



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ
ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Προοπτικές Υβριδικών Συστημάτων Παραγωγής Ηλεκτρικής Ενέργειας

Μιχαήλ Χατζηπαρασκευάς

Επιβλέπων Καθηγητής: Μπαργιώτας Δημήτριος
Αναπληρωτής Καθηγητής, ΠΘ

Συνεπιβλέπων Καθηγητής Τσουκαλάς Ελευθέριος
Καθηγητής, ΠΘ

Ιούλιος 2018



UNIVERSITY OF THESSALY
POLYTECHNIC SCHOOL
DEPARTMENT OF ELECTRICAL AND COMPUTER ENGINEERING

DIPLOMA THESIS

**Prospects of Hybrid System for Electric
Power Generation**

Michail Chatziparaskevas

Supervisor Dimitrios Bargiotas
Associate Professor, UTH

Co-advisor Lefteri Tsoukalas
Professor, UTH

July 2018

Ευχαριστίες

Αρχικά θα ήθελα να εκφράσω τις ευχαριστίες μου στον επιβλέποντα καθηγητή κ. Μπαργιώτα, για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε αναθέτοντας μου αυτό το ενδιαφέρον θέμα και για την πολύτιμη καθοδήγηση του κατά την διάρκεια της διπλωματικής μου εργασίας.

Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κ. Τσουκαλά για την συνεργασία και την καθοδήγηση που μου παρείχε.

Τέλος, ένα μεγάλο ευχαριστώ στην οικογένεια μου, για την υποστήριξη και τις συμβουλές τους όλα αυτά τα χρόνια των σπουδών μου.

Υβριδικά Συστήματα Παραγωγής Ηλεκτρικής Ενέργειας

Περίληψη

Στόχος της παρούσας διπλωματικής εργασίας, είναι η ανάδειξη νέων τρόπων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, χρησιμοποιώντας το υβριδικό σύστημα παραγωγής. Το υβριδικό σύστημα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, είναι ένας συνδυασμός ανανεώσιμων και συμβατικών πηγών ενέργειας, το οποίο μπορεί να λειτουργεί σε αυτόνομη λειτουργία ή συνδεδεμένο στο δίκτυο.

Στο 1^ο Κεφάλαιο, παρουσιάζεται η έννοια της διεσπαρμένης παραγωγής καθώς επίσης και οι τεχνολογίες που προσφέρει στο ηλεκτρικό δίκτυο. Επίσης γίνεται μια ταξινόμηση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, δίνοντας έμφαση στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

Στο 2^ο Κεφάλαιο, αναλύεται η έννοια του μικροδικτύου και κατά πόσο αποτελεί αξιόπιστη λύση για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Επιπλέον, παρουσιάζεται η δομή του μικροδικτύου.

Στο 3^ο Κεφάλαιο, ερμηνεύονται οι βασικές τεχνολογίες ενός υβριδικού συστήματος για την αξιόπιστη λειτουργία του. Οι τεχνολογίες αυτές αναφέρονται τόσο σε ανανεώσιμες πηγές ενέργειας όσο και σε συμβατικά συστήματα.

Στο 4^ο Κεφάλαιο, εξετάζεται η δομή, η λειτουργία και η απόδοση του Φωτοβολταϊκού συστήματος. Επιπλέον περιγράφεται η λειτουργία, στην περίπτωση που το Φωτοβολταϊκό σύστημα είναι διασυνδεδεμένο στο κεντρικό δίκτυο.

Στο 5^ο Κεφάλαιο, τονίζονται τα βασικά χαρακτηριστικά των συστημάτων αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας για την αποδοτικότερη χρήση τους. Έπειτα, αναφέρονται οι κύριες τεχνολογίες συσσωρευτών που χρησιμοποιούνται στην παραγωγή.

Στο 6^ο Κεφάλαιο, γίνεται μοντελοποίηση ενός υβριδικού συστήματος χρησιμοποιώντας ανεμογεννήτριες, Φωτοβολταϊκά, γεννήτριες ντίζελ και σύστημα αποθήκευσης. Στόχος αυτού του κεφαλαίου, είναι η μέτρηση της απόδοσης ενός απομονωμένου υβριδικού συστήματος σε διαφορετικές συνθήκες λειτουργίας.

Abstract

The aim of this diploma thesis is to highlight new ways of generating electricity using the hybrid production system. The hybrid power generation system is a combination of renewable and conventional energy sources, which can operate in stand-alone mode or connected to the grid.

Chapter 1 presents the concept of dispersed production as well as the technologies it offers in the electricity grid. There is also a classification of renewable energy sources, with an emphasis on electricity generation.

In Chapter 2, we analyze the concept of micro-network and whether it is a reliable solution for the production of electricity. In addition, the structure of the micro-network is presented.

In Chapter 3, the basic technologies of a hybrid system are interpreted for its reliable operation. These technologies refer to both renewable and conventional systems.

In Chapter 4, the structure, operation and performance of the photovoltaic system are examined. In addition, the operation is described if the Photovoltaic system is interconnected to the central network.

In Chapter 5, the key features of electrical energy storage systems are highlighted for their more efficient use. The main battery technologies used in production are listed below.

In Chapter 6, a hybrid system is being modeled using wind turbines, photovoltaics, diesel generators and a storage system. The purpose of this chapter is to measure the performance of an isolated hybrid system under different operating conditions.

Πίνακας περιεχομένων

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1.....	11
Διεσπαρμένη Παραγωγή και Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας.....	11
1.1 Διεσπαρμένη Παραγωγή Ηλεκτρικής Ενέργειας.....	11
1.1.1 Εισαγωγή.....	11
1.1.2 Τεχνολογίες Διεσπαρμένης Παραγωγής.....	12
1.1.3 Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα.....	13
1.2 Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας.....	15
1.2.1 Αιολική Ενέργεια.....	17
1.2.2 Ηλιακή Ενέργεια.....	20
1.2.3 Βιομάζα.....	23
1.2.4 Γεωθερμική Ενέργεια.....	24
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2.....	27
Μικροδίκτυα.....	27
2.1 Η έννοια του μικροδικτύου.....	27
2.2 Δομή Μικροδικτύου.....	28
2.2.1 Σημείο κοινής σύζευξης-Point of Common Coupling (PCC).....	30
2.2.2 Σύστημα μετάδοσης-Transmission system.....	30
2.2.3 Σύστημα διανομής-Distribution system.....	32
2.2.4 Προστασία Μικροδικτύου.....	34
2.2.5 Σύστημα παρακολούθησης και μέτρησης-Monitoring and measuring system.....	37
2.2.6 Μετατροπείς ισχύος-Power converters.....	39
2.3 Έλεγχος Μικροδικτύου.....	41
2.4 Πλεονεκτήματα/Μειονεκτήματα.....	44
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3.....	45
Υβριδικά Συστήματα.....	45
3.1 Εισαγωγή στα Υβριδικά Συστήματα.....	45
3.2 Τεχνολογίες Υβριδικών συστημάτων.....	47
3.2.1 Συμβατικές μονάδες παραγωγής.....	47
3.2.1.1 Μονάδες παραγωγής Ατμού.....	48
3.2.1.2 Υδροηλεκτρική Μονάδα.....	49
3.2.1.3 Αεριοστρόβιλος.....	52
3.2.1.4 Εγκαταστάσεις ισχύος συνδυασμένου κύκλου.....	56
3.2.1.5 Μονάδα Πυρηνικής Ενέργειας.....	58

3.2.2 Γεννήτριες	61
3.2.2.1 AC Generators.....	61
3.2.2.2 DC Generator	64
3.2.2.3 Σύγχρονες γεννήτριες	65
3.2.2.4 Κινητήρας ντίζελ	69
3.2.2.4 Μετασχηματιστές	71
3.2.3 Μονάδες ανανεώσιμων πηγών ενέργειας	72
3.3 Έλεγχος του Υβριδικού συστήματος.....	72
3.3.1 Εποπτικός έλεγχος	72
3.3.2 Η Αρχιτεκτονική του Συστήματος Ελέγχου	75
3.4 Προοπτικές και Μελλοντικές βελτιώσεις	77
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4.....	79
Φωτοβολταϊκά Συστήματα.....	79
4.1 Εισαγωγή.....	79
4.1.1 Ορισμός και Εφαρμογές	79
4.1.2 Ιστορική αναδρομή.....	80
4.1.3 Τεχνολογίες Φωτοβολταϊκών ηλιακών στοιχείων.....	81
4.2 Το Φωτοβολταϊκό Φαινόμενο	83
4.2.1 Επαφή ημιαγωγών p-n.....	83
4.2.2 Ηλεκτρικά χαρακτηριστικά Φωτοβολταϊκού στοιχείου	85
4.2.3 Απόδοση Φωτοβολταϊκού στοιχείου	89
4.3 Χαρακτηριστικά Φωτοβολταϊκού συστήματος	90
4.3.1 Δομή Φωτοβολταϊκού στοιχείου.....	90
4.3.2 Φωτοβολταϊκή συστοιχία	92
4.3.3 Φωτοβολταϊκό σύστημα διασυνδεδεμένο στο δίκτυο	95
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5.....	99
Συστήματα Αποθήκευσης Ηλεκτρικής Ενέργειας.....	99
5.1 Εισαγωγή.....	99
5.2 Χαρακτηριστικά και ταξινόμηση των Συστημάτων αποθήκευσης.....	100
5.3 Τεχνολογίες συστημάτων αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας	104
5.3.1 Αντλητική Υδροηλεκτρική Αποθήκευση - (PHS Pumped Hydroelectric Storage).....	104
5.3.2 Αποθήκευση ενέργειας πεπιεσμένου αέρα (Compressed Air Energy Storage CAES).....	105
5.3.3 Μπαταρία (Battery)	106
5.3.3.1 Μπαταρίες οξέος μολύβδου (Lead acid batteries).....	107

5.3.3.2 Μπαταρίες νικελίου καδμίου (Nickel cadmium batteries)	107
5.3.3.3 Μπαταρίες νατρίου θείου (Batteries Sodium Sulphur).....	108
5.3.3.4 Μπαταρίες χλωριούχου νικελίου σε νάτριο (Batteries Sodium nickel chloride)	109
5.3.3.5 Μπαταρίες ιόντων λιθίου (Lithium ion batteries)	110
5.3.4 Κύτταρο καυσίμου (Fuel cell)	111
5.3.5 Ροή μπαταρίας (Flow battery)	112
5.3.6 Ηλιακά καύσιμα (Solar fuels).....	113
5.3.7 Υπεραγώγιμη αποθήκευση μαγνητικής ενέργειας (Superconducting magnetic energy storage)	113
5.3.8 Flywheel	114
5.3.9 Πυκνωτής (Capacitor)	115
5.3.10 Θερμική αποθήκευση ενέργειας (Thermal energy storage)	116
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6.....	117
Ολοκληρωμένη ανάλυση Υβριδικού απομονωμένου συστήματος	117
6.1 Εισαγωγή.....	117
6.2 Ορισμός προβλήματος.....	118
6.3 Μοντελοποίηση υβριδικού συστήματος.....	119
6.3.1 Υποσύστημα αιολικής ενέργειας.....	120
6.3.2 Υποσύστημα φωτοβολταϊκής ενέργειας	121
6.3.3 Υποσύστημα γεννήτριας ντίζελ.....	122
6.3.4 Υποσύστημα μπαταριών.....	123
6.3.5 Ενσωματωμένο υβριδικό σύστημα	124
6.4 Χαμηλό κόστος ενέργειας.....	125
6.5 Μελέτη περίπτωσης	126
6.6 Αποτελέσματα	130
6.7 Ανάλυση ευαισθησίας	133
6.7.1 Διαμόρφωση συστήματος	134
6.7.2 Οικονομικά δεδομένα.....	135
6.7.3 Προφίλ ζήτησης	137
6.8 Συμπεράσματα.....	138
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	139

Ονοματολογία

Παράμετροι

a1-c3	συντελεστές παλινδρόμησης καμπύλης ισχύος
C_R	ετήσιο κόστος αντικατάστασης [€]
CRF	συντελεστής ανάκτησης κεφαλαίου [%]
E_{con}	ετήσια ζήτηση ενέργειας [kWh]
$E_{dem}(t)$	ζήτηση ενέργειας σε χρονικό βήμα t [kWh]
$E_{PV}(t)$	ενέργεια που παράγεται από ένα φωτοβολταϊκό πάνελ στο βήμα χρόνου t [kWh]
E_{WT}	ενέργεια που παράγεται από μια ανεμογεννήτρια στο βήμα χρόνου t [kWh]
$G(t)$	ηλιακή ακτινοβολία στην ώρα t [W / m^2]
I_0	το κόστος κεφαλαίου [€]
O&M	κόστος λειτουργίας και συντήρησης [€]
$T_{amb}(t)$	θερμοκρασία περιβάλλοντος στην ώρα t [$^{\circ} C$]
$T_{cell}(t)$	Η θερμοκρασία των φωτοβολταϊκών κυττάρων την ώρα t [$^{\circ} C$]
$u_z(t)$	ταχύτητα ανέμου στο ύψος z στην ώρα t [m / s]
$U_{zREF}(t)$	Ταχύτητα ανέμου στο ύψος αναφοράς zREF στην ώρα t [m / s]
z_{REF}	ύψος αναφοράς της μέτρησης της ταχύτητας ανέμου [m]
Δ_t	χρονική περίοδο 1 h [h]

Μεταβλητές

C_{bat}	χωρητικότητα αποθήκευσης για εγκατάσταση [kWh]
$C_{dg}(t)$	κατανάλωση ντίζελ στο βήμα χρόνου t [L]
$E_{bat}(t)$	μπαταρίες κατάσταση φόρτισης σε χρονικό βήμα t [kWh]
$E_{bin}(t)$	διαθέσιμη ενέργεια για φόρτιση της μπαταρίας στο βήμα χρόνου t [kWh]
$E_{bine}(t)$	ενέργεια που αποθηκεύεται αποτελεσματικά στο χρονικό βήμα t [kWh]
$E_{bout}(t)$	χρησιμοποιημένη ενέργεια από μπαταρίες σε χρονική περίοδο t [kWh]
$E_{boute}(t)$	ενέργεια που απορρίπτεται αποτελεσματικά στο χρονικό βήμα t [kWh]

$E_{dg}(t)$	ενέργεια που παράγεται από το υποσύστημα ντίζελ σε χρονικό βήμα t [kWh]
$ES_{PV}(t)$	πλεονάζουσα ενέργεια από το υποσύστημα ΦΒ στο χρονικό βήμα t [kWh]
$ES_{WT}(t)$	ενέργεια από το υποσύστημα του ανέμου στο χρονικό βήμα t [kWh]
$Eu_{PV}(t)$	χρησιμοποιημένη ενέργεια από το φωτοβολταϊκό υποσύστημα στο χρονικό βήμα t [kWh]
Eu_{WT}	χρησιμοποιημένη ενέργεια από το υποσύστημα του ανέμου στο χρονικό βήμα t [kWh]
$nA(t)$	ο αριθμός των διαθέσιμων γεννητριών ντίζελ την ώρα t
$n_{dg}(t)$	αριθμός γεννητριών ντίζελ που εργάζονται στην ώρα t
n_{dgh}	αριθμός ετήσιων ημερών εργασίας των παραγωγών ντίζελ [h]
n_{dgt}	αριθμός γεννητριών ντίζελ που θα εγκατασταθούν
n_{PV}	αριθμός φωτοβολταϊκών πλαισίων που θα εγκατασταθούν
n_{WT}	αριθμός ανεμογεννητριών που θα εγκατασταθούν
$TLCC$	συνολικό κόστος κύκλου ζωής [€]
$TLCC_{bat}$	συνολικό κόστος κύκλου ζωής των μπαταριών [€]
$TLCC_{dg}$	συνολικού κόστους κύκλου ζωής των γεννητριών ντίζελ [€]
$TLCC_{PV}$	συνολικό κόστος κύκλου ζωής του υποσυστήματος ΦΒ [€]
$TLCC_{WT}$	το συνολικό κόστος του κύκλου ζωής του υποσυστήματος ανέμου [€]
$y(t)$	δυναμική μεταβλητή για το υποσύστημα γεννήτριας ντίζελ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

Διεσπαρμένη Παραγωγή και Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας

1.1 Διεσπαρμένη Παραγωγή Ηλεκτρικής Ενέργειας

1.1.1 Εισαγωγή

Η διεσπαρμένη παραγωγή ορίζεται ως η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας περιορισμένης κλίμακας, με τιμές που κυμαίνονται από 1KW μέχρι 50-100 MW. Αναφέρεται σε μια ποικιλία τεχνολογιών που παράγουν ηλεκτρική ενέργεια κοντά στο σημείο όπου θα χρησιμοποιηθούν, όπως οι ηλιακοί συλλέκτες, οι ανεμογεννήτριες και η συνδυασμένη παραγωγή θερμότητας και ηλεκτρικής ενέργειας. Η διεσπαρμένη παραγωγή μπορεί να εξυπηρετήσει μια ενιαία δομή, όπως ένα σπίτι ή μια επιχείρηση, ή μπορεί να είναι μέρος ενός μικροδικτύου (μικρότερο δίκτυο που συνδέεται επίσης με το κεντρικό σύστημα παροχής ηλεκτρικής ενέργειας), όπως σε μια μεγάλη βιομηχανική εγκατάσταση. Όταν συνδέεται με τις γραμμές διανομής χαμηλής τάσης του κεντρικού ηλεκτρικού δικτύου, η διεσπαρμένη παραγωγή μπορεί να βοηθήσει στην υποστήριξη της παροχής καθαρής και αξιόπιστης ισχύος σε επιπλέον πελάτες. Επιπλέον βοηθάει στη μείωση των απωλειών ηλεκτρικής ενέργειας κατά μήκος των γραμμών μεταφοράς και διανομής, σε αντίθεση με τους συμβατικούς σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής, όπου το ποσό της ηλεκτρικής ενέργειας που χάνεται είναι πολύ μεγαλύτερο.

Οι συμβατικοί σταθμοί ηλεκτροπαραγωγής, όπως οι μονάδες με καύση άνθρακα και φυσικού αερίου, απαιτούν τη μετάδοση ηλεκτρικής ενέργειας σε μεγάλες αποστάσεις. Για τον λόγο αυτό, δημιουργήθηκαν μεγάλα συστήματα γραμμών μεταφοράς για την διανομή ηλεκτρικής ενέργειας σε απομακρυσμένες περιοχές. Το κόστος όμως αυτών των μονάδων και σε συνδυασμό με τις απώλειες στην μεταφορά, ήταν ένα από τα κύρια προβλήματα που οδήγησαν σε εναλλακτικές λύσεις.

Την τελευταία δεκαετία παρατηρείτε ιδιαίτερο ενδιαφέρον για την διεσπαρμένη παραγωγή. Οι κυριότεροι λόγοι που οδήγησαν σε αυτήν την εξέλιξη ήταν η ταχεία ανάπτυξη των τεχνολογιών διεσπαρμένης παραγωγής, οι οποίες βοήθησαν σε μεγάλο βαθμό το κεντρικό δίκτυο να ανταποκριθεί στις απαιτήσεις των καταναλωτών. Επιπλέον το οικονομικό κόστος για την δημιουργία νέων γραμμών μεταφοράς, οι ανάγκες των καταναλωτών για καθαρή ενέργεια, η απελευθέρωση της αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας και οι κλιματικές αλλαγές που διαδραματιστήκαν τα τελευταία χρόνια, αποτέλεσαν το έναυσμα για την συμμετοχή των διεσπαρμένων τεχνολογιών στο σύστημα παραγωγής.

Ωστόσο παρά τα οικονομικά, ενεργειακά και περιβαλλοντικά οφέλη της διεσπαρμένης παραγωγής, τα συστήματα αυτά αντιμετωπίζουν εμπορικούς και ρυθμιστικούς φραγμούς, οι οποίοι διαφέρουν μεταξύ των κρατών και των περιοχών χρησιμότητας. Οι κανονισμοί που αφορούν τις εκπομπές στον αέρα, τη διασύνδεση, την καθαρή μέτρηση και τα ποσοστά εφεδρείας μπορούν συχνά να καθορίσουν εάν θα υλοποιηθεί ένα έργο διεσπαρμένης παραγωγής.

1.1.2 Τεχνολογίες Διεσπαρμένης Παραγωγής

Η ενέργεια είναι ένα από τα πιο απαιτητικά ζητήματα στην σημερινή εποχή, αλλά προβλέπεται και στο μέλλον να απασχολήσει τα αστικά κέντρα, ειδικά αν ληφθεί υπόψη η αύξηση της πολυπλοκότητας των συστημάτων και οι απαιτήσεις βιωσιμότητας. Η ενσωμάτωση ή διασύνδεση διεσπαρμένων ενεργειακών πόρων, εξελίσσεται ως μια αναδυόμενη μορφή παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, με δυνατότητες μεταφοράς και διανομής. Η συγκεκριμένη ανάπτυξη βασίζεται σε σημαντικά ζητήματα, όπως η έλλειψη ορυκτών καυσίμων στο μέλλον, η εκτεταμένη ανάπτυξη προηγμένων τεχνολογιών, η απελευθέρωση της ηλεκτρικής ενέργειας και η ευαισθητοποίηση του κοινού σχετικά με τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Αυτά τα θέματα αλλάζουν την έννοια της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας παγκοσμίως και το άνοιγμα νέων προκλήσεων στις αγορές παραγωγής και διανομής της ενέργειας. Μικρές μη συμβατικές γεννήτριες σε συνδυασμό με την Διεσπαρμένη Παραγωγή (ΔΠ) γίνεται γρήγορα ελκυστική, διότι παράγει ηλεκτρική ισχύ με λιγότερες περιβαλλοντικές επιπτώσεις, είναι εύκολη στην εγκατάσταση και εξαιρετικά αποτελεσματική με αυξημένη αξιοπιστία.

Παρακάτω γίνεται μια σύντομη περιγραφή των βασικών τεχνολογιών διεσπαρμένης παραγωγής, οι οποίες αποτελούν αναπόσπαστο κομμάτι για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας ενός μικροδικτύου.

Συνδυασμένη παραγωγή ισχύος και θερμότητας(Combined Heat Power CHP): Αναφέρεται στην ταυτόχρονη παραγωγή ηλεκτρικής και χρήσιμης θερμικής ενέργειας (θέρμανσης ή/και ψύξης) από μια πηγή, η οποία σε αντίθεση με την παραγωγή ενός συμβατικού σταθμού, βρίσκεται στο σημείο κατανάλωσης. Η συγκεκριμένη τεχνολογία επιτρέπει την ανάκτηση της θερμότητας που χάνεται κατά την διαδικασία παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, για την κάλυψη των αναγκών του εκάστοτε δικτύου.

Συσκευές αποθήκευσης (Storage devices): Αποτελείται από μπαταρίες, σφονδύλους και άλλες συσκευές, οι οποίες χρησιμοποιούνται κατά τη διάρκεια της χαμηλής ζήτησης. Συνήθως συνδυάζεται με άλλα είδη τύπων διεσπαρμένης παραγωγής. Επιπλέον οι μπαταρίες αποθήκευσης έχουν την δυνατότητα να φορτώνονται και να εκφορτώνονται πολλές φορές χωρίς οποιαδήποτε βλάβη.

Ανανεώσιμες συσκευές (Renewable devices): Αναφέρονται στις τεχνολογίες που παρέχονται από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας όπως η ενέργεια από τον ήλιο, τον άνεμο, την βιομάζα και την γεωθερμία. Το κύριο χαρακτηριστικό τους είναι ότι παρέχουν καθαρή και αξιόπιστη ενέργεια στους καταναλωτές του δικτύου. Οι βασικοί τύποι ανανεώσιμων τεχνολογιών είναι τα φωτοβολταϊκά συστήματα, οι ανεμογεννήτριες και τα υβριδικά συστήματα. Αναλυτικότερη περιγραφή αυτών των τεχνολογιών περιγράφονται στην επόμενη υποενότητα.

Μικροτουρμπίνες (Micro-turbine MT): Είναι στρόβιλοι καύσης μικρής χωρητικότητας, οι οποίοι μπορούν να λειτουργούν με φυσικό αέριο, προπάνιο και πετρέλαιο. Σε μια απλή μορφή, αποτελούνται από συμπιεστή, καυστήρα, ανακτητή, μικροστρόβιλο και γεννήτρια. Η ισχύς που παράγεται κυμαίνεται μεταξύ 25kW με 500kW.

Τουρμπίνες εσωτερικής καύσης: Οι παραδοσιακές τουρμπίνες παράγουν ισχύ μεταξύ 500 kW και 25 MW για τεχνολογίες διεσπαρμένης παραγωγής, και μέχρι 250 MW για κεντρική παραγωγή ισχύος. Συνήθως το καύσιμο που χρησιμοποιείτε είναι φυσικό αέριο, πετρέλαιο ή ένας συνδυασμός από καύσιμα.

Stirling engine: Ένας κινητήρας Stirling είναι ένας θερμικός κινητήρας που λειτουργεί με κυκλική συμπίεση και διαστολή αέρα σε διαφορετικές θερμοκρασίες, έτσι ώστε να υπάρχει καθαρή μετατροπή της θερμικής σε μηχανική ενέργεια.

Μηχανές εσωτερικής καύσης (ΜΕΚ): Μηχανή εσωτερικής καύσης ή κινητήρας εσωτερικής καύσης, ονομάζεται η κινητήρια θερμική μηχανή στην οποία η καύση του καυσίμου γίνεται στο εσωτερικό σώμα της ίδιας της μηχανής, εξ ου και η ονομασία της. Ως ΜΕΚ θεωρούνται γενικά οι αεριομηχανές, οι βενζινομηχανές, οι πετρελαιομηχανές και οι αεριοστρόβιλοι.

Ηλεκτροχημικές συσκευές (Electrochemical devices-fuel cell): Μια κυψέλη καυσίμου είναι μια συσκευή που μετατρέπει τη χημική δυναμική ενέργεια (ενέργεια που αποθηκεύεται σε μοριακούς δεσμούς) σε ηλεκτρική ενέργεια. Οι κυψέλες καυσίμου μπορούν να παράγουν συνεχώς ηλεκτρική ενέργεια για όσο χρονικό διάστημα τροφοδοτούνται από καύσιμο και οξυγόνο.

1.1.3 Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα

Η ταχεία ανάπτυξη της τεχνολογίας έχει επηρεάσει σε μεγάλο βαθμό και τον ενεργειακό τομέα. Συνεχώς κατασκευάζονται νέες τεχνολογίες για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας που διαδραματίζουν καθοριστικό ρόλο στην σημερινή εποχή. Τα πλεονεκτήματα που προσφέρει η ανάπτυξη της διεσπαρμένης παραγωγής κατά την ένταξη της στα κεντρικά δίκτυα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, ποικίλουν σε διάφορους τομείς όπως ο τεχνικός, ο

περιβαλλοντικός και ο οικονομικός. Ωστόσο επισημαίνονται και τα μειονεκτήματα της χρήσης των συγκεκριμένων τεχνολογιών, συμβάλλοντας με αυτόν τον τρόπο στην βελτίωση τους.

Πλεονεκτήματα

1. Οι υπάρχουσες οικονομικά αποδοτικές διεσπαρμένες τεχνολογίες παραγωγής, μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας σε σπίτια και επιχειρήσεις που χρησιμοποιούν ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, όπως η ηλιακή ενέργεια και ο άνεμος.
2. Η διεσπαρμένη παραγωγή μπορεί να αξιοποιήσει ενέργεια που διαφορετικά θα μπορούσε να σπαταληθεί, για παράδειγμα μέσω ενός συστήματος συνδυασμένης παραγωγής θερμότητας και ενέργειας.
3. Χρησιμοποιώντας τοπικές πηγές ενέργειας, η διεσπαρμένη παραγωγή μειώνει ή εξαλείφει την «απώλεια γραμμής» (σπαταλημένη ενέργεια) που συμβαίνει κατά τη μεταφορά και τη διανομή στο σύστημα παροχής ηλεκτρικής ενέργειας.
4. Η άνετη τοποθέτηση επιτρέπει τη χρήση της διαθέσιμης μονοφασικής ή τριφασικής γενιάς
5. Η διεσπαρμένη παραγωγή συμβάλει στην αποσυμφόρηση του κεντρικού δικτύου όταν είναι διασυνδεδεμένη σε αυτό, παρέχοντας ηλεκτρική ενέργεια σε καταναλωτές που βρίσκονται σε κοντινή απόσταση.
6. Η τοποθέτηση της διεσπαρμένης παραγωγής είναι πιο εύκολη σε αντίθεση με το κεντρικό εργοστάσιο παραγωγής.
7. Προσφέρει καθαρή ενέργεια, μειώνοντας σε μεγάλο βαθμό τις εκπομπές ρύπων από ορυκτά καύσιμα συμβάλλοντας στην προστασία του φυσικού περιβάλλοντος
8. Από τεχνικής άποψης, τα σημαντικότερα οφέλη που προσφέρει η διεσπαρμένη παραγωγή, είναι η υποστήριξη και η σταθερότητα παροχής τάσης, η αξιοπιστία έργου ισχύος και η εφεδρεία για απρόβλεπτα φαινόμενα.

Μειονεκτήματα

1. Οι διεσπαρμένες τεχνολογίες παραγωγής που περιλαμβάνουν καύση, μπορούν να παράγουν σε μικρότερες ποσότητες ρυπογόνες ουσίες. Αυτές οι επιπτώσεις μπορεί να είναι μικρότερες σε κλίμακα σε σύγκριση με ενός μεγάλου σταθμού ηλεκτροπαραγωγής, αλλά το σημαντικό είναι ότι βρίσκονται σε κοντινή απόσταση από κατοικημένες περιοχές
2. Τα συστήματα διεσπαρμένης παραγωγής απαιτούν λειτουργικές δαπάνες για να εξασφαλιστεί η ασφάλεια του κεντρικού δικτύου όταν είναι διασυνδεδεμένο σε αυτό, αυξάνοντας το κόστος.
3. Το υψηλό κόστος κεφαλαίου ανά kW εγκατεστημένης ισχύος σε σχέση με τα κεντρικά δίκτυα παραγωγής.
4. Μπορεί να γίνει αυτόματη ανάζευξη της γραμμής, ενώ οι γεννήτριες έχουν χάσει τον συντονισμό τους με το δίκτυο, με καταστροφικές συνέπειες στην γεννήτρια.

5. Επικρατεί ο ισχυρισμός ότι, το κόστος για την πρωταρχική παροχή καυσίμου στη διεσπαρμένη παραγωγή θα είναι αρκετά μεγαλύτερο από ότι στην κεντρική παραγωγή

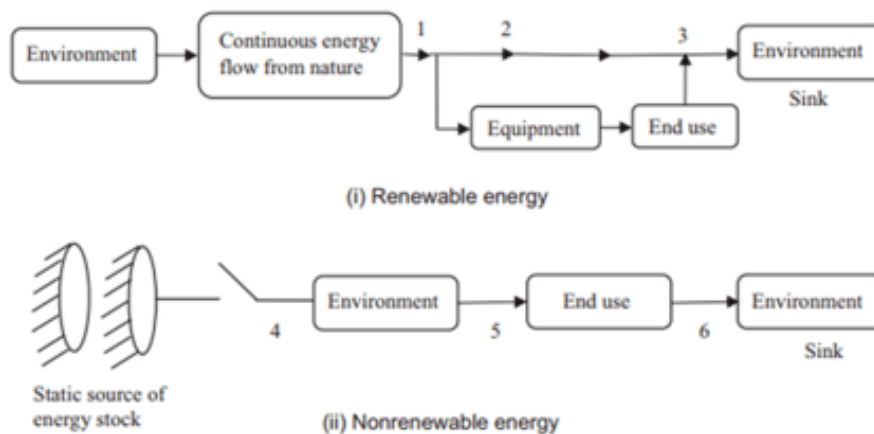
1.2 Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας

Στην σημερινή εποχή, οι κοινωνίες καταναλώνουν ολοένα και περισσότερα ποσά ενέργειας για διάφορες δραστηριότητες της καθημερινότητας όπως για θέρμανση, ηλεκτρική ενέργεια, μεταφορές και για βιομηχανική χρήση. Έτσι λοιπόν για την αυξανόμενη κάλυψη αυτών των αναγκών, χρησιμοποιείται μια ποικιλία ενεργειακών πόρων, οι οποίες χωρίζονται σε δύο κατηγορίες, τις ανανεώσιμες και μη ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Κρίνεται λοιπόν αναγκαίο να οριστούν αυτές οι δύο έννοιες και να αναλυθούν τα βασικά χαρακτηριστικά τους.

Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας προέρχονται από φυσικές πηγές που ανανεώνονται σε σύντομες χρονικές περιόδους. Οι πόροι αυτοί περιλαμβάνουν τον Ήλιο, τον άνεμο, το νερό, τα βιολογικά φυτά και απόβλητα (βιομάζα) και τη θερμότητα της Γης (γεωθερμική). Αυτοί οι πόροι ονομάζονται επίσης μη συμβατικές πηγές ενέργειας. Επιπλέον, μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας καθώς και για άλλες εφαρμογές. Για παράδειγμα, η βιομάζα μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως καύσιμο του λέβητα για να παράγει θερμότητα ατμού, η ηλιακή ενέργεια μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη θέρμανση του νερού ή για την παθητική θέρμανση χώρου, και το αέριο μεθάνιο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για θέρμανση ή μαγείρεμα. Στην επόμενη υποενότητα γίνεται αναλυτικότερη περιγραφή των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.

Οι μη ανανεώσιμες πηγές ενέργειας προέρχονται από πεπερασμένα και στατικά αποθέματα ενέργειας. Αυτοί οι πόροι υπάρχουν συχνά σε ένα σταθερό ποσό και καταναλώνονται πολύ πιο γρήγορα από ότι η φύση μπορεί να τις δημιουργήσει. Παραδείγματα αυτών των τύπων πόρων, είναι τα ορυκτά καύσιμα όπως ο άνθρακας, το πετρέλαιο, το φυσικό αέριο και η πυρηνική ενέργεια (ουράνιο). Λόγω της εξάντλησης τους, αυτοί οι τύποι ενεργειακών πόρων ονομάζονται μερικές φορές και συμβατικές πηγές ενέργειας.

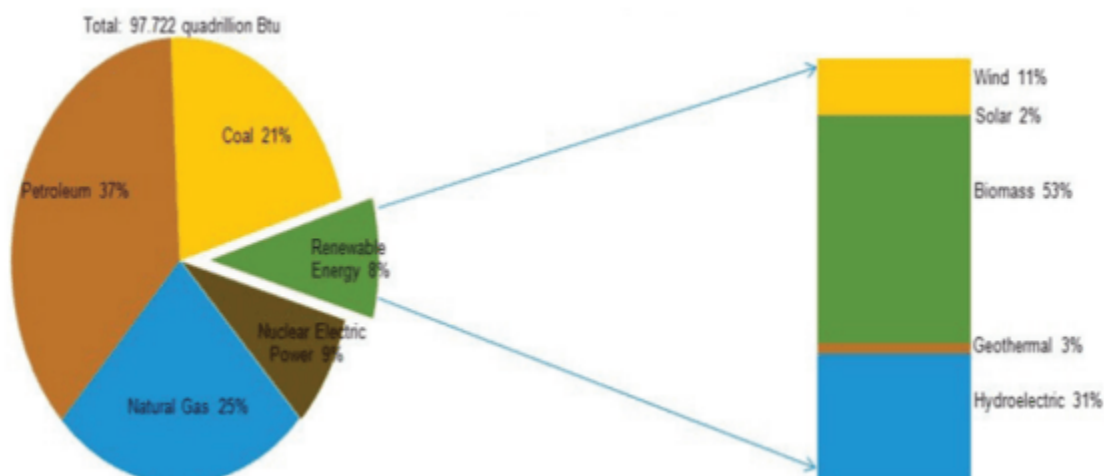
Σήμερα, η μεγαλύτερη ποσότητα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας προέρχεται από συμβατικούς ηλεκτροπαραγωγικούς σταθμούς, που χρησιμοποιούν μη ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (πετρέλαιο, βενζίνη και άνθρακα). Κατά το πέρασμα των χρόνων όμως, οι μη ανανεώσιμες πηγές ενέργειας αργά ή γρήγορα θα εξαντληθούν. Επιπλέον οι επιπτώσεις που προκαλεί η αλόγιστη χρήση τους, συντελεί σε περιβαλλοντικά προβλήματα όπως το φαινόμενο του θερμοκηπίου. Κατά αυτόν τον τρόπο κρίθηκε επιτακτική ανάγκη χρησιμοποίησης άλλων μέσων για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.



Εικόνα 1: Διαφορές ανανεώσιμων και μη ανανεώσιμων πηγών ενέργειας [16]

Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας έχουν διαδραματίσει σημαντικό ρόλο στον τομέα της παραγωγής την τελευταία δεκαετία. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την δημιουργία νέων παραγωγικών μονάδων, οι οποίες σε συνδυασμό με το συμβατικό ηλεκτροπαραγωγικό σύστημα, εξυπηρετούν σε μεγάλο βαθμό την παροχή ηλεκτρικής ενέργειας κυρίως σε απομακρυσμένες περιοχές. Παρόλα αυτά, οι παραγωγικές μονάδες με ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν αυτόνομα για την κάλυψη μεγάλων φορτίων, αφού έχουν άμεση σύνδεση με τα καιρικά φαινόμενα που επικρατούν σε κάθε περιοχή.

Για πολλές χώρες, οι ΑΠΕ αποτελούν σημαντική εγχώρια πηγή ενέργειας, με μεγάλο αναπτυξιακό δυναμικό σε τοπικό και εθνικό επίπεδο. Στην Εικόνα 2 αναφέρονται οι κύριες ανανεώσιμες πηγές ενέργειας που χρησιμοποιούνται σε μεγαλύτερο βαθμό στην παραγωγή.



Εικόνα 2: Ποσοστά χρησιμοποίησης ανανεώσιμων πηγών ενέργειας [7]

1.2.1 Αιολική Ενέργεια

Ο άνεμος είναι μια μορφή ενέργειας, η οποία προήλθε από την ηλιακή ενέργεια. Πιο συγκεκριμένα, προκαλείται από την θέρμανση της ατμόσφαιρας από τον ήλιο, την ανομοιομορφία της επιφάνειας της γης και την περιστροφή της. Στο παρελθόν, η αιολική ενέργεια χρησιμοποιήθηκε για να ωθήσει τα πλοία, για να παράγει μηχανική ενέργεια για να τραβήξει προς τα πάνω υπόγεια ύδατα από πηγάδια και για άλεση γεωργικών προϊόντων. Υπάρχουν επίσης ενδείξεις ότι οι αρχαίοι Αιγύπτιοι χρησιμοποίησαν ανεμόμυλους για να αντλήσουν νερό για άρδευση γεωργικών εκτάσεων. Ο άνεμος είναι απλά αέρας σε κίνηση που μεταφέρει κινητική ενέργεια μαζί του. Η κινητική ενέργεια μετατρέπεται πρώτα σε μηχανική και στη συνέχεια σε ηλεκτρική ενέργεια.

Η τεχνολογία που εκμεταλλεύεται την αιολική ενέργεια για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας είναι η ανεμογεννήτρια. Η ανεμογεννήτρια μετατρέπει την κινητική ενέργεια του ανέμου σε μηχανική ενέργεια, που χρησιμοποιείται για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Η ενέργεια τροφοδοτείται μέσω μιας γεννήτριας, μετατρέπεται σε ηλεκτρική ενέργεια και στη συνέχεια τροφοδοτείται στο δίκτυο για να μεταδοθεί σε σταθμό παραγωγής. Η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια από τον άνεμο χρησιμοποιήθηκε με τρεις τρόπους: (α) μικρές αιολικές ηλεκτρικές γεννήτριες μικρότερες από 4 kW για φορτιστές μπαταριών. β) αιολικά ηλεκτροπαραγωγά ζεύγη των 20 έως 100 kW σε αυτόνομο μοντέλο που συμπληρώνεται με ισχύ από τις γεννήτριες ντίζελ και (γ) ηλεκτρικές γεννήτριες που έχουν χωρητικότητα από 50 έως 300 kW που έχουν χρησιμοποιηθεί σε αγροκτήματα.

Οι παλιές ανεμογεννήτριες δεν ήταν πλέον οικονομικά ανταγωνιστικές με τις συμβατικές πηγές ενέργειας. Λόγω της ενεργειακής κρίσης το 1973, η ανάπτυξη νέων και πιο αποδοτικών ανεμογεννητριών ήταν σημαντική για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Ως αποτέλεσμα, το κόστος της ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται από ανεμογεννήτριες μειώθηκε δραματικά λόγω της βελτιωμένης τεχνολογίας. Σήμερα, η εξαγωγή ηλεκτρικής ενέργειας με τις σύγχρονες τουρμπίνες από τον άνεμο είναι μια καθιερωμένη βιομηχανία.

Αναφορικά με την τεχνολογία της ανεμογεννήτριας, έχουν γίνει σημαντικές προσπάθειες για την αύξηση της απόδοσης και ταυτόχρονα την μείωση του κόστους παραγωγής. Υπάρχουν δυο βασικές κατηγορίες που χρησιμοποιούνται σήμερα στην παραγωγή, η οριζοντίου και κατακόρυφου άξονα. Στου οριζοντίου άξονα, ο έλικας βρίσκεται σε κατεύθυνση συνεχώς παράλληλο με τον οριζόντιο άξονα της Γης. Ενώ στις ανεμογεννήτριες κατακόρυφου άξονα, ο έλικας παραμένει σταθερός και είναι κάθετος ως προς την επιφάνεια της. Σήμερα στην αγορά των ανεμογεννητριών, συναντάμε σε μεγάλο βαθμό τις ανεμογεννήτριες οριζοντίου άξονα έναντι του κατακόρυφου.

Ανεμογεννήτριες κατακόρυφου άξονα

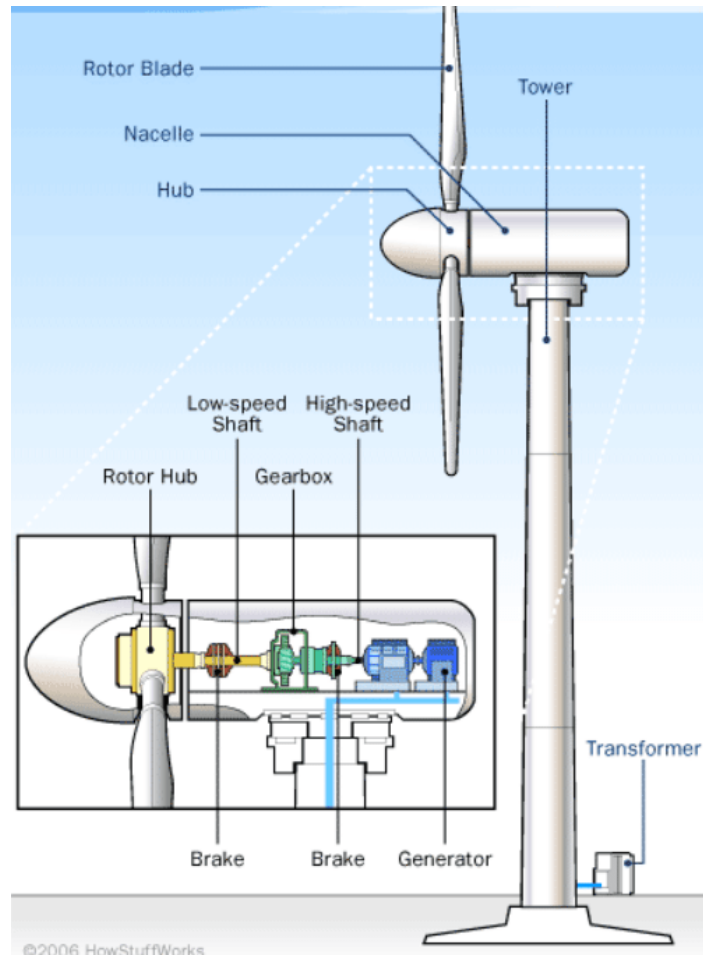
Η ανεμογεννήτρια κατακόρυφου άξονα εφαρμόζεται κυρίως για οικιακή χρήση λόγω ότι έχει χαμηλό όγκο παραγωγής. Έχει χαμηλό κόστος και μικρότερο χώρο για την εγκατάσταση σε σύγκριση με το τις ανεμογεννήτριες οριζοντίου άξονα. Ο άξονας περιστροφής κατακόρυφου άξονα είναι κάθετος προς την κατεύθυνση του ανέμου. Το πλεονέκτημα της, είναι ότι μπορεί να παράγει ηλεκτρική ενέργεια σε χαμηλές ταχύτητες ανέμου. Επίσης η συντήρηση του κατακόρυφου άξονα είναι πιο οικονομική σε σύγκριση με τον οριζόντιου άξονα.

Ανεμογεννήτριες οριζοντίου άξονα

Η ανεμογεννήτρια οριζόντιου άξονα χρησιμοποιείται για μεγαλύτερη ποσότητα παραγωγής, η οποία απαιτεί ένα σημαντικό κεφάλαιο για την εγκατάστασή της. Επιπλέον καταλαμβάνει περισσότερο χώρο για την εγκατάσταση σε σύγκριση με την ανεμογεννήτρια κατακόρυφου άξονα. Το κόστος παραγωγής είναι μικρό, όταν η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας έχει μεγάλο όγκο. Επίσης η τοποθεσία τους παίζει σημαντικό ρόλο για την αξιόπιστη απόδοση τους, γι' αυτό κατασκευάζονται κοντά σε θαλάσσιες ακτές και υψηλές κορυφές λόφων.

Πιο αναλυτικά, η απόδοση των ανεμογεννητριών εξαρτάται από την ταχύτητα και το μέγεθος του ανέμου. Η τεχνολογία μιας τυπικής ανεμογεννήτριας οριζοντίου άξονα είναι η εξής:

1. Πτερύγια ρότορα: χρησιμοποιείτε για να συλλάβει την αιολική ενέργεια και να την μετατρέψει σε περιστροφική ενέργεια του άξονα.
2. Άξονας: χρησιμοποιείτε για να μεταφέρει την ενέργεια της περιστροφικής ενέργειας στην γεννήτρια
3. Θάλαμος αεροπλάνου: κατασκευή που συγκρατεί το κιβώτιο ταχυτήτων
4. Κιβώτιο ταχυτήτων: αυξάνει την ταχύτητα του άξονα
5. Γεννήτρια: αξιοποιεί την περιστροφική ενέργεια του άξονα για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας
6. Ηλεκτρονική μονάδα ελέγχου: είναι το σύστημα παρακολούθησης για την ομαλή λειτουργία της ανεμογεννήτριας
7. Ελεγκτής περιστροφής: κινεί τον ρότορα για να πάρει την κατεύθυνση του ανέμου
8. Φρένα: διακόπτει την περιστροφή του άξονα σε περίπτωση μηχανικής βλάβης ή υπερφόρτωσης φορτίου
9. Πύργος: είναι υπεύθυνος για την στήριξη του ρότορα και της γέφυρας σε κατάλληλο ύψος για την ασφαλή λειτουργία των πτερυγίων
10. Ηλεκτρικός εξοπλισμός: μεταφέρει ηλεκτρική ενέργεια από την γεννήτρια



Εικόνα 3: Εξοπλισμός ανεμογεννήτριας

Στην συνέχεια ακολουθούν τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα των συστημάτων ανεμογεννητριών:

Πλεονεκτήματα

- Ο άνεμος είναι διαθέσιμος χωρίς κόστος.
- Ο άνεμος είναι χρήσιμος στην παροχή ηλεκτρικής ενέργειας σε απομακρυσμένες περιοχές
- Η παραγωγή αιολικής ενέργειας είναι οικονομικά αποδοτική και αξιόπιστη
- Χωρίς ρύπανση του φυσικού περιβάλλοντος

Μειονεκτήματα

- Η αιολική ενέργεια έχει χαμηλή ενεργειακή πυκνότητα, αλλά είναι ευνοϊκή σε πολλές γεωγραφικές τοποθεσίες, πόλεις και δάση.
- Απαιτεί μπαταρίες αποθήκευσης ενέργειας που συμβάλλουν έμμεσα στη ρύπανση του περιβάλλοντος.

- Οι στρόβιλοι δεν είναι πολύ αποδοτικοί καθώς εξάγουν μόνο 10 έως 40% του διαθέσιμου ανέμου
- Η αιολική ενέργεια είναι κεφαλαιουχική.

1.2.2 Ηλιακή Ενέργεια

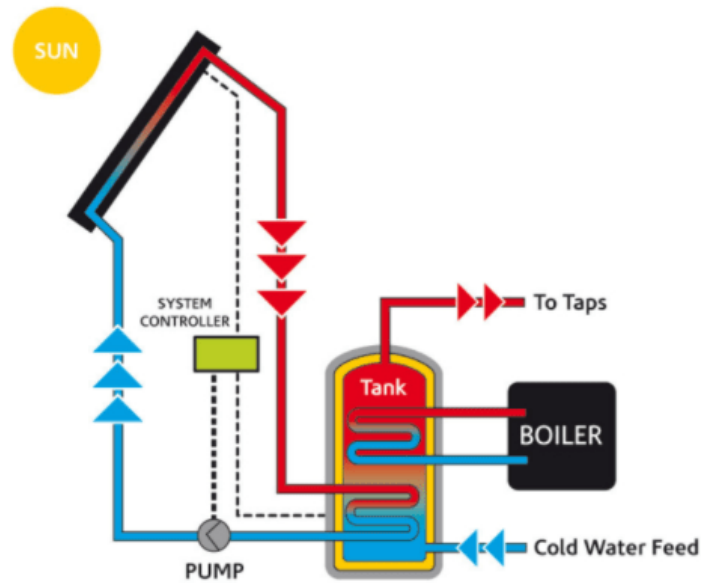
Ο ήλιος αποτελεί την κυρίαρχη πηγή ενέργειας στον πλανήτη Γη, ενώ θεωρείτε η πραγματική πηγή των περισσότερων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Σε ετήσια βάση, το ποσό της ηλιακής ακτινοβολίας που προέρχεται από τον ήλιο δεν μπορεί να φτάσει στη Γη. Αναλυτικότερα το 20% της ακτινοβολίας που εισέρχεται τελικά στην ατμόσφαιρα της γης απορροφάτε από την ατμόσφαιρα και τα σύννεφα, ένα ποσοστό της τάξης του 30% ανακλάται στο διάστημα και τέλος το υπόλοιπο 50% καταφθάνει στην επιφάνεια της Γης, το οποίο είναι πρακτικά εκμεταλλεύσιμο.

Ο ορισμός της ηλιακής ενέργειας περιλαμβάνει την ενέργεια που μεταφέρεται με την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία του Ήλιου. Κατά των πέρασμά των χρόνων και με την εξέλιξη της τεχνολογίας, δημιουργήθηκαν καινοτόμες κατασκευές για την εκμετάλλευση της ηλιακής ακτινοβολίας. Η αξιοποίηση της γίνεται είτε παθητικά είτε ενεργητικά και διακρίνονται σε τρεις κατηγορίες: Τα Ενεργειακά θερμικά ηλιακά συστήματα, τα Παθητικά θερμικά ηλιακά συστήματα και τα Φωτοβολταϊκά ηλιακά συστήματα.

Ενεργειακά Θερμικά ηλιακά συστήματα

Το σημαντικότερο χαρακτηριστικό των ηλιακών θερμικών συστημάτων, είναι οι επίπεδοι ηλιακοί συλλέκτες. Το κύριο πλεονέκτημα τους, είναι ότι εκμεταλλεύονται εκτός από την άμεση και την διάχυτη ακτινοβολία που προσπίπτει στην επιφάνεια τους. Η βασική αιτία είναι ότι τοποθετούνται με κλίση ως προς τον οριζόντιο άξονα, με συνέπεια να αυξάνεται σε μεγάλο βαθμό το ενεργειακό όφελος. Όσων αφορά τον εξοπλισμό τους, αποτελούνται από διάφορες μηχανολογικές διατάξεις, που χρησιμεύουν στην αποθήκευση, την διανομή και την μεταφορά της ηλιακής ενέργειας. Οι μηχανολογικές αυτές διατάξεις είναι οι αντλίες, οι εναλλάκτες θερμότητας, οι δεξαμενές αποθήκευσης, οι σωληνώσεις και τα βοηθητικά συστήματα θέρμανσης.

Πέρα από τους επίπεδους ηλιακούς συλλέκτες, μια άλλη κατηγορία είναι οι συγκεντρωτικοί συλλέκτες. Αξιοποιούν μόνο την άμεση ακτινοβολία και αυτό έχει ως αποτέλεσμα να είναι ακατάλληλοι σε περιοχές που βρίσκονται στα νότια και βόρεια γεωγραφικά πλάτη. Λόγω της περιορισμένης απόδοσης έναντι των επίπεδων συλλεκτών, επιδιώκεται η αύξηση της απόδοσης με την συγκέντρωση της ηλιακής ακτινοβολίας από την επιφάνεια συλλογής στον δέκτη.



Εικόνα 4: Σύστημα θερμικού συλλέκτη [\[30\]](#)

Φωτοβολταϊκά συστήματα

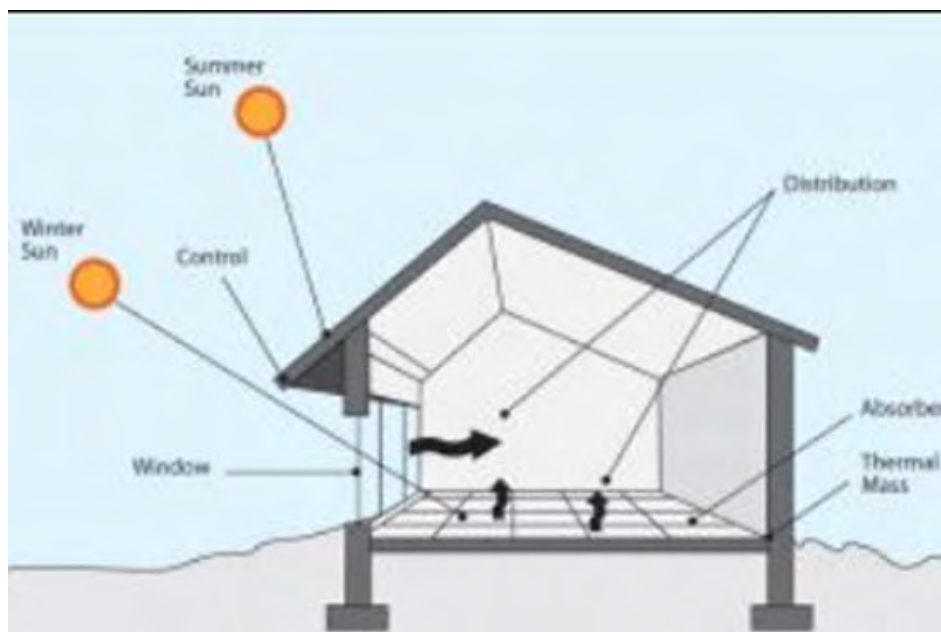
Τα φωτοβολταϊκά ηλιακά συστήματα μετατρέπουν την ηλιακή ακτινοβολία που προσπίπτει στην επιφάνεια τους σε ηλεκτρική ενέργεια, με βάση το φωτοβολταϊκό φαινόμενο. Η συγκεκριμένη κατηγορία ηλιακής τεχνολογίας θα αναλυθεί διεξοδικά στα επόμενα κεφάλαια.



Εικόνα 5: Φωτοβολταϊκή συστοιχία [\[31\]](#)

Παθητικά Ηλιακά συστήματα

Τα παθητικά ηλιακά συστήματα είναι μια νέα τεχνολογία, που χρησιμοποιεί αρχιτεκτονικές σχεδιαστικές αρχές και σε συνδυασμό με την χρήση κατάλληλων δομικών υλικών, μετατρέπουν την ηλιακή ακτινοβολία σε θέρμανση και βοηθητικό φωτισμό, χωρίς την χρήση μηχανολογικού εξοπλισμού.



Εικόνα 6: Παθητικό ηλιακό σύστημα εφαρμοσμένο σε οικία [32]

Παρακάτω αναφέρονται τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα της ηλιακής ενέργειας.

Πλεονεκτήματα

Τα πλεονεκτήματα της ηλιακής ενέργειας ποικίλουν σε κάθε κατηγορία από τις παραπάνω. Αρχικά προσφέρει αξιοπιστία όπως όλες οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Σε ότι αφορά τον τομέα της ηλεκτροπαραγωγής, η τοποθεσία των φωτοβολταϊκών συστοιχιών βρίσκεται κοντά σε κατοικημένες περιοχές, με αποτέλεσμα στην μείωση των απωλειών ενέργειας. Τέλος συμβάλει στην προστασία του φυσικού περιβάλλοντός αφού αποτρέπει την έκλυση αποβλήτων.

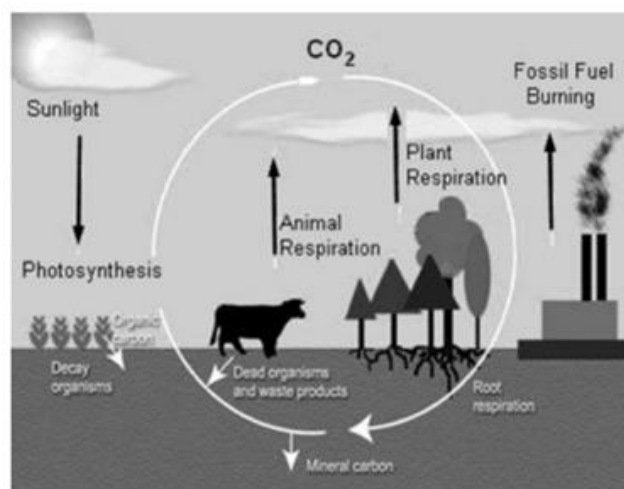
Μειονεκτήματα

Το κύριο πρόβλημα της χρήσης ηλιακής ενέργειας είναι το κόστος. Παρά την πρόοδο της τεχνολογίας, οι ηλιακοί συλλέκτες παραμένουν σχεδόν απαγορευτικά δαπανηροί. Ακόμα και όταν το κόστος των πάνελ αγνοείται, το σύστημα απαιτεί την αποθήκευση της ενέργειας για μεταγενέστερη χρήση, η οποία επίσης μπορεί να είναι αρκετά δαπανηρή. Παρόλο που κάποια ηλιακή ενέργεια μπορεί να συλλεχθεί ακόμα και κατά τη διάρκεια των πιο ηλιόλουστων ημερών, το γεγονός ότι στις συννεφιασμένες μέρες όπως επίσης και στις νυχτερινές ώρες, δεν συλλέγεται ηλιακή ενέργεια, μπορεί να αποδειχθεί καταστροφικό για την απόδοση των ηλιακών τεχνολογιών.

1.2.3 Βιομάζα

Η ενέργεια της βιομάζας είναι μια από τις πρώτες πηγές ενέργειας της ανθρωπότητας. Ο όρος Βιομάζα αναφέρεται στη δασοκομία, τις καλλιέργειες δηλαδή που καλλιεργούνται εσκεμμένα, δέντρα, φυτά και βιολογικά προϊόντα, αγροτικά βιομηχανικά και οικιακά απόβλητα (αστικά και στερεά απόβλητα). Το όνομα της προήλθε από τη φυτική ύλη που δημιουργείται από τη φωτοσύνθεση, που η ενέργεια του ήλιου μετατρέπει το νερό και το CO₂ σε οργανική ύλη. Έτσι, τα υλικά βιομάζας είναι άμεσα ή έμμεσα αποτέλεσμα από την ανάπτυξη των φυτών. Η ενέργεια της προέρχεται από φυτικά και ζωικά υλικά, όπως το ξύλο από τα δάση, τα απόβλητα γεωργικών και δασικών εκτάσεων, δασικών διεργασιών και βιομηχανικών, ανθρώπινων ή ζωικών αποβλήτων. Η ενέργεια που λαμβάνεται είναι μια μορφή ανανεώσιμης ενέργειας, η οποία σε καμία περίπτωση δεν δημιουργεί απόβλητα, όπως η καύση των ορυκτών καυσίμων που συμβάλουν αρνητικά στο φαινόμενο του θερμοκηπίου. Επιπλέον υπερέρχει έναντι των άλλων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, λόγω ότι είναι μοναδική ενέργεια που αποθηκεύεται αποτελεσματικά η ηλιακή ενέργεια.

Η βιομάζα χρησιμοποιείται για την κάλυψη ποικίλων ενεργειακών αναγκών, μεταξύ άλλων παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος, θέρμανσης κατοικιών, τροφοδοσία οχημάτων και παροχή θερμότητας για βιομηχανικές εγκαταστάσεις. Περιλαμβάνει τα απόβλητα ξύλου, ζώων και φυτών. Επίσης μπορεί να χαρακτηριστεί ως οργανικό υποκατάστατο του πετρελαίου, το οποίο όμως έχει το πλεονέκτημα ότι είναι ανανεώσιμο. Επίσης, είναι η μόνη ανανεώσιμη πηγή οργανικού άνθρακα που μετατρέπεται σε στερεά, υγρά και αέρια καύσιμα. Τέλος στον τομέα της οικονομίας, η παραγωγή βιομάζας εκτιμάται σε 146 δισ. € μετρικούς τόνους ετησίως, κατά κύριο λόγο από την ανάπτυξη άγριων φυτών.

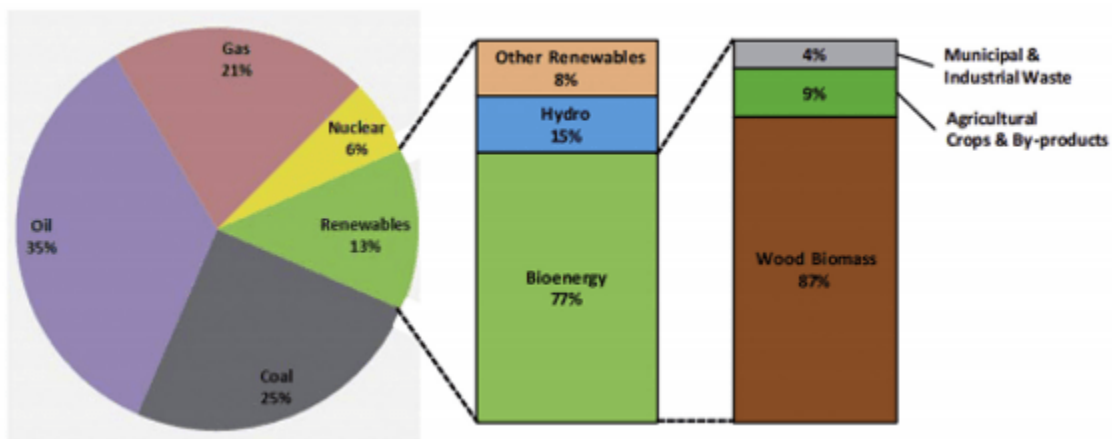


Εικόνα 7: Αναπαραγωγή Βιομάζας [16]

Η βιομάζα διαφέρει από τις άλλες ανανεώσιμες πηγές ενέργειας στο μπορεί να μετατραπεί σε ενέργεια μέσω πολλών διαδικασιών. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί άμεσα (π.χ. καύση ξύλου για θέρμανση και μαγειρέματος) ή έμμεσα μετατρέποντάς την σε υγρό ή αέριο καύσιμο (π.χ. αλκοόλη από καλλιέργειες ζάχαρης ή βιοαέριο από ζωικά απόβλητα) χρησιμοποιώντας τεχνολογίες μετατροπής. Η καθαρή ενέργεια που διατίθεται από την βιομάζα όταν καίγεται κυμαίνεται από περίπου 8 MJ / kg για το ξύλο, έως 20 MJ / kg για την ξηρά φυτική ύλη και στα 55 MJ / kg για το μεθάνιο.

Η ενέργεια της βιομάζας μπορεί να χωριστεί σε δύο κατηγορίες, τη σύγχρονη βιομάζα και την παραδοσιακή βιομάζα. Η σύγχρονη βιομάζα αποσκοπεί στην υποκατάσταση συμβατικών πηγών ενέργειας. Περιλαμβάνει ξύλα και γεωργικά υπολείμματα, αστικά απόβλητα και βιοκαύσιμα, όπως το βιοαέριο και οι ενεργειακές καλλιέργειες. Η παραδοσιακή βιομάζα περιορίζεται στις αναπτυσσόμενες χώρες και σε μικρής κλίμακας χρήσεις. Περιλαμβάνει καυσόξυλα για οικιακή χρήση, φλοιό ρυζιού και άλλα φυτά και ζωικά απόβλητα.

Στην Εικόνα 8 απεικονίζονται τα ποσοστά χρησιμοποίησης των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας σε σύγκριση με τα συμβατικά καύσιμα. Επιπλέον γίνεται μια αναλυτικότερη περιγραφή για τα επίπεδα χρησιμοποίησης της βιομάζας.



Εικόνα 8: Ποσοστά χρησιμοποίησης Βιομάζας [33]

1.2.4 Γεωθερμική Ενέργεια

Η γεωθερμική ενέργεια, είναι η θερμική ενέργεια που περιέχεται στο εσωτερικό της Γης. Η κυριολεκτική έννοια της λέξης " γεωθερμική " προέρχεται από τη γεωλογία (γη) και τη θερμότητα (θερμική ενέργεια). Η προέλευση της συνδέεται με την εσωτερική δομή του πλανήτη μας. Οι ορατές ενδείξεις θερμότητας που υπάρχει μέσα και κάτω από το φλοιό της Γης, μαρτυρούν τα ηφαίστεια, οι ζεστές πηγές και οι βρασμένες λάσπες. Η ποσότητα θερμικής

ενέργειας μέσα στη Γη είναι πολύ μεγάλη και σε πρακτικά ανεξάντλητες ποσότητες στο φλοιό της Γης. Ωστόσο, η χρήσιμη γεωθερμική ενέργεια περιορίζεται σε ορισμένες τοποθεσίες και είναι άνισα κατανομημένη, σπάνια συγκεντρωμένη και συχνά σε βάθος. Χρησιμοποιείται στην παραγωγή σε διάφορους τομείς όπως στον οικιακό, αγροτικό αλλά και στον βιομηχανικό τομέα.

Η χρήση της γεωθερμικής ενέργειας χρησιμοποιήθηκε για πρώτη φορά στην Ιταλία και πιο συγκεκριμένα στην περιοχή της Τοσκάνης στις αρχές του 19^{ου} αιώνα. Εκεί λειτουργούσε μια χημική βιομηχανία παραγωγή οξέος, η οποία χρησιμοποίησε θερμά νερά που ανάβλυζαν από φυσικές πηγές. Στην ίδια περιοχή, το 1904 έγιναν οι πρώτες προσπάθειες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Σήμερα υπάρχει μια σύγχρονη υβριδική μονάδα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας που χρησιμοποιεί την γεωθερμία σε συνδυασμό με βιομάζα. Γεωθερμική ενέργεια χρησιμοποιήθηκε επίσης για πρώτη φορά σε μεγάλη κλίμακα για τη θέρμανση χώρων, τη βιομηχανία και την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας τον 20ο αιώνα. Επιπλέον έχει παραχθεί εμπορικά για περίπου 90 χρόνια και η παγκόσμια χρήση της, ανήλθε σε περίπου 49 TWh / έτος ηλεκτρικής ενέργειας το 2002. Οι γεωθερμικοί πόροι εντοπίστηκαν σε περισσότερες από 80 χώρες το 2000.

Το πιο συνηθισμένο κριτήριο για την ταξινόμηση γεωθερμικών πηγών είναι η ενθαλπία. Η ενθαλπία, η οποία μπορεί γενικά να θεωρηθεί ανάλογη της θερμοκρασίας, χρησιμοποιείται για να εκφράσει τη θερμότητα (θερμική ενέργεια) του υγρού και δίνει μια γενική ιδέα για την αξία τους. Οι πηγές χωρίζονται σε γεωθερμικές πηγές χαμηλής, μεσαίας και υψηλής ενθαλπίας. Παρακάτω παρατίθενται οι χρήσεις της γεωθερμίας ανάλογα της θερμοκρασίας της ενθαλπίας.

- Η υψηλή ενθαλπία ($T > 150$ °C) χρησιμοποιείται για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας
- Η μέση ενθαλπία (80 έως 150 °C) χρησιμοποιείται κυρίως για θέρμανση. Επίσης μπορεί να χρησιμοποιηθεί και για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας αλλά όχι σε μεγάλη κλίμακα
- Η χαμηλή ενθαλπία (25 έως 80 °C) χρησιμοποιείται για θέρμανση χώρων, π.χ. θερμοκηπίων.

Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας με γεωθερμία

Οι γεωθερμικές μονάδες ηλεκτροπαραγωγής εκμεταλλεύονται μια φυσική, καθαρή πηγή ενέργειας από το εσωτερικό της Γης. Οι γεωθερμικοί πόροι παράγουν ατμό ή ζεστό νερό. Πιο αναλυτικά, ο ατμός περιστρέφει έναν στρόβιλο που με την σειρά του ενεργοποιεί μια γεννήτρια η οποία παράγει ενέργεια. Υπάρχουν δύο βασικοί τύποι γεωθερμικών τεχνολογιών παραγωγής, οι τεχνολογίες φλας και οι δυαδικές. Οι τεχνολογίες φλας χρησιμοποιούνται όταν ο γεωθερμικός πόρος έχει θερμοκρασία 350 °F και υψηλότερες ενώ οι δυαδικές χρησιμοποιούνται για θερμοκρασίες κάτω από 350 °F.

Στις τεχνολογίες φλας γίνεται διαχωρισμός του νερού από τον ατμό. Το νερό επιστρέφει στις δεξαμενές για επαναχρησιμοποίηση ή αξιοποιείται από γεωργικές εφαρμογές. Ο ατμός

χρησιμοποιείτε για την κίνηση του στροβίλου, ο οποίος με την σειρά του ενεργοποιεί την γεννήτρια για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

Στις δυαδικές τεχνολογίες παραγωγής, το ζεστό νερό από μια γεωθερμική πηγή χρησιμοποιείτε για την θέρμανση της αμμωνίας σε ένα σύστημα κλειστού βρόχου. Το ρευστό εξατμίζεται σε έναν εναλλάκτη θερμότητας και στην συνέχεια χρησιμοποιείτε για την ενεργοποίηση της γεννήτριας. Οι ψυχθέντες υδρατμοί στη συνέχεια απελευθερώνονται πίσω στις υπόγειες δεξαμενές, οπότε ο κύκλος μπορεί να ξεκινήσει εκ νέου. Κανένα αέριο δεν εκπέμπεται στην ατμόσφαιρα, καθώς ο δυαδικός κύκλος είναι ένα κλειστό σύστημα.

Πλεονεκτήματα-Μειονεκτήματα από την χρήση Γεωθερμίας

Τα πλεονεκτήματα ποικίλουν για την γεωθερμική ενέργεια, λόγω του είναι μια ανανεώσιμη πηγή ενέργειας

- Η γεωθερμική ενέργεια είναι διαθέσιμη όλο τον χρόνο για όλο το 24ωρο σε αντίθεση με τις υπόλοιπες ανανεώσιμες πηγές που έχουν περιορισμούς
- Είναι φιλική προς το περιβάλλον αφού δεν εκπέμπει ρύπους
- Είναι εξοικειωμένη με τεχνολογίες ψύξης και θέρμανσης που χρησιμοποιούνται για υβριδικές τεχνολογίες

Παρόλα αυτά υπάρχουν και μειονεκτήματα της χρήσης της γεωθερμικής ενέργειας

- Υψηλό αρχικό κόστος παραγωγής
- Η δυσκολία εύρεσης τοποθεσίας αφού πρέπει να τηρεί προϋποθέσεις (γεωθερμικές περιοχές)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

Μικροδίκτυα

2.1 Η έννοια του μικροδικτύου

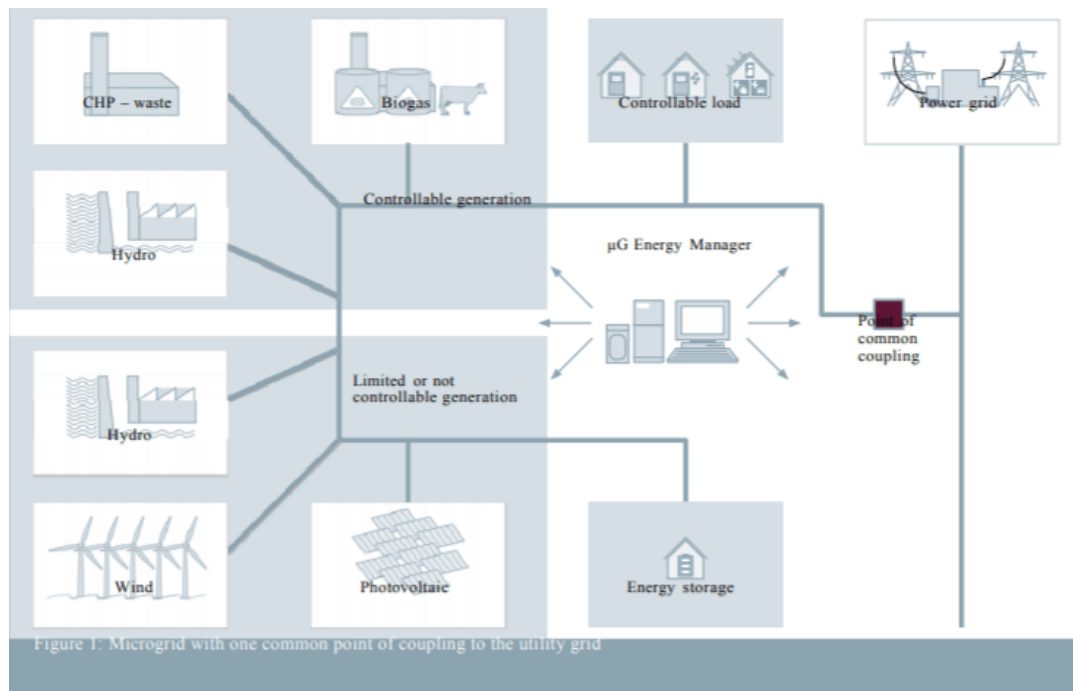
Τα συμβατικά συστήματα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας προσφέρουν χωρίς αμφιβολία μεγάλες δυνατότητες όσο αναφορά την ποσότητα της παραγόμενης ισχύος. Παρόλα αυτά, δημιουργούνται και αρνητικές επιπτώσεις από την εντατική χρησιμοποίησή τους. Τα σημερινά δίκτυα παραγωγής βασίζονται σε μεγάλο βαθμό στην καύση ορυκτών πόρων όπως το πετρέλαιο, το φυσικό αέριο και ο λιγνίτης, καθένα από τα οποία έχουν περισσότερες ή λιγότερες αρνητικές επιπτώσεις στο φυσικό περιβάλλον. Επιπλέον, το σύστημα μετάδοσης αυτών των μονάδων παραγωγής, απαιτεί την χρήση γραμμών μεταφοράς μεγάλων αποστάσεων, όπου οι απώλειες μετάδοσης είναι αναπόφευκτες. Κατά αυτόν τον τρόπο και σε συνδυασμό με την αυξανόμενη ζήτηση για καθαρή, αξιόπιστη και προσιτή ηλεκτρική ενέργεια, δημιουργήθηκαν οι προϋποθέσεις για την υλοποίηση ενός νέου τρόπου παραγωγής που θα άλλαζε τα ως τότε δεδομένα. Η υλοποίηση της ιδέας του μικροδικτύου έχει την δυνατότητα να προσφέρει μια καινοτόμα, οικονομική και φιλική λύση προς το φυσικό περιβάλλον.

Ο ορισμός του μικροδικτύου αναφέρεται στα συστήματα διανομής ηλεκτρικής ενέργειας που περιλαμβάνουν δυνατότητες δημιουργίας, αποθήκευσης και φόρτωσης τα οποία μπορούν να λειτουργούν απομονωμένα υπό την μορφή νησιδοποίησης ή διασυνδεδεμένα με το κεντρικό δίκτυο. Αυτή η ικανότητα του μικροδικτύου να λειτουργεί με αυτούς τους δύο τρόπους, βελτιώνει την αξιοπιστία και την ποιότητα της παραγόμενης ισχύος. Επίσης ένας από τους βασικούς στόχους που επιτυγχάνει η δημιουργία του μικροδικτύου, είναι ότι μπορεί και συνδυάζει τις διεσπαρμένες τεχνολογίες που αναφέρθηκαν, για την δημιουργία συνδυασμένης παραγωγής ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας με την χρησιμοποίηση συστημάτων υψηλής απόδοσης. Η επιλογή τεχνολογιών διεσπαρμένης παραγωγής εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από το κλίμα και την τοπολογία της εκάστοτε περιοχής.

Η διεύθυνση της διεσπαρμένης τεχνολογίας στα μικροδίκτυα ηλεκτρικής ενέργειας, έχει αυξηθεί σημαντικά τα τελευταία χρόνια, λόγω των πολλών πλεονεκτημάτων που προσφέρει. Όμως, για την βέλτιστη χρησιμοποίηση τέτοιων τεχνολογιών, απαιτείται η ανάλυση των επιπτώσεων της, προκειμένου να ελαχιστοποιηθούν οι απώλειες στις γραμμές μεταφοράς και να βελτιωθεί η ποιότητα της άεργου ισχύος. Από την άλλη πλευρά, αποτελεί πρόκληση η ενσωμάτωση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στο δίκτυο παραγωγής, διότι αυτές οι μονάδες έχουν άμεση σχέση με τα καιρικά φαινόμενα και η παραγωγή τους εξαρτάται κυρίως

από αυτά. Ωστόσο τα τελευταία χρόνια βλέπουμε μια ταχεία ανάπτυξη και βελτίωση των τεχνολογιών διεσπαρμένης παραγωγής, που έρχεται να αλλάξει τα δεδομένα που επικρατούσαν μέχρι σήμερα.

Τα μικροδίκτυα μπορούν να σχεδιαστούν για να υποστηρίξουν το εναλλασσόμενο ρεύμα (AC) ή το συνεχές ρεύμα (DC). Κάθε εναλλακτική λύση έχει διάφορα χαρακτηριστικά, τα οποία συνεπάγονται διαφορετικά πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα που πρέπει να ληφθούν, ώστε να υπάρχει το βέλτιστο αποτέλεσμα για την ομαλή λειτουργία του δικτύου.



Εικόνα 9: Αναπαράσταση μικροδικτύου [35]

2.2 Δομή Μικροδικτύου

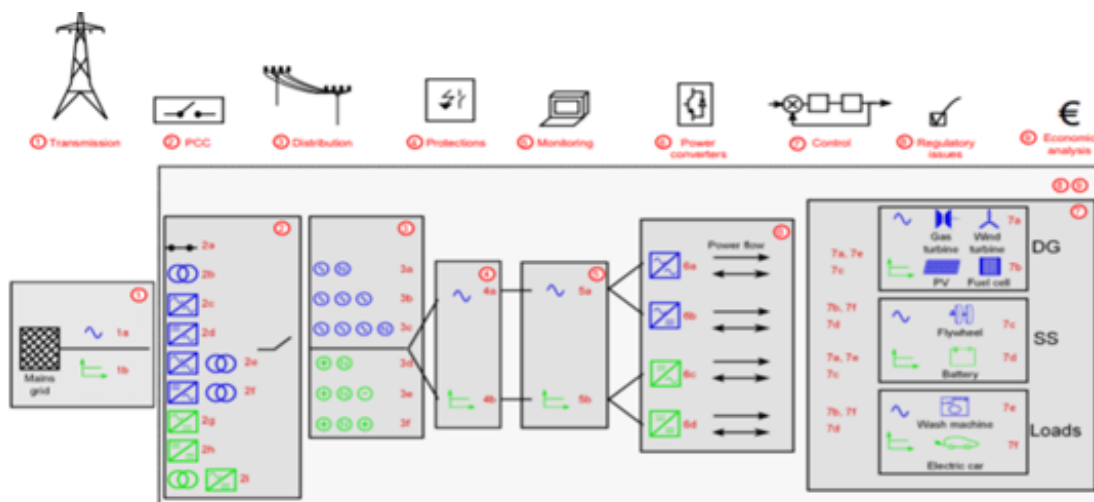
Με την ανάπτυξη της τεχνολογίας ηλεκτρονικής ισχύος και της αποθήκευσης ενέργειας, η δημοτικότητα των μικροδικτύων αυξάνεται σε μεγάλο βαθμό. Ένα από τα βασικά πλεονεκτήματα που προσφέρει, είναι η ευελιξία στον τρόπο λειτουργίας του. Ουσιαστικά περιλαμβάνει δύο τρόπους λειτουργίας, σύνδεση με το κεντρικό δίκτυο και νησιδοποιημένη λειτουργία. Η λειτουργία σύνδεσης σημαίνει υποβοήθηση του κεντρικού συστήματος με την παροχή επιπλέον ηλεκτρικής ενέργειας, ενώ νησιδοποιημένη λειτουργία αποτελεί την παροχή της αυτόνομης ηλεκτρικής ενέργειας σε καταναλωτές εντός του μικροδικτύου. Ως εκ τούτου για να αντιληφθούμε σε βάθος την λειτουργία του, γίνεται μια βαθύτερη ανάλυση των τεχνικών παραμέτρων, αναλύοντας τα βασικά χαρακτηριστικά υποδομής του μικροδικτύου. Τα μικροδίκτυα είναι ολοκληρωμένα συστήματα στα οποία οι καταναλωτές δημιουργούν

ένα πλέγμα που τροφοδοτεί έναν μεταβλητό αριθμό καταναλωμένων φορτίων. Οι τεχνολογίες αυτές, χωρίζονται σε δύο βασικές κατηγορίες, οι οποίες αποτελούν αναπόσπαστο κομμάτι του μικροδικτύου, τις διεσπαρμένες γεννήτριες (Distributed Generation DG) και τα συστήματα αποθήκευσης (Storage System SS)

Οι διεσπαρμένες γεννήτριες περιλαμβάνουν διαφορετικούς τύπους διεσπαρμένης τεχνολογίας, που αποτελούνται τόσο από ανανεώσιμες όσο και από μη ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Αυτό το ιδιαίτερο χαρακτηριστικό επιτρέπει την εκμετάλλευση των διαθέσιμων πόρων κάθε τοποθεσίας όπως π.χ. την ενέργεια που παρέχει ο άνεμος, ο ήλιος ή η βιομάζα. Επιπλέον έρευνες έχουν δείξει, ότι οι ανανεώσιμες πηγές με την μεγαλύτερη ενεργειακή απόδοση είναι η αιολική και η ηλιακή ενέργεια. Ωστόσο οι μη ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, αδιαμφισβήτητα παρέχουν υψηλότερες αποδόσεις έναντι των ανανεώσιμων.

Τα συστήματα αποθήκευσης αποτελούν αναπόσπαστο κομμάτι των μικροδικτύων, καθώς συνεισφέρουν στην ελάφρυνση του φόρτου ζήτησης του κεντρικού δικτύου. Σε επίπεδο χρησιμότητας, εξυπηρετούν και άλλες σημαντικές λειτουργίες, όπως η εξομάλυνση της διαλείπουσας ροής ισχύος, η ρύθμιση της συχνότητας και έλεγχος της τάσης. Σε επίπεδο καταναλωτών, μπορούν να ενισχύσουν την προσφορά σε περιόδους αιχμής και να προσφέρουν σημαντική υποστήριξη σε περίπτωση έκτακτης ανάγκης.

Αναφορικά με τα φορτία ζήτησης (κατοικιών, βιομηχανικών κλπ.), υπάρχει ένα ευρύ φάσμα που μπορεί να συνδεθεί σε ένα μικροδίκτυο. Δύο είναι κύριες ομάδες: τα κρίσιμα/ευαίσθητα και μη κρίσιμα φορτία. Αυτή η ταξινόμηση εκτελείται συχνά από τον κεντρικό ελεγκτή του μικροδικτύου (MGCC), αλλά μπορεί επίσης να γίνει και με αποκεντρωμένο τρόπο. Εκτός από τα προαναφερθέντα στοιχεία, τα μικροδίκτυα απαιτούν και άλλες χρήσιμες υποδομές για την ασφαλή λειτουργία του, τα οποία ταξινομούνται παρακάτω.



Εικόνα 10: Ηλεκτρολογικά χαρακτηριστικά ενός μικροδικτύου [20]

2.2.1 Σημείο κοινής σύζευξης-Point of Common Coupling (PCC)

Το σημείο κοινής σύζευξης (PCC) αποτελεί την πύλη μεταξύ του μικροδικτύου και του κεντρικού δικτύου. Οι επίσημοι ορισμοί ποικίλλουν, αλλά με απλά λόγια το PCC είναι το σημείο όπου η γεννήτρια συνδέεται με το δημόσιο δίκτυο. Ουσιαστικά είναι το σημείο στο δίκτυο, το πλησιέστερο στη γεννήτρια, στο οποίο συνδέονται ή θα μπορούσαν να συνδεθούν άλλοι πελάτες. Αυτή η σύνδεση μπορεί να πραγματοποιηθεί μέσω συσκευών μεταγωγής και μετατροπών ισχύος. Το μικροδίκτυο συνδέεται και αποσυνδέεται από το κύριο δίκτυο μέσω του PCC. Όμως, μια βασική απαίτηση για τη σύνδεση μιας γεννήτριας με ένα σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας, είναι ότι δεν πρέπει να επηρεάζει δυσμενώς την ποιότητα της ηλεκτρικής ενέργειας που παρέχεται στα φορτία ζήτησης. Ωστόσο, το κύριο χαρακτηριστικό του PCC είναι ότι είναι το σημείο στο οποίο το κεντρικό δίκτυο θα προκαλέσει τις περισσότερες διαταραχές

Το επίπεδο βλάβης στο PCC είναι πολύ σημαντικό, επειδή καθορίζει σε μεγάλο βαθμό την επίδραση που θα έχει η γεννήτρια στο δίκτυο. Μια χαμηλή στάθμη σφάλματος, συνεπάγεται υψηλή σύνθετη αντίσταση πηγής δικτύου και σχετικά μεγάλη μεταβολή της τάσης στο PCC που προκαλείται από εκχύλιση ή έγχυση ενεργού ή άεργου ισχύος. Ο αντίκτυπος μιας γεννήτριας ανανεώσιμης ενέργειας στο δίκτυο, εξαρτάται συνεπώς πολύ από το επίπεδο σφάλματος στο σημείο σύνδεσης καθώς και από το μέγεθος της προτεινόμενης γεννήτριας. Η τάση με την οποία συνδέεται μια γεννήτρια, εξαρτάται από την ονομαστική της χωρητικότητα. Επομένως είναι επιτακτική ανάγκη να εκφράζεται μια προτεινόμενη χωρητικότητα πηγής (σε MW) ως ποσοστό του επιπέδου βλάβης (σε MVA) που μπορεί να χαρακτηριστεί ως βραχυκύκλωμα.

Η τεχνολογία του εκάστοτε μικροδικτύου(AC ή DC) αποτελεί βασική προϋπόθεση για να επιλεγεί ο σωστός διακόπτης διασύνδεσης. Ένας διακόπτης δεν ανοίγει στιγμιαία αφού χρειάζεται ένα σύντομο χρονικό διάστημα για να κρατήσει μακριά την τάση. Σε κύκλωμα εναλλασσόμενου ρεύματος, αυτή η διαδικασία διακοπής είναι βοηθούμενη από το γεγονός, ότι υπάρχει ένα φυσικό «τρέχον μηδέν». Στην DC τεχνολογία δεν υπάρχει το φυσικό τρέχον μηδέν, πράγμα που σημαίνει ότι ο διακόπτης θα πρέπει να ενσωματώσει μια τεχνολογία για την συγκεκριμένη ρύθμιση.

2.2.2 Σύστημα μετάδοσης-Transmission system

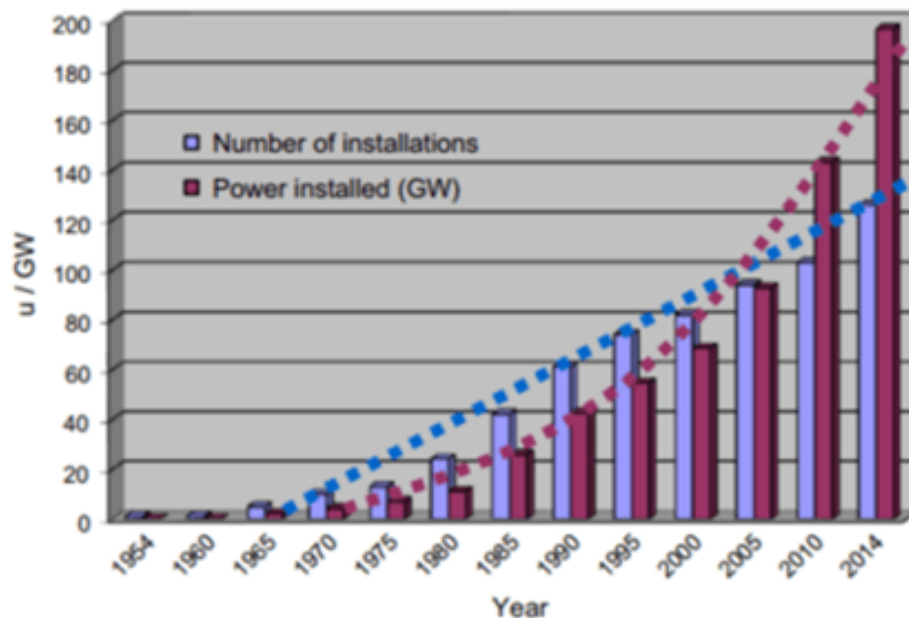
Το κεντρικό ηλεκτρικό δίκτυο παρέχει ηλεκτρική ενέργεια από τα σημεία παραγωγής, στους τελικούς καταναλωτές μέσω του συστήματος μετάδοσης Το σύστημα μετάδοσης είναι υπεύθυνο για την μεταφορά της ενέργειας από τα εργοστάσια παραγωγής προς τους υποσταθμούς διανομής. Η μεταφορά της ηλεκτρικής ενέργειας πραγματοποιείται μέσω του

δικτύου υψηλής τάσης (150kV) και υπερύψηλης τάσης (400kV), έτσι ώστε να μειωθούν οι απώλειες ισχύος, όταν οι αποστάσεις είναι σχετικά μεγάλες. Οι γραμμές μεταφοράς δεν μπορούν να εξυπηρετήσουν τους καταναλωτές που χρησιμοποιούν χαμηλή τάση (220/380V,) αλλά μπορεί να πραγματοποιηθεί και να μεταφερθεί μέχρι ορισμένα επιτρεπτά όρια, τους υποσταθμούς μεταφοράς, οι οποίοι είναι αρμόδιοι για την μεταφορά της ενέργειας σε αυτήν την κατηγορία καταναλωτών. Σε αυτό το σημείο γίνεται υποβιβασμός της τάσης σε μέση τάση, δηλαδή στα 20 kV του δικτύου.

Σήμερα, η πλειοψηφία των γραμμών μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας χρησιμοποιεί τριφασική τεχνολογία AC. Μια αναβάθμιση των υπαρχόντων γραμμών μεταφοράς AC σε τεχνολογία DC, συνεπάγεται αλλαγές στις υποδομές του δικτύου και αυξάνει την ικανότητα μεταφοράς των γραμμών. Ωστόσο την τελευταία περίοδο, η τεχνολογία υψηλής τάσης συνεχούς ρεύματος (HVDC) έχει αποκτήσει μεγαλύτερη ανταπόκριση ζήτησης, λόγω των πλεονεκτημάτων που προσφέρει, όπως η υψηλή πυκνότητα ισχύος, ο έλεγχος και η υποστήριξη έκτακτης ανάγκης.

Υπάρχουν πολλά παραδείγματα που υιοθέτησαν την τεχνολογία HVDC σε διάφορες χώρες, με την Βραζιλία να έχει το προβάδισμα με την μεγαλύτερη εγκατάσταση που ανέρχεται σε 2375 χλμ. Επίσης στις ΗΠΑ, στην Ινδία και στον Καναδά, έχει εισχωρήσει για τα καλά η συγκεκριμένη τεχνολογία, με αποτέλεσμα ο αριθμός συνεχώς να αυξάνεται λόγω της μετάδοσης ισχύος σε μεγάλες αποστάσεις (4.800 χλμ. για γραμμές και 450 χλμ. για καλωδιακά συστήματα). Η εγκατάσταση των συστημάτων HDVC βρίσκεται στην Εικόνα 11, όπου απεικονίζεται μια ετήσια γραμμική αύξηση του αριθμού των εγκαταστάσεων και μια εκθετική αύξηση της εγκατεστημένης ισχύος.

Γενικά, τα συστήματα μετάδοσης DC έχουν μεγαλύτερο κόστος συγκριτικά από τα AC για μεγάλες αποστάσεις, και ξεπερνάνε μερικά από τα μειονεκτήματα που παρουσιάζονται στα συστήματα μετάδοσης εναλλασσόμενου ρεύματος, όπως π.χ. συντήρηση συγχρονισμού, ανάγκη αντιστάθμισης γραμμής και υψηλή αντίσταση εδάφους. Έτσι, τα συστήματα μετάδοσης DC είναι περισσότερο κατάλληλα από τα συστήματα μετάδοσης AC, σε εφαρμογές που απαιτούν μετάδοση ισχύος σε μεγάλες αποστάσεις, όπως υπόγεια και υποβρύχια καλώδια. Εντούτοις, στις μέρες μας, τα μικροδίκτυα σε συστήματα HVDC ή μεσαίας τάσης DC (MVDC) είναι μια τεχνική πρόκληση.



Εικόνα 11: Γραφική αναπαράσταση HDVC τεχνολογίας συναρτήσεως του χρόνου [20]

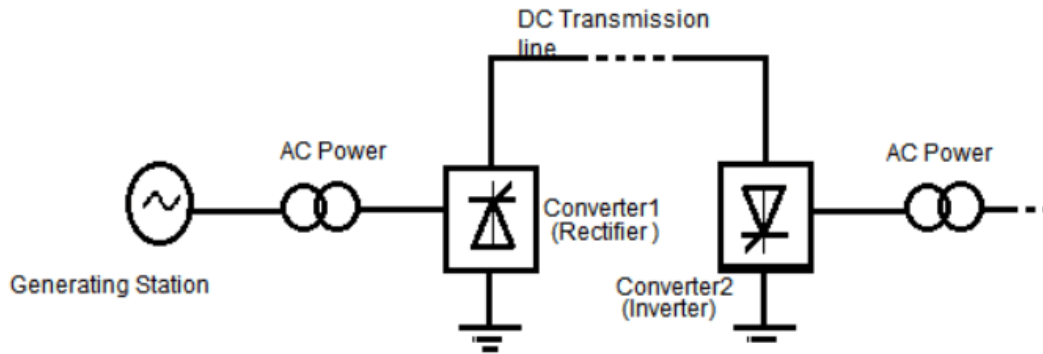
2.2.3 Σύστημα διανομής-Distribution system

Τα βασικά συστατικά ενός μικροδικτύου, όπως οι τεχνολογίες διεσπαρμένης παραγωγής και τα φορτία, διασυνδέονται με γραμμές διανομής. Οι υποσταθμοί των δικτύων ηλεκτρικής ενέργειας αποτελούν κόμβους για την διανομή της ηλεκτρικής ενέργειας. Αυτά τα σημεία στα οποία είναι τοποθετημένοι οι υποσταθμοί μεταφοράς, εκκινούν οι γραμμές διανομής, που τελικά καταλήγουν στους υποσταθμούς διανομής, όπου γίνεται μείωση της μέσης τάσης στη χαμηλή τάση έτσι ώστε να μεταφερθεί στους τελικούς καταναλωτές.

Κατά αυτόν τον τρόπο, τα μικροδίκτυα μπορούν να ταξινομηθούν σε δύο κατηγορίες, τα AC και DC μικροδίκτυα, με βάση τα χαρακτηριστικά των γραμμών διανομής. Πιο αναλυτικά, τα μικροδίκτυα AC αποτελούνται από τρεις διαφορετικούς τύπους διανομής, την μονοφασική, την τριφασική χωρίς ουδέτερο και των τριών φάσεων με ουδέτερο. Από την άλλη τα DC μικροδίκτυα, χωρίζονται επίσης σε τρεις κατηγορίες διανομής, την μονοπολική, την διπολική και την ομοιοπολική. Επίσης μια ακόμη κατηγορία αποτελούν τα υβριδικά μικροδίκτυα, τα οποία συνδυάζουν και τις δύο τεχνολογίες γραμμών, AC και DC.

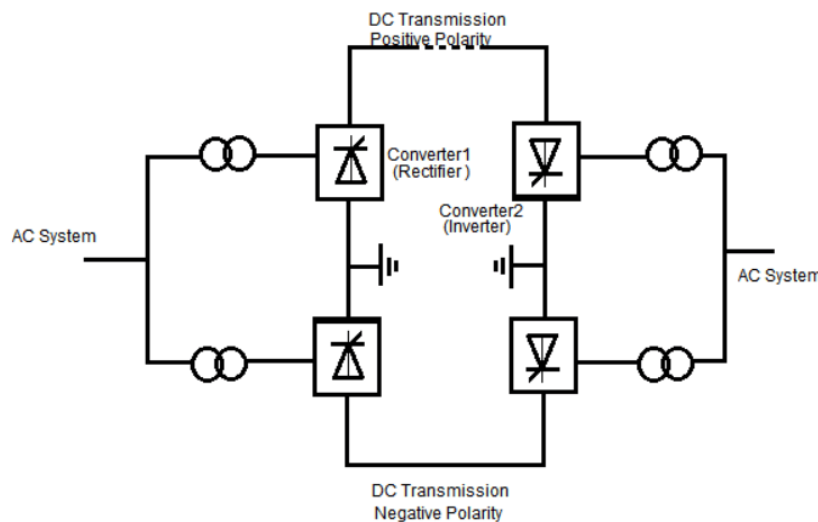
Σε μια μονοπολική διαμόρφωση DC (Εικόνα 12), ένας από τους ακροδέκτες του μετατροπέα συνδέεται με τη γραμμή μεταφοράς, ενώ ο άλλος τερματικός σταθμός συνδέεται με το έδαφος. Το έδαφος χρησιμοποιείται εδώ ως η διαδρομή επιστροφής. Επίσης, η μονοπολική σύνδεση μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη μετάδοση ισχύος πάνω από τη θάλασσα,

χρησιμοποιώντας ειδικό ηλεκτρόδιο για την επιστροφή της γης. Είναι οικονομικά συμφέρουσα, αλλά είναι απαγορευτικές σε ορισμένες χώρες, διότι το ρεύμα που διαρρέει διαβρώνει τους σωλήνες των γραμμών και άλλων μεταλλικών αντικειμένων. Ωστόσο, ο συγκεκριμένος τύπος συναντιέται σε ορισμένες ευρωπαϊκές χώρες, όπως η Ιταλία και η Ελλάδα, στις οποίες χρησιμοποιείται κυρίως σε υποθαλάσσιες διαβάσεις.



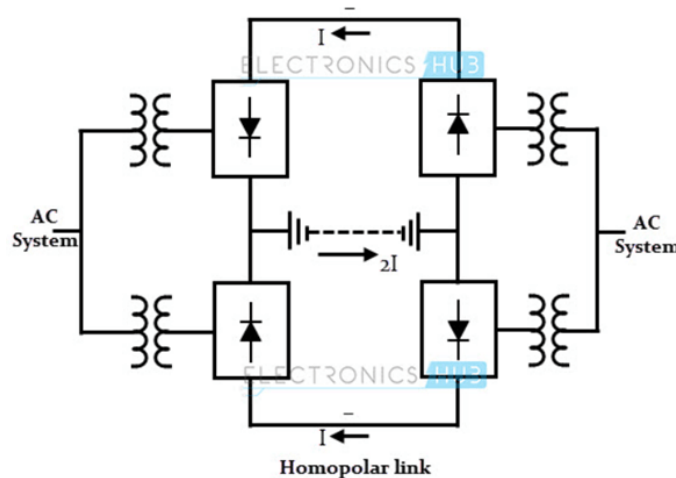
Εικόνα 12: Μονοπολική διαμόρφωση [36]

Στη διπολική διαμόρφωση (Εικόνα 13), υπάρχουν δύο πόλοι / αγωγοί. Ο ένας λειτουργεί με θετική πολικότητα και ο άλλος έχει αρνητική πολικότητα. Η διαμόρφωση του συστήματος φαίνεται παρακάτω. Ο διπολικός σύνδεσμος φαίνεται να είναι ακριβότερος από τον μονοπολικό, αλλά είναι πιο αξιόπιστος. Το βασικό πλεονέκτημα του διπολικού είναι ότι κάθε φορά που ένας από τους πόλους αποτυγχάνει, το σύστημα λειτουργεί ως μονοπολική σύνδεση με το έδαφος ως πορεία επιστροφής.



Εικόνα 13: Διπολική διαμόρφωση [36]

Στην ομοιοπολική διαμόρφωση (Εικόνα 14) ο σύνδεσμός του, έχει δύο ή περισσότερους αγωγούς με την ίδια πολικότητα, συνήθως αρνητικοί και λειτουργούν με επιστροφή εδάφους. Σε περίπτωση βλάβης σε οποιονδήποτε από τους αγωγούς, ο μετατροπέας μπορεί να επανασυνδεθεί έτσι ώστε ο υγιής αγωγός να μπορεί να παρέχει ισχύ.



Εικόνα 14: Ομοιοπολική διαμόρφωση [36]

Πέρα από τα προαναφερόμενα συστήματα διανομής, υπάρχουν μικροδίκτυα που χρησιμοποιούν τεχνολογία DC-BUS. Το DC-BUS μετατρέπει τα ψηφιακά δεδομένα εισόδου σε σήματα διαμορφωμένα κατά φάση, προστατευμένα από σφάλματα που παράγονται από τον θόρυβο πάνω από την ηλεκτρική γραμμή, προκειμένου να επιτευχθεί μεγαλύτερη αξιοπιστία.

Λόγω του γεγονότος ότι δεν υπάρχει ενεργητική ισχύς (Q), η διανομή DC παρουσιάζει πολλά πλεονεκτήματα, όπως η μείωση των απωλειών ισχύος, πτώση τάσης και αύξηση της δυναμικότητας των ηλεκτρικών γραμμών. Επομένως, ο σχεδιασμός, η υλοποίηση και η λειτουργία είναι απλούστερη και λιγότερο δαπανηρή. Λαμβάνοντας υπόψη όλες τις παραμέτρους, η κατανομή συνεχούς ρεύματος έχει περισσότερα πλεονεκτήματα σε σχέση με την AC διανομή.

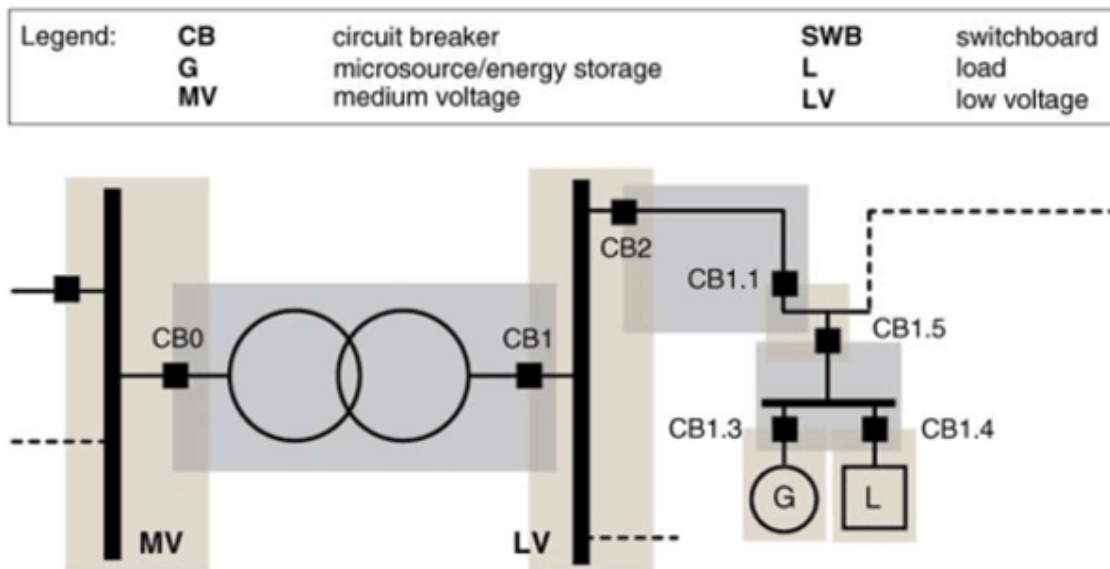
2.2.4 Προστασία Μικροδικτύου

Μια από τις σημαντικότερες παραμέτρους που πρέπει να εξασφαλίσει ένα μικροδίκτυο για την ομαλή λειτουργία του, είναι ο σχεδιασμός του συστήματος προστασίας. Οι κανόνες προστασίας πρέπει να σχεδιάζονται με βάση τις ακόλουθες παραμέτρους: ευαισθησία, ταχύτητα απόκρισης και επίπεδο ασφάλειας. Ωστόσο μια πιο βαθύτερη ανάλυση αυτών των παραμέτρων επισημαίνει ότι, η προστασία προέρχεται κυρίως από τον αριθμό των εγκατεστημένων μονάδων διεσπαρμένης παραγωγής και τη διαθεσιμότητα επαρκούς ποσού

ρεύματος βραχυκυκλώματος σε μια νησιδοποιημένη κατάσταση λειτουργίας του μικροδικτύου.

Η προστασία θα πρέπει να περιέχεται τόσο στο κεντρικό δίκτυο διανομής όσο και στο μικροδίκτυο. Πιο συγκεκριμένα, αν το σφάλμα βρίσκεται εντός του δικτύου, το κύριο μέλημα των κατασκευαστών προστασίας είναι να απομονώσουν το μικροδίκτυο από το υπόλοιπο δίκτυο, για να προστατεύσουν όσο το δυνατόν γρηγορότερα τα φορτία. Η ταχύτητα απομόνωσης εξαρτάται από τα φορτία του συγκεκριμένου πελάτη στο μικροδίκτυο, αλλά αυτό πιθανώς να απαιτεί την ανάπτυξη και εγκατάσταση κατάλληλων ηλεκτρονικών στατικών διακοπών. Στην περίπτωση που το σφάλμα βρίσκεται εντός του μικροδικτύου, το σύστημα προστασίας απομονώνει το μικρότερο δυνατό τμήμα του τροφοδότη διανομής για την εξάλειψή της βλάβης.

Γενικά, ένα σύστημα διανομής (συμπεριλαμβανομένου ενός μικροδικτύου) χωρίζεται σε τοπικές ζώνες προστασίας, τα οποία καλύπτονται είτε από το δίκτυο (εναέριες γραμμές και καλώδια) είτε από συσκευές (μετασχηματιστές, γεννήτριες, φορτία κ.λπ.) (Εικόνα 15).



Εικόνα 15: Σύστημα διανομής σε επίπεδα προστασίας [20]

Οι απαιτήσεις που παρέχουν μια βάση για τα κριτήρια σχεδιασμού ενός συστήματος προστασίας διανομής, είναι γνωστά ως "3S" που σημαίνει:

- Sensitivity: το σύστημα προστασίας θα πρέπει να είναι σε θέση να εντοπίσει μια μη κανονική κατάσταση που υπερβαίνει μια ονομαστική τιμή κατωφλίου.

•Selectivity: το σύστημα προστασίας θα πρέπει να αποσυνδέει μόνο το ελαττωματικό μέρος (ή το μικρότερο πιθανό μέρος που περιέχει το σφάλμα) του συστήματος, προκειμένου να ελαχιστοποιηθούν οι συνέπειες σφάλματος.

•Speed: τα προστατευτικά ρελέ πρέπει να ανταποκρίνονται σε μη φυσιολογικές συνθήκες όσο το δυνατόν λιγότερο προκειμένου να αποφευχθεί η ζημιά στον εξοπλισμό και να διατηρηθεί η σταθερότητα.

Τα προβλήματα που μπορούν να αφυπνίσουν ένα σύστημα προστασίας ποικίλουν. Έτσι, σε πολλές συνθήκες λειτουργίας των μικροδικτύων, προβλήματα που σχετίζονται με την επιλεκτικότητα (ψευδής, περιττή διακοπή), ευαισθησία (μη ανιχνευμένα σφάλματα) και ταχύτητα (καθυστερημένη διακοπή) μπορεί να προκύψουν στα σύστημα προστασίας. Παρακάτω αναφέρονται τα κύρια προβλήματα που μπορούν να προκύψουν κατά την λειτουργία του μικροδικτύου.

- αλλαγές στην τιμή και την κατεύθυνση των ρευμάτων βραχυκυκλώματος, ανάλογα με το εάν η κατανομημένη γεννήτρια είναι συνδεδεμένη ή όχι
- μείωση της ευαισθησίας και της ταχύτητας ανίχνευσης σφαλμάτων στις συνδέσεις διεσπαρμένων τεχνολογιών που έχουν υποστεί βλάβη
- περιττή σάρωση του διακόπτη χρησιμότητας για σφάλματα σε γειτονικές γραμμές, λόγω της συμβολής σφαλμάτων των διεσπαρμένων τεχνολογιών
- επίδραση των τοπολογιών του δικτύου κλειστού βρόχου και των δικτύων με τις διεσπαρμένες τεχνολογίες

Διάφορα συστήματα προστασίας έχουν αναπτυχθεί για τα μικροδίκτυα AC, τα οποία μπορούν να ταξινομηθούν σε συγκεντρωτικά και αποκεντρωμένα συστήματα. Σχετικά με τα αποκεντρωμένα συστήματα, κάθε τεχνολογία διεσπαρμένης παραγωγής παρέχει το δικό του ρελέ, το οποίο αποτελεί μια αποτελεσματική τεχνική έναντι των σφαλμάτων line-to-ground και line-to-line, η οποία όμως περιορίζεται σε ελαττώματα με χαμηλή σύνθετη αντίσταση. Από την άλλη πλευρά, οι συγκεντρωτικές μέθοδοι βασίζονται σε ένα σύστημα προστασίας τάσης και απαιτούν κεντρική προστασία μονάδας.

Η εφαρμογή της τεχνολογίας DC στα συστήματα ισχύος έχει φέρει αμφισβητήσεις για την εγκατάστασή τους στα μικροδίκτυα. Το ρεύμα σε συστήματα συνεχούς ρεύματος δεν έχει καμία φυσική διέλευση. Έτσι, η διακοπή του σε κατάσταση βραχυκυκλώματος είναι πιο δύσκολη από ότι σε ένα σύστημα εναλλασσόμενου ρεύματος. Ωστόσο, το σύστημα συνεχούς ρεύματος χαμηλής τάσης μπορεί να χρησιμοποιήσει AC, εάν οι διαβαθμίσεις προσαρμόζονται στους συντελεστές διόρθωσης των κατασκευαστών που τις παρέχουν. Για το λόγο αυτό, είναι ενδιαφέρον να προσδιοριστούν ποιες είναι οι αρχές προστασίας του συστήματος AC που μπορεί να εφαρμοστούν και αν είναι αρκετό ένα συμβατικό σύστημα AC προστασίας για να ικανοποιήσει τις ανάγκες προστασίας του μικροδικτύου.

2.2.5 Σύστημα παρακολούθησης και μέτρησης-Monitoring and measuring system

Το σύστημα παρακολούθησης είναι ένα αναπόσπαστο κομμάτι, καθώς η λειτουργία του είναι βασική για την ομαλή λειτουργία ενός σύγχρονου μικροδικτύου. Οι απαιτήσεις που πρέπει να πληρούν αυτά τα συστήματα είναι: κατανομημένη παρακολούθηση κάθε μονάδας ταυτόχρονα σε απευθείας σύνδεση, έτσι ώστε να γίνεται τροποποίηση στη διαμόρφωση του συστήματος. Για αυτόν τον λόγο, έχουν αναπτυχθεί διάφορα συστήματα παρακολούθησης, τα οποία πληρούν σε μεγάλο βαθμό της απαιτήσεις. Μερικά από αυτά παρουσιάζονται παρακάτω:

Service-oriented architecture (SOA)

Η αρχιτεκτονική προσανατολισμένη στις υπηρεσίες (SOA) αναφέρει ένα σύνολο αρχών και μεθοδολογιών που εφαρμόζονται από τους μηχανικούς λογισμικού, για το σχεδιασμό και την ανάπτυξη λογισμικού με τη μορφή διαλειτουργικών υπηρεσιών. Μια αρχιτεκτονική προσανατολισμένη στις υπηρεσίες (SOA) ορίζεται ως ένα σύνολο υπηρεσιών ιστού, κατάλληλα οργανωμένων σε πολλαπλά στρώματα, ικανών να επιλύσουν ένα σύνολο πολύπλοκων προβλημάτων. Είναι ουσιαστικά μια συλλογή υπηρεσιών που συνδυασμένες κατάλληλα επιλύουν πολύπλοκα προβλήματα. Για να είναι αποτελεσματική μια αρχιτεκτονική προσανατολισμένη στις υπηρεσίες πρέπει να γίνει μια σαφή κατανόηση του όρου υπηρεσία. Μια υπηρεσία είναι μια λειτουργία που είναι σαφώς καθορισμένη, αυτοτελής και δεν εξαρτάται από το πλαίσιο ή την κατάσταση άλλων υπηρεσιών. Οι υπηρεσίες αυτές επικοινωνούν μεταξύ τους. Η επικοινωνία μπορεί να περιλαμβάνει είτε απλή διαβίβαση δεδομένων είτε μπορεί να περιλαμβάνει δύο ή περισσότερες υπηρεσίες που συντονίζουν κάποια δραστηριότητα.

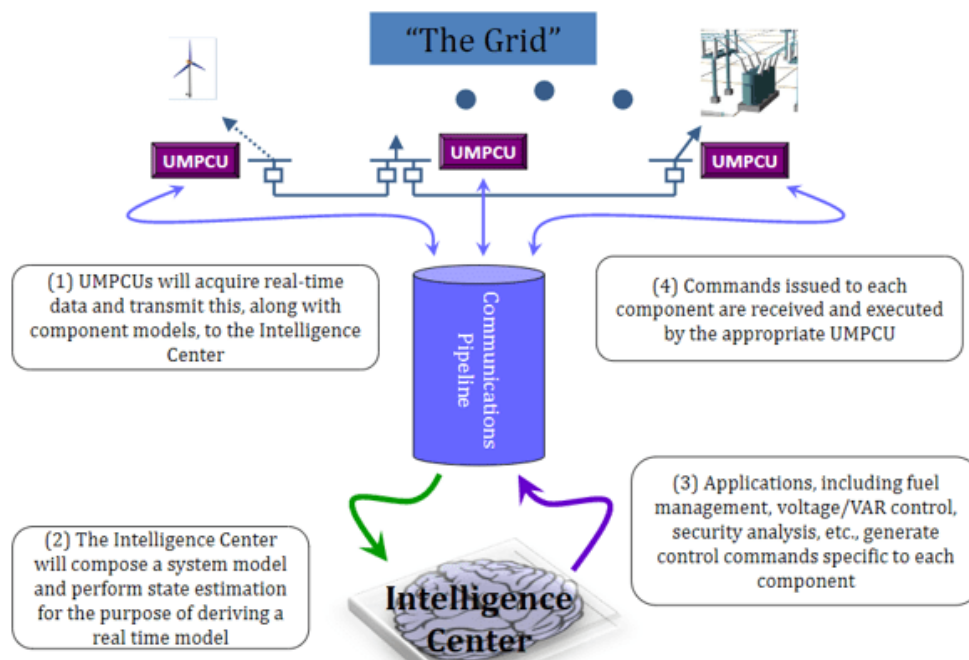
Το SOA αναδεικνύεται ως το κορυφαίο πλαίσιο ενοποίησης και αρχιτεκτονικής στο σημερινό πολύπλοκο και ετερογενές υπολογιστικό περιβάλλον. Οι προηγούμενες προσπάθειες δεν επέτρεπαν ανοικτές δια λειτουργικές λύσεις, αλλά βασιζόνταν σε ιδιόκτητα API και απαιτούσαν υψηλό βαθμό συντονισμού μεταξύ των ομάδων. Το SOA μπορεί να βοηθήσει τους οργανισμούς να εξορθολογήσουν τις διαδικασίες ώστε να μπορούν να δουλεύουν πιο αποτελεσματικά, και να προσαρμόζονται στις μεταβαλλόμενες ανάγκες και τον ανταγωνισμό, επιτρέποντας το λογισμικό ως έννοια εξυπηρέτησης. Το SOA επιτρέπει μεγαλύτερη ευελιξία στο σχεδιασμό και την ανάπτυξη του συστήματος.

Universal Monitoring Protection and Control Unit (UMPCU)

Το UMPCU είναι ένα μοντέλο που παρέχει υπηρεσίες πραγματικού χρόνου ενός στοιχείου, τις εκτιμώμενες μετρήσεις και την κατάσταση της συνδεσιμότητας του εξαρτήματος σε πολύ γρήγορες ταχύτητες. Αυτά τα αποτελέσματα χρησιμοποιούνται για την προστασία των

εξαρτημάτων. Πιο αναλυτικά, η μονάδα ενιαίας παρακολούθησης προστασίας και ελέγχου (UMPCU) χρησιμοποιεί το μοντέλο δεδομένων για να πραγματοποιήσει εκτίμηση κατάστασης, ανίχνευση κακών δεδομένων και απόρριψη δεδομένων, εξάγοντας ένα αξιόπιστο μοντέλο πραγματικού χρόνου. Στη συνέχεια, με βάση το εκτιμώμενο πραγματικό μοντέλο χρόνου που είναι εξαιρετικά ακριβή, τα UMPCU παρακολουθούν ένα δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας που είναι υπεύθυνο για την προστασία τους από τις μη φυσιολογικές καταστάσεις. Οι μονάδες UMPCU μπορούν επίσης να λαμβάνουν εντολές από το κέντρο ελέγχου και να τις εφαρμόζουν για να ελέγχουν τις συσκευές ισχύος, όπως ακριβώς μπορούν να κάνουν τα σημερινά ρελέ.

Ο συνολικός σχεδιασμός του UMPCU απεικονίζεται στην Εικόνα 16. Το σχήμα δείχνει την πραγματική ροή δεδομένων και υπολογισμών που απαιτούνται.



Εικόνα 16: συνολικός σχεδιασμός του UMPCU της πραγματικής ροής δεδομένων [\[112\]](#)

- (1) Τα UMPCUs θα αποκτούν δεδομένα σε πραγματικό χρόνο και θα μεταδίδουν αυτό, μαζί με μοντέλα εξαρτημάτων, στο Κέντρο Πληροφοριών
- (2) Το Κέντρο Πληροφοριών θα συνθέσει ένα μοντέλο συστήματος και θα πραγματοποιήσει εκτίμηση κατάστασης με σκοπό την παραγωγή ενός μοντέλου πραγματικού χρόνου
- (3) Οι εφαρμογές, συμπεριλαμβανομένης της διαχείρισης καυσίμων, ελέγχου τάσης / VAR, ανάλυσης ασφάλειας κ.λπ., παράγουν εντολές ελέγχου ειδικά για κάθε στοιχείο
- (4) Οι εντολές που εκδίδονται για κάθε συνιστώσα λαμβάνονται και εκτελούνται από την αρμόδια UMPCU

Phasor Measurement Unit (PMU)

Είναι επίσης δυνατό να παρακολουθούν τα μικροδίκτυα μέσω των PMU. Μια συσκευή PMU μετρά τα ηλεκτρικά κύματα σε ένα ηλεκτρικό δίκτυο χρησιμοποιώντας μια κοινή πηγή χρόνου για συγχρονισμό. Ο συγχρονισμός επιτρέπει μετρήσεις σε πραγματικό χρόνο πολλαπλών απομακρυσμένων σημείων μέτρησης στο δίκτυο. Η προκύπτουσα μέτρηση είναι γνωστή ως συγχρονιστής. Τα PMU θεωρούνται μία από τις σημαντικότερες συσκευές μέτρησης στο μέλλον των συστημάτων ισχύος. Ένα PMU μπορεί να είναι μια ειδική συσκευή που μπορεί να ενσωματωθεί σε ένα προστατευτικό ρελέ ή άλλη συσκευή. Επίσης είναι συστήματα τα οποία προσφέρουν ακριβέστερα δεδομένα σχετικά με το σύστημα ισχύος, τα οποία επιτρέπουν να διαχειρίζεται το σύστημα πιο αποτελεσματικά και με υψηλότερο επίπεδο απόκρισης.

2.2.6 Μετατροπείς ισχύος-Power converters

Οι μετατροπείς ισχύος αποτελούν ένα από τα σημαντικότερα στοιχεία για την ομαλή λειτουργία ενός δικτύου. Χρησιμοποιούνται τόσο για την παράλληλη σύνδεση συστημάτων διεσπαρμένης παραγωγής με το δίκτυο όσο και με άλλες πηγές, παράλληλα όμως μπορούν να χρησιμοποιηθούν και να συνεισφέρουν στο δίκτυο, για την αυτόνομη λειτουργία, όταν οι άλλες πηγές δεν είναι διαθέσιμες. Επίσης οι μετατροπείς που συνδέονται με μπαταρίες ή άλλα συστήματα αποθήκευσης, θα πρέπει να λειτουργούν με αμφίδρομο τρόπο για την φόρτιση ή την εκφόρτιση αυτών των συσκευών.

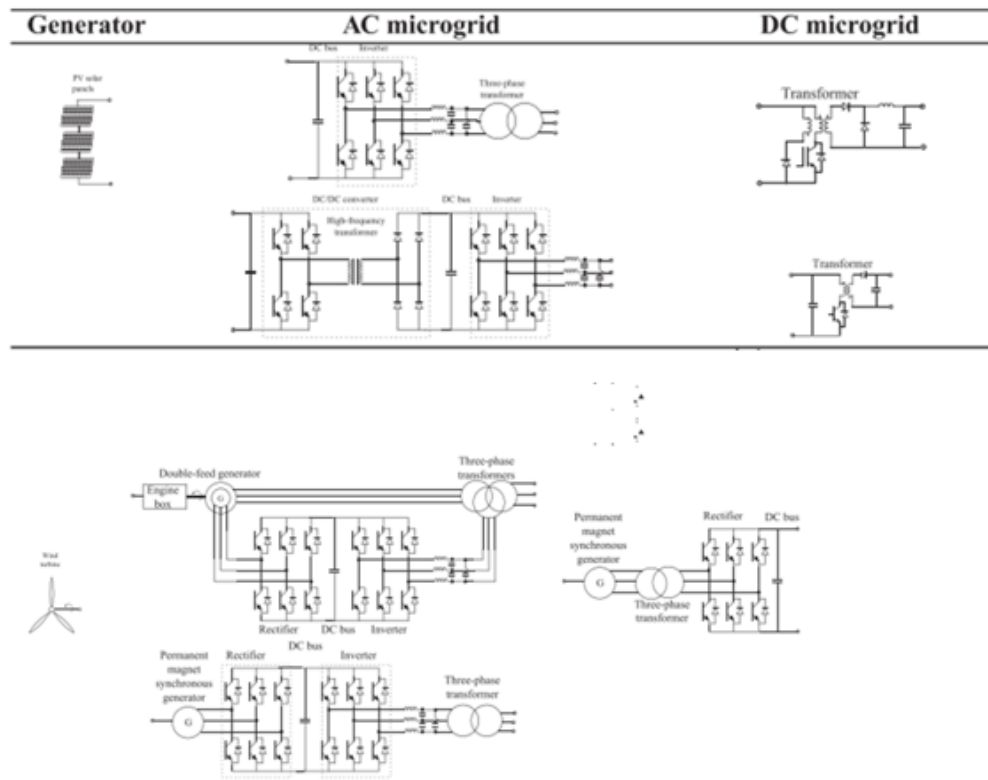
Τα κυριότερα στοιχεία ενός μικροδικτύου, όπως οι τεχνολογίες διεσπαρμένης παραγωγής, τα συστήματα αποθήκευσης και τα φορτία, συνδέονται μέσω των μετατροπέων ισχύος. Τα χαρακτηριστικά των μετατροπέων ισχύος βασίζονται στην τεχνολογία που είναι κατασκευασμένο το σύστημα (AC ή DC) αλλά και από διάφορα χαρακτηριστικά όπως τα επίπεδα τάσης και ροής ισχύος. Συνήθως περιλαμβάνουν και έναν μετασχηματιστή προκειμένου να επιτευχθεί γαλβανική απομόνωση.

Οι Εικόνες 17α,17β συνοψίζουν τις κύριες τοπολογίες απομονωμένων μετατροπέων ισχύος που χρησιμοποιούνται στην διεσπαρμένη τεχνολογία και σε συστήματα αποθήκευσης για τη σύζευξη σε δίκτυα AC. Και οι δύο πίνακες δείχνουν ότι οι μετατροπείς ισχύος απαιτούν συνήθως έναν ελεγχόμενο μετατροπέα, ο οποίος αποτελείται από διπολικά τρανζίστορ μόνωσης-πύλης (IGBT) και πυκνωτές στο δίαυλο DC.

Η απόδοση του μετατροπέα ισχύος είναι βασική παράμετρος. Εξαρτάται από πολλές μεταβλητές, όπως το ποσοστό ισχύος, το φορτίο, ο πυρήνας όγκου και υλικού όταν απαιτείται γαλβανική απομόνωση. Η πλειοψηφία των μετατροπέων ισχύος έχουν τη βέλτιστη απόδοση όταν αυτά εργάζονται στην ονομαστική τους ισχύ. Επίσης τα συστήματα διανομής AC και DC

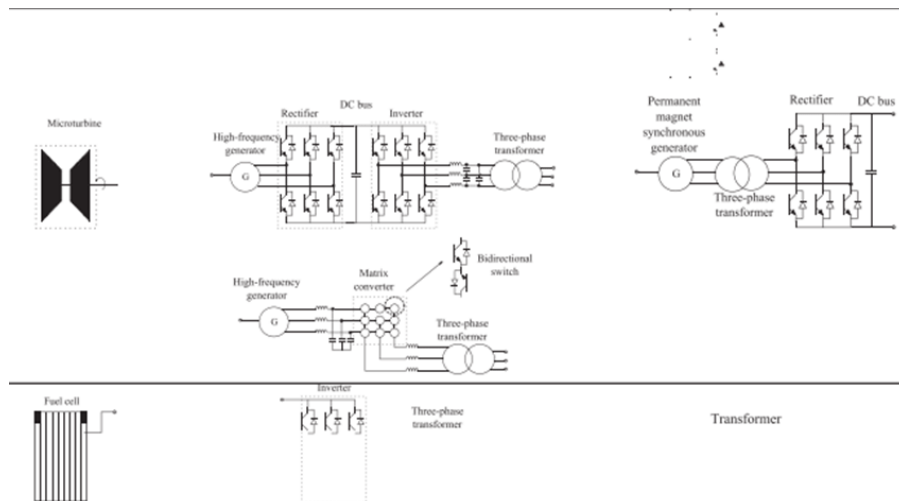
μπορούν να έχουν παρόμοια αποτελεσματικότητα εάν ακολουθούν τις παρακάτω συνθήκες: τα φορτία είναι ίσα σε λόγο και μια πηγή εναλλασσόμενου ρεύματος παρέχει την τροφοδοσία εναλλασσόμενου ρεύματος και μια πηγή συνεχούς ρεύματος τροφοδοτεί την παροχή συνεχούς ρεύματος. Μεταξύ άλλων συμπεραίνεται ότι, υπό την προϋπόθεση ότι οι απώλειες ημιαγωγών μειώνονται κατά το ήμισυ, η αποδοτικότητα ενός συστήματος DC γίνεται υψηλότερη από το σύστημα εναλλασσόμενου ρεύματος. Τέλος μπορεί να επισημανθεί ότι η αποδοτικότητα των μετατροπών ισχύος είναι συνήθως υψηλότερη στα συστήματα DC, και επηρεάζεται κυρίως από την τεχνολογία της πηγής και από τους λόγους των φορτίων AC και DC.

Δεδομένου ότι τα δίκτυα DC δεν είναι ακόμη διαδεδομένα, δεν υπάρχουν πρότυπα στις τοπολογίες των μετατροπών ισχύος για να συνδέσουν τα συστήματα διεσπαρμένης παραγωγής. Οι Εικόνες 17α,17β παρουσιάζουν μερικές εφικτές αρχιτεκτονικές μετατροπών ισχύος συνδέουν τις διεσπαρμένες τεχνολογίες και τα συστήματα αποθήκευσης με τα μικροδίκτυα DC. Και οι δύο πίνακες δείχνουν συνήθως, ότι οι μετατροπείς ισχύος απαιτούν λιγότερα εξαρτήματα σε γραμμές συνεχούς ρεύματος παρά σε τριφασικές AC γραμμές.



Εικόνα 17α: Μετασηματιστές AC και DC σε Φωτοβολταϊκές γεννήτριες και ανεμογεννήτριες

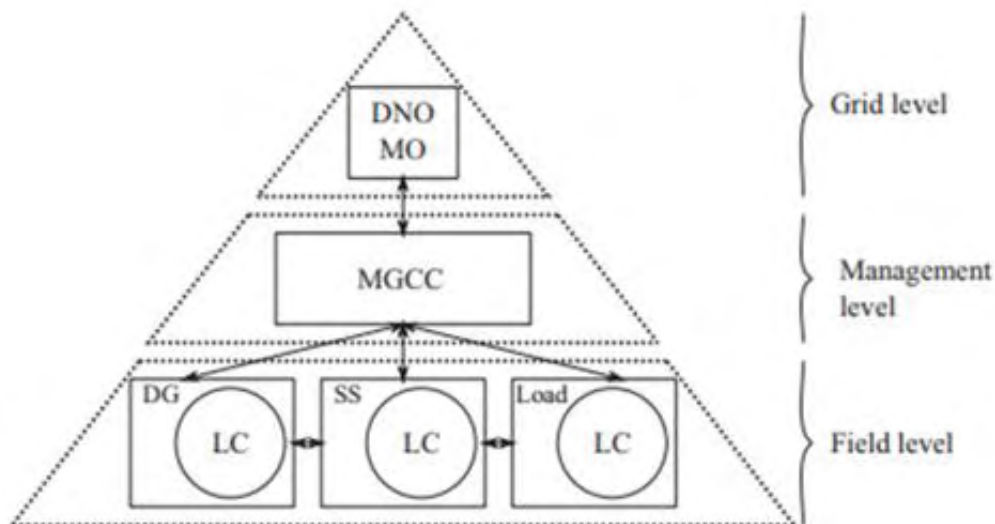
[20]



Εικόνα 17β: Τύποι μετασχηματιστών AC και DC σε Μικροτουρμπίνες και σε κυψέλες καυσίμου [20]

2.3 Έλεγχος Μικροδικτύου

Τα μικροδίκτυα AC και DC απαιτούν διαφορετικές λειτουργίες ελέγχου, προκειμένου να διασφαλιστεί η σωστή λειτουργία του συστήματος. Υπάρχουν τρία επίπεδα ελέγχου, που περιγράφονται από το εξωτερικό έως το εσωτερικό επίπεδο της παρακάτω πυραμίδας (Εικόνα 18):



Εικόνα 18: Ιεραρχία επιπέδων προστασίας μικροδικτύου [20]

Grid level

Το Επίπεδο αυτό αποτελείται από τους Διαχειριστές Δικτύου Διανομής (Distribution Network Operator DNO) και τους χειριστές αγοράς (Market Operator MO). Οι Διαχειριστές Δικτύου Διανομής (DNO) είναι εταιρείες που διαχειρίζονται τα περιφερειακά δίκτυα διανομής ηλεκτρικής ενέργειας, τα οποία συνδέουν το δίκτυο μεταφοράς υψηλής τάσης που λειτουργεί από το Εθνικό Δίκτυο σε οικίες, επιχειρήσεις και βιομηχανικούς χρήστες ηλεκτρικής ενέργειας. Τα DNO είναι υπεύθυνα για την ανταπόκριση σε τυχόν αναφορές για κατεστραμμένα καλώδια/εξοπλισμό και διακοπή. Το MO είναι υπεύθυνο για τη συμμετοχή του μικροδικτύου στις ενεργειακές αγορές και μπορεί να ακολουθήσει διαφορετικές πολιτικές, όπως π.χ. εξυπηρετώντας τη συνολική ζήτηση του μικροδικτύου χρησιμοποιώντας την τοπική του παραγωγή ή τη συμμετοχή στην αγορά πωλώντας ενεργή και άεργο ισχύ στο δίκτυο.

Management level

Ένας κεντρικός ελεγκτής μικροδικτύου (MicroGrid Central Controller MGCC) εκτελεί τα καθήκοντα που σχετίζονται με τη διαχείριση του μικροδικτύου. Οι κύριες λειτουργίες του MGCC είναι η αποκατάσταση της συχνότητας (μόνο στα μικροδίκτυα AC) και τάσης, ο συγχρονισμός μεταξύ του μικροδικτύου και του δικτύου (μόνο σε AC microgrids), η απόρριψη φορτίου και βελτιστοποίηση της παραγωγής του μικροδικτύου.

Field level

Ένας τοπικός ελεγκτής (Load Controller LC) τοποθετείται σε κάθε στοιχείο του μικροδικτύου. Σύμφωνα με τον τύπο του στοιχείου (δισπαρμένη γεννήτρια, σύστημα αποθήκευσης ή φορτίο), το αντίστοιχο LC εκτελεί διαφορετικές εργασίες:

- LC για δισπαρμένες γεννήτριες: Αυτή η μέθοδος ελέγχου προσφέρει υψηλή αξιοπιστία και δεν απαιτεί επικοινωνία μεταξύ των δισπαρμένων τεχνολογιών
- LC για συστήματα αποθήκευσης: Σε αυτό το επίπεδο ελέγχου πραγματοποιείται ο έλεγχος των δισπαρμένων τεχνολογιών και των συστημάτων αποθήκευσης, που εγγυάται τις καλές επιδόσεις τους όταν είναι συνδεδεμένο ή αποσυνδεδεμένο από το ηλεκτρικό δίκτυο.
- LC για φορτία: Ένας πράκτορας τοποθετείται σε κάθε φορτίο προκειμένου να εκτελέσει τον έλεγχο των φορτίων

Και οι δύο λειτουργίες DNO και MO γίνονται στο επίπεδο του δικτύου, ενώ το MGCC βρίσκεται σε έναν κεντρικό υπολογιστή, και οι τοπικοί ελεγκτές τοποθετούνται σε μετατροπείς ισχύος συνδεδεμένους σε κάθε ένα στοιχείο του μικροδικτύου. Αυτή η ιεραρχική λειτουργία ελέγχου, μπορεί να διεξάγεται με κεντρικό ή αποκεντρωμένο τρόπο, που συνήθως ονομάζεται έλεγχος που βασίζεται σε ένα σύστημα πολλαπλών πρακτόρων (Multi Agent System MAS). Η εναλλακτική λύση κεντρικού ελέγχου προσφέρει τη δυνατότητα εφαρμογής ενός βασικού

συστήματος διαχείρισης με χαμηλό κόστος εγκατάστασης και λειτουργίας. Από την άλλη πλευρά, ο έλεγχος MAS παρέχει plug and play επιδόσεις ενός πιο περίπλοκου σχεδιασμού ελέγχου.

Τα μικροδίκτυα DC παρουσιάζουν το πλεονέκτημα ότι δεν υπάρχει ανάγκη συχνότητας ελέγχου ή άεργου ισχύος. Με αυτόν τον τρόπο, οι εργασίες ελέγχου απλοποιούνται καθώς οι συσκευές μπορούν να συνδεθούν στο μικροδίκτυο απευθείας, χωρίς καμία διαδικασία συγχρονισμού. Επομένως η σύνδεση του μικροδικτύου στο δίκτυο ηλεκτρικού ρεύματος γίνεται ασύγχρονα και μόνο η ροή πρέπει να ελέγχεται. Από την άλλη πλευρά, στα AC μικροδίκτυα η συχνότητα πρέπει να ελέγχεται και οι συσκευές πρέπει να συγχρονιστούν πριν από την σύνδεση με το μικροδίκτυο.

Εάν οι πηγές ενός μικροδικτύου ελέγχονται μέσω τοπικών μετρήσεων, η σταθερότητα γίνεται ένα κρίσιμο ζήτημα. Οπότε διερευνώντας τη σταθερότητα ενός μικροδικτύου μπορούμε να αντιληφθούμε κατά πόσο το σύστημα λειτουργεί στην βέλτιστη λειτουργία. Μπορούμε να πούμε ότι η σταθερότητα των μικροδικτύων AC επηρεάζεται κυρίως από τον τρόπο λειτουργίας (συνδεδεμένο ή αποσυνδεδεμένο από το ηλεκτρικό δίκτυο), την τοπολογία ελέγχου, τους τύπους διεσπαρμένης τεχνολογίας και τις παραμέτρους του δικτύου. Στα DC μικροδίκτυα, τα ζητήματα σταθερότητας συνδέονται εγγενώς με την ανάγκη των διασυνδέσεων της ηλεκτρικής ισχύος για την ενσωμάτωση των πηγών, των φορτίων και των συσκευών αποθήκευσης ενέργειας.

Η βελτιστοποίηση των μικροδικτύων AC έχει μελετηθεί ευρέως και τα συναφή έργα ασχολούνται με διάφορα θέματα:

- Απαιτήσεις φόρτωσης και περιβαλλοντικές απαιτήσεις
- Η βιωσιμότητα ενός μικροδικτύου βελτιώνεται μέσω της ελαχιστοποίησης των εκπομπών άνθρακα και της μείωσης του κόστους παραγωγής και τη μεγιστοποίηση της ποιότητας αυτής της εργασίας.
- Σχεδιασμός διαφορετικών ελεγκτών, φίλτρων και συντελεστών κατανομής ισχύος
- Κατανάλωση καυσίμου
- Παραγωγή τοπικών μονάδων διεσπαρμένης παραγωγής και ανταλλαγές ηλεκτρικής ενέργειας. Ένας κεντρικός ελεγκτής στοχεύει στη βελτιστοποίηση της λειτουργίας του μικροδικτύου κατά τη διάρκεια διασυνδεδεμένων λειτουργιών μέσω της βελτιστοποίησης της παραγωγής των τοπικών μονάδων και των ανταλλαγών ηλεκτρικής ενέργειας με το κύριο δίκτυο διανομής

2.4 Πλεονεκτήματα/Μειονεκτήματα

Τα πλεονεκτήματα που προσφέρει η δημιουργία και η συμμετοχή του μικροδικτύου στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας ποικίλλουν ανά τομέα.

Τεχνικά

Σε περίπτωση κατάρρευσης του κεντρικού δικτύου, το μικροδίκτυο έχει την δυνατότητα να συνεχίζει να παρέχει ηλεκτρική ενέργεια όταν βρίσκεται σε διασυνδεδεμένη λειτουργία. Επίσης παρέχει αξιόπιστη ηλεκτρική ενέργεια στους καταναλωτές του μικροδικτύου, ιδιαίτερα σε καταναλωτές που χρειάζονται περισσότερο την ενέργεια, όπως σε ένα νοσοκομείο. Επιπρόσθετα η συμβολή του μικροδικτύου με την παροχή ηλεκτρικής ενέργειας στο κεντρικό δίκτυο, έχει ως αποτέλεσμα την αποφόρτιση της ζήτησης από αυτό. Τέλος ένα πολύ σημαντικό πλεονέκτημα είναι η δυνατότητα να εκμεταλλεύονται την θερμική ενέργεια που παράγεται κατά την παραγωγή της ηλεκτρικής ενέργειας.

Περιβαλλοντικά

Με την χρησιμοποίηση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας ως καύσιμο για την δημιουργία ηλεκτρικής ενέργειας, το μικροδίκτυο συμβάλλει στην προστασία του φυσικού περιβάλλοντος.

Οικονομικά

Η δυνατότητα του μικροδικτύου να βρίσκεται κοντά στα φορτία που παρέχει ηλεκτρική ενέργεια έχει ως αποτέλεσμα τις μικρές απώλειες ηλεκτρικής ενέργειας κατά την μεταφορά, το οποίο έχει ως επακόλουθό την ελαχιστοποίηση του κόστους επιπλέον παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Επίσης η αποθήκευση της ενέργειας σε περιόδους χαμηλής ζήτησης, έχει ως αποτέλεσμα την εξοικονόμηση ενέργειας.

Ωστόσο τα μικροδίκτυα παρά το μεγάλο εύρος των πλεονεκτημάτων που προσφέρει, είναι σημαντικό να επισημανθούν και μερικά μειονεκτήματα που θα μπορούσαν να μειωθούν έτσι ώστε να βελτιωθεί το μικροδίκτυο.

- Σε κάθε συμβατικό δίκτυο διανομής ηλεκτρικής ενέργειας υπάρχουν κάποια μέγιστα όρια επιτρεπόμενης τάσης. Με την παρουσία των διασυνδεδεμένων μικροδικτύων στο σύστημα στην χαμηλή και μέση τάση υπάρχει περίπτωση να ξεπεράσει η τάση αυτά τα όρια
- Η ηλεκτρική ενέργεια πρέπει να αποθηκεύεται σε συστήματα αποθήκευσης απαιτώντας έτσι περισσότερο χώρο και συντήρηση.
- Η δυσκολία του επανασυγχρονισμού με το κεντρικό δίκτυο σε περίπτωση κατάρρευσης
- Το κόστος της προστασίας των μικροδικτύων από διάφορους κινδύνους

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

Υβριδικά Συστήματα

3.1 Εισαγωγή στα Υβριδικά Συστήματα

Τα περιβαλλοντικά προβλήματα όπως οι εκπομπές και οι επιπτώσεις των αερίων του θερμοκηπίου που προκαλούνται από συμβατικά συστήματα παραγωγής, το υψηλό κόστος των καυσίμων, η κατασκευή των μονάδων παραγωγής ενέργειας, καθώς και η αξιοπιστία είναι σοβαρά ζητήματα που δημιούργησαν τις προϋποθέσεις για την κατασκευή υβριδικών συστημάτων. Το υβριδικό σύστημα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας είναι ένας συνδυασμός ανανεώσιμων και συμβατικών πηγών ενέργειας, το οποίο μπορεί να λειτουργεί σε αυτόνομη λειτουργία δικτύου ή συνδεδεμένη στο δίκτυο. Το σημαντικότερο χαρακτηριστικό του υβριδικού συστήματος είναι ότι συνδυάζει δύο ή περισσότερες ανανεώσιμες πηγές ενέργειας για την επίτευξη υψηλότερης αποτελεσματικότητας από αυτή που θα μπορούσε να ληφθεί από μία μόνο πηγή ενέργειας. Επίσης για την βέλτιστη λειτουργία κατά τις χρονικές περιόδους που η παραγωγή των ανανεώσιμων πηγών δεν είναι αρκετή λόγω διακοπτόμενης παροχής, τα συστήματα αποθήκευσης ενέργειας συνεισφέρουν στο δίκτυο όταν το φορτίο ζήτησης είναι αυξημένο. Το κύριο μέλημα όμως των ερευνητών και των μηχανικών, είναι η αξιοπιστία και το χαμηλό κόστος, τα οποία είναι δύο σημαντικές πτυχές που πρέπει να λαμβάνονται υπόψη, κατά το σχεδιασμό του υβριδικού ενεργειακού συστήματος.

Τα υβριδικά συστήματα ισχύος χρησιμοποιούν τόσο συμβατικούς όσο και ανανεώσιμους πόρους. Οι γεννήτριες ντίζελ ως συμβατικό σύστημα παραγωγής, οι ανεμογεννήτριες, τα φωτοβολταϊκά συστήματα ως ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και οι κυψέλες καυσίμου ως συστήματα αποθήκευσης, μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε ένα υβριδικό σύστημα ισχύος. Αναδυόμενες τεχνολογίες ηλεκτρικής ενέργειας υποστηρίζουν συνδυασμούς διαφορετικών πόρων για αποδοτική και ποιοτική παροχή ισχύος. Στις περισσότερες περιπτώσεις, το τελικό προϊόν ενός υβριδικού ενεργειακού συστήματος μπορεί να είναι η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας αλλά και η συμπαραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και θερμότητας, χρησιμοποιώντας μια συνδυασμένη τεχνολογία. Ουσιαστικά δημιουργήθηκε για να παρέχει στους καταναλωτές ποιοτική, ασφαλή και αξιόπιστη ηλεκτρική ενέργεια, ειδικά σε λειτουργίες μικροδικτύου για απομακρυσμένες τοποθεσίες.

Συμπερασματικά, ένα υβριδικό σύστημα παραγωγής ενέργειας αποτελείται από τρεις βασικές κατηγορίες: τις μονάδες βάσης, τις μονάδες αποθήκευσης και τις μονάδες εφεδρείας. Οι μονάδες βάσης, οι οποίες είναι τεχνολογίες που στηρίζονται στις ανανεώσιμες πηγές για την

κάλυψη του φορτίου, είναι συνήθως Φωτοβολταϊκά συστήματα, ανεμογεννήτριες, γεωθερμικοί σταθμοί παραγωγής και συστήματα παραγωγής βιομάζας. Τα συστήματα αποθήκευσης χρησιμοποιούνται κυρίως σε περιόδους που η ζήτηση της ενέργειας είναι χαμηλή, συλλέγοντας χρήσιμη ενέργεια που μπορεί να χρησιμοποιηθεί από το κύριο δίκτυο στην περίπτωση διασυνδεδεμένου δικτύου. Οι τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται είναι κυρίως ηλεκτροχημικοί συσσωρευτές, μονάδες παραγωγής υδρογόνου ή μονάδες συμπίεσης αέρα. Τέλος οι μονάδες εφεδρείας, οι οποίες κατά κύριο λόγο χρησιμοποιούνται στην περίπτωση που οι μονάδες βάσης και τα συστήματα αποθήκευσης δεν έχουν αρκετή ενέργεια έτσι ώστε να μπορούν να ανταποκριθούν στην ζήτηση του φορτίου. Η βασική μονάδα εφεδρείας που είναι η πιο συνηθισμένη είναι η ντιζελογεννήτρια.

Η Εικόνα 19 απεικονίζει ένα τυπικό παράδειγμα υβριδικού συστήματος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Το σύστημα αποτελείται από δύο μονάδες βάσης(ανεμογεννήτρια και φωτοβολταϊκοί συλλέκτες), σύστημα αποθήκευσης (μπαταρία) και μια εφεδρική μονάδα παραγωγής (ντιζελογεννήτρια). Ο ρόλος του ελεγκτή είναι να καθορίζει ποιο σύστημα θα χρησιμοποιηθεί, αναλόγως την τρέχουσα κατάσταση του δικτύου. Τέλος ο μετατροπέας ισχύος, είναι υπεύθυνος για την μετατροπή της ισχύος του DC ρεύματος σε AC (τα οικιακά φορτία που συναντάμε είναι τεχνολογίας AC)



Εικόνα 19: Αναπαράσταση ενός τυπικού υβριδικού συστήματος [38]

Ωστόσο, παρά τα αρκετά πλεονεκτήματα που προσφέρει, είναι σημαντικό να τονιστούν και κάποιες ιδιαίτερες περιπτώσεις που πρέπει να υπολογιστούν, έτσι ώστε το σύστημα να παρέχει την βέλτιστη ενέργεια. Το πιο σημαντικό πρόβλημα των υβριδικών συστημάτων ισχύος είναι το πολύπλοκο σύστημα ελέγχου. Αν και κάθε στοιχείο έχει τον δικό του έλεγχο συστήματος, ένας ελεγκτής θα πρέπει να εποπτεύει τις ενέργειες κάθε επιμέρους ελεγκτή. Η

δράση της εποπτείας του ελεγκτή ονομάζεται εποπτικός έλεγχος και αυτό το σύστημα ονομάζεται εποπτικό σύστημα ελέγχου

3.2 Τεχνολογίες Υβριδικών συστημάτων

Ένα υβριδικό σύστημα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, εισάγεται συνήθως σε ένα σύστημα ενέργειας, με στόχο τη στήριξη σταθμών παραγωγής ενέργειας από ΑΠΕ, μεγιστοποιώντας την εκμετάλλευση του τοπικά διαθέσιμου δυναμικού. Επιπλέον στοχεύει στη μείωση της κατανάλωσης στον ενεργειακό τομέα συνήθως από ορυκτά καύσιμα, την ενίσχυση της τοπικής οικονομίας και τη βελτίωση της ενεργειακής ασφάλειας των απομακρυσμένων γεωγραφικών περιοχών.

Οι μονάδες παραγωγής από ανανεώσιμες πηγές, αποτελούν τη βασική μονάδα παραγωγής του υβριδικού σταθμού. Αυτό σημαίνει ότι η παραγωγή ισχύος από τις μονάδες αυτές, είτε μέσω της άμεσης διείσδυσης στο ηλεκτρικό δίκτυο ή μέσω της αποθήκευσης ισχύος, έχουν μέγιστη προτεραιότητα, σε σύγκριση με τις μονάδες εφεδρείας του υβριδικού σταθμού ηλεκτροπαραγωγής.

Το μέγεθος του υβριδικού σταθμού ηλεκτροπαραγωγής χαρακτηρίζεται από το μέγεθος της ισχύος που παράγουν όταν βρίσκονται σε νησιδοποιημένη λειτουργία. Ωστόσο επηρεάζεται και από τις προθέσεις των επενδυτών όσον αφορά το μέγεθος της συνολικής επένδυσης. Το μέγεθος της επένδυσης, με τη σειρά του, επηρεάζεται από πολλές ειδικές παραμέτρους για τη συγκεκριμένη τοποθεσία, όπως η υπάρχουσα υποδομή στη περιοχή εγκατάστασης (δρόμοι πρόσβασης, ηλεκτρικά δίκτυα κ.λπ.), τη μορφολογία της γης και τυχόν ειδικούς περιορισμούς όσον αφορά την κατασκευή τεχνικών έργων (π.χ. περιβαλλοντικούς περιορισμούς). Συνεπώς, αυτοί οι ειδικοί παράμετροι που αφορούν συγκεκριμένες τοποθεσίες, επηρεάζουν επίσης το μέγεθος του υβριδικού σταθμού ηλεκτροπαραγωγής. Το μέγεθος του υβριδικού σταθμού ηλεκτροπαραγωγής θα καθορίσει με τη σειρά του, τις διαθέσιμες μονάδες παραγωγής από ανανεώσιμες πηγές και τεχνολογίες αποθήκευσης που πρέπει να χρησιμοποιηθούν.

3.2.1 Συμβατικές μονάδες παραγωγής

Γενικά η ηλεκτρική ισχύς παράγεται χρησιμοποιώντας συμβατικές γεννήτριες με βάση μη ανανεώσιμες πηγές ενέργειας όπως ο άνθρακας, το πετρέλαιο, το φυσικό αέριο και το ουράνιο. Η παραγωγική ικανότητα αυτών των μονάδων είναι πολύ υψηλή, δεδομένου ότι είναι υπεύθυνες για την παραγωγή μεγάλων ποσοτήτων ενέργειας που είναι απαραίτητες για

την τροφοδοσία μεγάλων φορτίων. Σε αυτήν την υποενότητα θα αναλυθούν τα συμβατικά συστήματα παραγωγής και θα επισημανθούν τα βασικά χαρακτηριστικά τους.

3.2.1.1 Μονάδες παραγωγής Ατμού

Οι μονάδες παραγωγής ατμού διαδραματίζουν καθοριστικό ρόλο στην παροχή ηλεκτρικής ενέργειας σε συμβατικά συστήματα. Σε μια μονάδα ατμού, ένας ατμοστρόβιλος κινούμενος με ατμό παράγει μηχανική ενέργεια. Μια γεννήτρια τότε μετατρέπει την μηχανική ενέργεια σε ηλεκτρική ενέργεια. Ο ατμός μπορεί να δημιουργηθεί από διάφορες μορφές ενέργειας όπως πυρηνική ενέργεια, ορυκτά καύσιμα, ηλιακή ενέργεια ή γεωθερμική ενέργεια.

Εκτός από την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, μερικές από αυτές χρησιμοποιούν μέρος της παραγόμενης θερμότητας για την παροχή τηλεθέρμανσης σε κατοικίες που βρίσκονται κοντά στην παραγωγή. Στα εργοστάσια ατμού, η θερμική ενέργεια μιας εργασίας για παράδειγμα, μετατρέπει το μέσο (συνήθως νερό αλλά και αμμωνία) σε μηχανική ενέργεια. Για το σκοπό αυτό, το μέσο εργασίας συμπυκνώνεται εναλλάξ σε χαμηλή πίεση και εξατμίζεται σε υψηλή πίεση. Η πίεση εφαρμόζεται από την αντλία τροφοδοσίας και το μέσο εργασίας μεταφέρεται σε κλειστό κύκλωμα. Η λειτουργία αυτών των μονάδων βασίζεται στον κύκλο ατμού Rankine, ο οποίος είναι ευρέως διαδεδομένος σε πολλά συμβατικά συστήματα παραγωγής ενέργειας. Αυτή η θερμοδυναμική κυκλική διαδικασία περιγράφει τη μετατροπή της θερμικής ενέργειας σε μηχανική ενέργεια και αντίστροφα.

Οι εγκαταστάσεις παραγωγής ατμού έχουν ουσιαστικά το ίδιο σχέδιο:

Πηγή θερμότητας-Ατμογεννήτρια-Τουρμπίνα με γεννήτρια-Ψύξη

Μερικοί συμβατικοί σταθμοί που χρησιμοποιούν μονάδες παραγωγής ατμού είναι ο πυρηνικός σταθμός παραγωγής ενέργειας, σταθμός παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με καύση άνθρακα, σταθμός παραγωγής ενέργειας πετρελαίου, ηλιακός θερμοηλεκτρικός σταθμός, σταθμός παραγωγής αερίου και ατμοστρόβιλων.

Το διάγραμμα στην Εικόνα 20 αντιπροσωπεύει τον κύκλο Rankine ενός σταθμού παραγωγής ατμού. Το μέσο εργασίας είναι νερό.

1–2: το νερό θερμαίνεται ισοβαρικά και εξατμίζεται σε λέβητα ατμού υπό πίεση 22 bar

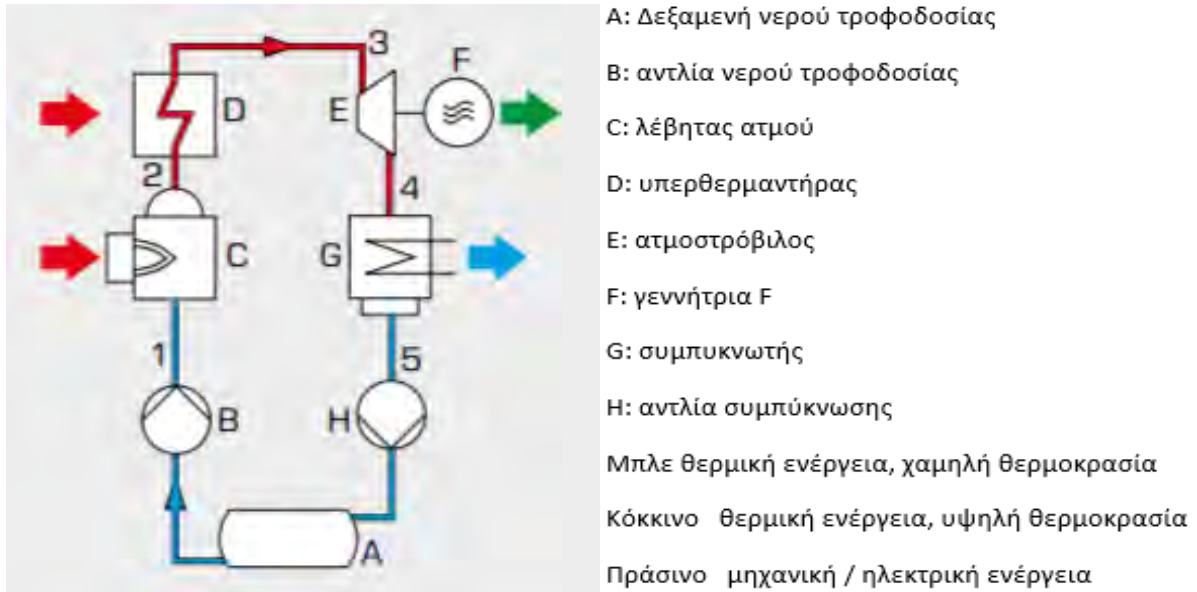
2–3: ισοβαρική υπερθέρμανση του ατμού στους 300 ° C

3–4: πολυτροπική διαστολή του ατμού στον ατμό στροβίλου σε πίεση 0,2 bar. Μηχανική ενέργεια απελευθερώνεται στη διαδικασία

Σημείο 4: υγρή περιοχή ατμού: η υγρή περιεκτικότητα ατμού είναι τώρα μόνο το 90%

4–5: συμπύκνωση του ατμού

5–1: αύξηση της πίεσης στη πίεση του λέβητα



Εικόνα 20: Σχηματική αναπαράσταση για την διαδικασία μονάδας παραγωγής ατμού [43]

3.2.1.2 Υδροηλεκτρική Μονάδα

Η υδροηλεκτρική ενέργεια παράγεται χρησιμοποιώντας τη μηχανική ενέργεια του ρέοντος νερού, αναγκάζοντάς το μέσω σωληνώσεων, να μετατραπεί σε ηλεκτρική ενέργεια με την χρήση ηλεκτρογεννήτριας. Η παραγωγή των υδροηλεκτρικών μονάδων βασίζεται στην κίνηση του νερού, η οποία δημιουργείται από την κατασκευή ενός φράγματος που συγκρατεί την απαιτούμενη ποσότητα νερού στον ταμιευτήρα, δημιουργώντας μια διαφορά μανομέτρικού ύψους μεταξύ του σημείου που εισέρχεται και εξέρχεται το νερό. Στην συνέχεια κατά την διέλευση του από τον αγωγό πτώσεως, έρχεται σε επαφή με τον στρόβιλο ο οποίος θέτει σε λειτουργία την γεννήτρια, η οποία είναι το τελευταίο στάδιο για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Ουσιαστικά οι κύριοι παράγοντες της δημιουργίας ηλεκτρισμού είναι ο όγκος του νερού που ρέει και το ύψος μεταξύ του ταμιευτήρα και του στρόβιλου.

Λαμβάνοντας υπόψη τα οικονομικά, τεχνικά και περιβαλλοντικά πλεονεκτήματα της υδροηλεκτρικής ενέργειας, οι περισσότερες χώρες δίνουν προτεραιότητα στην ανάπτυξή της. Για παράδειγμα, η Κίνα έχει την μεγαλύτερη υδροηλεκτρική ενέργεια στον πλανήτη, με συνολικό θεωρητικό υδροηλεκτρικό δυναμικό 694GW. Η ανάπτυξη υδροηλεκτρικής ενέργειας

έχει μεγάλη σημασία για την ανακούφιση της ενεργειακής κρίσης και της περιβαλλοντικής ρύπανσης, που οφείλεται στην ταχεία οικονομική ανάπτυξη σε όλες τις χώρες τον 21ο αιώνα.

Ένα τυπικό υδροηλεκτρικό σύστημα αποτελείται από:

1. Φράγμα (Dam)

Το φράγμα είναι το πιο σημαντικό συστατικό του υδροηλεκτρικού σταθμού. Είναι χτισμένο συνήθως σε έναν μεγάλο ποταμό που έχει άφθονη ποσότητα νερού όλο το χρόνο. Θα πρέπει να κατασκευάζεται σε μια θέση όπου το ύψος του ποταμού είναι αρκετό για να πάρει τη μέγιστη δυνατή δυναμική ενέργεια από το νερό.

2. Δεξαμενή νερού (Water Reservoir)

Η δεξαμενή νερού τοποθετείται πίσω από το φράγμα όπου αποθηκεύεται το νερό. Το νερό στη δεξαμενή βρίσκεται υψηλότερα από το υπόλοιπο της δομής του φράγματος. Το ύψος του νερού στη δεξαμενή εξασφαλίζει πόση δυναμική ενέργεια έχει το νερό. Ουσιαστικά όσο υψηλότερο είναι το ύψος του νερού, τόσο πιο μεγάλη είναι η δυναμική ενέργεια.

3. Πύλες εισόδου ή ελέγχου (Intake or Control Gates)

Αυτές είναι οι πύλες που είναι χτισμένες στο εσωτερικό του φράγματος. Το νερό από τη δεξαμενή απελευθερώνεται και ελέγχεται μέσω αυτών των πυλών. Αυτές ονομάζονται πύλες εισόδου επειδή το νερό εισέρχεται στη μονάδα παραγωγής ενέργειας μέσω αυτών.

4. Άξονας

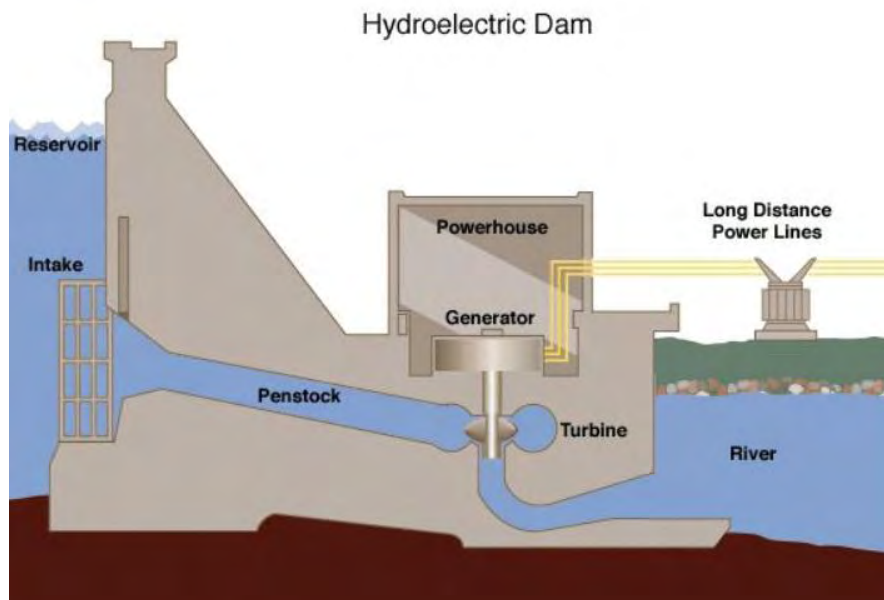
Είναι άξονας που μεταφέρει το νερό που ρέει από τη δεξαμενή προς τη μονάδα παραγωγής ενέργειας, που αποτελείται από τους στροβίλους και τη γεννήτρια. Η συνολική ποσότητα ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται στο υδροηλεκτρικό σταθμό εξαρτάται από το ύψος της δεξαμενής νερού και από την ποσότητα του νερού που ρέει μέσω του άξονα. Η ποσότητα νερού που ρέει διαμέσου του πτερυγίου ελέγχεται από τις πύλες ελέγχου.

5. Υδατοστροβίλους (Water Turbines)

Το νερό που ρέει από τον άξονα εισέρχεται στη μονάδα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, η οποία στεγάζει τον στρόβιλο και τη γεννήτρια. Όταν το νερό πέφτει πάνω στις λεπίδες του στροβίλου, η κινητική και η δυναμική ενέργεια του νερού μετατρέπεται σε περιστροφική κίνηση των λεπίδων του στροβίλου. Τα περιστρεφόμενα πτερύγια προκαλούν επίσης την περιστροφή του άξονα του στροβίλου. Ο άξονας του στροβίλου είναι κλειστός μέσα στη γεννήτρια. Στις περισσότερες μονάδες υδροηλεκτρικής ενέργειας υπάρχουν περισσότερες από μία μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας.

6. Γεννήτριες (Generators)

Στην γεννήτρια παράγεται ο ηλεκτρισμός. Ο άξονας του στροβίλου νερού περιστρέφεται στη γεννήτρια, ο οποίος παράγει εναλλασσόμενο ρεύμα στα πηνία της γεννήτριας. Ουσιαστικά είναι η περιστροφή του άξονα μέσα στη γεννήτρια που παράγει μαγνητικό πεδίο το οποίο μετατρέπεται σε ηλεκτρισμό με επαγωγή ηλεκτρομαγνητικού πεδίου.



Εικόνα 21: Συστατικά μέρη ενός υδροηλεκτρικού σταθμού [113]

Η ταξινόμηση των υδροηλεκτρικών συστημάτων γίνεται με βάση την ονομαστική ισχύ που παράγεται, το είδος του ταμιευτήρα και το ύψος πτώσης του ρέοντος νερού. Με βάση την ονομαστική παραγόμενη ισχύ ταξινομούνται σε:

- Μεγάλους υδροηλεκτρικούς σταθμούς ονομαστικής ισχύς $P > 15 \text{ MW}$
- Μικρούς υδροηλεκτρικούς σταθμούς ονομαστικής ισχύς $1 \text{ MW} < P < 15 \text{ MW}$
- Μικρότερους υδροηλεκτρικούς σταθμούς ονομαστικής ισχύς $0.1 \text{ MW} < P < 1 \text{ MW}$

Τα σημαντικότερα πλεονεκτήματα από την χρήση της υδροηλεκτρικής ενέργειας είναι:

Περιβαλλοντικά

Τα υδροηλεκτρικά συστήματα εκμεταλλεύονται τους φυσικούς πόρους για την παραγωγή ηλεκτρισμού και συμβάλει στην προστασία του φυσικού περιβάλλοντος. Επίσης μέσω των συστημάτων υδροταμιευτήρων, ικανοποιεί και άλλες ανάγκες στις κοντινές περιοχές, όπως ύδρευση, άρδευση.

Οικονομικά

Τα υδροηλεκτρικά συστήματα έχουν μεγάλο κόστος εγκατάστασης, αλλά αντισταθμίζεται από το χαμηλό κόστος λειτουργίας και συντήρησης.

Ενεργειακά

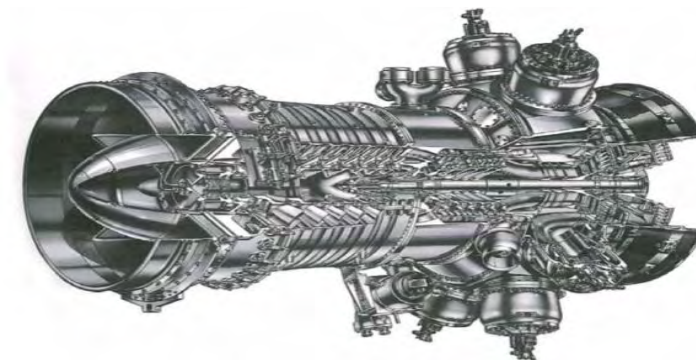
Οι υδροηλεκτρικοί σταθμοί είναι ανά πασά στιγμή έτοιμοι να παράγουν ηλεκτρική ενέργεια σε αντίθεση με τους συμβατικούς ηλεκτροπαραγωγικούς σταθμούς με χρήση άνθρακα, οι οποίοι χρειάζονται μια προ διεργασία. Επίσης ο βαθμός απόδοσης της ενέργειας σε σχέση με τους συμβατικούς σταθμούς είναι πολύ μεγαλύτερος. Επιπλέον η ισχύς είναι σταθερή και χωρίς διακυμάνσεις.

Πέρα των πλεονεκτημάτων που αναφέρθηκαν, τα υδροηλεκτρικά συστήματα έχουν και μειονεκτήματα τα οποία δεν πρέπει να παραλειφθούν:

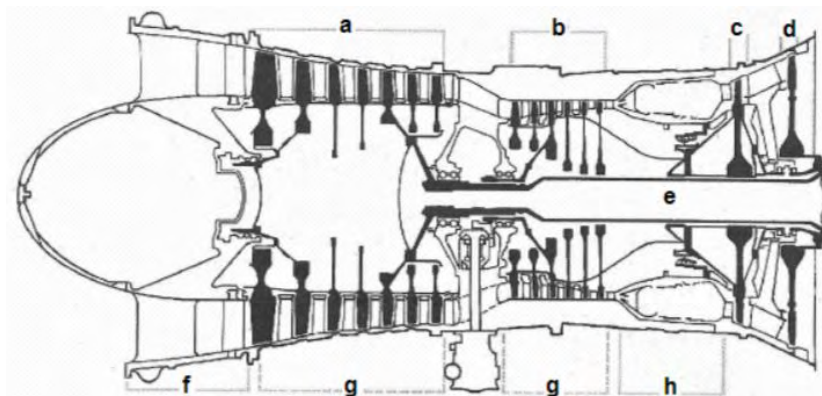
- Το μεγάλο κόστος κατασκευής των φραγμάτων σε συνδυασμό με τον μεγάλο χρόνο κατασκευής του έργου
- Η χρήση της γης για την κατασκευή των υδροηλεκτρικών σταθμών έχει συχνά αποτέλεσμα την μετεγκατάσταση κατοικιών

3.2.1.3 Αεριοστρόβιλος

Στην απλούστερη έννοια του, ένας αεριοστρόβιλος είναι μια μηχανή που έχει σχεδιαστεί για να μετατρέψει την ενέργεια μέσα σε ένα καύσιμο σε κάποια μορφή χρησιμοποιήσιμης ισχύος. Οι αεριοστρόβιλοι μπορούν να χρησιμοποιηθούν για διάφορες εφαρμογές, οι οποίες χωρίζονται σε δύο βασικές κατηγορίες: για την παροχή ώθησης, όπως συμβαίνει με την περίπτωση μιας μηχανής αεροσκαφών και για την περιστροφή ενός άξονα όπως μια αντλία, έναν συμπιεστή και μια γεννήτρια. Η μονάδα συμπιεστή, η μονάδα καυστήρα και η μονάδα τουρμπίνας συνδέονται με έναν ή περισσότερους άξονες. Οι Εικόνες 22,23 απεικονίζουν μια τυπική γεννήτρια αερίου σε διαχωριστική και σχηματική μορφή. Οι αεριοστρόβιλοι αποκτούν την ισχύ τους, χρησιμοποιώντας την ενέργεια από καύσιμα των οποίων οι πιέσεις είναι υψηλές στην περιοχή των 4-10 bar.



Εικόνα 22: Σχηματική μορφή γεννήτριας αερίου [39]



Εικόνα 23: Αναπαράσταση γεννήτριας αερίου σε τμήματα [39]

Τα βασικά εξαρτήματα ενός συστήματος αεροστροβίλου είναι ο Αεροσυμπιεστής, ο Συμπιεστής, ο Θάλαμος καύσης, η Τουρμπίνα αερίου, ο εναλλάκτης και ο κινητήρας

1. Συμπιεστής

Ο αέρας εισέρχεται στον συμπιεστή μέσω των οδηγητικών πτερυγίων και ρέει προς την κατεύθυνση του άξονα διαμέσου πολλών στάσιμων πτερυγίων (στάτορες) και περιστρεφόμενων λεπίδων. Κάθε σετ πτερυγίων / λεπίδων χρησιμεύει για την αύξηση της πίεσης του αέρα καθώς περνάει από στάδιο σε στάδιο. Όσον αφορά το γεγονός ότι ο συμπιεστής είναι συνδεδεμένος με τον άξονα του στροβίλου, αυτό καταναλώνει μέρος της ισχύος που παράγεται από τον στρόβιλο, με συνέπεια να μειώνει την αποδοτικότητα του συστήματος. Ως εκ τούτου, η εξερχόμενη ισχύς είναι η διαφορά μεταξύ της ισχύος που παράγει ο στρόβιλος και της ισχύος που καταναλώνει ο συμπιεστής.

2. Regenerator

Ένας αναγεννητής είναι μια συσκευή που ανακτά τη θερμότητα από τα καυσαέρια για να θερμαίνει τον αέρα από τον συμπιεστή. Η εξάτμιση περνά μέσω του αναγεννητή πριν την απελευθέρωση στην ατμόσφαιρα. Με τον τρόπο αυτό ο συμπιεσμένος αέρας θερμαίνεται από τα καυσαέρια.

3. Θάλαμος καύσης

Αυτή είναι μια από τις σημαντικότερες διαδικασίες της μονάδας παραγωγής αερίου, όπου ο αέρας υψηλής πίεσης από τον συμπιεστή εισάγεται μέσα από τον αναγεννητή. Ο αέρας από τον αναγεννητή δεν επαρκεί για να οδηγήσει τον αεροστρόβιλο. Μόνο ζεστός αέρας με υψηλή πίεση μπορεί να οδηγήσει τον αεροστρόβιλο. Έτσι στον θάλαμο καύσης, ο συμπιεσμένος αέρας θερμαίνεται σε υψηλή θερμοκρασία (3000 F). Η θερμότητα προστίθεται στον αέρα με καύση το οποίο εισάγεται μέσω καυστήρα στον θάλαμο σε υψηλή πίεση. Ο θερμός αέρας με υψηλή πίεση στη συνέχεια εφαρμόζεται στον αεροστρόβιλο αφού επιτευχθεί η κατάλληλη θερμοκρασία.

4. Τουρμπίνα

Αυτό είναι το κύριο συστατικό του εργοστασίου παραγωγής. Ο θερμός αέρας με υψηλή πίεση και θερμοκρασία περνάει από τον αεριοστρόβιλο. Τα αέρια επεκτείνονται στις λεπίδες και προκαλούν την περιστροφή των λεπίδων στην επιδιωκόμενη μηχανική εργασία. Μετά την επέκταση, τα καυσαέρια με θερμοκρασία περίπου 900 F εφαρμόζονται στον αναγεννητή.

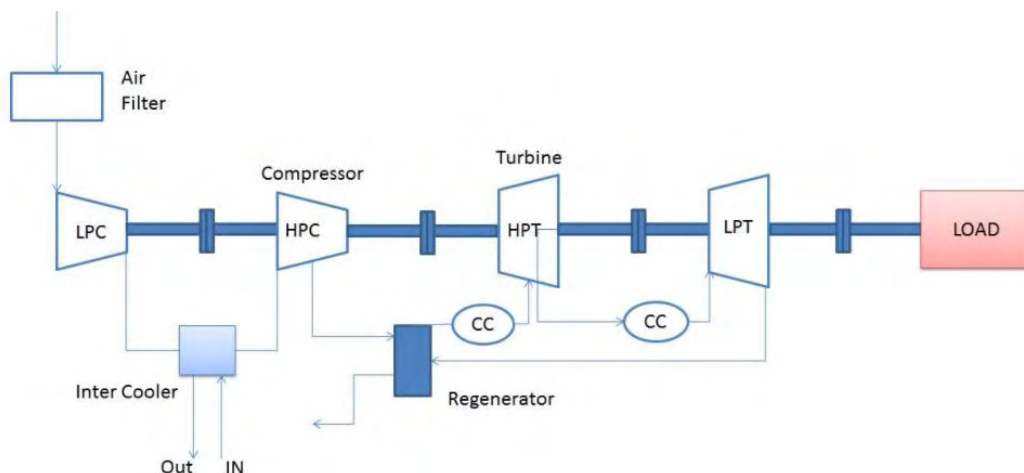
5. Εναλλάκτης

Ο εναλλάκτης συνδέεται άμεσα με τον αεριοστρόβιλο όπως στην περίπτωση του σταθμού παραγωγής ατμού. Ο εναλλάκτης μετατρέπει τη μηχανική ενέργεια του στροβίλου σε ηλεκτρική ενέργεια. Η έξοδος της ηλεκτρικής ενέργειας μεταφέρεται έπειτα στο δίκτυο μέσω ενός μετασχηματιστή γεννήτριας, απομονωτές και διακόπτες κυκλώματος.

6. Εκκίνηση κινητήρα

Λειτουργεί ως το αρχικό στοιχείο οδήγησης του συμπιεστή. Ο κινητήρας εκκίνησης είναι συνδεδεμένος με τον ίδιο άξονα του αεριοστρόβιλου για το σκοπό αυτό. Μόλις ο αεριοστρόβιλος αρχίσει να περιστρέφεται, κάποιο μέρος της μηχανικής ενέργειας χρησιμοποιείται για την οδήγηση του συμπιεστή. Ο κινητήρας εκκίνησης κινείται από τις μπαταρίες.

Αναφορικά με τα καύσιμα, μπορούν να χρησιμοποιηθούν διάφοροι τύποι καυσίμων για τη θέρμανση του αερίου. Το φυσικό αέριο είναι το πιο συχνό χρησιμοποιούμενο καύσιμο αν και υπάρχουν εγκαταστάσεις που χρησιμοποιούν άλλα αέρια όπως αέριο σύνθεσης (syngas), ένας συνδυασμός μονοξειδίου του άνθρακα και υδρογόνου που σχηματίζεται με την αεριοποίηση υπολειμμάτων, ή άλλα στερεά οργανικά υλικά ή υγρά όπως το ελαφρύ μαζούτ.



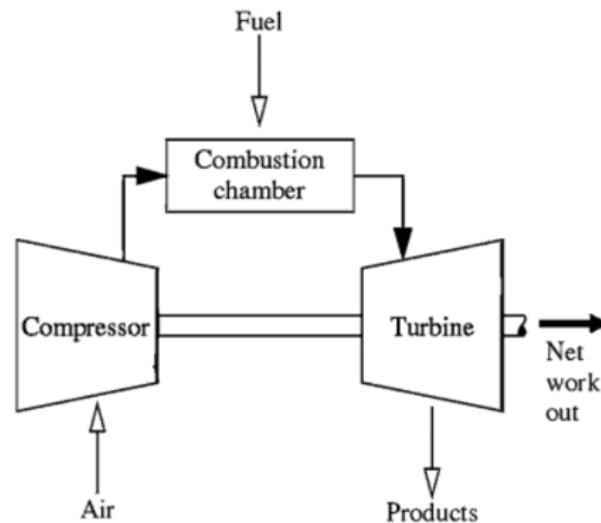
Εικόνα 24: Διάφορα εξαρτήματα του σταθμού παραγωγής αεριοστρόβιλου [114]

Οι μονάδες παραγωγής αεριοστρόβιλου που χρησιμοποιούνται στη βιομηχανία ηλεκτρικής ενέργειας ταξινομούνται σε δύο κατηγορίες: αεριοστρόβιλο ανοικτού κύκλου και αεριοστρόβιλο κλειστού κύκλου.

Open Cycle Gas Turbine

Όπως φαίνεται στην Εικόνα 25, ένας απλός αεριοστρόβιλος ανοικτού κύκλου αποτελείται από έναν συμπιεστή, έναν θάλαμο καύσης και έναν στρόβιλο. Ο συμπιεστής λαμβάνει τον αέρα του περιβάλλοντος και αυξάνει την πίεση του. Στην συνέχεια η θερμότητα προστίθεται στον αέρα στο θάλαμο καύσης αυξάνοντας έτσι τη θερμοκρασία του. Το καυτό αέριο υψηλής πίεσης στη συνέχεια ρέει στον στρόβιλο. Τέλος ο ατμός επιστρέφει στην ατμόσφαιρα.

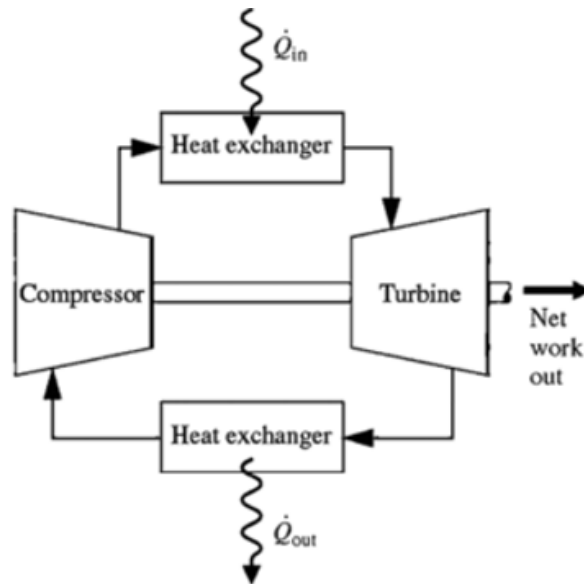
Ο συγκεκριμένος τύπος (Εικόνα 25) χρησιμοποιείται συχνά για μικρές εγκαταστάσεις ή σε περιοχές όπου υπάρχει μεγάλη ζήτηση και οι τιμές ενέργειας και καυσίμων είναι χαμηλές. Ωστόσο, λόγω της χαμηλής απόδοσης (30-35%), η χρήση του δεν είναι τόσο δημοφιλής.



Εικόνα 25: Αναπαράσταση Open Cycle Gas Turbine [40]

Closed Cycle Gas Turbine

Όπως απεικονίζεται στην Εικόνα 26, στο εργοστάσιο αεριοστρόβιλου κλειστού κύκλου, το υγρό εργασίας (αέρας ή οποιοδήποτε άλλο κατάλληλο αέριο) που βγαίνει από τον συμπιεστή, θερμαίνεται σε έναν θερμαντήρα από μια εξωτερική πηγή σε σταθερή πίεση. Στη συνέχεια, η υψηλή θερμοκρασία και η υψηλή πίεση του αέρα που προκύπτει από τον εξωτερικό θερμαντήρα διοχετεύεται μέσω του αεριοστρόβιλου. Έπειτα το αέριο που βγαίνει από τον στρόβιλο ψύχεται στην αρχική του θερμοκρασία στο ψήκτη, που χρησιμοποιεί εξωτερική πηγή ψύξης πριν περάσει στον συμπιεστή. Επομένως, το λειτουργικό υγρό χρησιμοποιείται συνεχώς στο σύστημα χωρίς την αλλαγή φάσης και η απαιτούμενη θερμότητα δίνεται στο εργαζόμενο ρευστό στον εναλλάκτη θερμότητας.



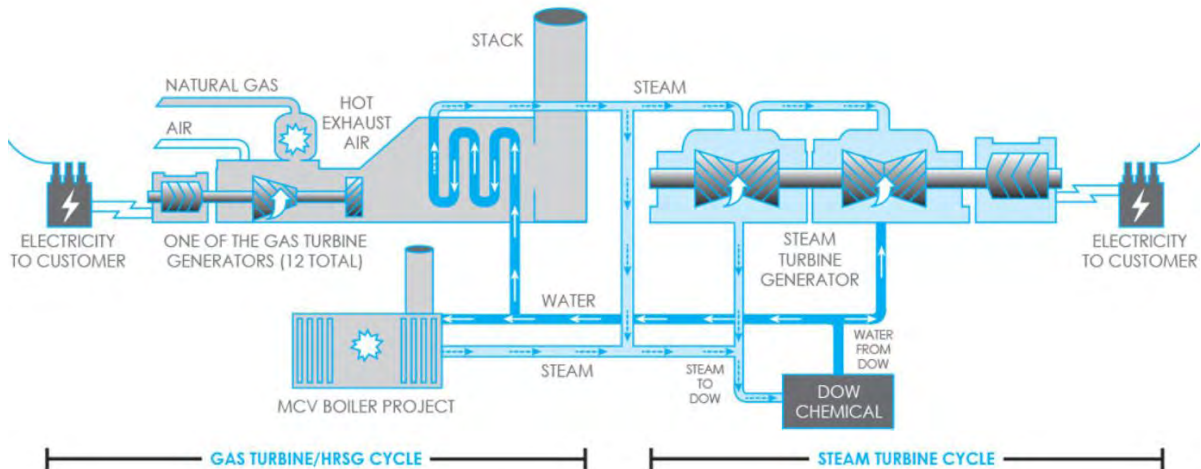
Εικόνα 26: Αναπαράσταση Closed Cycle Gas Turbine [\[40\]](#)

3.2.1.4 Εγκαταστάσεις ισχύος συνδυασμένου κύκλου

Ο σταθμός συνδυασμένου κύκλου, όπως υποδηλώνει το όνομα, συνδυάζει τις υπάρχουσες τεχνολογίες αερίου και ατμού σε μία μονάδα, επιτυγχάνοντας σημαντικές βελτιώσεις στη θερμική απόδοση έναντι των συμβατικών μονάδων ατμού. Το εργοστάσιο συνδυασμένου κύκλου συνεπώς, είναι μια γεννήτρια αεριοστρόβιλων που παράγει ηλεκτρική ενέργεια και η απορυπτόμενη θερμότητα χρησιμοποιείται για να παράγει ατμό, η οποία χρησιμοποιείται για επιπλέον ηλεκτρισμό μέσω ατμοστρόβιλου.

Αρχή λειτουργίας του σταθμού

Το πρώτο βήμα είναι το ίδιο με το εργοστάσιο αεροστροβίλων απλού κύκλου. Ένας αεριοστρόβιλος ανοικτού κυκλώματος έχει συμπιεστή, καυστήρα και στρόβιλο. Για αυτόν τον τύπο κύκλου, η θερμοκρασία εισόδου στον στρόβιλο είναι πολύ υψηλή. Αυτό είναι επομένως αρκετό ώστε να παρέχει θερμότητα για έναν δεύτερο κύκλο, ο οποίος χρησιμοποιεί ατμό ως μέσο εργασίας.



Εικόνα 27: Η βασική αρχή του Συνδυασμένου Κύκλου είναι απλή: το καύσιμο του αερίου σε έναν αεριοστρόβιλο (GT) παράγει όχι μόνο ενέργεια η οποία μπορεί να μετατραπεί σε ηλεκτρική ενέργεια από μια συζευγμένη γεννήτρια αλλά και αρκετά καυτά καυσαέρια. [\[115\]](#)

Κύκλος στροβίλου

Ο αέρας που καθαρίζεται και στη συνέχεια συμπιέζεται, αναμιγνύεται με φυσικό αέριο και αναφλέγεται, γεγονός που τον αναγκάζει να επεκταθεί. Η πίεση που δημιουργείται από την επέκταση, περιστρέφει τα πτερύγια του στροβίλου, τα οποία είναι προσαρτημένα σε έναν άξονα και μια γεννήτρια, δημιουργώντας ηλεκτρική ενέργεια. Στο δεύτερο βήμα η θερμότητα των καυσαερίων του αεριοστρόβιλου χρησιμοποιείται για να παράγει ατμό διερχόμενης μέσω μιας γεννήτριας ατμού ανάκτησης θερμότητας με θερμοκρασία μεταξύ 420 και 580 ° C.

Μια μονάδα συνδυασμένου κύκλου παράγει υψηλή απόδοση (έως και 55%) και με χαμηλές εκπομπές ρύπων. Οι συμβατικές μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας παράγουν μόνο 33% ηλεκτρική ενέργεια και το υπόλοιπο 67% είναι απόβλητα. Είναι επίσης δυνατό να χρησιμοποιηθεί ο ατμός από τον λέβητα για θέρμανση, έτσι ώστε οι σταθμοί αυτοί να μπορούν να λειτουργούν για να παρέχουν μόνο ηλεκτρική ενέργεια ή σε συνδυασμένη λειτουργία θερμότητας και ηλεκτρικής ενέργειας. Τέλος για την εκκίνηση ή τη λειτουργία «ανοικτού κύκλου» μόνο του αεριοστρόβιλου, υπάρχει η δυνατότητα ο ατμοστρόβιλος να μπορεί να αποσυνδεθεί χρησιμοποιώντας έναν υδραυλικό συμπλέκτη.

Πιο πρόσφατα, καθώς βελτιώθηκε η αποτελεσματικότητα του κύκλου και μειώθηκαν οι τιμές του φυσικού αερίου, οι αεριοστρόβιλοι χρησιμοποιήθηκαν ευρύτερα για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας βασικού φορτίου, ιδιαίτερα σε λειτουργία συνδυασμένου κύκλου, όπου η απορριπτόμενη θερμότητα ανακτάται σε λέβητες αποβλήτων θερμότητας και ο ατμός χρησιμοποιείται για την παραγωγή πρόσθετου ηλεκτρισμού. Αυτός ο τύπος μονάδας ηλεκτροπαραγωγής, εγκαθίσταται σε αυξανόμενο αριθμό σε όλο τον κόσμο όπου υπάρχει πρόσβαση σε σημαντικές ποσότητες φυσικού αερίου.

3.2.1.5 Μονάδα Πυρηνικής Ενέργειας

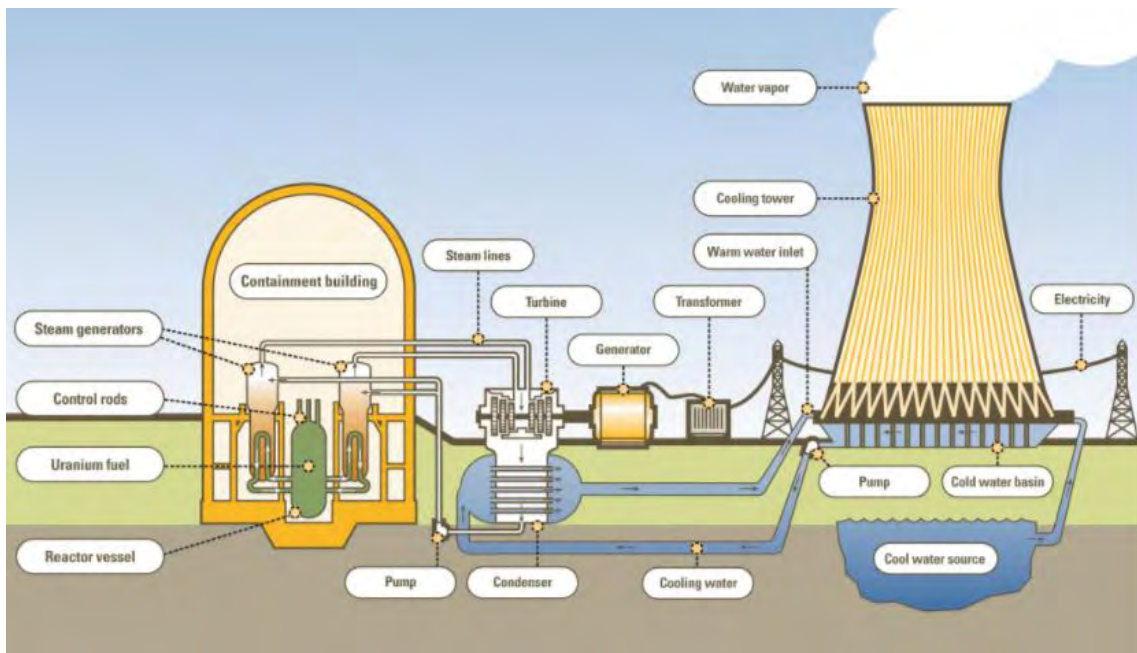
Η πυρηνική ενέργεια αποτελεί σημαντική πηγή παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας σε πολλές χώρες. Το 2003, 19 χώρες είχαν άμεση επαφή από την πυρηνική ενέργεια για τουλάχιστον του 20% της παραγωγή ηλεκτρισμού. Η Γαλλία είναι η χώρα με το υψηλότερο ποσοστό (78,1%) της ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται από την πυρηνική ενέργεια. Επιπλέον οι Η.Π.Α. εξακολουθούν να είναι ο μεγαλύτερος παραγωγός ηλεκτρικής ενέργειας στον κόσμο με χρήση πυρηνικών καυσίμων. Στις αναδυόμενες οικονομίες, όπως αυτής της Κίνα και της Ινδίας, η εξάρτηση από την χρήση πυρηνικής ενέργειας αναμένεται να αυξηθεί σημαντικά τα επόμενα χρόνια.

Ένας πυρηνικός σταθμός ηλεκτροπαραγωγής μοιάζει με έναν τυποποιημένο σταθμό θερμικής ενέργειας. Ωστόσο η πηγή θερμότητας στον πυρηνικό σταθμό είναι ο πυρηνικός αντιδραστήρας, ο οποίος προστατεύεται με προηγμένα συστήματα ασφαλείας. Όπως συμβαίνει σε όλους τους συμβατικούς θερμοηλεκτρικούς σταθμούς, η θερμότητα χρησιμοποιείται για την παραγωγή ατμού που κινεί έναν ατμοστρόβιλο συνδεδεμένο με μια γεννήτρια που παράγει ηλεκτρική ενέργεια. Η λειτουργία ενός πυρηνικού σταθμού για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας ακολουθεί την εξής διαδικασία. Η θερμότητα παράγεται με σχάση σε πυρηνικό αντιδραστήρα και διέρχεται στο πρωτεύον ψυκτικό νερό. Αυτή η θερμότητα, που εναποτίθεται στο νερό ψύξης, οδηγείται στις γεννήτριες ατμού που βρίσκονται στο κτίριο συγκράτησης. Οι ατμογεννήτριες παράγουν υψηλής πίεσης ατμό. Ο ατμός υπό πίεση στη συνέχεια τροφοδοτείται συνήθως σε έναν ατμοστρόβιλο πολλαπλών σταδίων για να εκκίνηση και αυτός με την σειρά του την γεννήτρια.

Στην Εικόνα 28 απεικονίζονται τα δύο βασικά κτήρια ενός πυρηνικού σταθμού. Το κτήριο συγκράτησης (Containment building) και το κτήριο στρόβιλων (Turbine building).

Το κτίριο συγκράτησης (Containment building) είναι η βασική μονάδα ενός πυρηνικού σταθμού. Πιο αναλυτικά πρόκειται για ένα αεροστεγές κτίριο, στο οποίο στεγάζεται ένας πυρηνικός αντιδραστήρας. Αυτό το κτήριο περιέχει αντλίες ψύξης του αντιδραστήρα, οι οποίες είναι απαραίτητες για την ασφάλεια του πυρηνικού αντιδραστήρα σε περίπτωση ατυχήματος. Τέτοια κτίρια είναι συνήθως κατασκευασμένα από οπλισμένο σκυρόδεμα.

Το κτίριο της τουρμπίνας (Turbine building) περιέχει στρόβιλο, γεννήτρια, συμπυκνωτή και άλλο εξοπλισμό, που χρησιμοποιείται για μετατροπή της θερμικής ενέργειας από πεπιεσμένο ατμό σε μηχανική ενέργεια, η οποία χρησιμοποιείται για την κίνηση της γεννήτριας. Επίσης ένας πύργος ψύξης μπορεί να είναι μέρος του πυρηνικού σταθμού, αλλά δεν είναι απαραίτητος.



Εικόνα 28: Σχηματική αναπαράσταση ενός πυρηνικού σταθμού [42]

Παρακάτω παρατίθενται τα βασικά στοιχεία ενός πυρηνικού σταθμού ηλεκτροπαραγωγής

1. Πυρηνικός αντιδραστήρας (Nuclear Reactor): Ένας πυρηνικός αντιδραστήρας αποτελεί βασική συσκευή των πυρηνικών σταθμών ηλεκτροπαραγωγής. Κύριος σκοπός του πυρηνικού αντιδραστήρα είναι να ξεκινήσει και να ελέγξει μια παρατεταμένη πυρηνική αλυσιδωτή αντίδραση.
2. Ατμογεννήτριες (Steam Generators): Οι ατμογεννήτριες είναι εναλλάκτες θερμότητας που χρησιμοποιούνται για τη μετατροπή του νερού τροφοδοσίας σε ατμό, από θερμότητα που παράγεται σε πυρηνικό αντιδραστήρα.
3. Πιεστήριο (Pressurizer): Η πίεση στο πρωτεύον κύκλωμα διατηρείται από ένα δοχείο πίεσης, ένα ξεχωριστό δοχείο που συνδέεται με το πρωτεύον κύκλωμα (ζεστό σκέλος) και μερικώς γεμίζεται με νερό το οποίο θερμαίνεται στη θερμοκρασία κορεσμού (σημείο βρασμού) για την επιθυμητή πίεση από βυθιζόμενους ηλεκτρικούς θερμαντήρες. Η θερμοκρασία στο δοχείο πίεσης μπορεί να διατηρηθεί στους 345 °C (653 °F), που δίνει ένα περιθώριο υπο-ψύξης (τη διαφορά μεταξύ της θερμοκρασίας του συμπιεστή και της υψηλότερης θερμοκρασίας στον πυρήνα του αντιδραστήρα) 30 °C.
4. Αντλίες ψυκτικού αντιδραστήρα (Reactor Coolant Pumps) Οι αντλίες ψυκτικού αντιδραστήρα χρησιμοποιούνται για την άντληση πρωτογενούς ψυκτικού μέσου γύρω από το πρωτεύον κύκλωμα. Αυτές οι αντλίες μπορούν να καταναλώνουν μέχρι και 6 MW το καθένα. Επίσης μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη θέρμανση του πρωτεύοντος ψυκτικού πριν από την εκκίνηση του αντιδραστήρα.

5. Συστήματα Ασφαλείας (Safety Systems): Οι κύριοι στόχοι των συστημάτων ασφαλείας των πυρηνικών αντιδραστήρων είναι να κλείσουν τον αντιδραστήρα, έτσι ώστε να τον διατηρεί σε κατάσταση κλεισίματος και να εμποδίσει την απελευθέρωση ραδιενεργού υλικού. Τα συστήματα ασφαλείας των αντιδραστήρων αποτελούνται από συστήματα προστασίας αντιδραστήρων, παροχής νερού, ψύξης πυρήνα έκτακτης ανάγκης και ηλεκτρικής ενέργειας έκτακτης ανάγκης.
6. Ατμοστρόβιλος (Steam Turbine): Ένας ατμοστρόβιλος είναι μια συσκευή που χρησιμοποιεί τη θερμική ενέργεια για να δημιουργήσει μηχανική ενέργεια σε έναν περιστρεφόμενο άξονα εξόδου.
7. Γεννήτρια (Generator) Μια γεννήτρια είναι μια συσκευή που μετατρέπει τη μηχανική ενέργεια του ατμοστρόβιλου σε ηλεκτρική ενέργεια.
8. Συμπυκνωτής (Condenser): Ένας συμπυκνωτής είναι ένας εναλλάκτης θερμότητας που χρησιμοποιείται για την συμπύκνωση ατμού από το τελευταίο στάδιο του στροβίλου.
9. Σύστημα συμπύκνωσης-τροφοδοσίας νερού (Condensate-Feedwater System): Είναι αρμόδιο για δύο σημαντικές λειτουργίες. Για την παροχή υψηλής ποιότητας νερού στη γεννήτρια ατμού και για τη θέρμανση του νερού σε θερμοκρασία κοντά στον κορεσμό.

Τα κύρια πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα των πυρηνικών σταθμών ηλεκτροπαραγωγής είναι:

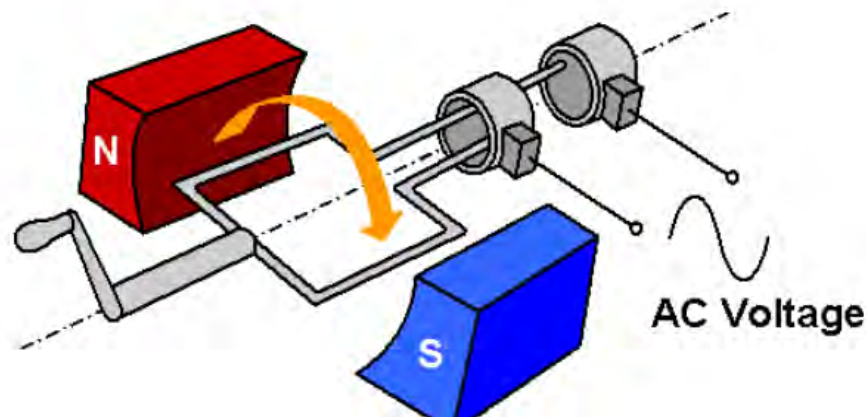
- Η απαιτούμενη χωρητικότητα ενός πυρηνικού σταθμού ηλεκτροπαραγωγής είναι μικρότερη σε σύγκριση με άλλες συμβατικές μονάδες ηλεκτροπαραγωγής ίσου μεγέθους.
- Ο πυρηνικός σταθμός παραγωγής ενέργειας καταναλώνει μικρή ποσότητα καυσίμου. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα ότι το κόστος μεταφοράς καυσίμων είναι μικρότερο και δεν χρειάζονται μεγάλες εγκαταστάσεις αποθήκευσης
- Τα πυρηνικά εργοστάσια είναι εξοπλισμένα από προηγμένα συστήματα ασφαλείας
- Οι μονάδες πυρηνικής ενέργειας είναι κατάλληλες για την κάλυψη μεγάλων απαιτήσεων ισχύος. Δίνουν καλύτερη απόδοση σε υψηλότερους συντελεστές φορτίου (80-90%).
- Οι δαπάνες υλικών για τις μεταλλικές κατασκευές, τις σωληνώσεις, τους μηχανισμούς αποθήκευσης είναι πολλή χαμηλότερη για έναν πυρηνικό σταθμό από μια μονάδα παραγωγής καυσίμων που καταναλώνει άνθρακα.
- Το αρχικό κόστος του πυρηνικού σταθμού είναι αρκετά υψηλό
- Τα ραδιενεργά απόβλητα, αν δεν διατεθούν προσεκτικά, μπορεί να έχουν αρνητικές επιπτώσεις στην υγεία των εργαζομένων.
- Το κόστος συντήρησης της εγκατάστασης είναι αρκετά δαπανηρό.

3.2.2 Γεννήτριες

3.2.2.1 AC Generators

Μια γεννήτρια εναλλασσόμενου ρεύματος είναι μια ηλεκτρική γεννήτρια που μετατρέπει τη μηχανική ενέργεια σε ηλεκτρική ενέργεια υπό μορφή εναλλασσόμενου ρεύματος. Η γεννήτρια AC λειτουργεί με την αρχή της "Ηλεκτρομαγνητικής Επαγωγής". Σύμφωνα με τον νόμο της ηλεκτρομαγνητικής επαγωγής του Faraday, η ηλεκτρική ενέργεια προκαλείται με την κοπή της ομοιόμορφης μαγνητικής ροής με έναν αγωγό.

Πιο αναλυτικά, μια γεννήτρια AC αποτελείται από δύο πόλους, τον βόρειο πόλο και τον νότιο πόλο ενός μαγνήτη, ώστε να έχουμε ένα ομοιόμορφο μαγνητικό πεδίο. Υπάρχει επίσης ένα πηνίο που έχει ορθογώνιο σχήμα, ο σπλισμός. Κατά την περιστροφή του πηνίου μέσα στο μαγνητικό πεδίο, δημιουργείται ηλεκτρικό ρεύμα μέσα στον αγωγό και αντίστοιχα η περιστροφή του μαγνήτη γύρω από το πηνίο δημιουργεί ηλεκτρικό ρεύμα. Τα ορθογώνια πηνία περιστρέφονται γύρω από έναν άξονα, ο οποίος είναι κάθετος στο μαγνητικό πεδίο.



Η emf που παράγεται εξαρτάται από την ισχύ του μαγνητικού πεδίου, τον αριθμό των στροφών του πηνίου σπλισμού και την ταχύτητα του περιστρεφόμενου πεδίου.

$$E = NBA\omega \sin(\omega t)$$

Όπου N είναι ο αριθμός των στροφών στο πηνίο σπλισμού, B είναι η ισχύς του μαγνητικού πεδίου, A είναι η περιοχή του πηνίου και ω είναι η ταχύτητα του περιστρεφόμενου μαγνητικού πεδίου.

$$\omega = 2\pi f \text{ rad/sec}$$

Για μέγιστη EMF προϋπόθεση $\omega t = 90^\circ$ Ως εκ τούτου,

$$E_{max} = NBA\omega$$

Οι γεννήτριες AC χρησιμοποιούνται ευρέως για την παραγωγή εναλλασσόμενου ρεύματος. Η λειτουργία κάθε στοιχείου της γεννήτριας είναι υπεύθυνο για την ομαλή λειτουργία της.

Πεδίο (Field): Το πεδίο σε μία γεννήτρια εναλλασσόμενου ρεύματος αποτελείται από πηνία αγωγών εντός της γεννήτριας που λαμβάνουν τάση από μια πηγή (που ονομάζεται διέγερση) και παράγουν μια μαγνητική ροή. Η μαγνητική ροή στο πεδίο κόβει τον σπλισμό για να παράγει μια τάση. Αυτή η τάση είναι τελικά η τάση εξόδου της AC γεννήτριας.

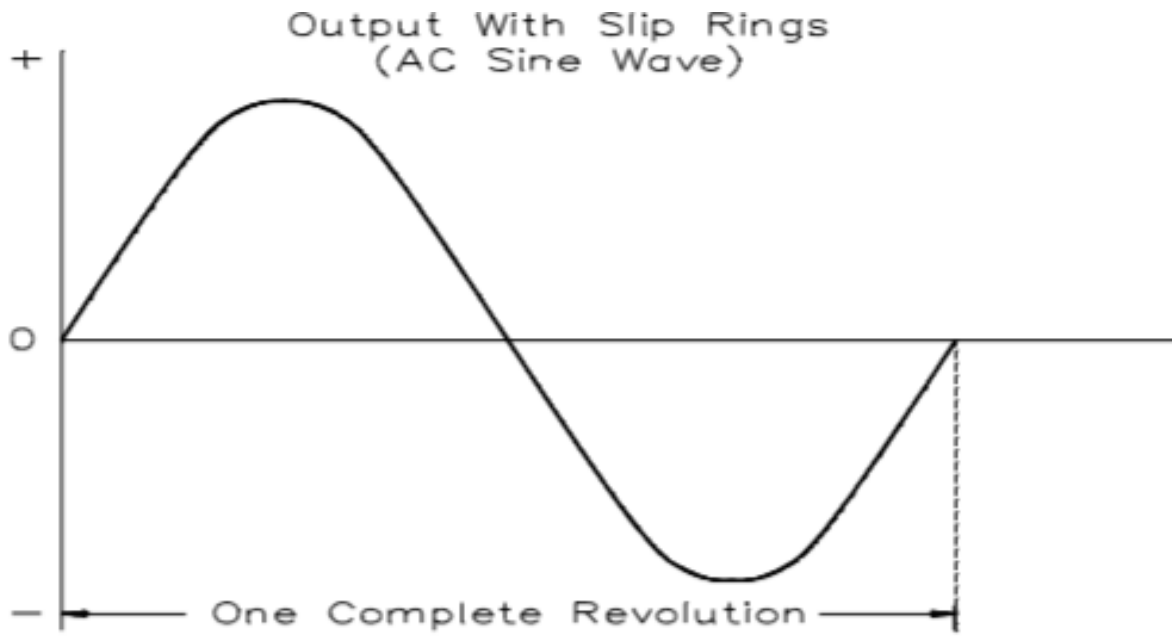
Οπλισμός (Armature): Είναι το μέρος μιας γεννήτριας εναλλασσόμενου ρεύματος στην οποία παράγεται τάση. Αυτό το στοιχείο αποτελείται από πολλά πηνία σύρματος που είναι αρκετά μεγάλα ώστε να μεταφέρουν το ρεύμα πλήρους φορτίου της γεννήτριας.

Κύριος κινητήρας (Prime mover) είναι το στοιχείο που χρησιμοποιείται για τη μετάδοση της γεννήτριας εναλλασσόμενου ρεύματος. Ο βασικός κινητήρας μπορεί να είναι οποιοσδήποτε τύπος περιστρεφόμενης μηχανής, όπως κινητήρας ντίζελ, ατμοστρόβιλος.

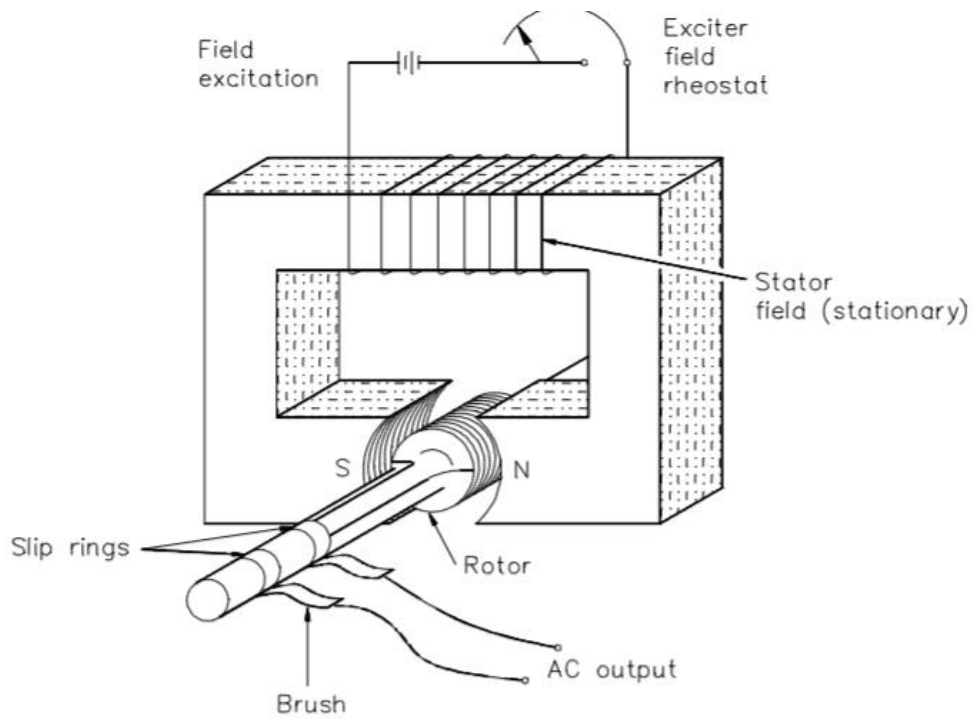
Ρότορας (Rotor) μιας γεννήτριας εναλλασσόμενου ρεύματος είναι το περιστρεφόμενο στοιχείο της γεννήτριας, όπως φαίνεται στο σχήμα. Ο ρότορας κινείται από τον κύριο κινητήρα της γεννήτριας, ο οποίος μπορεί να είναι ατμοστρόβιλος, αεριοστρόβιλος, ή κινητήρα ντίζελ. Ανάλογα με τον τύπο της γεννήτριας, αυτό το στοιχείο μπορεί να είναι ο σπλισμός ή το πεδίο. Ο ρότορας θα είναι ο σπλισμός εάν παράγεται εκεί η έξοδος τάσης ή πεδίο αν η διέγερση πεδίου εφαρμόζεται εκεί.

Στάτης (Stator) μιας γεννήτριας AC είναι το τμήμα που είναι ακίνητο. Όπως και ο ρότορας, αυτό το στοιχείο μπορεί να είναι ο σπλισμός ή το πεδίο, ανάλογα με τον τύπο της γεννήτριας. Ο στάτορας θα είναι σπλισμός εάν παράγεται εκεί η έξοδος τάσης ή πεδίο αν η διέγερση πεδίου εφαρμόζεται εκεί.

Δακτύλιοι ολίσθησης (Slip rings) είναι ηλεκτρικές συνδέσεις που χρησιμοποιούνται για τη μεταφορά ενέργειας προς και από τον δρομέα μίας AC γεννήτριας. Ο δακτύλιος ολίσθησης αποτελείται από ένα κυκλικό αγωγικό υλικό που είναι συνδεδεμένο με τις περιελίξεις του ρότορα και μονωμένο από τον άξονα. Οι δακτύλιοι ολίσθησης χρησιμοποιούνται σε γεννήτριες εναλλασσόμενου ρεύματος επειδή η επιθυμητή έξοδος της γεννήτριας είναι ημιτονοειδής. Ως εκ τούτου, μια γεννήτρια εναλλασσόμενου ρεύματος μπορεί να χρησιμοποιεί δακτυλίδια ολίσθησης, τα οποία θα επιτρέψουν την έξοδο ρεύματος και τάσης να ταλαντεύεται μέσω θετικών και αρνητικών τιμών. Αυτή η ταλάντωση της τάσης και του ρεύματος παίρνει το σχήμα ενός ημιτονοειδούς κύματος.



Εικόνα 29: Ημιτονοειδής τάση εξόδου γεννήτριας AC [\[45\]](#)



Εικόνα 30: Λειτουργικά στοιχεία μιας γεννήτριας AC [\[45\]](#)

3.2.2.2 DC Generator

Μια γεννήτρια DC για να λειτουργήσει πρέπει να δημιουργηθεί μαγνητικό πεδίο στο στάτη. Έπειτα μέσω ενός κινητήρα, περιστρέφεται ο δρομέας στο εσωτερικό της μηχανής. Το αποτέλεσμα της τομής του αγώγιμου βρόχου και της μαγνητικής ροής στο εσωτερικό του στάτη, δημιουργεί επαγωγή τάσης στα άκρα της περιέλιξης. Όμως, η τελική τάση κατά την διαδικασία της επαγωγής είναι εναλλασσόμενη. Για τον λόγο αυτό χρησιμοποιούμε τον συλλέκτη (commutator) και τις ψήκτρες (brushes), έτσι ώστε η τάση να έχει μόνο θετικές τιμές. Πιο αναλυτικά, ο συλλέκτης απαρτίζεται από δύο μονωμένους ημικύλινδρους, οι οποίοι διαχωρίζονται από μονωτικό υλικό. Κατά την περιστροφή, δημιουργείτε ένταση στον κάθε ημικύλινδρο με την βοήθεια των ψηκτρών, το οποίο έχει ως αποτέλεσμα η τάση να έχει την ίδια πολικότητα στο φορτίο.

Η επαγόμενη τάση σε αγωγό που κινείται μέσα σε μαγνητικό πεδίο περιγράφεται με την παρακάτω εξίσωση:

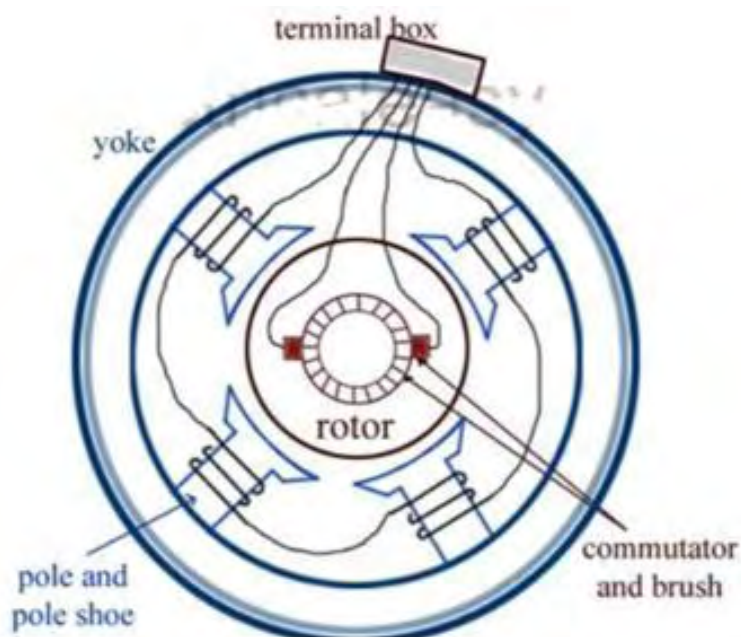
$$e = (v \times B)l$$

v : ταχύτητα αγωγού

B : μαγνητική ροή

l : μήκος αγωγού στο μαγνητικό πεδίο

Όπου $|v \times B| = |v||B| \sin \theta$



Εικόνα 31: Κατασκευαστικές λεπτομέρειες μιας γεννήτριας συνεχούς ρεύματος [46]

Τα βασικά κατασκευαστικά μέρη μιας γεννήτριας DC περιγράφονται παρακάτω.

Ζυγός (Yoke): Το εξωτερικό πλαίσιο μιας μηχανής συνεχούς ρεύματος ονομάζεται ζυγός. Αποτελείται από χυτοσίδηρο ή χάλυβα. Δεν παρέχει μόνο μηχανική αντοχή σε ολόκληρο το σύστημα αλλά επίσης φέρει τη μαγνητική ροή που παράγεται από την περιέλιξη του πεδίου.

Πόλοι (Poles): Οι πόλοι συνδέονται με τον ζυγό με τη βοήθεια βιδών. Οι πόλοι είναι για να υποστηρίξουν το πεδίο περιελίξεις. Η περιέλιξη πεδίου είναι τυλιγμένη σε πόλους και συνδέεται σε σειρά ή παράλληλα με τον σπλισμό εκκαθάρισης ή μερικές φορές ξεχωριστά.

Pole shoe: Είναι ένα εκτεταμένο τμήμα του πόλου που εξυπηρετεί δύο σκοπούς, (i) για την αποτροπή του πεδίου και (ii) να απλωθεί ομοιόμορφα η ροή στο διάκενο αέρος.

Πυρήνας σπλισμού (Armature core): Ο πυρήνας σπλισμού είναι ο ρότορας μιας γεννήτριας. Ο πυρήνας σπλισμού έχει κυλινδρικό σχήμα, στο οποίο οι σχισμές παρέχονται για να φέρουν περιελίξεις σπλισμού

Συλλέκτες και ψήκτρες (Commutator and brushes): Για να διατηρηθεί η ροπή σε ένα μοτέρ συνεχούς ρεύματος κάθε φορά που το πηνίο μετακινείται διαμέσου του επιπέδου κάθετα προς το μαγνητικό πεδίο, χρησιμοποιείται μια συσκευή με διακεκομμένο δακτύλιο που ονομάζεται συλλέκτης, για να αντιστρέψει το ρεύμα σε αυτό το σημείο. Οι ηλεκτρικές επαφές στον περιστρεφόμενο δακτύλιο ονομάζονται ψήκτρες.

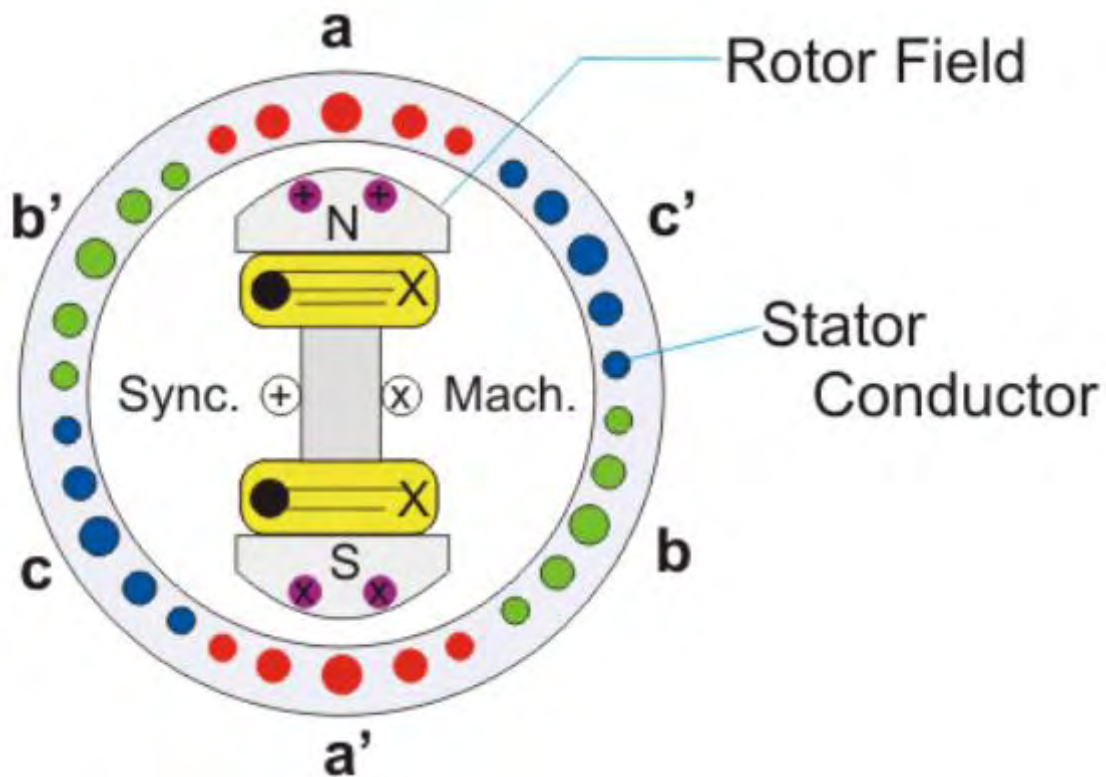
3.2.2.3 Σύγχρονες γεννήτριες

Ένας εναλλάκτης είναι ένας τύπος γεννήτριας εναλλασσόμενου ρεύματος, ο οποίος επίσης είναι γνωστός ως σύγχρονη γεννήτρια. Παρέχουν ηλεκτρική ενέργεια που χρησιμοποιείται από όλους τους τομείς των σύγχρονων κοινωνιών: βιομηχανικές, εμπορικές, γεωργικές και εγχώριες. Η απόδοση της όταν είναι εγκατεστημένη σε μια μεγάλη μονάδα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, κυμαίνεται από δεκάδες έως εκατοντάδες μεγαβάτ.

Η σύγχρονη γεννήτρια μετατρέπει τη μηχανική ισχύ σε εναλλασσόμενη ηλεκτρική ενέργεια. Η πηγή της μηχανικής ενέργειας, ο κύριος κινητήρας, μπορεί να είναι κινητήρας ντίζελ, ατμοστρόβιλος, υδραυλικός στρόβιλος ή οποιαδήποτε παρόμοια συσκευή. Για τις μηχανές υψηλής ταχύτητας, οι κύριες τεχνολογίες είναι συνήθως ατμοστρόβιλοι χρησιμοποιώντας ορुकτούς ή πυρηνικούς ενεργειακούς πόρους. Τα μηχανήματα χαμηλής ταχύτητας οδηγούνται συχνά από υδροστρόβιλους που χρησιμοποιούν νερό για παραγωγή.

Κατασκευαστικά, ένας εναλλάκτης (Εικόνα 32) αποτελείται από πόλους πεδίου που είναι τοποθετημένοι στο περιστρεφόμενο εξάρτημα του μηχανήματος, δηλ. ο δρομέας όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα. Ο ρότορας περιστρέφεται στον στάτορα, οι πόλοι του πεδίου είναι τοποθετημένοι στο ρότορα και οι αγωγοί σπλισμού βρίσκονται στον στάτορα. Μια

εναλλασσόμενη τριφασική τάση που αντιπροσωπεύεται από τα aa' , bb' , cc' επάγεται στους αγωγούς οπλισμού, με αποτέλεσμα να δημιουργείται τριφασική ηλεκτρική ισχύς.



Εικόνα 32: Κατασκευαστικά μέρη σύγχρονης γεννήτριας [117]

Τύποι σύγχρονης μηχανής

Σύμφωνα με τη διάταξη των περιελίξεων πεδίου και οπλισμού, οι σύγχρονες μηχανές μπορούν να ταξινομηθούν ως τύπος περιστρεφόμενου οπλισμού ή τύπου περιστροφικού πεδίου. Στον τύπο περιστρεφόμενου οπλισμού, η περιέλιξη του οπλισμού βρίσκεται στον δρομέα και το σύστημα πεδίου βρίσκεται στον στάτορα. Ενώ στον τύπο περιστρεφόμενου πεδίου, η περιέλιξη του οπλισμού βρίσκεται στον στάτορα και το σύστημα πεδίου είναι στο ρότορα.

Οι γεννήτριες AC χρησιμοποιούν την τεχνολογία με μια σταθερή περιέλιξη οπλισμού και ένα περιστρεφόμενο πεδίο σε αντίθεση με την περίπτωση γεννήτριας DC όπου η διάταξη είναι ακριβώς αντίθετη. Αυτή η τροποποίηση γίνεται για να αντιμετωπίσει την πολύ υψηλή ισχύ της τάξης των 100 Megawatts που παράγεται σε γεννήτρια εναλλασσόμενου ρεύματος σε αντίθεση με εκείνη μιας γεννήτριας DC.

Σύμφωνα με το σχήμα του πεδίου, τα σύγχρονα μηχανήματα μπορούν να ταξινομηθούν ως μηχανές κυλινδρικού ρότορα και μηχανές προεξέχοντος πόλου

Μηχανές κυλινδρικού ρότορα

Ο κυλινδρικός ρότορας χρησιμοποιείται γενικά για λειτουργία πολύ υψηλής ταχύτητας και σε εναλλάκτες που κινούνται με ατμοστρόβιλο, όπως οι τουρμπίνες. Τα μηχανήματα κατασκευάζονται σε αριθμό αξιολογήσεων από 10 MVA έως πάνω από 1500 MVA. Η μηχανή τύπου κυλινδρικού ρότορα, έχει ένα ομοιόμορφο μήκος προς όλες τις κατευθύνσεις, δίνοντας ένα κυλινδρικό σχήμα στον δρομέα παρέχοντας έτσι ομοιόμορφη κοπή ροής προς όλες τις κατευθύνσεις. Ο ρότορας, σε αυτή την περίπτωση, αποτελείται από έναν ομαλό κύλινδρο από συμπαγή χάλυβα, ο οποίος έχει έναν αριθμό σχισμών κατά μήκος της εξωτερικής του περιφέρειας για τη φιλοξενία των πηνίων πεδίου.

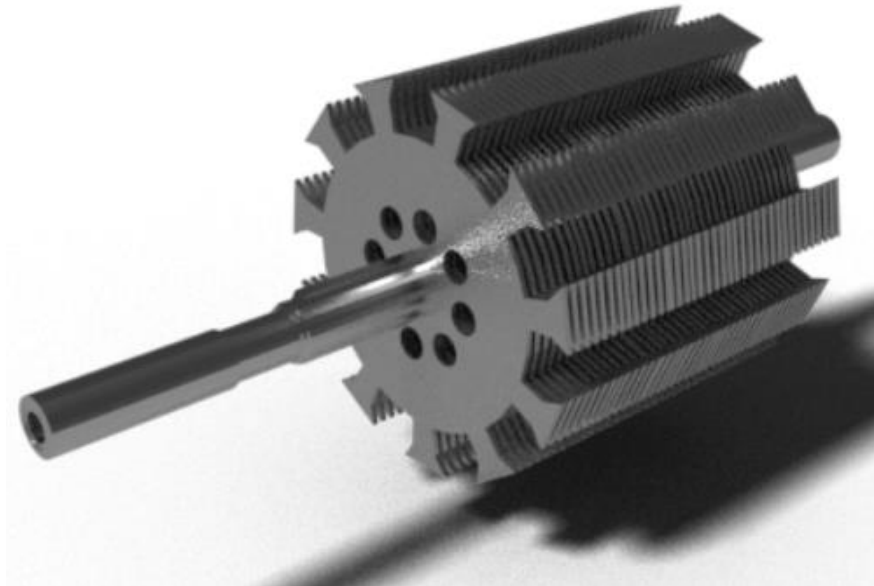
Οι εναλλάκτες κυλινδρικού στροφέα είναι γενικά σχεδιασμένοι για 2-πολικού τύπου που δίνουν πολύ μεγάλη ταχύτητα

$$N_s = \frac{(120 \times f)}{p} = \frac{(120 \times 50)}{2} = 3000 \text{ rpm}$$

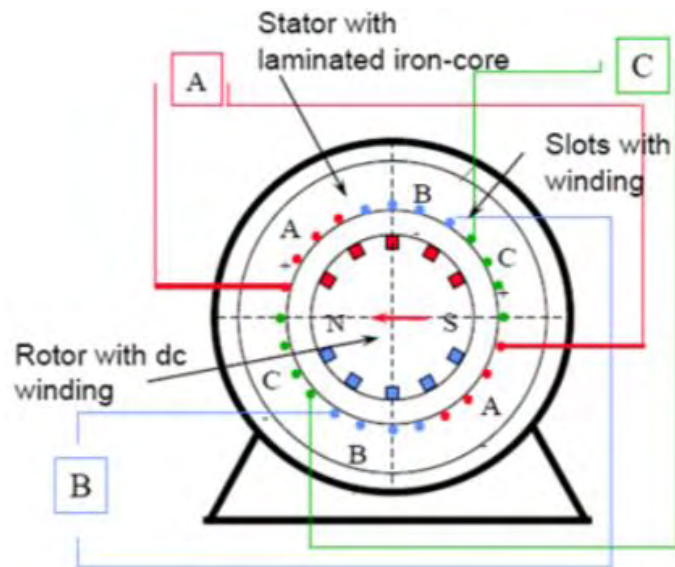
ή τύπου 4 πόλων που εκτελείται με ταχύτητα

$$N_s = \frac{(120 \times f)}{p} = \frac{(120 \times 50)}{4} = 1500 \text{ rpm}$$

Όπου, f είναι η συχνότητα 50 Hz.



Εικόνα 33: Εναλλάκτης κυλινδρικού στροφέα [\[117\]](#)

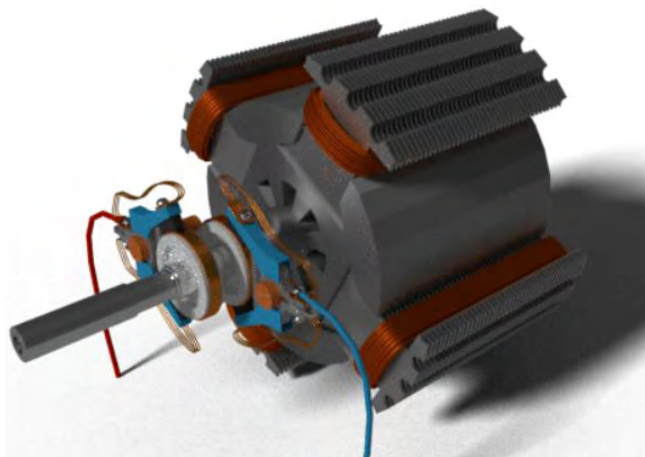


Εικόνα 34: Σχηματική αναπαράσταση μηχανής κυλινδρικού ρότορα [116]

- A. Ο στάτης είναι ένας δακτυλιοειδής σπειροειδής σίδηρος-πυρήνας με σχισμές
- B. Τριφασικές περιελίξεις τοποθετούνται στις υποδοχές
- C. στρογγυλό στερεό στροφέιο σιδήρου με σχισμές

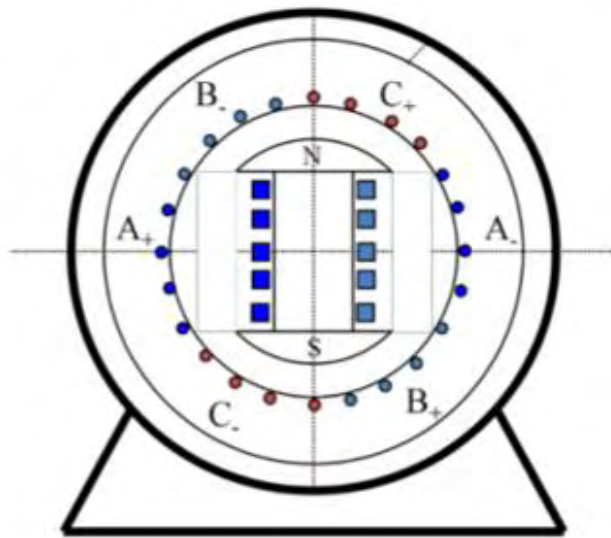
Μηχανές προεξέχοντος πόλου

Ο κύριος τύπος στροφέα αυτού του τύπου χρησιμοποιείται γενικά για μηχανές χαμηλής ταχύτητας με μεγάλες διαμέτρους και σχετικά μικρά αξονικά μήκη. Οι πόλοι, σε αυτή την περίπτωση, είναι φτιαγμένοι από χαλύβδινα τμήματα τα οποία είναι συνδεδεμένα μεταξύ τους και προσαρτημένα σε ένα ρότορα με τη βοήθεια της άρθρωσης.



Εικόνα 35: Εναλλάκτης μηχανές προεξέχοντος πόλου [117]

- Ο στάτορας έχει ελασματοποιημένο πυρήνα σιδήρου με εγκοπές και τριφασικές περιέλιξεις τοποθετημένες στις εγκοπές
- Ο ρότορας έχει πόλους διεγερμένους από το ρεύμα συνεχούς ρεύματος
- Το ρεύμα συνεχούς ρεύματος τροφοδοτείται στο ρότορα μέσω δακτυλίων ολίσθησης και βουρτσών
- Ο αριθμός των πόλων κυμαίνεται μεταξύ 2-128



Εικόνα 36: Σχηματική αναπαράσταση μηχανής προεξέχοντος πόλου [116]

3.2.2.4 Κινητήρας ντίζελ

Ένας κινητήρας ντίζελ είναι ένας τύπος μηχανής θερμότητας εσωτερικής καύσης, που τροφοδοτείται από ντίζελ. Αυτοί οι κινητήρες λειτουργούν μικρές γεννήτριες ηλεκτρικής ενέργειας που ονομάζονται γεννήτριες ντίζελ και χρησιμοποιούνται συχνά σε απομακρυσμένες περιοχές ενός υβριδικού συστήματος παραγωγής ενέργειας, καθώς και σε κινητήρες των αυτοκινήτων και των φορτηγών.

Η εκκίνηση ενός κινητήρα ντίζελ είναι πιο δύσκολη από την εκκίνηση ενός βενζινοκινητήρα λόγω του τρόπου με τον οποίο οι κινητήρες ντίζελ ανάβουν τα καύσιμα τους. Πιο αναλυτικά, η βαλβίδα εισαγωγής ανοίγει και ο καθαρός αέρας (χωρίς καύσιμο) εισέρχεται στον κύλινδρο. Καθώς το έμβολο ανεβαίνει, ο αέρας συμπιέζεται, προκαλώντας την αύξηση της θερμοκρασίας του. Στο τέλος της διαδρομής συμπίεσης, ο αέρας είναι αρκετά ζεστός ώστε να αναφλέγει το καύσιμο. Κοντά στην κορυφή της διαδρομής συμπίεσης, ο εγχυτήρας καυσίμου οδηγεί το

καύσιμο στον κύλινδρο. Το καύσιμο αμέσως αναφλέγεται κατά την επαφή με τον θερμαινόμενο πεπιεσμένο αέρα. Καθώς καίγεται το καύσιμο, το αέριο στον κύλινδρο θερμαίνεται και επεκτείνεται, οδηγώντας το έμβολο. Η βαλβίδα εξαγωγής ανοίγει και η εξάτμιση εξέρχεται από τον κύλινδρο.

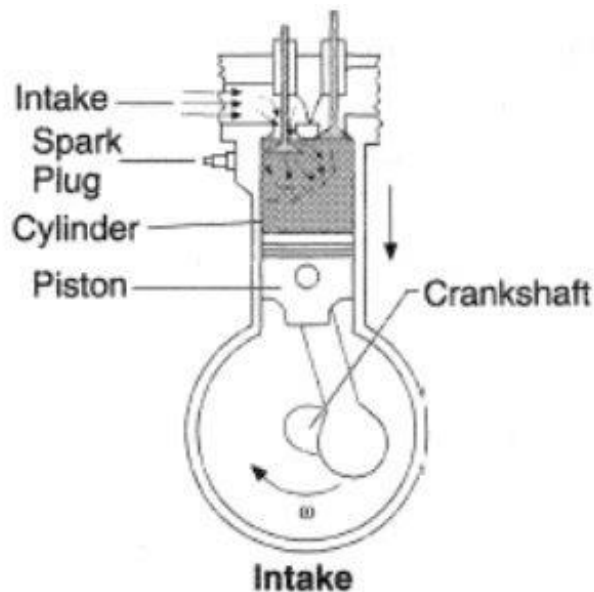
Παρακάτω παρουσιάζονται τα βασικά χαρακτηριστικά ενός κινητήρα diesel

Crankshaft: Η δουλειά αυτού του μέρους του κινητήρα ντίζελ είναι να μετατρέψει την κίνηση προς τα πάνω και προς τα κάτω του εμβόλου σε περιστροφική κίνηση.

Έμβολο: Το έμβολο κινείται πάνω και κάτω και αποτελεί ζωτικό μέρος του κυλίνδρου. Αποτελείται από πολλά μέρη.

Κύλινδροι: Οι κύλινδροι ενός κινητήρα είναι εκεί όπου γίνεται η εργασία. Το καύσιμο εγχέεται στους κυλίνδρους, όπου αναφλέγεται από τους μπουζί, το οποίο κινεί τα έμβολα και εργάζεται.

Spark plug: είναι μια συσκευή για την παροχή ηλεκτρικού ρεύματος από ένα σύστημα ανάφλεξης στο θάλαμο καύσης ενός κινητήρα για την ανάφλεξη του μίγματος πεπιεσμένου καυσίμου / αέρα με ηλεκτρικό σπινθήρα, ενώ περιέχει πίεση καύσης εντός του κινητήρα.



Εικόνα 37: Τα βασικά στοιχεία ενός κινητήρα diesel [47]

Συμπερασματικά, τα κύρια πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα των κινητήρων ντίζελ είναι τα εξής

- Πολύ απλός σχεδιασμός και απλή εγκατάσταση.
- Χαμηλό κόστος καυσίμων.
- Απαιτείται μικρότερη αποθήκευση για το καύσιμο.

- Για μικρές χωρητικότητες, το ντίζελ είναι πιο αποδοτικό σε σχέση με τον ατμό εργοστάσιο ηλεκτρισμού.
- Υψηλό κόστος συντήρησης και λειτουργίας.
- Το κόστος εγκατάστασης ανά kW είναι συγκριτικά μεγαλύτερο.
- Η διάρκεια ζωής του σταθμού παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας είναι μικρή λόγω της υψηλής συντήρησης.
- Ο θόρυβος είναι ένα σοβαρό πρόβλημα στη μονάδα παραγωγής ενέργειας ντίζελ.
- Η μονάδα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας Diesel δεν μπορεί να κατασκευαστεί για μεγάλη κλίμακα.

3.2.2.4 Μετασχηματιστές

Ένας μετασχηματιστής είναι μια συσκευή που αποτελείται από μια περιέλιξη, δύο ή περισσότερες συζευγμένες περιελίξεις, με ή χωρίς μαγνητικό πυρήνα, για επαγωγή αμοιβαίας σύζευξης μεταξύ κυκλωμάτων. Η λειτουργία του μετασχηματιστή βασίζεται στην αρχή, ότι η ηλεκτρική ενέργεια μεταφέρεται αποτελεσματικά με μαγνητική επαγωγή από ένα κύκλωμα σε άλλο. Όταν ένα τύλιγμα ενός μετασχηματιστή ενεργοποιείται από ένα εναλλασσόμενο ρεύμα (AC), ένα εναλλασσόμενο μαγνητικό πεδίο είναι στον πυρήνα του μετασχηματιστή.

Οι μετασχηματιστές χρησιμοποιούνται αποκλειστικά σε συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας για μεταφορά ισχύος μέσω ηλεκτρομαγνητικής επαγωγής μεταξύ κυκλωμάτων στην ίδια συχνότητα, συνήθως με μεταβαλλόμενες τιμές τάσης και ρεύματος. Χρησιμοποιούνται μετασχηματιστές ισχύος εκτεταμένα από τις παραδοσιακές εταιρείες ηλεκτρικής ενέργειας, τις μονάδες ηλεκτροπαραγωγής και τη βιομηχανία. Μετά τις γραμμές μεταφοράς, οι μετασχηματιστές αποτελούν τα σημαντικότερα στοιχεία συστημάτων μεταφοράς και διανομής.

Οι μεγάλοι μετασχηματιστές στους σταθμούς παραγωγής ενέργειας αυξάνουν την τάση εξόδου των γεννητριών εναλλασσόμενου ρεύματος σε υψηλότερες τιμές για αποδοτικότερη μετάδοση μέσω των γραμμών μεταφοράς, μειώνοντας ταυτόχρονα τις τρέχουσες τιμές. Οι μετασχηματιστές μπορούν επίσης να απομονώσουν κυκλώματα, και να ρυθμίσουν τη γραμμική τάση μεταξύ των υποσταθμών διανομής και των καταναλωτών.

Η απόδοση όλων των μετασχηματιστών ισχύος είναι υψηλή, αλλά η απόδοση είναι υψηλότερη για μεγάλοι μετασχηματιστές που λειτουργούν στο 50-100% του πλήρους φορτίου. Ωστόσο, υπάρχουν μερικές απώλειες σε όλους τους μετασχηματιστές. Είναι ταξινομημένα ως απώλειες χαλκού και απώλειες πυρήνα. Οι απώλειες χαλκού, που ονομάζονται επίσης απώλειες φορτίου, είναι ανάλογες με το φορτίο από τον μετασχηματιστή. Αυτές οι απώλειες μπορούν να υπολογιστούν για ένα δεδομένο φορτίο, εάν οι αντιστάσεις και των δύο περιελίξεων είναι

γνωστές. Η απώλεια πυρήνα, οφείλεται σε απώλεια επαγωγής που προκαλείται από την μεταβαλλόμενη πολικότητα του εφαρμοσμένου AC.

3.2.3 Μονάδες ανανεώσιμων πηγών ενέργειας

Οι μονάδες ανανεώσιμων πηγών ενέργειάς είναι αναπόσπαστο κομμάτι ενός υβριδικού συστήματος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Οι φιλικές προς το περιβάλλον τεχνολογίες παραγωγής ενέργειας θα διαδραματίσουν σημαντικό ρόλο στην μελλοντική παροχή ρεύματος. Οι τεχνολογίες ανανεώσιμης ενέργειας περιλαμβάνουν την παραγωγή ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, όπως αιολική, Φ / Β (φωτοβολταϊκά), βιομάζα, κύμα των ωκεανών και γεωθερμία.

Σε γενικές γραμμές, ο βασικός λόγος για την ανάπτυξη των παραπάνω ενεργειακών συστημάτων είναι ασφάλεια εφοδιασμού, μειωμένες εκπομπές άνθρακα, βελτιωμένη ποιότητα ισχύος και αξιοπιστία. Δεδομένου ότι οι ανανεώσιμοι πόροι είναι απεριόριστοι στη φύση, δίνει ένα σημαντικό πλεονέκτημα σε σχέση με τα συμβατικά καύσιμα που χρησιμοποιούνται στα μεγάλα συστήματα παραγωγής ενέργειας.

Το Υβριδικό Σύστημα Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας συνδυάζει δύο ή περισσότερες ανανεώσιμες πηγές ενέργειας με κάποια συμβατική πηγή (γεννήτρια πετρελαίου ή βενζίνης) μαζί με συστήματα αποθήκευσης, προκειμένου να ικανοποιηθεί η ζήτηση μιας περιοχής.

Ορισμένες διαμορφώσεις υβριδικών ανανεώσιμων συστημάτων που μπορούν να συνδυαστούν σε ικανοποιητικό βαθμό είναι οι ακόλουθες:

- PV/Ανεμογεννήτρια/γεννήτρια ντίζελ
- PV/Ανεμογεννήτριες/κυψέλες καυσίμου
- Γεννήτρια βιομάζας /Ανεμογεννήτριες/πετρελαιοκινητήρας
- PV/Ανεμογεννήτριες/Βιομάζα/κυψέλες καυσίμου

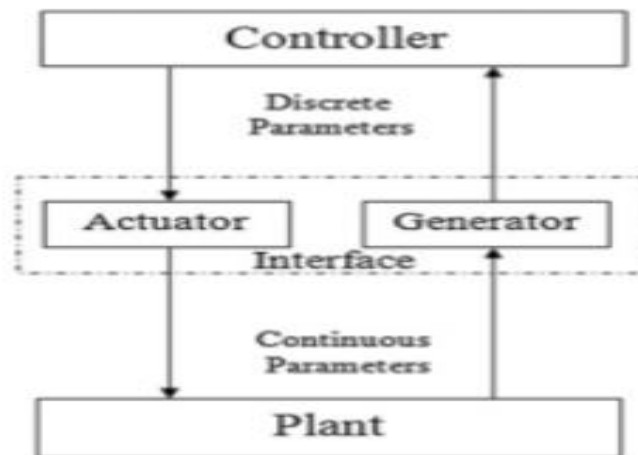
3.3 Έλεγχος του Υβριδικού συστήματος

3.3.1 Εποπτικός έλεγχος

Ο εποπτικός έλεγχος για υβριδικά συστήματα ισχύος, θα πρέπει να παρακολουθεί συνεχώς την κατάσταση λειτουργίας του συστήματος και να την διατηρεί εντός του καθορισμένου στόχου. Οι ενέργειες ελέγχου πρέπει να εξασφαλίζουν ότι οι επιχειρησιακοί στόχοι του συστήματος

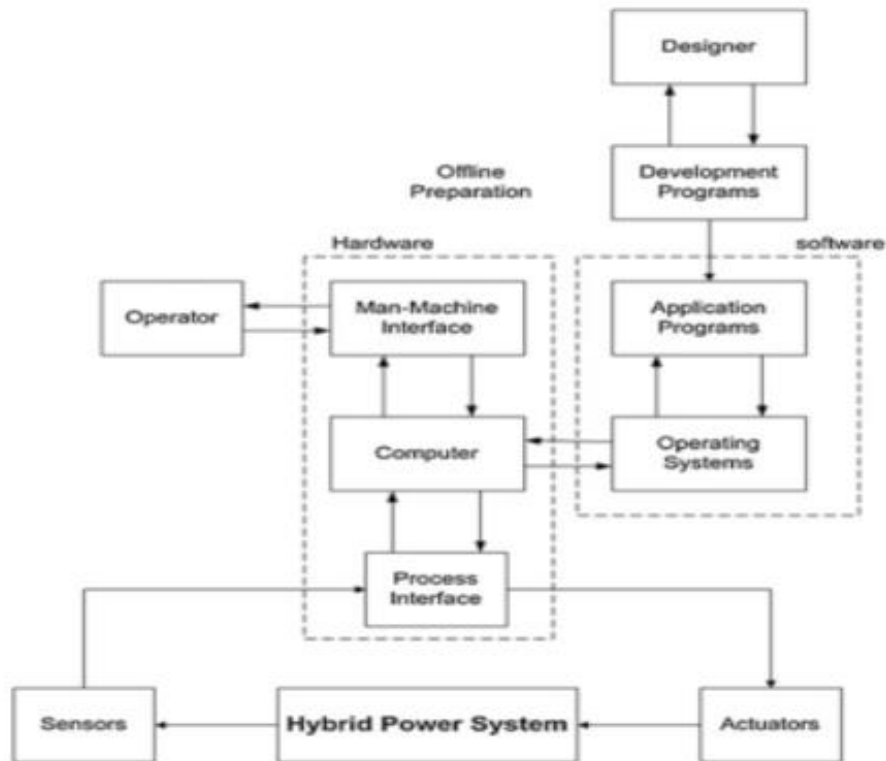
επιτυγχάνονται και διατηρούνται, παρά τις αβεβαιότητες και τους περιορισμούς των πόρων. Θα μπορούσε επίσης να ενεργήσει και για την αποτροπή κρίσιμων καταστάσεων που επηρεάζουν την ασφάλεια του συστήματος. Ουσιαστικά πρωταρχικός στόχος, είναι η βελτιστοποίηση της παροχής ηλεκτρικής ισχύος. Δύο βασικά καθήκοντα είναι απαραίτητα για την επίτευξη αυτού: βελτίωση της απόδοσης του συστήματος (για παράδειγμα, αύξηση της εξοικονόμησης καυσίμων ή μείωση του κόστους παραγωγής) και τήρηση των λειτουργικών παραμέτρων (συχνότητα και τάση, φορτίο στους κινητήρες ντίζελ κ.λπ.) εντός των ορίων τους.

Όπως φαίνεται στην Εικόνα 38, ένα σύστημα ελέγχου εποπτείας περιλαμβάνει τρία βασικά μέρη, την μονάδα παραγωγής, την διασύνδεση και τον ελεγκτή. Ωστόσο για την βέλτιστη λειτουργία του συστήματος ελέγχου, χρησιμοποιείται και ο κατανεμημένος έλεγχος. Αυτό σημαίνει ότι, ο εποπτικός ελεγκτής επιβλέπει τη λειτουργία του συστήματος συνολικά, ενώ ο έλεγχος λειτουργίας κατανέμεται μεταξύ τοπικών ελεγκτών και ρυθμιστών. Ο διανεμημένος έλεγχος επιτρέπει στα εξαρτήματα του συστήματος να χρησιμοποιούν δικά τους συστήματα ελέγχου. Για παράδειγμα, ένα σύστημα παραγωγής αιολικής ενέργειας έχει ρυθμιστή τάσης για να ελέγχει την τάση εξόδου του και ένα σύστημα ανορθωτή-μετατροπέα για να διατηρεί την συχνότητα εξόδου σε συχνότητα ρεύματος.



Εικόνα 38: Σύστημα ελέγχου εποπτείας [50]

Επιπλέον, ο εποπτικός έλεγχος μπορεί να καθορίσει τα σημεία ρύθμισης για διαφορετικά στοιχεία σε διαφορετικούς τρόπους λειτουργίας και να τα στείλει στους αντίστοιχους τοπικούς ελεγκτές. Για τις ανεμογεννήτριες, τα καθορισμένα σημεία θα μπορούσαν να είναι η τιμή ισχύος εξόδου και η τάση εξόδου. Η Εικόνα 39 απεικονίζει ένα σχέδιο του συστήματος εποπτείας. Το σύστημα αποτελείται από δύο βασικά μέρη: υλικό και λογισμικό. Το υλικό απεικονίζεται από τον τύπο του υπολογιστή και τα χαρακτηριστικά του.



Εικόνα 39: Σχηματική αναπαράσταση του προβλήματος ενός εποπτικού ελέγχου [50]

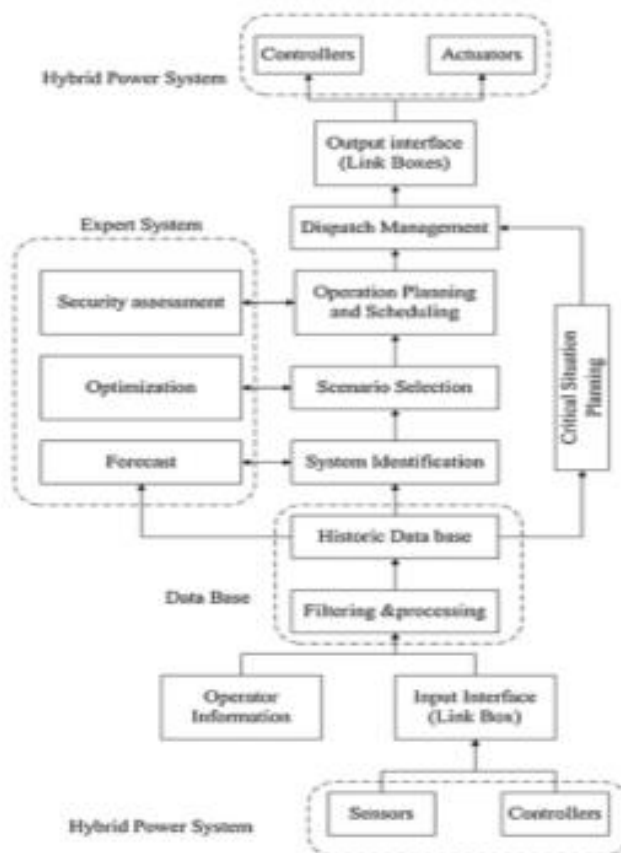
Σε υβριδικά συστήματα με λειτουργία εποπτικού ελεγκτή, τα οποία έχουν μεγάλη διείσδυση ανανεώσιμης ενέργειας, οι συμβατικές γεννήτριες των οποίων το κόστος των καυσίμων είναι σημαντικό, μπορεί να απενεργοποιηθεί όταν η ενέργεια που παράγεται από την παραγωγή ανανεώσιμης ενέργειας είναι αρκετά υψηλή για να καλύψει τη ζήτηση. Εάν το φορτίο και η πρόβλεψη της ανανεώσιμης ενέργειας μπορούν να καθοριστούν, θα ήταν δυνατό να προγραμματιστεί η κατάσταση των συμβατικών γεννητριών να λειτουργούν σε καθορισμένες χρονικές περιόδους.

Για την βέλτιστη λειτουργία του εποπτικού ελέγχου, θα πρέπει να καθοριστούν οι στρατηγικές λειτουργίας του συστήματος. Οι ακόλουθες παράμετροι πρέπει να λαμβάνονται υπόψη κατά τη λειτουργία του υβριδικού συστήματος

- Τα χαρακτηριστικά της ζήτησης και οι εποχιακές διακυμάνσεις
- Τα χαρακτηριστικά των ανανεώσιμων πόρων, όπως οι μέσες τιμές, ακραίες τιμές, ημερήσιες και εποχιακές αλλαγές στην παραγωγή κ.λπ.
- Τα χαρακτηριστικά των συμβατικών γεννητριών, όπως η ειδική κατανάλωση καυσίμου, τα όρια λειτουργίας
- Η διαμόρφωση του συστήματος, δηλαδή ο αριθμός και ο τύπος των στοιχείων (γεννήτριες ανανεώσιμης ενέργειας, συμβατικές γεννήτριες, ελεγχόμενα φορτία, τύπος αποθήκευση, κ.λπ.).
- Απαιτήσεις ποιότητας ισχύος, η απαιτούμενη ποιότητα της προσφοράς

3.3.2 Η Αρχιτεκτονική του Συστήματος Ελέγχου

Η Εικόνα 40 απεικονίζει την αρχιτεκτονική του εποπτικού ελεγκτή. Αξίζει να σημειωθεί ότι τα βέλη στην Εικόνα 40 δεν δείχνουν την πραγματική ροή πληροφοριών αλλά απεικονίζουν τη ροή ελέγχου της διαδικασίας ελέγχου εποπτείας.



Εικόνα 40: Αρχιτεκτονική του εποπτικού ελεγκτή [50]

Τα δεδομένα από τους αισθητήρες(Sensors) και τα μηνύματα από τον ελεγκτή(Controllors) αποστέλλονται στην είσοδο. Ο χειριστής(Operator) μπορεί να συνδεθεί με το σύστημα ελέγχου για την παροχή πληροφοριών, την αλλαγή παραμέτρων και την επιλογή στρατηγικών λειτουργίας.

Τα δεδομένα εισόδου(Input) αποθηκεύονται στη μονάδα βάσης δεδομένων(Data Base) που είναι κοινή βάση δεδομένων. Τα λαμβανόμενα δεδομένα φιλτράρονται(filtering) και αναλύονται(processing) σε αυτήν την ενότητα και οι πληροφορίες στη βάση δεδομένων μπορούν να προσπελαστούν από τα άλλα μέρη του ελεγκτή για περαιτέρω ανάλυση. Προς την εκτέλεση προσομοίωσης και την αξιολόγηση ασφαλείας του συστήματος την ενημέρωση των ιστορικών δεδομένων βάσης χρησιμοποιούνται από άλλα μέρη του συστήματος.

Όσον αφορά το δυναμικό έλεγχο του συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας δεν είναι καθήκον εποπτικού ελεγκτή, οι υπολογισμοί και οι πληροφορίες σχετικά με την ανώμαλη κατάσταση δεν περιλαμβάνονται στο πληροφορίες βάσης δεδομένων.

Η αναγνώριση της τρέχουσας κατάστασης του συστήματος με βάση τις τιμές των μεταβλητών κατάστασης είναι που ερμηνεύεται από τη μονάδα αναγνώρισης συστήματος(System Identification). Η είσοδος αυτής της μονάδας είναι η πληροφορίες της βάσης δεδομένων. Αυτή η πληροφορία αποτελείται από παραμέτρους δικτύου και κατάσταση λειτουργίας. Αυτή η ενότητα αναγνωρίζει το τρέχον λειτουργικό σύστημα και προβλέπει σύντομα χρονικά γεγονότα του συστήματος.

Βελτιστοποίηση(optimization) της λειτουργίας του συστήματος μέσω επιλογής ενεργειών και αντιστάθμισης αλλαγές στις παραμέτρους του συστήματος και διατήρηση των συνθηκών λειτουργίας των συμβατικών γεννήτριες, μονάδα επιλογής σεναρίων(Scenario Selection). Θα πρέπει να σημειωθεί ότι ο κατάλογος των οι πιθανές ενέργειες δημιουργούνται ανάλογα με τον κύριο στόχο, τη διαμόρφωση του συστήματος, και τους περιορισμούς. Αυτή η ενότητα λαμβάνει αποφάσεις σχετικά με την ενεργοποίηση / απενεργοποίηση των εξαρτημάτων και τις παραμέτρους των παραμέτρων ελέγχου.

Οι πιθανές ενέργειες αποστέλλονται στη λειτουργική μονάδα προγραμματισμού και προγραμματισμού(operation planning and scheduling) και δημιουργείται ένα σχέδιο για επιλεγμένη δράση. Η προγραμματισμένη ενέργεια εκτελείται στο μονάδα διαχείρισης αποστολής (dispatch management module). Αυτή η ενότητα συνδέεται με τη διασύνδεση όλων των στοιχείων μέσω της μονάδας διασύνδεσης εξόδου(output interface). Αυτή η ενότητα μεταφράζει τις εντολές και μηνύματα και αποστέλλει σήματα και εντολές σε ενεργοποιητές (actuators) και ελεγκτές(controllers).

Η ενότητα προγραμματισμού κρίσιμων καταστάσεων(critical situations planning) περιέχει προκαθορισμένους κανόνες και ενέργειες προς αντισταθμίζουν μεγάλες διαταραχές στο σύστημα. Περνάει το βασικό μοντέλο απόφασης όταν εντοπίζονται καταστάσεις κρίσιμης σημασίας για την ασφάλεια. Αυτό επιτρέπει στον εποπτικό φορέα ελεγκτή να ενεργεί πολύ γρήγορα σε περίπτωση έκτακτης ανάγκης (ή σοβαρού συναγερμού) για να προστασία του συστήματος

Η ενότητα ειδικών συστημάτων(expert systems) περιλαμβάνει τρία ξεχωριστά καθήκοντα: πρόβλεψη (forecast), βελτιστοποίηση(optimization) και αξιολόγηση ασφαλείας (security assessment). Αυτά τα συστήματα εμπειρογνομώνων χρησιμοποιούνται για τη βελτίωση της αποτελεσματικότητας του αλγορίθμου ελέγχου. Αρκετές μέθοδοι για πρόβλεψη, βελτιστοποίηση και ασφάλεια η αξιολόγηση μπορεί να εφαρμοστεί και η δομή του προγράμματος επιτρέπει στο χρήστη να επιλέξετε τους αλγόριθμους (μεθόδους) που θα συμπεριληφθούν στο σύστημα ελέγχου.

3.4 Προοπτικές και Μελλοντικές βελτιώσεις

Οι μελλοντικές προσπάθειες έρευνας και ανάπτυξης μπορούν να ενισχύσουν τη χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Η βελτιωμένη τεχνολογία των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας μπορεί να μειώσει το κόστος σε βαθμό συγκρίσιμο με την συμβατική παραγωγή ενέργειας. Η αποτελεσματική και βέλτιστη χρήση των πηγών ενέργειας σε αυτόνομα συστήματα, μπορεί να βοηθήσει στην ικανοποίηση των ενεργειακών απαιτήσεων των απομακρυσμένων περιοχών και να τους καταστήσει αυτόνομα. Επιπλέον, η κυβέρνηση μπορεί να παρέχει οφέλη για την προώθηση της χρήσης ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, με την επιβολή κατάλληλων μέτρων για την ενίσχυση των συστημάτων με ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Ωστόσο οι περισσότερες πολιτικές που βασίζονται σε κίνητρα για την προώθηση της ίδρυσης των μονάδων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, θα πρέπει να αναπτυχθούν από την κυβέρνηση, για την πλήρη ένταξη τους στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Παρόλα αυτά, τα υβριδικά συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας έχουν προχωρήσει πολύ από την άποψη της έρευνας και της ανάπτυξης. Οι προκλήσεις που αντιμετωπίζουν όμως για την βέλτιστη χρήση τους είναι μια βασική προτεραιότητα.

Τεχνικά ζητήματα

- Η τεχνολογία της ηλεκτρονικής ισχύος έχει μια τεχνολογική πρόοδο λόγω της ανάπτυξης της ταχύτητας απόκρισης των ημιαγωγών υψηλής ισχύος καθώς και των ελεγκτών πραγματικού χρόνου με δυνατότητα χειρισμού πολύπλοκων αλγορίθμων ελέγχου που λειτουργούν σε ένα ισχυρό περιβάλλον. Οι απώλειες που σχετίζονται με τους ηλεκτρονικούς μετατροπείς ισχύος, είναι σε ικανοποιητικό επίπεδο. Ωστόσο, πρέπει να διασφαλιστεί ότι υπάρχει η ελάχιστη απώλεια ισχύος σε αυτούς τους μετατροπείς.
- Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, όπως η ηλιακή Φωτοβολταϊκή ενέργεια, χρειάζονται μια βελτιωμένη τεχνολογία για να αξιοποιηθεί σε μεγαλύτερο βαθμό η παραγωγικότητά τους. Η χαμηλή απόδοση της ηλιακής Φ / B είναι σημαντικό εμπόδιο στην ενθάρρυνση της χρήσης του.
- Τα συστήματα αποθήκευσης θεωρούνται αναπόσπαστο μέρος των εγκαταστάσεων για την χρήση των υβριδικών συστημάτων. Διαφορετικά είδη συστημάτων αποθήκευσης ενέργειας χρησιμοποιούνται για την εκμετάλλευση μικρής και μεγάλης ισχύος σε διάφορες περιοχές του κόσμου. Τα οφέλη περιλαμβάνουν τη σταθεροποίηση του δικτύου, την ποιότητα ισχύος, την διαχείριση, την επίβλεψη και τις λειτουργικές υποστηρίξεις του δικτύου. Παράλληλα όμως οι συσκευές αποθήκευσης, όπως οι μπαταρίες, πρέπει να αυξήσουν τον κύκλο ζωής τους μέσω καινοτόμων τεχνολογιών, έτσι ώστε να μειώσουν το συνολικό κόστος της υβριδικής μονάδας.
- Η εφαρμογή των υβριδικών συστημάτων περιλαμβάνει και ορισμένα ζητήματα προστασίας. Η διάθεση συσκευών αποθήκευσης, όπως μπαταρίες και οι δεξαμενές

υδρογόνου, προκαλούν ανησυχίες σχετικά με την ασφάλεια. Ως εκ τούτου, πρέπει να εγκατασταθούν κατάλληλες διατάξεις προστασίας για την ασφάλεια.

- Είναι απαραίτητο να αναπτυχθεί μια ακριβή τεχνική βελτιστοποίησης τύπου γεωγραφικό λογισμικό για να μπορεί να υπολογιστεί με ακρίβεια το δυναμικό της ηλιακής ακτινοβολίας και της ταχύτητας του ανέμου.

Οικονομικά ζητήματα

- Το κόστος κατασκευής των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας κρίνεται αρκετά δαπανηρό. Για τον λόγο αυτό, η μείωση του κόστους κατασκευής θα αποτελέσει κίνητρο στον ενεργειακό κλάδο, έτσι ώστε να δημιουργηθούν αντίστοιχα συστήματα με μεγαλύτερη συχνότητα.

Κοινωνικοπολιτικά ζητήματα

- Η σημερινή εποχή με τις μεγάλες ενεργειακές απαιτήσεις, μπορεί να θεωρηθεί ως ένας από τους βασικούς παράγοντες για την ενθάρρυνση του υβριδικού συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας. Προκειμένου να διασφαλιστεί η διάθεση της ηλεκτρικής ενέργειας σε όλους ανεξάρτητα από την περιοχή, πρέπει παρθούν σημαντικές αποφάσεις από την κοινωνία και από τους πολιτικούς φορείς
- Η παροχή ηλεκτρικού ρεύματος στις αγροτικές περιοχές είναι εξαιρετικά ανεπαρκής, έτσι ώστε η πλειοψηφία των ανθρώπων να μην έχει πρόσβαση στη σύγχρονη ενέργεια. Τις τελευταίες δεκαετίες, αρκετές έρευνες υποστηρίζουν την ανάπτυξη της υβριδικής τεχνολογίας ως εναλλακτική λύση στην έλλειψη ενέργειας στην ύπαιθρο. Η φιλοδοξία αυτή θα μπορούσε να μειώσει το χάσμα στις κοινωνικές αποκλίσεις μεταξύ του αστικού και του αγροτικού πληθυσμού.
- Η πολιτική για τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, αποτελεί κινητήρια δύναμη για την αυξανόμενη επιδίωξη της χρησιμοποίησης του υβριδικού συστήματος. Υπάρχει ένας αυξανόμενος αριθμός χωρών σε όλο τον κόσμο που θεσπίζουν πολιτικές σχετικά με την ενσωμάτωση της ανανεώσιμης ενέργειας οι οποίες διαφέρουν από χώρα σε χώρα.
- Οι επιχορηγήσεις για τις τεχνολογίες χαμηλών εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα μπορούν αποδώσουν μακροπρόθεσμα οικονομικά και περιβαλλοντικά οφέλη. Επί του παρόντος, θα πρέπει να γίνει άμεση προτεραιότητα η παροχή επιδοτήσεων για την ανάπτυξη αυτών των συστημάτων σε διάφορες περιοχές, ως στρατηγική για τη μείωση των εκπομπών του άνθρακα.

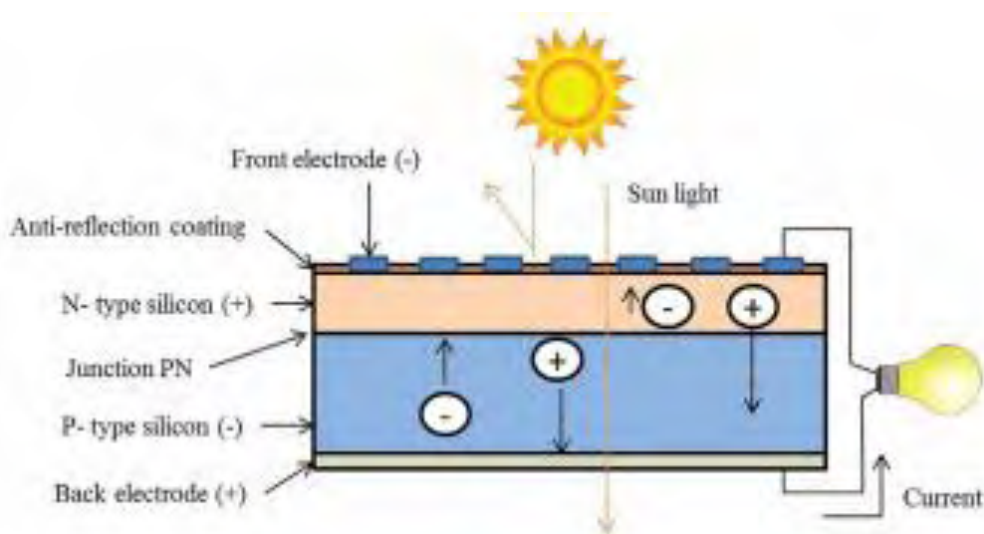
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

Φωτοβολταϊκά Συστήματα

4.1 Εισαγωγή

4.1.1 Ορισμός και Εφαρμογές

Η Φωτοβολταϊκή ενέργεια (συντομογραφία PV) είναι ο πιο άμεσος τρόπος μετατροπής της ηλιακής ακτινοβολίας σε ηλεκτρική ενέργεια, η οποία βασίζεται στο φωτοβολταϊκό φαινόμενο. Γενικά, ορίζεται ως η εμφάνιση ηλεκτρικής τάσης μεταξύ δύο ηλεκτροδίων συνδεδεμένων σε ένα στερεό ή υγρό σύστημα, κατά τη λάμψη του φωτός πάνω σε αυτό. Πρακτικά όλες οι φωτοβολταϊκές συσκευές ενσωματώνουν μια σύνδεση p-n σε ένα ημιαγωγό κατά μήκος του Φωτοβολταϊκού. Αυτές οι συσκευές είναι επίσης γνωστές ως ηλιακά κύτταρα, όπου η απορρόφηση του φωτός λαμβάνει χώρα σε υλικό ημιαγωγού.



Εικόνα 41: Φωτοβολταϊκό κύτταρο [71]

Η Φωτοβολταϊκή τεχνολογία ενθουσίασε όχι μόνο τους ερευνητές αλλά και το ευρύ κοινό. Τα ισχυρά σημεία της είναι τα εξής: άμεση μετατροπή της ηλιακής ακτινοβολίας σε ηλεκτρική ενέργεια χωρίς μηχανικά κινούμενα μέρη, θόρυβο, υψηλές θερμοκρασίες και ρύπανση. Επιπλέον οι φωτοβολταϊκές μονάδες έχουν πολύ μεγάλη διάρκεια ζωής, το οποίο έχει ως αποτέλεσμα το χαμηλό κόστος συντήρησης. Επίσης η συγκεκριμένη τεχνολογία, είναι μια ευέλικτη πηγή ενέργειας, η ισχύς της κυμαίνεται από μικροκύματα έως μεγαβάτ. Αναφορικά

με τις εφαρμογές της Φωτοβολταϊκής τεχνολογίας, έχει χρησιμοποιηθεί σε διάφορους τομείς και ικανοποιεί σε μεγάλο βαθμό τις εκάστοτε ανάγκες. Οι βασικές εφαρμογές που έχει επίδραση η ΦΒ τεχνολογία είναι οι εξής:

- Η Φωτοβολταϊκή ενέργεια μετατρέπεται σε ηλεκτρική ενέργεια και εφαρμόζεται στον εξοπλισμό διαστημικών οχημάτων. Το ηλιακό κύτταρο που χρησιμοποιείται είναι το αρσενικό, το οποίο παρά το μεγαλύτερο κόστος σε σύγκριση με αυτό του πυριτίου, επιτυγχάνει καλύτερες επιδόσεις.
- Χρησιμοποιείται για φωτισμό χώρων στάθμευσης, σήμανσης και άλλων υπαίθριων χώρων. Τα φωτοβολταϊκά πάνελ είναι συνήθως τοποθετημένα στη δομή φωτισμού ή ενσωματωμένο στον ίδιο τον πόλο και φέρει μια επαναφορτιζόμενη μπαταρία, η οποία ενεργοποιεί τους λαμπτήρες.
- Η κατασκευή ενσωματωμένων φωτοβολταϊκών συστημάτων: Πρόκειται για ένα σύνολο φωτοβολταϊκών συστημάτων και τεχνολογιών για την παραγωγή αυτόνομης ηλεκτρικής ενέργειας, που ενσωματώνονται στο κτίριο σε στέγες και προσόψεις.
- Χρησιμοποιείται για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας σε μεμονωμένους τηλεπικοινωνιακούς σταθμούς για τη λειτουργία των ραδιοφώνων επικοινωνίας, σε συσκευές ραδιοεπικοινωνίας, τηλεμετρικά, δημόσια τηλέφωνα, PLC και βιντεοκάμερες. Παρέχει αξιοπιστία και χαμηλό επίπεδο συντήρησης

4.1.2 Ιστορική αναδρομή

Η ιστορία της ανάπτυξης του Φωτοβολταϊκού φαινομένου ξεκινάει από τον 19ο αιώνα όταν ο Γάλλος φυσικός Edmond Becquerel περιέγραψε για πρώτη φορά το φωτοβολταϊκό φαινόμενο το 1839, αλλά παρέμεινε στάσιμη για τον επόμενο μισό αιώνα. Στην ηλικία των 19 ετών, ο Becquerel διαπίστωσε ότι ορισμένα υλικά μπορούν να παράγουν μικρές ποσότητες ηλεκτρικού ρεύματος όταν εκτίθεται σε φως. Στη δεκαετία του 1870, ο William Adams και η Richard Day, έδειξαν ότι το φως μπορεί να παράγει ηλεκτρικό ρεύμα σε σελήνιο. Τότε ο Charles Fritts εφηύρε το πρώτο φωτοβολταϊκό κύτταρο χρησιμοποιώντας σελήνιο το 1883, το οποίο μετατρέπει το φως σε ηλεκτρισμό με απόδοση περίπου 1%.

Κατά τη διάρκεια του δεύτερου μισού του 20ού αιώνα, η Φ/Β επιστήμη ήταν εκλεπτυσμένη και πιο ολοκληρωμένη διαδικασία. Κύρια βήματα προς την κατεύθυνση της εμπορικής εκμετάλλευσης των φωτοβολταϊκών πραγματοποιήθηκε στη δεκαετία του 1940 και του 1950, όταν η διαδικασία Czochralski αναπτύχθηκε για την παραγωγή εξαιρετικά καθαρού κρυσταλλικού πυριτίου. Το 1954, οι επιστήμονες στα Bell Laboratories με την βοήθεια της

θεωρίας από τον Czochralski ανέπτυξαν το πρώτο φωτοβολταϊκό κύτταρο κρυσταλλικού πυριτίου, το οποίο είχε απόδοση μετατροπής 4%.

Οι γρήγορες τεχνολογικές εξελίξεις την τελευταία 20ετία σε συνδυασμό με δραματική πτώση του κόστους της φωτοβολταϊκής τεχνολογίας, έχει ανοίξει τον δρόμο για την ανάπτυξη μεγάλης κλίμακας στοιχείων, ικανών να αλλάξουν τα δεδομένα. Υπάρχει ένα ευρύ φάσμα τεχνολογιών φωτοβολταϊκών κυψελών στην αγορά σήμερα, χρησιμοποιώντας διαφορετικούς τύπους υλικών και ένας ακόμη μεγαλύτερος αριθμός θα είναι διαθέσιμος στο μέλλον.

4.1.3 Τεχνολογίες Φωτοβολταϊκών ηλιακών στοιχείων

Τα παραδοσιακά ηλιακά κύτταρα από πυρίτιο, είναι σήμερα τα πιο διαδεδομένα και διατίθενται για οικιακή χρήση και αντιπροσωπεύουν περίπου το 80% του συνόλου του ηλιακού ενεργειακού πάνελ που πωλούνται σε όλο τον κόσμο. Είναι ένα ημιαγώγιμο υλικό κατάλληλο για φωτοβολταϊκές εφαρμογές, με χάσμα ενεργειακής ζώνης 1,1 eV. Τα κύτταρα κρυσταλλικού πυριτίου ταξινομούνται σε τρεις κατηγορίες: Μονοκρυσταλλικά (Mono c-Si), πολυκρυσταλλικά (Poly c-Si) και άμορφα κύτταρα.



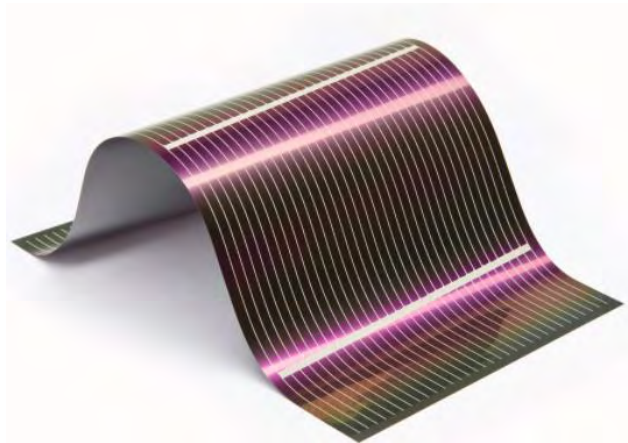
Εικόνα 42: Τεχνολογία Μονοκρυσταλλικού υλικού κύτταρου [\[72\]](#)

Η παλαιότερη τεχνολογία ηλιακών κυττάρων, είναι τα ηλιακά κύτταρα που κατασκευάζονται από λεπτές πλάκες πυριτίου. Αυτά ονομάζονται μονοκρυσταλλικά ηλιακά κύτταρα. Η εμπορική παραγωγή τους ξεκίνησαν το 1963 όταν η Sharp Corporation της Ιαπωνίας άρχισε να παράγει εμπορικά Φωτοβολταϊκά πλαίσια και εγκατέστησε φωτοβολταϊκή γεννήτρια 242 Watt (W). Σε σύγκριση με τους άλλους τύπους ηλιακών φωτοβολταϊκών, έχουν υψηλότερη απόδοση (έως 26%). Το πολυκρυσταλλικό πυρίτιο και το άμορφο πυρίτιο είναι πολύ λιγότερο καθαρά από το μονόκρυσταλλικό πυρίτιο αλλά σε πολλές περιπτώσεις χρησιμοποιούνται επειδή είναι

λιγότερο δαπανηρά. Η υψηλότερη καταγεγραμμένη αποτελεσματικότητα για το πολυκρυσταλλικό πυριτίο είναι 21%.

Τα ηλιακά κύτταρα πυριτίου έχουν συνήθως δύο στρώσεις: ένα θετικό στρώμα (τύπου p) και αρνητικό στρώμα (τύπου n). Το θετικό στρώμα συνήθως γίνεται με βόριο για να δημιουργεί επιπλέον θέσεις για να δεχτούν ένα επιπλέον ηλεκτρόνιο στο πλέγμα πυριτίου, και το αρνητικό στρώμα είναι με φώσφορο για να έχει επιπλέον ηλεκτρόνια διαθέσιμα στο πλέγμα πυριτίου.

Τα ηλιακά κύτταρα δεύτερης γενιάς είναι επίσης γνωστά ως λεπτά φιλμ ηλιακών κυττάρων γιατί σε σύγκριση με του κρυσταλλικού πυριτίου, προέρχονται από κύτταρα με στρώματα πάχους μόνο μερικών μικρομέτρων. Μετά από 20 χρόνια έρευνας και ανάπτυξης, ξεκινούν τα ηλιακά κύτταρα λεπτής μεμβράνης να αναπτύσσονται σε σημαντικές ποσότητες λόγω ότι θα μπορούσαν ενδεχομένως να παρέχουν χαμηλότερες τιμές κόστους ηλεκτρισμού από τα ηλιακά κύτταρα που βασίζονται σε c-Si.



Εικόνα 43: Τεχνολογία λεπτών φιλμ [\[73\]](#)

Τα ηλιακά κύτταρα λεπτής μεμβράνης αποτελούνται από διαδοχικά λεπτά στρώματα, πάχους 1 έως 4 μm , και εναποτίθεται σε ένα μεγάλο, υπόστρωμα όπως γυαλί ή μέταλλο. Λεπτές ταινίες μπορούν να συσκευάζονται σε εύκαμπτες και ελαφρές κατασκευές, τα οποία μπορούν εύκολα να ενσωματωθούν στο κτίριο. Η δεύτερη γενιά ηλιακών κυψελών που αντιστοιχούν περίπου στο 20% των συνολικών πάνελ που πωλήθηκαν κατά το παρελθόν, χωρίζονται σε τρεις βασικούς τύπους: Το άμορφο πυριτίο (a-Si και a-Si / $\mu\text{C-Si}$), το Τελλουρίδιο καδμίου (Cd-Te) και το διμεθυλενίο χαλκού. Επιπλέον έχουν ένα ανώτερο στρώμα που ονομάζεται στρώμα περιτύλιξης από μεγάλο υλικό διάκενου ζώνης που απορροφά την υψηλότερη ενέργεια φωτονίων και ένα κάτω στρώμα που ονομάζεται απορροφητής, κατασκευασμένο από ένα μικρότερο διάκενο ταινίας, το οποίο απορροφά τα χαμηλότερα φωτόνια ενέργειας. Ωστόσο η απόδοση αυτών των ηλιακών κυττάρων δεν κρίθηκε ικανοποιητική. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα, μια διαφορετική γενιά ηλιακών κυττάρων να έρχεται στην επιφάνεια.

Τα ηλιακά κύτταρα τρίτης γενιάς είναι διαφορετικά από τις προηγούμενες δύο γενιές επειδή δεν βασίζονται στον σχεδιασμό της διασταύρωσης p-n όπως τα υπόλοιπα. Αυτή η νέα γενιά

ηλιακών κυψελών είναι κατασκευασμένη από μια ποικιλία νέων υλικών εκτός από πυρίτιο, συμπεριλαμβανομένων των νανοϋλικών υλικών, ηλιακές μελάνες που χρησιμοποιούν συμβατικές τεχνολογίες εκτύπωσης, οργανικές χρωστικές ουσίες και αγώγιμα πλαστικά. Ο στόχος φυσικά είναι να βελτιωθεί η ηλιακή ενέργεια που είναι ήδη διαθέσιμη στο εμπόριο με την πεποίθηση ότι θα είναι πιο αποτελεσματική σε μια ευρύτερη ζώνη της ηλιακής ενέργειας, λιγότερο δαπανηρή και χωρίς καμία τοξικότητα, ώστε να μπορεί να χρησιμοποιηθεί από όλο και περισσότερους ανθρώπους, και να αναπτύξουν περισσότερες και διαφορετικές χρήσεις.



Εικόνα 44: Τεχνολογία οργανικών ηλιακών κυττάρων [74]

Ως αποτέλεσμα των τεχνολογικών εξελίξεων, το κόστος των φωτοβολταϊκών κυττάρων έχει μειωθεί σημαντικά τα τελευταία 25-30 χρόνια, καθώς η αποτελεσματικότητα έχει αυξηθεί. Επίσης σε χώρους εργαστηρίων συνδυάζοντας υλικά με εξειδικευμένα κύτταρα έχουν παράγει φωτοβολταϊκά κύτταρα με υψηλή απόδοση μετατροπής ως 46 %. Η τρέχουσα δαπάνη αυτών των τεχνολογιών τυπικά περιορίζει τη χρήση τους σε αεροδιαστημικές και βιομηχανικές εφαρμογές.

4.2 Το Φωτοβολταϊκό Φαινόμενο

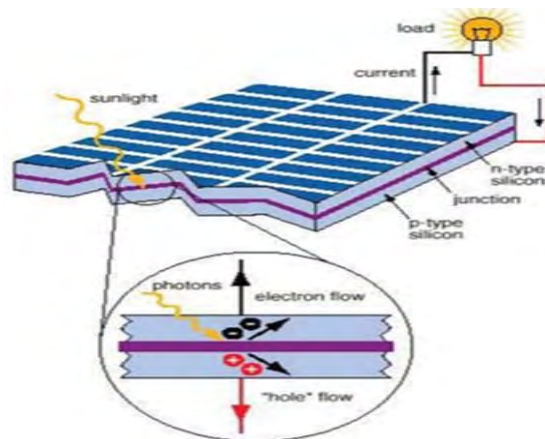
4.2.1 Επαφή ημιαγωγών p-n

Τα ημιαγώγιμα υλικά έχουν ειδική αντίσταση η οποία κυμαίνεται ανάμεσα σε αυτές των μονωτών και των αγωγών. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα, οι ημιαγωγοί να έχουν την δυνατότητα να συμπεριφερθούν είτε ως μονωτές είτε ως αγωγοί. Επίσης όταν αυξάνεται η θερμοκρασία στο εσωτερικό τους, η ειδική αντίσταση εμφανίζει πολύ μεγάλη μείωση της θερμοκρασίας. Τα βασικότερα στοιχεία που ανήκουν σε αυτήν την κατηγορία είναι το Πυρίτιο (Si), το Σελήνιο (Se) και το Γερμάνιο (Ge). Από αυτά τα τρία στοιχεία, το σημαντικότερο είναι το Πυρίτιο διότι βρίσκεται σε μεγαλύτερη ποσότητα στη φύση (25%) μόνο πίσω από το Οξυγόνο (50%).

Κάθε άτομο όπως είναι γνωστό, αποτελείται από τον πυρήνα στο εσωτερικό του και τα ηλεκτρόνια που περιστρέφονται γύρω από τον πυρήνα τοποθετημένα πάνω σε στοιβάδες. Τα ηλεκτρόνια τα οποία βρίσκονται σε απομακρυσμένη απόσταση από τον πυρήνα ονομάζονται ηλεκτρόνια σθένους και αντίστοιχα στοιβάδα σθένους. Η κύρια επιδίωξη κάθε ατόμου είναι, η εξωτερική στοιβάδα να αποτελείται από 8 ηλεκτρόνια.

Η εξωτερική στοιβάδα σθένους του πυριτίου αποτελείται από 4 ηλεκτρόνια, τα οποία είναι τοποθετημένα στις κορυφές μιας τριγωνικής πυραμίδας γύρω από τον πυρήνα. Η στοιβάδα σθένους πρέπει να συμπληρωθεί 8 ηλεκτρόνια για να δημιουργηθεί το κρυσταλλικό πλέγμα του πυριτίου. Για τον λόγο αυτό, κάθε άτομο πυριτίου συμπληρώνει την 8αδα των ηλεκτρονίων με άλλα 4 γειτονικά άτομα, καθένα από τα οποία συνεισφέρει από ένα ηλεκτρόνιο.

Στα ημιαγωγικά υλικά, τα ηλεκτρόνια σθένους συνδέονται με τον πυρήνα τους με χαλαρούς δεσμούς σε αντίθεση με τα ηλεκτρόνια των αγωγών και των μονωτών που οι δεσμοί τους είναι πολύ χαλαροί και ισχυροί αντίστοιχα. Κατά αυτόν τον τρόπο τα ηλεκτρόνια σθένους των ημιαγωγών χαρακτηρίζονται από μια σχετική ευκινησία. Ωστόσο στην περίπτωση που δοθεί σε μορφή θερμότητας ή με φωτισμό ενέργεια σε ένα ηλεκτρόνιο με οποιονδήποτε τρόπο, τότε είναι ικανό να σπάσει τους δεσμούς του με τον πυρήνα και να διασπαστεί από αυτόν. Το φαινόμενο αυτό κατά το οποίο υπάρχει έλλειμμα ηλεκτρονίου αναφέρεται ως περιοχή με ηλεκτρικό έλλειμμα και ονομάζεται σπή.



Εικόνα 45: Το φωτοβολταϊκό φαινόμενο ενός ηλιακού κυττάρου

Κατά την διαδικασία φωτισμού του ατόμου, τα ηλεκτρόνια του κρυσταλλικού πυριτίου μετακινούνται από την θέση τους και προσκολλώνται σε άλλα. Αυτό συμβαίνει διότι το φως περιέχει μικρά σωματίδια, που ονομάζονται φωτόνια. Στο στοιχείο λουπόν, θα υπάρχουν άτομα τα οποία θα έχουν 9 ηλεκτρόνια, άρα αρνητικά φορτισμένα και στοιχεία τα οποία θα έχουν 7 ηλεκτρόνια, άρα θετικά φορτισμένα. Παράλληλα, ηλεκτρόνια μετακινούνται και αυτά με την σειρά τους και προσκολλώνται σε άτομα ή σε σπές. Το φαινόμενο αυτό της άτακτης κίνησης των ηλεκτρονίων δεν επιφέρει ηλεκτρικό ρεύμα, διότι το ηλεκτρικό ρεύμα απαιτεί

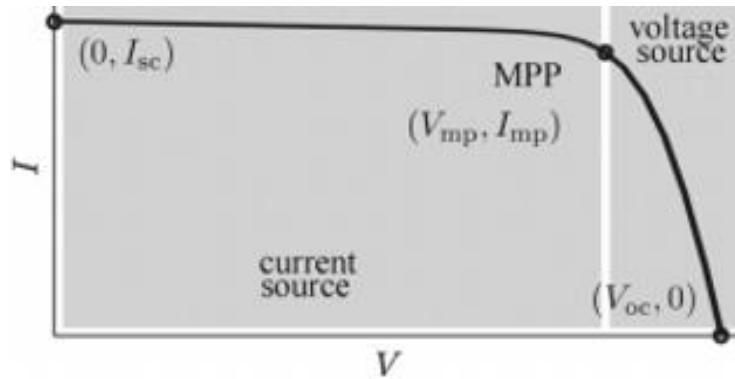
συντονισμένο τρόπο μετακίνησης των ηλεκτρονίων ως προς μια συγκεκριμένη κατεύθυνση. Για να επιτύχουμε την συντονισμένη κατεύθυνση των ηλεκτρονίων πρέπει να προσθέσουμε τους ημιαγωγούς πρόσμιξης.

Αν σε ένα άτομο πυριτίου (Si) το αντικαταστήσουμε με μια πρόσμιξη φώσφορου, το οποίο έχει 5 ηλεκτρόνια στην εξωτερική του στοιβάδα, αυξάνουμε σε μεγάλο βαθμό την αγωγιμότητα του. Αντίστοιχα αν το αντικαταστήσουμε με μια άλλη πρόσμιξη όπως βόριο(εξωτερική στοιβάδα 3 ηλεκτρόνια), θα αφαιρεθεί ένα ηλεκτρόνιο από αυτό.

Με το παραπάνω παράδειγμα πρόσμιξης, το κρυσταλλικό πυρίτιο θα αντικατασταθεί από κάποια άτομα φωσφόρου με 9 ηλεκτρόνια σθένους και βορίου με 7 ηλεκτρόνια σθένους. Αυτό δημιουργεί πλεονάζουσα ηλεκτρόνια από την μία μεριά και από την άλλη σχηματίζονται οπές. Κατά την διαδικασία φωτισμού του κρυσταλλικού πυριτίου τα ηλεκτρόνια από την μεριά του φωσφόρου θα μετακινηθούν με μια συγκεκριμένη διεύθυνση προς την μεριά του βορίου, δηλαδή στις οπές, με αποτέλεσμα να δημιουργηθεί συσσώρευση ηλεκτρονίων στο βόριο (αρνητικό φορτίο) και συσσώρευση οπών στο φώσφορο, θετικό φορτίο. Έτσι δημιουργείτε μια ηλεκτρική τάση με θετικό πόλο από την πλευρά του P και αρνητικό πόλο από την πλευρά του B. Κατά αυτόν τον τρόπο αν συνδέσουμε μια ηλεκτρική πηγή θα δημιουργηθεί ηλεκτρικό ρεύμα. Το φαινόμενο αυτό ονομάζεται φωτοβολταϊκό φαινόμενο.

4.2.2 Ηλεκτρικά χαρακτηριστικά Φωτοβολταϊκού στοιχείου

Ένα ηλιακό φωτοβολταϊκό (PV) σύστημα μετατρέπει την ηλιακή ενέργεια απευθείας σε ηλεκτρική ενέργεια. Η μικρότερη μονάδα αυτού του συστήματος είναι το ηλιακό κύτταρο. Τα κύτταρα τοποθετούνται στο δομοστοιχείο, τα οποία είναι συνδεδεμένα σε σειρά και/ή παράλληλα για να σχηματίσουν συστοιχίες. Η dc ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται στα τερματικά των συστοιχιών, μπορεί να χρησιμοποιηθεί για μια ποικιλία εφαρμογών, όπως κυκλώματα συνεχούς ρεύματος ή συστήματα φωτισμού. Το φωτοβολταϊκό σύστημα είναι μη γραμμικό, όπως φαίνεται από τα χαρακτηριστικά του ρεύματος τάσης (I-V) που παρουσιάζονται στο σχήμα. Επίσης συμπεριφέρεται είτε ως πηγή ρεύματος είτε ως πηγή τάσης ανάλογα με το λειτουργικό σημείο που βρίσκεται αριστερά ή δεξιά του P, αντίστοιχα. Το σημείο ισχύος (MPP) της τάσης (V_{mp}) και της έντασης (I_{mp}) είναι το μέγιστο. I_{sc} και V_{oc} είναι τάση ανοικτού κυκλώματος και βραχυκύκλωμα, αντίστοιχα.



Εικόνα 46: Γραφική απεικόνιση του ρεύματος συνάρτηση της τάσης ενός ΦΒ πλαισίου [50]

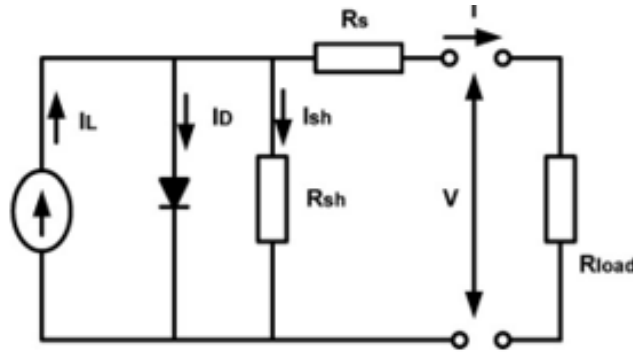
Η μοντελοποίηση των φωτοβολταϊκών συστοιχιών είναι ένα από τα βασικά συστατικά στην ανάλυση της απόδοσης των φωτοβολταϊκών συστημάτων. Υπάρχουν πολλά μαθηματικά μοντέλα που περιγράφουν τη συμπεριφορά των ΦΒ κάτω από εξωτερικές επιδράσεις, όπως π.χ. τη θερμοκρασία και την ηλιακή ακτινοβολία. Ως εκ τούτου, είναι απαραίτητο να ταξινομηθούν τα υπάρχοντα μοντέλα για την απλοποίηση της μελέτης των φωτοβολταϊκών συστοιχιών. Σε γενικές γραμμές, τα μοντέλα μπορούν να κατηγοριοποιηθούν ως ηλεκτρικά και θερμικά μοντέλα. Τα ηλεκτρικά μοντέλα δίνουν τη σχέση μεταξύ της τάσης εξόδου ΦΒ και του ρεύματος με βάση ορισμένες παραμέτρους, όπως το αντίστροφο ρεύμα κορεσμού της διόδου και οι απώλειες που συμβαίνουν στη σειρά και παράλληλες αντιστάσεις. Τα θερμικά μοντέλα, ωστόσο, λαμβάνουν υπόψη το αποτέλεσμα της θερμοκρασίας λειτουργίας στη μοντελοποίηση. Αυτό καθορίζεται από την έννοια του ισοζυγίου ενέργειας, δηλαδή η ηλιακή ενέργεια που απορροφάτε από ένα δομοστοιχείο, μετατρέπεται εν μέρει σε θερμική ενέργεια. Η αύξηση της θερμοκρασίας των κυττάρων οφείλεται κυρίως στην αύξηση της ηλιακής ηλιοφάνειας κατά τη διάρκεια της ημέρας και υπολογίζεται ανάλογα με τους συντελεστές απώλειας θερμότητας και αποδοτικότητας των κυψελών.

Electrical model

Ένα απλό ισοδύναμο μοντέλο κυκλώματος για ένα φωτοβολταϊκό κύτταρο, αποτελείται από μια δίοδο παράλληλα με μια ιδανική πηγή ρεύματος. Το ιδανικό ρεύμα πηγής παράγει ρεύμα σε αναλογία με την ηλιακή ροή στην οποία βρίσκεται εκτεθειμένη. Ένα πιο ακριβές μοντέλο Φωτοβολταϊκού κυττάρου θεωρείται το αποτέλεσμα της αντίστασης σειράς (R_s) και της παράλληλης αντίστασης (R_{sh}) όπως φαίνεται στην Εικόνα 47. Αυτό το ισοδύναμο κύκλωμα ισχύει για ένα κύτταρο, ένα δομοστοιχείο ή ακόμα και για μια συστοιχία.

Σε μια κυψέλη φωτοβολταϊκών, προσφέρεται μια αντίσταση που εξαρτάται από το υλικό ημιαγωγών, το μεταλλικό πλέγμα, τις μεταλλικές επαφές και τη συλλογή ρεύματος. Αυτές οι απώλειες αντίστασης συγκεντρώνονται μαζί ως μια αντίσταση σειράς (R_s). Η επίδρασή του γίνεται πολύ εμφανής σε μια Φ/Β μονάδα που αποτελείται από πολλά συνδεδεμένα σε σειρά κελιά και η τιμή της αντοχής πολλαπλασιάζεται με τον αριθμό των κυττάρων. Παρόμοια, μια

ορισμένη απώλεια συνδέεται με μια μικρή διαρροή ρεύματος μέσω μιας αντίστασης παράλληλα με την εγγενή συσκευή. Αυτό μπορεί να αναπαρασταθεί από μια παράλληλη αντίσταση (R_{sh}). Η επίδρασή του είναι πολύ λιγότερο εμφανής σε ένα Φ/Β σε σύγκριση με την αντίσταση της σειράς, και θα γίνει αισθητή μόνο όταν μια σειρά φωτοβολταϊκών μονάδων συνδέονται παράλληλα για ένα μεγαλύτερο σύστημα.



Εικόνα 47: ηλεκτρικό ισοδύναμο κύκλωμα ενός μοντέλου μονής διόδου ενός Φωτοβολταϊκού κυττάρου [50]

Η σχέση μεταξύ τάσης και ρεύματος για το ισοδύναμο κύκλωμα του Φωτοβολταϊκού κυττάρου (Εικόνα 47), λαμβάνοντας υπόψη τόσο τη σειρά όσο και τις αντιστάσεις βραχυκύκλωσης είναι:

$$I = I_L - I_D - I_{sh} = I_L - I_o \left\{ e^{\frac{V+IR_s}{a}} - 1 \right\} - \frac{V+IR_s}{R_{sh}} \quad (1)$$

όπου I_L είναι το ρεύμα που παράγεται από φωτοβολταϊκά στοιχεία, το I_o είναι ο αντίστροφος κορεσμός ρεύματος, I_D είναι η τρέχουσα διόδος, I_{sh} είναι το τρέχον ρεύμα, το R_s είναι η αντίσταση στη σειρά, το R_{sh} είναι η αντίσταση διακλάδωσης, το a είναι η προσαρμογή καμπύλης, I είναι το ρεύμα φορτίου και V είναι η τάση φορτίου. Αυτό είναι το μοντέλο πέντε παραμέτρων, καθώς εξαρτάται από τα I_L , I_o , R_s , R_{sh} και a . Το R_{sh} επειδή θεωρείτε σχεδόν αμελητέο παραλείπεται.

Κατά τη μοντελοποίηση μιας φωτοβολταϊκής μονάδας υπό τυποποιημένες συνθήκες δοκιμής (STC) οι τιμές των I_L , I_o , a και R_s μπορούν να υπολογιστούν από τις εκφράσεις στις ακόλουθες εξισώσεις. Παρακάτω δεν υπολογίζεται η τιμή του R_{sh} .

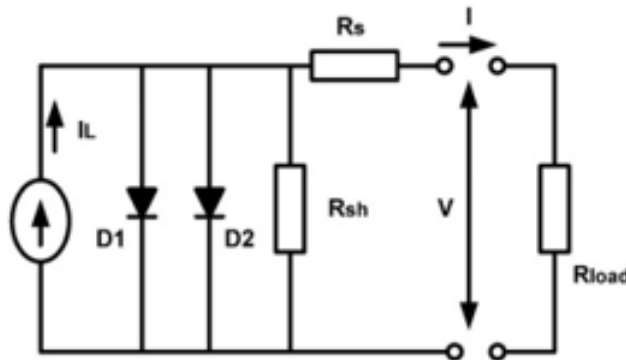
$$I_{L,ref} = I_{sc} \quad (2)$$

$$I_{o,ref} = I_{L,ref} e^{\left(\frac{-V_{oc}}{a}\right)} \quad (3)$$

$$a_{o,ref} = \frac{\mu_{v,oc} T_{c,ref} - V_{oc,ref} + e_{gap} N_s}{\left(\mu_{1,sc} T_{c,ref} / I_{L,ref}\right) - 3} \quad (4)$$

$$R_s = \frac{a \ln(1 - (I_{mp}/I_L)) - V_{mp} + V_{oc}}{I_{mp}} \quad (5)$$

όπου το I_{sc} είναι το βραχυκύκλωμα της μονάδας, το V_{oc} είναι το ανοικτό κύκλωμα η τάση της μονάδας, N_s είναι ο αριθμός των κυκλωμάτων σε σειρά σε ένα δομοστοιχείο φορές τον αριθμό των ενοτήτων σε σειρά σε μια διάταξη, $\mu_{1,sc}$ είναι ο συντελεστής θερμοκρασίας του ρεύματος βραχυκυκλώματος, $\mu_{V,oc}$ είναι ο συντελεστής θερμοκρασίας της τάσης ανοικτού κυκλώματος, e_{gap} είναι το διάκενο ζώνης ενέργεια του υλικού, I_{mp} και V_{mp} είναι το ρεύμα και η τάση στο μέγιστο σημείο ισχύος, αντίστοιχα, και $T_{c,ref}$ είναι η θερμοκρασία κυψελών. Αυτές οι τιμές δίδονται συνήθως στο δελτίο δεδομένων των φωτοβολταϊκών πλαισίων από τον κατασκευαστή. Καθώς η θερμοκρασία και η ηλιακή ακτινοβολία επηρεάζουν την ηλεκτρική έξοδο από την Φωτοβολταϊκή μονάδα, οι τιμές της I_L , I_o , α μπορούν να υπολογίζονται σε οποιαδήποτε θερμοκρασία και ακτινοβολία. Η επανασύνδεση στην περιοχή εξάντλησης των φωτοβολταϊκών κυττάρων παρέχει μη ομνικές (nonohmic) διαδρομές ρεύματος παράλληλα με το ενδογενές Φ / B κύτταρο. Αυτό αντιπροσωπεύεται από τη δεύτερη δίοδο (D2) στο ισοδύναμο κύκλωμα ενός Φωτοβολταϊκού κυττάρου όπως φαίνεται στην Εικόνα 48. Το μοντέλο δύο διόδων παρέχει βελτιωμένη ακρίβεια και εφαρμόζεται κυρίως για ηλιακά κύτταρα κατασκευασμένα από πολυκρυσταλλικό πυρίτιο.



Εικόνα 48: Ηλεκτρικό ισοδύναμο κύκλωμα διπλής δίοδου ενός ΦΒ πλαισίου [50]

Thermal Model

Η απόδοση μιας φωτοβολταϊκής μονάδας εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τη θερμοκρασία λειτουργίας της. Η εισερχόμενη ηλιακή ενέργεια απορροφάτε από ένα δομοστοιχείο μετατρέπεται εν μέρει σε θερμική ενέργεια που διαχέεται από συνδυασμός αγωγιμότητας, μεταφοράς και ακτινοβολίας. Η θερμοκρασία του κυττάρου εξαρτάται από τις συνθήκες περιβάλλοντος και επίσης από την λειτουργία της φωτοβολταϊκής μονάδας. Για καλύτερη λειτουργία, προτιμάται η ελάχιστη δυνατή θερμοκρασία. Το ενεργειακό ισοζύγιο στην περιοχή μονάδας μιας Φ / B που ψύχεται από απώλειες στο περιβάλλον αντιπροσωπεύεται ως

$$C_t \frac{dT_c}{dt} = \tau \alpha G_T - \eta_c G_T - U_L (T_c - T_a) \quad (6)$$

όπου C_t είναι η θερμική χωρητικότητα της φωτοβολταϊκής μονάδας, G_T είναι ακτινοβολία, T_a είναι θερμοκρασία περιβάλλοντος, T_c είναι θερμοκρασία κυψελών, U_L είναι ο συνολικός συντελεστής απώλειας θερμότητας, η_c είναι η απόδοση των φωτοβολταϊκών κυψελών και η τα είναι η προϊόν απορρόφησης διαπερατότητας των φωτοβολταϊκών κυττάρων. Αν ληφθεί υπόψη μόνο το U_L , η_c , T_c προσδιορίζεται όπως στην εξίσωση. (7). Εάν ληφθούν υπόψη τόσο τα U_L όσο και τα C_t , Eq. (6) μειώνεται σε μια γραμμική, πρώτης τάξης, μη ομοιογενής διαφορική εξίσωση που αντιπροσωπεύεται ως Εξ. (8). Η λύση του ισοδ. (8) όπως στην εξ. (9).

$$T_c = T_a + \left(G_T \frac{\tau \alpha}{U_L} \right) \left(1 - \frac{\eta_c}{\tau \alpha} \right) \quad (7)$$

$$\frac{dT_c}{dt} + a T_c - b = 0 \quad (8)$$

$$T_c(t) = \left(T_{c,init} - \frac{b}{a} \right) e^{-at} + \frac{b}{a} \quad (9)$$

Όπου οι σταθερές a και b δίνονται από

$$a = \frac{U_L}{C_t} = \frac{1}{\tau_t} \quad (10)$$

$$b = \frac{(\tau \alpha - \eta_c) G_T + U_L T_a}{C_y} \quad (11)$$

4.2.3 Απόδοση Φωτοβολταϊκού στοιχείου

Η αποδοτικότητα μετατροπής ενός Φωτοβολταϊκού κυττάρου είναι η αναλογία της μετατροπής σε ηλεκτρική ενέργεια, σε σχέση με το ποσό της ακτινοβολούμενης ενέργειας που είναι διαθέσιμη και που χτυπά το φωτοβολταϊκό κύτταρο. Αυτό είναι πολύ σημαντικό για τις φωτοβολταϊκές συσκευές, γιατί βελτιώνεται η αποτελεσματικότητα και είναι ζωτικής σημασίας για την ανταγωνιστικότητα της φωτοβολταϊκής ενέργειας σε σύγκριση με τις περισσότερες παραδοσιακές πηγές ενέργειας, όπως τα ορυκτά καύσιμα.

Ο ορισμός της απόδοσης ενός Φωτοβολταϊκού πλαισίου, είναι το πηλίκο της μέγιστης απόδοσης ηλεκτρικής ισχύος προς την ισχύ της ηλιακής ακτινοβολίας:

$$\eta_m = \frac{P_m}{ES}$$

P_m : Μέγιστη ηλεκτρική ισχύς

E : Πυκνότητα ισχύος της ηλιακής ακτινοβολίας στο πλαίσιο

S : Εμβαδόν

Όπως είναι φανερό η απόδοση του Φωτοβολταϊκού πλαισίου έχει μικρότερη απόδοση σε σύγκριση με την απόδοση του Φωτοβολταϊκού πλαισίου εργαστηριακής παρασκευής. Οι κυριότεροι λόγοι είναι οι εξής:

1. Η γεωμετρική επιφάνεια το Φωτοβολταϊκού δεν καλύπτεται πλήρως από τα Φωτοβολταϊκά πλαίσια με συνέπεια να έχουμε απώλειες
2. Η ανομοιογένεια των χαρακτηριστικών των ΦΒ πλαισίων
3. Η ανακλαστικότητα του υαλοπίνακα του πλαισίου

Γενικά, οι παράγοντες που συντελούν στις απώλειες των Φωτοβολταϊκών πλαισίων αφορούν:

- Απώλειες του ΦΒ πλαισίου στην δίοδο αντεπιστροφής
- Στην γήρανση του ΦΒ πλαισίου, διότι με την πάροδο του χρόνου οι τεχνολογίες του πλαισίου αλλοιώνονται
- Οι απώλειες που αφορούν την καθαρότητα του υαλοπίνακα

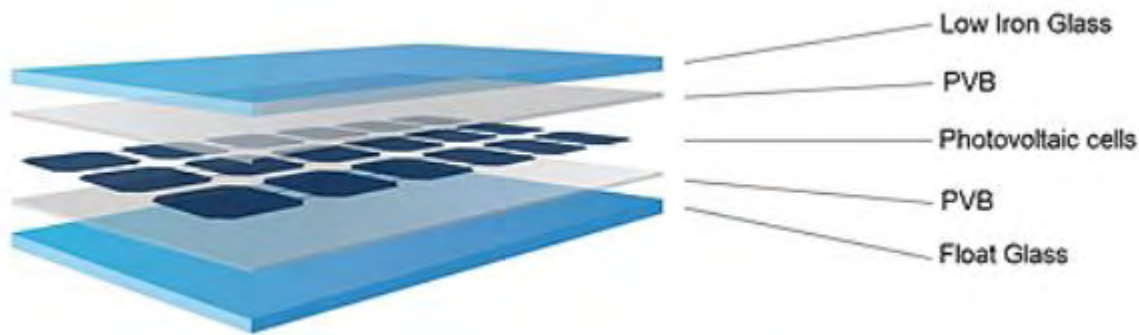
4.3 Χαρακτηριστικά Φωτοβολταϊκού συστήματος

4.3.1 Δομή Φωτοβολταϊκού στοιχείου

Το Φωτοβολταϊκό στοιχείο μικρών διαστάσεων έχει απασχολήσει σε μεγάλο βαθμό τους ερευνητές στα εργοστάσια παραγωγής. Η έρευνα επικεντρώθηκε στις τεχνικές κατασκευής και την τοποθέτηση σε μεγαλύτερες Φωτοβολταϊκές συστοιχίες. Με την πάροδο του χρόνου και με την πρόοδο της τεχνολογίας, παρατηρείτε μια αύξηση της απόδοσης του Φωτοβολταϊκού πλαισίου, καθώς κατασκευάστηκαν ΦΒ στοιχεία μεγαλύτερου μεγέθους σε σύγκριση με τα ΦΒ πλαίσια που ήταν σε πρώιμο στάδιο σε εργαστήρια παρασκευής. Κύριο μέλημα των κατασκευαστών, ήταν η κατασκευή των Φωτοβολταϊκών πλαισίων που θα τηρούσαν τις προϋποθέσεις για την βέλτιστη λειτουργία του συστήματος. Οι απαιτήσεις αυτές αφορούσαν την δομή του πλαισίου, έτσι ώστε να κοπεί στο επιθυμητό μέγεθος για την καλύτερή εκμετάλλευση της επιφάνειας του Φωτοβολταϊκού πλαισίου και η σωστή συνδεσμολογία των πλαισίων, που απαιτούσε την σύνδεση σε σειρά, έτσι ώστε να επιτυγχάνονται τα ηλεκτρολογικά χαρακτηριστικά τα οποία σχετίζονται με την ονομαστική τάση των συσσωρευτών, η οποία κυμαίνεται στα 12V για την αποθήκευση της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας, καθώς και για τις διαστάσεις μιας μονάδας, σε ότι αφορά το κόστος και την ευκολία αντικατάστασης.

Η τοποθέτηση των Φωτοβολταϊκών πλαισίων γίνεται σε επίπεδη γυάλινη πλάκα, η οποία χαρακτηρίζεται από υψηλή διαφάνεια. Παράλληλα, είναι προσαρμοσμένη πάνω σε ένα

μεταλλικό πλαίσιο, το οποίο χαρακτηρίζεται από υλικά υψηλής αντοχής, στις περισσότερες περιπτώσεις από αλουμίνιο. Επιπλέον για θέματα που αφορούν την υγρασία, το πίσω μέρος της κατασκευής καλύπτεται από ειδικό πλαστικό. Η συγκεκριμένη διάταξη ονομάζεται Φωτοβολταϊκό πλαίσιο, η οποία αποτελεί την βασική μονάδα ενός ολόκληρου ΦΒ συστήματος.



Εικόνα 49: Φωτοβολταϊκή σύνθεση γυαλιού [\[118\]](#)



Εικόνα 50: Δομή Φωτοβολταϊκού πλαισίου

Στα πρώτα χρόνια της εμφάνισης του ΦΒ στοιχείου, η μορφή του ήταν κυκλική. Ωστόσο όπως παρατηρήθηκε αργότερα, αρκετή επιφάνεια παρέμενε ανεκμετάλλευτη. Αυτό είχε ως επακόλουθο να κατασκευαστεί ένα νέο πρότυπο το οποίο είχε τετραγωνικό σχήμα, έτσι ώστε να ελαχιστοποιείται η ανεκμετάλλευτη επιφάνεια.

Αναφορικά με τον αριθμό των ΦΒ στοιχείων που πρέπει να χρησιμοποιείτε σε μια ΦΒ συστοιχία, συνδέεται άμεσα με την ονομαστική τάση 12V του συσσωρευτή. Η αιτία για τον αριθμό των ΦΒ στοιχείων εντοπίζεται στο σημείο μέγιστης ισχύος. Το σημείο μέγιστης ισχύος είναι η διαδικασία κατά την οποία παρατηρείται η βέλτιστη απορρόφηση της ηλιακής

ακτινοβολίας από το ΦΒ στοιχείο. Κατά το συγκεκριμένο φαινόμενο, το ΦΒ στοιχείο λειτουργεί στην μέγιστη ισχύ σε μια συγκεκριμένη τάση. Η τάση αυτή πρέπει λοιπόν να αντιστοιχεί σε τάση έτσι ώστε να καλύπτει τη φόρτιση του συσσωρευτή ισχύος για την αποθήκευση της ενέργειας.

Στον Πίνακα 1 αναφέρονται τα τυπικά χαρακτηριστικά των ΦΒ πλαισίων ονομαστικής τάσης εξόδου 12V

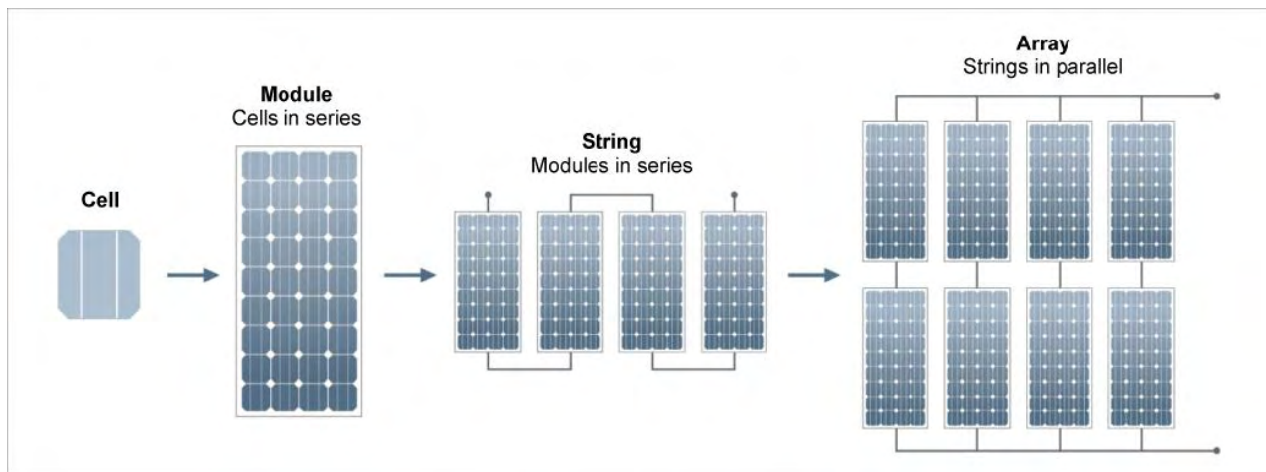
Πίνακας 1: Τυπικά χαρακτηριστικά ΦΒ πλαισίων, ονομαστικής τάσης εξόδου 12V [95]

ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ	Τιμή
Τυπική ισχύς αιχμής, P _p (Peak Power)	80W
Εγγύηση για ελάχιστο της ισχύος αιχμής	76W
Ηλεκτρική τάση στο σημείο αιχμής (V _{m, stc})	16,9V
Ηλεκτρικό ρεύμα στο σημείο ισχύος αιχμής (I _{m, stc})	4,73A
Τάση ανοιχτού κυκλώματος (V _{oc, stc})	21,5V
Ρεύμα βραχυκύκλωσης (I _{sc, stc})	4,97A
Θερμικός συντελεστής ρεύματος βραχυκυκλώσεως	0,05%/K
Θερμικός συντελεστής τάσης ανοιχτού κυκλώματος	-0,5%/K
Θερμικός συντελεστής μεταβολής ισχύος	-0,45%/K
NOCT (Nominal Operating Cell Temperature)	49 °C

4.3.2 Φωτοβολταϊκή συστοιχία

Τα Φωτοβολταϊκά πάνελ τα οποία αποτελούνται από ΦΒ στοιχεία, μπορούν να συνδεθούν σε σειρά είτε σε παράλληλη μορφή. Στην συνέχεια τα ΦΒ πλαίσια συναρμολογούνται σε μια μεταλλική κατασκευή (πλαίσιο) με πολλές καλωδιώσεις που ονομάζονται Φωτοβολταϊκά πάνελ. Επίσης λόγω του μικρού βάρους των ΦΒ πλαισίων, μπορούν εύκολα να αποσυναρμολογηθούν ή να μεταφερθούν ανεξάρτητα από το υπόλοιπο σύστημα. Η ποσότητα ηλιακής ενέργειας που παράγεται από ένα φωτοβολταϊκό πάνελ δεν επαρκεί για γενική χρήση. Οι περισσότερες κατασκευές παράγουν πρότυπα φωτοβολταϊκά πάνελ με τάση εξόδου 12V ή 24V.

Η συλλογή πολλών ΦΒ πλαισίων, τοποθετούνται με την σειρά τους σε μια επίπεδη επιφάνεια, η οποία μπορεί να είναι σταθερή ή περιστρεφόμενη. Τα πάνελ σε μια συστοιχία μπορούν να συνδεθούν ηλεκτρικά μεταξύ τους είτε σε σειρά, είτε σε μια παράλληλη ή σε ένα μείγμα των δύο, αλλά γενικά επιλέγεται μια σύνδεση σειράς για να δώσει αυξημένη τάση εξόδου. Για παράδειγμα, όταν δύο ηλιακοί συλλέκτες συνδέονται εν σειρά, η τάση τους διπλασιάζεται ενώ το ρεύμα παραμένει το ίδιο. Η επιφάνεια αυτή αποτελεί μια ΦΒ συστοιχία (array).



Εικόνα 51: Στάδια ΦΒ συστοιχίας [96]

Μια Φωτοβολταϊκή συστοιχία είναι συνεπώς πολλαπλά ηλιακά πλαίσια ηλεκτρικά συνδεδεμένα μεταξύ τους για να σχηματίσουν μια πολύ μεγαλύτερη Φωτοβολταϊκή εγκατάσταση. Η συγκεκριμένη τοποθέτηση των ΦΒ πλαισίων γίνεται κατά κλάδους. Κάθε κλάδος αποτελείται από ΦΒ πλαίσια τα οποία είναι συνδεδεμένα σε σειρά, τα οποία στην συνέχεια συνδέονται σε παράλληλη μορφή έτσι ώστε να αυξηθεί το ολικό ρεύμα. Επιπλέον όσο μεγαλύτερη είναι η συνολική επιφάνεια της συστοιχίας τόσο περισσότερο ηλιακή ηλεκτρική ενέργεια θα παράγει. Επιπρόσθετα το μέγεθος μιας φωτοβολταϊκής συστοιχίας μπορεί να αποτελείται από μερικές επιμέρους φωτοβολταϊκές μονάδες που συνδέονται μεταξύ τους σε αστικό περιβάλλον και τοποθετούνται σε μια στέγη ή μπορούν να αποτελούνται από πολλές εκατοντάδες φωτοβολταϊκά πάνελ που διασυνδέονται μεταξύ τους σε ένα πεδίο για την παροχή ενέργειας για ολόκληρη πόλη ή γειτονιά.

Η συνδεσμολογία των ΦΒ πλαισίων θα πρέπει να είναι έτσι κατασκευασμένη, ώστε η μεταφορά της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας να δέχεται τις μικρότερες απώλειες στην γραμμή μεταφοράς. Αυτό συνεπάγεται μικρή τιμή του ρεύματος και μεγάλη ηλεκτρική τάση, η οποία θα πρέπει να είναι μέσα στα επιτρεπτά όρια των 600V. Επίσης είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι τα φωτοβολταϊκά πάνελ ή οι μονάδες από διαφορετικούς κατασκευαστές δεν πρέπει να αναμειγνύονται μαζί σε μια ενιαία συστοιχία, ακόμη και αν οι εξόδους ισχύος, τάσης ή ρεύματος τους είναι ονομαστικά παρόμοιες. Αυτό συμβαίνει επειδή οι διαφορές στο I-V χαρακτηριστικές καμπύλες των πλαισίων καθώς και η φασματική απόκριση τους είναι πιθανό να προκαλέσουν επιπλέον απώλειες αναντιστοιχίας στη διάταξη μειώνοντας την αποδοτικότητά του.

Παράλληλα, η σχεδίαση ενός ΦΒ συστήματος θα πρέπει να λαμβάνει υπόψιν και τους ηλεκτρικούς συσσωρευτές για την αποθήκευση της ηλεκτρικής ενέργειας. Προκειμένου λοιπόν να συντονιστεί η τάση της ΦΒ συστοιχίας με αυτή του συσσωρευτή, απαιτούνται μετατροπείς συνεχούς τάσεως DC-DC (Converters DC-DC).

Τέλος το σύνολο των ΦΒ συστοιχιών αποτελούν ένα ΦΒ συγκρότημα ή ΦΒ πάρκο το οποίο σε συνδυασμό με τους μετατροπείς ισχύος και τους συσσωρευτές για την αποθήκευση της ηλεκτρικής ενέργειας, ονομάζεται ΦΒ σταθμός.

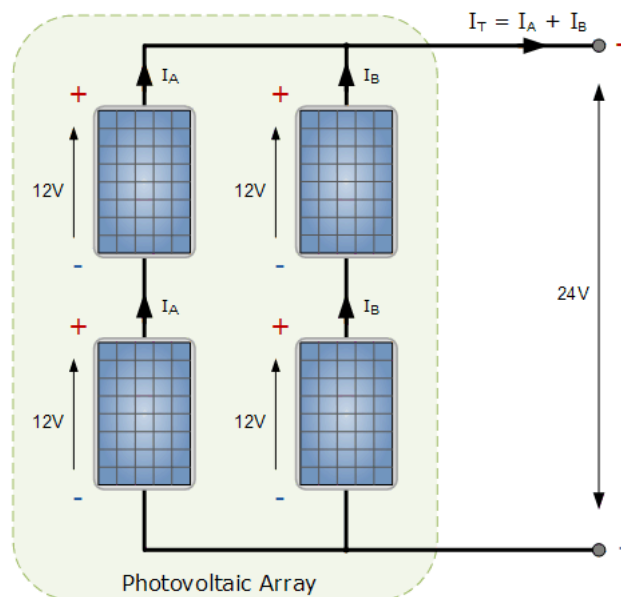
Οι παράμετροι της ηλιακής συστοιχίας

V_{oc} = τάση ανοικτού κυκλώματος: Αυτή η τιμή εξαρτάται από τον αριθμό των φωτοβολταϊκών πλαισίων που συνδέονται μεταξύ τους σε σειρά.

P_{max} = μέγιστο σημείο ισχύος: Σχετίζεται με το σημείο όπου η ισχύς που παρέχεται από τη συστοιχία που συνδέεται με το φορτίο (μπαταρίες, μετατροπείς) είναι στη μέγιστη τιμή της

FF = συντελεστής πληρότητας: Ο συντελεστής πληρότητας είναι η σχέση μεταξύ της μέγιστης ισχύος που μπορεί να παρέχει ο πίνακας υπό κανονικές συνθήκες λειτουργίας και του προϊόντος της τάσης ανοικτού κυκλώματος για το ρεύμα βραχυκυκλώματος, ($V_{oc} \times I_{sc}$). Αυτή η τιμή συντελεστή πληρώσεως δίνει μια ιδέα για την ποιότητα της συστοιχίας και όσο πλησιέστερα ο συντελεστής πληρώσεως είναι 1, τόσο περισσότερη δύναμη μπορεί να παρέχει ο πίνακας. Οι τυπικές τιμές είναι μεταξύ 0,7 και 0,8.

Eff% = Η αποτελεσματικότητα μιας φωτοβολταϊκής συστοιχίας είναι ο λόγος μεταξύ της μέγιστης ηλεκτρικής ισχύος που μπορεί να παράγει η συστοιχία σε σύγκριση με την ποσότητα ηλιακής ακτινοβολίας που πέφτει στη συστοιχία. Η αποτελεσματικότητα της τυπικής ηλιακής συστοιχίας είναι συνήθως χαμηλή σε περίπου 10-12%, ανάλογα με τον τύπο των κυττάρων (μονοκρυσταλλική, πολυκρυσταλλική, άμορφη ή λεπτή μεμβράνη) που χρησιμοποιείται.



Εικόνα 52: Συνδέσεις φωτοβολταϊκών συστοιχιών [97]

Τα ΦΒ στοιχεία μπορούν να συνδέονται είτε παράλληλα είτε σε σειρά. Η σύνδεση σε σειρά N ΦΒ πλαισίων οδηγεί σε ένα σύστημα με τάση ανοιχτού κυκλώματος πολλαπλασιασμένη επί N φορές. Το ρεύμα βραχυκυκλώματος δεν αλλάζει. Αντίθετα στην παράλληλη σύνδεση N όμοιων ΦΒ στοιχείων, δίνει την ίδια τάση ανοιχτού κυκλώματος αλλά τώρα το ρεύμα βραχυκύκλωσης είναι πολλαπλασιασμένο επί N φορές.

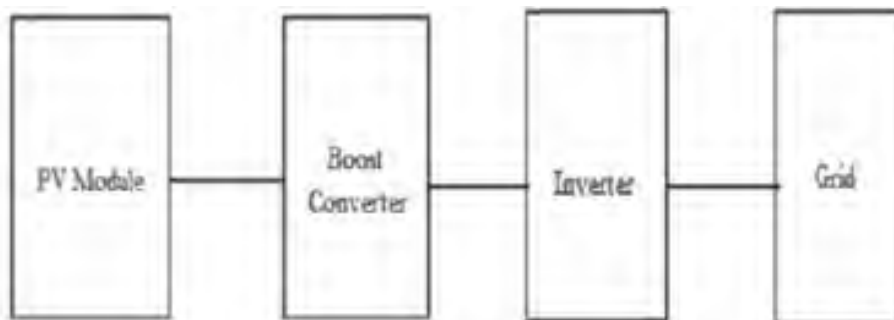
Αυτή η απλή Φωτοβολταϊκή διάταξη της Εικόνας 52 αποτελείται από τέσσερα φωτοβολταϊκά στοιχεία όπως φαίνεται, τα οποία παράγουν δύο παράλληλους κλάδους στους οποίους υπάρχουν δύο φωτοβολταϊκά πάνελ που συνδέονται ηλεκτρικά για να παράγουν ένα κύκλωμα σειράς. Η τάση εξόδου θα είναι συνεπώς ίση με τη σειρά σύνδεσης των φωτοβολταϊκών πλαισίων, και στο παραπάνω παράδειγμα, αυτό υπολογίζεται ως: $V_{out} = 12V + 12V = 24 \text{ Volts}$.

Το ρεύμα εξόδου θα είναι ίσο με το άθροισμα των παράλληλων ρευμάτων κλάδου. Αν υποθέσουμε ότι κάθε φωτοβολταϊκός πίνακας παράγει 3,75 A με πλήρη ηλιοφάνεια, το συνολικό ρεύμα (I_t) θα είναι ίσο με: $I_t = 3,75A + 3,75A = 7,5 \text{ A}$. Στη συνέχεια, η μέγιστη ισχύς της φωτοβολταϊκής συστοιχίας σε πλήρη ηλιοφάνεια μπορεί να υπολογιστεί ως: $P_{out} = V \times I = 24 \times 7.5 = 180W$.

Η Φωτοβολταϊκή γεννήτρια φτάνει το μέγιστο των 180 W σε ηλιακή ακτινοβολία, καθώς η μέγιστη ισχύς κάθε φωτοβολταϊκής μονάδας είναι ίση με 45 W ($12 \text{ V} \times 3,75 \text{ A}$). Ωστόσο, λόγω των διαφορετικών επιπέδων ηλιακής ακτινοβολίας, επίδραση θερμοκρασίας, ηλεκτρικές απώλειες κλπ., η πραγματική μέγιστη ισχύς εξόδου είναι συνήθως πολύ μικρότερη από τις υπολογιζόμενες 180 Watt.

4.3.3 Φωτοβολταϊκό σύστημα διασυνδεδεμένο στο δίκτυο

Το βασικό σχηματικό διάγραμμα ενός Φωτοβολταϊκού συστήματος με αναστροφέα πηγής τάσης συνδεδεμένου με το δίκτυο συστήματος φαίνεται στην Εικόνα 53



Εικόνα 53: Διασυνδεδεμένο φωτοβολταϊκό δίκτυο [\[101\]](#)

Τα κύρια στοιχεία που μπορούν να συμπεριληφθούν σε ένα σύστημα φωτοβολταϊκής μετατροπής είναι τα φωτοβολταϊκά στοιχεία, οι μετατροπείς, το ηλεκτρικό δίκτυο και τα φορτία DC και AC. Πρόκειται για ένα σύστημα που χρησιμοποιείται σε μονάδες τροφοδοσίας ενός κεντρικού δικτύου, που ονομάζεται Φωτοβολταϊκό σύστημα συνδεδεμένο στο δίκτυο χωρίς backup σύστημα μπαταρίας. Παρόλο που τα συστήματα με εφεδρική μπαταρία εμπίπτουν στο ζήτημα της αξιοπιστίας και της παροχής ενέργειας στο δίκτυο, είναι πιο περίπλοκο και πιο ακριβό.

1) Φωτοβολταϊκή μονάδα

Η Φωτοβολταϊκή μονάδα αποτελείται από πολλά φωτοβολταϊκά κύτταρα συνδεδεμένα παράλληλα για την αύξηση του ρεύματος αλλά σε πολλές περιπτώσεις και σε σειρά για την παραγωγή υψηλότερης τάσης. Το φωτοβολταϊκό κύτταρο μετατρέπει απευθείας την ηλιακή ακτινοβολία σε ηλεκτρισμό σε dc μορφή όταν το ηλιακό φως αλληλοεπιδρά με τα υλικά ημιαγωγών. Ο πιο συνηθισμένος αριθμός κυψελών σε ένα βιομηχανικό πρότυπο για μεγάλη παραγωγή ενέργειας είναι 36. Με αυτόν τον τρόπο ο ηλιακός πίνακας είναι η πηγή ενέργειας όλης της φωτοβολταϊκής εγκατάστασης.

2) DC-DC Boost Converter

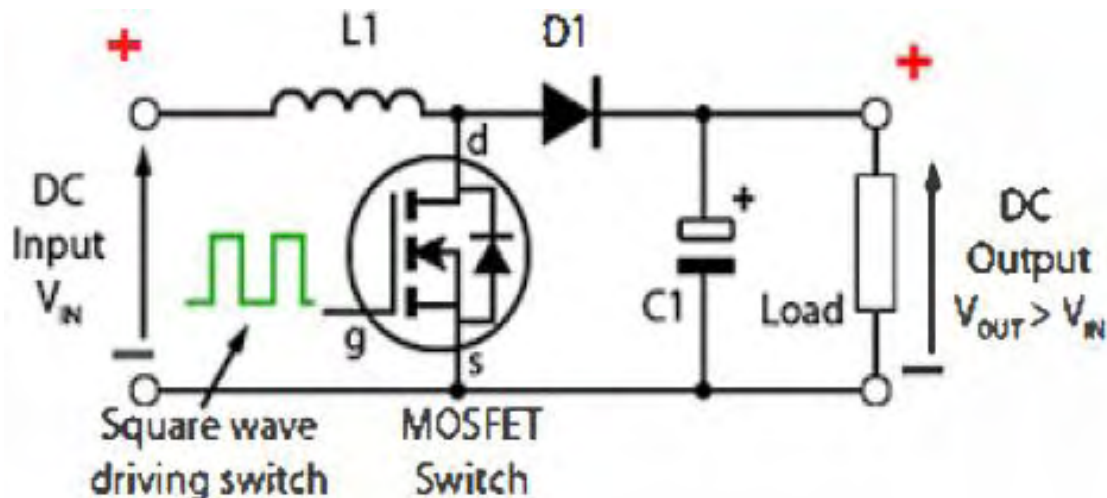
Οι μετατροπείς ενίσχυσης παρέχουν μια ευέλικτη λύση για την ενίσχυση των DC τάσεων σε πολλές εφαρμογές όπου χρειάζεται να αυξηθεί η τάση συνεχούς ρεύματος χωρίς να χρειάζεται να μετατραπεί σε AC, χρησιμοποιώντας έναν μετασχηματιστή και στη συνέχεια να διορθωθεί η έξοδος του μετασχηματιστή. Οι μετατροπείς ενίσχυσης είναι μετασχηματιστές βαθμιδωτών μεταδόσεων που χρησιμοποιούν έναν επαγωγέα ως συσκευή αποθήκευσης ενέργειας που υποστηρίζει την έξοδο με πρόσθετη ενέργεια εκτός από την πηγή εισόδου DC. Αυτό προκαλεί αύξηση της τάσης εξόδου.

Ένας μετατροπέας ώθησης βασίζεται στην ενέργεια που αποθηκεύεται στον επαγωγέα, L , για την παροχή ενέργειας στην πλευρά εξόδου όπου υποστηρίζεται το φορτίο, εκτός από την πηγή DC που είναι η κύρια πηγή ενέργειας. Η κύρια ιδέα πίσω από τη λειτουργία του μετατροπέα ώθησης είναι ότι ένας επαγωγέας θα αναστρέψει την πολικότητα τάσης του για να διατηρήσει τη ροή του ρεύματος. Για ένα απλό κύκλωμα μετατροπέα ώθησης, όταν ο διακόπτης είναι ενεργοποιημένος για έναν κύκλο λειτουργίας D της περιόδου μεταγωγής T , συσσωρεύεται τάση επαγωγέα V_L . Όταν ο διακόπτης είναι απενεργοποιημένος, το ρεύμα του επαγωγέα πρέπει να συνεχίσει να ρέει και ως εκ τούτου η πολικότητα τάσης του επαγωγέα θα αναστραφεί για να προσθέσει στην τάση εισόδου V_{in} .

Ωστόσο, όταν ο διακόπτης είναι ενεργοποιημένος, το φορτίο βραχυκυκλώνεται και η τάση εξόδου είναι μηδέν, κάτι που δεν είναι επιθυμητό. Επομένως, στην πλευρά εξόδου προστίθεται μια δίοδος παρεμπόδισης για να αποφευχθεί βραχυκύκλωμα του φορτίου. Αυτή η δίοδος εξακολουθεί να μην επιλύει το ζήτημα του φορτίου όταν ο διακόπτης είναι ενεργοποιημένος, έτσι προστίθεται ένας πυκνωτής όπως φαίνεται στην Εικόνα 54 για να

παράσχει το φορτίο με το απαραίτητο ρεύμα κατά τη διάρκεια της περιόδου κατά την οποία ο διακόπτης είναι ενεργοποιημένος.

Εμφανίζεται η σύνδεση ενός μετατροπέα ώθησης στο σχήμα (3).



Εικόνα 54: Κύριο κύκλωμα μετατροπέα ώθησης [101]

3) Inverter

Ο μετατροπέας είναι θεμελιώδες στοιχείο κάθε ηλιακού Φωτοβολταϊκού συστήματος, αφού μετατρέπει την κανονική έξοδο συνεχούς ρεύματος των ηλιακών μονάδων σε τροφοδοσία εναλλασσόμενου ρεύματος το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί από ηλεκτρικές συσκευές όπως λαμπτήρες, οικιακές συσκευές, εξοπλισμό γραφείου, κινητήρες κλπ. Ενώ η λειτουργία όλων των μετατροπέων είναι βασικά η ίδια, στα ηλιακά συστήματα μπορούν να ταξινομηθούν σε τρεις κύριους τύπους, ανάλογα με τον τρόπο με τον οποίο έχει ενσωματωθεί με τη Φωτοβολταϊκή διάταξη:

String inverters

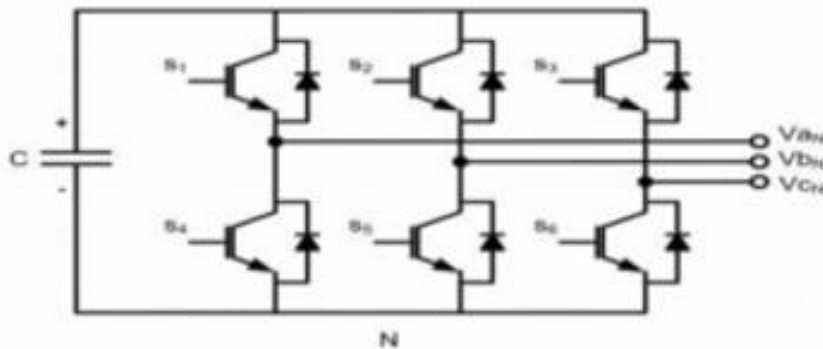
Το όνομα των μετατροπέων προέρχεται από το γεγονός ότι τα φωτοβολταϊκά στοιχεία συνδέονται σε ένα κύκλωμα σειράς ή σε μια σειρά, πριν συνδεθούν με τον αντιστροφέα. Όλες οι φωτοβολταϊκές μονάδες σε ένα κύκλωμα σειράς φέρουν το ίδιο ρεύμα και οι τάσεις τους προστίθενται απευθείας.

Micro-inverters

Αυτή η τεχνολογία είναι απόλυτος αντίθετος με τους μετατροπέες string inverters όσον αφορά τη σύνδεση και τη λειτουργία. Αντί να χρησιμοποιεί σειριακά συνδεδεμένα κυκλώματα ηλιακών μονάδων και κεντρικό αναστροφέα, εγκαθίσταται μικροεναλλάκτης σε όλα τα που συνθέτουν τη Φωτοβολταϊκή γεννήτρια. Στη συνέχεια, η έξοδος όλων των μικροεπεξεργαστών συνδέεται παράλληλα με ένα ηλεκτρικό κύκλωμα που λειτουργεί με εναλλασσόμενο ρεύμα.

Power optimizer systems

Αυτή η τεχνολογία μπορεί να θεωρηθεί ως υβρίδιο και των δύο συστημάτων που αναφέρονται παραπάνω. Το σύστημα χρησιμοποιεί έναν κεντρικό μετατροπέα στοιχειοσειρών, αλλά οι φωτοβολταϊκές μονάδες δεν συνδέονται απευθείας σε ένα κύκλωμα σειράς. Αντίθετα, μια ατομική δύναμη εγκαθίσταται σε κάθε μονάδα για να σταθεροποιήσει την τάση εξόδου, και στη συνέχεια πραγματοποιείται η σύνδεση σειράς. Όσον αφορά το κόστος, αυτό το σύστημα είναι ενδιάμεσο μεταξύ μικροεπεξεργαστών και παραδοσιακών μετατροπέων στοιχειοσειρών.



Εικόνα 55: Τοπολογία τριφασικού αντιστροφέα [\[101\]](#)

4) Load

Είναι το στοιχείο που είναι υπεύθυνο για την απορρόφηση της ενέργειας και τη μετατροπή της σε εργασία.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

Συστήματα Αποθήκευσης Ηλεκτρικής Ενέργειας

5.1 Εισαγωγή

Η αποθήκευση ηλεκτρικής ενέργειας (Storage System SS) αναφέρεται σε μια διαδικασία μεταφοράς της ηλεκτρικής ενέργειας από ένα δίκτυο σε μια μορφή, που μπορεί να αποθηκευτεί για να μπορεί να μετατραπεί όταν απαιτείται σε ηλεκτρική ενέργεια. Μια τέτοια διαδικασία επιτρέπει την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας σε στιγμές χαμηλής ζήτησης, η οποία μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε περιόδους υψηλής ζήτησης, υψηλού κόστους παραγωγής ή όποτε δεν υπάρχουν άλλα μέσα παραγωγής. Υπάρχουν πολυάριθμες εφαρμογές που στηρίζονται σε μεγάλο βαθμό στα συστήματα αποθήκευσης, συμπεριλαμβανομένων φορητών συσκευών και οχημάτων μεταφοράς.

Η ιστορία των συστημάτων αποθήκευσης (EES) χρονολογείται από τον 20ο αιώνα, όταν οι σταθμοί ηλεκτροπαραγωγής ήταν συχνά απενεργοποιημένοι, παρέχοντας ενέργεια μέσω των συσσωρευτών μολύβδου-οξέος στα υπολειπόμενα φορτία των δικτύων συνεχούς ρεύματος. Οι επιχειρήσεις λοιπόν αναγνώρισαν τελικά τη σημασία της ευελιξίας που παρέχει η αποθήκευση ενέργειας στα δίκτυα και ο πρώτος κεντρικός σταθμός για την αποθήκευση ενέργειας ήταν μια μονάδα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας που χρησιμοποίησε υδροηλεκτρική αποθήκευση (PHS), η οποία τέθηκε σε χρήση το 1929. Μέχρι το 2005, περισσότερα από 200 συστήματα υδροηλεκτρικής αποθήκευσης ήταν σε χρήση σε όλο τον κόσμο, παρέχοντας συνολικά περισσότερα από 100 GW παραγωγικής ικανότητας.

Οι συμβατικές παραγωγικές μονάδες ηλεκτρικής ενέργειας έχουν ελάχιστη ή καθόλου εγκαταστάσεις αποθήκευσης. Η ροή της ηλεκτρικής ενέργειας στα συστήματα μετάδοσης και διανομής λειτουργούν για μια απλή μονόδρομη μεταφορά από απομακρυσμένους και μεγάλους σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής στους καταναλωτές. Το σημαντικότερο στοιχείο των σύγχρονων απαιτήσεων του ενεργειακού τομέα, είναι ότι η ηλεκτρική ενέργεια πρέπει πάντα να χρησιμοποιείται με ακρίβεια όταν παράγεται. Ωστόσο, η ζήτηση για ηλεκτρική ενέργεια ποικίλλει σημαντικά, καθημερινά και εποχικά. Η μέγιστη ζήτηση μπορεί να διαρκέσει μόνο για μερικές ώρες κάθε χρόνο, το οποίο οδηγεί σε αναποτελεσματικές, υπερβολικά σχεδιασμένες και δαπανηρές εγκαταστάσεις. Τα συστήματα αποθήκευσης επιτρέπουν μια ευελιξία στον τρόπο κατά τον οποίο διανέμεται η ενέργεια στους καταναλωτές. Διαθέτοντας μεγάλη χωρητικότητα αποθήκευσης μπορεί να ελαφρύνει σημαντικά την κύρια μονάδα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Αυτό είναι ιδιαίτερα σημαντικό για μεγάλα συστήματα γενικής χρήσης, π.χ. σταθμούς πυρηνικής ενέργειας, οι οποίοι πρέπει να λειτουργούν με συστήματα πλήρους

χωρητικότητας για οικονομικούς κυρίως λόγους. Επομένως, μπορεί να προσφέρει σημαντικά οφέλη, συμπεριλαμβανομένου του φορτίου, της μέγιστης ισχύος και του εφεδρικού αποθέματος.

Ένα σύστημα αποθήκευσης, θα μπορούσε προφανώς να προσφέρει μια σημαντική (ακόμη και ζωτικής σημασίας) βοήθεια στην αντιμετώπιση του προβλήματος της ανασφάλειας των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και της απρόβλεπτης κατάστασης της παραγωγής τους, καθώς το πλεόνασμα θα μπορούσε να αποθηκευτεί κατά τη διάρκεια της περιόδου όπου η διακοπτόμενη παραγωγή υπερβαίνει τη ζήτηση.

5.2 Χαρακτηριστικά και ταξινόμηση των Συστημάτων αποθήκευσης

Οι τεχνικές αποθήκευσης ενέργειας μπορούν να ταξινομηθούν σύμφωνα με τα ακόλουθα κριτήρια:

- Τύπος εφαρμογής: μόνιμος ή φορητός.
- Διάρκεια αποθήκευσης: βραχυπρόθεσμα ή μακροπρόθεσμα.
- Τύπος παραγωγής: η μέγιστη απαιτούμενη ισχύς.

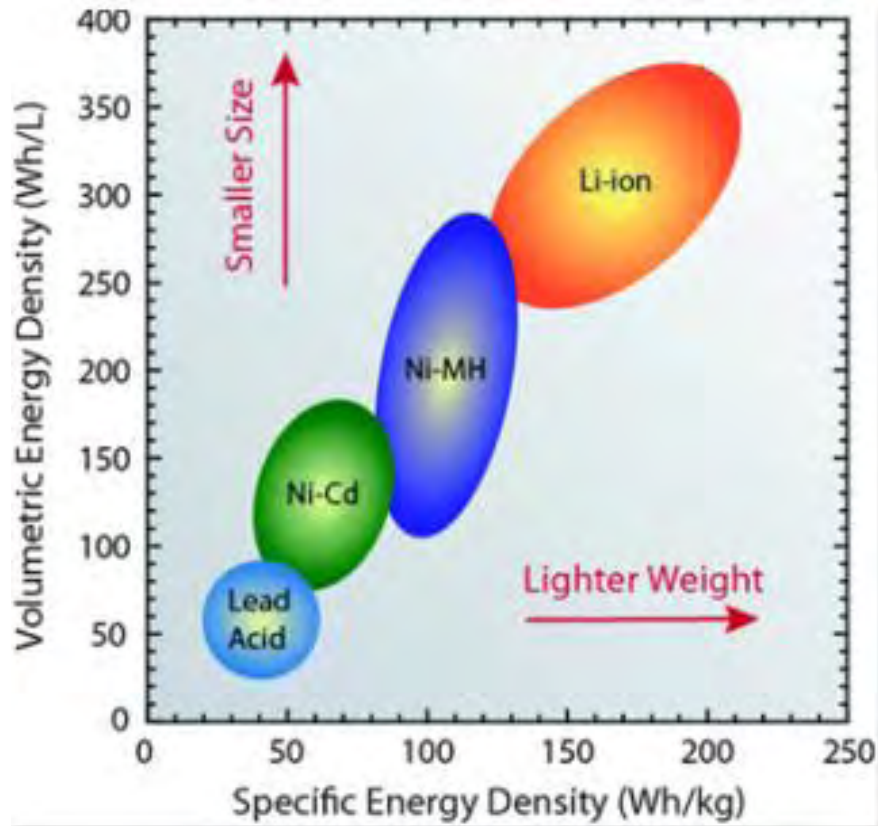
Επομένως, είναι απαραίτητο να αναλυθούν τα θεμελιώδη χαρακτηριστικά (τεχνικά και οικονομικά) των συστημάτων αποθήκευσης προκειμένου να καθοριστούν τα κριτήρια σύγκρισης για την επιλογή της καλύτερης τεχνολογίας. Τα βασικά χαρακτηριστικά των συστημάτων αποθήκευσης στα οποία βασίζονται τα κριτήρια επιλογής είναι τα ακόλουθα.

1. Πυκνότητα ενέργειας

Η ενεργειακή πυκνότητα των συσκευών αποθήκευσης έχει μεγάλη σημασία όταν αποφασίζεται ποια συσκευή αποθήκευσης θα χρησιμοποιηθεί για ένα συγκεκριμένο σενάριο. Η πυκνότητα ενέργειας δίνει την ποσότητα ενέργειας που είναι ικανή να κατέχει ένα σύστημα αποθήκευσης ανά μονάδα όγκου/μάζας. Μπορεί επίσης να είναι πιο γνωστή ως συγκεντρωμένη ενέργεια και είναι εκφρασμένη σε Wh/m^3 ή Wh/kg . Εάν μια συσκευή αποθήκευσης έχει μεγαλύτερη ενεργειακή πυκνότητα, αυτό σημαίνει ότι μπορεί να είναι μικρότερο ή/και να ζυγίζει λιγότερο ενώ περιέχει την ίδια ποσότητα ενέργειας. Λαμβάνοντας υπόψη αυτό, μικρές συσκευές τεχνολογίας, όπως τα κινητά τηλέφωνα χρησιμοποιούν μια μπαταρία με υψηλή ενεργειακή πυκνότητα, δεδομένου ότι πρέπει να είναι ελαφριά και συμπαγής. Ωστόσο, ένα αυτοκίνητο μπορεί να θυσιάσει μια αύξηση της μάζας και να

χρησιμοποιήσει μια μπαταρία χαμηλότερης ενεργειακής πυκνότητας, καθώς η μάζα της μπαταρίας του δεν είναι τόσο μεγάλη σε σύγκριση με τα άλλα συστατικά του.

Για οπτική σύγκριση, οι πυκνότητες ενέργειας των μπαταριών εμφανίζονται στην Εικόνα 56.



Εικόνα 56: Σύγκριση ενεργειακών πυκνοτήτων τεσσάρων κοινών τύπων μπαταριών. [103]

2. Κόστος ενέργειας

Κάθε σύστημα μπορεί να θεωρηθεί επιτυχημένο μόνο όταν αποδειχθεί ότι αποφέρει κέρδη που υπερβαίνουν τα έξοδα για τις επενδύσεις του κόστους ενσωμάτωσης. Τα συστήματα αποθήκευσης υπόκεινται σε αυστηρή εξέταση και κριτική, όσον αφορά το υψηλό κόστος και την οικονομική βιωσιμότητα. Ως εκ τούτου, τόσο το επενδυτικό κεφάλαιο πρέπει να ληφθεί υπόψη όσο και τα έξοδα συντήρησης που υπέστησαν κατά τη διάρκεια των φάσεων λειτουργίας του. Σε μπαταρίες, αν και τα επενδυτικά κόστη είναι χαμηλά, υποφέρουν από συχνή συντήρηση και αντικατάσταση κατά τη διάρκεια ενός σχεδίου λειτουργίας. Έτσι, το συνολικό κόστος που θα προκύψει κατά τη διάρκεια της ζωής του, πρέπει να εκτιμηθεί προσεκτικά. Το επίπεδο κόστους της ενέργειας είναι ένας άλλος σημαντικός παράγοντας, ο οποίος περιλαμβάνει την καθαρή αξία του συστήματος αποθήκευσης λαμβάνοντας υπόψη τον πληθωρισμό και τα προεξοφλητικά επιτόκια.

3. Απόδοση

Ο λόγος της ποσότητας ενέργειας που αποθηκεύεται με την αναλογία της παραδιδόμενης ενέργειας στο δίκτυο μπορεί να υπολογιστεί ως η αποτελεσματικότητα του συστήματος αποθήκευσης. Είναι σημαντική παράμετρος για την σύγκριση και τον προσδιορισμό της χρησιμότητας του συστήματος αποθήκευσης. Οι μικρότερες απώλειες που υπέστησαν κατά τη διαδικασία φόρτισης-εκφόρτισης, έχουν ως αποτέλεσμα την υψηλότερη απόδοσή του. Ο βασικός λόγος που τα συστήματα αποθήκευσης διεισδύουν στα υβριδικά συστήματα ενέργειας, είναι για να προωθηθεί η εξοικονόμηση ενέργειας και να βελτιωθεί η ενεργειακή απόδοση. Ως εκ τούτου, οι φορείς εκμετάλλευσης δικτύου απαιτούν τουλάχιστον περίπου 80% απόδοση για να είναι ένα σύστημα αποθήκευσης ικανοποιητικό.

4. Χρόνος αποφόρτισης

Αυτή είναι η μέγιστη διάρκεια εκφόρτισης, $t (s) = W_{st}/P_{max}$. Εξαρτάται από το βάθος εκφόρτισης και τις συνθήκες λειτουργίας του συστήματος και τη σταθερή ισχύ. Είναι ένα χαρακτηριστικό της επάρκειας του συστήματος για ορισμένες εφαρμογές.

5. Διάρκεια Ζωής

Η χρονική περίοδος κατά την οποία η αποθήκευση ενέργειας συνεχίζει να παράγει ενέργεια, καθορίζεται είτε σε έτη είτε σε αριθμό κύκλων εκφόρτισης (διάρκεια ζωής κύκλου). Τα συστήματα φυσικής αποθήκευσης, έχουν εξαιρετικά μεγάλη διάρκεια ζωής και είναι επίσης κατάλληλα για εποχιακή αποθήκευση ηλεκτρικής ενέργειας. Η διάρκεια ζωής σε αριθμό κύκλων είναι ένας κρίσιμος παράγοντας, ειδικά για τις μπαταρίες, διότι η αποδοτικότητα και η λειτουργικότητα των μπαταριών μειώνεται με την ηλικία. Επίσης, πολλές ιδιότητες καθορίζουν τη διάρκεια ζωής των συστημάτων μπαταριών, συμπεριλαμβανομένης της θερμοκρασίας λειτουργίας, της κατάστασης φόρτισης, των επιπέδων ηλεκτρικού ρεύματος, του βάθους κύκλου και της συχνότητας.

6. Βάθος απόρριψης

Αυτό είναι επίσης κρίσιμο ζήτημα για τα συστήματα αποθήκευσης μπαταριών. Οι περισσότερες μπαταρίες υφίστανται βαθμιαία υποβάθμιση όταν υπόκεινται σε παρατεταμένη μερική ή ακατάλληλη φόρτιση/εκφόρτιση. Το βάθος απόρριψης δίνει την ποσότητα απορριπτόμενης χωρητικότητας, σε σχέση με τη συνολική χωρητικότητά του. Αυτό έχει άμεση επίπτωση στην υποβάθμιση του ηλεκτρολύτη και στη διάρκεια ζωής του κύκλου ζωής της μπαταρίας. Μια μπαταρία με ένα χαμηλότερο βάθος απόρριψης θα είναι ικανό να προσφέρει μεγαλύτερη διάρκεια ζωής του κύκλου.

7. Αυτό-εκφόρτιση

Η αυτοεκφόρτιση αναφέρεται στην ποσότητα που χάθηκε κατά τη διάρκεια της αδράνειας. Αυτό το φαινόμενο είναι πιο συχνό στις μπαταρίες. Οι αυτοεκφορτίσεις επηρεάζουν τη

διάρκεια ζωής των μπαταριών και επηρεάζονται άμεσα από κάποιους παράγοντες, όπως οι θερμοκρασίες λειτουργίας και το περιβάλλον λειτουργίας.

8. Θερμοκρασίες λειτουργίας

Πολλά συστήματα αποθήκευσης όπως ο πεπιεσμένος αέρας και η μαγνητική αποθήκευση, απαιτούν τη λειτουργία συγκεκριμένων θερμοκρασιών λειτουργίας. Τα συστήματα αποθήκευσης επηρεάζονται επίσης από τις θερμοκρασίες που επικρατούν στο λειτουργικό περιβάλλον, επειδή η θερμότητα σχετίζεται άμεσα με την ενεργειακή απόδοση και την αποτελεσματικότητα της ενέργειας.

9. Χωρητικότητα συσσωρευτή

Η χωρητικότητα του συσσωρευτή είναι μια σημαντική παράμετρος για τον χρόνο ζωής των συστημάτων αποθήκευσης. Εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τους κύκλους λειτουργίας του συσσωρευτή. Όσο περισσότερη είναι οι κύκλοι λειτουργίας τόσο η χωρητικότητα ελαττώνεται. Μάλιστα, σημαντικό ρόλο σε αυτό το φαινόμενο παίζει ο ρυθμός κατά τον οποίο αυξάνονται οι κύκλοι λειτουργίας. Η παρατήρηση αυτή, οφείλεται στην σταδιακή μείωση των ενεργών υλικών των ηλεκτροδίων. Με το πέρασμα των χρόνων και με την συστηματική μελέτη της συμπεριφοράς της χωρητικότητας διαφόρων συσσωρευτών, καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι ο συντελεστής γήρανσης της χωρητικότητας υπολογίζεται περίπου 0,8, το οποίο περιγράφει την μείωση της χωρητικότητας στο τέλος της ζωής του συσσωρευτή)

Ταξινόμηση συσσωρευτών

Παρόλο που η ηλεκτρική ενέργεια δεν είναι εύκολο να αποθηκευτεί απευθείας με χαμηλό κόστος, μπορεί εύκολα να αποθηκευτεί σε άλλες μορφές και να μετατραπεί ξανά στην ηλεκτρική ενέργεια όταν χρειάζεται. Οι τεχνολογίες αποθήκευσης για την ηλεκτρική ενέργεια μπορούν να ταξινομηθούν στις ακόλουθες κατηγορίες:

(1) Αποθήκευση ηλεκτρικής ενέργειας:

- Αποθήκευση ηλεκτροστατικής ενέργειας, συμπεριλαμβανομένων πυκνωτών.

(2) Μηχανική αποθήκευση ενέργειας:

- αποθήκευση κινητικής ενέργειας (σφόνδυλοι).

(3) Αποθήκευση χημικής ενέργειας:

- αποθήκευση ηλεκτροχημικής ενέργειας
- αποθήκευση χημικής ενέργειας (κυψέλες καυσίμου).
- θερμοχημική αποθήκευση ενέργειας (ηλιακό υδρογόνο, ηλιακό μέταλλο)

(4) αποθήκευση θερμικής ενέργειας:

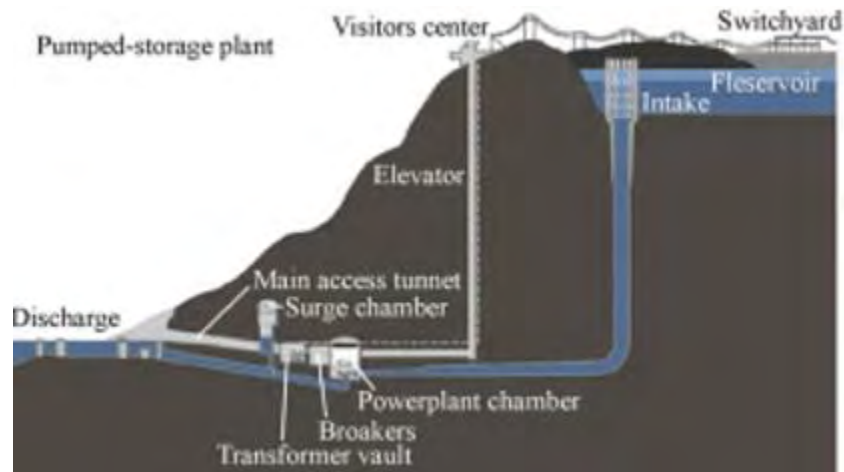
- αποθήκευση ενέργειας χαμηλής θερμοκρασίας (αποθήκευση ψυχρής ενέργειας υδρόφιλου, κρυογονική αποθήκευση ενέργειας)
- αποθήκευση ενέργειας υψηλής θερμοκρασίας (συστήματα αισθητής θέρμανσης όπως ο ατμός ή το ζεστό νερό συσσωρευτών)

5.3 Τεχνολογίες συστημάτων αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας

5.3.1 Αντλητική Υδροηλεκτρική Αποθήκευση - (PHS Pumped Hydroelectric Storage)

Η αντλητική υδροηλεκτρική αποθήκευση είναι το πιο ευρέως εφαρμοσμένο σύστημα αποθήκευσης ενέργειας. Όπως απεικονίζεται στην Εικόνα 57, ένα τέτοιο σύστημα αποτελείται από δύο δεξαμενές τοποθετημένες σε διαφορετικές ανυψώσεις, μια μονάδα για την άντληση νερού στο υψηλό υψόμετρο (για την αποθήκευση ηλεκτρικής ενέργειας υπό τη μορφή υδραυλικής δυναμικής ενέργειας κατά τις ώρες εκτός λειτουργίας) και μια τουρμπίνα για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Σαφώς, η ποσότητα αποθηκευμένης ενέργειας είναι ανάλογη του ύψους της διαφοράς μεταξύ των δύο δεξαμενών και της έντασης του αποθηκευμένου νερού. Η ενέργεια μπορεί να αποθηκευτεί υπό μορφή δυναμικής ενέργειας, η οποία μπορεί στη συνέχεια να μετατραπεί ξανά σε ηλεκτρική ενέργεια σε μεταγενέστερο χρόνο.

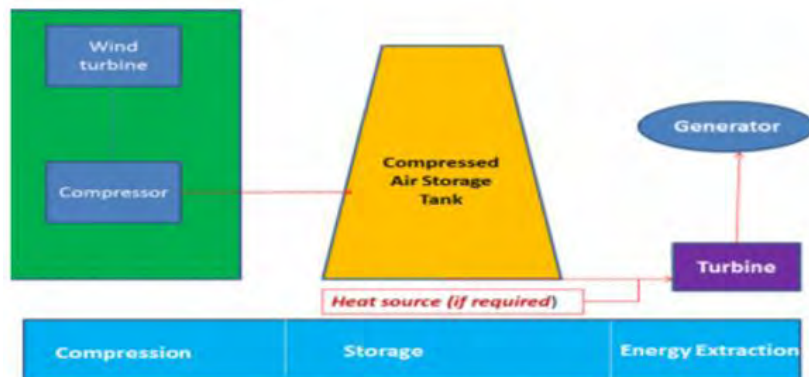
Το PHS είναι μια ώριμη τεχνολογία με μεγάλο όγκο, μεγάλη διάρκεια αποθήκευσης, υψηλή απόδοση και σχετικά χαμηλό κόστος ανά μονάδα ενέργειας. Η περίοδος αποθήκευσης του PHS μπορεί να ποικίλει από ώρες έως ημέρες και ακόμη και χρόνια. Η τυπική βαθμολογία του PHS είναι περίπου 100 MW. Επίσης οι εγκαταστάσεις συνεχίζουν να εγκαθίστανται παγκοσμίως με ρυθμό μέχρι 5 GW ανά έτος. Η βαθμολογία της PHS είναι η υψηλότερη σε σχέση με τα διαθέσιμα συστήματα αποθήκευσης, επομένως εφαρμόζεται γενικά για ενεργειακή διαχείριση, έλεγχο συχνότητας και παροχή αποθεματικού. Το κύριο μειονέκτημα του PHS έγκειται στην έλλειψη διαθέσιμων χώρων για δύο μεγάλες δεξαμενές και ένα ή δύο φράγματα



Εικόνα 57: Απεικόνιση του συστήματος PHS

5.3.2 Αποθήκευση ενέργειας πεπιεσμένου αέρα (Compressed Air Energy Storage CAES)

Οι μονάδες αποθήκευσης ενέργειας πεπιεσμένου αέρα (CAES), είναι σε μεγάλο βαθμό ισοδύναμες με τις αντλούμενες μονάδες υδροηλεκτρικής ενέργειας όσον αφορά τις εφαρμογές τους, την απόδοση και την ικανότητα αποθήκευσης. Το CAES είναι η μόνη άλλη εμπορικά διαθέσιμη τεχνολογία (πέραν του PHS), ικανή να παρέχει πολύ μεγάλη αποθήκευση ενέργειας (άνω των 100 MW με μονή μονάδα). Το σύστημα CAES κατατάσσεται σε τρεις τύπους με βάση τον αέρα αποθήκευσης και την χρήση θερμότητας. Είναι (i) αδιαβατικά, (ii) διαβατικά, και (iii) ισοθερμικά. Η Εικόνα 58 δείχνει ένα διάγραμμα ενός συστήματος CAES. Σε αυτό το σύστημα ο ατμοσφαιρικός αέρας συμπιέζεται και αποθηκεύεται υπό πίεση σε ένα υπόγειο σπήλαιο. Όταν απαιτείται ηλεκτρική ενέργεια, ο συμπιεσμένος αέρας θερμαίνεται και επεκτείνεται σε ένα στρόβιλο διαστολής που οδηγεί μια γεννήτρια παραγωγής ενέργειας.



Εικόνα 58: Διαδικασία παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με βάση το CAES [\[105\]](#)

Το ιδιαίτερο χαρακτηριστικό για την αποθήκευση πεπιεσμένου αέρα είναι ότι ο αέρας θερμαίνεται έντονα όταν συμπιέζεται από ατμοσφαιρική πίεση σε πίεση αποθήκευσης περίπου 1,015 psia (70 bar). Επίσης απαιτούνται πολύ μεγάλες αποθήκες λόγω της χαμηλής πυκνότητας αποθήκευσης. Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται αναλυτικά οι αποδόσεις των συστημάτων αποθήκευσης πεπιεσμένου αέρα για διάφορα μεγέθη.

Πίνακας 3: Χαρακτηριστικά απόδοσης του συστήματος CAES

Τεχνολογία	Ενεργειακή πυκνότητα	Πυκνότητα ισχύος	Συγκεντρωμένη ενέργεια	Ισχύς	Ονομαστική χωρητικότητα
Μεγάλα CAES	2-6 Wh/L	0.5-2 W/L	30-60	110&290 MW	580&2860 MWh
Μικρά CAES	2-6 Wh/L	0.5-2 W/L	140 Wh/kg στα 300 bar	0.003-3 MW	0.002-0.001 MWh
LAES	4 x CAES	-	214 Wh/kg	0.3-2.5 MW	2.5 MWh

Πίνακας 2: Χαρακτηριστικά απόδοσης του συστήματος CAES

Τεχνολογία	Αυτοεκφόρτιση	Διάρκεια Ζωής	Κύκλοι	Απόδοση απόρριψης	αποτελεσματικότητα μετ 'επιστροφής
Μεγάλα CAES	Μικρή	20-40 έτη	8000-12000	70-79%	54-70%
Μικρά CAES	Πολύ μικρή	23+ έτη	30000	75-90%	-
LAES	Μικρή	20-40 έτη	-	-	55-80%

5.3.3 Μπαταρία (Battery)

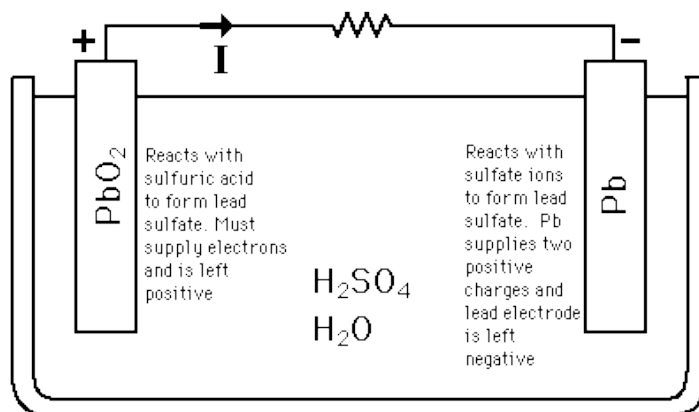
Η μπαταρία είναι η παλαιότερη μορφή αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας που αποθηκεύεται με τη μορφή της χημικής ενέργειας. Μια μπαταρία αποτελείται από ένα ή περισσότερα ηλεκτροχημικά κύτταρα και κάθε κύτταρο αποτελείται από ένα υγρό με ένα θετικό ηλεκτρόδιο (ανόδου) και ένα αρνητικό ηλεκτρόδιο (καθόδου).

Οι μπαταρίες είναι κατά κάποιο τρόπο ιδανικές για ηλεκτρική χρήση για εφαρμογές αποθήκευσης ενέργειας. Δεν παρέχουν μόνο ευελιξία και περιβαλλοντικά οφέλη, αλλά επίσης προσφέρουν μια σειρά από σημαντικά λειτουργικά οφέλη για την ηλεκτρική ενέργεια. Μπορούν να ανταποκριθούν πολύ γρήγορα στις αλλαγές φορτίου και να αποδεχθούν την συμπαράγωγή, ενισχύοντας έτσι την σταθερότητα του συστήματος. Οι μπαταρίες έχουν συνήθως υψηλή ενεργειακή απόδοση (60-95%). Ωστόσο, μεγάλης κλίμακας συστήματα μπαταρίας ήταν σπάνια μέχρι πολύ πρόσφατα λόγω της χαμηλής πυκνότητας ενέργειας, της μικρής ισχύος, των υψηλών έξοδων συντήρησης και της μικρής διάρκειας ζωής. Επιπλέον, οι περισσότερες μπαταρίες περιέχουν τοξικά υλικά. Συνεπώς, πρέπει πάντα να λαμβάνονται

υπόψη οι οικολογικές επιπτώσεις από την ανεξέλεγκτη χρησιμοποίηση των μπαταριών. Μερικές εφαρμογές αποθήκευσης ενέργειας μπαταρίας περιλαμβάνουν το μόλυβδο οξύ, νικελίου καδμίου, θείου νατρίου, χλωριούχου νικελίου του νατρίου και ιόντων λιθίου.

5.3.3.1 Μπαταρίες οξέος μολύβδου (Lead acid batteries)

Οι μπαταρίες οξέος μολύβδου, που εφευρέθηκαν το 1859, είναι οι παλαιότερες και πιο ευρέως χρησιμοποιούμενες επαναφορτιζόμενες ηλεκτροχημικές συσκευές. Η μπαταρία μολύβδου οξέος αποτελείται από ηλεκτρόδια (σε φορτισμένη κατάσταση). Έχει χαμηλό κόστος (\$ 300-600 /kWh), υψηλή αξιοπιστία και αποτελεσματικότητα (70-90%). Είναι μια δημοφιλής επιλογή αποθήκευσης για την ποιότητα της ενέργειας. Ωστόσο, ήταν πολύ περιορισμένη λόγω του μικρού κύκλου ζωής (500-1000 κύκλοι) και χαμηλής ενεργειακής πυκνότητας (30-50 Wh / kg) λόγω της εγγενούς υψηλής πυκνότητας μολύβδου. Οι μπαταρίες μολύβδου οξέος έχουν επίσης κακή απόδοση σε χαμηλή θερμοκρασία και συνεπώς απαιτούν σύστημα θερμικής διαχείρισης.



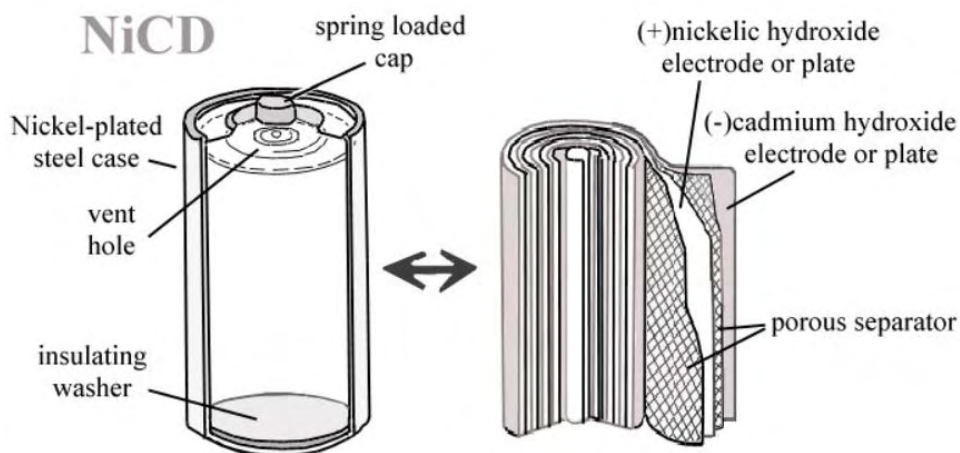
Εικόνα 59: Σχηματική αναπαράσταση μπαταρίας οξέος μολύβδου [106]

5.3.3.2 Μπαταρίες νικελίου καδμίου (Nickel cadmium batteries)

Οι μπαταρίες νικελίου καδμίου έχουν υψηλή ενεργειακή πυκνότητα (50-75 Wh / kg), αξιοπιστία και πολύ χαμηλές απαιτήσεις συντήρησης, αλλά σχετικά χαμηλή διάρκεια ζωής. Αυτά τα πλεονεκτήματά τους καθιστούν αναγκαία για ηλεκτρικά εργαλεία, φορητές συσκευές, φωτισμό πινακίδων κινδύνου, τηλεπικοινωνίες και γεννήτρια εκκίνησης. Ωστόσο, οι φορητές συσκευές όπως τα κινητά τηλέφωνα και οι φορητοί υπολογιστές, έχουν εκτοπιστεί αποτελεσματικά από αυτές τις αγορές, οι οποίες στράφηκαν σε άλλες ηλεκτροχημικές συσκευές, κατά την τελευταία δεκαετία.

Οι μπαταρίες νικελίου-καδμίου έχουν αρκετά πλεονεκτήματα όπως παρατίθενται: Οι μπαταρίες νικελίου-καδμίου μπορούν να αποφορτιστούν πλήρως χωρίς βλάβη της μπαταρίας. Επίσης είναι λιγότερο ευαίσθητες στην υπερφόρτιση, μειώνοντας έτσι τις απαιτήσεις κατά τη διάρκεια της φόρτισης. Επιπλέον, δεδομένου ότι η σύνθεση του ηλεκτρολύτη δεν αλλάζει κατά τη διάρκεια της φόρτισης ή της εκφόρτισης, είναι λιγότερο ευαίσθητες στην ψυχρότερη θερμοκρασία. Τέλος οι μπαταρίες νικελίου καδμίου έχουν χαμηλές απαιτήσεις συντήρησης, διότι σε σύγκριση με άλλες μπαταρίες, εκπέμπουν λιγότερα διαβρωτικά στοιχεία με αποτέλεσμα να ελαχιστοποιούν το κόστος συντήρησης.

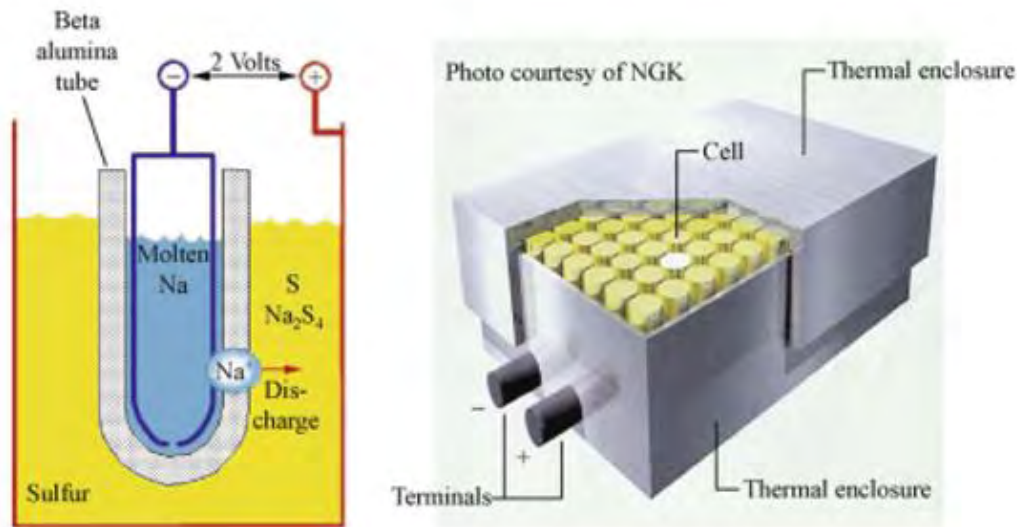
Το κύριο μειονέκτημα των μπαταριών NiCd είναι το σχετικά υψηλό κόστος (\$ 1000 / kWh) λόγω της δαπανηρής διαδικασίας κατασκευής. Επίσης, είναι συνήθως τουλάχιστον δύο φορές πιο ακριβές από τις μπαταρίες μολύβδου-οξέος. Επιπλέον έχουν χαμηλότερες αποδόσεις από 75% έως 85% και χαμηλότερες συνολικές αποδόσεις από 60% έως 75%. Τέλος υποφέρουν από φαινόμενο μνήμης, όπου οι μπαταρίες θα φορτιστούν πλήρως μετά από μια σειρά από πλήρεις εκφορτίσεις. Οι σωστές διαδικασίες διαχείρισης της μπαταρίας μπορούν να βοηθήσουν για να μετριάσει αυτό το αποτέλεσμα.



Εικόνα 60: Σχηματική αναπαράσταση μίας μπαταρίας νικελίου-καδμίου [107]

5.3.3.3 Μπαταρίες νατρίου θείου (Batteries Sodium Sulphur)

Οι μπαταρίες NaS έχουν τυπική διάρκεια ζωής 2500 κύκλων. Η τυπική πυκνότητα ενέργειας και ισχύος, βρίσκεται στην περιοχή 150-240Wh και 150-230 W / kg, αντίστοιχα. Επιπλέον ένα σημαντικό χαρακτηριστικό επιτρέπει στις μπαταρίες NaS να χρησιμοποιούνται οικονομικά σε εφαρμογές συνδυασμένης ποιότητας ισχύος.



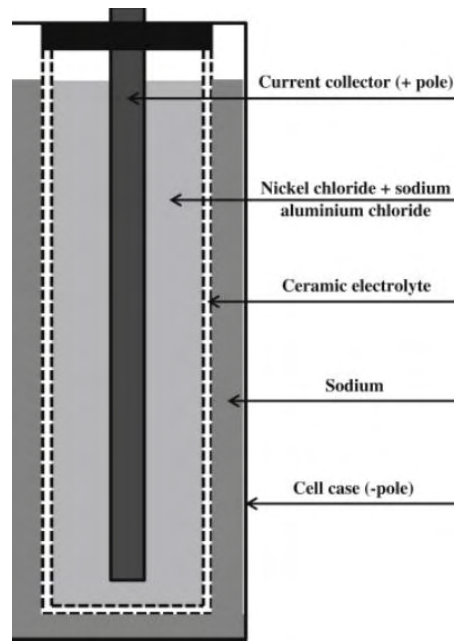
Εικόνα 61: Μπαταρία NaS

Το κύριο μειονέκτημα είναι ότι απαιτείται πηγή θερμότητας η οποία χρησιμοποιεί την αποθηκευμένη ενέργεια της μπαταρίας, μειώνοντας εν μέρει την απόδοση της, καθώς χρειάζεται η μπαταρία NaS να λειτουργεί σε υψηλή θερμοκρασία (300-350 °C) όπως αναφέρθηκε προηγουμένως. Το αρχικό κόστος κεφαλαίου είναι ένα άλλο θέμα (\$ 2000/kW και \$ 350/kWh), αλλά αναμένεται να μειωθεί όσο αυξάνεται η παραγωγική ικανότητα.

5.3.3.4 Μπαταρίες χλωριούχου νικελίου σε νάτριο (Batteries Sodium nickel chloride)

Η μπαταρία χλωριούχου νικελίου σε νάτριο είναι γνωστή ως μπαταρία ZEBRA. Είναι ένα σύστημα υψηλής θερμοκρασίας (300 °C) που χρησιμοποιεί χλωριούχο νικέλιο ως θετικό ηλεκτρόδιο και έχει τη δυνατότητα να λειτουργεί σε ευρύ φάσμα θερμοκρασιών (40 +70 C) χωρίς ψύξη.

Σε σύγκριση με τις μπαταρίες NaS, οι μπαταρίες ZEBRA μπορούν να αντέξουν σε περιορισμένη υπερφόρτιση και εκφόρτιση και να έχουν ενδεχομένως καλύτερα χαρακτηριστικά ασφαλείας και υψηλή τάση κυψελών (2,58 V). Τα μειονεκτήματα όσον αφορά τις μπαταρίες NaS, είναι η χαμηλή πυκνότητα ενέργειας (120 Wh / kg) και η πυκνότητα ισχύος (150 W / kg), αν και η πρώτη εξακολουθεί να αντιπροσωπεύει μια σημαντική βελτίωση σε σχέση με την τεχνολογία μπαταρίας μολύβδου οξέος.

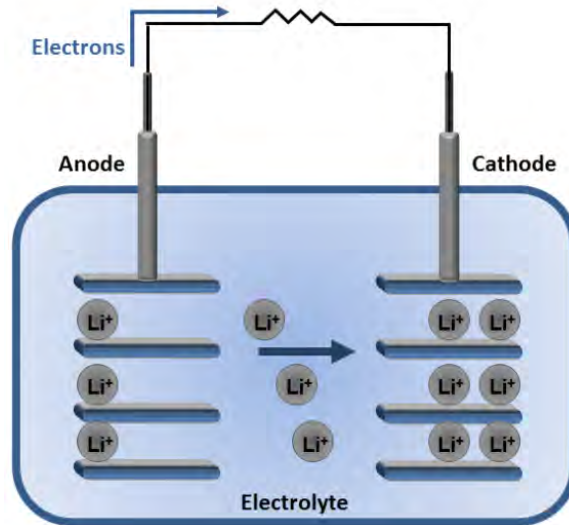


Εικόνα 62: Χαρακτηριστικά μπαταρίας sodium nickel chloride [\[108\]](#)

5.3.3.5 Μπαταρίες ιόντων λιθίου (Lithium ion batteries)

Οι μπαταρίες ιόντων λιθίου, που προτάθηκαν αρχικά στη δεκαετία του 1960, ήρθαν στην πραγματικότητα όταν η Bell Labs ανέπτυξε έναν επεξεργάσιμο γραφίτη ανόδου για να παρέχει μια εναλλακτική λύση στην μπαταρία λιθίου. Οι πρώτες εμπορικές μπαταρίες ιόντων λιθίου ήταν από τη Sony το 1990. Από τότε, οι εξελίξεις έχουν οδηγήσει σε τεράστιες βελτιώσεις όσον αφορά την ενεργειακή πυκνότητα (αυξήθηκε από 75 σε 200 Wh/kg) και (μεγαλύτερη από 10.000 κύκλους). Η απόδοση των μπαταριών ιόντων λιθίου είναι σχεδόν 100%, ένα άλλο σημαντικό πλεονέκτημα έναντι των άλλων μπαταριών.

Αν και οι μπαταρίες ιόντων λιθίου καταλαμβάνουν το 50% των μικρών φορητών συσκευών στην αγορά, υπάρχουν ακόμη μερικές προκλήσεις που πρέπει να αντιμετωπίσουν. Το κύριο εμπόδιο είναι το υψηλό κόστος (> \$ 600/kWh) λόγω ειδικής συσκευασίας και εσωτερικών κυκλωμάτων προστασίας από υπερφόρτιση. Αρκετές εταιρείες προσπαθούν να μειώσουν το κόστος κατασκευής, για να ανταπεξέλθουν όσο τον δυνατόν καλύτερα στην αγορά.

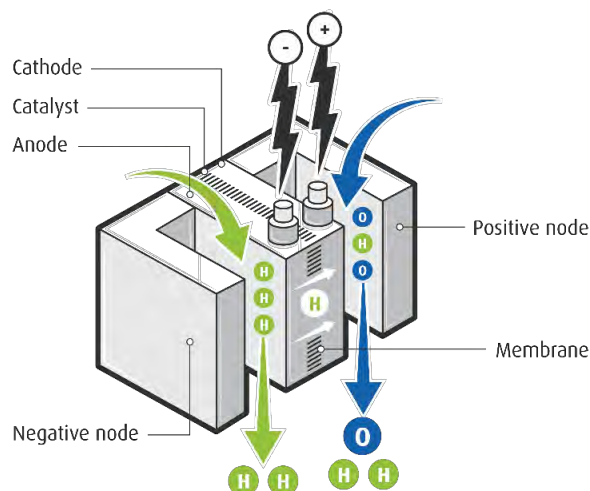


Εικόνα 63: Ηλεκτροχημικά χαρακτηριστικά της Μπαταρίας ιόντων λιθίου [109]

5.3.4 Κύτταρο καυσίμου (Fuel cell)

Μια κυψέλη καυσίμου είναι μια συσκευή που παράγει ηλεκτρική ενέργεια με χημική αντίδραση. Κάθε κυψέλη καυσίμου έχει δύο ηλεκτρόδια που ονομάζονται, αντίστοιχα, η άνοδος και η κάθοδος. Οι αντιδράσεις που παράγουν ηλεκτρισμό λαμβάνουν χώρα στα ηλεκτρόδια. Κάθε κυψέλη καυσίμου έχει επίσης έναν ηλεκτρολύτη, ο οποίος φέρει ηλεκτρικά φορτισμένα σωματίδια από το ένα ηλεκτρόδιο στο άλλο, και έναν καταλύτη, ο οποίος επιταχύνει τις αντιδράσεις στα ηλεκτρόδια. Το υδρογόνο είναι το βασικό καύσιμο, αλλά τα στοιχεία καυσίμου απαιτούν επίσης οξυγόνο.

Ένα βασικό πλεονέκτημα των κυψελών καυσίμου, είναι ότι παράγουν ηλεκτρισμό με πολύ μικρή ρύπανση. Με τη μετατροπή της χημικής ενέργειας απευθείας σε ηλεκτρική ενέργεια, οι κυψέλες καυσίμου αποφεύγουν το "θερμικό εμπόδιο" (συνέπεια του 2ου νόμου της θερμοδυναμικής) και είναι έτσι εγγενώς περισσότερο αποτελεσματικότερη από τις μηχανές καύσης, οι οποίες πρέπει πρώτα να μετατρέψουν τη χημική ενέργεια σε θερμότητα, και στη συνέχεια σε μηχανική εργασία. Επιπλέον θεωρούνται από τις πιο αναδυόμενες τεχνολογίες, λόγω των πολλών δυνατοτήτων που προσφέρουν σε διάφορους τομείς. Οι δυνατότητες αυτές αφορούν τις χαμηλές προς μηδενικές εκπομπές, της υψηλής απόδοσης, της αξιοπιστίας, της ενεργειακής ασφάλειας, της αντοχής, της ευελιξίας και της αθόρυβης λειτουργίας

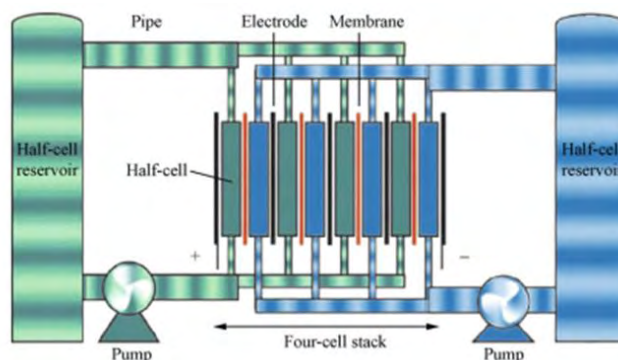


Εικόνα 64: Χαρακτηριστικά ενός κυττάρου καυσίμου [110]

5.3.5 Ροή μπαταρίας (Flow battery)

Μια μπαταρία ροής είναι ένας τύπος επαναφορτιζόμενης μπαταρίας, όπου η επαναφόρτιση παρέχεται από δύο χημικά συστατικά διαλυμένα σε υγρά, που περιέχονται στο σύστημα και πιο συχνά διαχωρίζονται με μεμβράνη. Αυτή η τεχνολογία είναι παρόμοια τόσο με μια κυψέλη καυσίμου όσο και με μια μπαταρία, όπου οι πηγές υγρής ενέργειας τροφοδοτούνται για τη δημιουργία ηλεκτρικής ενέργειας και μπορούν να επαναφορτιστούν στο ίδιο σύστημα.

Ένα από τα μεγαλύτερα πλεονεκτήματα των μπαταριών ροής είναι ότι μπορούν σχεδόν αμέσως να επαναφορτιστούν αντικαθιστώντας το υγρό του ηλεκτρολύτη, ενώ παράλληλα ανακτώνται τα αναλωμένα υλικά για την εκ νέου ενεργοποίηση. Σε αντίθεση με συμβατικές μπαταρίες, οι μπαταρίες ροής αποθηκεύουν ενέργεια στα διαλύματα ηλεκτρολυτών. Οι μπαταρίες ροής μπορούν να απελευθερώσουν ενέργεια συνεχώς σε υψηλό ρυθμό έως και 10 ώρες.



Εικόνα 65: Σχηματική αναπαράσταση της διαδικασίας της ροής μπαταρίας

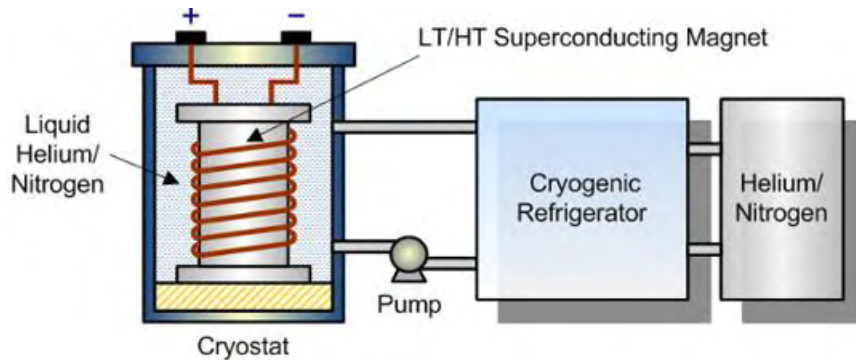
5.3.6 Ηλιακά καύσιμα (Solar fuels)

Οι τεχνολογίες ηλιακών καυσίμων είναι αναπτυξιακά συστήματα που χρησιμοποιούν ισχυρά, φθηνά και υψηλής απόδοσης εξαρτήματα για την παραγωγή καυσίμων, που μπορούν εύκολα να χρησιμοποιηθούν στην υπάρχουσα ενεργειακή υποδομή. Οι τεχνολογίες των ηλιακών καυσίμων χρησιμοποιούν τον αέρα, το νερό, το διοξείδιο του άνθρακα και το άζωτο από τον αέρα για την παραγωγή καυσίμων. Τα ηλιακά καύσιμα είναι βιώσιμα και δεν παράγουν καθαρές εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα. Ουσιαστικά είναι ανάλογες με τη φυσική φωτοσύνθεση, οι εγκαταστάσεις παράγουν καύσιμα (βιομάζα) από το ηλιακό φως.

Παρόλο που έχουν αποδειχθεί μια αναδυόμενη τεχνολογία με πολλές προοπτικές για να διεισδύσει για τα καλά στον ενεργειακό τομέα, δεν μπορούν να ανταγωνιστούν τις υπάρχουσες ενεργειακές τεχνολογίες. Το βασικό εμπόδιο για την παραγωγή καυσίμων από το ηλιακό φως, είναι η ανταγωνιστικότητα κόστους. Χρησιμοποιώντας τις σημερινές τεχνολογίες, το υδρογόνο που παράγεται από το ηλιακό φως θα κοστίζει περίπου δέκα φορές περισσότερο από το υδρογόνο που παράγεται από ορυκτά καύσιμα. Το υψηλό κόστος των ηλιακών καυσίμων οφείλεται κατά κύριο λόγο σε δαπάνες όπως η εργασία, η καλωδίωση, ο εξοπλισμός και τα υλικά για την τοποθέτηση ηλιακών συλλεκτών.

5.3.7 Υπεραγώγιμη αποθήκευση μαγνητικής ενέργειας (Superconducting magnetic energy storage)

Υπεραγώγιμη αποθήκευση μαγνητικής ενέργειας είναι η μόνη γνωστή τεχνολογία, για την αποθήκευση ηλεκτρικής ενέργειας απευθείας σε ηλεκτρικό ρεύμα. Αποθηκεύει ηλεκτρική ενέργεια ως άμεσο ηλεκτρικό ρεύμα, που διέρχεται μέσω ενός επαγωγέα (πηνίο) κατασκευασμένου από ένα υπεραγώγιμο υλικό και κυκλικό έτσι ώστε το ρεύμα να μπορεί να κυκλοφορεί με σχεδόν μηδενική απώλεια. Μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν για την αποθήκευση ενέργειας μαγνητικού πεδίου, που δημιουργείται από τη ροή του ηλεκτρικού ρεύματος. Για να διατηρηθεί ο επαγωγέας στην υπεραγώγιμη κατάσταση, εμβαπτίζεται σε υγρό ήλιο που περιέχεται σε κρυστάτη με μόνωση κενού. Το σύστημα SMES συνήθως αποτελείται από τρία κύρια εξαρτήματα, μια υπεραγωγική μονάδα, ένα κρυστατικό σύστημα (ένα κρυογονικό ψυγείο και δοχείο με μόνωση κενού), και ένα σύστημα μετατροπής ισχύος. Η ενέργεια που αποθηκεύεται στο πηνίο SMES μπορεί να υπολογιστεί με $E = 0.5LI^2$, όπου L είναι η επαγωγή του πηνίου και το I είναι το τρέχον ρεύμα διαμέσου αυτού.



Εικόνα 66: Υπεραγωγίμο σύστημα αποθήκευσης μαγνητικής ενέργειας [111]

Το SMES παρουσιάζει πολύ υψηλή απόδοση αποθήκευσης ενέργειας (τυπικά > 97%) και ταχεία απόκριση (μέσα σε λίγα χιλιοστά του δευτερολέπτου) σε σύγκριση με άλλα συστήματα αποθήκευσης ενέργειας, αλλά μόνο για σύντομες χρονικές περιόδους. Τα SMES έχουν επίσης ένα υψηλή διάρκεια κύκλου και ως εκ τούτου είναι κατάλληλη για εφαρμογές που απαιτούν σταθερή, πλήρη και συνεχή λειτουργία. Αυτά τα χαρακτηριστικά τα καθιστούν κατάλληλα για χρήση στην επίλυση της σταθερότητας τάσης και των προβλημάτων ποιότητας της ηλεκτρικής ενέργειας για μεγάλους βιομηχανικούς πελάτες. Μεγάλα συστήματα SMES με περισσότερα από 10 MW χρησιμοποιούνται κυρίως σε ανιχνευτές σωματιδίων για πειράματα φυσικής υψηλής ενέργειας και πυρηνικής σύντηξης. Μέχρι σήμερα, μικρά προϊόντα SMES είναι εμπορικά διαθέσιμα. Αυτά χρησιμοποιούνται κυρίως για τον έλεγχο της ποιότητας της ηλεκτρικής ενέργειας στα εργοστάσια παραγωγής, όπως οι εγκαταστάσεις κατασκευής μικροτσιπ.

Πίνακας 4: Χαρακτηριστικά Υπεραγωγίμη αποθήκευση μαγνητικής ενέργειας

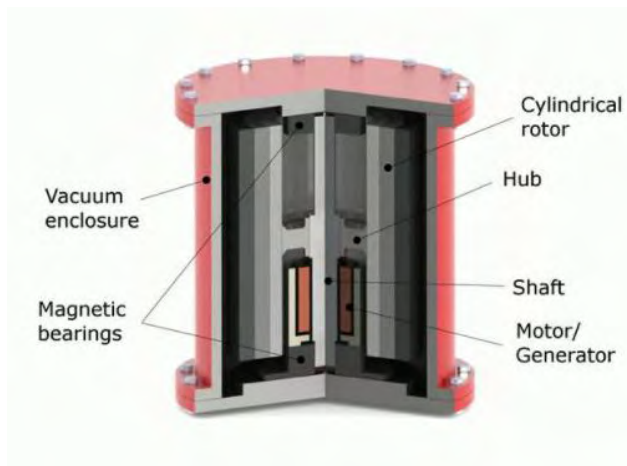
Χωρητικότητα	Απόδοση	Διάρκεια αποθήκευσης	\$/kWh	Διάρκεια ζωής	Κύκλοι	Ισχύς	\$/kWh
Πάνω από 20MWh	>95	Milliseconds-mins	1000-10000	20+ έτη	Πολύ υψηλή	>40 MW	200-400

5.3.8 Flywheel

Η αποθήκευση ενέργειας Flywheel (FES), είναι μια σχετικά νέα ιδέα που χρησιμοποιείται για να ξεπεραστούν οι περιορισμοί των διακοπόμενων ενεργειακών προμηθειών, όπως οι ηλιακές φωτοβολταϊκές ή οι ανεμογεννήτριες που δεν παράγουν συνέχεια ηλεκτρική ενέργεια.

Ένα σύστημα αποθήκευσης ενέργειας σφονδύλου μπορεί να περιγραφεί ως μηχανική μπαταρία, επειδή δεν δημιουργεί ηλεκτρισμό, αλλά μετατρέπει και αποθηκεύει την ενέργεια ως κινητική ενέργεια μέχρι να χρειαστεί. Σε λίγα δευτερόλεπτα, η ηλεκτρική ενέργεια μπορεί

να δημιουργηθεί από το στροφέα του σφονδύλου, καθιστώντας την ιδανική λύση για τη ρύθμιση της παροχής στο ηλεκτρικό δίκτυο. Ένας σφόνδυλος είναι ένας δίσκος που περιστρέφεται με βαρύ άξονα, που επιταχύνεται όταν εφαρμόζεται ηλεκτρική ενέργεια σε αυτόν. Όταν απαιτείται ενέργεια, ο σφόνδυλος επιβραδύνεται και η κινητική ενέργεια μετατρέπεται και πάλι σε ηλεκτρική ενέργεια, όπου μπορεί να μεταφερθεί εκεί όπου απαιτείται.

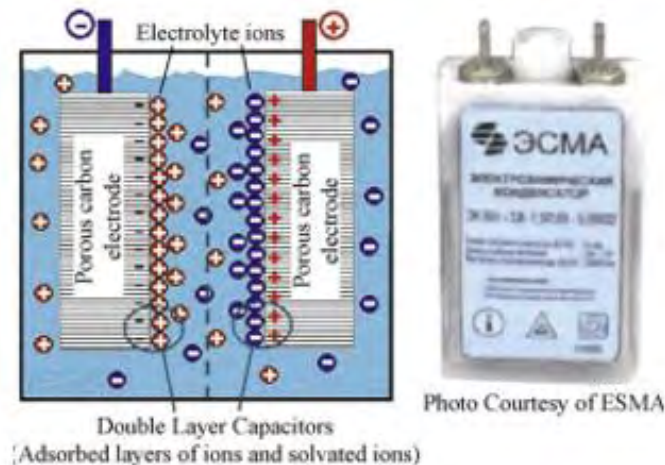


Εικόνα 67: Flywheel energy storage (FES)

Σε σύγκριση με άλλους τρόπους αποθήκευσης ηλεκτρικού ρεύματος, τα συστήματα FES έχουν μακρά διάρκεια ζωής (διαρκείας δεκαετιών με ελάχιστη ή καθόλου συντήρηση, οι πλήρεις κύκλοι ζωής που αναφέρονται για τους σφονδύλους κυμαίνονται από 105 έως 107 κύκλους χρήσης), υψηλή ειδική ενέργεια (100-130 Wh/kg ή 360-500 kJ/kg), και μεγάλη μέγιστη ισχύς εξόδου. Η ενεργειακή απόδοση (λόγος ενέργειας εξόδου ανά ενέργεια σε) σφονδύλων, γνωστή και ως απόδοση στρογγυλοποίησης, μπορεί να φθάσει το 90%. Οι τυπικές χωρητικότητες κυμαίνονται από 3 kWh έως 133 kWh. Η ταχεία φόρτιση ενός συστήματος συμβαίνει σε λιγότερο από 15 λεπτά.

5.3.9 Πυκνωτής (Capacitor)

Ο πιο άμεσος και κυριολεκτικός τρόπος αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας είναι με πυκνωτή. Στην απλούστερη μορφή του, ένας πυκνωτής αποτελείται από δύο μεταλλικές πλάκες που χωρίζονται από ένα μη αγώγιμο στρώμα, που ονομάζεται διηλεκτρικό. Όταν μια πλάκα φορτίζεται με ηλεκτρική ενέργεια από μια πηγή συνεχούς ρεύματος, η άλλη πλάκα θα προκαλέσει σε αυτό ένα αντίθετο φορτίο.



Εικόνα 68: Σύστημα αποθήκευσης πυκνωτή

Αναφορικά με την απόδοση του, το κύριο πρόβλημα που παρουσιάζεται από συμβατικούς πυκνωτές είναι η χαμηλή ενεργειακή πυκνότητα. Εάν απαιτείται μεγάλη χωρητικότητα, η περιοχή του διηλεκτρικού πρέπει να είναι πολύ μεγάλη. Το γεγονός αυτό καθιστά τη χρήση μεγάλων πυκνωτών ασύμφορη και συχνά δυσκίνητη.

Τα κύρια προβλήματα με τους πυκνωτές, παρόμοια με τους σφονδύλους, είναι οι μικρές διάρκειες και οι υψηλές απώλειες ενέργειας λόγω απώλειας αυτοαπορρόφησης. Ως εκ τούτου, οι πυκνωτές χρησιμοποιούνται κυρίως στην ποιότητα ισχύος σε εφαρμογές όπως: η γεφύρωση για την ανάκτηση ενέργειας στα συστήματα μαζικής μεταφοράς.

5.3.10 Θερμική αποθήκευση ενέργειας (Thermal energy storage)

Η αποθήκευση θερμικής ενέργειας (TES) μεταφέρει τη θερμότητα στα μέσα αποθήκευσης κατά τη διάρκεια της περιόδου φόρτισης και την απελευθερώνει σε μεταγενέστερο στάδιο κατά τη διάρκεια της διαδικασίας εκφόρτισης.

Η αποθήκευση θερμικής ενέργειας (TES) είναι μία από τις βασικές τεχνολογίες εξοικονόμησης ενέργειας και, ως εκ τούτου, έχει μεγάλη πρακτική σημασία. Ένα από τα βασικά του πλεονεκτήματα είναι ότι είναι το καλύτερο για θέρμανση και ψύξη για θερμικές εφαρμογές. Η TES μπορεί να συμβάλει στην ικανοποίηση των αναγκών της κοινωνίας για πιο αποτελεσματική και φιλική προς το περιβάλλον χρήση της ενέργειας. Είναι ένα βασικό συστατικό πολλών επιτυχημένων θερμικών συστημάτων και ένα καλό TES θα πρέπει να επιτρέπει ελάχιστα θερμικές απώλειες που οδηγούν σε εξοικονόμηση ενέργειας, επιτρέποντας παράλληλα την υψηλότερη αποδοτική απόδοση της αποθηκευμένης θερμικής ενέργειας.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

Ολοκληρωμένη ανάλυση Υβριδικού απομονωμένου συστήματος

6.1 Εισαγωγή

Η παγκόσμια ζήτηση ενέργειας αυξάνεται με μεγαλύτερο ρυθμό από ό, τι η ανάπτυξη του ανθρώπινου πληθυσμού. Αναμένεται ότι η μεγαλύτερη αύξηση θα σημειωθεί στις αναπτυσσόμενες χώρες, όπου 1.4 δισεκατομμύρια άνθρωποι εξακολουθούν να μην έχουν πρόσβαση σε ενεργειακές υπηρεσίες. Η έλλειψη διασυνδεδεμένου ηλεκτρικού δικτύου και σύγχρονων συστημάτων ισχύος σε απομακρυσμένες περιοχές, θα μπορούσε να ξεπεραστεί με την εγκατάσταση των απομονωμένων μικροδικτύων (ηλεκτρικά νησιά) που τροφοδοτούνται από ενδογενείς πόρους. Αυτοί οι τύποι απομονωμένων συστημάτων, έχουν εφαρμοστεί χρησιμοποιώντας μόνο γεννήτριες ντίζελ ή σε συνδυασμό με μία ή περισσότερες ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Αυτές οι πηγές στην πλειονότητα τους αφορούν τα αιολικά και τα φωτοβολταϊκά συστήματα, κάτι το οποίο οφείλεται στην αυξανόμενη ωριμότητα τους, διότι αποτελούν τα συστήματα που χρησιμοποιούνται σε μεγαλύτερο βαθμό και η απόδοσή τους θεωρείται σε πολλές περιπτώσεις εγγυημένη.

Είναι σαφές ότι τα διάφορα υποσυστήματα που έχουν μελετηθεί κατά καιρούς, έχουν διαφορετικούς τύπους μεθόδων βελτιστοποίησης και διαφορετικές χρονικές περιόδους που μοντελοποιούνται. Συγκεκριμένα, ορισμένοι αναλυτές επικεντρώθηκαν σε συγκεκριμένα υποσύνολα σταθερών υποσυστημάτων εξοπλισμού, για παράδειγμα ένα σύστημα μόνο με πετρέλαιο κίνησης. Παράλληλα υπήρξαν αναλυτές που βασίστηκαν σε συστήματα ανανεώσιμων πηγών ενέργειας ως κύρια πηγή του συστήματος σε συνδυασμό με συμβατικές πηγές, όπως μια γεννήτρια ντίζελ για εφεδρική χρήση. Αναφορικά με τις τεχνικές βελτιστοποίησης, εφαρμόζονται αλγόριθμοι αναζήτησης βασισμένοι σε στοχαστικά πρότυπα, ενώ πρόσφατα υπάρχει μια σαφής τάση χρησιμοποίησης μοντέλων γραμμικού προγραμματισμού. Το πλεονέκτημα της ανάλυσης με ένα μοντέλο γραμμικού-ακέραιου προγραμματισμού, είναι ότι μπορεί εύκολα να υπολογίσει την καλύτερη δυνατή λύση, δηλαδή πολύτιμες πληροφορίες, όταν η βέλτιστη λύση δεν μπορεί να αποδειχθεί. Επιπλέον η διάρκεια του χρονικού ορίζοντα είναι επίσης σημαντική. Αν η μοντελοποίηση αφορά τη βέλτιστη λειτουργία για σταθερό σχεδιασμό του δικτύου, ο βραχυπρόθεσμος ορίζοντας των 24 ωρών μπορεί να είναι αρκετός. Ωστόσο, εάν ο στόχος είναι να σχεδιαστεί ένα σύστημα με σημαντικές διακυμάνσεις, θα πρέπει να ληφθούν υπόψη μεγαλύτεροι χρονικοί ορίζοντες, ώστε να ληφθούν υπόψη εποχιακές αλλαγές στα δεδομένα, έτσι ώστε να αποκτήσουν μια πιο ισχυρή λύση.

Σε αυτό το κεφάλαιο εξετάζεται το βέλτιστο μέγεθος και ο σχεδιασμός απομονωμένων υβριδικών συστημάτων χρησιμοποιώντας ένα πλαίσιο βελτιστοποίησης. Το υβριδικό σύστημα διαθέτει συστήματα αιολικής και Φωτοβολταϊκής μετατροπής, μπαταρίες και εφεδρικές γεννήτριες ντίζελ, για την παροχή ηλεκτρικής ενέργειας σε περιόδους ζήτησης. Ένας γραμμικός προγραμματισμός μικτού-ακεραίου χρησιμοποιείται για να μοντελοποιήσει τη συμπεριφορά του συστήματος σε χρονικό ορίζοντα ενός έτους, λαμβάνοντας υπόψη τις ωριαίες αλλαγές τόσο στη διαθεσιμότητα ανανεώσιμων πόρων όσο και στη ζήτηση ενέργειας. Η βέλτιστη λύση είναι να επιτευχθεί ελαχιστοποίηση του κόστους της ενέργειας (LCOE) σε διάρκεια ζωής 20 ετών. Τα αποτελέσματα για μια μελέτη περίπτωσης δείχνουν, ότι η πιο οικονομική λύση περιλαμβάνει και τα τέσσερα θεωρητικά υποσυστήματα που αναφέρθηκαν.

Επιπλέον, η κύρια συμβολή αυτού του κεφαλαίου, είναι η παροχή ολοκληρωμένης μεθοδολογίας για τη διαστασιολόγηση και τον προγραμματισμό υβριδικών συστημάτων που αφορούν τις ανανεώσιμες πηγές, την ηλιακή και την αιολική ενέργεια, τις μπαταρίες για αποθήκευση και τις γεννήτριες ντίζελ ως εφεδρικό σύστημα. Βασίζεται στον μαθηματικό προγραμματισμό ως τεχνική λύση για α) την επιλογή των υποσυστημάτων που υπάρχουν στη βέλτιστη διαμόρφωση και β) τον καθορισμό του βέλτιστου μεγέθους του εξοπλισμού στις μονάδες που εξετάζουν τη μακροπρόθεσμη λειτουργία.

Το υπόλοιπο του κεφαλαίου οργανώνεται ως εξής. Ο ορισμός του προβλήματος δίνεται στο τμήμα 2, ακολουθούμενο από το μοντέλο του υβριδικού συστήματος στο τμήμα 3. Η ενότητα 4 αφορά τον υπολογισμό του επιπέδου κόστους της ενέργειας ως συνάρτηση των βασικών μεταβλητών σχεδιασμού. Τα δεδομένα προβλήματος για την μελέτη δίνονται στην ενότητα 5, με τα αποτελέσματα να συζητούνται στο τμήμα 6. Στη συνέχεια πραγματοποιείται ανάλυση ευαισθησίας στο τμήμα 7, πριν από τα συμπεράσματα στο τμήμα 8.

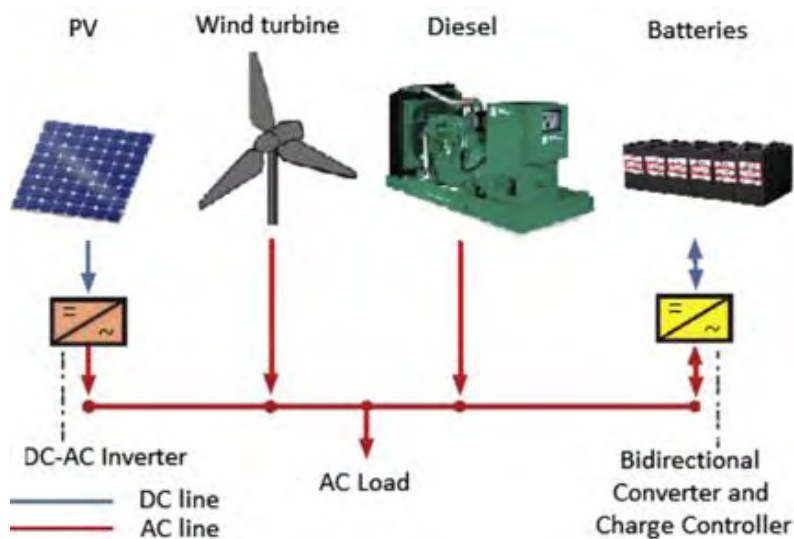
6.2 Ορισμός προβλήματος

Για την αυτονομία του συστήματος, θεωρούνται τέσσερα πιθανά υποσυστήματα: η ανεμογεννήτρια, τα φωτοβολταϊκά, οι μπαταρίες και οι ντίζελ γεννήτριες. Υποτίθεται ότι υπάρχει η διαθεσιμότητα των ανανεώσιμων πόρων, το προφίλ ζήτησης ενέργειας, καθώς και τα γενικά τεχνικά χαρακτηριστικά του εμπορικά διαθέσιμου εξοπλισμού (ονομαστική ισχύς, απόδοση και κόστος κεφαλαίου). Ο στόχος είναι ο βέλτιστος σχεδιασμός του συστήματος που ελαχιστοποιεί το επίπεδο κόστους της ενέργειας (Levelized Cost Of Energy-LCOE), ενώ ικανοποιεί την ενεργειακή ζήτηση υπό συνθήκες αδιάλειπτης λειτουργίας. Συγκεκριμένα, στοχεύει στον προσδιορισμό του αριθμού των ανεμογεννητριών, των φωτοβολταϊκών πλαισίων, των γεννητριών ντίζελ και των μπαταριών, οι οποίες παρέχουν την απαιτούμενη χωρητικότητα αποθήκευσης, για να επιτρέψουν αδιάλειπτη λειτουργία. Οι μπαταρίες και η γεννήτρια ντίζελ, έχουν συμπληρωματικούς ρόλους για τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας.

Επίσης, λόγω του ότι οι μπαταρίες είναι εξαιρετικά δαπανηρές και η διάρκεια ζωής τους εξαρτάται από τον αριθμό των κύκλων φόρτισης/εκφόρτισης, το μέγεθος και η χρήση τους πρέπει να περιορίζεται στο ελάχιστο. Αντίθετα, οι γεννήτριες ντίζελ είναι φθηνές, εύκολες στη χρήση και με μεγαλύτερη διάρκεια ζωής, αλλά επειδή η κατανάλωση καυσίμου είναι υψηλή όταν λειτουργεί σε μεταβατικές καταστάσεις, οι μπαταρίες ανταποκρίνονται πολύ καλά στην χρήση τους σε μεγάλες περιόδους ενεργειακού ελλείμματος. Ο χρονικός ορίζοντας που εξετάζεται είναι ένας έτος με διακριτοποίηση χρονικού βήματος μίας ώρας.

6.3 Μοντελοποίηση υβριδικού συστήματος

Στο προτεινόμενο μοντέλο, τα περισσότερα υποσυστήματα αντιπροσωπεύονται ως ένας αριθμός μονάδων που καθορίζονται από τη βελτιστοποίηση ενός συγκεκριμένου τύπου και μεγέθους (π.χ. δύο ανεμογεννήτριες 20 kW, εξακόσια είκοσι έξι Φωτοβολταϊκά πάνελ 0.25 kW, μία γεννήτρια ντίζελ 17.6 kW), ενώ η χωρητικότητα αποθήκευσης της μπαταρίας θεωρείται ως μία μόνο ισοδύναμη μπαταρία. Ο βοηθητικός εξοπλισμός (π.χ. μετατροπείς) περιλαμβάνεται στο κόστος κεφαλαίου του κύριου εξοπλισμού και, ως εκ τούτου, το μέγεθος και οι αριθμοί τους δεν καθορίζονται. Το ενεργειακό πλεόνασμα διαχέεται σε ηλεκτρικές αντιστάσεις. Υποτίθεται επίσης ότι η δύναμη που παράγεται από κάθε πηγή και η ισχύς φόρτισης/εκφόρτισης των μπαταριών, είναι σταθερή κατά τη διάρκεια της διαδικασίας του βήματος. Επομένως, η ισχύς είναι αριθμητικά ίση με την ενέργεια κάθε φορά περίοδο 1 ώρας, για τις κοινές αριθμητικές μονάδες που χρησιμοποιούνται στον τομέα της ενέργειας, δηλ. kW και kWh.



Εικόνα 69: Διαμόρφωση μικροδικτύου AC. [99]

6.3.1 Υποσύστημα αιολικής ενέργειας

Οι έρευνες στον τομέα της αιολικής ενέργειας επικεντρώθηκαν κυρίως στην αξιολόγηση της ποιότητας της, την θεωρία της ταχύτητας του ανέμου και τις οικονομικές πτυχές της. Όπως είναι γνωστό, διαφορετικές γεννήτριες ανέμου έχουν διαφορετικές επιδόσεις εξόδου ισχύος και διαφορετικές καμπύλες κατανομής. Ως εκ τούτου, το μοντέλο που χρησιμοποιείται για να περιγράψει την απόδοση των ανεμογεννητριών αναμένεται να είναι διαφορετικό σε κάθε περίπτωση. Επιλέγοντας το κατάλληλο μοντέλο, είναι πολύ σημαντικό στοιχείο για την προσομοίωση ισχύος των ανεμογεννητριών, το οποίο αποτελεί βασική προϋπόθεση για τον σωστό προγραμματισμό και την υλοποίηση των έργων παραγωγής αιολικής ενέργειας.

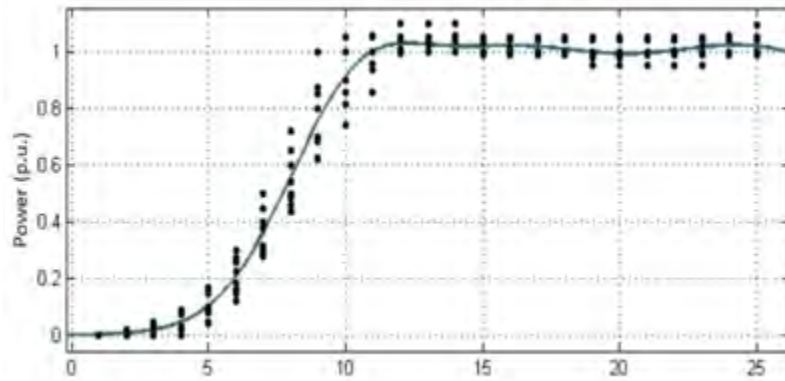
Τα προγράμματα προσομοίωσης ανά ώρα ήταν τα κύρια εργαλεία για τον προσδιορισμό της μακροπρόθεσμης απόδοσης των συστημάτων. Με βάση τα δεδομένα ωριαίας ταχύτητας ανέμου, μπορούμε να υπολογίσουμε και τη μακροπρόθεσμη απόδοση του αιολικού συστήματος. Ωστόσο, είναι γενικά αποδεκτό, ότι τα προγράμματα προσομοίωσης ανά ώρα απαιτούν δεδομένα ταχύτητας ανέμου κάθε ώρας, τα οποία ενδέχεται να μην είναι διαθέσιμα σε πολλές τοποθεσίες. Ως εκ τούτου, μερικοί απλοποιημένοι αλγόριθμοι σχεδιασμού έχουν αναπτυχθεί ως εναλλακτικές λύσεις σε προγράμματα προσομοίωσης, για τον προσδιορισμό της μακροπρόθεσμης απόδοσης των συστημάτων ανανεώσιμης ενέργειας. Παράλληλα, είναι γενικά αποδεκτό ότι εάν το μοντέλο προσομοίωσης είναι γενικότερο, είναι συνήθως μικρότερο σε ακρίβεια.

Σε άλλες έρευνες, ο υπολογισμός της ισχύος του ανεμοστρόβιλου είναι με βάση το ηλεκτρικό φορτίο, τη μέση ταχύτητα του ανέμου και την καμπύλη ισχύος της ανεμογεννήτριας. Με βάση τον υπολογισμό του ανέμου, όπως η ταχύτητα και η κατεύθυνση του, σε μικρά χρονικά διαστήματα, είναι χρονοβόρες και μερικές φορές αδύνατο να υπολογιστούν με ακρίβεια. Έτσι μπορεί να χρησιμοποιηθεί η μέση ταχύτητα ανέμου. Επιπλέον, οι καμπύλες ισχύος της ανεμογεννήτριας δεν μπορούν να αντιπροσωπεύουν ακριβώς την ισχύ εξόδου, διότι μπορούν να δώσουν μόνο την ισχύ εξόδου συνάρτηση της μέσης ταχύτητας, η οποία αγνοεί στιγμιαία τις μεταβολές και, ως εκ τούτου, σε κάποιο βαθμό, υπονομεύουν την απόδοση της ανεμογεννήτριας. Επομένως, λαμβάνοντας υπόψη την επίδραση των στιγμιαίων μεταβολών της ταχύτητας του ανέμου για ένα υβριδικό σύστημα, μπορεί να προβλεφθεί σε ένα βαθμό η ακρίβεια.

Η καμπύλη ισχύος μιας ανεμογεννήτριας δίνει την ηλεκτρική ισχύ εξόδου ως συνάρτηση της ταχύτητας του ανέμου. Η χαρακτηριστική καμπύλη από την γενική ανεμογεννήτρια που εξετάζεται σε αυτό το κεφάλαιο απεικονίζεται στην Εικόνα 70 και ελήφθη από τις μέσες κανονικές καμπύλες ισχύος των εμπορικών ανεμογεννητριών (καμπύλες ισχύος που προσαρμόστηκαν από την ονομαστική ισχύς κάθε τουρμπίνας). Ειδικότερα, η ενέργεια (kWh) που παράγεται από μια ανεμογεννήτρια στο βήμα του χρόνου t δίνεται από:

$$E_{wt}(t) = P_{WT} x \left[a_1 x e^{-\left(\frac{u_z(t)-b_1}{c_1}\right)^2} + a_2 x e^{-\left(\frac{u_z(t)-b_2}{c_2}\right)^2} + a_3 x e^{-\left(\frac{u_z(t)-b_3}{c_3}\right)^2} \right] x \Delta_t \forall t \quad (12)$$

όπου P_{WT} είναι η ονομαστική ισχύς (kW) της ανεμογεννήτριας και a_1 έως c_3 είναι οι συντελεστές της παλινδρόμησης. Από την καμπύλη στο σχήμα, είναι εύκολο να παρατηρήσουμε ότι η αποτελεσματικότητα της ανεμογεννήτριας (μετρούμενη σε p.u./ (m/s^2)) δεν είναι σταθερή αλλά ποικίλλει ανάλογα με την ταχύτητα του ανέμου.



Εικόνα 70: Ταχύτητα ανέμου (m/s) συναρτήσει της παραγόμενης ενέργειας [99]

Λαμβάνοντας υπόψη το ύψος εγκατάστασης του κέντρου της ανεμογεννήτριας, τα δεδομένα ταχύτητας ανέμου μεταφέρονται με τη χρήση ενός νόμου:

$$u_z(t) = u_{zREF}(t) x \left(\frac{z}{z_{REF}} \right)^{\frac{1}{n}} \forall t \quad (13)$$

Όπου $u_z(t)$ είναι το προφίλ ανέμου (m/s) για το ύψος τοποθέτησης του δρομέα (m) z , $u_{zREF}(t)$ είναι η μέση μετρηθείσα ταχύτητα ανέμου (m/s) και u_{zREF} ύψος (m) στο χρονικό βήμα t , και n είναι η τραχύτητα της επιφάνειας.

6.3.2 Υποσύστημα φωτοβολταϊκής ενέργειας

Η αξιόπιστη γνώση και κατανόηση της απόδοσης της Φωτοβολταϊκής μονάδας υπό διαφορετικές συνθήκες λειτουργίας, έχει μεγάλη σημασία για την σωστή επιλογή του προϊόντος και την ακριβή πρόβλεψη της ενεργειακής απόδοσης. Η απόδοση ενός κρυσταλλικού πυριτίου PV είναι συνάρτηση των φυσικών μεταβλητών της Φωτοβολταϊκής μονάδας. Αυτοί οι παράμετροι είναι το υλικό, η θερμοκρασία της Φωτοβολταϊκής μονάδας και η ηλιακή ακτινοβολία της επιφάνειας.

Έχουν γίνει πολλές προσπάθειες για την ανάλυση των παραγόντων που επηρεάζουν την απόδοση της Φωτοβολταϊκής μονάδας. Αναλυτές παρουσίασαν την επιρροή της θερμοκρασίας στις παραμέτρους των φωτοκύτταρων πυριτίου. Άλλοι ανέλυσαν την εξάρτηση του συντελεστή θερμοκρασίας από την απόδοση του συστήματος προκειμένου να εκτιμηθεί η ετήσια παραγωγή Φωτοβολταϊκού συστήματος σε ένα πραγματικό περιβάλλον λειτουργίας. Ως αποτέλεσμα, διαπιστώνεται ότι η ετήσια ενέργεια εξόδου του Φωτοβολταϊκού συστήματος αυξήθηκε κατά περίπου 1% στην βελτίωση 0.1%/ °C του συντελεστή θερμοκρασίας.

Πολλοί ερευνητές έχουν διερευνήσει τα απλοποιημένα μοντέλα προσομοίωσης, όπως η αποδοτικότητα ισχύος, τα οποία μπορούν να προβλέψουν τη μέση απόδοση της Φωτοβολταϊκής γεννήτριας υπό μεταβαλλόμενες κλιματολογικές συνθήκες.

Η ενέργεια που παράγεται από ένα φωτοβολταϊκό πάνελ στο χρονικό βήμα t καθορίζεται ως συνάρτηση της θερμοκρασίας των κυψελών και της ηλιακής ακτινοβολίας:

$$E_{PV}(t) = PMP_{REF} \times \frac{G(t)}{1000 W/m^2} [1 + \gamma_{PV} \times (T_{cell}(t) - 25^\circ C)] \times \eta_{DA} \times \Delta t \quad \forall t \quad (14)$$

$$T_{cell}(t) = T_{amb}(t) + \frac{NOCT - 20^\circ C}{800 W/m^2} \times G(t) \quad \forall t \quad (15)$$

Όπου PMP_{REF} είναι το σημείο μέγιστης ισχύος (kW) ενός Φωτοβολταϊκού πίνακα στις τυπικές συνθήκες δοκιμής (STC, 1000 W / m² και 25 ° C θερμοκρασία κυψελών), $G(t)$ είναι η ηλιακή ακτινοβολία (W/m²) (ίσο με το γεωγραφικό πλάτος), γ_{PV} είναι ο συντελεστής θερμικής ισχύος (% / °C), η_{DA} είναι η απόδοση (%) της ισχύος του μετατροπέα, $T_{cell}(t)$ είναι η θερμοκρασία κυψελών (°C), $T_{amb}(t)$ είναι η μετρούμενη θερμοκρασία περιβάλλοντος (° C) και η NOCT είναι η ονομαστική θερμοκρασία κυψελίδας λειτουργίας (°C). Τα PMP_{REF} , NOCT και γ_{PV} παρέχονται από τον κατασκευαστή του πίνακα.

6.3.3 Υποσύστημα γεννήτριας ντίζελ

Η κατανάλωση ντίζελ C_{dg} (L) του συστήματος γεννήτριας θεωρείται ότι δίνεται με γραμμική λειτουργία:

$$C_{dg}(t) = d_1 \times E_{dg}(t) + d_2 \times P_{dg} \times n_{dg}(t) \times \Delta t + nA(t) \times pA \quad \forall t, \quad (16)$$

όπου d_1 και d_2 είναι συντελεστές ειδικής κατανάλωσης ντίζελ (L/kWh) που λαμβάνονται από δεδομένα εμπορικού εξοπλισμού, $E_{dg}(t)$ είναι η ενέργεια (kWh) που παράγεται στο χρονικό βήμα t από αυτό το υποσύστημα, P_{dg} είναι η ονομαστική ισχύς (kW) μιας γεννήτριας ντίζελ, $n_{dg}(t)$ είναι ο αριθμός των γεννητριών εργασίας, $nA(t)$ είναι ο αριθμός της γεννήτριας εκκίνησης και το pA είναι η ποινή εκκίνησης του ντίζελ (σε L). Αυτό που θα πρέπει να σημειωθεί από την εξίσωση (16) είναι ότι η αποδοτικότητα παραγωγής (kWh/L) δεν είναι

σταθερή, αλλά αυξάνεται με το επίπεδο εξόδου ισχύος $E_{dg}(t)$ ως σχετική σημασία του δεύτερου όρου στη δεξιά πλευρά μείωσης (P_{dg} είναι μια παράμετρος, όχι μια μεταβλητή).

Για να αποφευχθεί μία λειτουργία με χαμηλή απόδοση, ένα ελάχιστο επίπεδο εξυπηρέτησης DG_{min} επιβάλλεται (π.χ. 30%):

$$E_{dg}(t) \geq DG_{min} \times P_{dg} \times \gamma(t) \times \Delta t, \quad (17)$$

όπου $\gamma(t)$ δηλώνει μια δυαδική μεταβλητή που είναι ίση με 1 εάν η γεννήτρια λειτουργεί, εξασφαλίζοντας έτσι ότι παράγει πάντα πάνω από το κάτω όριο.

6.3.4 Υποσύστημα μπαταριών

Κατά τη διάρκεια μίας ώρας, η πλεονάζουσα ισχύς που παράγεται από τις φωτοβολταϊκές και αιολικές γεννήτριες μπορεί να χρησιμοποιηθεί για φόρτιση των μπαταριών, ενώ η αποθηκευμένη ενέργεια μπορεί να αποφορτιστεί κάθε φορά που υπάρχει έλλειψη παραγωγής ενέργειας. Όταν η παραγόμενη ισχύς τόσο από την ανεμογεννήτρια όσο και από τη Φωτοβολταϊκή γεννήτρια είναι ανεπαρκής και η αποθήκευση έχει εξαντληθεί, το φορτίο δεν θα ικανοποιηθεί. Ως εκ τούτου, η διαφορά μεταξύ της συνολικής παραγόμενης ενέργειας και του φορτίου ζήτησης ενέργειας, αποφασίζει εάν η μπαταρία βρίσκεται σε κατάσταση φόρτισης ή εκφόρτισης.

Οι μπαταρίες λειτουργούν ως υποσύστημα αποθήκευσης ενέργειας που σε αυτήν την περίπτωση την θεωρούμε ως μία μόνο ισοδύναμη μπαταρία. Η απόδοσή της χαρακτηρίζεται από την αποτελεσματικότητα των τρόπων φόρτισης και εκφόρτισης. Το ενεργειακό ισοζύγιο καθορίζει την κατάσταση φόρτισης των μπαταριών, E_{bat} , σε kWh:

$$E_{bat} = E_{bat}(t-1) + E_{bin}(t) \times (\eta_{BC} \times \eta_{AD}) - \frac{E_{bout}(t)}{\eta_{BD} \times \eta_{DA}} \forall t, \quad (18)$$

όπου $E_{bout}(t)$ και $E_{bin}(t)$ αντιπροσωπεύουν αντίστοιχα την ενέργεια (kWh) που χρησιμοποιούνται από τις μπαταρίες και την διαθέσιμη ενέργεια για τη φόρτιση στο χρονικό βήμα t , η_{BC} και η_{BD} είναι η φόρτιση της μπαταρίας και απόδοσης απόρριψης (%), όπου η_{AD} και η_{DA} είναι ο εξοπλισμός ρεύματος (%) στις μετατροπές AC-DC και DC-AC αντίστοιχα. Η χωρητικότητα αποθήκευσης για εγκατάσταση, C_{bat} , θα είναι η μέγιστη ποσότητα αποθηκευμένης ενέργειας σε όλα τα βήματα χρόνου t .

Σε κάθε χρονική περίοδο, εξασφαλίζεται ένα ελάχιστο επίπεδο ενέργειας στο τις μπαταρίες για τη μέγιστη παροχή ενέργειας:

$$E_{bat}(t) \geq C_{min} \times C_{bat} \forall t, \quad (19)$$

$$E_{bin}(t) \times (\eta_{BC} \times \eta_{AD}) + \frac{E_{bout}(t)}{\eta_{BD} \times \eta_{DA}} \leq F_{max} \times C_{bat} \times \Delta_t \quad \forall t, \quad (20)$$

$$E_{bin}(t) \leq C_{bat} \times \delta(t) \quad \forall t, \quad (21)$$

$$E_{bout}(t) \leq C_{bat} \times \varphi(t) \quad \forall t, \quad (22)$$

$$\varphi(t) + \delta(t) \leq 1 \quad \forall t, \quad (23)$$

όπου C_{min} είναι η ελάχιστη κατάσταση φόρτισης (σε%), F_{max} είναι το μέγιστο ποσοστό φόρτισης / απόρριψης (σε%), $\varphi(t)$ και $\delta(t)$ είναι δυαδικές μεταβλητές που καταγράφουν τη ροή ενέργειας της μπαταρίας. Σημειώστε ότι στο κάθε βήμα, μόνο ένας από τους τρεις ακόλουθους τρόπους μπαταρίας είναι δυνατόν: φόρτιση ($E_{bin}(t)$), εκφόρτιση ($E_{bout}(t)$) ή καμία ροή ενέργειας. Στην αρχή της διαδικασίας, οι μπαταρίες είναι πλήρως φορτισμένες.

6.3.5 Ενσωματωμένο υβριδικό σύστημα

Η ισορροπία μεταξύ της ποσότητας ενέργειας που χρησιμοποιείται (ζήτηση και φόρτιση των μπαταριών) και της διαθέσιμης ενέργειας (ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, ντίζελ και μπαταρίες) ελέγχεται σύμφωνα με:

$$E_{dem}(t) + E_{bin}(t) = E_{u_{WT}}(t) + E_{u_{PV}}(t) + E_{dg}(t) + E_{bout}(t) \quad \forall t, \quad (24)$$

όπου $E_{dem}(t)$ είναι η ζήτηση ενέργειας στο χρόνο step t , σε kWh, $E_{bin}(t)$ είναι η ενέργεια φόρτισης των μπαταριών, $E_{u_{WT}}(t)$ και $E_{u_{PV}}(t)$ είναι η χρησιμοποιούμενη ενέργεια από τον άνεμο, και φωτοβολταϊκό υποσύστημα, αντίστοιχα, $E_{dg}(t)$ είναι η ενέργεια που παράγεται από το υποσύστημα των γεννητριών ντίζελ και το $E_{bout}(t)$ είναι η ενέργεια που καταναλώνεται από τις μπαταρίες.

Παρόμοια ισορροπία καθορίζεται για την αξιολόγηση του ενεργειακού πλεονάσματος. Υποτίθεται ότι μόνο οι ανανεώσιμες πηγές συμβάλλουν στο πλεόνασμα, το οποίο περιγράφεται από τις ακόλουθες εξισώσεις:

$$n_{WT} \times E_{WT}(t) = E_{u_{WT}}(t) + E_{s_{WT}}(t) \quad \forall t, \quad (25)$$

$$n_{PV} \times E_{PV}(t) = E_{u_{PV}}(t) + E_{s_{PV}}(t) \quad \forall t, \quad (26)$$

όπου n_{WT} και n_{PV} είναι ο αριθμός των ανεμογεννητριών και των φωτοβολταϊκών πλαισίων για εγκατάσταση, $E_{WT}(t)$ και $E_{PV}(t)$ είναι η ενέργεια που παράγεται από μεμονωμένες μονάδες που περιγράφονται από τις εξισώσεις (12) και (14) και $E_{s_{WT}}(t)$ και $E_{s_{PV}}(t)$ υποδηλώνουν το ενεργειακό πλεόνασμα από κάθε πηγής.

6.4 Χαμηλό κόστος ενέργειας

Το LCOE, εκφρασμένο σε €/kWh, είναι το κριτήριο που χρησιμοποιείται για την ταξινόμηση των διαφορετικών σχεδίων υβριδικών απομονωμένων συστημάτων. Το LCOE παρέχει μια μεθοδολογία σύγκρισης του συνολικού κόστους για διαφορετικές χρονικές περιόδους και μεταξύ διαφορετικών συστημάτων το οποίο περιλαμβάνει το αρχικό κεφάλαιο, το προεξοφλητικό επιτόκιο, τη λειτουργία, τη συντήρηση, το καύσιμο και το κόστος αντικατάστασης. Σε αυτή την περίπτωση, υποτίθεται ότι η ετήσια παραγωγή ενέργειας και το ετήσιο κόστος θα είναι σταθερό κατά τη διάρκεια της ζωής του έργου. Υπό αυτό το είδος υποθέσεων, είναι δυνατόν να προσδιοριστεί ένα κεφάλαιο παράγοντα ανάκτησης (CRF) που επιτρέπει την παρεμβολή των αποτελεσμάτων για ολόκληρη τη διάρκεια ζωής ενός έργου. Το συνολικό κόστος κύκλου ζωής καθορίζεται για κάθε σύστημα από:

$$LCOE = \frac{TLCC}{E_{con}} \times CRF, \quad (27)$$

$$TLCC = I_0 + \frac{O\&M}{CRF} + \frac{C_R}{CRF}, \quad (28)$$

$$CRF = \frac{d \times (1+d)^A}{(1+d)^A - 1}, \quad (29)$$

όπου TLCC είναι το συνολικό κόστος κύκλου ζωής (€), το E_{con} είναι η ετήσια ενέργεια ζήτησης (kWh), CRF είναι ο συντελεστής ανάκτησης κεφαλαίου (%), το I_0 είναι το κεφαλαιουχικό κόστος (€), O&M είναι το ετήσιο κόστος (€) λειτουργίας και συντήρησης, Το C_R είναι το ετήσιο κόστος αντικατάστασης (€), d είναι το ονομαστικό προεξοφλητικό επιτόκιο (%) και A είναι η ωφέλιμη διάρκεια ζωής του έργου σε έτη.

Λαμβάνεται το ελάχιστο LCOE καθ' όλη τη διάρκεια του έργου με ελαχιστοποίηση της TLCC που υπόκειται στους λειτουργικούς περιορισμούς των τεσσάρων υποσυστημάτων, υποθέτοντας ότι τα E_{con} , O&M και C_R είναι σταθερά κατά τη διάρκεια των ετών του έργου. Στη συνέχεια, το σύστημα βελτιστοποιείται για ένα έτος, και τα αποτελέσματα που προέκυψαν για την ωφέλιμη διάρκεια ζωής. Ο σκοπός της λειτουργίας καθορίζεται από:

$$\text{Minimize: } TLCC = TLCC_{WT} + TLCC_{PV} + TLCC_{dg} + TLCC_{bat}, \quad (30)$$

Όπου $TLCC_{WT}$, $TLCC_{PV}$, $TLCC_{dg}$, $TLCC_{bat}$ είναι αντίστοιχα το σύνολο κόστος κύκλου ζωής (€) των αιολικών, φωτοβολταϊκών, ντίζελ και των ηλεκτρικών μπαταριών των συγκεκριμένων υποσυστημάτων.

Τα $TLCC_{WT}$ και $TLCC_{PV}$ δίδονται από το κόστος κεφαλαίου του εξοπλισμού (I_{WT} και I_{PV}) σε €/kW:

$$TLCC_{WT} = \eta_{WT} \times P_{WT} \times I_{WT} \times \left(1 + \frac{O\&M_{WT}}{CRF}\right), \quad (31)$$

$$TLCC_{PV} = \eta_{PV} \times PMP_{REF} \times I_{PV} \times \left(1 + \frac{O\&M_{PV}}{CRF}\right), \quad (32)$$

Οι δαπάνες ($O\&M_{WT}$, $O\&M_{PV}$) δίδονται ως ποσοστά (%) του κεφαλαίου κόστους. Το κόστος του Φ / Β κεφαλαίου περιλαμβάνει ήδη τον φωτοβολταϊκό μετατροπέα και άλλο βοηθητικό εξοπλισμό και κόστος αντικατάστασης.

Το TLCC των γεννητριών ντίζελ δίνεται από το κόστος κεφαλαίου (I_{dg}) σε €/ kW, το κόστος συντήρησης (M_{dg}) σε €/ h και το κόστος λειτουργίας (O_{dg}) σε €/ L:

$$TLCC_{bat} = n_{dgt} \times P_{dg} \times I_{dg} + \frac{n_{dgh} \times M_{dg} + \sum_{t=1}^T C_{dg} \times O_{dg}}{CRF}, \quad (33)$$

όπου n_{dgt} είναι ο αριθμός των γεννητριών ντίζελ για εγκατάσταση, P_{dg} είναι το ονομαστική ισχύς σε kW μιας γεννήτριας και n_{dgh} είναι η ετήσια εργασία σε ώρες. Το TLCC των μπαταριών περιλαμβάνει το κόστος κεφαλαίου των μπαταριών, και τον εξοπλισμό ισχύος (I_{bat} και I_{PE}) σε €/ kWh και €/ kW, αντίστοιχα, (O_{bat}) σε €/ kWh, ετήσιο κόστος συντήρησης (M_{bat}) σε €/ kW και ετήσιο κόστος αντικατάστασης σε €/ kWh (μπαταρίες και μετατροπείς μπαταριών C_R , μία φορά αντικατάσταση κατά τη διάρκεια του έργου αλλά το κόστος αναφέρεται ως ετήσιο κόστος):

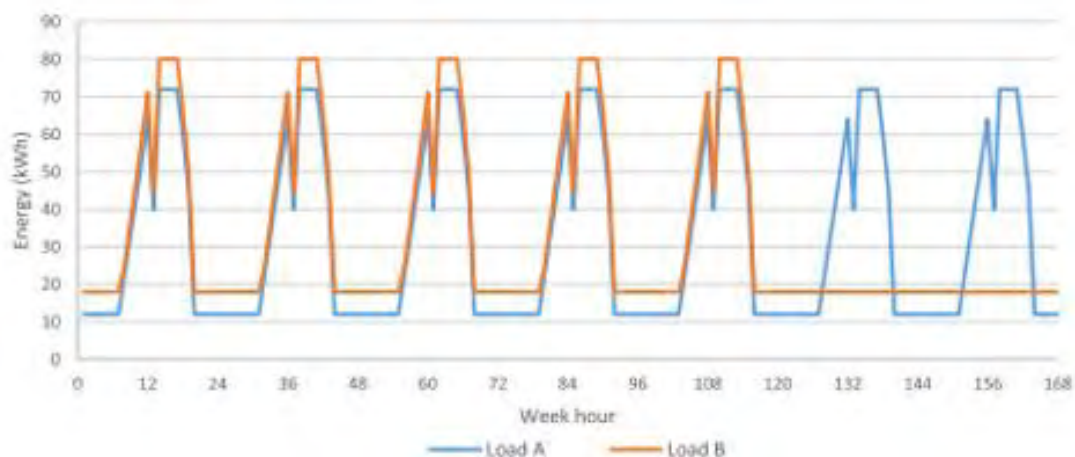
$$TLCC_{bat} = C_{bat} \times (I_{bat} + I_{PE} \times F_{max}) + \frac{O_{bat} \times \sum_{t=1}^T (E_{boute}(t) + E_{bine}(t))}{CRF} + \frac{M_{bat} \times F_{max} \times C_{bat} + C_R \times C_{bat}}{CRF},$$

(34)

όπου $E_{bine}(t)$ και $E_{boute}(t)$ είναι η ενέργεια (σε kWh) που είναι η φόρτιση και η εκφόρτιση των μπαταριών.

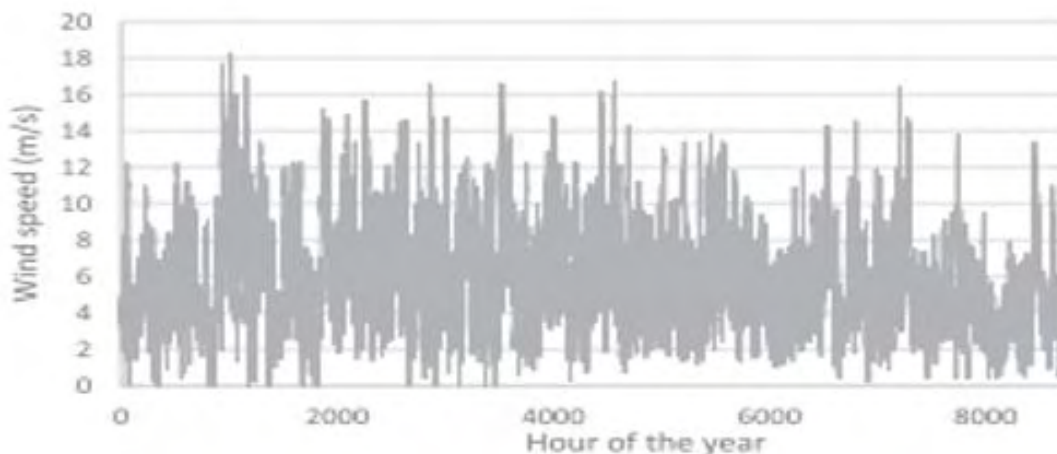
6.5 Μελέτη περίπτωσης

Στόχος είναι ο σχεδιασμός ενός απομονωμένου υβριδικού συστήματος για την προμήθεια της ενέργειας που απαιτείται από μια βιομηχανική εγκατάσταση που αρχίζει να εργάζεται στις 8 π.μ. και σταματά στις 7 μ.μ. Η ζήτηση θεωρείται ότι είναι ίση για κάθε μέρα του έτους, το οποίο είναι χαρακτηριστικό των πολλών βιομηχανιών που λειτουργούν εντατικά σε χώρες χωρίς διασυνδεδεμένα συστήματα ισχύος. Η μέγιστη ωριαία ζήτηση ενέργειας είναι 72 kWh, η ημερήσια κατανάλωση 793 kWh, ενώ το ετήσιο κόστος είναι 289,445 kWh. Αυτό το προφίλ ζήτησης αναφέρεται με την ένδειξη Φόρτωση Α στην Εικόνα 71.

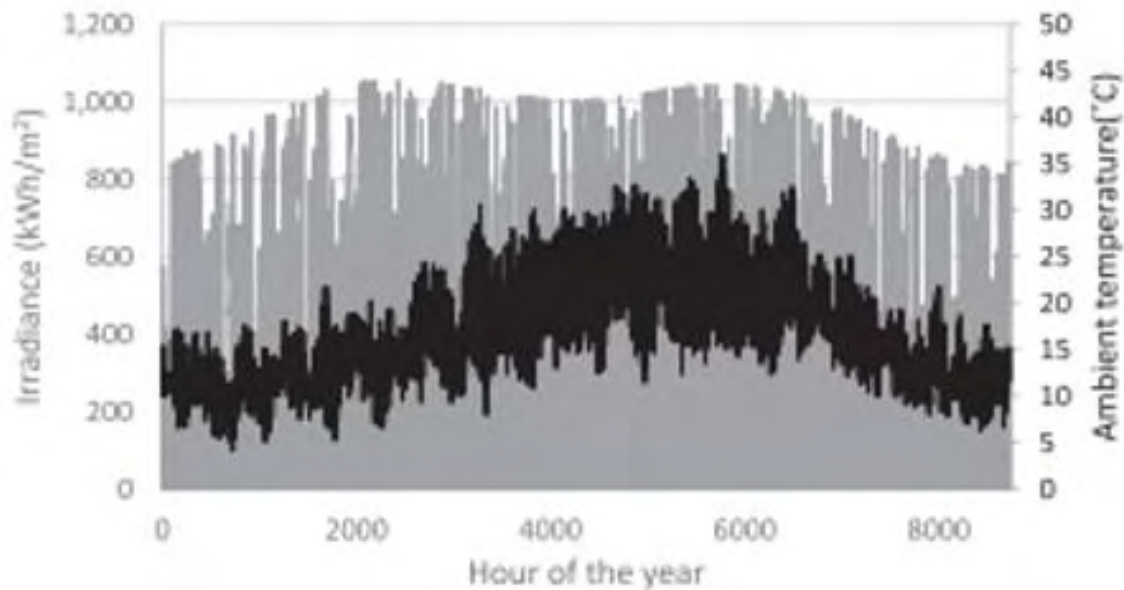


Εικόνα 71: Εβδομαδιαίο προφίλ ζήτησης ενέργειας. Το φορτίο A χρησιμοποιείται σε όλα τα σενάρια, εκτός από την ανάλυση ευαισθησίας του προφίλ ζήτησης, όπου λαμβάνεται υπόψη το φορτίο B [99]

Όσον αφορά τη διαθεσιμότητα των ανανεώσιμων πόρων, η έρευνα εκμεταλλεύτηκε τα μετεωρολογικά δεδομένα από το λογισμικό SolTerm [100]. Πιο συγκεκριμένα, μια ωριαία ταχύτητα ανέμου αντιπροσωπευτική της Εικόνας 72 και μια ωριαία ακτινοβολία κλίσης του Εικόνας 73.



Εικόνα 72: Τα ωριαία δεδομένα ταχύτητας ανέμου για ένα έτος. Μέση ταχύτητα ανέμου 5,93 m/s στο 40 μέτρα ύψος. [99]



Εικόνα 73: Ωριαία δεδομένα ακτινοβολίας και θερμοκρασίας για ένα έτος. Συνολικό ετήσιο κόστος 1872 kWh/m² για γωνία 35 και μέση θερμοκρασία περιβάλλοντος 16,3 °C. [99]

Οι τεχνικές και οικονομικές παράμετροι που χαρακτηρίζουν τους διαφορετικούς εξοπλισμούς παρόνται στους Πίνακες 5-10.

Πίνακας 5: Οικονομικοί παράμετροι.

	Παράμετρος	Αξία	Μονάδα
<i>d</i>	προεξοφλητικά επιτόκια	6	%
<i>A</i>	Χρήσιμος χρόνος ζωής	20	χρόνια

Πίνακας 6: Παράμετροι της ανεμογεννήτριας

	Παράμετρος	Αξία	Μονάδα
P_{WT}	Ονομαστική ισχύς	20	kW
-	<i>cut in</i>	2.5	m/s
-	<i>cut out</i>	25	m/s
<i>z</i>	ύψος ρότορα	40	m
<i>n</i>	Συντελεστής τραχύτητας	-	-
I_{WT}	Αρχική επένδυση	1784	€/kW
$O\&M_{WT}$	O&M cost	3	% <i>Ini inv/year</i>

Πίνακας 7: Παράμετροι Φωτοβολταϊκού

	Παράμετρος	Αξία	Μονάδα
PMP_{REF}	Πίνακας PMP	0.25	kW
γ_{PV}	Συντελεστής θερμοκρασίας ισχύος	-0.3	$\%/^{\circ}C$
NOCT	NOCT	41.5	$^{\circ}C$
T_{REF}	Θερμοκρασία αναφοράς	25	$^{\circ}C$
I_{PV}	Αρχική επένδυση	1520	$\text{€}/kW$
$O\&M_{PV}$	O&M cost	1	$\% \text{ Ini inv/year}$

Πίνακας 8: Παράμετροι γεννήτριας ντίζελ

	Παράμετρος	Αξία	Μονάδα
P_{dg}	Ονομαστική ισχύς	17.6	kW
DG_{min}	Ελάχιστο φορτίο	30	$\%$
I_{dg}	Αρχική επένδυση	333	$\text{€}/kW$
O_{dg}	Κόστος λειτουργίας	1421	$\text{€}/L$
M_{dg}	Κόστος συντήρησης	1	$\text{€}/h$
ρ_A	Ποινή εκκίνησης	0.7	L
d1	Σταθερός όρος για την κατανάλωση ντίζελ	0.3058	L/kWh
d2	Μεταβλητός όρος για την κατανάλωση ντίζελ	0.206	L/kWh

Πίνακας 9: Παράμετροι μπαταρίας

P_{dg}	Παράμετρος	Αξία	Μονάδα
C_{min}	Ελάχιστη κατάσταση φόρτισης	20	$\%$
F_{max}	Μέγιστος ρυθμό φόρτισης / εκφόρτισης	8	$\%/h$
η_{BD}	Απόδοση αποφόρτισης	100	$\%$
η_{BC}	Απόδοση φόρτισης	80	$\%$
I_{bat}	Αρχική επένδυση	213	$\text{€}/kW$
M_{bat}	Κόστος συντήρησης	9.80	$\text{€}/kW \text{ χρόνο}$
O_{bat}	Κόστος λειτουργίας	0.0004	$\text{€}/kW$

Πίνακας 10: Παράμετροι εξοπλισμού ισχύος.

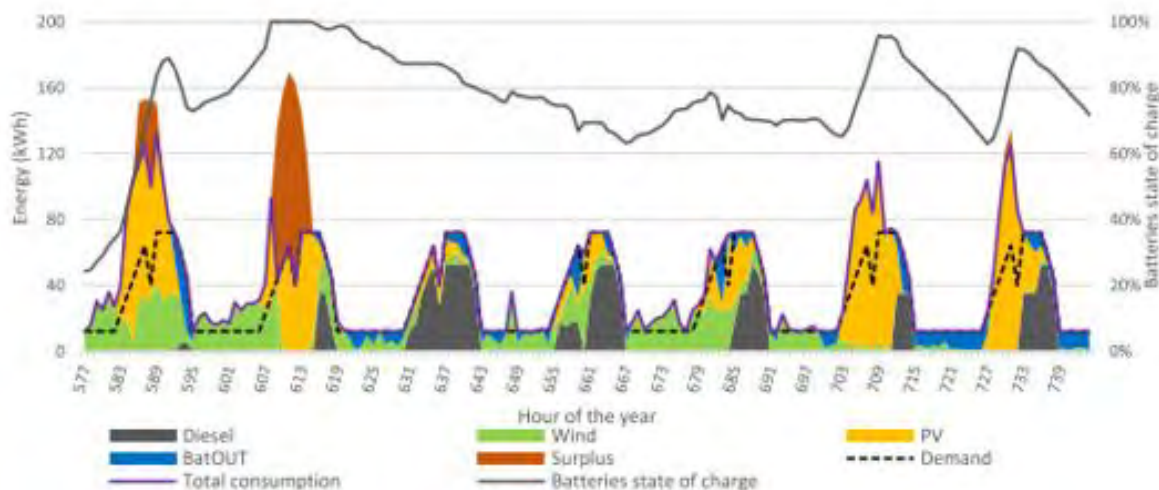
	Παράμετρος	Αξία	Μονάδα
η_{AD}	Απόδοση AC-DC	93.4	$\%$
η_{AD}	Απόδοση DC-AC	93.4	$\%$
I_{PE}	Αρχική επένδυση	190	$\text{€}/kW$

6.6 Αποτελέσματα

Ο Πίνακας 11 δίνει τις βέλτιστες τιμές των μεταβλητών, οδηγώντας σε ένα συνολικό κόστος συστήματος 739.158 € (άθροισμα κάθε TLCC υποσυστήματος) και LCOE = 0,2232 € / kWh. Παρατηρούμε ότι το PV υποσύστημα είναι το κύριο συστατικό του υβριδικού συστήματος ως προς την εγκατεστημένη χωρητικότητα και το κόστος. Αυτό το αποτέλεσμα δεν είναι ιδιαίτερα περίεργο δεδομένης της μεγάλης συσχέτισης μεταξύ της ζήτησης στην Εικόνα 71 και της ηλιακής ακτινοβολίας. Κατά συνέπεια, η χωρητικότητα αποθήκευσης που παρέχεται από τις μπαταρίες είναι σχετικά χαμηλή για ένα απομονωμένο σύστημα. Οι γεννήτριες ντίζελ χρησιμοποιούνται σε περιόδους με ελάχιστη ή καθόλου PV συνήθως κατά τη διάρκεια των χειμερινών νυχτερινών ωρών (Εικόνα 74).

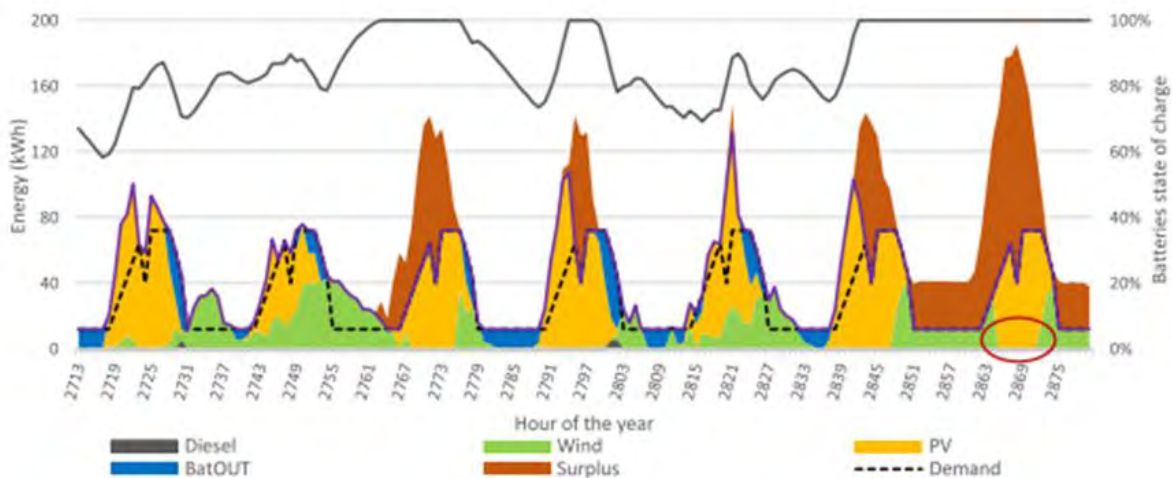
Πίνακας 11: Βέλτιστο μέγεθος για το σενάριο αναφοράς.

	<i>Wind</i>	<i>PV</i>	<i>Diesel</i>	<i>Batteries</i>
Εξοπλισμός	2	646	2	—
Ενέργεια (kW)	40	161.50	35.2	° C
Αποθήκευση (kWh)	—	-	-	558.4
TLCC (€)	95,915	273,636	185,456	184,151
LCOE (€)	0.2232			

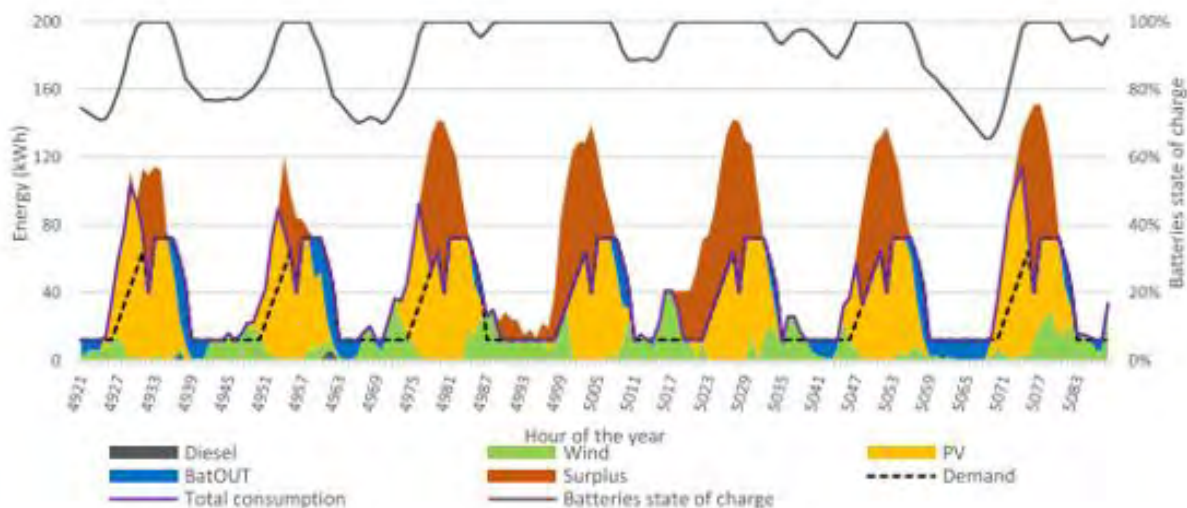


Εικόνα 74: Προγραμματισμός της κατανάλωσης, της παραγωγής και των φορτίων των μπαταριών για την τελευταία εβδομάδα του Ιανουαρίου [99]

Η παραγωγή πετρελαίου ντίζελ είναι πολύ λιγότερο συχνή κατά την άνοιξη και το καλοκαίρι όπως φαίνεται στο Εικόνα 75 και στο Εικόνα 76. Είναι ενδιαφέρον να δούμε ότι μερικές φορές (π.χ. κύκλος στο Εικόνα 75) η ηλιακή ενέργεια είναι αρκετή για να καλύψει τη συνολική ζήτηση. Αυτό δεν σημαίνει ότι δεν υπάρχει αιολική ενέργεια διαθέσιμη. Με άλλα λόγια, η συνολική παραγωγή ανέμου θεωρήθηκε πλεόνασμα κατά τη δημιουργία του συγκεκριμένου σχήματος.



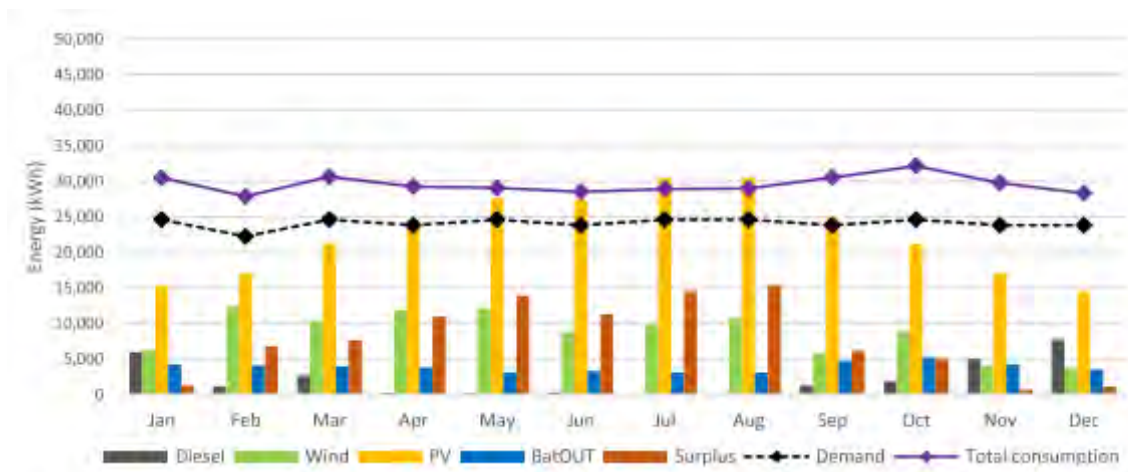
Εικόνα 75: Προγραμματισμός της κατάστασης κατανάλωσης, της παραγωγής και των μπαταριών για την τελευταία εβδομάδα του Απριλίου [99]



Εικόνα 76: Προγραμματισμός της κατάστασης φόρτισης κατανάλωσης, παραγωγής και μπαταρίας για την τελευταία εβδομάδα του Ιουλίου [99]

Το συνολικό μηνιαίο υπόλοιπο ενέργειας παρουσιάζεται στο σχήμα 77. Η ηλιακή παραγωγή κατά τους μήνες είναι σύμφωνη με την διαθεσιμότητα ηλιακών πόρων, Εικόνα 73. Ο Νοέμβριος και Δεκέμβριος είναι οι μήνες με τη χαμηλότερη παραγωγή αιολικής ενέργειας. Η

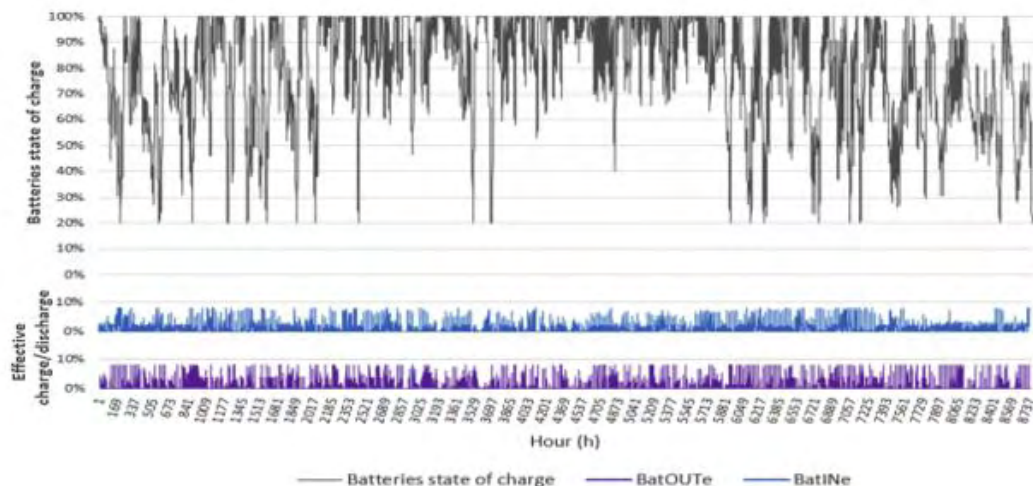
κατανομή της συνολικής παραγωγής ενέργειας έχει ως εξής: 104.767 kWh (26.0%) από τον άνεμο, 271.381 kWh (67.4%) από την Φ / Β υποσύστημα και 26,402 kWh (6,6%) από τις γεννήτριες ντίζελ, που αντιστοιχεί σε ετήσια κατανάλωση πετρελαίου 9042 λίτρα. Από αυτά, το 23,5% είναι πλεόνασμα ενέργειας και το 4,9% είναι απώλειες σε μετατροπείς, το πραγματικό ποσοστό ανανεώσιμης ενέργειας αντιπροσωπεύει το 90,9%.



Εικόνα 77: Μηνιαία παραγωγή κάθε υποσυστήματος σε ένα έτος για σενάριο αναφοράς. [99]

Οι μπαταρίες είναι ένας σημαντικός μηχανισμός για τη διαχείριση και την ισορροπία της ενέργειας που παράγεται από τις ανανεώσιμες πηγές, που αντιπροσωπεύουν 16% της κατανάλωσης ενέργειας. Λαμβάνοντας υπόψη την εγκατεστημένη χωρητικότητα του 558,4 kWh και η ελάχιστη κατάσταση φόρτισης 20%, η αυτονομία τους είναι 13,5 ώρες με τη μέση ζήτηση ισχύος 33,0 kW. Οι γεννήτριες ντίζελ μερικές φορές χρησιμοποιούνται επίσης για τη φόρτιση των μπαταριών (αυτό οφείλεται στον περιορισμό του ελάχιστου φορτίου των γεννητριών).

Οι μπαταρίες αρχίζουν το έτος στη μέγιστη κατάσταση φόρτισης και τελειώνουν στην ελάχιστη επιτρεπόμενη κατάσταση. Η Εικόνα 78 δείχνει επίσης ότι η κατάσταση φόρτισης των μπαταριών είναι γενικά υψηλή, πάνω από 60% στο μεγαλύτερο μέρος του χρόνου εκτός από πολύ σύντομες περιόδους. Μολονότι υποδεικνύει κακή αξιοποίηση των συσσωρευτών, πρέπει να σημειωθεί ότι ο στόχος του μοντέλου βελτιστοποίησης δεν είναι η μέγιστη αξιοποίησή τους αλλά το ελάχιστο κεφαλαιουχικό και λειτουργικό κόστος του υβριδικού συστήματος κατά τη διάρκεια της ζωής του, η οποία επιτυγχάνεται με τη μείωση του αριθμού των κύκλων (110 / έτος), με αποτέλεσμα περίπου μια αντικατάσταση κάθε 10 χρόνια (οι μπαταρίες μολύβδου-οξέος αντικαθίστανται, κατά μέσο όρο, ανά 1000 κύκλους). Λόγω της υψηλής διαθέσιμης ηλιακής διαθεσιμότητας και της εγκατεστημένης χωρητικότητας PV, η μέση κατάσταση φόρτισης είναι υψηλότερη κατά τη θερινή περίοδο.



Εικόνα 78: Κατάσταση μπαταριών κατά τη διάρκεια του έτους και ενέργεια που εισέρχεται αποτελεσματικά (BatINe) και έξω από τις μπαταρίες (BatOUTe). [99]

6.7 Ανάλυση ευαισθησίας

Μια λεπτομερής ανάλυση ευαισθησίας δίνεται για την αξιολόγηση των αποφάσεων που σχετίζονται με τη διαμόρφωση του συστήματος και στη δοκιμή του αντίκτυπου στα διαφορετικά οικονομικά, κλιματικά και απαιτητικά δεδομένα σχετικά με τον σχεδιασμό του συστήματος. Τα διαφορετικά σενάρια συνοψίζονται στον Πίνακα 12.

Πίνακας 12: Σενάρια εργασίας για ανάλυση ευαισθησίας.

Ανάλυση	Σενάριο	Παρατηρήσεις
Διαμόρφωση συστήματος	Σενάριο αναφοράς	Σύγκριση μεταξύ διαφορετικών υβριδικών διαμορφώσεων
Οικονομικά δεδομένα	Σενάριο Ντίτζελ	Διακύμανση τιμών ντίτζελ
	Τεχνολογικό σενάριο	Διακύμανση κόστους τεχνολογίας (ανεμογεννήτριες, φωτοβολταϊκά πάνελ και μπαταρίες)
Κλιματικά δεδομένα	Κλιματικό σενάριο 1	Εξαιρετική αιολική ενέργεια και κακή ηλιακή ενέργεια
	Κλιματικό σενάριο 2	Μέση αιολική και ηλιακή ενέργεια
	Κλιματικό σενάριο 3	Κακή αιολική ενέργεια και εξαιρετική ηλιακή ενέργεια
Προφίλ ζήτησης	Προφίλ Β αντί του προφίλ Α	Ίδια εβδομαδιαία ζήτηση, αλλά με υψηλότερη / χαμηλότερη ζήτηση στις καθημερινές / Σαββατοκύριακα

6.7.1 Διαμόρφωση συστήματος

Τα αποτελέσματα στον Πίνακα 13 δείχνουν ότι το υβριδικό σύστημα με περισσότερα υποσυστήματα οδηγούν στη χαμηλότερη τιμή LCOE, η οποία αναμενόταν να γίνει στο πλαίσιο μιας αυστηρής προσέγγισης βελτιστοποίησης

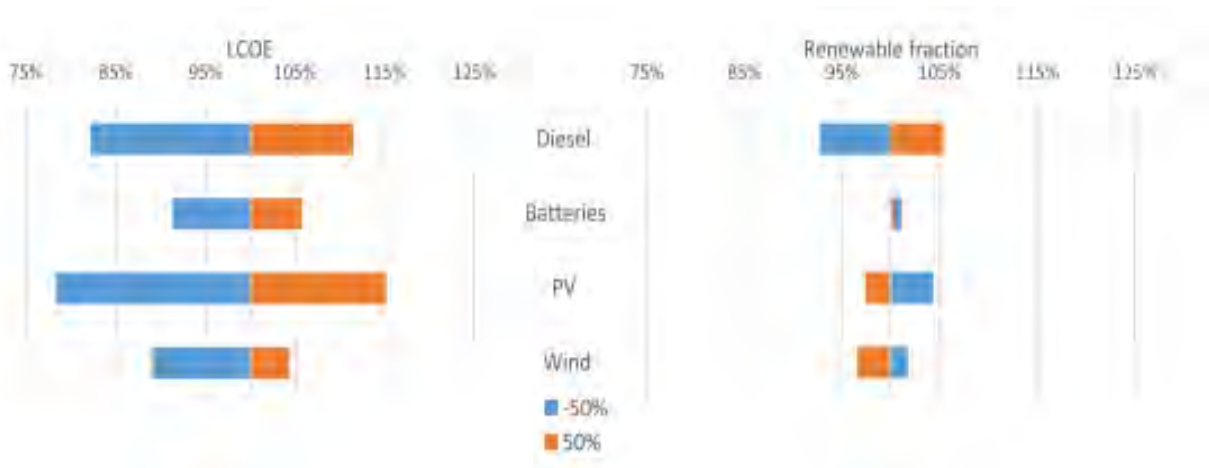
Πίνακας 13: Παρουσίαση των αποτελεσμάτων του σεναρίου αναφοράς και διαφορετικές δυνατότητες διαμορφώσεων

Σύστημα	Wind (kW)	PV (kW)	Diesel (kW)	Batteries (kWh)	Diesel (L)	LCOE (€/kWh)	Break-even point (years)
Wind/PV/Diesel/Batteries	40	161.50	52.8	558.4	180,844	0.2232	4.7
PV/Diesel/Batteries	–	228.50	35.2	865.3	160,434	0.2518	5.6
Wind/PV/Diesel	80	152.75	88	-	420,413	0.2664	4.7
Wind/Diesel/Batteries	160	–	52.8	991.8	394,900	0.3293	6.5
Wind/PV/Batteries	80	266.25	-	2026.3	–	0.3956	11.1
100% Diesel	–	–	88.0	–	1,941,338	0.5586	-

Το σύστημα Wind / PV / Diesel χωρίς μπαταρίες έχει το ίδιο Break-even point (years) με το σενάριο αναφοράς, αλλά η εγκατεστημένη χωρητικότητα είναι η δεύτερη υψηλότερη, οδηγώντας σε υψηλότερο LCOE λόγω της ντίζελ κατανάλωσης. Η κύρια διαφορά μεταξύ του PV / Diesel / Batteries και του συστήματος Wind / Diesel / Batteries βρίσκονται στα χαρακτηριστικά του ανανεώσιμου πόρου και τη συσχέτιση μεταξύ ηλιακής ενέργειας και προφίλ ζήτησης. Εξαιτίας αυτού, το λειτουργικό κόστος με το ντίζελ στο σύστημα Wind / Diesel / Batteries είναι υψηλότερο. Το σύστημα 100% Diesel έχει το ψευδές πλεονέκτημα ότι οδηγεί στο χαμηλότερο κόστος κεφαλαίου, αλλά αυτό είναι η χειρότερη διαμόρφωση δεδομένων των 20 ετών του έργου διάρκειας ζωής λόγω των υψηλών λειτουργικών δαπανών, υπερδιπλασιάζοντας το LCOE. Ιδιαίτερα ενδιαφέρουσα είναι η σύγκριση της βασικής περίπτωσης με το σύστημα Wind / PV / Batteries. Παρατηρούμε ότι χωρίς το ντίζελ backup σύστημα, η απαιτούμενη χωρητικότητα αποθήκευσης των μπαταριών περίπου τριπλασιάζεται, η εγκατεστημένη ισχύς του ανέμου διπλασιάζεται και του Φωτοβολταϊκού συστήματος η χωρητικότητα είναι υψηλότερη.

6.7.2 Οικονομικά δεδομένα

Για να εκτιμηθεί η επίδραση των δεδομένων κόστους του εξοπλισμού στο βέλτιστο σχεδιασμό του συστήματος, οι ακόλουθες τέσσερις παράμετροι υπέστησαν $\pm 50\%$ αλλαγή: το λειτουργικό κόστος για τις γεννήτριες ντίζελ (Odg), το κεφαλαιουχικό κόστος των ανεμογεννητριών (IWT), των φωτοβολταϊκών πλαισίων (IPV) και των μπαταριών (Ibat). Τα αποτελέσματα στην Εικόνα 79 δείχνουν ότι το κύριο κόστος της Φ / Β είναι ο κύριος μοχλός για την παραλλαγή LCOE, ακολουθούμενη από το κόστος ντίζελ. Από την άλλη πλευρά, οι μπαταρίες έχουν μειωμένο αντίκτυπο παρά το γεγονός ότι είναι το υποσύστημα με το δεύτερο μεγαλύτερο κεφαλαιουχικό κόστος. Η διακύμανση των ανανεώσιμων πόρων δεν υπερβαίνει το 6%, με μια πιο ανταγωνιστική τιμή ντίζελ φυσικά οδηγώντας σε υψηλότερη παραγωγή ενέργειας από ορυκτά καύσιμα.



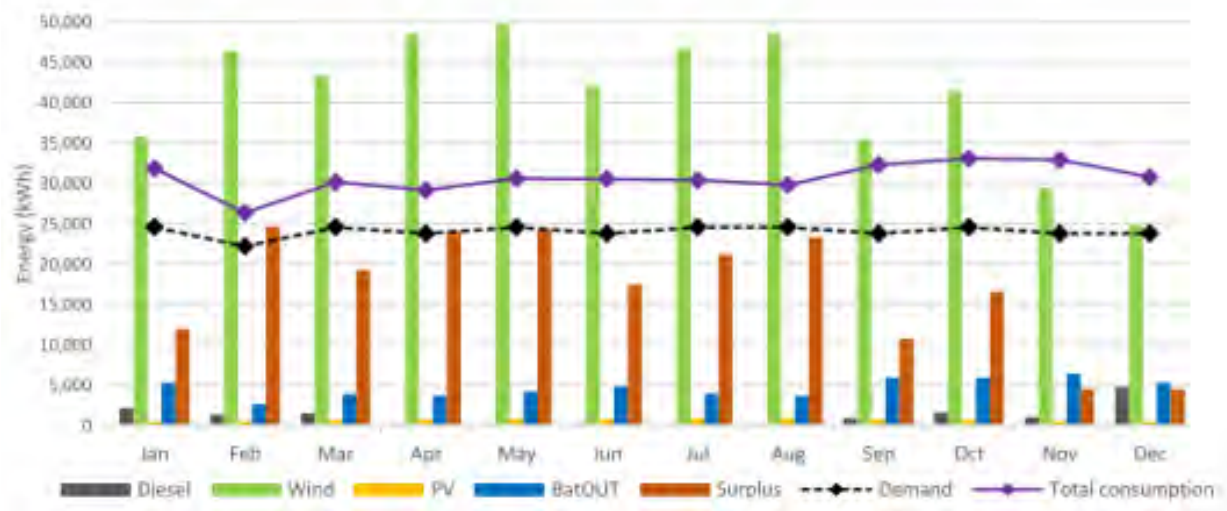
Εικόνα 79: LCOE και αλλαγή ανανεώσιμου κλάσματος με οικονομικά στοιχεία. [99]

Τα μετεωρολογικά σενάρια αντιπροσωπεύουν τρεις διαφορετικούς συνδυασμούς ανανεώσιμων πηγών ενέργειας: (1) υψηλός άνεμος και χαμηλή ηλιακή ενέργεια, (2) μέση τιμή (3) χαμηλή αιολική και υψηλή ηλιακή. Τα δεδομένα θερμοκρασίας περιβάλλοντος για τον υπολογισμό της ενέργειας που παράγεται από το φωτοβολταϊκό σύστημα ήταν ίδια με αυτά στην περίπτωση αναφοράς. Τα βέλτιστα σχέδια παρουσιάζονται στον Πίνακα 14.

Στο κλίμα 1, αυξάνουμε τη μέση ταχύτητα ανέμου από 5.93 σε 8,33 m / s και μειώνουμε την ετήσια ακτινοβολία από το 1872 στο 1000 kWh / m². Κατά συνέπεια, αλλάζει η διαμόρφωση του συστήματος δραστικά με σχεδόν όλη την ενέργεια να προέρχεται από τις ανεμογεννήτριες ενώ η ηλιακή έξοδος καθίσταται υπολειμματική (Εικ. 80). Η Ντίζελ κατανάλωση μειώνεται κατά το ήμισυ και, όπως και πριν, περιορίζεται στους χειμερινούς μήνες. Το πλεόνασμα ενέργειας είναι μάλλον μεγάλο, 40%, αλλά το LCOE είναι το ελάχιστο.

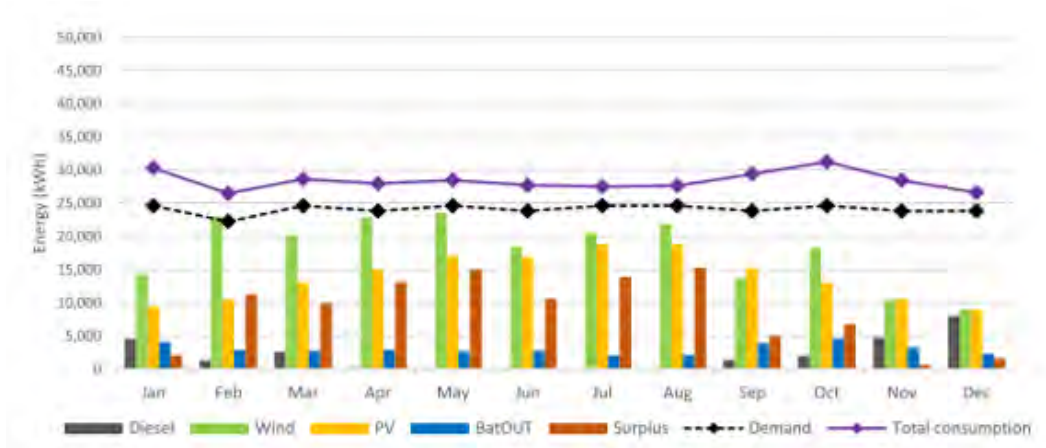
Πίνακας 14: Μεγιστοποίηση μεγέθους και οικονομικά αποτελέσματα για το κλιματικό σενάριο 1, 2 και 3.

Σενάριο	Wind (kW)	PV (kW)	Diesel (kW)	Batteries (kWh)	Diesel (L)	LCOE (€/kWh)
Κλίμα 1	100	9.00	35.2	671.1	99,788	0.1760
Κλίμα 2	60	131.50	52.8	534.6	171,480	0.2161
Κλίμα 3	40	157.75	35.2	602.2	156,693	0.2179



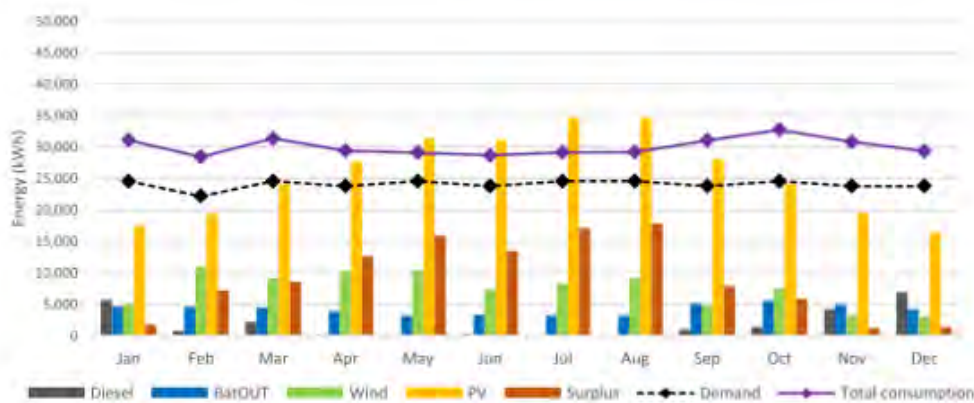
Εικόνα 80: Μηνιαίο ενεργειακό ισοζύγιο για το κλιματικό σενάριο 1. [99]

Για το δεύτερο κλιματικό σενάριο, η ταχύτητα του ανέμου είναι ίση με 7,03 m / s και η ηλιακή ακτινοβολία είναι 1400 kWh / m². Η ηλιακή Φ/Β ενέργεια ανακτά την κατάσταση από την άποψη της εγκατεστημένης ισχύος, αλλά ο άνεμος παραμένει κύρια πηγή ενέργειας, βλέπε Εικόνα 81. Αυτό είναι στην πραγματικότητα το μόνο σενάριο με 3 γεννήτριες ντίζελ αλλά είναι και αυτή με τις χαμηλότερες ικανότητες αποθήκευσης, κυρίως επειδή οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας είναι πιο ομοιόμορφα κατανομημένες. Το ενεργειακό πλεόνασμα είναι 33%.



Εικόνα 81: Μηνιαίο ενεργειακό ισοζύγιο για το κλιματικό σενάριο 2. [99]

Στην τρίτη περίπτωση, οι τιμές για την ταχύτητα του ανέμου και την ηλιακή ακτινοβολία είναι 5.53 m/s και 2200 kWh/m^2 . Είναι το πιο παρόμοιο με το σενάριο αναφοράς όσον αφορά την εγκατεστημένη ισχύ αλλά η ενέργεια του πλεονάσματος είναι υψηλότερη (27,3%). Το LCOE είναι περίπου το ίδιο με το κλίμα 2, αλλά τα αποτελέσματα μεγέθους είναι σημαντικά διαφορετικά για όλα τα υποσυστήματα. Το μηνιαίο ενεργειακό ισοζύγιο φαίνεται στο Εικόνα 82.



Εικόνα 82: Μηνιαίο ενεργειακό ισοζύγιο για το κλιματικό σενάριο 3. [99]

6.7.3 Προφίλ ζήτησης

Τέλος, μελετάμε την επίδραση του προφίλ ζήτησης στο σύστημα με την ίδια εβδομαδιαία και ετήσια ζήτηση. Το νέο προφίλ ζήτησης με δύο εβδομαδιαίες ημέρες παύσης, με ετικέτα το φορτίο B στην Εικόνα 71 είναι χαρακτηριστικό των περισσότερων ευρωπαϊκών χωρών. Συγκεκριμένα, η ζήτηση κατά τις εργάσιμες ημέρες αυξήθηκε κατά 18,2%, οδηγώντας σε χαμηλότερη κατανάλωση ενέργειας κατά τη διάρκεια του Σαββατοκύριακου. Τα αποτελέσματα

στον Πίνακα 15 δείχνει ότι η συνολική εγκατεστημένη ισχύς είναι ουσιαστικά η ίδια. Ωστόσο, η χωρητικότητα αποθήκευσης είναι μεγαλύτερη, ώστε να συσσωρεύεται περισσότερη ενέργεια κατά τη διάρκεια του Σαββατοκύριακου για να υποστηρίξει την ωριαία αύξηση της ζήτησης κατά τη διάρκεια της υπόλοιπης εβδομάδας. Προωθείται από το υψηλό κόστος κεφαλαίου των μπαταριών, και παρά τη χαμηλότερη κατανάλωση ντίζελ, το LCOE αυξάνεται κατά 3,5%.

Πίνακας 15: Σύγκριση των αποτελεσμάτων μεγέθους για διαφορετικά προφίλ ζήτησης.

Προφίλ Ζήτησης	Wind (kW)	PV (kW)	Diesel (kW)	Batteries (kWh)	Diesel (L)	LCOE (€/kWh)
Load A	40	161.5	52.8	558.4	180,844	0.2232
Κλίμα 3	40	160.75	35.2	602.2	174,086	0.2311

6.8 Συμπεράσματα

Αυτό το κεφάλαιο παρουσιάζει ένα γραμμικό προγραμματισμό μικτού-ακέραιου μοντέλου για τον σχεδιασμό απομονωμένων υβριδικών συστημάτων που περιλαμβάνουν Wind, PV, Μπαταρίες και Υποσύστημα Diesel. Δεδομένων των τεχνικών προδιαγραφών του διαθέσιμου εξοπλισμού, των μετεωρολογικών δεδομένων και των δεδομένων ζήτησης, το μοντέλο μπορεί να καθορίσει την εγκατεστημένη ισχύ και την πραγματική τιμή του αριθμού των ανεμογεννητριών, φωτοβολταϊκών πλαισίων και γεννητριών ντίζελ ενός ειδικού τύπου που χρειάζεται, ώστε να υπάρχει ακριβέστερη εκτίμηση του κόστους κεφαλαίου. Η λύση του συγκεκριμένου μαθηματικού μοντέλου παρέχει επίσης τη βέλτιστη λύση της ωριαίας λειτουργίας κάθε μεμονωμένου υποσυστήματος για μεγάλο χρονικό διάστημα ενός έτους.

Τα αποτελέσματα για ένα σενάριο αναφοράς έχουν δείξει ότι η βέλτιστη διαμόρφωση διαθέτει όλα τα υποσυστήματα, οδηγώντας σε LCOE 0,2232 € / kWh και ένα ανανεώσιμο κλάσμα που αντιστοιχεί στο 90,9% της συνολικής ζήτησης ενέργειας. Το υποσύστημα PV είχε το κύριο μερίδιο λόγω της μεγάλης συσχέτισης μεταξύ της ζήτησης και της ζήτησης καθημερινού ηλιακού προφίλ. Σε σύγκριση με άλλες διαμορφώσεις με ένα λιγότερο υποσύστημα και σε σύστημα ντίζελ 100%, σημαντικές εξοικονομήσεις παρατηρήθηκαν. Η εμπειριστατωμένη ανάλυση ευαισθησίας έδειξε επίσης ότι η βέλτιστη χωρητικότητα των μεμονωμένων εξαρτημάτων επηρεάζεται έντονα από τη μέση ταχύτητα του ανέμου και την ηλιακή ακτινοβολία.

Συνολικά, η αναπτυγμένη μεθοδολογία απέδειξε ότι είναι ευέλικτη και επαρκής για να χρησιμοποιηθεί ως αποτελεσματικό και πολύτιμο εργαλείο σχεδιασμού για το σχεδιασμό υβριδικών ανανεώσιμων απομονωμένων συστημάτων με ελάχιστο LCOE κατά τη διάρκεια της διάρκειας του έργου.

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Distributed Generation N. Jenkins, J.B. Ekanayake and G. Strbac, 2010
- [2] Biomass energy D.O. Hall, 1991
- [3] Distributed Generation: A Definition Thomas Ackermann A, 1, Goran Andersson B, Lennart Soder A, 2000
- [4] Distributed generation technologies, definitions and benefits W. El-Khattam, M.M.A. Salama, 2004
- [5] Awareness of secondary school students about renewable energy sources Esra Çakirlar Altuntas, Salih Levent Turan, 2018
- [6] Advances on Distributed Generation Technology Zuo Sun, and Xun-you Zhang, 2012
- [7] Review Article-Renewable Energies Javid Mohtasham, 2015
- [8] Distributed generation technologies and optimization Lucian Ioan Dulăua, Mihail Abrudeanb, Dorin Bicăc, 2014
- [9] Distributed Generation Edited by D. N. Gaonkar, 2010
- [10] Εισαγωγή στη Διεσπαρμένη Παραγωγή, University of Cyprus
- [11] DISTRIBUTED GENERATION: DEFINITION, BENEFITS AND ISSUES G. Pepermans, J. Driesen, D. Haeseldonckx, W. D'haeseleer and R. Belmans, 2003
- [12] GEOTHERMAL ENERGY: AN ALTERNATIVE RESOURCE FOR THE 21ST CENTURY HARSH GUPTA Raja Ramanna Fellow National Geophysical Research Institute Hyderabad, India SUKANTA ROY National Geophysical Research Institute Hyderabad, India, 2007
- [13] ΔΕΔΔΗΕ, Ιωάννης Μάργαρης Αντιπρόεδρος ΔΣ ΔΕΔΔΗΕ Α.Ε.(ΔΕΔΔΗΕ) Διαχειριστής Δικτύου Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας Α.Ε.
- [14] Renewable Energy Sources Edited by MICHAEL A.LAUGHTON, 2003
- [15] ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΔΙΔΑΚΤΙΚΕΣ ΣΗΜΕΙΩΣΕΙΣ ΧΡΙΣΤΟΦΗΣ Ι. ΚΟΡΩΝΑΙΟΣ ΕΠΙΣΚΕΠΤΗΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ, 2012
- [16] G N Tiwari R K Mishra-Advanced renewable energy sources, 2005
- [17] Wind Power in Power Systems Edited by Thomas Ackermann Royal Institute of Technology Stockholm, Sweden, 2005
- [18] AC and DC Microgrids: A Review on Protection Issues and Approaches Sohrab Mirsaeidi, Xinzhou Dong, Shenxing Shi and Bin Wang, 2017
- [19] AC-Microgrids Versus DC-Microgrids with Distributed Energy Resources: A Review Jackson John Justo A, Francis Mwasilu A, Ju Lee B, Jin-Woo Jung A,N, 2013
- [20] AC and DC technology in microgrids: A review Estefanía Planas N, Jon Andreu, José Ignacio Gárate, Iñigo Martínez de Alegría, Edorta Ibarra, 2015
- [21] AC and DC Microgrid with Distributed Energy Resources Dong Chen and Lie Xu, 2017
- [22] Modeling and control of microgrid: An overview M.S. Mahmouda,n, S. Azher Hussaina, M.A. Abido, 2014

- [23] Planning, Operation, and Protection of Microgrids: An Overview Faisal Mumtaz, Islam Safak Bayram, 2017
- [24] Microgrids: Experiences, Barriers and Success Factors Mariya Soshinskaya A, Wina H.J. Crijns-Graus A, Josep M. Guerrero B,N, Juan C. Vasquez B, 2014
- [25] Microgrid: Architecture, Policy and Future Trends Lubna Mariam N, Malabika Basu, Michael F. Conlon, 2016
- [26] POWER ELECTRONIC CONVERTERS FOR MICROGRIDS Suleiman M. Sharkh University of Southampton, United Kingdom Mohammad A. Abusara University of Exeter, United Kingdom Georgios I. Orfanoudakis University of Southampton, United Kingdom Babar Hussain Pakistan Institute of Engineering and Applied Sciences, Pakistan, 2014
- [27] MICROGRIDS ARCHITECTURES AND CONTROL Edited by Professor Nikos Hatziaargyriou National Technical University of Athens, Greece, 2014
- [28] Microgrids and Active Distribution Networks S. Chowdhury, S.P. Chowdhury and P. Crossley, 2009
- [29] AM Energy Thermal Solar Water Heating
- [30] <http://towerh.com/> Towerhill
- [31] <https://www.google.gr/search> Ενεργειακά Παθητικές κατοικίες ÖkoHaus
- [32] E. Toklu Biomass energy potential and utilization in Turkey Department of Mechanical Engineering, Duzce University, Duzce, Turkey, 2013
- [33] <https://www.google.gr/search> Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας
- [34] <https://www.districtenergy.org/HigherLogic/System/DownloadDocumentFile.ashx?DocumentFileKey=6b333d04-0eb1-5a74-946b-60076404465d>
- [35] <http://www.indiastudychannel.com/resources/160500-HVDC-Transmission-line.aspx>
- [36] https://documen.site/download/two-systems-research-proposal-ideas_pdf
- [37] http://www.megasolar-energy.com/index.php?_m=mod_static&_a=view&sc_id=22
- [38] Process Plant Machinery, 2nd edition, Bloch & Soares, C. pub: Butterworth Heinemann, 1998
- [39] Analysis, Control and Optimal Operations in Hybrid Power Systems Nicu Bizon Hossein Shayeghi Naser Mahdavi Tabatabaei Editors Advanced Techniques and Applications for Linear and Nonlinear Systems, 2013
- [40] <http://electrical-engineering-portal.com/an-overview-of-combined-cycle-power-plant>
- [41] <https://www.nuclear-power.net/nuclear-power-plant/>
- [42] Basic Knowledge Steam Power Plants Gunt Hamburg, 2014
- [43] http://energyeducation.ca/encyclopedia/Rankine_cycle
- [44] DOE Fundamentals Handbook Electrical Science Volume, 1992
- [45] http://dceeee.weebly.com/uploads/3/1/2/0/31202753/study_material_-unit_i_-_dc_machines.pdf
- [46] <http://www.ctialatest.org/engine/engine-compression-diagram>
- [47] Diesel Engine Management Konrad Reif Ed. Systems and Components, 2014

- [48] Analysis, Control and Optimal Operations in Hybrid Power Systems Nicu Bizon Hossein Shayeghi Naser Mahdavi Tabatabaei Editors Advanced Techniques and Applications for Linear and Nonlinear Systems, 2013
- [49] Klaus Mollenhauer Helmut Tschoeke Handbook of Diesel Engines, 2010
- [50] Hybrid power plants in non-interconnected insular systems Dimitris Al. Katsaprakakis, 2016
- [51] Hybrid renewable energy systems for power generation in stand-alone applications: A review Prabodh Bajpai, Vaishalee Dash, 2012
- [52] Hybrid renewable energy systems for off-grid electric power: Review of substantial issues Y.S. Mohammed a,n, M.W. Mustafa a, N. Bashir, 2014
- [53] Optimization in microgrids with hybrid energy systems – A review A. Hina Fathima N, K. Palanisamy, 2015
- [54] A review on hybrid renewable energy systems K. Shivarama Krishna, K. Sathish Kumar N School of Electrical Engineering, VIT University, Vellore-632014, Tamilnadu, India, 2015
- [55] Solar–wind hybrid renewable energy system: A review Vikas Khare, Savita Nema, Prashant Baredar, 2016
- [56] Hybrid energy storage systems and control strategies for stand-alone renewable energy power systems Lee Wai Chong n, Yee Wan Wong, Rajprasad Kumar Rajkumar, Rajpartiban Kumar Rajkumar, Dino Isa Department of Electrical and Electronic Engineering, The University of Nottingham Malaysia Campus, Jalan Broga, Semenyih 43500, Selangor, Malaysia, 2016
- [57] Hybrid renewable microgrid optimization techniques: A review Samir M. Dawouda, B Xiangning Lina, Merfat I. Okbaa, B a School of Electrical and Electronics Engineering, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074, Hubei, China B Department of Electrical Power and Machines Engineering, Tanta University, Egypt, 2018
- [58] RENEWABLE ENERGY SYSTEMS HYBRID ENERGY SYSTEMS APPLICATIONS Prof. Ibrahim El-mohr Prof. Ahmed Anas, 2014
- [59] Bahman Zohuri Hybrid Energy Systems Driving Reliable Renewable Sources of Energy Storage, 2017
- [60] HANDBOOK FOR COGENERATION AND COMBINED CYCLE POWER PLANTS Second Edition Dr. Meherwan P. Boyce, P.E., 2010
- [61] NUCLEAR POWER PLANTS Edited by Soon Heung Chang, 2012
- [62] DOE-HDBK-1018/1-93 MECHANICAL SCIENCE, 1993
- [63] Dynamic Energy Management of Hybrid Energy Storage Systems with a Hierarchical Structure Chang Ye, Shihong Miao, Qi Lei and Yaowang Li, 2016
- [64] Diagnosis of Combined Cycle Power Plant Based on Thermoeconomic Analysis: A Computer Simulation Study Hoo-Suk Oh 1, Youngseog Lee 2 and Ho-Young Kwak, 2017

- [65] Gas Turbine in the Modern Power Industry Technical Report, Willis, 2002
- [66] Hybrid Renewable Energy System: A Review Swati Negi¹ and Lini Mathew, 2014
- [67] Hybrid Power Generation System Using Wind Energy and Solar Energy Ashish S. Ingole, Prof. Bhushan S. Rakhonde, 2015
- [68] Xiaohua Zeng Jixin Wang Analysis and Design of the Power-Split Device for Hybrid Systems, 2018
- [69] Σύνθεση Ενεργειακών Συστημάτων Δημήτρης Αλ. Κατσαπρακάκης Εργαστήριο Αιολικής Ενέργειας & Σύνθεσης Ενεργειακών Συστημάτων Τ.Ε.Ι. Κρήτης Ηράκλειο Κρήτης, 2015
- [70] Photovoltaic solar energy: Conceptual framework Priscila Gonçalves Vasconcelos Sampaio^{a,*}, Mario Orestes Aguirre González, 2017
- [71] <https://www.quora.com/How-would-you-differentiate-between-a-Mono-crystalline-solar-PV-panel-and-a-Poly-crystalline-solar-PV-panel>
- [72] <http://materialxperience.com/thin-film-solar-cells/>
- [73] <https://infinitypv.com/products/opv/foil>
- [74] Antonio Luque, Steven Hegedus-Handbook of Photovoltaic Science and Engineering-Wiley, 2011
- [75] Springer Series in optical sciences founded by H.K.V. Lotsch Editor-in-Chief: W. T. Rhodes, Atlanta Editorial Board: T. Asakura, Sapporo K.-H. Brenner, Mannheim T. W. Hansch, Garching T. Kamiya, Tokyo F. Krausz, Wien and Garching B. Monemar, Linköping H. Venghaus, Berlin H. Weber, Berlin H. Weinfurter, München, 2005
- [76] International Conference on Technologies and Materials for Renewable Energy, Environment and Sustainability, TMREES17, 21-24 April 2017, Beirut Lebanon Photovoltaic panels characterization and experimental testing Mohammed Amine Faresa, B, C, Lotfi Atika, B, C, Ghalem Bachira, Michel Aillerie, 2017
- [77] 6th International Conference of Materials Processing and Characterization (ICMPC 2016) Materials for Optimizing Efficiencies of Solar Photovoltaic Panels J Praveen, V Vijaya Ramaraju, 2017
- [78] Review of photovoltaic technologies L. El Chaar A, L.A. Lamont A, N. El Zein, 2011
- [79] SolarTech & San Jose State University PV Performance Assessment of Existing Systems Using SAM
- [80] AN INTRODUCTION TO SOLAR CELL TECHNOLOGY Kiran Ranabhat Peoples' Friendship University of Russia, Moscow, Russian Federation Leev Patrikeev Peoples' Friendship University of Russia, Moscow, Russian Federation Aleksandra Antal'evna Revina Peoples' Friendship University of Russia, Moscow, Russian Federation Kirill Andrianov Peoples' Friendship University of Russia, Moscow, Russian Federation Valerii Lapshinsky Frumkin Institute of Physical Chemistry and Electrochemistry of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation Elena Sofronova Peoples' Friendship University of Russia, Moscow, Russian Federation, 2016

- [81] A GUIDE TO PHOTOVOLTAIC (PV) SYSTEM DESIGN AND INSTALLATION Prepared for: California Energy Commission Energy Technology Development Division 1516 Ninth Street Sacramento, California 95814, 2001
- [82] Status of Solar Photovoltaics, Chapter 2, 2014
- [83] Handbook of Photovoltaic Science and Engineering Second Edition Edited by Antonio Luque Instituto de Energia Solar, Universidad Politecnica de Madrid, Spain and Steven Hegedus Institute of Energy Conversion, University of Delaware, USA, 2011
- [84] Photovoltaic solar energy: Conceptual framework Priscila Gonçalves Vasconcelos Sampaioa, Mario Orestes Aguirre González, 2017
- [85] Performance Loss in Solar Photovoltaic Array due to Non-ideal Natural Conditions Sudhakar H S, Gujjala B Balaraju, Pradeep K and Siddhartha Bhatt M, 2014
- [86] Development of Photovoltaic Solar Cell Technology Junhao Chu Shanghai Institute of Technical Physics, Chinese Academy of Sciences, 2013
- [87] MODELING OF PHOTOVOLTAIC ARRAY A PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF Bachelor of Technology in Electrical Engineering By Sushen Narkhede (10602004) Rajpritam(10602057)
- [88] A Novel High Accuracy PV Cell Model Including Self Heating and Parameter Variation Aurel Gontean, Septimiu Lica ID, Szilard Bularka, Roland Szabo and Dan Lascu, 2017
- [89] A Novel High Accuracy PV Cell Model Including Self Heating and Parameter Variation Aurel Gontean, Septimiu Lica ID, Szilard Bularka, Roland Szabo and Dan Lascu, 2017
- [90] Exploring Photovoltaics Student Guide, 2017/2018
- [91] THIN-FILM SOLAR CELLS Technology Evaluation and Perspectives R.H. Bossert C.J.J. Tool J.A.M. van Roosmalen C.H.M. Wentink M.J.M. de Vaan, 2000
- [92] p-n Junction Photocurrent Modelling Evaluation under Optical and Electrical Excitation Constantine T. Dervos 1, Panayotis D. Skafidas 1, John A. Mergos 1 and Panayota Vassiliou, 2004
- [93] PV Performance Modeling Methods and Practices Results from the 4th PV Performance Modeling Collaborative Workshop, 2017
- [94] Φωτοβολταϊκά Συστήματα, Φραγκιαδάκης 3η έκδοση, 2007
- [95] <https://www.pinterest.co.uk/pin/347903139945086986/>
- [96] <http://www.alternative-energy-tutorials.com/solar-power/pv-array.html>
- [97] <http://www.insolergy.com/blog/solar-basics/parts-of-solar-photovoltaic-system/>
- [98] Integrated sizing and scheduling of wind/PV/diesel/battery isolated systems Andre Malheiro A, Pedro M. Castro B, Ricardo M. Lima C, Ana Estanqueiro A, D, 2015
- [99] [100] LNEG. Analise de desempenho t ermico, econ omico e ambiental de sistemas solares e SolTerm5. [Online]. Available, <http://www.lneg.pt/iedt/projectos/370/resumo>, 2013
- [100] Interational Conference on Communication, Control, Computing and Electronics Engineering (ICCCCEE), Khartoum, Sudan Grid Connected Photovoltaic System, 2017

- [101] Renewable systems and energy storages for hybrid systems Amjed Hina Fathima, Kaliannan Palanisamy HCL Technologies Ltd., Chennai, India; School of Electrical Engineering, VIT University, Vellore, Tamil Nadu, India
- [102] http://energyeducation.ca/encyclopedia/Energy_density_of_storage_devices
- [103] <http://www.iec.ch/whitepaper/pdf/iecWP-energystorage-LR-en.pdf>
- [104] A review on compressed air energy storage – A pathway for smart grid and polygeneration Gayathri Venkataramani a, Prasanna Parankusam a, Velraj Ramalingam A,N, Jihong Wang b, 2016
- [105] <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/electric/leadacid.html>
- [106] <https://angelinainriere.wordpress.com/2016/03/31/nicd-batteries/>
- [107] Life cycle assessment of storage systems: the case study of a sodium/nickel chloride battery Author links open overlay panel Sonia Longoa Vincenzo Antonuccib Maurizio Celluraa Marco Ferrarob
- [108] <http://sustainable-nano.com/2013/10/15/how-do-lithium-ion-batteries-work/>
- [109] <http://ac.umicore.com/en/applications/fuel-cell-catalysts/>
- [110] <http://energystoragesense.com/superconducting-magnetic-energy-storage-smes/>
- [111] Autonomous Integrated Power System Operation & Control 1 Dionysios Aliprantis (ISU) & Sakis Meliopoulos (GIT), 2018
- [112] <https://www.brighthubengineering.com/fluid-mechanics-hydraulics/7120-components-of-hydroelectric-power-plants-part-one/>
- [113] <http://electricalengineeringtutorials.com/various-components-of-gas-turbine-power-plant-functions/>
- [114] <http://www.midcogen.com/combined-cycle-tech.php>
- [115] Synchronous Generators Dr. Suad Ibrahim Shahl
- [116] <https://www.electrical4u.com/construction-of-alternator/>
- [117] https://www.designbuild_network.com/contractors/construct_materials/energyglass/attachment/energyglass1/.