ενέργειας η χρήση των συλλεκτών και η διάρκεια ζωής ευαίσθητων μονάδων του συστήματος μπορούν να βελτιωθούν. Για το λόγο αυτό συνίσταται το σύστημα να έχει **πίνακα ελέγχου** (control panel) που να πληροφορεί το χρήστη για την τρέχουσα κατάσταση του και να του δίνει συμβουλές για το πώς να αντιδράσει σε περίπτωση ανάγκης. Ο πίνακας ελέγχου είναι η μονάδα στην οποία φαίνεται η κατάσταση του συστήματος κάθε στιγμή. Έχει επικοινωνία με όλες τις μονάδες και μπορεί σε περίπτωση που εμφανισθεί κάποιο πρόβλημα να διακόψει τη λειτουργία, ώστε να προστατευθεί το σύστημα.

Τέλος, μια πολύ σημαντική διάταξη στο σχεδιασμό ενός αξιόπιστου αυτόνομου συστήματος ηλεκτροπαραγωγής αποτελεί ο **αντιστροφέας τάσης** (inverter). Η συγκεκριμένη ηλεκτρονική συσκευή έχει τη ικανότητα να μετατρέπει το συνεχές ρεύμα των συσσωρευτών ή της εξόδου της Φ/Β γεννήτριας σε εναλλασσόμενο εξυπηρετώντας κατάλληλα το εναλλασσόμενο φορτίο του δικτύου. Κύρια κίνητρα για την προτίμηση της εναλλασσόμενης τάσης, και την τοποθέτηση μεταλλακτών και μετασχηματιστών, είναι ότι οι ηλεκτρικές συσκευές του εμπορίου είναι συνήθως κατασκευασμένες για εναλλασσόμενο ρεύμα και έχουν μικρότερο κόστος από τις αντίστοιχες του συνεχούς ρεύματος.

■ Τα σημαντικότερα χαρακτηριστικά που πρέπει να έχει ένας αντιστροφέας τάσης αυτόνομου συστήματος είναι τα ακόλουθα:

- Μεγάλο εύρος τάσης εισόδου (10% με +30% της ονομαστικής τάσης).
- Τάση εξόδου όσο το δυνατόν πιο κοντά στην καμπυλοειδή κυματομορφή.
- Μικρή διακύμανση στην συχνότητα και τάση εξόδου.
- $\pm 8\%$ σταθερότητα τάσης, $\pm 2\%$ σταθερότητα συχνότητας.
- Υψηλός βαθμός απόδοσης στα μερικά φορτία. Βαθμός απόδοσης τουλάχιστον 90% στο 10% του φορτίου.
- Ικανότητα να υπομένει μικρής διάρκειας υπερφορτώσεις για τις συνθήκες εκκίνησης συσκευών (π.χ. 2 με 3 φορές την ονομαστική ένταση του ρεύματος για 5s για το ψυγείο και το πλυντήριο).
- Ελάχιστες δυνατές υπερτάσεις για επαγωγικά και χωρητικά φορτία.
- Ικανότητα να αντέχει βραχυκύκλωμα. [10], [11], [12]

4.4.3) Ντιζελογεννήτρια

Οι αυτόνομοι σταθμοί παραγωγής ενέργειας χρησιμοποιούν κατά κύριο λόγο μηχανές εσωτερικής καύσης (**ΜΕΚ**), όπως αυτές που είναι εγκατεστημένες στα περισσότερα νησιά της χώρας μας.

Οι **ΜΕΚ** ονομάζονται έτσι διότι η καύση του καυσίμου που χρησιμοποιούν γίνεται μέσα σε αυτές, εν αντιθέσει με άλλες τεχνολογίες, όπως οι αεριοστρόβιλοι για παράδειγμα, όπου η καύση γίνεται σε λέβητα. Οι ντιζελοηλεκτρικοί σταθμοί κάνουν χρήση εμβολοφόρων μηχανών. Οι εμβολοφόρες **ΜΕΚ**, γνωστές και σαν ηλεκτροπαραγωγά ζεύγη, αποτελούν την πιο διαδεδομένη τεχνολογία διανεμημένης παραγωγής. Πρόκειται για μια παραδοσιακή και δοκιμασμένη τεχνολογία που συνδυάζει χαμηλό κόστος προμήθειας ανά εγκατεστημένο kW, μεγάλη διαθεσιμότητα σε μεγέθη, δυνατότητα γρήγορης εκκίνησης, υψηλούς συντελεστές απόδοσης και υψηλή λειτουργική αξιοπιστία. Τα παραπάνω χαρακτηριστικά σε συνδυασμό με την ικανότητα των συστημάτων αυτών να εκκινούν χωρίς ηλεκτρική τροφοδότηση από το δίκτυο, το καθιστούν πρωταρχική επιλογή σε εφαρμογές εφεδρικής. Επιπλέον, αποτελούν σήμερα την πιο διαδεδομένη μορφή συστημάτων ηλεκτροπαραγωγής για ισχείς μικρότερες από 1 MW. Οι κινητήριες μηχανές λειτουργούν με αέρια και υγρά καύσιμα. Οι μηχανές υγρών καυσίμων χρησιμοποιούν συνήθως πετρέλαιο αν και υπάρχουν συστήματα βενζίνης ή βαρέων κλασμάτων πετρελαίου και βιοκαυσίμων.

Η ταξινόμηση των μηχανών Ντιζελ μπορεί να γίνει ανάλογα με το μέγιστο αριθμό στροφών που αναπτύσσονται ανά λεπτό, διακρίνονται σε αργόστροφες, μέχρι 350 σ.α.λ., σε μεσαίων στροφών, μέχρι 1.200 σ.α.λ., και σε πολύστροφες που φτάνουν τις 5.000 σ.α.λ.

Ανάλογα με την ισχύ που αποδίδουν στις κανονικές στροφές λειτουργίας τους τις διακρίνουμε σε: μηχανές μικρής ισχύος (μέχρι 25 ίππους ανά κύλινδρο), σε μηχανές μέσης ισχύος (από 25 έως 200 ίππους ανά κύλινδρο) και σε μηχανές υψηλής ισχύος (πάνω από 200 ίππους ανά κύλινδρο). Επιπλέον, ανάλογα με τον αριθμό των κυλίνδρων διακρίνονται σε μηχανές μονοκύλινδρες μέχρι και 24κύλινδρες. Ακόμη ανάλογα με τον αριθμό των χρόνων του κύκλου λειτουργίας τους χωρίζονται σε τετράχρονα και δίχρονα.

Στα βασικά πλεονεκτήματα των ντιζελομηχανών, πέραν της άμεσης φόρτισης και λειτουργία τους, συγκαταλέγονται η ελαφριά και μικρή δομή τους, οι μη πολύπλοκες εγκαταστάσεις, ο υψηλός βαθμός απόδοσης σε μικρές και μέσες ισχύς (έως 5 MW), οι απαιτήσεις σε λίγο προσωπικό. Βασικά τους μειονεκτήματα αποτελούν η συχνή συντήρηση, η ανάγκη χειρισμού τους από εξειδικευμένο προσωπικό και οι συχνές βλάβες που παθαίνουν.

4.4.4) Φωτοβολταϊκή γεννήτρια

Με το πέρασ των χρόνων η επιστήμη αναζήτησε μεθόδους μετατροπής της ηλιακής ενέργειας κατευθείαν σε ηλεκτρική. Ήδη περίπου από το **1840** διαπιστώθηκε ότι αυτό είναι δυνατό με την βοήθεια των ημιαγωγών. Το φαινόμενο της μετατροπής αυτής ονομάστηκε φωτοβολταϊκό και οι αντίστοιχες συσκευές φωτοβολταϊκές γεννήτριες.

- Μια φωτοβολταϊκή γεννήτρια ή αλλιώς ένα φωτοβολταϊκό σύστημα αποτελείται από:
 - **Φωτοβολταϊκούς συλλέκτες:** Οι Φωτοβολταϊκοί συλλέκτες παράγουν απ' ευθείας από τον Ήλιο συνεχές ρεύμα (DC). Η παραγόμενη τάση και ισχύς εξαρτάται από τον αριθμό των συλλεκτών που συνδέονται μεταξύ τους (σε σειρά η παράλληλα). Έτσι το σύστημα μπορεί να παράγει τάσεις των 12, 24, 36, 48 **Volts** και να φορτίζει μπαταρίες με αντίστοιχη τάση.

- **Ρυθμιστή φόρτισης:** Ο ρυθμιστής φόρτισης είναι μια προγραμματιζόμενη ηλεκτρονική μονάδα φόρτισης μπαταριών. Είναι απαραίτητη συσκευή για τη μακροχρόνια χρήση της μπαταρίας και τη σωστή λειτουργίας της.
- **Συσσωρευτές (μπαταρίες):** Αποθηκεύουν την παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια από Φ/Β συλλέκτες ή ανεμογεννήτριες και το διαθέτουν μόλις η κατανάλωση το απαιτήσει. Διακρίνονται σε υγρές και **gel** ανάλογα με το είδος του ηλεκτρολύτη.
- **Μετατροπέα:** Συνδέεται στη μπαταρία και μετατρέπει την τάση της από 12, 24, 36, 48 V (DC) σε 230 V (AC). Η έξοδος του μετατροπέα (σταθεροποιημένη στα 230 V (AC) ή 400 V (AC) συνδέεται απ' ευθείας σε ένα φορτίο χωρίς επιπλέον αλλαγές στην ηλεκτρολογική εγκατάσταση ή στο υπόλοιπο δίκτυο αφού πρώτα συγχρονισθεί κατάλληλα με αυτό. [6]

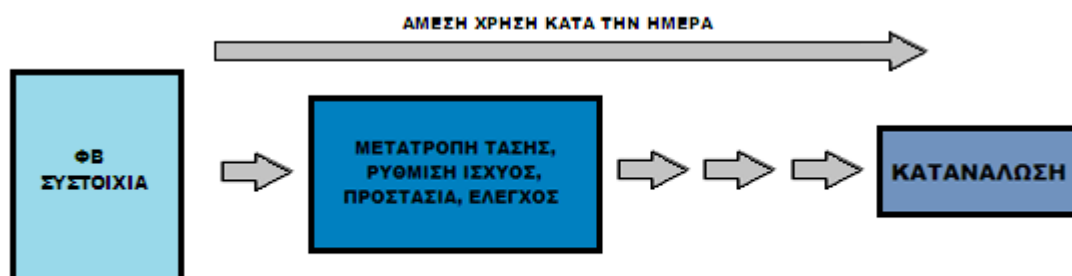
➤ Παράμετροι λειτουργίας φωτοβολταϊκής γεννήτριας

Στο σημείο αυτό θα εξεταστεί το τμήμα που αφορά **α)** στη **ροή ενέργειας από την φωτοβολταϊκή συστοιχία στην κατανάλωση** και **β)** στον **καθορισμό των υποσυστημάτων του φωτοβολταϊκού συστήματος και στην κάλυψη των ημερήσιων ενεργειακών απαιτήσεων μιας εφαρμογής.**

A) Ροή ενέργειας από την ΦΒ συστοιχία στην κατανάλωση

Κατά την διάρκεια μιας ημέρας, ένα μέρος της ηλιακής ακτινοβολίας που προσπίπτει στη φωτοβολταϊκή συστοιχία μετατρέπεται σε ηλεκτρική ενέργεια. Η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια με τη σειρά της χρησιμοποιείται για την απευθείας τροφοδοσία των φορτίων (άμεση χρήση) και των καταναλώσεων στο χώρο. Βέβαια η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια δεν αξιοποιείται ως έχει, δηλαδή ως ενέργεια συνεχούς ρεύματος, αλλά μέσω της διάταξης που ονομάζεται **inverter**, θα μετατρέπεται σε χρήσιμη ενέργεια εναλλασσομένου ρεύματος. Η μορφή αυτή επιτρέπει την ευρεία χρήση της, καθώς σχεδόν όλες οι ηλεκτρικές συσκευές έχουν τάση τροφοδοσίας τα 230 V_{ac}.

➤ Η περίπτωση αυτή αποτυπώνεται παραστατικά στο παρακάτω σχήμα:



Σχήμα 5.1.2.1 Διάγραμμα ροής της παραγόμενης ΦΒ ηλεκτρικής ενέργειας στην πιο απλή μορφή του για απευθείας κατανάλωση

Σε κάθε περίπτωση η μετατροπή της ενέργειας της ηλιακής ακτινοβολίας σε ηλεκτρική και η μεταφορά της στο χώρο της τελικής αξιοποίησης της συνοδεύεται από απώλειες. Ένα μέρος της μεταφερόμενης ηλεκτρικής ενέργειας μετατρέπεται σε εσωτερική ενέργεια των συσκευών, αυξάνοντας με αυτό τον τρόπο την θερμοκρασία των καλωδίων και των ηλεκτρονικών διατάξεων (inverter) του φωτοβολταϊκού συστήματος και αποβάλλεται τελικά στο περιβάλλον.

Σε κάθε χαρακτηριστικό τμήμα της γραμμής παραγωγής και μεταφοράς της ηλεκτρικής ενέργειας προσδιορίζεται ο βαθμός αξιοποίησης της διαθέσιμης ενέργειας ή της απόδοσης του, εφόσον αφορά σε ενεργειακή μετατροπή. Οι χρησιμοποιούμενοι συντελεστές θα χαρακτηρίσουν το αίτιο που προκαλεί την απώλεια αυτή ή το τμήμα του συστήματος στο οποίο συμβαίνει ενώ οι συντελεστές απωλειών ενέργειας με τη σειρά τους θα καθοριστούν στα επόμενα τμήματα του συστήματος:

- **α)** Στη φωτοβολταϊκή συστοιχία
- **β)** Στη γραμμή μεταφοράς της ηλεκτρικής ενέργειας
- **γ)** Στις ηλεκτρονικές συσκευές του φωτοβολταϊκού συστήματος
- **δ)** Στους συσσωρευτές

Οι συντελεστές απωλειών ενέργειας στη φωτοβολταϊκή συστοιχία θα προσδιορίσουν την ελάττωση της αποδιδόμενης ηλεκτρικής ενέργειας σε σχέση με αυτήν που προσδιορίζεται από τα χαρακτηριστικά των φωτοβολταϊκών πλαισίων σε πρότυπες συνθήκες λειτουργίας.

➤ Αυτό συμβαίνει εξαιτίας των συγκεκριμένων παραγόντων:

- **α) Του συντελεστή γήρανσης των φωτοβολταϊκών πλαισίων n_p .** Ο οποίος αφορά στη μείωση της απόδοσης των φωτοβολταϊκών πλαισίων στο χρόνο ζωής τους και εκφράζεται συνήθως με το ποσοστό γήρανσης ανά έτος χρήσης. Επίσης προσδιορίζει την ελάττωση της απόδοσης των φωτοβολταϊκών πλαισίων άρα και της ισχύος αιχμής τους, λόγω της γενικότερης αλλοίωσης της φωτοβολταϊκής κυψελίδας ως ενσωματωμένο τμήμα του φωτοβολταϊκού πλαισίου.
- **β) Των οπτικών ενεργειακών απωλειών.** Οι απώλειες αυτές καθορίζονται από την απόκλιση της απόδοσης σε σχέση με αυτή των πρότυπων συνθηκών λόγω των επόμενων αιτιών:
 - Διαφοροποίησης της ανακλαστικότητας του φωτοβολταϊκού πλαισίου σε σχέση με την αντίστοιχη σε **STC**.
 - Επίδρασης της διαφοροποίησης φάσματος της ακτινοβολίας σε σχέση με το AM1,5 (Spectral losses)
 - Απωλειών από την διαφοροποίηση της πόλωσης της προσπίπτουσας-διερχόμενης ηλιακής ακτινοβολίας.
 - Απωλειών λόγω χαμηλών τιμών της πυκνότητας ισχύος της ηλιακής ακτινοβολίας
 - Μείωσης της καθαρότητας όψεως του φωτοβολταϊκού πλαισίου.
- **γ) Της επίδρασης της θερμοκρασίας στην λειτουργία της φωτοβολταϊκής κυψελίδας.** Όπου περιγράφεται η διαφοροποίηση της απόδοσης του φωτοβολταϊκού πλαισίου, λόγω της διαφορετικής θερμοκρασίας λειτουργίας της κυψελίδας σε σχέση με την θερμοκρασία σε πρότυπες συνθήκες (**STC**).

B) Καθορισμός των υποσυστημάτων του φωτοβολταϊκού συστήματος

Στην παράγραφο αυτή μελετάται η ροή της ενέργειας από τη θέση παραγωγής της μέχρι και την κατανάλωση και εξάγονται οι βασικές σχέσεις υπολογισμού του μεγέθους της φωτοβολταϊκής συστοιχίας με βάση τη διατήρηση της ενέργειας. Η μελέτη αυτή αφορά την περίπτωση κάλυψης των ενεργειακών αναγκών της εγκατάστασης με την προϋπόθεση συνεχών αίθριων ημερών. Παρακάτω γίνεται αναφορά σε αυτά τα υποσυστήματα του φωτοβολταϊκού συστήματος.

➤ Τα υποσυστήματα τα οποία θα εξετασθούν είναι:

- **α) Η συσχέτιση παραγόμενης - καταναλισκόμενης ηλεκτρικής ενέργειας σε ένα φωτοβολταϊκό σύστημα (n).** Μέσω αυτής υπολογίζεται ο μέσος συντελεστής απόδοσης, ο συντελεστής απόδοσης για κάποια χρονική στιγμή t , ο οποίος δεν συμπίπτει με τον μέσο συντελεστή και ο μέσος συντελεστής απόδοσης σειράς των διαδοχικών συστημάτων.
- **β) Η ημερήσια παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια (E_{σ}).** Μέσω αυτής υπολογίζεται η ολική ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται, σαν άθροισμα του ενός μέρους της το οποίο καταναλίσκεται άμεσα και του υπόλοιπου που αποθηκεύεται σε ηλεκτρικούς συσσωρευτές (στην περίπτωση μας δεν μας ενδιαφέρει το δεύτερο τμήμα).
- **γ) Η ημερήσια ηλεκτρική ενέργεια φορτίων κατανάλωσης (E_L).** Μέσω αυτής υπολογίζεται η συνολική ημερήσια ηλεκτρική ενέργεια που απαιτούν να στοιχία κατανάλωσης της εγκατάστασης συμπεριλαμβανομένου του πλήθους των φορτίων και των διαστημάτων λειτουργίας τους σε κάθε περίπτωση τροφοδοσίας.
- **δ) Το ενεργειακό ισοζύγιο της ημερήσιας παραγόμενης-καταναλισκόμενης ηλεκτρικής ενέργειας ($E_{\sigma,a}$ $E_{\sigma,e}$ E_{σ}).** Μέσω αυτού υπολογίζεται το άθροισμα των ενεργειών που δίνουν όλα τα φωτοβολταϊκά πλαίσια της κάθε συστοιχίας και στοιχειοσειράς.
- **ε) Οι συντελεστές απωλειών μεταφοράς ενέργειας ($n_{\text{μετ}}$).** Μέσω αυτών υπολογίζεται το πηλίκο της ηλεκτρικής ενέργειας που παρέχεται ημερησίως (μηνιαίως, ετησίως) στο φορτίο στην έξοδο του φωτοβολταϊκού συστήματος της εγκατάστασης, δια την αντίστοιχη παραγόμενη ενέργεια από την φωτοβολταϊκή συστοιχία.
- **ζ) Ο λόγος επίδοσης της φωτοβολταϊκής συστοιχίας καθώς και του φωτοβολταϊκού συστήματος (Performance Ratio **PR**).** Μέσω αυτού υπολογίζεται η σχέση της αποδιδόμενης ηλεκτρικής ενέργειας, προς αυτή που θα μπορούσε να αποδοθεί κάτω από ιδανική λειτουργία του συστήματος, μέσα σε μια ολοκληρωμένη χρονική μονάδα, όπως είναι η μέρα ο μήνας ή το έτος.
- **η) Η αποδοτικότητα της φωτοβολταϊκής συστοιχίας καθώς και ο συντελεστής χρησιμοποίησης (Array Yield Y_{σ} και Capacity Factor **CF**).** Μέσω αυτής υπολογίζεται το πηλίκο της αποδιδόμενης ημερησίως (μηνιαίως ή ετησίως) ηλεκτρικής ενέργειας δια της ισχύος αιχμής της. Αν όμως αντί της ημερήσιας αποδιδόμενης ενέργειας από τη φωτοβολταϊκή συστοιχία τεθεί η ημερήσια ισχύς, τότε προκύπτει ο συντελεστής χρησιμοποίησης ισχύος.

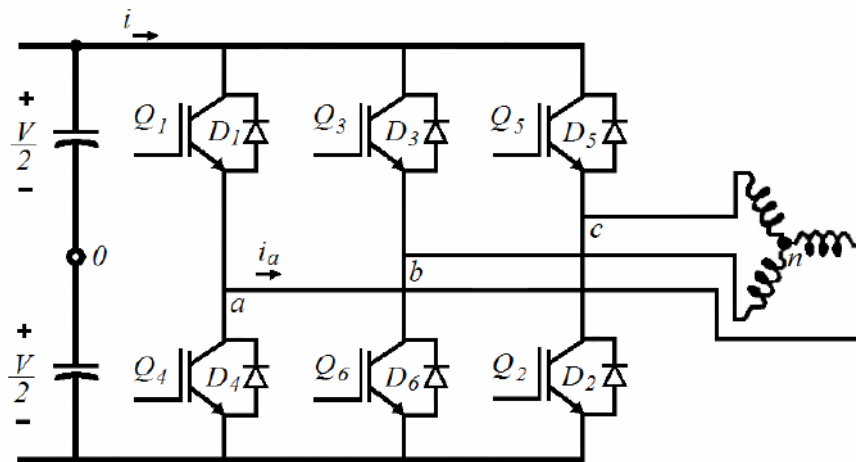
- **ι) Ο συντελεστής απόδοσης της φωτοβολταϊκής συστοιχίας και του φωτοβολταϊκού συστήματος (η_{σ}).** Μέσω αυτού υπολογίζεται το πηλίκο της αποδιδόμενης ηλεκτρικής ενέργειας της φωτοβολταϊκής συστοιχίας και του και του φωτοβολταϊκού συστήματος αντίστοιχα, προς την ημερήσια τιμή της πυκνότητας της ηλιακής ακτινοβολίας στο επίπεδο της φωτοβολταϊκής συστοιχίας, επί το εμβαδόν της επιφάνειάς της. [6]

Όλα τα παραπάνω υποσυστήματα υπολογίζονται με ακρίβεια μέσω συγκεκριμένων φυσικό-μαθηματικών τύπων και έχουν ως απώτερο σκοπό την κάλυψη, με όσο το δυνατόν καλύτερο τρόπο, των ημερήσιων ενεργειακών απαιτήσεων μιας εγκατάστασης.

➤ Τριφασικός αντιστροφέας

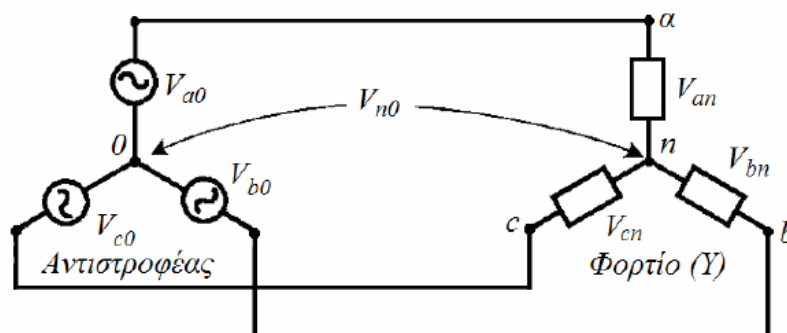
Το κύκλωμα του βασικού τριφασικού αντιστροφέα με τροφοδοσία συνεχούς τάσης παρουσιάζεται στο παρακάτω σχήμα:

A) Σχήμα:



Τάσεις ως προς μεσαία λήψη "0" και ως προς ουδέτερο φορτίου "n"

B) Σχήμα:



Σχ. 4.4.4.1 Τριφασικός αντιστροφέας ΣΡ/ΕΡ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5°

ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΤΟΥ ΥΒΡΙΔΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

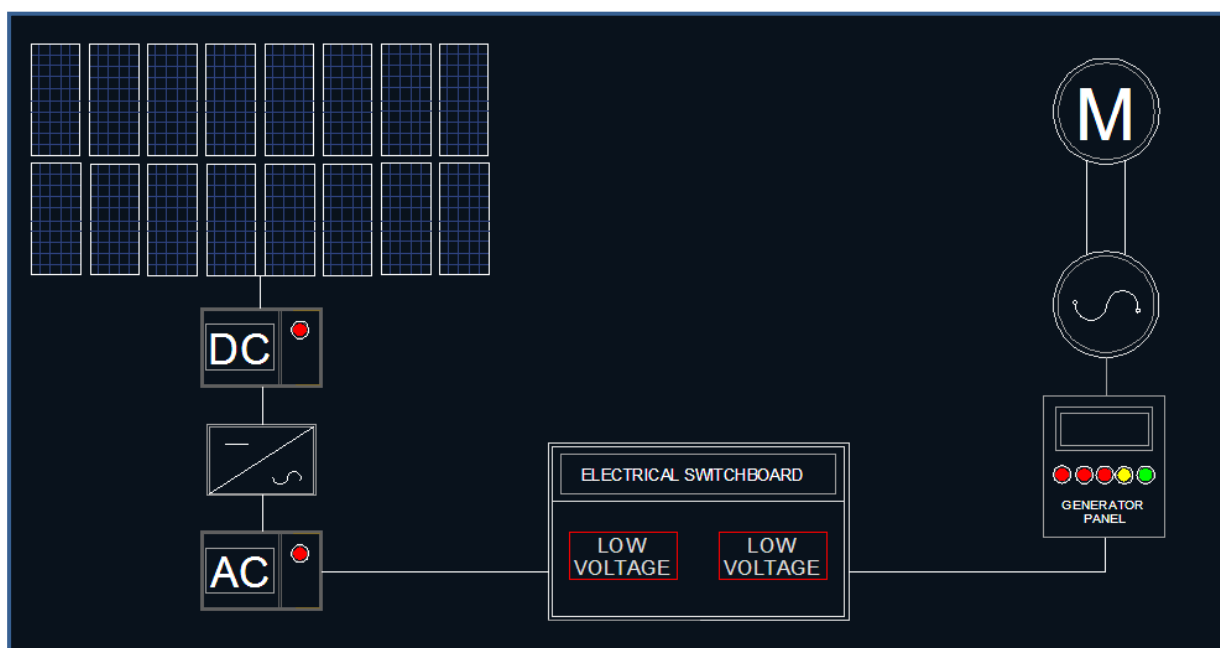
5.1) Δομή του υβριδικού συστήματος

Σε αυτό το κεφάλαιο θα γίνει η ανάλυση πάνω στην εγκατάσταση και στη λειτουργία του καθενός από τα εξεταζόμενα συστήματα (συμβατικό και φωτοβολταϊκό) με σκοπό τη κατανόηση του τρόπου λειτουργίας και χρήσης τους στο βιομηχανικό χώρο εγκατάστασης. Λαμβάνοντας υπόψιν όλες τις παραμέτρους και τους κανονισμούς εγκαταστάσεων που χρησιμοποιούνται και ισχύουν για αυτούς τους χώρους, θα πραγματοποιηθεί μια πλήρης ηλεκτρολογική μελέτη η οποία θα καλύπτει τις ανάγκες όλης της εγκατάστασης. Το σύστημα είναι αυτόνομο, διότι λόγω νομοθεσίας δεν μπορεί να περιέχει γεννήτρια και παράλληλα να είναι συνδεδεμένο με το δίκτυο της ΔΕΗ. Ο βιομηχανικός χώρος έχει εμβαδόν **800 m²**.

Το υβριδικό σύστημα που θα εξεταστεί αποτελεί ένα συνδυασμό δύο διαφορετικών συστημάτων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Το πρώτο αποτελεί ένα συμβατικό σύστημα αποτελούμενο από ένα ζεύγος μιας γεννήτριας και ενός κινητήρα **diesel (H/Z)** συνδεδεμένα με το πίνακα της γεννήτριας. Το δεύτερο αποτελεί ένα φωτοβολταϊκό σύστημα αποτελούμενο συγκεκριμένα, από τους φωτοβολταϊκούς συλλέκτες (**panels**) τοποθετημένους σε 12 στοιχειοσειρές, τρεις αντιστροφείς (**inverter**), τρεις πίνακες συνεχούς ρεύματος (**DC**) καθώς και από τρεις πίνακες εναλλασσομένου ρεύματος (**AC**). Κάθε ένας από τους πίνακες και τους αντιστροφείς αντιστοιχεί σε 4 στοιχειοσειρές πάνελ. Τα δύο συστήματα αυτά ελέγχονται από ένα γενικό πίνακα χαμηλής τάσης (**Γ.Π.Χ.Τ**) ο οποίος ελέγχει την αυτόνομη ή τη παράλληλη λειτουργία των δύο αυτών συστημάτων αυτών όποτε χρειάζεται.

Το παρακάτω σχήμα είναι σχεδιασμένο σε **AutoCAD 2012** και αποτελεί το σχετικό block-διάγραμμα που απεικονίζει την δομή του υβριδικού συστήματος που εξετάζεται:

- **Block – Διάγραμμα:**



Όπως παρατηρείται στο παραπάνω σχήμα (για μια στοιχειοσειρά) στο φωτοβολταϊκό σύστημα τα φωτοβολταϊκά τροφοδοτούνται με ρεύμα μέσω ενός πίνακα συνεχούς ρεύματος. Στη συνέχεια της γραμμής υπάρχει ένας αντιστροφέας ο οποίος μετατρέπει το συνεχές ρεύμα σε εναλλασσόμενο και τελικά μέσω του πίνακα εναλλασσομένου ρεύματος η γραμμή καταλήγει στο γενικό πίνακα χαμηλής τάσης.

5.1.1) Λειτουργία υβριδικού συστήματος

Σε αυτό το σημείο θα γίνει μια περιγραφή της λειτουργίας όλου του συστήματος μέσω της επιλογής των μεγεθών της ισχύος των δύο συστημάτων για τη σωστή και ασφαλή λειτουργία της εγκατάστασης.

Η συνολική εγκατεστημένη ισχύς στο βιομηχανικό χώρο θα είναι **100KW**, οι κατά μέσο όρο συνολικά (σε ισχύ) ημερήσιες απαιτήσεις της εγκατάστασης δεν μπορεί να είναι λοιπόν όσο το σύνολο της εγκατεστημένης ισχύος (**100KW**). Κατά προσέγγιση θα είναι (χωρίς να αποτελεί σταθερό στοιχείο) γύρω στα **50 KW - 70KW**, με εξαίρεση βεβαίως τις περιπτώσεις αυξημένης ζήτησης σε ισχύ, που υπάρχουν σε ώρες αιχμής μέσα στην ημέρα, κάτι ιδιαίτερα συμβατό σε τέτοιου είδους εγκαταστάσεις. Για το λόγο αυτό λοιπόν επιλέγεται η ισχύς του ηλεκτροπαραγωγού ζεύγους να είναι **80KW** και του φωτοβολταϊκού συστήματος **60KW**.

Όπως γίνεται αντιληπτό ο συνδυασμός των δυο συστημάτων καλύπτει σε ισχύ τις ανάγκες της εγκατάστασης, ακόμα και σε ώρες αιχμής όπου η ζήτηση είναι αυξημένη.

- Κατά την λειτουργία του υβριδικού συστήματος η διαδικασία ακολουθείται ως εξής:

A) Κατά τη διάρκεια της ημέρας κάθε ένα τα **φωτοβολταϊκά πάνελ** απορροφούν την ηλιακή ενέργεια μετατρέποντάς την σε ηλεκτρική, όχι ακόμα έτοιμη όμως για χρήση στις καταναλώσεις τις εγκατάστασης. Τις νυχτερινές ώρες λειτουργεί αποκλειστικά το Η/Ζ.

B) Η ενέργεια αυτή με τη μορφή ηλεκτρικού ρεύματος μεταφέρεται στους **πίνακες συνεχούς ρεύματος (DC)** της εγκατάστασης, οι οποίοι είναι εξοπλισμένοι με όλα τα απαραίτητα στοιχεία για ασφαλή διακοπή και χρήση. Σε κάθε πίνακα αντιστοιχούν τέσσερις σειρές πλαισίων.

Γ) Οι πίνακες αυτοί με τη σειρά τους διανέμουν την ηλεκτρική ενέργεια μέσω καλωδίωσης, σε ηλεκτρονικές διατάξεις τους **αντιστροφείς (inverters)**, τρεις στον αριθμό και με ισχύ **20KW** έκαστος, οι οποίοι μετατρέπουν το συνεχές ρεύμα σε εναλλασσόμενο (AC) και έτοιμο για χρήση.

Δ) Οι αντιστροφείς στη συνέχεια μεταφέρουν την ηλεκτρική ενέργεια στους **πίνακες εναλλασσομένου ρεύματος (AC)**, οι οποίοι είναι εξοπλισμένοι με όλα τα απαραίτητα διακοπτικά στοιχεία και στοιχεία ασφάλειας για τον έλεγχο της εγκατάστασης.

Ε) Στο **ηλεκτροπαραγωγό ζεύγος** ο κινητήρας τροφοδοτείται με πετρέλαιο (diesel) και σε συνδυασμό με την γεννήτρια παράγουν ηλεκτρικό ρεύμα σε μορφή εναλλασσομένου και έτοιμου για χρήση. Η λειτουργία του Η/Ζ ελέγχεται μέσω του πίνακα της γεννήτριας.

Στ) Τέλος, οι πίνακες εναλλασσομένου ρεύματος, όπως και το Η/Ζ τροφοδοτούν το **γενικό πίνακα χαμηλής τάσης**, ο οποίος είναι επίσης εξοπλισμένος με τα κατάλληλα στοιχεία για ασφαλή χρήση. Μέσω αυτού επιτυγχάνεται ο έλεγχος της λειτουργίας των δύο συστημάτων καθώς και για την διακοπή της λειτουργίας όλου του συστήματος εάν αυτό κριθεί αναγκαίο.

Μέσω αυτών των βημάτων παραπάνω λοιπόν εξηγείται η λειτουργία του υβριδικού συστήματος με περιεκτικό τρόπο, ώστε να γίνει κατανοητό.

Παρακάτω γίνεται συγκεκριμένη ανάλυση όλων των επιμέρους τμημάτων του υβριδικού συστήματος, καθώς και των χαρακτηριστικών που τα απαρτίζουν.

5.2) Συμβατικό σύστημα

Η συνολική ηλεκτρική ισχύς του συμβατικού συστήματος ηλεκτροπαραγωγής (H/Z) είναι **80 KW**. Ο πετρελαιοκινητήρας είναι κατασκευασμένος μέσω της γνωστής εταιρίας **Perkins**, ενώ η ηλεκτρογεννήτρια μέσω της εταιρίας **Leroy- Somer**. Η κατασκευαστική εταιρία όλου του ηλεκτροπαραγωγού ζεύγους είναι η **Petrogen**. Το ζεύγος είναι ανοικτού τύπου, διότι ο βιομηχανικός χώρος αυτός δεν βρίσκεται κοντά σε κατοικημένη ζώνη. Έτσι δεν υπάρχει πρόβλημα με τον δυνατό ήχο που εκπέμπει. Παρακάτω ακολουθεί η ανάλυση του συμβατικού συστήματος.

5.2.1) Γεννήτρια - Κινητήρας diesel (H/Z)

Εφόσον η συνολική εγκατεστημένη ισχύς είναι στα **100KW** η ηλεκτρογεννήτρια που θα χρησιμοποιηθεί πρέπει να έχει ηλεκτρική πραγματική ισχύ **80KW** και φαινόμενη ισχύ **88KVA** με ($\cos\phi = 1$) για να μπορέσει να καλύψει την ανάγκη για παροχή ηλεκτρικού ρεύματος στο χώρο είτε λειτουργώντας αυτόνομα ή σε συνδυασμό με το φωτοβολταϊκό σύστημα όποτε αυτό χρειαστεί.

Το **H/Z** είναι συμπαγούς κατασκευής με ενιαία μεταλλική βάση ανοικτού τύπου με υψηλές προδιαγραφές και ποιότητα. Αποτελείται από τον πετρελαιοκινητήρα και γεννήτρια που συνδέονται ομοαξονικά, μέσω ενός εύκαμπτου μεταλλικού συνδέσμου και αποτελούν ένα ενιαίο και δυναμικά ζυγοσταθμισμένο συγκρότημα. Το συγκρότημα κινητήρας-γεννήτρια εδράζει μέσω ελαστικών αντικραδασμικών βάσεων πάνω σε ένα ισχυρό χαλύβδινο πλαίσιο (βάση του H/Z) στο οποίο είναι ενσωματωμένη δεξαμενή καυσίμου. Είναι παραγωγής ευφήμως γνωστού εργοστασίου, κατασκευασμένο όπως και δοκιμασμένο σύμφωνα με αυστηρούς διεθνώς αναγνωρισμένους κανονισμούς και φέρει σήμανση **C.E.** (Ευρωπαϊκή Ένωση) βάσει της οδηγίας της Κομισιόν 73/23.

Το **H/Z** είναι πλήρως συρματωμένο και με τον πίνακα του τοποθετημένο πάνω στη μεταλλική βάση, η οποία με τη σειρά της εδράζει στη βάση του **H/Z**. Στην ίδια μεταλλική βάση βρίσκεται τοποθετημένο ένα μεταλλικό ερμάριο μέσα στο οποίο βρίσκεται ένας κατάλληλης ισχύος αυτόματος διακόπτης για την προστασία της γεννήτριας (**CIRCUIT BREAKER**) από υπερφόρτιση και βραχυκύκλωμα.

Το **H/Z** διασφαλίζεται με την πιστοποίηση **ISO 9001** του κατασκευαστή που αφορά τον σχεδιασμό και την κατασκευή ηλεκτροπαραγωγών ζευγών και παραδίδεται με το απαραίτητο πιστοποιητικό δοκιμών. Έτσι λοιπόν το **H/Z** φέρει αναλυτικά ενσωματωμένα τα παρακάτω μέρη, όπως και παρελκόμενα:

- Την ηλεκτρογεννήτρια.
- Τον πετρελαιοκινητήρα.
- Το ψυγείο του πετρελαιοκινητήρα ειδικής κατασκευής για διάφορα κλίματα.
- Τον ειδικό σύνδεσμο ζεύξεως και τον συνδεσμοθάλαμο
- Την ειδική χαλύβδινη συγκολλητή βάση με τα παρακάτω μέρη:

- Κατάλληλα στηρίγματα απόσβεσης ταλαντώσεων που θα παρεμβάλλονται μεταξύ του συγκροτήματος κινητήρα / γεννήτρια και της βάσης, για ικανοποιητική λειτουργία και συμπεριφορά ως ευσταθές σύστημα σε τυχόν διαταραχές του δικτύου όπως: απότομες ζεύξεις ή αποζεύξεις φορτίων και βραχυκυκλώματα.
 - Τους συσσωρευτές για την εκκίνηση του ζεύγους με τους ακροδέκτες και τα καλώδιά τους.
 - Το ντεπόζιτο πετρελαίου
 - Τον αυτόματο ρυθμιστή τάσης
 - Τη σήμανση **C.E.** της Ευρωπαϊκής Ένωσης
- Ένας τέτοιος τύπος ηλεκτροπαραγωγού ζεύγους (**H/Z**) με αυτά τα χαρακτηριστικά που θα χρησιμοποιηθεί στην εγκατάσταση έχει την εξής εμφάνιση όπως παρουσιάζεται στην παρακάτω εικόνα:



Σχ. 5.2.1.1 Ηλεκτροπαραγωγό Ζεύγος Ανοιχτού Τύπου 80 KW/88KVA

5.2.2) Λειτουργία συμβατικού συστήματος (H/Z)

A) Τεχνικά χαρακτηριστικά και λειτουργία γεννήτριας:

Η γεννήτρια είναι τετραπολική, σύγχρονη, αυτορυθμιζόμενη και αυτοδιεγερόμενη. Η ζεύξη με τον κινητήρα γίνεται μέσω συστήματος εύκαμπτων μεταλλικών δίσκων (**flexible disc coupling**). Ο ρότορας της γεννήτριας είναι δυναμικά ζυγοσταθμισμένος και ελεύθερος από δονήσεις. Περιστρέφεται μέσω του μπροστινού εδράνου και αυτολιπαινόμενου τριβέως μεγάλης διάρκειας ζωής, κλειστού τύπου, που βρίσκεται στο πίσω μέρος της γεννήτριας (**single bearing type**). Η μόνωση των τυλιγμάτων του στάτη και του ρότορα ανταποκρίνονται στην κλάση μονώσεως **H** και ο βαθμός προστασίας του κελύφους της γεννήτριας είναι **IP23**. Η συνδεσμολογία των τυλιγμάτων είναι κατ' αστέρα με τον ουδέτερο απ' ευθείας γειωμένο. Η γεννήτρια είναι αυτοδιεγερόμενου τύπου, χωρίς ψήκτρες. Η διέγερση επιτυγχάνεται μέσω ανορθωτικής γέφυρας που περιλαμβάνει 6 διόδους και διάταξη προστασίας, μέσω **varistor**, έναντι αιφνίδιων υπερεντάσεων και υπερτάσεων. Η τάση εξόδου της αυτορυθμίζεται μέσω

ενός ηλεκτρονικού αυτόματου ρυθμιστή τάσης (**AVR**). Ο αυτόματος ρυθμιστής τάσης διαθέτει ενσωματωμένη διάταξη προστασίας σε περίπτωση παρατεταμένης υπερδιέγερσης που είναι πιθανόν να οφείλεται σε εσωτερική ή εξωτερική αιτία. Επίσης διαθέτει διάταξη αντιπαρασιτικής προστασίας που ανταποκρίνεται στα πρότυπα BS 800 & VDE κλάση G & N και η σχεδίαση της, είναι τέτοια που τα ηλεκτρικά της χαρακτηριστικά να συμφωνούν με τα πρότυπα BS 5000 Part 99, IEC 24-1, VDE 530, UTE 51100 & NEMA MG 122.

Μέσω των χαρακτηριστικών αυτών προκύπτει ότι η ισχύς του πετρελαιοκινητήρα του ζεύγους πρέπει να είναι αναλογικά στους **120 ίππους (Hp)**, επαρκής ισχύς για την περιστροφή της γεννήτριας σε πλήρες φορτίο και κατασκευασμένος για εφαρμογή σε ηλεκτροπαραγωγό ζεύγος. Ο πετρελαιοκινητήρας είναι τετράχρονος, υδρόψυκτος. Τα χιτώνια των κυλίνδρων είναι εύκολα αντικαθιστούμενα (αφαιρετού τύπου) φυγοκεντρικά χυτευμένα και θερμικά σκληρωμένα και ανοπτημένα. Οι στροφές του κινητήρα είναι: **1500rpm** , ενώ η αναπνοή του κινητήρα είναι φυσική/TURBO.

B) Τεχνικά χαρακτηριστικά και λειτουργία κινητήρα:

Ο πετρελαιοκινητήρας είναι **120 Hp** διαθέτει φίλτρο αέρος ξηρού τύπου εφοδιασμένο με δείκτη στραγγαλισμού (για την περίπτωση φραγής του φίλτρου) που χρησιμεύει για την έγκαιρη αντικατάσταση του για την προστασία του κινητήρα κατά την λειτουργία σε δυσμενείς συνθήκες περιβάλλοντος. Επίσης είναι εξοπλισμένος με ανυψωτική αντλία (**lift pump**) πετρελαίου και με αντλία εγχύσεως πετρελαίου (**injection pump**). Τα φίλτρα πετρελαίου είναι εύκολα αντικαθιστούμενα. Η ψύξη του γίνεται με κυκλοφορία του ψυκτικού υγρού στο ψυγείο από αντλία νερού που παίρνει κίνηση από τον κινητήρα. Το ψυγείο είναι σχεδιασμένο για λειτουργία σε τροπικά κλίματα και ψύχεται από τον ανεμιστήρα που ωθεί τον αέρα με φορά από τον κινητήρα προς το ψυγείο. Όλα τα κινητά μέρη (ιμάντες, τροχαλίες) είναι πλήρως προστατευμένα με κατάλληλους μεταλλικούς προφυλακτήρες. Η αντλία λαδιού είναι γραναζωτή και στέλνει το λαδί υπό πίεση στα κύρια έδρανα, πείρο στρόφαλο, πιστόνια, βαλβίδες κλπ. Το φίλτρο λαδιού είναι συνεχούς φιλτραρίσματος, υπάρχει δε κατάλληλος ψύκτης λαδιού ψυχόμενος από το νερό του κινητήρα. Ο κινητήρας είναι εξοπλισμένος με ηλεκτρικό εκκινητή 12V, (24V). Ενεργοποιείται αυτόματα μετά από διακοπή του δικτύου ΔΕΗ, όταν το **H/Z** διαθέτει πίνακα αυτόματου λειτουργίας ή χειροκίνητα μέσω διακόπτου-κλειδί όταν έχει επιλέγει από τον πίνακα χειροκίνητη λειτουργία. Ο οδοντωτός τροχός του εκκινητή αποσυμπλέκεται αυτόματα μετά την εκκίνηση της μηχανής. Τέλος, είναι επίσης εξοπλισμένος με εναλλακτήρα 12V, (24V) που παίρνει κίνηση από τον κινητήρα και φορτίζει, κατά την λειτουργία του, τον συσσωρευτή του H/Z. Επίσης περιλαμβάνει και βιομηχανικό αποσιωπητήρα βαρέως τύπου.

➤ Γείωση συστήματος:

Η γείωση του συστήματος θα είναι θεμελιακή και θα αποτελείται από ταινία χαλύβδινη, θερμά επιψευδαργυρωμένη, διατομής 3,5x30mm συνδεδεμένη με τον οπλισμό του κτιρίου και θα αποτελεί ένα δακτύλιο τοποθετημένο περιμετρικά στα θεμέλια του κτιρίου.

Η ταινία των εγκάρσιων βρόγχων τοποθετείται πάνω σε ειδικούς ορθοστάτες (πασαλάκια) καρφωμένους ανά 2m στο μπετόν καθαριότητας και στα σημεία όπου θα κατασκευασθούν τα συνδετήρια δοκάρια - πεδίλων, τοιχία θεμελίωσης. Η τοποθέτηση της ταινίας θα γίνει επί του οπλισμού των θεμελίων με την μεγάλη της διάσταση κατακόρυφη στο έδαφος συσφιγγόμενη επ' αυτού με ειδικούς σφικτήρες ανά 2m. Η ταινία τοποθετείται με το πέρασ των εργασιών οπλισμού και πριν την έγχυση του σκυροδέματος. Πρέπει να τονισθούν ότι βάση των κανονισμών **KEHE** το ελάχιστο πάχος επικάλυψης της ταινίας με σκυρόδεμα

είναι 10cm, προκειμένου να αποφευχθεί κάθε πιθανότητα διάβρωσης. Η επιμήκυνση της ταινίας καθώς και η σύνδεση της αρχής και του τέλους της δεν πρέπει να γίνεται με κοχλίες και περικόχλια διανοίγοντας οπές σε αυτή, αλλά με ειδικό σύνδεσμο-σφικτήρα θερμά επιψευδαργυρωμένο. Στο χώρο θα υπάρχουν τουλάχιστον δύο αναμονές από την θεμελιακή γείωση. Σε κάθε αναμονή θα χρησιμοποιηθεί μία επίτοιχη υποδοχή γείωσης INOX. Η σύνδεση της υποδοχής με την ταινία γείωσης πραγματοποιείται μέσω αγωγού Φ10 St/tZn και διπλό σφικτήρα St/tZn. Όλη η εγκατάσταση θεμελιακής γείωσης θα είναι σύμφωνη με το πρότυπο **ΕΛΟΤ HD 384** και τους σχετικούς κανονισμούς της ΔΕΗ. [13],[14]

➤ **Η εγκατάσταση αντικεραυνικής προστασίας:**

Θα ικανοποιεί τα ακόλουθα πρότυπα:

- Ευρωπαϊκό πρότυπο ΕΛΟΤ EN 62305-3 :2006 protection against lightning, physical damage to structures and life hazard

- Ελληνικό πρότυπο ΕΛΟΤ 1412 Προστασία κατασκευών από κεραυνούς – Οδηγία Α : Εκτίμηση κινδύνου κεραυνοπληξίας και επιλογή επιπέδου προστασίας συστήματος αντικεραυνικής προστασίας.

Τα προϊόντα αντικεραυνικής προστασίας ικανοποιούν τα πρότυπα ΕΛΟΤ EN50164-1 και ΕΛΟΤ EN50164-2.

Το Σύστημα Αντικεραυνικής Προστασίας (**ΣΑΠ**) κλωβού θα αποτελείται από :

- συλλεκτήριο σύστημα, αποτελούμενο από αγωγούς και ακίδες συλλογής
- αγωγούς καθόδου
- σύστημα γείωσης

Ειδικές διατάξεις κρουστικών υπερτάσεων θα τοποθετηθούν στην άφιξη του παροχικού καλωδίου του αντλιοστασίου.

Το σύστημα γείωσης θα συνδεθεί με την θεμελιακή γείωση. [13],[14]

- Στην παρακάτω εικόνα παρουσιάζεται ένα ηλεκτροπαραγωγό ζεύγους (**H/Z**) με τα ίδια χαρακτηριστικά από διαφορετική εταιρία κατασκευής όμως :



Σχ. 5.2.2.1 Ηλεκτροπαραγωγό Ζεύγος Ανοιχτού Τύπου 80 KW/88 KVA

➤ Πίνακας τεχνικών χαρακτηριστικών ηλεκτροπαραγωγού ζεύγους **88 KVA**:

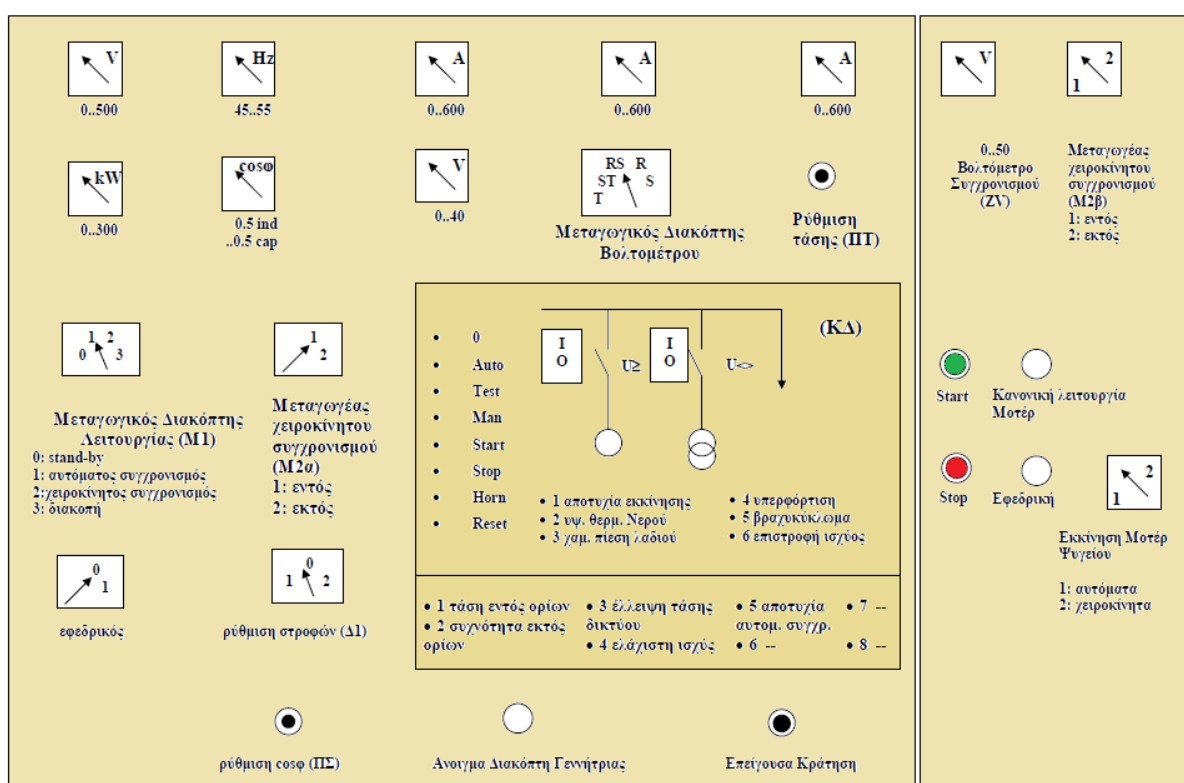
Κατασκευαστής	:	PETROGEN
Τύπος (μοντέλο) προσφερόμενου συστήματος	:	P88E
Ισχύς συνεχούς λειτουργίας	:	80 KVA
Ισχύς εφεδρικής λειτουργίας	:	88 KVA
Κατασκευαστής πετρελαιοκινητήρα	:	PERKINS
Τύπος πετρελαιοκινητήρα	:	1104A-44TG2
Στροφές	:	1500 rpm
Μέγιστη εφεδρική ισχύς κινητήρα	:	108 bhp (80 KW)
Αριθμός και διάταξη κυλίνδρων	:	4 Έν Σειρά
Κυλινδρισμός	:	4,4 Λίτρα
Αναπνοή κινητήρα	:	TURBO
Κατανάλωση καυσίμου σε πλήρες φορτίο	:	18 Λίτρα/Ωρα
Αέρας ψύξης κινητήρα	:	121,2(κυβ.μ./λεπτό)
Αέρας καύσης κινητήρα	:	5,1 (κυβ.μ./λεπτό)
Κατασκευαστής γεννήτριας	:	LEROY-SOMER
Τύπος γεννήτριας	:	LL2014L
Κλάσης Μονώσεως	:	Κλάση Η
Ρυθμιστής τάσεως γεννήτριας	:	Ηλεκτρονικός
Ρεύμα	:	3Φ, 230/400 V
Συχνότητα	:	50 Hz
Τάση συσσωρευτού	:	12 V DC
Λίτρα ενσωματωμένης δεξαμενής καυσίμου	:	220 Λίτρα
Διαστάσεις Μ Χ Π Χ Υ	:	1925 x 1120 x 1361 mm
Βάρος (πλήρες με νερό, λάδι)	:	1120 kg

5.2.3) Γενικός πίνακας γεννήτριας

Ο πίνακας ελέγχου και αυτοματισμού είναι εγκατεστημένος πάνω στο ενιαίο πλαίσιο όπου εδράζει το Η/Ζ και αποτελείται από τα παρακάτω μέρη:

- Το πεδίο ενδείξεων, λειτουργίας, αυτοματισμών και το πεδίο προστασίας της γεννήτριας (επί του Η/Ζ).
- Το επικουρικό σύστημα συντηρητικής φόρτισης των συσσωρευτών μέσω της ΔΕΗ.
- Τους απαραίτητους διακόπτες, ακροδέκτες και τις ασφάλειες για τα κύρια και βοηθητικά κυκλώματα των συσκευών του Η/Ζ με τις απαιτούμενες καλωδιώσεις του πίνακα.

Στο παρακάτω σχέδιο απεικονίζεται ο πίνακας ελέγχου και αυτοματισμού επί του Η/Ζ:



Σχ. 5.2.3.1 Πίνακας ελέγχου και αυτοματισμού επί του Η/Ζ [16]

Ο πίνακας περιλαμβάνει τις ακόλουθες προστασίες με αυτόματη κράτηση του Η/Ζ και ενδείξεις κατάστασης λειτουργίας και συναγερμών:

➤ Προστασίες με αυτόματη κράτηση του Η/Ζ

- Προστασία χαμηλής πίεσης λαδιού
- Προστασία υψηλής θερμοκρασίας νερού
- Προστασία αποτυχίας εκκίνησης
- Προστασία υπερτάχυνσης μηχανής
- Προστασία υποστροφίας μηχανής

- Προστασία αποτυχίας φορτιστού μπαταρίας
- Ενδεικτική Λυχνία για τα ανωτέρω σφάλματα
- Ενδεικτική λυχνία κατάστασης λειτουργίας του H/Z «όχι σε αυτόματη λειτουργία»

➤ **Επιλογικοί διακόπτες λειτουργίας:**

- Χειροκίνητη - αυτόματη - εκτός Μπουτόν επείγουσας στάσης (STOP)

➤ **Ψηφιακές ενδείξεις των ηλεκτρικών και μηχανικών παραμέτρων H/Z:**

- Όργανο πίεσης λαδιού κινητήρα (Ψηφιακή Ένδειξη)
- Όργανο θερμοκρασίας νερού κινητήρα (Ψηφιακή Ένδειξη)
- Όργανο τάσης της μπαταρίας του H/Z (Ψηφιακή Ένδειξη)
- Πολική φάση της γεννήτριας (Ψηφιακή Ένδειξη)
- Φασική τάση της γεννήτριας (Ψηφιακή Ένδειξη)
- Ρεύμα ανά φάση (Ψηφιακή Ένδειξη)
- Συχνότητα λειτουργίας (Ψηφιακή Ένδειξη)
- Στροφές κινητήρα (Ψηφιακή Ένδειξη) και Ώρες λειτουργίας (Ψηφιακή Ένδειξη)

➤ **Τέλος ο πίνακας ελέγχου και αυτοματισμού δίνει ακόμη τις εξής δυνατότητες:**

- Φορτιστής συντηρητικής φόρτισης
- Καταγραφή των τελευταίων βλαβών

Όλες οι συνδέσεις των βοηθητικών κυκλωμάτων του πίνακα αυτομάτου λειτουργίας με τα εξαρτήματα του πεδίου ισχύος (δηλ. επιτηρητής τάσεως δικτύου και αυτόματος διακόπτες ισχύος) γίνονται στην κλεμοσειρά εξόδου του πίνακα αυτομάτου λειτουργίας.

Όλες οι καλωδιώσεις των βοηθητικών κυκλωμάτων είναι κατάλληλα σημασμένες ώστε να υπάρχει απόλυτη αντιστοιχία με τις αντίστοιχες καλωδιώσεις των βοηθητικών κυκλωμάτων του πεδίου ισχύος. Στην ίδια κλεμοσειρά του πίνακα αυτομάτου λειτουργίας γίνεται η σύνδεση των καλωδίων φάση δικτύου/ουδέτερος για την τροφοδοσία του φορτιστού συντηρητικής φορτίσεως συσσωρευτών.

Όλες οι συνδέσεις του τμήματος ισχύος (προς τον αυτόματο διακόπτη πλευράς H/Z στο πεδίο ισχύος) γίνονται στα άκρα του αυτόματου διακόπτη προστασίας της γεννήτριας (**circuit breaker**), ο οποίος είναι εγκατεστημένος επί του H/Z και είναι συνδεδεμένος με τα άκρα εξόδου της γεννήτριας.

Η αλληλοσύνδεση των βοηθητικών κυκλωμάτων του πίνακα αυτομάτου λειτουργίας καθώς και του τμήματος ισχύος είναι έργο εκείνου που αναλαμβάνει την εγκατάσταση του H/Z και γίνεται σύμφωνα με τα ηλεκτρολογικά σχέδια αλληλοσυνδέσεως που το συνοδεύουν.

Ο πίνακας αυτομάτου μεταγωγής φορτίων από την ΔΕΗ στο H/Z και αντίστροφα δεν συνοδεύει το H/Z και περιλαμβάνεται, ως ξεχωριστό πεδίο, στην κατασκευή του Γενικού Πίνακα Χαμηλής Τάσης.

Εφόσον ολοκληρώσαμε την ανάλυση του συμβατικού συστήματος πάμε να αναλύσουμε σε αυτό το σημείο το δεύτερο σύστημα, δηλαδή το φωτοβολταϊκό σύστημα.

5.3) Φωτοβολταϊκό σύστημα

Κατά την εγκατάσταση του φωτοβολταϊκού συστήματος *δεν θα υπάρξει προσθήκη συσσωρευτών στο σύστημα*. Αυτό συμβαίνει διότι, επειδή οι ανάγκες για ηλεκτρική ενέργεια της βιομηχανίας κατά την διάρκεια μιας ημέρας είναι πολύ περισσότερες συγκριτικά με μια απλή κατοικία, δεν υπάρχει η ανάγκη οποιασδήποτε συσσωρευσης ηλεκτρικής ενέργειας και προτιμάται η απευθείας κατανάλωσή της. Επίσης το υβριδικό σύστημα που εξετάζεται αποτελείται κατά το ήμισυ από ένα ηλεκτροπαραγωγό ζεύγος, το οποίο θα μπορεί να καλύψει ανά πάσα στιγμή οποιαδήποτε αδυναμία παρουσιάσει το φωτοβολταϊκό σύστημα στην παροχή ηλεκτρικής ενέργειας, στις καταναλώσεις, κατά την διάρκεια λειτουργίας του.

Η συνολική ηλεκτρική ισχύς του φωτοβολταϊκού συστήματος ηλεκτροπαραγωγής είναι **60KW**. Η εγκατάσταση των φωτοβολταϊκών πλαισίων θα πραγματοποιηθεί εξωτερικά του βιομηχανικού κτηρίου, διότι ο αριθμός των πάνελ είναι μεγάλος ώστε να εγκατασταθεί στην οροφή του (εμβαδόν **800 m²**). Επιπλέον η συντήρηση τους μπορεί να πραγματοποιηθεί με μεγαλύτερη ευκολία στο έδαφος. Η εγκατάσταση του **inverter** και των πινάκων θα πραγματοποιηθεί εντός του κτηρίου για λόγους καθαρότητας αυτών. Παρακάτω γίνεται ανάλυση του φωτοβολταϊκού συστήματος.

5.3.1) Φωτοβολταϊκοί συλλέκτες

Το φωτοβολταϊκό σύστημα θα μπορεί λόγω της ισχύος του να καλύψει την ανάγκη για παροχή ηλεκτρικού ρεύματος στο χώρο είτε λειτουργώντας αυτόνομα ή σε συνδυασμό με το συμβατικό σύστημα όποτε αυτό χρειαστεί. Κάθε στοιχειοσειρά έχει μέγιστη ηλεκτρική ισχύ **5KW**, οπότε στην εγκατάσταση αυτή θα τοποθετηθούν 12 στοιχειοσειρές χωρισμένες σε τρεις ομάδες των τεσσάρων σειρών η κάθε μια. Η ισχύς του κάθε πάνελ ποικίλει ανάλογα με τον τύπο, τη μάρκα, το κόστος και την επιφάνεια του, και ενδεικτικά κυμαίνεται από 140W έως 240W. Τα φωτοβολταϊκά πλαίσια που θα χρησιμοποιηθούν είναι της σειράς **S19** της γνωστής εταιρίας κατασκευής **aleo** με τάση κάθε φωτοβολταϊκού πλαισίου στα **30V** και ισχύ στα **230 W**. Κάθε ομάδα πλαισίων θα τροφοδοτείται από ένα πίνακα συνεχούς ρεύματος, ένα πίνακα εναλλασσομένου ρεύματος και από έναν αντιστροφέα των **20KW**.

➤ Η εγκατάσταση των φωτοβολταϊκών πάνελ περιλαμβάνει τα εξής στάδια:

α) Σχεδιασμό της εγκατάστασης, β) Μηχανική εγκατάσταση, γ) Ηλεκτρική εγκατάσταση και βεβαίως δ) Συντήρηση.

A) Σχεδιασμός της εγκατάστασης

- **Επιλογή τοποθεσίας:**

Για τη σχεδιαζόμενη φωτοβολταϊκή εγκατάσταση, η επιλογή της τοποθεσίας των πάνελ θα είναι τέτοια ώστε να υπάρχει όσο το δυνατόν καλύτερη έκθεση στην ηλιακή ακτινοβολία. Επίσης πρέπει να ληφθούν υπόψη οι αλλαγές στις συνθήκες φωτισμού από πλευράς ηλιακής ακτινοβολίας κατά τη διάρκεια όλου του χρόνου. Η επιλογή της τοποθεσίας θα είναι τέτοια ώστε τη μικρότερη μέρα του χρόνου τα φωτοβολταϊκά πάνελ να βρίσκονται εκτεθειμένα στον Ήλιο χωρίς σκιάσεις από τις 9 πμ. έως τις 3 μμ. στην τοπική ώρα ηλιοφάνειας. Ενώ θα αποφευχθούν οι τοποθεσίες στις οποίες προκύπτουν συστηματικές σκιάσεις κατά την διάρκεια της ημέρας και όλου του χρόνου από «γειτονικά» αντικείμενα.

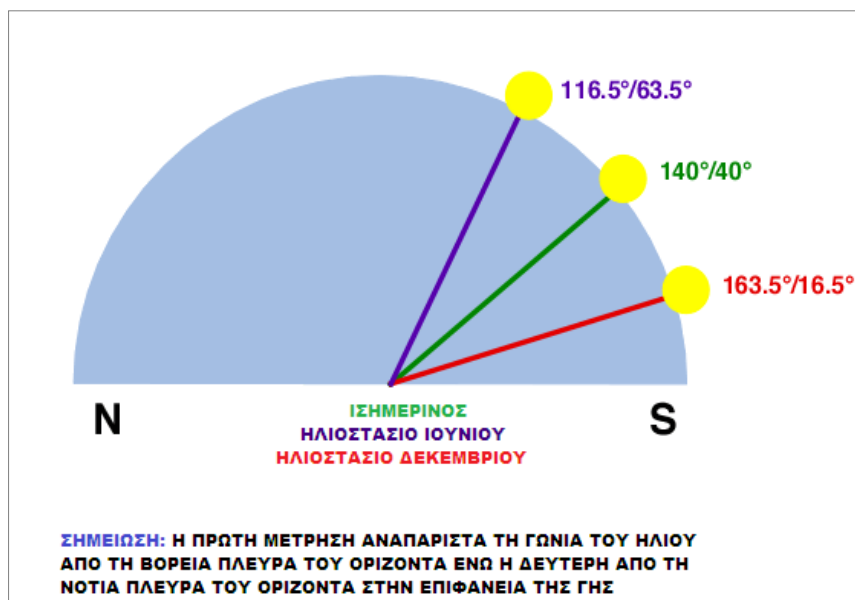
- **Προσανατολισμός (αζιμούθιο):**

Η εγκατάσταση των φωτοβολταϊκών πάνελ θα γίνει βάση προσανατολισμού για τον Ελλαδικό χώρο δηλαδή, στο βόρειο ημισφαίριο με νότιο προσανατολισμό ενώ στο νότιο ημισφαίριο με βόρειο προσανατολισμό. Αυτός ο προσανατολισμός εξασφαλίζει στις περισσότερες των περιπτώσεων την υψηλότερη απόδοση. Υπάρχει βέβαια και μια ιδιαιτερότητα στην Ελλάδα η επιθυμητή ημερήσια κύρια φάση χρήσης της εγκατάστασης στο βόρειο ημισφαίριο είναι οι βραδινές ώρες και η τοποθεσία προσφέρει προς τα νοτιοδυτικά ένα ιδιαίτερα ευνοϊκό και ελεύθερο οπτικό πεδίο στην ηλιακή τροχιά τότε ο νοτιοδυτικός προσανατολισμός είναι ευνοϊκότερος. Η αζιμουθιακή γωνία είναι 0° .

- **Κλίση (ανύψωση):**

Η τοποθέτηση των πάνελ θα γίνει με τέτοιο τρόπο ώστε η επιφάνειά τους να βρίσκεται σε κλίση τουλάχιστον 23° προς τον οριζόντιο άξονα έτσι ώστε το νερό της βροχής να μπορεί να απορρέει και να συμβάλλει στον αυτό-καθαρισμό των πάνελ. Μάλιστα για τον βέλτιστο καθαρισμό στην Ελλάδα η ιδανικότερη γωνία κλίσης ως προς τον οριζόντιο άξονα είναι οι 32° . Η βέλτιστη γωνία κλίσης για την μέγιστη απόδοση εξαρτάται από το γεωγραφικό πλάτος της τοποθεσίας καθώς και από την επιθυμητή κύρια φάση χρήσης της φωτοβολταϊκής εγκατάστασης. Συγκεκριμένα δηλαδή για τον Ελλαδικό χώρο στην περιοχή της Αττικής η βέλτιστη γωνία κλίσης είναι οι 30° . Αυτό προκύπτει μέσω των αποτελεσμάτων ενός συστήματος μέτρησης της βέλτιστης γωνίας κλίσης των φωτοβολταϊκών πάνελ ανά χώρα και περιοχή, με βάση τον άξονα του Ισημερινού, το αζιμούθιο και την αλλαγή της γωνίας ακτινοβολίας του Ήλιου από το θερινό στο χειμερινό ηλιοστάσιο και αντίστροφα κατά την διάρκεια ενός έτους. Μια τέτοια περιγραφή παρουσιάζεται παρακάτω:

- Η συνολική μεταβολή στο μέγιστο ύψος του ήλιου για κάθε τοποθεσία πάνω στη Γη για μια περίοδο ενός έτους είναι 47° (κλίση της Γης: $23.5^\circ \times 2 = 47^\circ$). Αυτό απεικονίζεται στο παρακάτω σχήμα:



Σχ. 5.3.1.1 Παραλλαγές στο ύψος του ήλιου

- **Αποφυγή σκιάσεων:**

Η σκίαση ακόμα και ενός μόνο πάνελ ή μιας μόνο φωτοβολταϊκής κυψέλης μπορεί να επηρεάσει αισθητά την απόδοση της φωτοβολταϊκής εγκατάστασης. Όταν τα επιμέρους πάνελ της φωτοβολταϊκής γεννήτριας ή επιμέρους κυψέλες ενός πάνελ σκιάζονται, τα τμήματα που βρίσκονται υπό σκιά παράγουν χαμηλότερη έως και καθόλου ηλεκτρική ενέργεια. Αυτό μπορεί να έχει επιπτώσεις στην απόδοση ολόκληρης της στοιχειοσειράς που θα τοποθετηθεί και κατά συνέπεια σε ολόκληρη την γεννήτρια. Εκτός αυτού, η σκίαση έχει συχνά ως αποτέλεσμα ένα μέρος της ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται στο πάνελ να μην συμβάλλει πλέον στην απόδοσή του και να καταναλώνεται από τις κυψέλες της σκιασμένης περιοχής. Αυτό μπορεί να οδηγήσει στη θέρμανση των σκιασμένων κυψελών σε σύγκριση με τις κανονικά φωτιζόμενες κυψέλες, κάτι το οποίο σε ακραίες περιπτώσεις μπορεί να οδηγήσει σε κίνδυνο πυρκαγιάς. Επίσης η συστηματική σκίαση μπορεί να οδηγήσει μακροπρόθεσμα σε ταχύτερη παλαιώση και συνεπώς σε απώλειες της απόδοσης της φωτοβολταϊκής γεννήτριας.

- Στην παρακάτω εικόνα φαίνεται μια στοιχειοσειρά φωτοβολταϊκών πάνελ που καλύπτουν τις προϋποθέσεις εγκατάστασης που προαναφέρθηκαν σε μια βιομηχανική εγκατάσταση:



Σχ. 5.3.1.2 Φωτοβολταϊκή Στοιχειοσειρά της aleo

- **Βοηθητικά μέσα:**

Κατά την γενική αξιολόγηση μιας τοποθεσίας μπορούν να φανούν χρήσιμες οι πηγές πληροφοριών που προέρχονται από πίνακες δεδομένων π.χ. για μετεωρολογικά δεδομένα στην περιοχή της τοποθεσίας ή και λογισμικό π.χ. για τις ζώνες φορτίων χιονιού και ανέμου. Επίσης μπορούν να φανούν χρήσιμες και οι φορητές συσκευές μετρήσεων για την αξιολόγηση της σκίασης και την μέτρηση της κλίσης. Αυτές οι συσκευές μπορεί να είναι εξοπλισμένες π.χ. με τα εξής:

α) Δέκτη GPS,

β) Ηλεκτρονικό αλφάδι

γ) Ηλεκτρονική πυξίδα

δ) Κάμερα με υπερευρυγώνιο (fisheye) φακό και **ε)** Μια ένδειξη για τις τιμές μέτρησης και το ορατό τμήμα του ουράνιου θόλου μαζί με την ηλιακή τροχιά κατά την διάρκεια της ημέρας και του έτους.

Έτσι μπορεί να επιτευχθεί με μεγαλύτερη επιτυχία η σωστή πρόγνωση της απόδοσης των φωτοβολταϊκών πάνελ. [17]

- **Προληπτικά μέτρα:**

Τα βραχυκυκλώματα ή οι διαδικασίες σύνδεσης και αποσύνδεσης στις φωτοβολταϊκές εγκαταστάσεις μπορούν να δημιουργήσουν σπινθήρες ή ηλεκτρικά τόξα. Για αυτό το λόγο πρέπει και θα αποφευχθεί η εγκατάσταση των φωτοβολταϊκών πάνελ κοντά σε εύφλεκτα υλικά σε στερεά, υγρή ή και αέρια μορφή

- **Τύπος των πάνελ:**

Ένα κύριο χαρακτηριστικό των πάνελ είναι η κατασκευή τους από μονοκρυσταλλικές ή πολυκρυσταλλικές κυψέλες. Οι μονοκρυσταλλικές έχουν οκτάγωνο σχήμα με μαύρο φόντο και οι πολυκρυσταλλικές τετράγωνο σχήμα με μπλε φόντο. Κατά την εγκατάσταση, τα πάνελ θα είναι του ίδιου τύπου, του ίδιου τύπου κυψελών και της ίδιας κατηγορίας απόδοσης στην ίδια στοιχειοσειρά. Με αυτό τον τρόπο βελτιστοποιείται η συνολική απόδοση της φωτοβολταϊκής εγκατάστασης.

➤ Σχετική εικόνα που απεικονίζει τους δύο τύπους φωτοβολταϊκών πάνελ της **aleo**:



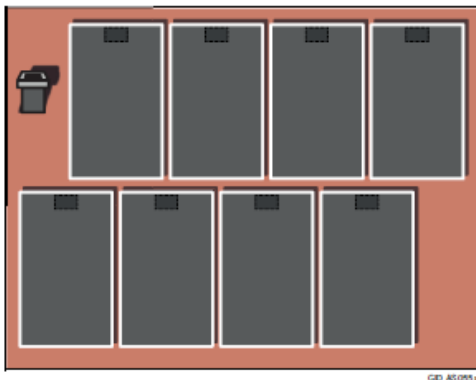
Σχ. 5.3.1.3 Μονοκρυσταλλικό (δεξιά) και πολυκρυσταλλικό (αριστερά) πάνελ

- **Καλαίσθητη εγκατάσταση:**

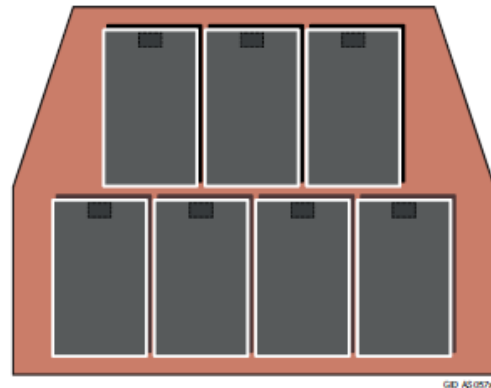
Για την εγκατάσταση των πάνελ, στη στέγη της βιομηχανίας που μελετάται, με καλαίσθητο τρόπο θα ληφθούν υπόψιν οι εξής υποδείξεις: **α) η ορθογωνιότητα** και **β) η διάταξη της βάσης**. Συγκεκριμένα:

- **α)** Η τοποθέτηση της υποκατασκευής θα γίνει με τέτοιο τρόπο ώστε η επιφάνεια της εγκατάστασης να είναι ορθογώνια. Ένα παραλληλόγραμμο ή τραπεζοειδές σχήμα μπορεί να επιτρέψει τη βέλτιστη αξιοποίηση της επιφάνειας εγκατάστασης των πάνελ, ωστόσο το σύνολο των πάνελ ενδέχεται να μην είναι καλαίσθητο. Για αυτό το λόγο λοιπόν το απαιτούμενο πλάτος των βάσεων καθορίζεται από την απόσταση των δοκαριών της στέγης μεταξύ τους. Η οριζοντίως αποκλίνουσα διάταξη των πάνελ μπορεί να οδηγήσει στο να είναι ανεπιθύμητα ορατές οι άκρες των βάσεων σε ορισμένες σειρές πάνελ.
- **β)** Η εγκατάσταση των πάνελ θα γίνει με τέτοιο τρόπο, ώστε η μια πλευρά τους να έχει ορθογώνια διάταξη. Αυτή είναι η κοντή πλευρά στην κάθετη διάταξη και η επιμήκης πλευρά στην οριζόντια διάταξη. Η διάταξη των πάνελ μπορεί να ελεγχθεί με αλφάδι και σπάγγο. Παρακάτω φαίνονται οι σωστοί τρόποι εγκατάστασης φωτοβολταϊκών πάνελ:

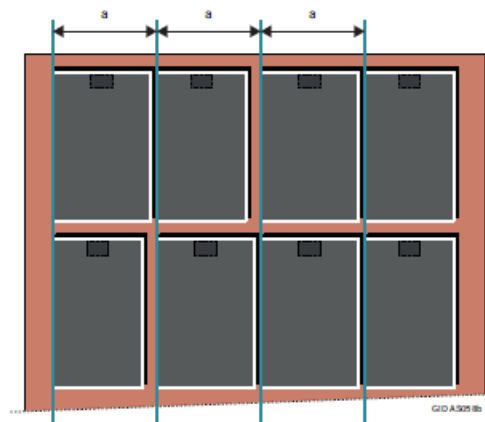
Α) Παραλληλόγραμμο σχήμα:



Β) Τραπεζοειδές σχήμα:



Γ) Ομοιόμορφη διάταξη πάνελ με διαφορετικά πλάτη πλαισίων:



Σχ. 5.3.1.4 Διατάξεις Πάνελ

Β) Η μηχανική εγκατάσταση

• Υποδείξεις εγκατάστασης:

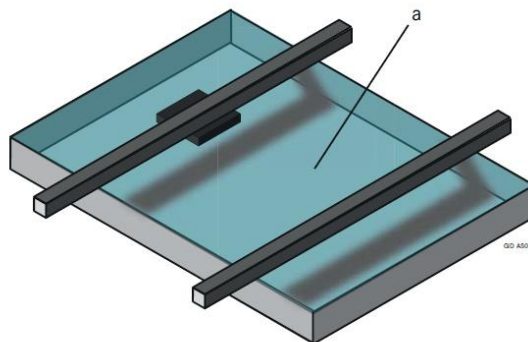
Η διεξαγωγή της εγκατάστασης της φωτοβολταϊκής μονάδας θα γίνει με τέτοιο τρόπο, ώστε η έτοιμη φωτοβολταϊκή μονάδα να διαθέτει υψηλή αντοχή απέναντι στις περιβαλλοντικές συνθήκες που επενεργούν σε αυτήν, όπως π.χ. ο άνεμος, η βροχή, το χιόνι, το χαλάζι κ.τ.λ. Τα πάνελ θα είναι κατασκευασμένα να αντέχουν σε αυξημένα φορτία πίεσης, ενώ κατά την εγκατάσταση εφόσον θα είναι σε μόνιμο σημείο θα αποφευχθεί η οποιαδήποτε μετακίνηση της υποδομής, επάνω στην οποία έχουν εγκατασταθεί οι φωτοβολταϊκοί συλλέκτες. Επίσης, θα χρησιμοποιηθούν αποκλειστικά υλικά εγκατάστασης, τα οποία θα είναι σταθερά, διαθέτοντας προστασία από διαβρώσεις και επίσης δεν θα προκαλούν τα ίδια καμία διάβρωση στα φωτοβολταϊκά πάνελ. Τέλος η διάταξη των πάνελ θα είναι τέτοια ώστε να επιτρέπεται στα κουτιά σύνδεσης που βρίσκονται στην πίσω πλευρά να μένουν, στο βαθμό που είναι δυνατό, στεγνά και να μην είναι δυνατή η συσσώρευση νερού σε αυτά.

• Αποστάσεις πάνελ:

Βάσει κανονισμών η επιφάνεια των σημείων έδρασης θα είναι τουλάχιστον 70mm^2 ανά σημείο. Για τις αποστάσεις μεταξύ των πάνελ θα αφηθεί κατά την εγκατάσταση μια ελάχιστη ενδιάμεση απόσταση τουλάχιστον **3mm** ανάμεσα στα επιμέρους πλαίσια. Με αυτό τον τρόπο

θα αποφευχθούν οι μηχανικές τάσεις λόγω θερμικής διαστολής. Βέβαια για την ακριβή απόσταση μεταξύ των πλαισίων θα ληφθούν υπόψιν οι πληροφορίες του κατασκευαστή του συστήματος εγκατάστασης, οι οποίες ενδέχεται να προβλέπουν και μεγαλύτερες αποστάσεις.

- Όσον αφορά τον ελεύθερο χώρο κατά την εγκατάσταση των πάνελ, υπάρχουν τέσσερις συνθήκες:
 - **α) Ελάχιστος ελεύθερος χώρος:** Για την εξασφάλιση του αερισμού στην πίσω πλευρά των πάνελ, θα αφηθεί κατά την εγκατάσταση ένας ελεύθερος χώρος τουλάχιστον **4cm** ανάμεσα στην πίσω πλευρά του πλαισίου των πάνελ και την επιφάνεια στερέωσής τους. Με αυτό τον τρόπο επιτυγχάνεται η ψύξη των πάνελ χάρη στη μετάδοση της θερμότητας μέσω του αέρα, την απορροή του νερού και την εξάτμιση του νερού συμπύκνωσης. Σημαντικός παράγοντας καθώς η στεγνή ή η ψυχρή λειτουργία μπορεί να επιδράσει θετικά στην απόδοση ενός πάνελ αλλά και στη διάρκεια ζωής του.
 - **β) Μέγιστος ελεύθερος χώρος:** Ο μέγιστος επιτρεπόμενος ελεύθερος χώρος καθορίζεται από τα εθνικά πρότυπα και χρησιμεύει στην προσαρμογή της εγκατάστασης στις κατά τ' άλλα αναμενόμενες επιδράσεις του ανέμου και τις οπισθέλκουσας πίεσης. Ο μέγιστος επιτρεπόμενος χώρος θα καθοριστεί από την συγκεκριμένη υποκατασκευή η οποία, στην προκειμένη περίπτωση, τηρεί βεβαίως τον επιτρεπόμενο ελεύθερο χώρο.
 - **γ) Αποφυγή εφαρμοστής τοποθέτησης:** Θα αποφευχθεί η χρήση παρεμβύσματος ανάμεσα στα πάνελ και την επιφάνεια εγκατάστασης τους, διότι μια τέτοια εγκατάσταση επιδεινώνει την ψύξη και ευθύνεται για την μείωση της απόδοσης, ενώ επίσης, παρεμποδίζει την απορροή του νερού. Συνθήκες οι οποίες μπορούν να οδηγήσουν σε πρόωρη παλαιώση και σε μικρότερη διάρκεια ζωής των φωτοβολταϊκών πάνελ.
 - **δ) Ελεύθερος χώρος κάτω από τα πάνελ:** Πρέπει και βάσει κανονισμών θα αφηθεί ένας ελεύθερος χώρος πίσω από το ελασματοποιημένο φύλλο. Με αυτό τον τρόπο αποφεύγεται η πρόκληση ζημιών στη μονωτική μεμβράνη της πίσω πλευράς και στο κουτί διασύνδεσης. Επίσης, δεν θα πρέπει να προεξέχουν αγωγίμα γυμνά εξαρτήματα όπως π.χ. βίδες ή καρφιά στο χώρο πίσω από τα πάνελ.
- Σχετική εικόνα:



Σχ. 5.3.1.5 Σχηματική Αναπαράσταση Ελεύθερου χώρου πίσω από τα Πάνελ

Γ) Η ηλεκτρική εγκατάσταση

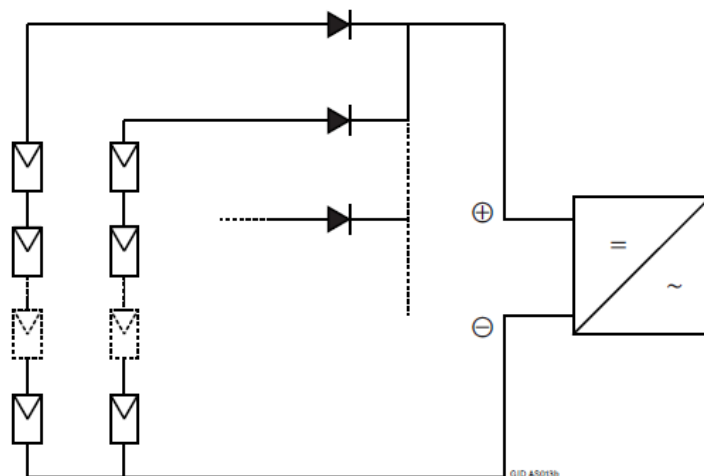
• Βήματα εγκατάστασης:

Για την διεξαγωγή της ηλεκτρικής εγκατάστασης με ασφάλεια συνίσταται η διεξαγωγή των παρακάτω βημάτων εργασίας με την αναφερόμενη σειρά:

- α) Σύνδεση των πάνελ σε στοιχειοσειρές
- β) Παράλληλη σύνδεση των στοιχειοσειρών όπου χρειαστεί
- γ) Τοποθέτηση των καλωδίων προς τον αντιστροφέα
- δ) Εγκατάσταση του αντιστροφέα
- ε) Σύνδεση του αποζεύκτη στον αντιστροφέα
- ζ) Σύνδεση του διακόπτη πυροπροστασίας στον αποζεύκτη
- η) Σύνδεση των καλωδίων στην πλευρά της γεννήτριας
- θ) Κλείσιμο του διακόπτη πυροπροστασίας και του αποζεύκτη.
- ι) Εγκατάσταση αντικεραυνικής προστασίας

• Σύνδεση σε σειρά:

Τα φωτοβολταϊκά πάνελ θα συνδεθούν σε σειρά για να αποτελέσουν μια στοιχειοσειρά, όπως συνήθως συμβαίνει. Στην περίπτωση που εξετάζεται, έχουμε αμιγή σύνδεση των πάνελ σε σειρά με την δεδομένη υποδοχή του αντιστροφέα οπότε δεν θα χρειαστούν δίοδοι στοιχειοσειρών. Σε αντίθετη περίπτωση όμως εάν χρειαζόντουσαν δίοδοι τότε η σύνδεση θα πραγματοποιούνταν όπως στην παρακάτω σχηματική αναπαράσταση:



Σχ. 5.3.1.6 Σχηματική Αναπαράσταση Διόδων Στοιχειοσειρών

Οι δίοδοι των στοιχειοσειρών παρέχονται αρκετά συχνά προσυναρμολογημένες και είναι εξοπλισμένες με τα κατάλληλα βύσματα και ένα περίβλημα. Για την ενσωμάτωση θα επιλεγεί μια χρονική στιγμή με ηλιακή ακτινοβολία και θα αφαιρεθεί η κάλυψη των πάνελ όπου χρειαστεί, έτσι ώστε οι στοιχειοσειρές να παράξουν μια μετρίσιμη τάση. Με αυτό τον τρόπο θα μπορεί να ελεγχθεί η πολικότητα με την βοήθεια ενός κατάλληλου βολτομέτρου. Κατά την σύνδεση θα συνδεθεί η άνοδος της διόδου στοιχειοσειράς με το θετικό (+) άκρο της στοιχειοσειράς και η κάθοδος της διόδου στοιχειοσειράς με την κοινή έξοδο της παράλληλης σύνδεσης. Αυτό το σημείο σύνδεσης οδηγεί στη θετική υποδοχή συνεχούς τάσης του αντιστροφέα. Τέλος οι ασφάλειες στοιχειοσειρών θα ενσωματωθούν με τον κατάλληλο τρόπο. [17]

- **Καλωδίωση:**

Κατά την καλωδίωση τα φωτοβολταϊκά πάνελ συνήθως παρέχονται με σταθερά εγκατεστημένα κουτιά σύνδεσης και εύκαμπτα καλώδια σύνδεσης με βύσματα και υποδοχές προεγκατεστημένα. Κατά την εγκατάσταση θα αποφευχθεί η οποιαδήποτε άσκηση φορτίων έλξης και πίεσης στο κουτί συνδέσεως. Διότι αυτό μπορεί να οδηγήσει σε ζημιές των αποδοχών των καλωδίων και να μειώσει την διάρκεια ζωής. Επίσης, θα αποφευχθεί η άσκηση υπερβολικών φορτίων έλξης σε ήδη συνδεδεμένες συνδέσεις καθώς: **α)** σε συνδέσεις χωρίς ασφάλεια, κάτι τέτοιο μπορεί να οδηγήσει σε χαλάρωση ή αποσύνδεση της σύνδεσης, **β)** σε συνδέσεις με ασφάλεια, μπορεί να οδηγήσει σε ακραίες περιπτώσεις σε χαλάρωση ή αποσύνδεση της διάταξης σύσφιγξης, καθώς και σε αυξημένες αντιστάσεις μετάβασης, υπερθέρμανση και κίνδυνο πυρκαγιάς. Κατά την καλωδίωση πρέπει και θα ληφθούν υπόψη οι διατάξεις όδευσης για τους εκάστοτε τύπους καλωδίων. Η όδευση των καλωδίων θα γίνει με τέτοιο τρόπο ώστε:

- **α)** Να τηρηθούν οι ακτίνες κάμψεως (π.χ. 60mm)
 - **β)** Να αποφευχθεί η όδευση κοντά σε αιχμηρές γωνίες και ακμές
 - **γ)** Να μην τρίβονται μεταξύ τους καλώδια που φέρουν διαφορετικό δυναμικό π.χ η θετική (+) και η αρνητική (-) σύνδεση μιας στοιχειοσειράς
 - **δ)** Τα καλώδια των στοιχειοσειρών να βρίσκονται σε επαρκή απόσταση από απαγωγείς γείωσης, εξίσωσης δυναμικού και αντικεραυνικής προστασίας.
 - **ε)** Όλα τα καλώδια να εκτείνονται σε όσο το δυνατόν μικρότερη απόσταση μεταξύ τους, έτσι ώστε η επιφάνεια επίδρασης επαγωγής να ελαχιστοποιείται και κατά συνέπεια να ελαχιστοποιούνται οι επιπτώσεις σε περίπτωση πτώσης κεραυνού ή λανθασμένου ρεύματος.
- Εικόνες καλωδίωσης φωτοβολταϊκών πάνελ:



Σχ. 5.3.1.7 Καλωδιώσεις Φωτοβολταϊκών Πάνελ

Τα καλώδια που έχουν εγκατασταθεί θα προστατευτούν από ζημιές όπως, από άμεσες επιδράσεις του περιβάλλοντος π.χ. βροχή, άνεμος, χιόνι και ο πάγος. Τα κουτιά σύνδεσης, τα βύσματα και οι συνδέσεις θα καθαριστούν αποκλειστικά μηχανικά με μαλακό πανί ή προσεκτικά με πεπιεσμένο αέρα. Δεν πρέπει και δεν θα χρησιμοποιηθούν λάδια, λίπη ή ουσίες που περιέχουν οινόπνευμα για τον καθαρισμό, διότι έτσι αποφεύγεται η ευθραυστοποίηση του σύνθετου υλικού η οποία με τη σειρά της μπορεί να οδηγήσει σε επικίνδυνες αδυναμίες στη μόνωση. Τα κουτιά σύνδεσης θα χειριστούν με προσοχή καθώς και τα καλώδια που συνδέονται σε αυτά, αποφεύγοντας τις ισχυρές πιέσεις και τις έλξεις. Με αυτό τον τρόπο αποτρέπονται οι θραύσεις στα κουτιά και οι ζημιές στις υποδοχές των

καλωδίων οι οποίες καταστρέφουν την προστατευτική μόνωση του φωτοβολταϊκού πάνελ και μπορούν να προκαλέσουν κίνδυνο ηλεκτροπληξίας. Οι συνδέσεις θα πραγματοποιηθούν προσεκτικά ελέγχοντας στη συνέχεια τη σταθερή εφαρμογή της σύνδεσης και της στεγανοποίησης της. Ο τύπος καλωδίου που χρησιμοποιείται περισσότερο είναι **H07 RN-F**. Τα κύρια χαρακτηριστικά γνωρίσματά τους είναι η αντοχή τους στην υπεριώδη ακτινοβολία και η αντοχή τους στις καιρικές συνθήκες (π.χ. θερμοκρασία -55°C σε 125°C). Στις στέγες η μέγιστη θερμοκρασία έχει μετρηθεί περίπου 70°C . Μερικοί εγκαταστάτες επιλέγουν καλώδια που καλύπτονται με πλέγμα μετάλλων, όπου το προστατευμένο καλώδιο όχι μόνο παρέχει την προστασία ενάντια στα τρωκτικά αλλά και βελτιώνει την προστασία ενάντια των υπερφορτίσεων. [17]

- **Αντικεραυνική προστασία:**

Οι φωτοβολταϊκές εγκαταστάσεις τόσο λόγω της θέσης τους καθώς επίσης και εξαιτίας της μεγάλης έκτασης που αυτές καλύπτουν είναι περισσότερο ευάλωτες στα άμεσα κεραυνικά πλήγματα και στις εισερχόμενες υπερτάσεις από τις συμβατικές μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Για το λόγο αυτό η μελέτη της αντικεραυνικής προστασίας σε τέτοιου τύπου εγκαταστάσεις είναι ιδιαίτερα σημαντική.

Ο σχεδιασμός ενός συστήματος αντικεραυνικής προστασίας γίνεται με τα εξής βήματα:

- **α) Αποτίμηση κινδύνου από πλήγμα κεραυνού.** Γενικά ο σχεδιασμός ενός συστήματος αντικεραυνικής προστασίας είναι ένας συμβιβασμός μεταξύ της αποτελεσματικότητας της προστασίας που αυτό παρέχει και του κόστους επένδυσης και συντήρησης του ηλεκτρολογικού εξοπλισμού που το συνιστά.
- **β) Επιλογή στάθμης προστασίας.** Η στάθμη προστασίας ενός συστήματος ΣΑΠ σχετίζεται με την πιθανότητα με την οποία αυτό απαιτείται να προστατεύει ένα χώρο από τις επιπτώσεις του κεραυνού. Η επιλογή της στάθμης δίνεται μέσω του πίνακα παρακάτω:

Στάθμη προστασίας	Αποτελεσματικότητα ΣΑΠ
I	0,98
II	0,95
III	0,90
IV	0,80

- **γ) Συχνότητα άμεσων κεραυνικών πληγμάτων σε μια κατασκευή.** Η συχνότητα άμεσων κεραυνικών πληγμάτων σε μία κατασκευή (N_d) εκφράζει τον μέσο αριθμό άμεσων κεραυνικών πληγμάτων που μπορούν να συμβούν σε μια κατασκευή ανά έτος και μπορεί να υπολογιστεί μέσω της ακόλουθης εξίσωσης: $N_d = N_g \times A_e \times 10^{-6}$ πλήγματα κεραυνού ανά έτος.
- **δ) Μέση ετήσια πυκνότητα πλήγματος κεραυνού στο έδαφος.** Η μέση ετήσια πυκνότητα πληγμάτων κεραυνού στο έδαφος (N_g) δίνεται μέσω ειδικών χαρτών που δείχνουν την μέση συχνότητα πτώσεως κεραυνού ανά km^2 και από την εξίσωση: $N_g = 0,04 \times T_d^{1,25}$.
- **ε) Ισοδύναμη συλλεκτήρια επιφάνεια.** Η ισοδύναμη συλλεκτήρια επιφάνεια του κτηρίου είναι η επιφάνεια που περικλείεται από το περίγραμμα που προκύπτει από την τομή της επιφάνειας του εδάφους και μιας ευθείας γραμμής με κλίση 1/3 η οποία διέρχεται από τα υψηλότερα τμήματα της κατασκευής και υπολογίζεται από την σχέση όπου: (**L** το μήκος, **W** το πλάτος, **H** το ύψος): $A_e = L \times W + 6 \times H \times (L+W) + 9 \times \pi \times H^2$

- ζ) *Αποδεκτή συχνότητα άμεσων κεραυνικών πληγμάτων σε μια κατασκευή.* Η αποδεκτή συχνότητα κεραυνικών πληγμάτων σε μία κατασκευή (N_c) εκφράζει τη μέγιστη αποδεκτή τιμή του αριθμού άμεσων κεραυνικών πληγμάτων που μπορούν να συμβούν σε μια κατασκευή ανά έτος και μπορούν να προκαλέσουν ζημιά.

Η επιλογή γενικώς της στάθμης προστασίας μπορεί να πραγματοποιηθεί με την χρήση του προγράμματος το οποίο είναι εναρμονισμένο με την οδηγία . το πρόγραμμα αυτό στην ουσία ακολουθεί μια διαδικασία αποτίμησης του συνολικού κινδύνου R . Όπου ο κίνδυνος R ορίζεται ως η πιθανότητα ανά χρόνο να πραγματοποιηθεί απώλεια στη δομή ή στο περιεχόμενο της εγκατάστασης που εξετάζεται. Οι διάφορες συνιστώσες είναι οι: ($R_A, R_B, R_C, R_M, R_U, R_V, R_W, R_Z$) και εκφράζονται μέσω της σχέσης: $R_x = N_x \times P_x \times L_x$. [17]

Δ) Η συντήρηση

Η συντήρηση του φωτοβολταϊκού συστήματος προς εγκατάσταση, παίζει ένα πολύ σημαντικό ρόλο στην απόδοση και στο χρόνο ζωής του συστήματος με την πάροδο του χρόνου λειτουργίας αυτού στην βιομηχανία και χωρίζεται σε τέσσερα σημαντικά βήματα:

• Επιθεώρηση:

Για το φωτοβολταϊκό σύστημα συνίσταται μια ετήσια επιθεώρηση η οποία βασίζεται σε έναν οπτικό έλεγχο και περιλαμβάνει τουλάχιστον τις εξής πτυχές:

- α) Κατάσταση μόνωσης και στερέωσης για τα καλώδια
- β) Σταθερή εφαρμογή των καπακιών και κουτιών σύνδεσης
- γ) Κατάσταση των ορατών συνδέσεων
- δ) Κατάσταση του συστήματος εγκατάστασης στις άκρες του
- ε) Έλεγχο βαθμού ρύπανσης των πάνελ
- ζ) Κατάσταση πιθανής σκίασης
- η) Έλεγχο του σχεδίου των στοιχειοσειρών
- θ) Έλεγχο των μηνυμάτων κατάστασης του αντιστροφέα
- ι) Έλεγχο της ετήσιας απόδοσης
- κ) Κατάρτιση και αρχειοθέτηση της έκθεσης επιθεώρησης.

• Έλεγχος:

Για το φωτοβολταϊκό σύστημα συνίσταται επίσης ένας έλεγχος κάθε τέσσερα χρόνια, ο οποίος περιλαμβάνει συμπληρωματικά προς την επιθεώρηση τις εξής συμπληρωματικές εργασίες:

- α) Μέτρηση της μεμονωμένης στοιχειοσειράς ως προς, το ρεύμα ($MPP I_{MPP}$), την τάση ανοιχτού κυκλώματος (U_{OC}) και την απόδοση (P_{MPP}) (μέτρηση $PVPM$)
- β) Μέτρηση της αντίστασης μόνωσης R_{IS}
- γ) Αξιολόγηση της ετήσιας απόδοσης και σύγκριση των δεδομένων με τις προηγούμενες τιμές μέτρησης
- δ) Κατάρτιση και αρχειοθέτηση της έκθεσης ελέγχου.

• Καθαρισμός:

Αναλόγως με τις περιβαλλοντικές συνθήκες τα φωτοβολταϊκά πάνελ μπορούν να ρυπανθούν λιγότερο ή περισσότερο με την πάροδο του χρόνου. Η ρύπανση τους αυτή μπορεί να οδηγήσει σε μειωμένη απόδοση, οπότε κατά τον καθαρισμό θα πρέπει:

- α) Να αποφευχθεί η χρήση καθαριστικών μέσων τα οποία στίλβωνουν ή χαράζουν την γυάλινη επιφάνεια των πάνελ, φροντίζοντας έτσι ώστε αυτά να μην υποστούν ζημιές.

- **β)** Να αποφευχθεί η χρήση ιδιαίτερα ασβεστούχου, αποσταγμένου όπως και απιονισμένου νερού
- **γ)** Να αποφευχθεί η χρήση οξέων, αλκαλικών διαλυμάτων και άλλων διαβρωτικών καθαριστικών μέσων
- **δ)** Να αποφευχθεί η χρήση συστημάτων καθαρισμού υψηλής πίεσης

- **Επισκευή:**

Ένα φωτοβολταϊκό πάνελ που έχει υποστεί βλάβη μπορεί να προκαλέσει απώλειες απόδοσης καθώς και επακόλουθες ζημιές. Η ανάθεση της επισκευής πρέπει να γίνει μόνο από εξουσιοδοτημένο προσωπικό, καθώς μια λάθος επισκευή μπορεί να προκαλέσει ζημιές οι οποίες είναι δυνατόν να εμφανιστούν χρόνια αργότερα, κάτι το οποίο μπορεί να αποτελέσει κίνδυνο για τη ζωή. Για την διεξαγωγή της συντήρησης θα πρέπει να απενεργοποιηθεί ηλεκτρικά η στοιχειοσειρά έως και ολόκληρη η γεννήτρια αν αυτό χρειαστεί. [17]

➤ Πίνακας τεχνικών χαρακτηριστικών φωτοβολταϊκών πάνελ **230W/ 30V**:

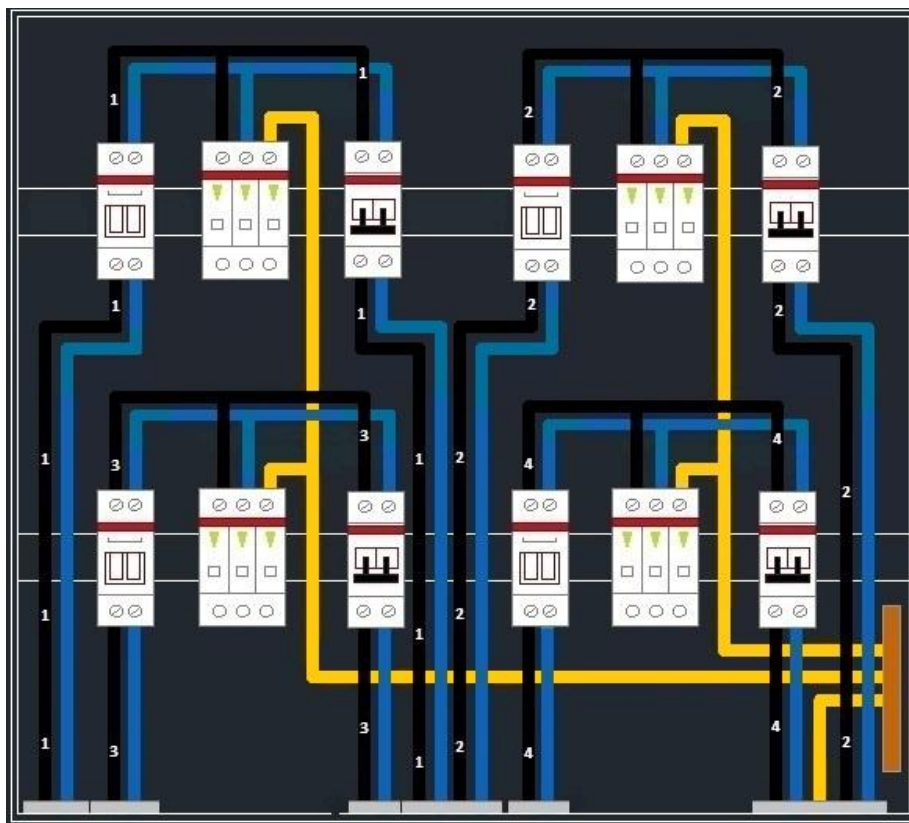
Κατασκευαστική εταιρία	:	Aleo solar AG
Τύπος (μοντέλο) προσφερόμενου συστήματος	:	aleo S19
Ονομαστική ισχύς	:	230 W
Ονομαστική τάση	:	30 V
Ονομαστικό ρεύμα	:	7,72 A
Τάση χωρίς φορτίο	:	36,7 V
Ρεύμα βραχυκύκλωσης	:	8,44 A
Απόδοση	:	14 %
Επιφάνεια ανά μονάδα ισχύος	:	7,15 W/m²
Μηχανική καταπόνηση πλαισίων	:	5400 Pa
Μέγιστη τάση συστήματος	:	1000 V DC
Ρεύμα επιστροφής	:	15 A
Μήκος x Πλάτος x Ύψος	:	1660 x 990 x 50
Βάρος	:	21 kg
Αριθμός κυψελών	:	60
Μέγεθος κυψελών	:	156 x 156
Υλικό κυψελών	:	Μονοκρυσταλλικό Si
Μπροστινό κάλυμμα	:	Ηλιακό γυαλί (TSG)
Πίσω κάλυμμα	:	Πολυμερής μεμβράνη
Υλικό πλαισίου	:	Κράμα αλουμινίου

5.3.2) Πίνακας DC ρεύματος

Ο πίνακας συνεχούς ρεύματος (DC) συνδέεται σε σειρά με τα φωτοβολταϊκά πάνελ. Στην εγκατάσταση που εξετάζεται θα χρησιμοποιηθούν τρεις πίνακες συνεχούς ρεύματος (DC) της **ABB** ένας για κάθε 4 στοιχειοσειρές φωτοβολταϊκών. Κάθε ένας από τους πίνακες θα περιέχει εσωτερικά:

- Τέσσερις ασφαλειοαποζεύκτες **10A** (ABB)
- Τέσσερις απαγωγούς υπερτάσεων (αντικεραυνικά) **1000V DC** (ABB)
- Τέσσερις διπολικούς διακόπτες φορτίου **DC 25A** (ABB)
- Καλώδια για τον θετικό πόλο (+) και για τον αρνητικό πόλο (-) διατομής **6 mm²**
- Καλώδιο γείωσης (**PE**) **Cu 25 mm²**

➤ Παρακάτω είναι σχεδιασμένο σε **AutoCAD 2012** αναλυτικά το μονογραμμικό σχέδιο του πίνακα συνεχούς ρεύματος (DC) της εγκατάστασης:



Στο πίνακα παραπάνω για κάθε ασφαλειοαποζεύκτη, αντικεραυνική ασφάλεια και για κάθε διακόπτη, αντιστοιχεί μια στοιχειοσειρά φωτοβολταϊκών. Με μαύρο χρώμα είναι τα καλώδια που συνδέονται στο θετικό άκρο της στοιχειοσειράς και η διατομή τους είναι **6 mm²**. Με μπλε χρώμα είναι τα καλώδια που συνδέονται στον αρνητικό άκρο της στοιχειοσειράς, επίσης με διατομή **6 mm²**. Τέλος με κίτρινο χρώμα είναι η καλωδίωση της γείωσης των στοιχείων του πίνακα, διατομής **Cu 25 mm²** (για λόγους ασφάλειας). Οι αντικεραυνικές ασφάλειες συνδέονται παράλληλα στο κύκλωμα και τροφοδοτούνται απ' ευθείας με γείωση. Όλες οι ασφάλειες και οι διακόπτες των πινάκων αυτών είναι κατασκευασμένοι από μια ευρέως γνωστή εταιρία ηλεκτρολογικού υλικού την **ABB**.

➤ Παρακάτω αναλύεται η λειτουργία και αναπαριστούνται όλα τα στοιχεία που θα χρησιμοποιηθούν για τον πίνακα συνεχούς ρεύματος (DC) που φαίνεται σχηματικά προηγουμένως:

- **Ασφαλειοαποξεύκτες και Απαγωγείς υπερτάσεων (αντικεραυνικά):**

Οι μονάδες αυτές εκτελούν δύο πολύ σημαντικές αποστολές, καθώς προστατεύουν τα φωτοβολταϊκά πλαίσια και τους αντιστροφείς από μεταβατικές υπερτάσεις και στιγμιαία κρουστικά ρεύματα που δημιουργούνται από κεραυνούς ή από το χειρισμό διακοπών μεγάλης ισχύος και επιπλέον περιορίζουν την τιμή της υπέρτασης σε αποδεκτά επίπεδα για την ομαλή λειτουργία του εξοπλισμού. Οι ασφαλειοαποξεύκτες προσφέρουν εφεδρική προστασία στους απαγωγείς υπερτάσεων κατά τη λήξη της ωφέλιμης ζωής τους ενώ ένα ιδιαίτερο χαρακτηριστικό είναι ότι μπορούν να κλειδωθούν με τη χρήση κατάλληλου λουκέτου όταν βρίσκονται σε ανοιχτή θέση.

A) Ασφαλειοαποξεύκτης 2P:



B) Απαγωγός υπέρτασης 2P:



- **Διακόπτες φορτίου DC:**

Οι διακόπτες φορτίου χρησιμοποιούνται σαν γενικοί διακόπτες ελέγχου σε Φ/Β συστήματα, έτσι ώστε, αν χρειαστεί, να μπορεί να απομονωθεί με ασφάλεια όλο το κύκλωμα συνεχούς τάσης (DC). Η μέγιστη ονομαστική τάση λειτουργίας του διακόπτη είναι 1.200 VDC με ονομαστική ένταση από 32 A έως και 125 A, σε θερμοκρασία περιβάλλοντος έως και 60 °C. [15]

Γ) Διακόπτης φορτίου DC 2P:



5.3.3) Αντιστροφέας (inverter)

Ο αντιστροφέας ή αλλιώς inverter αποτελεί μια ηλεκτρονική συσκευή που μετατρέπει το συνεχές ρεύμα (DC) που παράγουν τα φωτοβολταϊκά σε εναλλασσόμενο (AC) αντίστοιχο με αυτό του δικτύου. Στην σημερινή αγορά υπάρχουν πολλών ειδών αντιστροφείς που εξυπηρετούν σε διάφορες ανάγκες και σε διάφορα είδη φωτοβολταϊκών εγκαταστάσεων.

Στη συγκεκριμένη εγκατάσταση των **60KW** θα χρησιμοποιηθούν 3 inverter ισχύος **20KW** κάθε ένας από τους οποίους θα αντιστοιχεί σε τέσσερις στοιχειοσειρές. Κάθε μια από τις στοιχειοσειρές πάνελ (όπως προαναφέρθηκε προηγουμένως) έχει ισχύ **5 KW**.

Ο τύπος των συγκεκριμένων αντιστροφέων είναι ο **SUNNY TRIPOWER 20000TL** της γνωστής εταιρίας κατασκευής inverter **SMA**. Ο συγκεκριμένος αντιστροφέας φαίνεται στην παρακάτω εικόνα από δύο όψεις:



Σχ. 6.3.3.1 Τριφασικός αντιστροφέας SUNNY TRIPOWER

➤ Τεχνικά χαρακτηριστικά αντιστροφέα:

Όνομασία (Τύπος)	:	SUNNY TRIPOWER 20000TL
Μέγιστη ισχύς DC (cosφ=1)	:	20450 W
Μέγιστη τάση εισόδου	:	1000 V
Μέγιστο ρεύμα εισόδου (ανά στοιχειοσειρά)	:	36 A
Όνομαστική ισχύς (230 V, 50 Hz)	:	20000 W
Μέγιστη φαινόμενη ισχύς AC	:	20000 VA
Μέγιστο ρεύμα εξόδου	:	29 A
Μέγιστος βαθμός απόδοσης	:	98,2%
Διαστάσεις (Π/Υ/Β) σε mm	:	665mm /680mm /265mm
Βάρος	:	45 Kg

Η επιλογή του συγκεκριμένου inverter έγινε διότι αποτελεί μια πλέον οικονομικά αποδοτική λύση για επαγγελματικές εγκαταστάσεις. Φροντίζει για τη σημαντική μείωση του κόστους επένδυσης, έχοντας παράλληλα υψηλή απόδοση της τάξεως του 98,2%.

Ο αντιστροφές αυτός είναι για χρήση πολλαπλών στοιχειοσειρών που μετατρέπει το συνεχές ρεύμα μιας φωτοβολταϊκής γεννήτριας σε εναλλασσόμενο. Για να πραγματοποιηθεί αυτό ο αντιστροφέας είναι εξοπλισμένος με 2 ξεχωριστούς ανιχνευτές MPP και μπορεί να συνδεθεί με τις διάφορες φωτοβολταϊκές μονάδες. Ο αντιστροφέας αυτός είναι τριών φάσεων και η ψύξη του πραγματοποιείται από το ενεργό σύστημα ψύξης **OptiCool**, όπου ένας ανεμιστήρας είναι ενσωματωμένος στην κάτω και στην αριστερή πλευρά του περιβλήματος.

Μαζί με το πρότυπα ολοκληρωμένο και θερμικά επιτηρούμενο βαρίστορ, ο αντιστροφέας είναι εξοπλισμένος με υποδοχές στη μονάδα για την πρόσθετη τοποθέτηση των υπερτάσεων **TypeII**. Επίσης είναι εξοπλισμένος με ένα σύστημα που αναγνωρίζει πλήρως τυχόν αποτυχία λειτουργίας των επιμέρους στοιχειοσειρών ή της επιμέρους στοιχειοσειράς ενώ δίνει την δυνατότητα παρακολούθησης μιας φωτοβολταϊκής μονάδας μέχρι και 4 στοιχειοσειρών. Κατά την φάση της εγκατάστασης, ο αντιστροφέας χρειάζεται περίπου 14 ημέρες μέτριας ακτινοβολίας για την επιτυχή ενεργοποίηση του. Ένα πλεονέκτημα αυτού του συστήματος είναι ότι η αυτόματη προσαρμοστική λειτουργία του εξαλείφει πλήρως την αναγκαιότητα οποιασδήποτε διαμόρφωσης. Σε περίπτωση βλάβης μιας στοιχειοσειράς ένα προειδοποιητικό μήνυμα εκδίδεται μέσω της οθόνης ή μέσω εξωτερικής επικοινωνίας εάν αυτή έχει εγκατασταθεί. Πρέπει να σημειωθεί επίσης ότι η ενημέρωση για τυχόν ακραία σκίαση και χιονιού που καλύπτει τις φωτοβολταϊκές μονάδες γίνεται μέσω προειδοποιητικών μηνυμάτων που στέλνει στην οθόνη του.

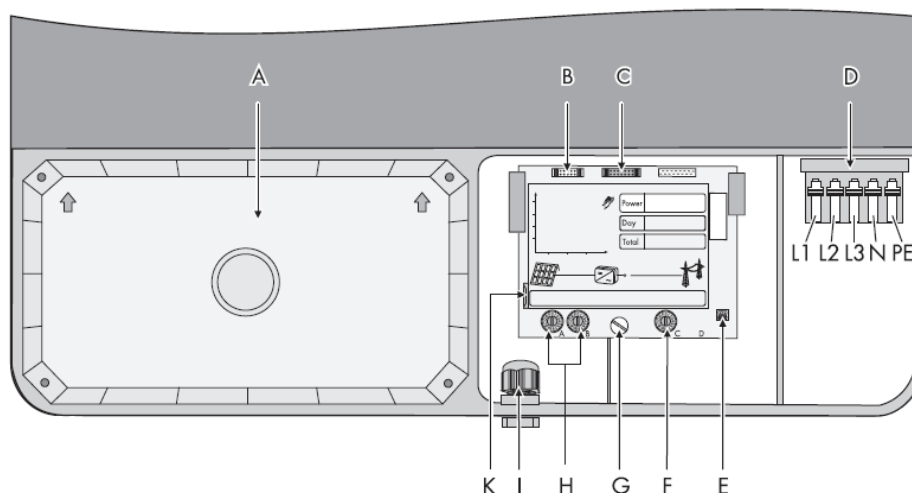
Ο αντιστροφέας είναι εξοπλισμένος με ένα σύστημα ηλεκτρονικής ασφάλειας των στοιχειοσειρών. Με αυτό τον τρόπο εμποδίζει σε επικίνδυνα ανάστροφα ρεύματα την επιστροφή στη φωτοβολταϊκή γεννήτρια και ως εκ τούτου παίζει σημαντικό ρόλο στην πρόληψη των πυρκαγιών. Τα ανάστροφα ρεύματα μπορεί να προκληθούν λόγω λανθασμένης πολικότητας των στοιχειοσειρών κατά την εγκατάσταση ή ως αποτέλεσμα των ελαττωμάτων της μονάδας κατά τη λειτουργία. Για το λόγο αυτό θα πρέπει πριν από την εγκατάσταση του αντιστροφέα να επαληθευτεί η πολικότητα της τάσης που παρέχουν οι στοιχειοσειρές μέσω της βοήθειας ενός κατάλληλου εργαλείου μέτρησης. Πέραν από αυτό το σημαντικό στοιχείο όμως, πρέπει να αναφερθεί ότι η παρεχόμενη ηλεκτρονική ασφάλεια των στοιχειοσειρών αναγνωρίζει τα ελαττώματα αυτά και προστατεύει την φωτοβολταϊκή γεννήτρια. Αυτό αποτρέπει την εμφάνιση των ανάστροφων ρευμάτων και συνεπώς προστατεύεται τόσο η φωτοβολταϊκή εγκατάσταση όσο και ο αντιστροφέας. Ένα από τα πλεονεκτήματα αυτής της μεθόδου είναι ότι δεν είναι απαραίτητες οι συμβατικές ασφάλειες (**DC**) στις εισόδους. Η ηλεκτρονική λύση δεν απαιτεί καμία συντήρηση και επίσης καμία διαστασιολόγηση. Βέβαια εάν η ηλεκτρική εγκατάσταση πραγματοποιείται υπό συνθήκες ανεπαρκούς ακτινοβολίας (τάση φωτοβολταϊκών μικρότερη από 188 V), ο αντιστροφέας δεν θα έχει παροχή ηλεκτρικού ρεύματος, κάτι το οποίο σημαίνει ότι οι προστατευτικές λειτουργίες που περιγράφονται παραπάνω δεν θα είναι ενεργές κατά την εγκατάστασή του. [18]

- **Η καλωδίωση:**

Η καλωδίωση του αντιστροφέα (inverter) θα πραγματοποιηθεί με τον τρόπο που εξηγείται παρακάτω, μέσω των σχετικών εικόνων. Στις εικόνες αυτές απεικονίζονται τα τμήματα στα οποία θα πραγματοποιηθούν οι διάφορες καλωδιώσεις, επεξηγείται ο τύπος των καλωδίων που θα χρησιμοποιηθούν, ο ακριβής τρόπος καλωδίωσης αυτών και η σωστή τοποθέτηση των υπόλοιπων τμημάτων π.χ. όπως καρτών λειτουργίας μέσα στον αντιστροφέα με στόχο την επιτυχημένη λειτουργία του στο βιομηχανικό χώρο εγκατάστασης.

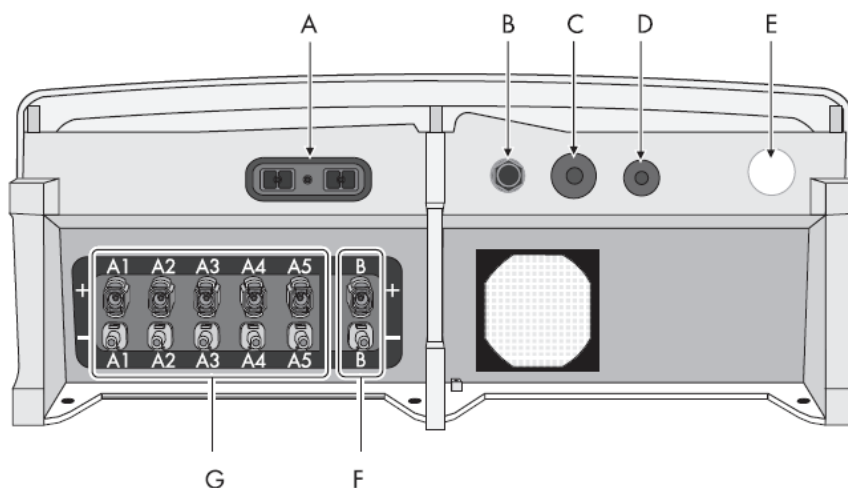
➤ Επισκόπηση των περιοχών σύνδεσης:

ΣΧΗΜΑ 1



a/a	Περιγραφή Σχήματος 1
A	Καπάκι παροχής DC (οι υποδοχές για αντικεραυνικές ασφάλειες και βαρίστορ βρίσκονται κάτω από αυτό)
B	Βύσμα για τη σύνδεση του ρελέ πολλαπλών λειτουργιών
C	Βύσμα για τη σύνδεση της μονάδας επικοινωνίας RS485 (προαιρετικό)
D	Ακροδέκτης για σύνδεση στο δίκτυο (δεν χρειάζεται στην προκειμένη περίπτωση)
E	Μπουτόν για τη ρύθμιση της Αγγλικής γλώσσας
F	Περιστροφικός διακόπτης για τη ρύθμιση του NetID Bluetooth
G	Βίδα για την απελευθέρωση και την αύξηση της οθόνης
H	Περιστροφικοί διακόπτες για τη ρύθμιση του προτύπου της χώρας και της γλώσσας εμφάνισης
I	Είσοδος των καλωδίων για το ρελέ πολλαπλών λειτουργιών (M20, 5mm έως 13 mm)
K	Υποδοχή για κάρτα SD (μόνο για σκοπούς σέρβις)

ΣΧΗΜΑ 2



a/a	Περιγραφή Σχήματος 2
A	Θέση ηλεκτρονικού διακόπτη ηλιακού φωτός
B	Είσοδος καλωδίου για το πολυλειτουργικό ρελέ (M20, 5 mm ... 13 mm)
C	Είσοδος καλωδίου επικοινωνίας μέσω RS485 (M32) (προαιρετικό)
D	Πρόσθετη είσοδος του καλωδίου (M20)
E	Είσοδος των καλωδίων για σύνδεση στο δίκτυο (AC) (M32 14 mm ... 25 mm)
F	Βύσματα σύνδεσης DC για τη σύνδεση των στοιχειοσειρών (περιοχή εισόδου B)
G	Βύσματα σύνδεσης DC για τη σύνδεση των στοιχειοσειρών (περιοχή εισόδου A)

- **Σύνδεση της φωτοβολταϊκής γεννήτριας:**

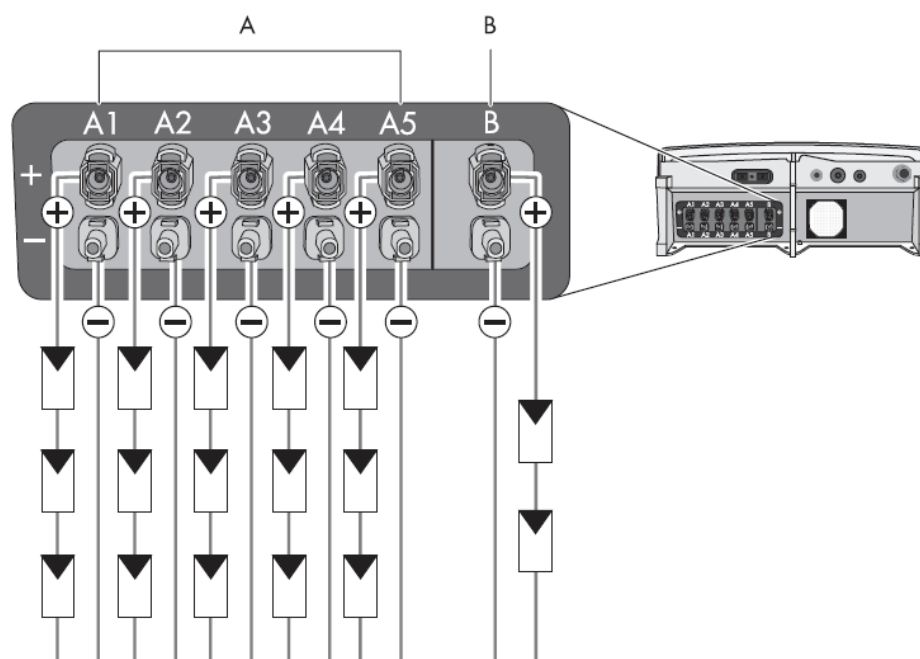
Για την σύνδεση της φωτοβολταϊκής γεννήτριας (DC) ο αντιστροφέας έχει 2 περιοχές εισόδου, "A" και "B", η κάθε μια με το δικό της ανιχνευτή MPP. Στον αντιστροφέα επιτρέπεται να συνδεθούν μέχρι και 5 στοιχειοσειρές στην περιοχή εισόδου "A" και έως μια στοιχειοσειρά στην περιοχή "B".

Για την περιοχή εισόδου "A", τα φωτοβολταϊκά θα πρέπει να πληρούν τις ακόλουθες προϋποθέσεις:

- α) Να είναι του ίδιου τύπου και όχι διαφορετικού
- β) Να είναι ίδια η ποσότητα των φωτοβολταϊκών πάνελ που συνδέονται σε σειρά
- γ) Να έχουν σωστή και ίδια ευθυγράμμιση
- δ) Να έχουν σωστή για την περιοχή και πανομοιότυπη κλίση

Για την ενεργοποίηση του ηλεκτρονικού συστήματος αναγνώρισης βλάβης στοιχειοσειράς τα φωτοβολταϊκά στις περιοχές εισόδου "A" και "B" πρέπει να είναι πανομοιότυπα ευθυγραμμισμένα. Ενώ οι αγωγοί σύνδεσης των φωτοβολταϊκών μονάδων πρέπει να διαθέτουν βύσματα σύνδεσης. [18]

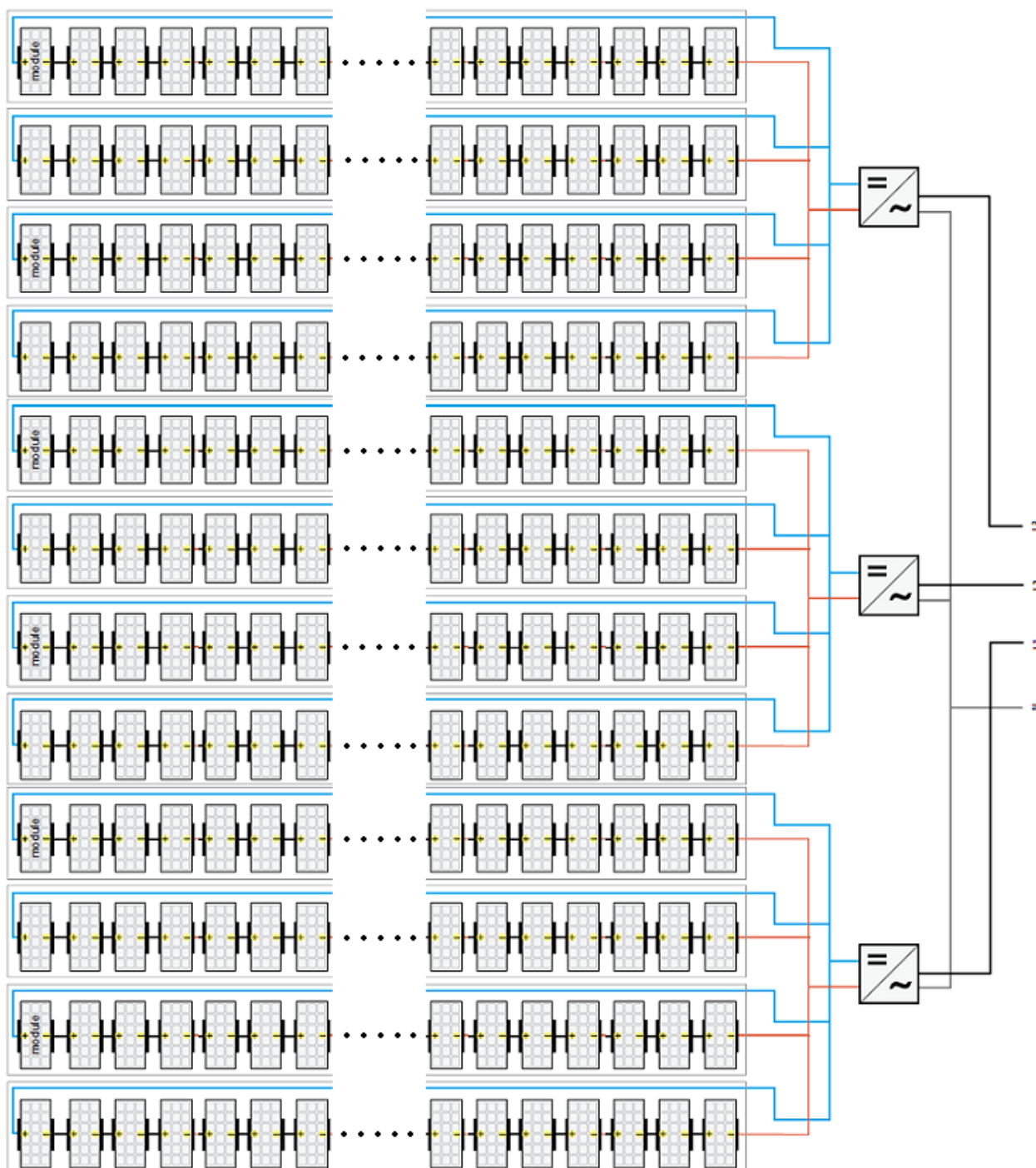
➤ Σχετική εικόνα σύνδεσης των στοιχειοσειρών στον αντιστροφέα:



Σχ. 6.3.3.2 Συνδεσμολογία των στοιχειοσειρών στις περιοχές εισόδου "A" και "B"

5.3.4) Διάταξη φωτοβολταϊκών πλαισίων

Στην παρακάτω εικόνα απεικονίζεται η συνολική διάταξη του τρόπου σύνδεσης των φωτοβολταϊκών πάνελ (60 KW) ανά στοιχειοσειρά με τους αντιστροφεείς (inverter) για την συγκεκριμένη εγκατάσταση που εξετάζεται. Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως για κάθε αντιστροφέα των 20KW αντιστοιχούν τέσσερις στοιχειοσειρές των 5KW. Κάθε πάνελ έχει ισχύ 230W, οπότε σε κάθε στοιχειοσειρά θα υπάρχουν 21 φωτοβολταϊκά πλαίσια:



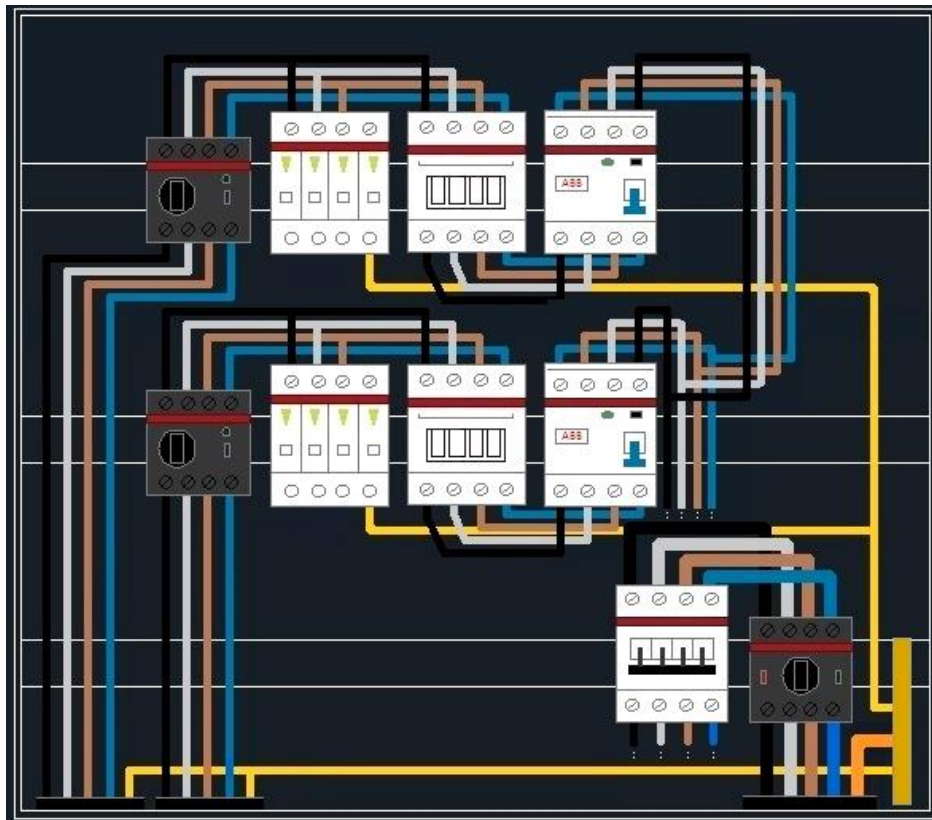
- Μέσω πράξεων έχουμε: $N = 5000W / 230W = 21,74 \approx 21$ φωτοβολταϊκά πάνελ

5.3.5) Πίνακας AC ρεύματος

Ο πίνακας εναλλασσομένου ρεύματος (AC) συνδέεται σε σειρά με τον αντιστροφέα (inverter). Στην εγκατάσταση που εξετάζεται θα χρησιμοποιηθούν (όπως και στην περίπτωση του συνεχούς) τρεις πίνακες εναλλασσομένου ρεύματος (AC) της **ABB** ένας για κάθε 4 στοιχειοσειρές φωτοβολταϊκών. Κάθε ένας από τους πίνακες θα περιέχει εσωτερικά:

- Δύο τετραπολικούς ασφαλειοαποζεύκτες **20A** (ABB)
- Δύο τετραπολικούς απαγωγούς υπερτάσεων **275V AC** (ABB)
- Δύο διακόπτες διαρροής (ρελέ) **4X25A** (ABB)
- Δύο τετραπολικούς διακόπτες φορτίου **AC 25A** και ένας γενικός **AC 32A**
- Ένα γενικό αυτόματο διακόπτη με θερμομαγνητική προστασία **4X32A**
- Καλώδια NYΥ διατομής **4X6 mm²** και παροχικό NYΥ διατομής **5X10 mm²**
- Καλώδιο γείωσης (**PE**) Cu **25 mm²**

- Παρακάτω είναι σχεδιασμένο σε **AutoCAD 2012** αναλυτικά το μονογραμμικό σχέδιο του πίνακα συνεχούς ρεύματος (AC) της εγκατάστασης:



Στο πίνακα παραπάνω έχουμε δύο σειρές με διακόπτες διακοπής φορτίου, αντικεραυνικά και ρελέ. Με μαύρο, γκρι και καφέ χρώμα είναι η καλωδίωση των φάσεων (3Φ) και η διατομή τους είναι **6 mm²**. Με μπλε χρώμα είναι η καλωδίωση του ουδετέρου, επίσης με διατομή **6 mm²**. Τέλος με κίτρινο χρώμα είναι η καλωδίωση της γείωσης των στοιχείων του πίνακα, διατομής **Cu 6 mm²** και της κεντρικής γείωσης **Cu 25 mm²** (για λόγους ασφάλειας). Όλες οι ασφάλειες τα ρελέ και οι διακόπτες των πινάκων αυτών είναι κατασκευασμένοι από μια ευρέως γνωστή εταιρία ηλεκτρολογικού υλικού την **ABB**.

➤ Παρακάτω αναλύεται η λειτουργία και αναπαριστούνται όλα τα στοιχεία που θα χρησιμοποιηθούν για τον πίνακα εναλλασσομένου ρεύματος (AC) που φαίνεται σχηματικά προηγουμένως:

- **Ασφαλειοαποζεύκτες:**

Όπως και στην περίπτωση του πίνακα συνεχούς προηγουμένως οι ασφαλειοαποζεύκτες προσφέρουν εφεδρική προστασία στους απαγωγείς υπερτάσεων κατά τη λήξη της ωφέλιμης ζωής τους ενώ ένα ιδιαίτερο χαρακτηριστικό είναι ότι μπορούν να κλειδωθούν με τη χρήση κατάλληλου λουκέτου όταν βρίσκονται σε ανοιχτή θέση. Μια εξαίρεση αποτελεί το γεγονός ότι αντί για διπολικούς, τώρα χρησιμοποιούνται τετραπολικούς (διακοπής ουδετέρου).

A) Ασφαλειοαποζεύκτης 3P+N:



- **Απαγωγείς υπερτάσεων (αντικεραυνικά):**

Όπως και στην περίπτωση του πίνακα συνεχούς προηγουμένως οι μονάδες αυτές προστατεύουν τα φωτοβολταϊκά πλαίσια και τους αντιστροφείς από μεταβατικές υπερτάσεις και στιγμιαία κρουστικά ρεύματα όπως αναφέρθηκε. Μια εξαίρεση αποτελεί το γεγονός ότι αντί για τριπολικούς, τώρα χρησιμοποιούνται τετραπολικούς (διακοπής ουδετέρου).

B) Απαγωγός υπέρτασης 3P+N:



- **Διακόπτες φορτίου AC:**

Οι διακόπτες φορτίου κυκλωμάτων εναλλασσόμενης τάσης όπως και των κυκλωμάτων της συνεχούς τάσης, χρησιμοποιούνται για τη ζεύξη ή απόζευξη ενός κυκλώματος υπό φορτίο. Ο εύκολος χειρισμός τους διευκολύνει τις εργασίες συντήρησης ή επέκτασης ενός κυκλώματος εναλλασσόμενης τάσης. Για τον πίνακα εναλλασσομένου ρεύματος βέβαια χρησιμοποιούνται οι διακόπτες φορτίου **OT** διαφορετικού τύπου από τους προηγούμενους.

A) Διακόπτης φορτίου AC 3P:

- **Διακόπτες διαρροής:**

Οι διακόπτες διαρροής προστατεύουν το προσωπικό και τον εξοπλισμό μιας ηλεκτρικής εγκατάστασης από ηλεκτροπληξία ή εκδήλωση πυρκαγιάς. Η ύπαρξη των διακοπών διαρροής στους πίνακες διανομής μιας εγκατάστασης είναι επιβεβλημένη. Οι διακόπτες διαρροής που θα χρησιμοποιηθούν προσφέρουν προστασία από παλμικά ρεύματα με συνεχείς συνιστώσες και εξαιρετικά μικρούς χρόνους αντίδρασης σύμφωνα με το πρότυπο IEC 62423, καθιστώντας τους ιδανικούς για εγκαταστάσεις Φ/Β συστημάτων.

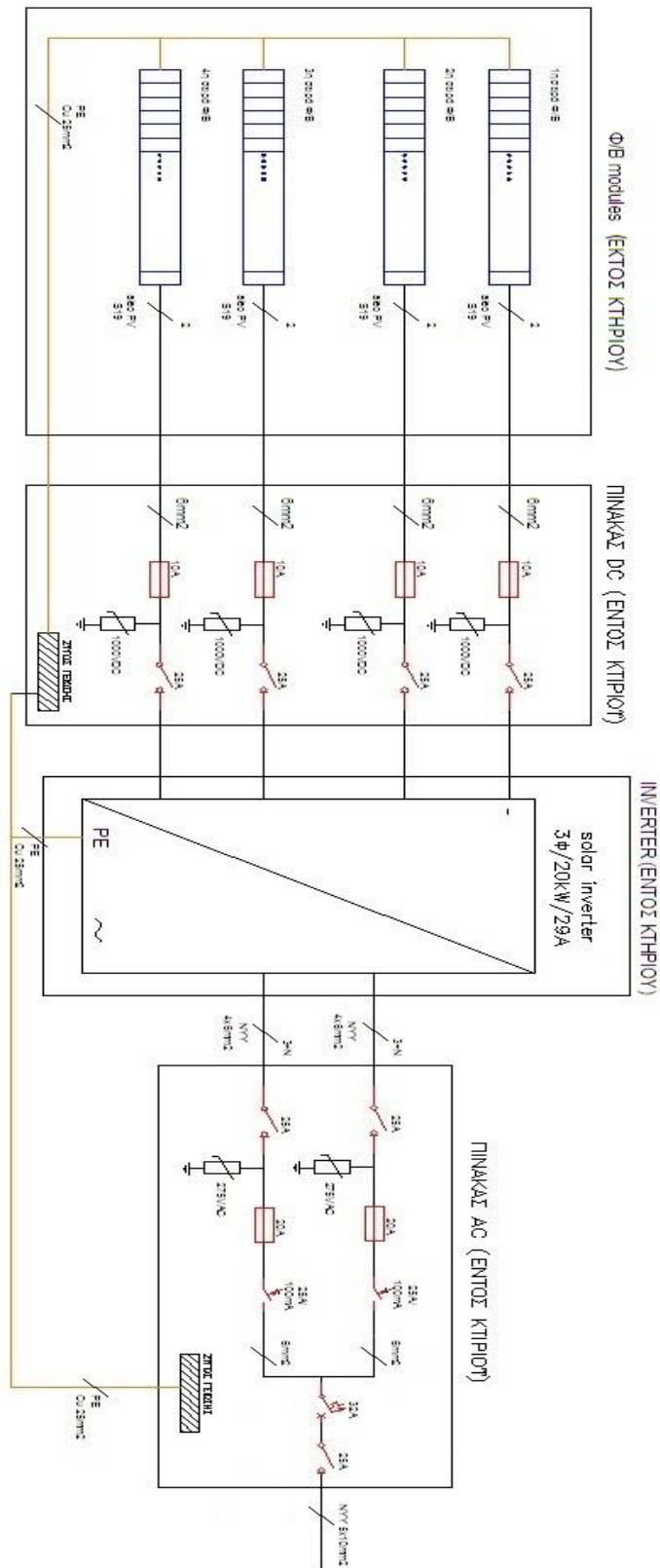
B) Διακόπτης διαρροής 3P+N:

- **Γενικός διακόπτης:**

Ο γενικός διακόπτης τοποθετείται έτσι ώστε να δίνεται η δυνατότητα διακοπής όλου του κυκλώματος της φωτοβολταϊκής εγκατάστασης σε περιπτώσεις επικίνδυνων καταστάσεων. Ο συγκεκριμένος γενικός διακόπτης τροφοδοτείται από ένα διακόπτη διακοπής φορτίου ΟΤ ο οποίος συμβάλει στη ζεύξη και στην απόζευξη του κυκλώματος. [15]

Γ) Γενικός διακόπτης 3P+N:

- Στο παρακάτω σχήμα απεικονίζεται το μονογραμμικό διάγραμμα της συνδεσμολογίας ενός τμήματος της εγκατάστασης (για έναν inverter) το οποίο σχεδιάστηκε μέσω του προγράμματος **AutoCAD 2012** :

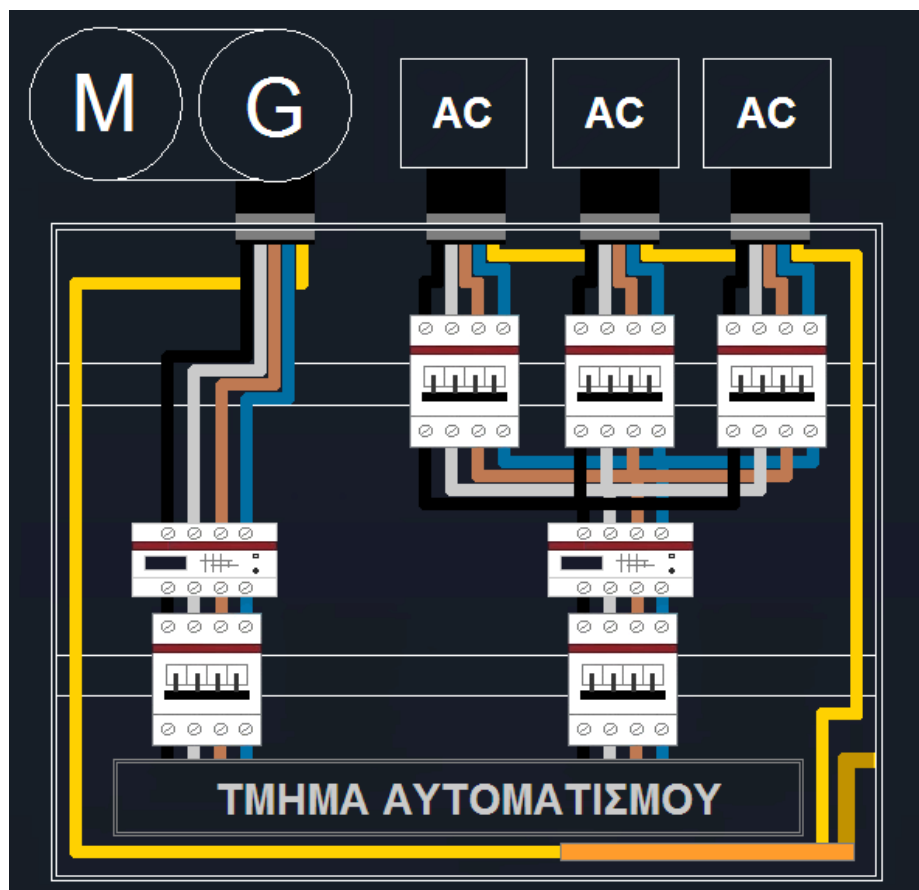


5.4) Γενικός πίνακας χαμηλής τάσης

Τα δύο συστήματα που αναλύθηκαν στις προηγούμενες ενότητες ελέγχονται από ένα γενικό πίνακα χαμηλής τάσης (Γ.Π.Χ.Τ). Ο πίνακας αυτός ελέγχει την αυτόνομη ή τη παράλληλη λειτουργία των δύο αυτών συστημάτων μέσω μετρητών ισχύος τοποθετημένους πάνω στη γραμμή τροφοδοσίας και μέσω ενός συστήματος αυτοματισμού στο εσωτερικό του. Αυτό συμβαίνει έτσι ώστε να επιτυγχάνεται ο έλεγχος των δύο γενικών διακοπών, κάθε ένας από τους οποίους με τη σειρά του διακόπτει τη λειτουργία του κάθε συστήματος όταν αυτό κριθεί αναγκαίο. Ο γενικός πίνακας χαμηλής τάσης θα περιέχει εσωτερικά:

- Τρεις τετραπολικούς διακόπτες **40A**
- Δύο γενικούς διακόπτες με θερμομαγνητική προστασία **4X63A**
- Μετρητές ισχύος με **230/400 V_{AC}** (τάση λειτουργίας)
- Καλώδια παροχικά NYΥ διατομής **5X10 mm²**
- Καλώδιο γείωσης (PE) Cu **35 mm²**

➤ Στην παρακάτω εικόνα φαίνεται το σχήμα του γενικού πίνακα χαμηλής τάσης της εγκατάστασης σε **AutoCAD 2012**:



Στο πίνακα παραπάνω έχουμε δύο σειρές με διακόπτες και μια σειρά με μετρητές ισχύος (ενέργειας). Στη πρώτη σειρά έχουμε τρεις διακόπτες ένας για κάθε πίνακα AC της εγκατάστασης και στη τρίτη δύο γενικούς διακόπτες οι οποίοι συνδέονται σε σειρά με τους μετρητές ενέργειας. Με μαύρο, γκρι και καφέ χρώμα είναι η καλωδίωση των φάσεων (3Φ)

και η διατομή τους είναι **10 mm²**. Με μπλε χρώμα είναι η καλωδίωση του ουδετέρου, επίσης με διατομή **10 mm²**. Τέλος με κίτρινο χρώμα είναι η καλωδίωση της γείωσης των στοιχείων του πίνακα, διατομής **Cu 10 mm²** και της κεντρικής γείωσης **Cu 35 mm²** (για λόγους ασφάλειας). Όλοι οι διακόπτες των πινάκων αυτών όπως και οι μετρητές ισχύος είναι κατασκευασμένοι επίσης από την **ABB**.

5.4.1) Μετρητής ισχύος

Ένα πολύ σημαντικό κομμάτι στα κυκλώματα φωτοβολταϊκών συστημάτων και δη στο εξεταζόμενο, είναι η μέτρηση της παραγόμενης ενέργειας που παρέχεται μέσω των πάνελ στο πίνακα χαμηλής τάσης και τελικά στις καταναλώσεις τις εγκατάστασης. Είναι σημαντικό κάθε στιγμή, να γνωρίζουμε το ποσό της ενέργειας που έχει διοχετευθεί μέσω των εσόδων που έχει εξασφαλίσει το φωτοβολταϊκό σύστημα. Η μέτρηση της ενέργειας αυτής, γίνεται με κατάλληλες διατάξεις οι οποίες μετρούν την πραγματική, παραγόμενη ενέργεια σε **KWh**. Οι διατάξεις αυτές ονομάζονται μετρητές ισχύος ή μετρητές ενέργειας.

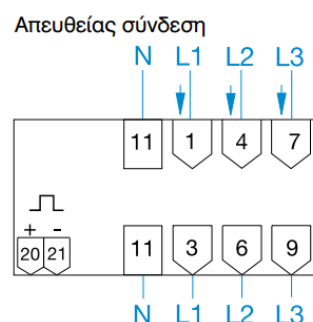
Στην συγκεκριμένη εγκατάσταση θα χρησιμοποιηθούν μετρητές **ODIN** για τριφασικά δίκτυα, μια σειρά της **ABB**. Κατασκευαστικά είναι συμπαγείς και έχουν σχεδιαστεί για να τοποθετούνται σε ράγες σε πίνακες διανομής ή σε πρότυπα κουτιά και είναι πιστοποιημένοι σύμφωνα με το διεθνές πρότυπο IEC 61036. Επίσης οι μετρητές αυτοί μπορούν εύκολα να ενσωματωθούν σε ένα ολοκληρωμένο σύστημα συλλογής δεδομένων μέσω κατάλληλων σειριακών θυρών επικοινωνίας, σε πρωτόκολλα Ethernet, GSM/SPRS, KXN και RS232 ενώ έχουν εγκριθεί σύμφωνα με την οδηγία οργάνων μέτρησης (MID) και την ευρωπαϊκή οδηγία 2004/22/EC. [15]

- Στις παρακάτω εικόνες φαίνεται η αναπαράσταση του μετρητή ισχύος που θα χρησιμοποιηθεί στην εγκατάσταση και ο τρόπος συνδεσμολογίας του:

A) Μετρητής ODIN 4165 3P+N:



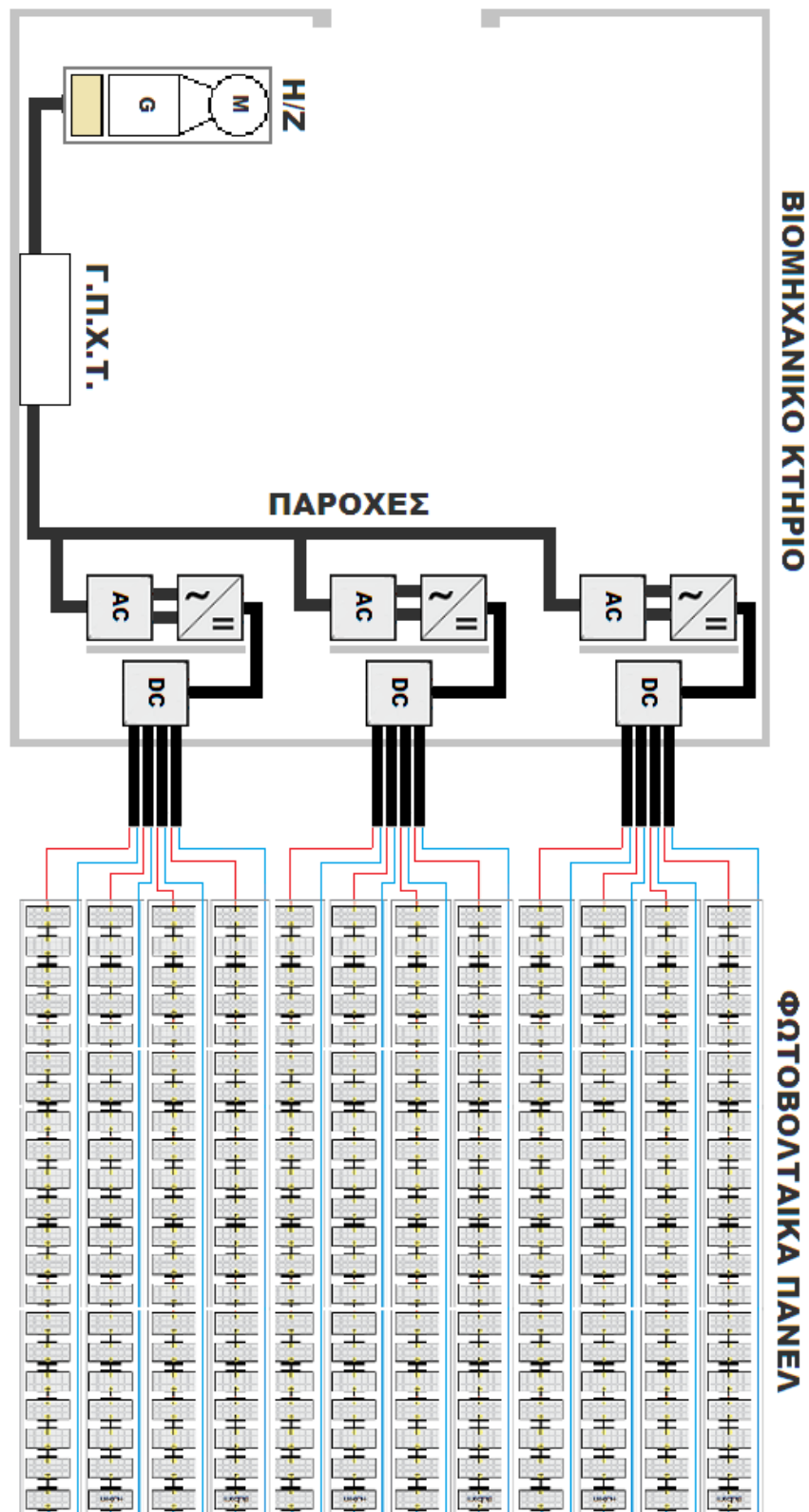
B) Τρόπος συνδεσμολογίας:



- Πίνακας βασικών τεχνικών προδιαγραφών μετρητή ισχύος:

Τάση	:	3x230/ 400 VDC
Μέγιστο ρεύμα	:	65 A
Ρεύμα έναρξης	:	25 mA
Συχνότητα	:	50/60 Hz
Εύρος τάσης	:	-20% έως +15%
Ακρίβεια μέτρησης	:	Class 2 (± 2%)

- Στο παρακάτω σχέδιο απεικονίζεται μια περίπτωση στο πως θα μπορούσε να φαίνεται η διάταξη όλης της εγκατάστασης συμπεριλαμβανομένου και του βιομηχανικού χώρου προς εξέταση:



*(Ο σχεδιασμός έγινε με μοναδικό κριτήριο τους κανόνες εγκατάστασης και δεν αποκρίνεται στην πραγματικότητα καθώς ο βιομηχανικός χώρος αυτός δεν υπάρχει).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6°

ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ – ΠΡΟΤΥΠΑ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ

6.1) Παρατηρήσεις - Συμπεράσματα

Μέσω της εξέτασης αυτής της εγκατάστασης και των συστημάτων που την απαρτίζουν προκύπτουν κάποια ενδιαφέροντα στοιχεία τα οποία οδηγούν σε εύλογα συμπεράσματα όσον αφορά τα πλεονεκτήματα των υβριδικών συστημάτων και δη των αυτόνομων:

I) Τα υβριδικά συστήματα εκμεταλλεύονται τα καλύτερα χαρακτηριστικά της κάθε τεχνολογίας και παρέχουν ενέργεια τέτοιας ποσότητας και ποιότητας όπως αυτής του δικτύου, με ένα εύρος από 1KW μέχρι και πολλές εκατοντάδες KW. Έτσι λοιπόν μπορούν να αναπτυχθούν σαν αυτόματα και ανεξάρτητα καινούργια συστήματα για τη διανομή ενέργειας ή να ενταχθούν σε υπάρχουσες θερμικές μονάδες βασιζόμενες στο πετρέλαιο μετά από τις απαραίτητες επεμβάσεις στο υπάρχον σύστημα.

II) Όπως εξετάστηκε, βρίσκει εφαρμογή κυρίως σε περιοχές όπου η σύνδεση τους με το ηλεκτρικό δίκτυο, αλλά και η μεταφορά του καυσίμου θεωρούνται αντιοικονομικές επιλογές. Βέβαια παρέχουν και τη δυνατότητα μελλοντικής σύνδεσης με το δίκτυο στις περιοχές που γίνεται η εγκατάστασή τους και εφόσον αυτό θεωρηθεί αναγκαίο. Επιπλέον λόγω της υψηλής αποδοτικότητάς τους και της αξιοπιστίας τους, τέτοιου τύπου συστήματα μπορούν να φανούν χρήσιμα σαν μια αποτελεσματική λύση παροχής ηλεκτρικής ισχύος σε περιπτώσεις διακοπών παροχής ή ακόμη και σε καταναλωτές αρκετά εξειδικευμένους, όπως οι τηλεπικοινωνιακοί σταθμοί και οι νοσοκομειακές μονάδες.

III) Ένα τυπικό υβριδικό σύστημα συνδυάζει δύο ή και περισσότερες τεχνολογίες παραγωγής ενέργειας. Από την πλευρά των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (ΑΠΕ) υπάρχει η χρήση των φωτοβολταϊκών, που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα εργασία. Αντί αυτών όμως θα μπορούσαν επίσης να υπάρχουν στη θέση τους είτε ανεμογεννήτριες, είτε μικρά υδροηλεκτρικά συστήματα. Από την πλευρά των συμβατικών πηγών ενέργειας, υπάρχει χρήση ντιζελογεννητριών όπως αυτή που εξετάστηκε στην παρούσα εργασία. Επίσης όμως θα μπορούσαν να υπάρξουν στη θέση της είτε μονάδες που παράγουν ενέργεια από τη χρήση βιομάζας, είτε κυψέλες καυσίμου. Συν τις άλλες βέβαια περιλαμβάνονται και ηλεκτρονικά ισχύος, όπως ανορθωτές (inverter) όπως εξετάστηκε ή ακόμα και αντιστροφείς και ρυθμιστές τάσης αν αυτό κριθεί αναγκαίο. Όσον αφορά τις μπαταρίες αποθήκευσης ενέργειας, η χρήση τους εξαρτάται από το τύπο και τις ανάγκες της εγκατάστασης στην κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας.

IV) Για τα υβριδικά συστήματα που περιέχουν τεχνολογία με καύσιμο, όπως αυτό της παρούσας εργασίας, λειτουργούν με την ελάχιστη δυνατή κατανάλωση, καθώς προβλέπεται από αυτά παραγωγή ενέργειας μόνο σε περιόδους υψηλής ζήτησης φορτίου ή χαμηλού ανανεώσιμου δυναμικού. Το γεγονός αυτό υποδηλώνει τη μειωμένη κατανάλωση καυσίμου σε σχέση με μια αυτόνομη μονάδα συμβατικής τεχνολογίας μόνη της.

V) Η αύξηση της αξιοπιστίας αυτών των συστημάτων, οι ασήμαντες απώλειες μεταφοράς και η χρήση αειφόρων πηγών ενέργειας παίζουν σημαντικό ρόλο για να αποτελέσουν τα υβριδικά συστήματα την καλύτερη αποκεντρωμένη λύση.

VI) Τα υβριδικά συστήματα συνήθως εφαρμόζονται σε αγροτικές περιοχές αποκομμένες απ' το δίκτυο. Επειδή οι περιοχές αυτές δεν παρουσιάσουν μεγάλο φορτίο και συνήθως βρίσκονται μακριά από το υπάρχον δίκτυο, καθίσταται αυτομάτως αντισυμβατική η δημιουργία δικτύου για την ηλεκτροδότηση τέτοιων κοινοτήτων η ακόμη και κατοικιών. Έτσι η παροχή ενέργειας από υβριδικά συστήματα, βασιζόμενα σε ΑΠΕ είναι πιο οικονομική σε αυτές τις περιπτώσεις και φιλική προς το περιβάλλον.

VII) Για βιομηχανικές επιχειρήσεις που επηρεάζονται από συχνές απώλειες δικτύου και εξαρτώνται από γεννήτριες diesel, ένα υβριδικό σύστημα με φωτοβολταϊκά και γεννήτριες ντίζελ αποτελεί την ιδανική λύση διότι αυξάνονται τα οφέλη της ηλιακής ενέργειας σημαντικά και μειώνεται ο χρόνος απόσβεσης της φωτοβολταϊκής εγκατάστασης. [19]

6.2) Πρότυπα εγκατάστασης

Η συνολική ηλεκτρολογική εγκατάσταση, με εξαίρεση την αντικεραυνική προστασία, θα πραγματοποιηθεί με βάση το ελληνικό πρότυπο **ΕΛΟΤ HD 384** το οποίο περιέχει όλες τους κανονισμούς που απαιτούνται για ηλεκτρολογικές εγκαταστάσεις. Στην εγκατάσταση αυτή το πρότυπο αυτό καλύπτει:

A) Τα κυκλώματα τα τροφοδοτούμενα με εναλλασσόμενο ρεύμα με ονομαστική τάση μέχρι και **1000 V** και τα τροφοδοτούμενα με συνεχές ρεύμα με ονομαστική τάση μέχρι και 1500V. Για το εναλλασσόμενο ρεύμα προτιμώμενες συχνότητες είναι: **50 Hz, 60Hz και 400 Hz**, δεν αποκλείεται όμως η χρησιμοποίηση οποιασδήποτε άλλης συχνότητας για ειδικές εφαρμογές.

B) Τα κυκλώματα, εκτός από τις εσωτερικές συρματώσεις των ηλεκτρικών συσκευών, που λειτουργούν με ονομαστικές τάσεις που υπερβαίνουν τα **1000 V** εναλλασσόμενου ρεύματος και προέρχονται από μια ηλεκτρική εγκατάσταση ονομαστικής τάσης κάτω των 1000 V εναλλασσόμενου ρεύματος.

Γ) Όλες τις καλωδιώσεις και τις ηλεκτρικές γραμμές που δεν καλύπτονται από τα Πρότυπα τα σχετικά με τις συσκευές κατανάλωσης και όλες τις ηλεκτρικές εγκαταστάσεις των καταναλωτών που βρίσκονται έξω από τα κτίρια.

Δ) Τις σταθερές ηλεκτρικές γραμμές που χρησιμεύουν για τηλεπικοινωνία, σήμανση, χειρισμούς και τα παρόμοια (με εξαίρεση τις εσωτερικές συρματώσεις των συσκευών).

Ε) Τις επεκτάσεις ή τις τροποποιήσεις των ηλεκτρικών εγκαταστάσεων που έχουν κατασκευασθεί σύμφωνα με κανονισμούς που ίσχυαν πριν από την έκδοση της παρούσας έκδοσης. Κατά την επέκταση ή τροποποίηση μίας προϋπάρχουσας εγκατάστασης, συνιστάται να προσαρμόζεται και αυτή, στο μέτρο του δυνατού, με τις απαιτήσεις της παρούσας έκδοσης και πάντως πρέπει να εξασφαλίζεται ότι η πραγματοποιούμενη επέκταση ή τροποποίηση δεν θα μειώνει την ασφάλεια λειτουργίας της προϋπάρχουσας εγκατάστασης. [20]

➤ Όσον αφορά τα **μέτρα προστασίας για ασφάλεια**, χωρίζονται στις εξής ενότητες:

A) Προστασία έναντι ηλεκτροπληξίας:

Σε αυτό το κεφάλαιο περιγράφονται τα μέτρα προστασίας έναντι ηλεκτροπληξίας, τόσο από άμεση επαφή, όσο και από έμμεση επαφή. Η προστασία από άμεση επαφή συνίσταται στη λήψη των απαιτούμενων μέτρων που προορίζονται για την αποτροπή των κινδύνων που μπορεί να προέλθουν από την επαφή με τα ενεργά μέρη, όταν η εγκατάσταση βρίσκεται σε κανονική κατάσταση λειτουργίας. Η προστασία από έμμεση επαφή έχει προορισμό να αποτρέπει τους κινδύνους που μπορεί να προέλθουν από την επαφή με τα εκτεθειμένα αγωγίμα μέρη, αν αυτά αποκτήσουν τάση, εξαιτίας ενός σφάλματος της μόνωσης.

B) Προστασία έναντι θερμικών επιδράσεων:

Το ηλεκτρολογικό υλικό δεν πρέπει να δημιουργεί κίνδυνο πυρκαγιάς για παρακείμενα υλικά. Κατά την εγκατάσταση και τη λειτουργία του ηλεκτρολογικού υλικού, επιπλέον από όσα αναφέρονται σε αυτό το τμήμα, πρέπει να τηρούνται οι τυχόν υπάρχουσες σχετικές οδηγίες εγκατάστασης του κατασκευαστή του υλικού.

Γ) Προστασία έναντι υπερεντάσεων:

Οι ενεργοί αγωγοί πρέπει να προστατεύονται με μία ή περισσότερες διατάξεις αυτόματης διακοπής της τροφοδότησης, έναντι υπερφορτίσεων και έναντι βραχυκυκλωμάτων, εκτός αν οι υπερεντάσεις περιορίζονται σύμφωνα με τα αναφερόμενα στο Τμήμα 436. Εξάλλου η προστασία έναντι υπερφορτίσεων και η προστασία έναντι βραχυκυκλωμάτων, πρέπει να συνεργάζονται μεταξύ τους.

Δ) Προστασία έναντι μειώσεων της τάσης:

Όταν μια μείωση της τάσης, ή η απώλεια και η εν συνεχεία επαναφορά της, θα μπορούσε να συνεπάγεται επικίνδυνες καταστάσεις για πρόσωπα ή πράγματα, πρέπει να λαμβάνονται κατάλληλα μέτρα προστασίας. Επίσης μέτρα προστασίας πρέπει να λαμβάνονται όταν ένα μέρος της εγκατάστασης ή των συσκευών μπορεί να υποστεί βλάβη από μια μείωση της τάσης. Δεν απαιτείται η λήψη μέτρων προστασίας έναντι μείωσης της τάσης εάν η βλάβη στην εγκατάσταση ή την συσκευή θεωρείται αποδεκτό ενδεχόμενο, αρκεί να μην προκαλείται κίνδυνος σε πρόσωπα.

E) Απομόνωση και διακοπή:

Το Κεφάλαιο αυτό έχει ως αντικείμενο τα μέτρα μη αυτόματης απομόνωσης και διακοπής, τα οποία έχουν προορισμό την πρόληψη ή την εξάλειψη των κινδύνων που είναι δυνατόν να εμφανισθούν στην εγκατάσταση, στις συσκευές ή στα μηχανήματα που τροφοδοτούνται με ηλεκτρική ενέργεια.

Z) Εφαρμογή των μέτρων προστασίας:

Σε κάθε ηλεκτρική εγκατάσταση ή τμήμα εγκατάστασης και σε κάθε συσκευή πρέπει να εφαρμόζονται τα μέτρα προστασίας όπως καθορίζεται σε αυτό το κεφάλαιο. Η προστασία πρέπει να παρέχεται: α) είτε από το ίδιο το υλικό β) είτε από την εφαρμογή μέτρων προστασίας κατά την κατασκευή της εγκατάστασης. γ) είτε από συνδυασμό των α) και β).

H) Εξωτερικές επιδράσεις:

Το Τμήμα αυτό καλύπτει την επιλογή του υλικού και την κατασκευή των εγκαταστάσεων σε χώρους όπου υπάρχουν κίνδυνοι πυρκαγιάς οφειλόμενοι στη φύση των υλικών που υφίστανται κατεργασία ή αποθηκεύονται σ' αυτούς. Πρόκειται για χώρους παραγωγής, κατεργασίας ή αποθήκευσης εύφλεκτων υλικών λαμβανόμενης υπόψη και της συσσώρευσης σκόνης, όπως: αχυρώνες, ξυλουργεία, χαρτοποιεία, υφαντουργεία ή παρόμοιοι χώροι. [20]

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Καρασσάβας Κλήμης « Μελέτη Υβριδικού Συστήματος Ηλεκτροπαραγωγής » ΔΕΛΤΙΟ Π.Σ.Δ.Μ-Η. τεύχος 374/2-2005
- [2] Ζαχαρίας Θ. « Ήπιες Μορφές Ενέργειας Ι και Ήπιες Μορφές Ενέργειας ΙΙ » Εκδόσεις Πανεπιστημίου Πατρών 2009
- [3] IEA (International Energy Agency) Renewable Energy World Statistics – Παγκόσμια Στατιστικά Αποθεμάτων και Κατανάλωσης Ενεργειών
- [4] Καρασσάβας Κλήμης « Διασύνδεση Ηλιογεννήτριας σε Υβριδικό Σύστημα Παραγωγής Ηλεκτρικής Ενέργειας » ΔΕΛΤΙΟ Π.Σ.Δ.Μ-Η. τεύχος 403/11-2007
- [5] J.A. Duffie and W.A. Beckmann « Solar Engineering of Thermal Processes » 3rd Edition USA John Wiley & Sons Inc. – 2006
- [6] Ι.Ε. Φραγκιαδάκης « Φωτοβολταϊκά Συστήματα » 3^η Έκδοση, Εκδόσεις "ΖΗΤΗ" Αθήνα 2009
- [7] Stephen Charman « Ηλεκτρικές Μηχανές » 4^η Έκδοση, Εκδόσεις Τζιόλα (Θεσσαλονίκης) 2010
- [8] Ι.Α Τεγόπουλος « Ηλεκτρικές Μηχανές – Μόνιμη Κατάσταση » μέρος Β΄, Εκδόσεις Συμμετρία Αθήνα 1991
- [9] Α. Σαφάκας « Ηλεκτρικές Μηχανές Ι και Ηλεκτρικές Μηχανές ΙΙ » 2005-2006 ,Εκδόσεις Πανεπιστημίου Πατρών
- [10] Μιχαήλ Π. Παπαδόπουλος «Παραγωγή Ηλεκτρικής Ενέργειας από Ανανεώσιμες Πηγές», Έκδοση Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου, Αθήνα 1997
- [11] Renewable Energy Policy Network for the 21th Century, «RENEWABLES 2007, Global Status Report»
- [12] Renewable Energy Policy Network for the 21th Century, «RENEWABLES 2009 UPDATE, Global Status Report»
- [13] Ντοκόπουλος Πέτρος « Ηλεκτρικές Εγκαταστάσεις Καταναλωτών Μέσης και Χαμηλής Τάσης » μέρος Β΄ Εκδόσεις ΖΗΤΗ Θεσσαλονίκη 2005
- [14] Νίκος Μ. Κιμουλάκης « Κτιριακές Ηλεκτρικές Εγκαταστάσεις (ΕΛΟΤ HD 384) » Εκδόσεις Παπασωτηρίου, Αθήνα 2006
- [15] ABB company « Τιμοκατάλογος και προϊόντα 2011» και « Λύσεις για Φωτοβολταϊκά Συστήματα 2011»

- [16] Τμήμα Ναυπηγών Μηχανολόγων Μηχανικών Ε.Μ.Π « Παραλληλισμός Η/Ζ » Τομέας Ναυτικής Μηχανολογίας.
- [17] Εγχειρίδιο Οδηγιών Εγκατάστασης « Φωτοβολταϊκών Πάνελ S16, S17, S18, S19» της Aleo Solar Energy
- [18] Εγχειρίδιο εγκατάστασης « PV Inverters SUNNY TRIPOWER 8000TL / 10000TL / 12000TL / 15000TL / 17000TL » της SMA
- [19] Ελευθέριος Μάλτας, « Σχεδιασμός και Έλεγχος Αυτόνομου Υβριδικού Συστήματος Ηλεκτροπαραγωγής Τύπου Φ/Β, Α/Γ και Θ/Η για την Οικονομικότερη Λειτουργία του » Έκδοση 2007
- [20] Ελληνικό Πρότυπο (Hellenic Standard) ΕΛΟΤ HD 384 « Απαιτήσεις για Ηλεκτρικές Εγκαταστάσεις » 2^η Έκδοση 03/04/2004
- [---] Google search engine « Μηχανή παγκόσμιας αναζήτησης Google » – Εξειδικευμένη αναζήτηση επιστημονικών συγγραμμάτων μέσω « Ερευνητή »

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ

EN | EN | DE 240 - 255 W

Solar module aleo

S_19 gen2



Strong Performance

Can excellent solar modules be made even better? Yes, they can – by aleo! The generation 2 of the robust, high yielding aleo S_19 module with first class workmanship possesses a new frame and optimised connectors. That's why the module is more stable and easier to install. Whether by salt mist or barn vapour, high snow loads or strong wind pressure – the aleo S_19 gen2 delivers long-term high energy yields under extreme conditions. aleo modules are classified with a positive power tolerance. The performance is guaranteed by aleo solar for 25 years, the product guarantee is for 10 years.



Everything from a single source

Consultancy, complete system planning, delivery, financing, insurance, training, disposal



Comprehensive quality management

Production to international quality and environmental standards, for example, ISO 9001 and ISO 14001, and stringent internal controlling



Robust and simple to install

Improved frame stability, approved for increased pressure and suction loads of 5400 Pascal, flexible mounting through slotted holes and longer connection cables



Known worldwide and certified

VDE (IEC 61215 Ed. 2, IEC 61730-1 Ed. 1 and IEC 61730-2 Ed. 1), Clean Energy Council (approved PV module)

Our modules – Quality signed and sealed



Contact: aleo solar | Osterstrasse 15 | 26122 Oldenburg | Germany | www.aleo-solar.com

aleo

Solar module aleo S_19 gen2

Electrical data (STC)			S19G240	S19G245	S19G250	S19G255
Rated power	P_{MPP}	[W]	240	245	250	255
Rated voltage	U_{MPP}	[V]	29.7	30.2	30.8	31.3
Rated current	I_{MPP}	[A]	8.09	8.10	8.12	8.14
Open-circuit voltage	U_{OC}	[V]	37.2	37.7	38.3	38.8
Short-circuit current	I_{SC}	[A]	8.64	8.66	8.67	8.69
Efficiency	η	[%]	14.6	14.9	15.2	15.5

Electrical values measured under standard test conditions (STC): 1000 W/m²; 25°C; AM 1.5

Electrical data (NOCT)			S19G240	S19G245	S19G250	S19G255
Power	P_{MPP}	[W]	174	178	182	185
Voltage	U_{MPP}	[V]	26.8	27.3	27.8	28.4
Current	I_{MPP}	[A]	6.50	6.51	6.52	6.53
Open-circuit voltage	U_{OC}	[V]	34.2	34.6	35.1	35.6
Short-circuit current	I_{SC}	[A]	6.97	6.99	7.01	7.02
Efficiency	η	[%]	13.2	13.5	13.8	14.1

Electrical values measured under nominal operating conditions of cells: 800 W/m²; 20°C; AM 1.5; wind 1 m/s

NOCT: 48°C (nominal operating cell temperature)

Additional electrical data			
Reduction of STC efficiency from 1000 W/m ² to 200 W/m ²	[%] rel.		< 4
Classification range (positive classification)	[W]		0/+4.99

Loads			
Max. module pressure load	[Pa]		5400
Max. module suction load	[Pa]		5400
Max. system voltage	[V _{OC}]		1000
Reverse current load	I_{R} [A]		15

Mechanical load acc. to IEC/EN 61215

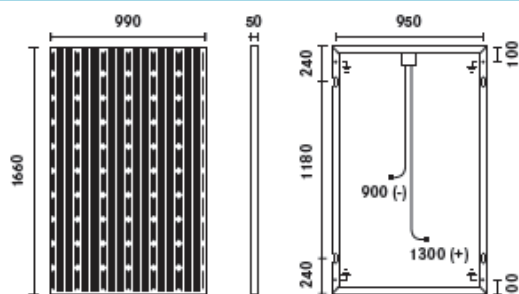
Temperature coefficients			
1st temperature coefficient	α (I_{SC})	[%/K]	+0.04
2nd temperature coefficient	β (U_{OC})	[%/K]	-0.31
3rd temperature coefficient	γ (P_{MPP})	[%/K]	-0.44

Measurement tolerance of P_{MPP} under STC -3/+3% | Accuracy of other electrical values -10/+10% | Efficiency relating to gross module area

Basic data module		
Length x width x height	[mm ³]	1660 x 990 x 50
Weight	[kg]	21
Number of cells		60
Cell size	[mm ²]	156 x 156
Cell material		Monocrystalline Si
Front sheet		Solar glass (TSG)
Back sheet		Weatherproof polymer sheet
Frame material		Al alloy

Basic data junction box		
Length x width x height	[mm ³]	141 x 101 x 28
IP class		IP65
Cable length	[mm]	1300 (+), 900 (-)
Connectors		MC4 class
Bypass diodes		3

Dimensions [mm]



Please contact your authorised aleo dealer

Detailed information about our warranties is available on our website | Subject to change without notice | Errors and omissions excepted | EN | EN | DE | 04/2012 | S_19 gen2.70 240-4
 © aleo solar AG | Gewerbegebiet Nord | Marius-Enksen-Strasse 1 | 17201 Prenzlau | Germany

