

Πολυτεχνείο Κρήτης

Έτος 2017



Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών & Μηχανικών

Υπολογιστών

Διπλωματική Εργασία

**«Επισκόπηση της λειτουργίας και της διαχείρισης
μικροδικτύου μέσης τάσης με αποθήκη ενέργειας»**

**« A Survey of the Operation and Management of Medium
Voltage Microgrid with Energy Storage»**

Κουλουκύθας Οδυσσέας

A.M : 2009030118

ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ

Καθηγητής: Σταυρακάκης Γεώργιος (Επιβλέπων)

Καθηγητής: Καλαϊτζάκης Κωνσταντίνος

Αναπληρωτής Καθηγητής: Κουτρούλης Ευτύχης

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Οι προσπάθειες για την μείωση της χρήσης των πηγών ορυκτών καυσίμων και την αντικατάστασή τους από Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (ΑΠΕ) συγκεντρώνονται στην μείωση των εκπομπών από την παραγωγή, μεταφορά και κατανάλωση ενέργειας. Τα τελευταία χρόνια έχουν χαραχθεί πολιτικές που αφορούν τη δημιουργία θεσμικού και χρηματοοικονομικού πλαισίου για την στήριξη της ένταξης των ΑΠΕ στους τομείς της ηλεκτροπαραγωγής, της θέρμανσης και των μεταφορών. Η Ελλάδα διαθέτει πλούσιο δυναμικό σε ΑΠΕ. Η αιολική ενέργεια πρωταγωνιστεί στην ανάπτυξη των ΑΠΕ και παρουσιάζει σημαντικές επενδυτικές δυνατότητες στην Ελλάδα. Η Ελλάδα παρουσιάζει επίσης ένα ιδιαίτερα υψηλό ηλιακό δυναμικό, περίπου 1.400-1.800 (kWh/(m².yr)) ετησίως σε οριζόντιο επίπεδο, ανάλογα το γεωγραφικό πλάτος και το ανάγλυφο της περιοχής. Στην παρούσα εργασία θα παρουσιαστούν αναλυτικά οι τεχνολογίες των συστημάτων ΑΠΕ και συγκεκριμένα, των Φωτοβολταϊκών τεχνολογιών, των υδροηλεκτρικών έργων και των συστημάτων αποθήκευσης ενέργειας, με στόχο να διερευνηθεί η δυνατότητα ηλεκτροδότησης φορτίων μέσω φωτοβολταϊκών και υδροηλεκτρικών σταθμών με σύστημα αποθήκευσης μπαταριών, όπου υλοποιείται έλεγχος συχνότητας.

ABSTRACT

Efforts to reduce the use of fossil fuel sources and replace them with Renewable Energy Sources (RES) combine emission reductions from energy production, transport and consumption. In recent years, policies have been devised to create an institutional and financial framework to support the integration of RES in the fields of power generation, heating and transport. Greece has a rich potential in RES. Wind energy is a leading factor in the development of RES and presents significant investment opportunities in Greece. Greece also has a particularly high potential of solar capacity of approximately 1,400-1,800 (kWh / (m².yr)) per year on a horizontal level depending on the latitude of the area. In this thesis, the technologies of RES systems, especially Photovoltaic technologies, hydroelectric projects and energy storage systems, will be presented in order to investigate the possibility of electrification of loads through photovoltaic and hydroelectric stations with a storage battery system where frequency control is performed.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Περίληψη	2
Abstract	3
1 Εισαγωγή	1
2 Βιβλιογραφική ανασκόπηση	6
2.1 Εισαγωγή στα αυτόνομα υβριδικά συστήματα με ΑΠΕ - Μικροδίκτυα	6
2.2 Φωτοβολταϊκά συστήματα	7
2.2.1 Τεχνολογία	7
2.2.2 Χαρακτηριστικά λειτουργίας	12
2.2.3 Απόδοση και παράγοντες επίδρασης	14
2.2.4 Περιβαλλοντικά οφέλη	19
2.2.5 Περιβαλλοντικοί προβληματισμοί	20
2.3 Υδροηλεκτρικές γεννήτριες	24
2.3.1 Αρχή λειτουργίας	24
2.3.2 Τύποι – Κατηγορίες	25
2.3.3 Δυναμικό στην Ελλάδα, πλεονεκτήματα και περιορισμοί.....	34
2.3.4 Περιβαλλοντικά οφέλη	39
2.4 Μπαταρίες – Συστοιχίες μπαταριών	40
2.4.1 Γενικές αρχές λειτουργίας	40
2.4.2 Τύποι	40
2.5 Ηλεκτρονικός εξοπλισμός Μετατροπείς	47
2.6 Μικροδίκτυα.....	52
2.6.1 Τρόπος λειτουργίας.....	52
2.6.2 Τεχνικά χαρακτηριστικά	55
2.7 Έλεγχος μικροδικτύου.....	59
2.7.1 Διαχείριση τάσης και συχνότητας.....	60

2.7.2	Ισορροπία μεταξύ προσφοράς και ζήτησης	61
2.7.3	Ποιότητα Ισχύος	61
2.7.4	Θέματα Μικροπηγών ενέργειας.....	62
2.7.5	Επικοινωνία μεταξύ των εξαρτημάτων του μικροδικτύου	62
2.8	Η αποθήκευση ενέργειας.....	63
2.8.1	Οι μπαταρίες ως διατάξεις αποθήκευσης.....	67
2.8.2	Η αντλησιοταμίευση ως διάταξη ενεργειακής αποθήκευσης	72
3	Το μοντέλο μικροδικτύου	78
3.1	Εισαγωγή	78
3.2	Περιγραφή μικροδικτύου	79
3.2.1	Φωτοβολταϊκό σύστημα	80
3.2.2	Συστοιχία μπαταριών ως σύστημα αποθήκευσης ενέργειας	84
3.3	Μεθοδολογία διαχείρισης συστήματος αποθήκευσης ενέργειας με μπαταρίες 85	
4	Παρουσίαση μοντέλου στο Matlab/Simulink	87
5	Συμπεράσματα	91
	Βιβλιογραφία	92

1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

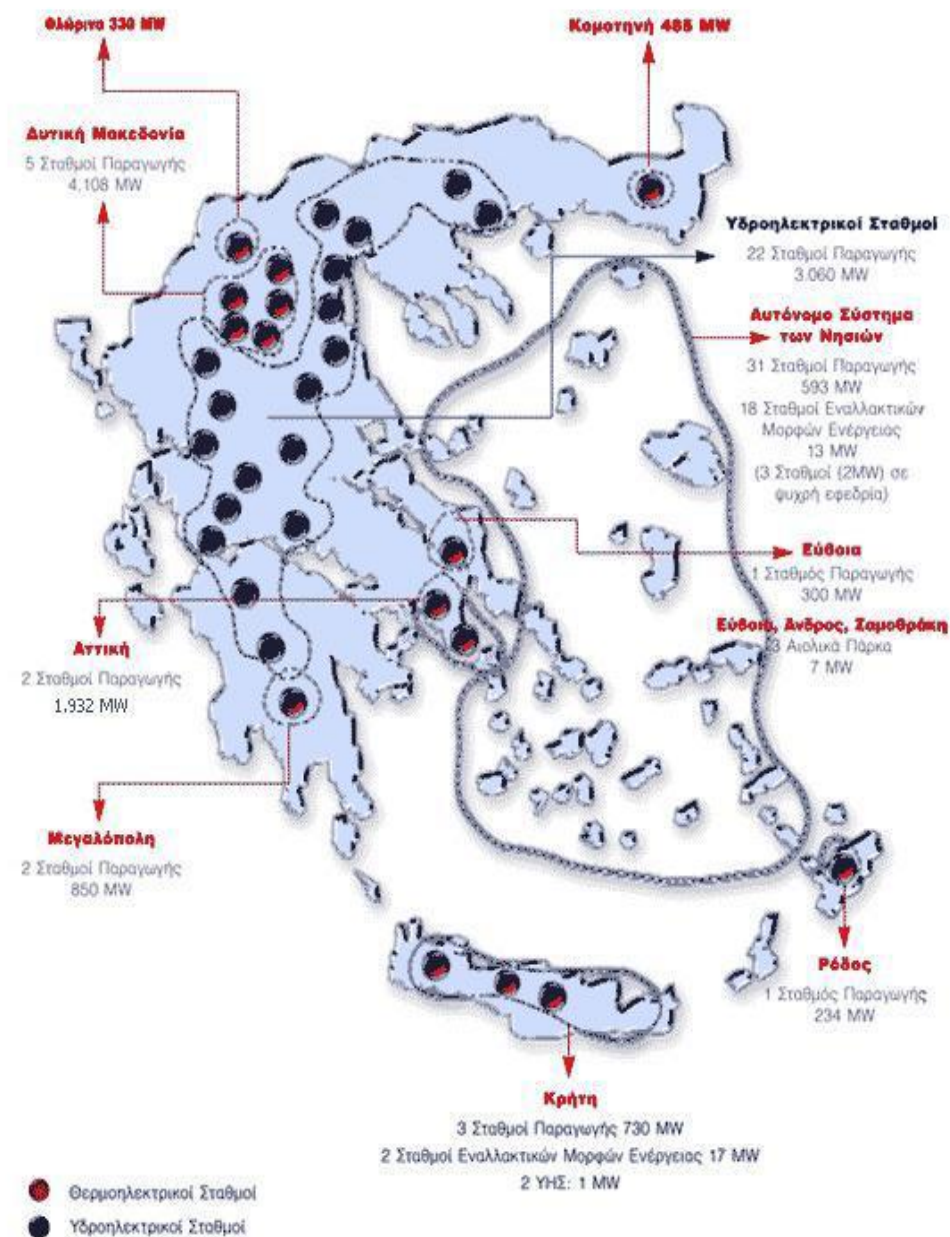
Το Ελληνικό σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας χωρίζεται στο διασυνδεδεμένο σύστημα που καλύπτει την ηπειρωτική χώρα και σε διάφορα αυτόνομα συστήματα που καλύπτουν τη νησιωτική χώρα. Η συνολική εγκατεστημένη ισχύς ανέρχεται σε 17.657 MW. Το διασυνδεδεμένο σύστημα αποτελεί το 88,0% της εγκατεστημένης ισχύος, ενώ το αυτόνομο σύστημα των νησιών του Αιγαίου, πλην της Κρήτης, αποτελεί το 6,5%. Το σύστημα της Κρήτης αντιστοιχεί στο 5,5% της συνολικής εγκατεστημένης ισχύος σε όλη τη χώρα.

Η απαραίτητη ενέργεια για τα φορτία της χώρας (οικιακά, εμπορικά, βιομηχανικά), παράγονται κυρίως στο ενεργειακό κέντρο της Δ. Μακεδονίας και μεταφέρονται με γραμμές διπλού κυκλώματος των 400 kV σε όλη την ηπειρωτική χώρα. Στην Δυτική Μακεδονία παράγεται το 70% της ενέργειας που χρειάζεται η Κεντρική και Νότια Ελλάδα, δηλαδή το 65% του φορτίου της χώρας.

Η ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται στους σταθμούς παραγωγής, έχει χαρακτηριστικά χαμηλής τάσης και αν μεταφερόταν έτσι σε μεγάλες αποστάσεις οι απώλειες θα ήταν μεγάλες. Έτσι, μεταφέρεται σε κοντινούς μετασχηματιστές που μετατρέπουν τη χαμηλή τάση της ηλεκτρικής ενέργειας σε υψηλή. Με αυτόν τον τρόπο, η ηλεκτρική ενέργεια μεταφέρεται με τις γραμμές μεταφοράς σε πολύ μεγάλες αποστάσεις με λιγότερες απώλειες, καθώς οι σταθμοί παραγωγής είναι συνήθως μακριά από μεγάλα αστικά κέντρα.

Η ενέργεια που παράγεται, στόχος είναι να μεταφερθεί στον τελικό καταναλωτή με όσο το δυνατόν λιγότερες απώλειες. Για τον λόγο αυτό έχει δημιουργηθεί ένα κλιμακωτό σύστημα σταδιακής απομείωσης του επιπέδου τάσης με ανάλογη αύξηση του ρεύματος με τη βοήθεια κατάλληλων υποσταθμών μετασχηματιστών στο δίκτυο. Το δίκτυο μεταφοράς μεταφέρει την ηλεκτρική ενέργεια στους υποσταθμούς μέσης και χαμηλής τάσης, στους οποίους μετατρέπεται η τάση της ηλεκτρικής ενέργειας από υψηλή σε μέση και χαμηλή τάση, προκειμένου με τη βοήθεια εναέριων ή υπόγειων γραμμών να διανεμηθεί σε βιομηχανίες που χρησιμοποιούν μέση τάση και σε σπίτια που χρησιμοποιούν χαμηλή τάση.

ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΗ ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΣΤΑΘΜΩΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ



Εικόνα 1 Γεωγραφική κατανομή σταθμών παραγωγής (Πηγή ΡΑΕ)

Το κύριο καύσιμο για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας στην Ελλάδα είναι ο λιγνίτης. Τα κυριότερα εκμεταλλεύσιμο κοιτάσματα λιγνίτη βρίσκονται στην Δυτική Μακεδονία και συγκεκριμένα στις περιοχές Πτολεμαΐδας, Αμύνταιου και Φλώρινας. Ο λιγνίτης ως καύσιμο υλικό για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, αποφέρει στην Ελλάδα τεράστια εξοικονόμηση συναλλάγματος (περίπου 1 δις. δολάρια ετησίως). Ο

λιγνίτης έχει εξελιχθεί σε καύσιμο στρατηγικής σημασίας για τη ΔΕΗ, κυρίως για το χαμηλό κόστος εξόρυξης και την άμεσα ελέγξιμη τιμή του. Παράλληλα, προσφέρει χιλιάδες θέσεις εργασίας στην ελληνική περιφέρεια, ιδιαίτερα σε περιοχές που εμφανίζουν μεγάλα ποσοστά ανεργίας. Συνεπώς μπορούμε να πούμε ότι ο λιγνίτης έχει συμβάλει σημαντικά στην αύξηση του εθνικού μας προϊόντος. Με βάση όμως τα συνολικά εκμεταλλεύσιμα αποθέματα λιγνίτη της Ελλάδας και τον προγραμματιζόμενο ρυθμό κατανάλωσης στο μέλλον, υπολογίζεται ότι τα αποθέματα αυτά επαρκούν για τα επόμενα 50 χρόνια.

Οι ατμοηλεκτρικοί σταθμοί (ΑΗΣ) συνιστούν την βάση του παγκόσμιου οικοδομήματος για την παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος με λιγνίτη. Οι λιγνιτικές μονάδες προκαλούν εκτεταμένη ρύπανση του περιβάλλοντος με προεκτάσεις οικονομικές αλλά και στην υγεία των γύρω κατοίκων. Όπως έχει καταγράψει σε πολλές έρευνες η παραγωγή ρεύματος με τη χρήση λιγνίτη αποτελεί μια από τις κυριότερες μορφές ρύπανσης του φυσικού περιβάλλοντος.

Με βάση την κλιματική αλλαγή, συμφωνήθηκε μέσω του Πρωτοκόλλου του Κιότο η λήψη μέτρων για την αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής. Το Πρωτόκολλο του Κιότο αποτελεί διεθνή συμφωνία που συνδέεται με τη Σύμβαση-Πλαίσιο των Ηνωμένων Εθνών για την Κλιματική Αλλαγή, η οποία δεσμεύει τα συμβαλλόμενα μέρη της θέτοντας διεθνώς δεσμευτικούς στόχους μείωσης των εκπομπών του θερμοκηπίου.

Αναγνωρίζοντας ότι οι ανεπτυγμένες χώρες είναι κυρίως υπεύθυνες για τα σημερινά υψηλά επίπεδα των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου στην ατμόσφαιρα, ως αποτέλεσμα πάνω από 150 χρόνια βιομηχανικής δραστηριότητας, το πρωτόκολλο δίνει μεγαλύτερο βάρος στις ανεπτυγμένες χώρες, βάσει της αρχής των «κοινών αλλά διαφοροποιημένων ευθυνών».

Στο πλαίσιο του πρωτοκόλλου του Κιότο, η ΕΕ-15 έχει αναλάβει κοινή δέσμευση για τη μείωση των εκπομπών κατά μέσο όρο 8% μεταξύ 2008 και 2012 σε σύγκριση με τις εκπομπές του έτους βάσης. Επισημαίνεται ότι σε αντίθεση με την ΕΕ-15, η ΕΕ-27 δεν έχει ουδεμία υποχρέωση επίτευξης κάποιου κοινού στόχου στο πλαίσιο του πρωτοκόλλου του Κιότο μέχρι το 2012.

Σε αυτό το πλαίσιο χαράχθηκε και η Ευρωπαϊκή πολιτική για τις ΑΠΕ που με το στόχο του 20-20-20 έχει δώσει σαφή κατεύθυνση σε όλα τα κράτη μέλη. Ειδικότερα για το σύνολο των Κρατών-Μελών της Ευρωπαϊκής Ένωσης, μέχρι το 2020, προβλέπεται:

- 20% μείωση των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου σε σχέση με τα επίπεδα του 1990 σύμφωνα με την Οδηγία 2009/29/EK,
- 20% διείσδυση των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας στην ακαθάριστη τελική κατανάλωση ενέργειας σύμφωνα με την Οδηγία 2009/28/EK και
- 20% εξοικονόμηση πρωτογενούς ενέργειας.

Η δομή των συστημάτων ηλεκτρικής ενέργειας αλλάζει λοιπόν βάσει περιβαλλοντικών, οικονομικών και τεχνολογικών κινήτρων. Οι κεντρικοί σταθμοί παραγωγής δίνουν χώρο σε νέες μικρές μονάδες παραγωγής ενέργειας που βρίσκονται διανεμημένες στο δίκτυο. Η διανεμημένη παραγωγή δεν έχει φτάσει ακόμα σε σημαντικά επίπεδα διείσδυσης αλλά στο μέλλον η κατάσταση αναμένεται να αλλάξει. Νέες τεχνολογίες αξιοποιούνται για την παραγωγή ενέργειας, μερικές από τις οποίες κάνουν χρήση των ανανεώσιμων πηγών, μειώνοντας με αυτόν τον τρόπο τις εκπομπές επικίνδυνων αερίων. Στη μεγάλη πλειοψηφία τους, αυτές οι πηγές περιλαμβάνουν διατάξεις ηλεκτρονικών ισχύος για την μετατροπή DC/AC.

Ως Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας ορίζονται οι ακόλουθες πηγές ενέργειας:

- Ηλιακή Ενέργεια
- Αιολική Ενέργεια
- Βιομάζα
- Υδροηλεκτρική Ενέργεια
- Γεωθερμία
- Ενέργεια της Θάλασσας (παλιρροιακά κύματα)

Το μικροδίκτυο ή στην Αγγλική Microgrid, λήφθηκε ως έννοια με στόχο την απομονωμένη και αυτόνομη λειτουργία. Πρόκειται για τη συνδυασμένη λειτουργία ενός συνόλου γεννητριών με στόχο την κάλυψη ενός φορτίου της τάξης των μερικών kW έως 2MW, οπότε μπορεί να καλύψει τις ανάγκες μιας κατοικίας αλλά και μιας βιοτεχνίας ή ενός κτηρίου γραφείων. Καθώς πρόκειται για αυτόνομο σύστημα, περιλαμβάνει και συσκευές αποθήκευσης. Τα μικροδύκτυα μπορούν να συνδέονται στο δίκτυα αλλά μόνο για να λαμβάνουν ενέργεια σε περιπτώσεις ανάγκης και να εγγέουν την πλεονάζουσα ενέργεια σε περίπτωση που δεν μπορεί να την καταναλώσει το φορτίο.

2 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ

2.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΑ ΑΥΤΟΝΟΜΑ ΥΒΡΙΔΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΜΕ ΑΠΕ - ΜΙΚΡΟΔΙΚΤΥΑ

Η διείσδυση των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας στο σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας έχει αλλάξει τον τρόπο λειτουργίας του και κάνει επιτακτική τη λύση στο πρόβλημα κάλυψης των αυξανόμενων αναγκών για ηλεκτρική ενέργεια στον βιομηχανικό και οικιακό τομέα. Το μοντέλο της ενεργειακής αγοράς έχει πλέον αλλάξει και προσαρμόζεται στα ολοένα μεταβαλλόμενα δεδομένα τόσο ρυθμιστικά όσο και τεχνικά. Η διασύνδεση των νέων πηγών ενέργειας δεν γίνεται κεντρικά αλλά διασπαρμένα, από ανεξάρτητους παραγωγούς. Οι πηγές είναι ανανεώσιμες, είναι δηλαδή διαλείπουσες και άρα δύσκολα προβλέψιμες, αυξάνοντας την αβεβαιότητα στο δίκτυο. Η αποκέντρωση της παραγωγής δημιουργεί ένα νέο μοντέλο δικτύου που ονομάζεται Μικροδίκτυο. Πρόκειται για τη συνδυασμένη λειτουργία ενός συνόλου γεννητριών με στόχο την κάλυψη ενός φορτίου της τάξης των μερικών kW έως 2MW, οπότε μπορεί να καλύψει τις ανάγκες μιας κατοικίας αλλά και μιας βιοτεχνίας ή ενός κτηρίου γραφείων. Καθώς πρόκειται για αυτόνομο σύστημα, περιλαμβάνει και συσκευές αποθήκευσης. Τα μικροδίκτυα μπορούν να συνδέονται στο δίκτυα αλλά μόνο για να λαμβάνουν ενέργεια σε περιπτώσεις ανάγκης και να εγχέουν την πλεονάζουσα ενέργεια σε περίπτωση που δεν μπορεί να την καταναλώσει το φορτίο.

Το Μικροδίκτυο παίζει καθοριστικό ρόλο προς τη δημιουργία των Έξυπνων δικτύων που αναμένεται να αλλάξουν ριζικά το μέλλον των συστημάτων ηλεκτρικής ενέργειας. Τα μικροδίκτυα είναι υβριδικά συστήματα, καθώς ενσωματώνουν πολλές ανανεώσιμες και μη πηγές παραγωγής ενέργειας. Ακολουθεί λεπτομερής περιγραφή των πιο κοινών διατάξεων που περιλαμβάνονται στα αυτόνομα υβριδικά συστήματα των μικροδικτύων.

2.2 ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ

2.2.1 Τεχνολογία

Η ανάπτυξη των φωτοβολταϊκών γεννητριών για την παραγωγή ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας αποτελεί το κυριότερο σύστημα αξιοποίησης της ηλεκτρικής ενέργειας. Η ανάπτυξη αυτών των συστημάτων είναι μεγαλύτερη στις περιοχές όπου η πολιτική αξιοποίησης της ηλιακής ενέργειας είναι πιο ξεκάθαρη και τεκμηριωμένη.

Η αρχή λειτουργίας του φωτοβολταϊκού στηρίζεται στο γεγονός πως το ηλιακό φως αποτελείται από πολύ μικρά σωματίδια που λέγονται φωτόνια τα οποία περιέχουν διαφορετικά ποσά ενέργειας ανάλογα με το μήκος κύματος του ηλιακού φάσματος. Τα φωτοβολταϊκά αποτελούν ένα είδος ημιαγωγού και όταν τα φωτόνια πέφτουν πάνω στην επιφάνειά τους άλλα ανακλώνται άλλα τα διαπερνούν και άλλα απορροφώνται από τον ημιαγωγό. Τα φωτόνια που απορροφώνται στην επιφάνεια του φωτοβολταϊκού είναι αυτά που παράγουν το ηλεκτρικό ρεύμα. Τα συγκεκριμένα φωτόνια αναγκάζουν τα ηλεκτρόνια να μετακινηθούν σε άλλη θέση παράγοντας με αυτόν τον τρόπο ηλεκτρικό ρεύμα. Το φαινόμενο αυτό αποτελεί το λεγόμενο φωτοβολταϊκό φαινόμενο.

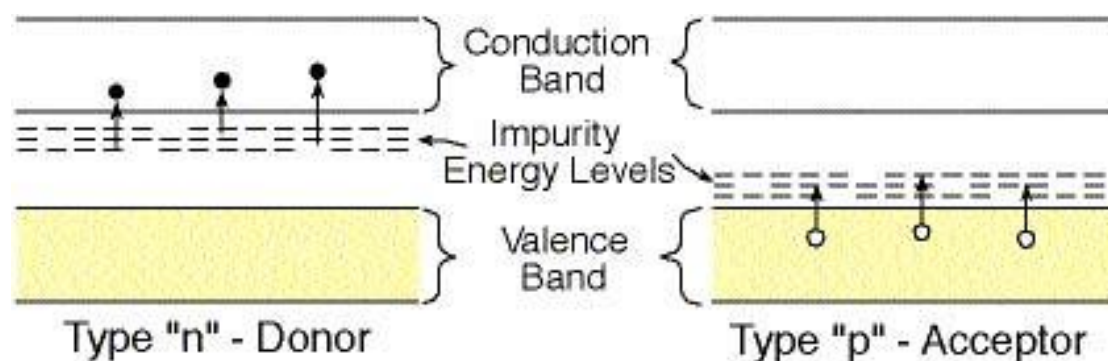
Υπάρχουν όμως κάποια υλικά που μετατρέπουν τα πακέτα ενέργειας που μεταφέρονται από τα φωτόνια σε ηλεκτρική ενέργεια και ονομάζονται ημιαγωγοί. Τα διάφορα υλικά διακρίνονται με βάση τα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά τους σε αγωγούς, ημιαγωγούς και μονωτές. Η βασική ιδιότητα ενός ημιαγωγού είναι ότι μπορεί να ελεγχθεί η ηλεκτρική του αγωγιμότητα.

Ένα από τα χαρακτηριστικά των ημιαγωγών είναι τα ηλεκτρόνια που βρίσκονται στην εξωτερική στοιβάδα σθένους του χημικού στοιχείου που τους αποτελεί. Το πυρίτιο αποτελεί τον πιο γνωστό ημιαγωγό ο οποίος χρησιμοποιείται ευρέως στα φωτοβολταϊκά στοιχεία. Το πυρίτιο με ατομικό αριθμό 14 έχει 4 ηλεκτρόνια στην εξωτερική του στοιβάδα κατά συνέπεια έχει την τάση όταν υπάρχουν πολλά άτομα μαζί να διατάσσονται με τέτοιο τρόπο ώστε η εξωτερική του στοιβάδα να συμπληρώνεται με 8 ηλεκτρόνια. Η συμπλήρωση της εξωτερικής στοιβάδας με 8 ηλεκτρόνια είναι αυτή που προκαλεί τη δημιουργία της κρυσταλλικής δομής του πυριτίου. Όταν το πυρίτιο βρίσκεται σε κρυσταλλική μορφή αποκτά ηλεκτρικά

χαρακτηριστικά παραπλήσια με του μονωτή αφού δεν υπάρχουν ηλεκτρόνια για τη δημιουργία του ηλεκτρικού ρεύματος στο εσωτερικό του.

Οι ημιαγωγικές ιδιότητες του πυριτίου μπορούν να αποκτηθούν με τεχνητό τρόπο και συγκεκριμένα με την πρόσμιξη του με άλλα στοιχεία που έχουν πλεόνασμα είτε ενός ηλεκτρονίου είτε έλλειμα ενός ηλεκτρονίου στην εξωτερική τους στοιβάδα μετατρέποντας τον κρύσταλλο ικανό να δεχτεί ηλεκτρικά φορτία. Όταν ο κρύσταλλος δέχεται θετικά φορτία μετατρέπεται σε ημιαγωγό τύπου p ενώ όταν δέχεται αρνητικά φορτία μετατρέπεται σε ημιαγωγό τύπου n.

Αν δυο κομμάτια πυριτίου διαφορετικού τύπου, τύπου n και p έρθουν σε απόσταση μεταξύ τους δημιουργείται ανάμεσά τους μια δίοδος ή ένα ηλεκτρικό πεδίο στην επαφή των δύο υλικών που επιτρέπει την κίνηση των ηλεκτρονίων μόνο προς τη μια κατεύθυνση. Στον ημιαγωγό p δημιουργούνται με αυτόν τον τρόπο οπές οι οποίες έλκονται από τα επιπλέον ηλεκτρόνια της επαφής n. Αυτό το ζευγάρι των ημιαγωγών αποτελεί το δομικό στοιχείο του φωτοβολταϊκού στοιχείου.



Εικόνα 2-1 Λειτουργία ημιαγωγών p και n

Όταν η ηλιακή ακτινοβολία πέφτει πάνω σε ένα φωτοβολταϊκό στοιχείο περνάει από τον ημιαγωγό τύπου n και προσπίπτει πάνω στα άτομα του ημιαγωγού τύπου p. Τα ηλεκτρόνια της περιοχής τύπου p κινούνται μεταξύ των οπών και τελικά φτάνουν στη δίοδο όπου έλκονται από το θετικό πεδίο. Ξεπερνώντας το ενεργειακό φάσμα σε αυτήν την περιοχή τα ηλεκτρόνια δεν μπορούν να επιστρέψουν. Με αυτόν τον τρόπο στον ημιαγωγό n δημιουργείται πλεόνασμα ηλεκτρονίων που μπορεί να δημιουργήσει

ηλεκτρικό ρεύμα αν τοποθετηθεί μια διάταξη όπως για παράδειγμα ένας αγωγός ανάμεσα στους ημιαγωγούς και ένα φορτίο που θα κλείσει τον αγωγίμο δρόμο.

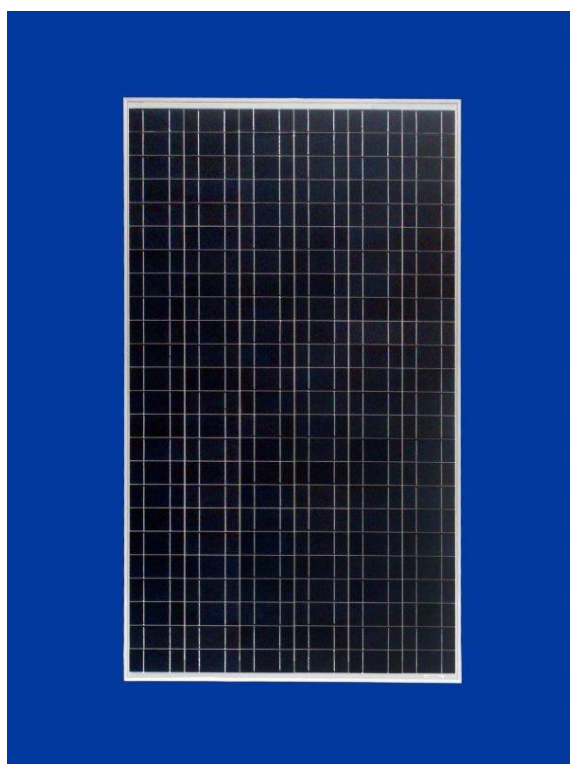
Τα φωτοβολταϊκά στοιχεία μπορούν να διακριθούν σε δυο μεγάλες κατηγορίες: τα φωτοβολταϊκά κρυσταλλικού πυριτίου και στα φωτοβολταϊκά λεπτού υμένα. Το μονοκρυσταλλικό πυρίτιο μπορεί να παραχθεί ως προϊόν τήξης του πολυκρυσταλλικού πυριτίου. Η μέθοδος παραγωγής του μονοκρυσταλλικού πυριτίου είναι η μέθοδος Czochralski κατά την οποία τα άτομα του πυριτίου σχηματίζουν τέσσερις χημικούς δεσμούς με τα γειτονικά τους άτομα δημιουργώντας με αυτόν τον τρόπο μια τέλεια κρυσταλλική δομή.



Εικόνα 2-2 Μονοκρυσταλλικό φωτοβολταϊκό στοιχείο

Στο πολυκρυσταλλικό πυρίτιο η κρυσταλλική δομή του πυριτίου διατηρείται αλλά εμφανίζονται διαφορετικοί κρύσταλλοι πυριτίου. Οι ατέλειες της κατασκευής αποτελούν σημεία επανασύνδεσης των φωτοδιεγερμένων φορέων. Η κατασκευή του πολυκρυσταλλικού κυτάρου που χρησιμοποιείται στα φωτοβολταϊκά αποτελεί μια θερμική διεργασία μέσω της οποίας το πυρίτιο τήκεται και στερεοποιείται με τέτοιο τρόπο που τα κρύσταλλα να είναι προσανατολισμένα σε μια ορισμένη κατεύθυνση. Η διεργασία αυτή παράγει ορθογώνιες ράβδους πολυκρυσταλλικού πυριτίου που στη

συνέχεια κόβονται σε λεπτές λωρίδες προκειμένου να χρησιμοποιηθούν στα φωτοβολταϊκά στοιχεία. Τα πολυκρυσταλλικά φωτοβολταϊκά είναι φθηνότερα από τα μονοκρυσταλλικά αλλά παρουσιάζουν και μικρότερη απόδοση εξαιτίας του δημιουργούμενου φωτός που επιβαρύνει τους φορείς του πολυκρυσταλλικού πυριτίου οι οποίοι μπορεί να ανασυντίθενται στα όρια των κόκκων. Η απόδοση των πολυκρυσταλλικών φωτοβολταϊκών μπορεί να αυξηθεί σημαντικά με την κατάλληλη επεξεργασία του υλικού ώστε οι κόκκοι να είναι αρκετά μεγάλοι και να προσανατολιστούν σε τέτοια κατεύθυνση ώστε να επιτρέπουν την διείσδυση του φωτός βαθιά μέσα στον κόκκο.



Εικόνα 2-3 Φωτοβολταϊκό στοιχείο πολυκρυσταλλικού πυριτίου

Στα φωτοβολταϊκά στοιχεία με λεπτά υμένια η επεξεργασία του υλικού γίνεται με μεθόδους χαμηλών θερμοκρασιών μικρού κόστους. Το στρώμα του ημιαγωγίμου υλικού στερεώνεται σε ένα υπόστρωμα χαμηλού κόστους όπως το γυαλί ή το πλαστικό με λεπτές στρώσεις (thin films). Με αυτόν τον τρόπο μειώνεται το κόστος παραγωγής δεδομένου ότι χρησιμοποιείται μικρότερη ποσότητα υλικού. Το υλικό που

συνήθως χρησιμοποιείται στα φωτοβολταϊκά λεπτού υμενίου είναι το υδρογονωμένο άμορφο πυρίτιο.

Τα φωτοβολταϊκά που παρουσιάζουν τη μεγαλύτερη απόδοση είναι αυτά που κατασκευάζονται με πολλαπλά στρώματα υλικού. Και αυτός ο τύπος εντάσσεται στην κατηγορία φωτοβολταϊκών λεπτού υμένα. Τα φωτοβολταϊκά στοιχεία πολλών στρωμάτων έχουν στο πρώτο στρώμα ανεκμετάλλευτα φωτόνια τα οποία κινούνται προς το δεύτερο στρώμα που αποτελείται από διαφορετικό υλικό από το πρώτο και έχει διαφορετικό διάκενο και διεγείρει με αυτόν τον τρόπο τον φορέα του. Η μέθοδος κατασκευής λεπτού υμένα έχει συνδυαστεί με τα πολυστρωματικά φωτοβολταϊκά και τα υλικά που μπορούν να προσδώσουν μεγάλες αποδόσεις είναι το άμορφο πυρίτιο, ο δισελνιοινδούχος χαλκός και το αρσενικούχο γάλλιο.

Τα φωτοβολταϊκά στοιχεία τρίτης γενιάς είναι τα φωτοβολταϊκά στοιχεία που είναι δυνητικά σε θέση να ξεπεράσουν το όριο απόδοσης Shockley-Queisser του 31-41% που ισχύει για τα φωτοβολταϊκά στοιχεία ενός διάκενου ζώνης. Στην κατηγορία της τρίτης γενιάς περιλαμβάνονται μια σειρά από εναλλακτικές λύσεις για τα λεγόμενα "φωτοβολταϊκά στοιχεία πρώτης γενεάς" (που είναι τα φωτοβολταϊκά στοιχεία που δημιουργούνται από διόδους p-n) και τα "φωτοβολταϊκά στοιχεία δεύτερης γενεάς" (που δημιουργήθηκαν με βάση τη μείωση του κόστους των στοιχείων πρώτης γενιάς με χρήση τεχνολογιών λεπτής μεμβράνης – thin film). Τα συστήματα τρίτης γενιάς περιλαμβάνουν multi-layer («tandem») στοιχεία που κατασκευάζονται από άμορφο πυρίτιο ή γάλλιο, ενώ οι περισσότερες θεωρητικές εξελίξεις περιλαμβάνουν τη μετατροπή συχνότητας, φαινόμενα hot-carrier και άλλες εκτίναξης πολλαπλών φορέων.

Η τρίτη γενιά είναι ασαφής ως προς τις τεχνολογίες που περιλαμβάνει, αν και γενικά τείνει να περιλαμβάνει, μεταξύ άλλων, τις μη- ημιαγώγιμες τεχνολογίες (συμπεριλαμβανομένων των πολυμερών στοιχείων και των βιομιμητικών), quantum dot, στοιχεία tandem/multi-junction, intermediate band φωτοβολταϊκά στοιχεία, στοιχεία hot-carrier, τεχνολογίες photon upconversion και downconversion, και ηλιακές θερμικές τεχνολογίες, όπως τα thermophotonics, η οποία είναι μια τεχνολογία που προσδιορίζεται από τον Green ως τρίτης γενιάς.

Υπολογίζεται ότι οι νέες τεχνολογίες θα μπορούσαν να ανταγωνιστούν όχι μόνο τα παραδοσιακά φωτοβολταϊκά στοιχεία, αλλά τα ορυκτά καύσιμα και την πυρηνική ενέργεια. Αυτό θα φέρει επανάσταση στην αγορά ενέργειας, όπως έχει ειπωθεί, για να συμβεί αυτό, τα φωτοβολταϊκά στοιχεία τρίτης γενιάς θα πρέπει να είναι πιο αποδοτικά και λιγότερο ακριβά. Υπάρχουν επίσης και άλλα θέματα, σχετικά με την αντοχή (ώστε τα φωτοβολταϊκά στοιχεία να είναι σε θέση να αξιοποιήσουν πλήρως τη διάρκεια της ζωής τους σε δυσμενείς εξωτερικές συνθήκες), την ασφάλεια (μερικές τεχνικές κατασκευής σχετιζόμενες με επικίνδυνες χημικές ουσίες) και αποθήκευσης ενέργειας (η ηλιακή ενέργεια είναι διαθέσιμη μόνο σε περιορισμένο χρόνο, και σχεδόν μη διαθέσιμη όλο το χειμώνα σε μη-τροπικά κλίματα).

2.2.2 Χαρακτηριστικά λειτουργίας

Τα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά των φωτοβολταϊκών στοιχείων είναι τα εξής:

- P_{max} η μέγιστη ισχύς, η πραγματική τιμή της οποίας μπορεί να έχει απόκλιση που δίνεται σε ποσοστό ($\pm 3\%$ ή $\pm 5\%$).
- I_{mpp} το ρεύμα στο σημείο μέγιστης ισχύος,
- I_{sc} το ρεύμα βραχυκύκλωσης,
- V_{mpp} η τάση στο σημείο μέγιστης ισχύος,
- V_{oc} η τάση στο ανοιχτοκύκλωμα,
- a_{scT} , θερμοκρασιακός συντελεστής που περιγράφει την μεταβολή του I_{sc} σε σχέση με τη θερμοκρασία του πλαισίου,
- β_{ocT} , θερμοκρασιακός συντελεστής που περιγράφει την μεταβολή του V_{oc} σε σχέση με τη θερμοκρασία του πλαισίου,
- T_p , θερμοκρασιακός συντελεστής που περιγράφει την μεταβολή της ισχύος σε σχέση με τη θερμοκρασία του πλαισίου.

- $V_{\max, \text{system}}$ η μέγιστη τάση συστήματος,
- $\eta\%$ η απόδοση του Φ/Β πλαισίου που υπολογίζεται από το λόγο της ισχύος στην ακτινοβολία αναφοράς (1000 W/m^2) προς την συνολική ακτινοβολία στην επιφάνεια του πλαισίου ($1000 \text{ W/m}^2 * \text{Εμβαδόν}$).

Οι παραπάνω τιμές ρεύματος, τάσης και ισχύος δίνονται για τις κανονικές συνθήκες δοκιμής (STC) που είναι:

AM1.5, $G=1\text{kW/m}^2$, $T_c=25^\circ \text{C}$ (θερμοκρασία πλαισίου)

Με τους θερμοκρασιακούς συντελεστές που είναι διαθέσιμοι μπορούν να υπολογιστούν οι τιμές αυτών των μεγεθών σε άλλες συνθήκες θερμοκρασίας. Μερικές περιγραφές δίνουν τα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά και στις κανονικές συνθήκες λειτουργίας (NOC) που διαφοροποιούνται από τις STC ως εξής:

$G=800\text{W/m}^2$, $T_a=20^\circ \text{C}$ (θερμοκρασία περιβάλλοντος), Ταχύτητα ανέμου = 1m/s

Συνήθως όμως δίνεται μόνο η θερμοκρασία πλαισίου στις NOC. Τα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά του πλαισίου είναι χρήσιμα για την διαστασιολόγηση του συστήματος όπου θα πρέπει να επιλεγούν ο αντιστροφέας και τα καλώδια, καθώς και για την επιλογή των μέσων προστασίας.

Η μέγιστη τάση υπολογίζεται ως το άθροισμα της τάσης ανοικτού κυκλώματος των πλαισίων που είναι συνδεδεμένα σε σειρά, ανηγμένο στην χαμηλότερη αναμενόμενη θερμοκρασία πλαισίου. Η ελάχιστη τάση λόγω θερμοκρασίας υπολογίζεται ανάγοντας το παραπάνω άθροισμα στη μέγιστη αναμενόμενη θερμοκρασία πλαισίου. Το μέγιστο ρεύμα της Φ/Β πηγής προκύπτει από το άθροισμα των ρευμάτων βραχυκύκλωσης κάθε στοιχειοσειράς πλαισίων, προσαρμοσμένο με κάποιον συντελεστή ώστε να ενσωματώνεται και η επίδραση της θερμοκρασίας.

Οι I-V και P-V χαρακτηριστικές για διαφορετικές τιμές της ακτινοβολίας και της θερμοκρασίας του Φ/Β πλαισίου, περιλαμβάνονται πολλές φορές στην τεχνική περιγραφή, δίνοντας την πληροφορία για την ηλεκτρική συμπεριφορά της Φ/Β πηγής

σε διαφορετικές συνθήκες. Οι μεταβολές των καμπυλών αυτών ανάλογα με τις καιρικές συνθήκες βοηθούν στην κατανόηση της λειτουργίας του Φ/Β πλαισίου.

Οι μεταβολές στην ηλιακή ακτινοβολία επηρεάζουν σημαντικότερα το ρεύμα εξόδου της Φ/Β πηγής, ενώ μεταβάλλοντας την τιμή της θερμοκρασίας του πλαισίου προκύπτουν κυρίως διαφοροποιήσεις στην τάση.

2.2.3 Απόδοση και παράγοντες επίδρασης

Τα ΦΒ πλαίσια κατασκευάζονται σε μορφή σάντουιτς. Πάνω σε ένα φύλλο από μέταλλο (συνήθως αλουμίνιο) ή από ενισχυμένο πλαστικό στερεώνονται τα ΦΒ στοιχεία με κατάλληλη κολλητική ουσία. Το φύλλο αυτό αποτελεί την πλάτη του πλαισίου. Η εμπρός όψη των στοιχείων καλύπτεται από προστατευτικό φύλλο γυαλιού ή διαφανούς πλαστικού. Τα δύο φύλλα, εμπρός και πίσω, συγκρατούνται μεταξύ τους με την βοήθεια ταινίας από συνθετικό ελαστικό και συσφίγγονται με περιμετρικό μεταλλικό περίβλημα. Είναι προφανές ότι η κατασκευή αυτή εξασφαλίζει την απαραίτητη μηχανική αντοχή, τις υποδομές στήριξης και την αυξημένη στεγανότητα για προστασία από την υγρασία.

Αρχικά, θα πρέπει να αναφέρουμε δύο πολύ σοβαρά προβλήματα, τα οποία μειώνουν την απόδοση και μπορούν ακόμα και να καταστρέψουν ένα ΦΒ πλαίσιο. Πρόκειται για την υγρασία και την υπερθέρμανση ενός ΦΒ στοιχείου, η οποία ονομάζεται κατάσταση θερμικής κηλίδας (hot spot).

Το φαινόμενο των θερμών κηλίδων διαπιστώθηκε από τις πρώτες κιόλας ημέρες που ο άνθρωπος ταξίδεψε στο διάστημα. Η πρώτη χρήση φωτοβολταϊκών στοιχείων έγινε σε τέτοια διαστημικά ταξίδια για να πετυχαίνουν ανεξάντλητη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Έτσι λοιπόν τεκμηριωμένα εξακριβώθηκε σχεδόν άμεσα πως το φαινόμενο των θερμών κηλίδων μπορεί να εμφανιστεί από αστοχία υλικού ενός από τα φωτοβολταϊκά στοιχεία που απαρτίζουν μια φωτοβολταϊκή γεννήτρια, από λανθασμένη σύνδεση της πολικότητας των στοιχείων ή από μερική σκίαση. Πάντως και στις τρεις περιπτώσεις τα αποτελέσματα είναι ακριβώς τα ίδια, δηλαδή οδηγούμαστε στην υπερθέρμανση των “κακών” φωτοβολταϊκών στοιχείων και τελικά

στην ολική τους καταστροφή. Το φαινόμενο λοιπόν των θερμών κηλίδων (hot spot effect) συμβαίνει όταν υπάρχει ένα φωτοβολταϊκό στοιχείο που δίνει χαμηλό ρεύμα σε σχέση με τα υπόλοιπα που είναι ενωμένα σε μια σειρά.

Επίσης, πρέπει να αποφεύγεται η σκίαση των φωτοβολταϊκών πάνελ ώστε να διασφαλίζεται η μέγιστη απόδοση. Αυτό ισχύει ακόμα και για σκιές μικρής επιφάνειας από παρακείμενα μικροαντικείμενα, όπως κεραίες, κλαδιά κλπ. Εάν κατά τη διάρκεια της ημέρας ή του έτους προκύπτουν συστηματικές σκιάσεις στην τοποθεσία από γειτονικά αντικείμενα και δεν υπάρχει η δυνατότητα να επηρεάσουμε τη σκίαση, τότε πρέπει:

- Να εξεταστεί το ενδεχόμενο επιλογής μιας άλλης τοποθεσίας
- Να συμπεριληφθεί μόνο το μη σκιασμένο τμήμα της τοποθεσίας στον σχεδιασμό της φωτοβολταϊκής γεννήτριας

Τύποι σκίασης

Προσωρινή σκίαση

Η τυπική προσωρινή σκίαση εξαρτάται από τους παράγοντες όπως το χιόνι, τα φύλλα, τα περιττώματα των πτηνών και από άλλα είδη ακαθαρσιών. Το χιόνι είναι ένας σημαντικός παράγοντας ιδιαίτερα στις ορεινές περιοχές. Το χιόνι βέβαια σε μια συστοιχία φωτοβολταϊκών λιώνει πιο γρήγορα από το γύρω χιόνι, με αποτέλεσμα η σκίαση να εμφανίζεται μόνο για λίγες μέρες. Η σκόνη και οι ακαθαρσίες αιθάλης σε βιομηχανικές περιοχές ή τα πεσμένα φύλλα σε δασικές περιοχές είναι επίσης σημαντικοί παράγοντες που μαζεύονται πάνω στη συστοιχία των φωτοβολταϊκών και προκαλούν σκίαση. Το αποτέλεσμα αυτό της σκίασης είναι λιγότερο επιβαρυντικό αν η συστοιχία αυτοκαθαρίζεται (δηλαδή αν παρασύρονται οι ακαθαρσίες από τη ροή του βρόχινου νερού). Αυτό εξασφαλίζεται από τη γωνία κλίσης στο σύστημα με κλίση 12 μοίρες ή και περισσότερο. Οι γωνίες με μεγαλύτερη κλίση αυξάνουν την ταχύτητα ροής του νερού της βροχής με αποτέλεσμα να απομακρύνουν μακριά τα βρώμικα σωματίδια. Έτσι αυξάνοντας την κλίση της συστοιχίας μειώνεται αυτό το είδος της σκίασης. Στις χιονισμένες περιοχές η τοποθέτηση των συστημάτων σε οριζόντια διάταξη μειώνει τις απώλειες που προκαλούνται κατά το ήμισυ. Με τον τρόπο αυτό, η σκίαση που προκαλείται από το χιόνι γενικά επηρεάζει μόνο δυο και

όχι τέσσερις σειρές κυττάρων σε κάθε πλαίσιο σε αντίθεση με αυτό που συμβαίνει στην κάθετη τοποθέτηση.

Η σκίαση που προκαλείται από τα φύλλα, τα περιττώματα των πουλιών, την ατμοσφαιρική ρύπανση και από τους άλλους ρύπους έχει μια ισχυρότερη και μεγαλύτερη σε διάρκεια επίδραση. Σε αυτή τη περίπτωση ο τακτικός καθαρισμός των φωτοβολταϊκών μονάδων αυξάνει σημαντικά την ηλιακή απόδοση. Σε μια κανονική θέση και με αρκετή κλίση μπορεί να θεωρηθεί πως η απώλεια που οφείλεται σε ακαθαρσίες πουλιών ανέρχεται στο 2% -5%. Σε γενικές γραμμές, η απώλεια αυτή είναι αποδεκτή. Αν υπάρχει μεγάλη ρύπανση, τα πλαίσια θα πρέπει να καθαρίζονται με νερό και με χρήση σφουγγαριού χωρίς να χρησιμοποιηθεί απορρυπαντικό. Για να αποφευχθεί το γρατζούνισμα των επιφανειών δε θα πρέπει να βουρτσίζονται ή να καθαρίζονται με στεγνή επιφάνεια.

Σκίαση που προκύπτει από την τοποθεσία

Η σκίαση που προκύπτει από την τοποθεσία καλύπτει όλες τις σκιάσεις που παράγονται από το περιβάλλον. Γειτονικά κτίρια, δέντρα, ακόμα και μακρινά ψηλά κτίρια μπορούν να σκιάσουν το σύστημα ή τουλάχιστον να το οδηγήσουν σε ολική σκίαση. Έτσι κατά την μελέτη θα πρέπει να υπολογίζουμε την ανάπτυξη των δέντρων και της βλάστησης που μπορεί να προκαλέσουν σκίαση στο σύστημα μετά από μερικά χρόνια. Τα εναέρια καλώδια, έχουν επίσης αρνητικά αποτελέσματα ρίχνοντας μια μικρή αλλά αποτελεσματική κινούμενη σκιά.

Σκίαση που προκύπτει από το κτήριο (για ΦΒ σε στέγες)

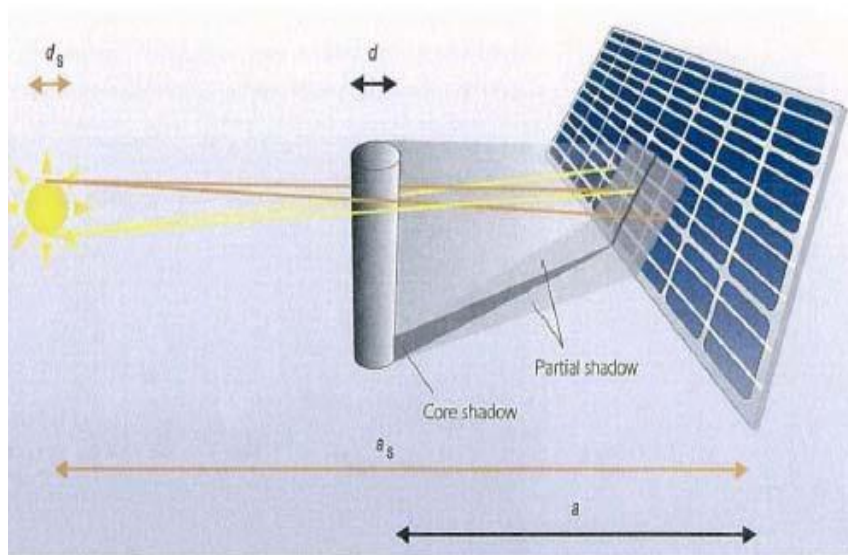
Η σκίαση που προκύπτει από το κτήριο περιλαμβάνει άμεσες σκιές οι οποίες θα πρέπει να θεωρηθούν ως ιδιαίτερα κρίσιμες. Ιδιαίτερη προσοχή θα πρέπει να δοθεί στις καμινάδες, στις κεραίες, στα αλεξικέραυνα, στα δορυφορικά πιάτα, στις προεξοχές της οροφής και της πρόσοψης, στο αντιστάθμισμα των κτιριακών δομών, στις υπερκατασκευές της οροφής κλπ. Μερικές σκιάσεις μπορούν να αποφευχθούν με την μετακίνηση των φωτοβολταϊκών μονάδων ή το αντικείμενο που τους προκαλεί τη σκίαση (π.χ. κεραίες).

Αυτοσκίαση

Η αυτοσκίαση των μονάδων μπορεί να προκληθεί από τη γραμμή που σχηματίζουν τα συστήματα ανάρτησης των μονάδων που βρίσκονται μπροστά τους (σκίαση από την τοποθέτηση φωτοβολταϊκών συστοιχιών). Οι τοπικές απαιτήσεις και οι απώλειες σκίασης μπορούν να ελαχιστοποιηθούν με την βελτιστοποίηση της γωνίας κλίσης και τις αποστάσεις μεταξύ των μονάδων. Ένα κακώς σχεδιασμένο και εγκατεστημένο σύστημα ανάρτησης μπορεί επίσης να προκαλέσει μια μικρή σκίαση σε εγκαταστάσεις που είναι τοποθετημένες σε επικλινές στέγες .

Άμεση σκίαση

Η άμεση σκίαση μπορεί να προκαλέσει μεγάλες απώλειες ενέργειας. Όσο πιο κοντά είναι το αντικείμενο που προκαλεί την σκιά, τόσο πιο πυκνή-σκοτεινή θα είναι η σκιά και λιγότερο το φως που θα φτάνει στις φωτοβολταϊκές μονάδες. Έτσι η σκιά που προκαλείται από ένα κοντινό αντικείμενο μειώνει την ποσότητα της ενέργειας στο κύτταρο κατά 60% - 80%. Όσο μεγαλύτερη είναι η απόσταση από το αντικείμενο που σκιάζει τόσο φωτεινότερη είναι η σκιά και μειώνονται οι απώλειες σκίασης.



Εικόνα 2-4 Υπολογισμός βέλτιστης απόστασης αντικειμένου σκίασης από το πάνελ

Δεδομένου ότι ο ήλιος είναι μια πηγή φωτός, η απόσταση a βέλτιστη απόσταση αντικείμενου σκίασης - φωτοβολταϊκού μπορεί να υπολογιστεί βάσει των σχέσεων του τριγώνου που σχηματίζουν οι εφαπτόμενες του ήλιου που αγγίζουν το αντικείμενο σκίασης. Η βέλτιστη απόσταση a καθορίζεται από τον τύπο :

$$\frac{a}{d} = \frac{a_s}{d_s} \Leftrightarrow a = a_s \frac{d}{d_s}$$

Με:

- a_s = απόσταση Γης από τον ήλιο (περίπου 150 εκατομμύρια χιλιόμετρα)
- d_s = διάμετρος του ήλιου (περίπου 1,39 εκατομμύρια χιλιόμετρα)
- d = βάθος του αντικειμένου που προκαλεί την σκίαση

Έτσι για παράδειγμα ένα εναέριο καλώδιο, με διάμετρο $d = 5$ εκατοστά πρέπει να απέχει από το φωτοβολταϊκό σύστημα τουλάχιστον 5,4 μέτρα έτσι ώστε μην επηρεάζεται η μονάδα από την κεντρική σκιά του. Για πλάτος κυψέλης με 10 εκατοστά η απόσταση για ένα αντικείμενο μπορεί να μειωθεί στο 1 μέτρο. Για πλάτος κυψέλης 20 εκατοστά η απόσταση ενός αντικειμένου μπορεί να είναι 2 μέτρα.

Η απευθείας σκίαση θα πρέπει να μειωθεί σε κάθε περίπτωση. Οι ζημιές από την διακύμανση της σκίασης ανάλογα με την εποχή και την ώρα της ημέρας μπορούν να υπολογιστούν χρησιμοποιώντας αντίστοιχα προγράμματα προσομοίωσης.

Επιπτώσεις της σκίασης

Η σκίαση ακόμα και ενός μόνο πάνελ ή μιας μόνο φωτοβολταϊκής κυψέλης μπορεί να επηρεάσει αισθητά την απόδοση της φωτοβολταϊκής εγκατάστασης.

Όταν επιμέρους πάνελ ενός φωτοβολταϊκού συστήματος ή επιμέρους κυψέλες ενός πάνελ σκιάζονται, τα τμήματα που βρίσκονται υπό σκιά παράγουν λιγότερη ή καθόλου ηλεκτρική ενέργεια. Αυτό μπορεί να έχει επιπτώσεις στην απόδοση ολόκληρης της συστοιχίας και κατά συνέπεια ολόκληρου του συστήματος.

Εκτός αυτού, η σκίαση έχει συχνά ως αποτέλεσμα ένα μέρος της ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται στο πάνελ να μην συμβάλλει πλέον στην απόδοσή του, αλλά να καταναλώνεται από τις κυψέλες της σκιασμένης περιοχής. Αυτό μπορεί να οδηγήσει στην θέρμανση των σκιασμένων κυψελών σε σύγκριση με τις κανονικά φωτιζόμενες κυψέλες. Σε ακραίες περιπτώσεις υπάρχει ο κίνδυνος πυρκαγιάς.

Η παρατεταμένη ή συστηματική σκίαση μπορεί να οδηγήσει σε σημαντικές απώλειες απόδοσης. Αυτό μπορεί να οδηγήσει μακροπρόθεσμα σε ταχύτερη παλαίωση και συνεπώς σε απώλειες του φωτοβολταϊκού συστήματος. Γι' αυτό το λόγο πρέπει να αποφεύγεται μια τέτοια σκίαση για να βελτιστοποιείται η απόδοση και η διάρκεια ζωής της εγκατάστασης.

2.2.4 Περιβαλλοντικά οφέλη

Τα κύρια πλεονεκτήματα χρήσης ηλιακής ενέργειας είναι τα εξής:

- Η ηλιακή ενέργεια εμφανίζεται αρκετά απλή στη δέσμευσή της, και υπάρχουν πολλές δυνατότητες εφαρμογής της,
- εύκολα ζεσταίνει νερό σε νοσοκομεία, στρατώνες, θερμοκήπια κτλ,
- είναι τεχνικά και οικονομικά εφικτή η αξιοποίησή της,
- η χρήση της, εξοικονομεί συμβατικά καύσιμα,
- παρέχει ικανοποιητική ποσότητα ηλεκτρικής ενέργειας,
- αποφεύγεται η εκπομπή περισσότερων από 1,5 εκατ. τόνων CO₂ στη γη, από τη χρήση της
- έχει τεράστιο οικονομικό όφελος για την εθνική οικονομία.

Συγκεκριμένα για τα περιβαλλοντικά οφέλη¹:

Η ηλιακή ενέργεια μειώνει την ατμοσφαιρική ρύπανση. Η παραγωγή επιβλαβών εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα και μεθανίου από τα ορυκτά καύσιμα, τις παραδοσιακές μας πηγές ενέργειας, μειώνει τη ποιότητα του αέρα. Αλλά η ηλεκτροπαραγωγή με ηλιακούς συλλέκτες δεν παράγει αέρια του θερμοκηπίου. Για παράδειγμα, το ηλιακό δυναμικό που είναι εγκατεστημένο στις Ηνωμένες Πολιτείες αναμένεται να αντισταθμίσει την παραγωγή 16.8 εκατομμυρίων τόνων διοξειδίου του άνθρακα ετησίως. Αυτό είναι ένα τεράστιο βήμα προς την κατεύθυνση της

¹ <https://www.svsolutions.com/blog/three-environmental-benefits-solar-energy>

άμβλυνσης των επιπτώσεων των ανθρώπινων δραστηριοτήτων στην αλλαγή του κλίματος.

Η ηλιακή ενέργεια μειώνει τη ρύπανση των υδάτων. Ενώ όλες οι διαδικασίες παραγωγής ενέργειας απαιτούν νερό, τα ηλιακά φωτοβολταϊκά κύτταρα δεν χρειάζονται νερό για να παράγουν ηλεκτρισμό. Αυτό είναι ένα από τα μεγαλύτερα περιβαλλοντικά οφέλη της ηλιακής. Οι σταθμοί βιομάζας και γεωθερμικής ενέργειας αλλά και φυσικού αερίου και άνθρακα, απαιτούν τεράστιες ποσότητες νερού για τις απαιτήσεις ψύξης. Με την ηλιακή ενέργεια δεν υπάρχει ρύπανση των τοπικών υδάτινων πόρων, ούτε η λειτουργία τους (που και πάλι δεν απαιτεί νερό) μειώνει τους τοπικούς υδάτινους πόρους για τη γεωργία και άλλες σημαντικές ανάγκες σε νερό.

Η ηλιακή ενέργεια μειώνει την ανάγκη για μη ανανεώσιμους πόρους. Η ηλιακή ενέργεια είναι ανανεώσιμη. Ο ήλιος είναι η πιο άφθονη πηγή ενέργειας, παράγει 173.000 terawatts ηλιακής ενέργειας ανά δευτερόλεπτο. Αυτό είναι περισσότερο από 10.000 φορές την παγκόσμια συνολική ενεργειακή χρήση και μπορεί να χρησιμοποιηθεί ξανά και ξανά. Σε αντίθεση, τα ορυκτά καύσιμα είναι μη ανανεώσιμες πηγές και ενώ μπορεί να φαίνεται ότι υπάρχουν σε αφθονία, τα αποθέματα μειώνονται σημαντικά και η τιμή τους αυξάνεται σημαντικά.

2.2.5 Περιβαλλοντικοί προβληματισμοί

Ωστόσο, υπάρχουν επίσης ορισμένες ανεπιθύμητες επιπτώσεις που σχετίζονται με την ηλιακή ενέργεια, που σχετίζονται με την κατασκευή, τη λειτουργία και την ανακύκλωση της ηλιακής ενέργειας και παρουσιάζονται εν συντομία κατωτέρω².

Χρήση γης

Όλες οι εγκαταστάσεις ηλιακής ενέργειας μεγάλης κλίμακας απαιτούν μεγάλες εκτάσεις για την συλλογή ηλιακής ακτινοβολίας όταν χρησιμοποιούνται για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας που σκοπό έχει να αποδοθεί στο δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας. Οι ηλιακές εγκαταστάσεις μπορούν να παρεμβαίνουν με τις υπάρχουσες

² <http://solareis.anl.gov/guide/environment/>

χρήσεις γης, όπως καλλιέργειες, κτηνοτροφία, στρατιωτικές χρήσεις και άλλα. Οι ηλιακές εγκαταστάσεις μπορούν να επηρεάσουν τη χρήση των κοντινών ειδικά καθορισμένων περιοχών όπως περιοχές άγρια φύσης, κρίσιμες περιοχές περιβαλλοντικής ανησυχίας, ή τη διαχείριση ειδικών περιοχών αναψυχής. Η σωστή χωροθέτηση των εγκαταστάσεων ηλιακής ενέργειας μπορεί να βοηθήσει στην αποφυγή διαταραχής της χρήσης γης και τον περιορισμό των επιπτώσεων στην οικονομία και το περιβάλλον.³

Χρήση νερού

Τα ηλιακά φωτοβολταϊκά κύτταρα δεν χρησιμοποιούν νερό για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Ωστόσο, όπως σε όλες τις διεργασίες παραγωγής, λίγο νερό χρησιμοποιείται για την κατασκευή ηλιακών φωτοβολταϊκών στοιχείων. Στην περίπτωση των CSP (Concentrating solar thermal plants) όπως και όλων των θερμικών ηλεκτρικών εγκαταστάσεων, απαιτείται νερό για ψύξη. Η χρήση του νερού εξαρτάται από το εργοστάσιο κατασκευής, εγκατάστασης και τον τύπο του συστήματος ψύξης. Τα CSP που χρησιμοποιούν τεχνολογία ανακύκλωση νερού με τους πύργους ψύξης καταναλώνουν μεταξύ 600 και 650 γαλόνια νερού ανά μεγαβάτ-ώρα παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας. Τα CSP μέσω της τεχνολογίας ψύξης έχουν υψηλότερα επίπεδα χρήσης νερού, αλλά χαμηλότερη συνολική κατανάλωση νερού (επειδή το νερό δεν χάνεται καθώς γίνεται ατμός). Η τεχνολογία ξηράς ψύξης μπορεί να μειώσει τη χρήση του νερού σε εργοστάσια CSP κατά περίπου 90%⁴. Ωστόσο, οι επιπτώσεις της εξοικονόμησης νερού είναι το υψηλότερο κόστος και η απόδοση. Επιπλέον, η τεχνολογία ξηρής ψύξης είναι σημαντικά λιγότερο αποδοτική σε θερμοκρασίες πάνω από 100 βαθμούς Φαρενάιτ. Πολλές από τις περιοχές που έχουν το υψηλότερο δυναμικό ηλιακής ενέργειας τείνουν επίσης να είναι εκείνες με τις ξηρότερες κλιματικές συνθήκες, έτσι ώστε η προσεκτική εξέταση της χρήσης των υδάτων θα πρέπει να εξετάζεται με προσοχή.⁵

Επίπτωση στους πόρους αέρα και γης

³ http://www.ucsusa.org/clean_energy/our-energy-choices/renewable-energy/environmental-impacts-solar-power.html#WSAzSWiGOUk

⁴ National Renewable Energy Laboratory (NREL). Best Research-Cell Efficiencies. <https://www.nrel.gov/pv/>

⁵ http://www.ucsusa.org/clean_energy/our-energy-choices/renewable-energy/environmental-impacts-solar-power.html#references

Η κατασκευή ηλιακών εγκαταστάσεων σε μεγάλες περιοχές γης απαιτεί καθαρισμό και αποψίλωση, και οδηγεί σε συμπίεση εδάφους, πιθανή αλλοίωση των αποστραγγιστικών καναλιών και αυξημένες επαναληπτικές διεργασίες και διάβρωση. Επίσης, η κατασκευή και η λειτουργία των εγκαταστάσεων ηλιακής ενέργειας παράγει σωματίδια, τα οποία μπορεί να είναι ένα σημαντικός ρύπος, ιδιαίτερα στις περιοχές γύρω από την εγκατάσταση που ταξινομούνται ως περιοχές προστασίας, όπως εθνικά πάρκα και άγρια περιοχές.⁶

Περιβαλλοντικές επιπτώσεις

Η εκκαθάριση και η χρήση μεγάλων εκτάσεων γης για ηλιακή ενέργεια μπορεί να επηρεάσει δυσμενώς την εγγενή βλάστηση και πανίδα με πολλούς τρόπους, όπως απώλεια οικοτόπων, παρεμβολές με βροχοπτώσεις και αποστράγγιση, ή άμεση επαφή που προκαλεί τραυματισμό ή θάνατο. Οι επιπτώσεις επιδεινώνονται όταν τα είδη ταξινομούνται ως ευαίσθητα, σπάνια ή απειλούμενα με εξαφάνιση.⁷

Οπτική όχληση

Επειδή τα φωτοβολταϊκά πάρκα είναι συνήθως μεγάλες εγκαταστάσεις με πολλές εξαιρετικά γεωμετρικές και ενίοτε έντονα ανακλαστικές επιφάνειες, η ηλιακή ενέργεια μπορεί να δημιουργήσει οπτικό αντίκτυπο· ωστόσο, το γεγονός αυτό δεν σημαίνει ότι προκαλείται αναγκαστικά οπτική όχληση. Τα αισθητικά ζητήματα είναι από τη φύση τους ιδιαίτερα υποκειμενικά. Τα πολιτιστικά και παλαιοντολογικά τεχνήματα και τα πολιτιστικά τοπία μπορούν να διαταραχθούν από τα φωτοβολταϊκά πάρκα. Η σωστή χωροθέτηση μπορεί να μειώσει τις αντιπαλότητες σχετικά με την αισθητική του τοπίου.

Κοινωνικοοικονομικές επιπτώσεις

Κοινωνικοοικονομικές επιπτώσεις (θετικές και αρνητικές) μπορεί να συσχετιστούν με την ηλιακή ενέργεια. Για παράδειγμα, η ηλιακή ενέργεια, παράσχει νέες ευκαιρίες απασχόλησης, αλλά η εισροή των εργαζομένων θα μπορούσε να διαταράξει τις δημόσιες υπηρεσίες. Οι επιπτώσεις μπορεί να επιβαρύνουν δυσανάλογα ομάδες

⁶ <http://solareis.anl.gov/guide/environment/>

⁷ <http://solareis.anl.gov/guide/environment/>

μειονοτήτων ή πληθυσμούς χαμηλού εισοδήματος, οδηγώντας έτσι σε περιβαλλοντικά ζητήματα δικαιοσύνης.

Επικίνδυνα υλικά

Η κατασκευαστική διαδικασία των φωτοβολταϊκών πλαισίων περιλαμβάνει μια σειρά από επικίνδυνα υλικά, τα οποία χρησιμοποιούνται για τον καθαρισμό και την εξυγίανση της επιφάνειας των ημιαγωγών. Αυτά τα χημικά, είναι παρόμοια με εκείνα που χρησιμοποιούνται στη βιομηχανία ημιαγωγών, όπως το υδροχλωρικό οξύ, θειικό οξύ, νιτρικό οξύ, το υδροφθόριο, 1,1,1-τριχλωροαιθάνιο και ακετόνη. Το ποσό και το είδος των χημικών προϊόντων που χρησιμοποιούνται εξαρτάται από τον τύπο του κυττάρου, το ποσό του καθαρισμού που απαιτείται και το μέγεθος του wafer πυριτίου⁸. Οι εργαζόμενοι αντιμετωπίζουν επίσης κινδύνους που συνδέονται με την εισπνοή σκόνης πυριτίου. Έτσι, ο κατασκευαστής πρέπει να ακολουθήσει τους νόμους της εκάστοτε χώρας προκειμένου να εξασφαλιστεί ότι οι εργαζόμενοι δεν ζημιώνονται από την έκθεση σε αυτές τις ουσίες και ότι τα προϊόντα της παραγωγής αποβλήτων, διατίθενται σωστά. Τα φωτοβολταϊκά κύτταρα Thin-film περιέχουν περισσότερες τοξικές ουσίες από αυτές που χρησιμοποιούνται στα φωτοβολταϊκά κύτταρα από πυρίτιο, όπως αρσενικούχο γάλλιο, δισελήνιο χαλκού-ινδίου-γαλλίου, τελλουρίδιο καδμίου⁹. Εάν δεν απορρίπτονται σωστά, αυτά τα υλικά μπορεί να προκαλέσουν σοβαρές περιβαλλοντικές απειλές ή απειλές για τη δημόσια υγεία. Ωστόσο, οι κατασκευαστές έχουν ένα ισχυρό οικονομικό κίνητρο για να εξασφαλιστεί ότι αυτές τα εξαιρετικά πολύτιμα και συχνά σπάνια υλικά ανακυκλώνονται αντί να διατίθενται ως απόβλητα.

Ανακύκλωση

Σήμερα, η ανακύκλωση των φωτοβολταϊκών πλαισίων πάσχει από ένα πρόβλημα: δεν υπάρχουν αρκετά μέρη για να ανακυκλώσουν παλιά ηλιακά πάνελ, και δεν υπάρχουν αρκετά ανενεργά ηλιακά πάνελ ώστε να κάνουν την ανακύκλωση τους οικονομικά συμφέρουσα. Η ανακύκλωση είναι ιδιαίτερα σημαντική λόγω των υλικών που

⁸ National Renewable Energy Laboratory (NREL). (2012). Renewable Electricity Futures Study. Hand, M.M.; Baldwin, S.; DeMeo, E.; Reilly, J.M.; Mai, T.; Arent, D.; Porro, G.; Meshek, M.; Sandor, D. eds. 4 vols. NREL/TP-6A20-52409. Golden, CO: National Renewable Energy Laboratory.

⁹ National Renewable Energy Laboratory (NREL). Best Research-Cell Efficiencies.

χρησιμοποιούνται. Θα είναι δύσκολο να βρούμε ένα ηλιακό πάνελ που δεν χρησιμοποιεί τουλάχιστον ένα σπάνιο ή πολύτιμο μέταλλο, διότι όλα έχουν τουλάχιστον άργυρο, τελλούριο, ή ινδίο. Εφόσον η ανακύκλωση είναι περιορισμένη, τα μέταλλα που αποδίδονται καταλήγουν στα απόβλητα. Οι εταιρείες που παρέχουν αναφορά σε τριμηνιαία βάση, επιβιώνουν με εντυπωσιακά οριακά περιθώρια-κανείς δεν σκέφτεται 20, 30 χρόνια μπροστά, όπου η έλλειψη των σπάνιων και πολύτιμων μετάλλων θα αποτελεί πρόβλημα. Το πυρίτιο που χρησιμοποιείται για την συντριπτική πλειοψηφία των σημερινών φωτοβολταϊκών κυττάρων είναι άφθονο, αλλά το ηλιακό κύτταρο με βάση το πυρίτιο απαιτεί πολλή ενέργεια κατά τη διαδικασία παρασκευής. Η πηγή της ενέργειας, η οποία συχνά είναι ο άνθρακας, καθορίζει πόσο μεγάλο θα είναι το αποτύπωμα άνθρακα. Μένει να δούμε αν οι κατασκευαστικές εταιρείες θα αντιμετωπίσουν αρκετή πίεση από το εξωτερικό για σημαντική αλλαγή σε μια βιομηχανία που, από γενική σκοπιά, έχει ήδη μεγάλη περιβαλλοντική αξιοπιστία.¹⁰

2.3 ΥΔΡΟΗΛΕΚΤΡΙΚΕΣ ΓΕΝΝΗΤΡΙΕΣ

2.3.1 Αρχή λειτουργίας

Τα υδροηλεκτρικά έργα στα συμβατικά ΥΗΕ (Υδροηλεκτρικά Έργα), διακρίνονται σε μικρά ή μεγάλα και στα αναστρέψιμα ΥΗΕ (pumped storage plants).

Τα συμβατικά ΥΗΕ χρησιμοποιούν τη διαθέσιμη ενέργεια του νερού που προέρχεται από έναν ποταμό, χείμαρρο, σύστημα καναλιών ή ταμιευτήρα για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Ο πιο κοινός τύπος συμβατικού ΥΗΕ αποτελείται από ένα φράγμα το οποίο αποθηκεύει το νερό του ποταμού σε έναν ταμιευτήρα. Η ποσότητα του νερού που ελευθερώνεται από τον ταμιευτήρα εισέρχεται διαμέσου ενός στροβίλου, ο οποίος στη συνέχεια κινεί μια γεννήτρια για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Η ύπαρξη μεγάλου φράγματος δεν είναι απαραίτητη. Πολλά ΥΗΕ χρησιμοποιούν μικρά κανάλια για τη διοχέτευση του νερού στον υδροστρόβιλο.

¹⁰ <http://news.nationalgeographic.com/news/energy/2014/11/141111-solar-panel-manufacturing-sustainability-ranking/>

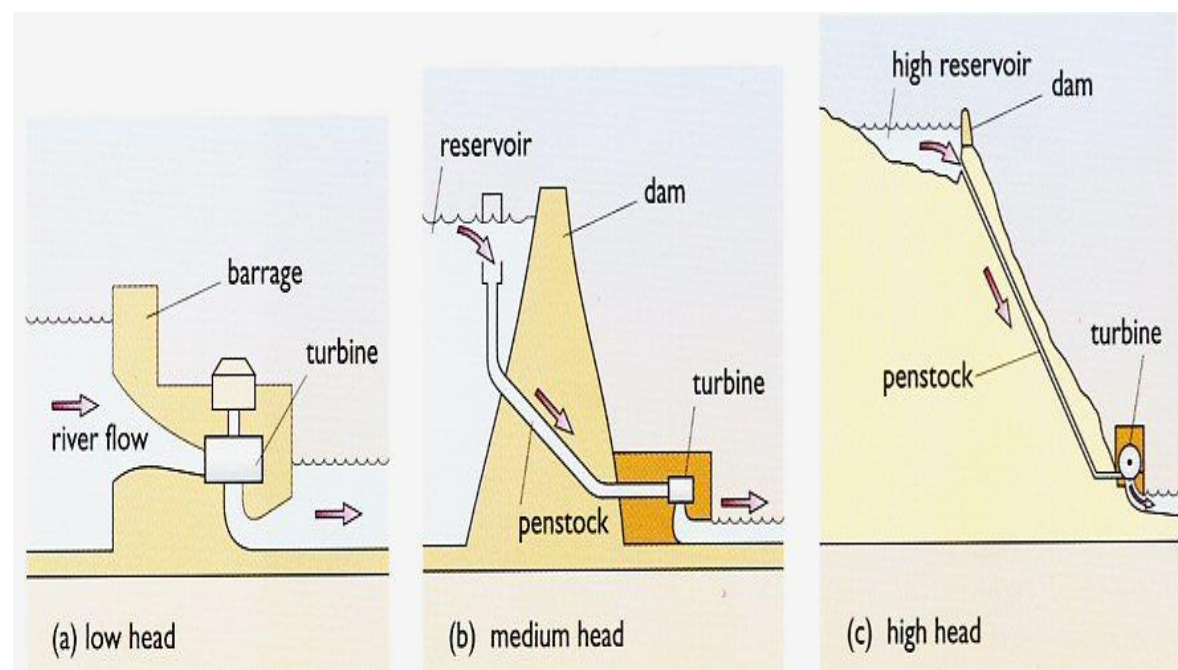
Τα αναστρέψιμα ΥΗΕ αποτελούν μια μορφή αποθήκευσης ενέργειας. Ενέργεια από το δίκτυο κινεί τις ηλεκτρογεννήτριες οι οποίες στη συνέχεια κινούν αντίστροφα τους υδροστρόβιλους. Οι υδροστρόβιλοι αντλούν με αυτόν τον τρόπο το νερό από έναν ποταμό ή έναν χαμηλό ταμιευτήρα σε έναν ψηλότερο ταμιευτήρα. Στη συνέχεια το νερό ελευθερώνεται πάλι και με τον ίδιο τρόπο όπως και στα συμβατικά ΥΗΕ έχουμε πάλι παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

2.3.2 Τύποι – Κατηγορίες

2.3.2.1 Συμβατικά ΥΗΕ

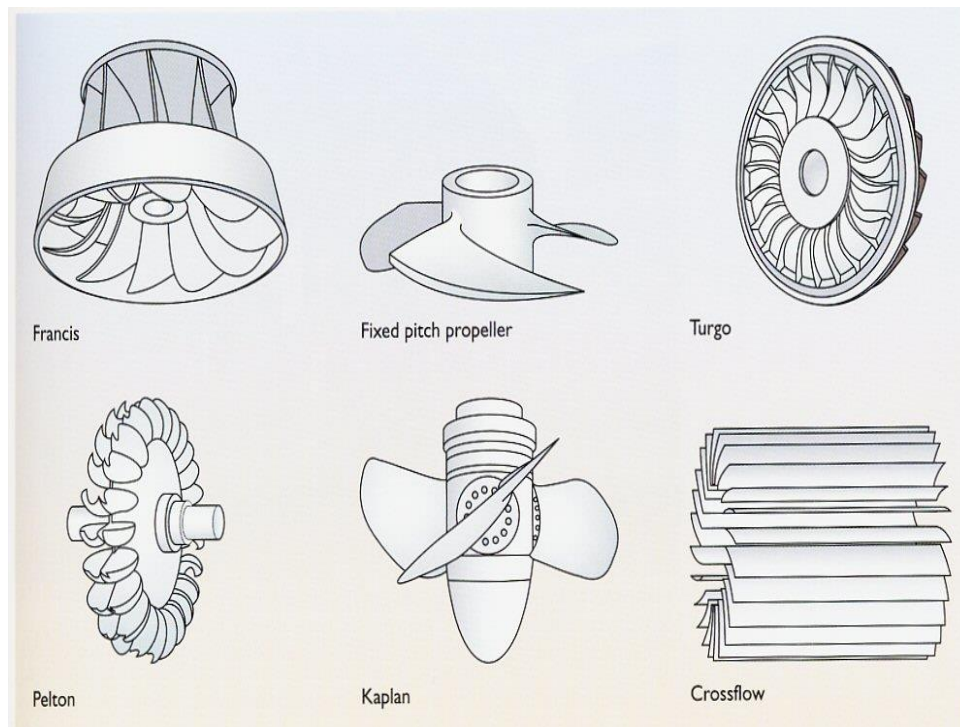
Καθ' αρχής λειτουργίας, στη μετατροπή της υδραυλικής ενέργειας σε μηχανική και στη συνέχεια σε ηλεκτρική, ένα μικρό ΥΗΕ δεν διαφέρει από ένα μεγάλο. Επίσης δεν διαφέρουν ως προς το πλήθος και το είδος των επί μέρους διατάξεων που τα απαρτίζουν.

Ένα μικρό Υδροηλεκτρικό Έργο δεν αναφέρεται αποκλειστικά στην εγκατεστημένη ισχύ και στις διαστάσεις των μονάδων αλλά σε ένα σύνολο χαρακτηριστικών, πολλά από τα οποία δεν είναι μετρήσιμα, δηλ. οι διαφορές μεταξύ μικρών και μεγάλων ΥΗΕ δεν είναι μόνο ποσοτικές αλλά κυρίως ποιοτικές.



Ως μικρό χαρακτηρίζεται ένα Υδροηλεκτρικό Έργο (ΥΗΕ) όταν η ονομαστική ισχύς του είναι μικρότερη των 10 MW, ενώ σε ορισμένες χώρες το όριο διάκρισης μεταξύ μεγάλων και μικρών ΥΗΕ ορίζεται στα 5 MW. Οι διαφορές τους δεν είναι τόσο ποσοτικές όσο ποιοτικές και αφορούν την επιλογή του ηλεκτρομηχανολογικού εξοπλισμού, την διαμόρφωση και την εκμετάλλευση του ΥΗΕ. Μια βασική διαφοροποίηση μεταξύ μικρών και μεγάλων ΥΗΕ έγκειται στην επιλογή και εγκατάσταση τυποποιημένου ηλεκτρομηχανολογικού εξοπλισμού στην περίπτωση των μικρών ΥΗΕ. Λαμβάνοντας υπόψη ότι η τυποποίηση του ηλεκτρομηχανολογικού εξοπλισμού για τον εξοπλισμό μικρών ΥΗΕ φθάνει συνήθως μέχρι την ισχύ των 10 MW, φαίνεται ότι η τιμή αυτή αποτελεί το πλέον αποδεκτό όριο διάκρισης μεταξύ μικρών και μεγάλων ΥΗΕ, όπως άλλωστε δέχονται όλες οι χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Το όριο διάκρισης μεταξύ μικρών και μεγάλων ΥΗΕ έχει σημασία και από πλευράς διαδικασιών και αδειοδοτήσεων καθώς για τα μικρά ΥΗΕ προβλέπονται διαδικασίες απλούστερες ενώ σε ορισμένες χώρες, όπως στην Ελλάδα, ένα μεγάλο ΥΗΕ δεν μπορεί να κατασκευασθεί παρά μόνο από την ΔΕΗ.

¹¹ owcwaveenergy.weebly.com



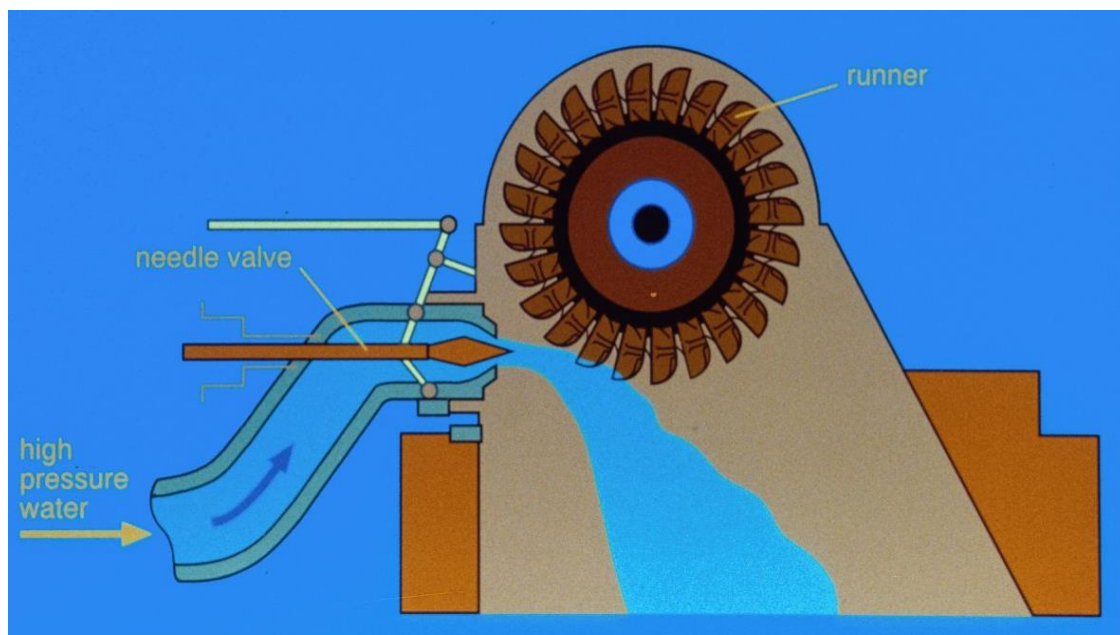
Εικόνα 2-6 Τύποι δρομέα γεννητριών¹²

Άλλες κατηγορίες διεθνώς για τα ΥΗΕ είναι: micro, που χαρακτηρίζεται ένα ΥΗΕ όταν η ονομαστική ισχύς του είναι μικρότερη των 100 KW, mini όταν η ονομαστική ισχύς είναι μικρότερη του 1 MW και μικρό όταν η ονομαστική ισχύς του είναι μεταξύ του 1 MW και 10 MW. Τα όρια αυτά δεν είναι απόλυτα και υπάρχουν αποκλίσεις σε διάφορες χώρες που έχουν να κάνουν με την αδειοδότηση και τις προδιαγραφές σύνδεσης με το διασυνδεδεμένο ηλεκτρικό δίκτυο.

Η αξιοποίηση του υδροδυναμικού μίας χώρας αποτελεί οπωσδήποτε ένα εθνικό στόχο δεδομένου ότι πρόκειται για μία ανανεώσιμη πηγή ενέργειας, με σημαντικά πλεονεκτήματα σε σύγκριση με τις άλλες ανανεώσιμες μορφές ενέργειας, όπως οι μικρές περιβαλλοντικές επιπτώσεις, η μεγάλη ειδική ισχύς (ισχύς ανά βάρος του εξοπλισμού) και η δυνατότητα συνδυασμού με άλλες χρήσεις του νερού. Την αξιοποίηση των μεγάλης ισχύος υδατοπτώσεων αναλαμβάνουν οι εταιρείες παραγωγής και διανομής ενέργειας, όπως η ΔΕΗ, για δύο κυρίως λόγους: τα μεγάλα ΥΗΕ είναι απαραίτητα σε ένα μεγάλο δίκτυο επειδή είναι τα μόνα που μπορούν να

¹² owcwaveenergy.weebly.com

καλύπτουν αποτελεσματικά τις αιχμές ζήτησης του δικτύου και επειδή το κόστος κατασκευής τους είναι πολύ υψηλό.



Εικόνα 2-7 Ο δρομέας Pelton¹³

Καθώς οι αξιοποιήσιμες θέσεις σε εθνικό επίπεδο για τα μικρά ΥΗΕ είναι πολλές η ετήσια παραγωγή ενέργειας μπορεί να είναι αξιόλογη. Για τον λόγο αυτόν άλλωστε όλες σχεδόν οι χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης διαθέτουν ήδη από πολλά χρόνια σημαντικό πλήθος μικρών ΥΗΕ. Αποτέλεσμα του έντονου ενδιαφέροντος σε διεθνές επίπεδο για την αξιοποίηση των μικρών υδατοπτώσεων είναι η δραστηριοποίηση και άνθηση πολλών εταιρειών που κατασκευάζουν τυποποιημένο ηλεκτρομηχανολογικό εξοπλισμό (υδροστροβίλους, γεννήτριες και ρυθμιστές) για μικρά ΥΗΕ.

Άλλοι παράγοντες ευνοϊκοί για την κατασκευή ενός μικρού ΥΗΕ είναι ότι μπορεί πιο εύκολα να συνδυασθεί με άλλες διευθετήσεις, π.χ. ύδρευση, άρδευση, οπότε θα ήταν δυνατόν να αξιοποιηθούν υπάρχοντα μικρά αρδευτικά φράγματα. Ακόμη, οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις που επιφέρουν τα μικρά ΥΗΕ είναι πολύ μικρότερες από αυτές των μεγάλων καθώς οι περισσότερες από αυτές οφείλονται στον σχηματισμό μεγάλου ανάντι ταμιευτήρα.

Μία άλλη διάκριση των ΥΗΕ αναφέρεται στο μέγεθος της διαθέσιμης υδραυλικής πτώσης H , η τιμή της οποίας εκφράζει την ανά μονάδα μάζας υδραυλική ενέργεια του

¹³ rpec.co.uk

νερού και την τάξη μεγέθους της στατικής πίεσης στον αγωγό προσαγωγής και το τμήμα εισόδου του υδροστροβίλου, ενώ από αυτή κυρίως εξαρτάται η επιλογή του τύπου του υδροστροβίλου. Διακρίνονται τρεις κατηγορίες:

- μικρού ύψους όταν το H είναι μικρότερο των 20 m
- μέσου ύψους, όταν $20 < H < 150$ m
- μεγάλου ύψους όταν $H > 150$ m

Δεδομένου ότι η υδραυλική ισχύς είναι γινόμενο της παροχής του νερού και της υδραυλικής πτώσης γίνεται φανερό ότι το κόστος κατασκευής ενός μικρού ΥΗΕ είναι τόσο μικρότερο, και άρα η επένδυση τόσο πιο αποδοτική, όσο μεγαλύτερη είναι η υδραυλική πτώση H . Όμως κατά κανόνα οι μεγάλες υδραυλικές πτώσεις αναπτύσσονται σε ορεινές και απομακρυσμένες περιοχές οπότε ενδέχεται το κόστος των γραμμών μεταφοράς της ηλεκτρικής ενέργειας να είναι τόσο υψηλό ώστε να αντισταθμίζει το πλεονέκτημα του σχετικά χαμηλού κόστους του μικρού ΥΗΕ.



Εικόνα 2-8 Η γεννήτρια τύπου Francis¹⁴

¹⁴ rpec.co.uk

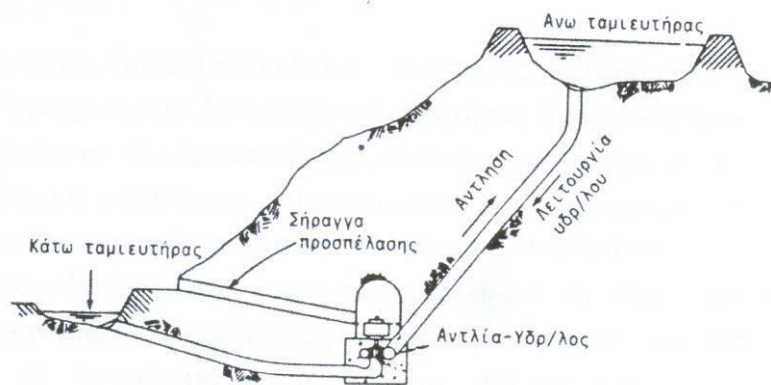
Το αντίθετο συμβαίνει με τα μικρά ΥΗΕ μικρής υδραυλικής πτώσης: το ύψος της επένδυσης είναι αυξημένο όμως κατά κανόνα βρίσκονται κοντά σε πεδινές και κατοικήσιμες περιοχές οπότε το κόστος των έργων σύνδεσης με το διασυνδεδεμένο ηλεκτρικό δίκτυο είναι μικρό.

Ακόμη τα ΥΗΕ χαρακτηρίζονται από το εάν το φράγμα σχηματίζει ταμιευτήρα (δεξαμενή αποθήκευσης) μεγάλου όγκου ή εάν ο σταθμός λειτουργεί κατά τον ρου του ποταμού, όπως κυρίως συμβαίνει στα έργα μικρού ύψους πτώσεως.

2.3.2.2 Αναστρέψιμα ΥΗΕ

Τα συστήματα υδροηλεκτρικής ενέργειας αντλησιοταμίευσης ή αναστρέψιμα ΥΗΕ είναι ένας τύπος υδροηλεκτρικής αποθήκευσης ενέργειας που χρησιμοποιείται από κάποιους σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας για την εξισορρόπηση φορτίου. Η μέθοδος αποθηκεύει ενέργεια με τη μορφή της βαρυτικής δυναμικής ενέργειας του νερού, που αντλείται από ένα κατώτερο δοχείο και ανυψώνεται σε ένα υψηλότερο υψόμετρο. Χαμηλού κόστους ηλεκτρική ενέργεια εκτός αιχμής ή από ανανεώσιμες πηγές, χρησιμοποιείται για τη λειτουργία των αντλιών. Κατά τη διάρκεια της περιόδου υψηλής ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας, το αποθηκευμένο νερό απελευθερώνεται μέσω τουρμπινών για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Παρά το γεγονός ότι οι απώλειες της διαδικασίας άντλησης καθιστά το σύστημα καθαρό καταναλωτή ενέργειας συνολικά, το σύστημα αυξάνει τα έσοδα από την πώληση περισσότερης ηλεκτρικής ενέργειας κατά τις περιόδους αιχμής της ζήτησης, όταν οι τιμές της ηλεκτρικής ενέργειας είναι υψηλότερες.

Τα αναστρέψιμα ΥΗΕ λοιπόν έχουν τη δυνατότητα λειτουργίας για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας (λειτουργία υδροστροβίλου) όσο και τη δυνατότητα άντλησης (ή αποταμίευσης) του νερού. Το σύστημα αντλησιοταμίευσης αποτελείται από δύο ταμιευτήρες (αντλησιοταμιευτήρες) με υψομετρική διαφορά, που συνδέονται με ένα ή περισσότερους αγωγούς, από αντλίες και στροβίλους, όπως φαίνεται στο σχήμα.



Εικόνα 2-9 Απεικόνιση του άνω και κάτω ταμιευτήρα σε ένα αντιστρέψιμο σύστημα ΥΗΕ¹⁵

Η άντληση του νερού γίνεται κατά τη διάρκεια των ωρών ή ημερών χαμηλής κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας από την περίσσεια ενέργειας των μεγάλων μονάδων. Κατά τη διάρκεια μιας ημέρας θα υπάρχουν ώρες κατά τις οποίες η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από τις μονάδες βάσεως θα είναι μεγαλύτερη από τη ζήτηση (για παράδειγμα κατά τις μεταμεσονύκτιες ώρες ή τις αργίες), οπότε με την περίσσεια αυτή του δικτύου πραγματοποιείται η άντληση στα αναστρέψιμα ΥΗΕ. Επίσης θα υπάρχουν διαστήματα που συμβαίνει το αντίθετο, δηλαδή η ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας είναι μεγαλύτερη από την παραγωγή, ιδιαίτερα τις ώρες αιχμής.

Τα αναστρέψιμα ΥΗΕ λοιπόν απορροφούν την περίσσεια ενέργεια κατά τις ώρες χαμηλής ζήτησης μετατρέποντας την σε υδραυλική ενέργεια, η οποία αποθηκεύεται στον άνω ταμιευτήρα, για να την αποδώσουν στο δίκτυο κατά τις ώρες αιχμής.

Η διαδικασία αυτή μετατροπής της ηλεκτρικής ενέργειας σε υδραυλική (άντληση) και στη συνέχεια η εκ νέου μετατροπής της σε ηλεκτρική (λειτουργία υδροστροβίλων) συνοδεύεται με απώλειες. Οι συνολικές απώλειες ενέργειας σε ένα κύκλο άντλησης - λειτουργίας υδροστροβίλων φθάνει το 23% περίπου.

Όπως αναμένεται οι συνολικές απώλειες είναι μεγαλύτερες όσο το μέγεθος των μηχανών γίνεται μικρότερο.

Τα αναστρέψιμα ΥΗΕ διακρίνονται κύρια από τον ρυθμό εναλλαγής της λειτουργίας τους, από άντληση στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Η εναλλαγή αυτή μπορεί

¹⁵ Α. Σαγάνη, “ Η ανάγκη αποθήκευσης ενέργειας – Μέθοδοι αποθήκευσης και εφαρμογές”, Διπλωματική εργασία, Σχολή Μηχανολόγων Μηχανικών, ΕΜΠ, Αθήνα 2009.

να συμβαίνει μία ή περισσότερες φορές την ημέρα, μία φορά την εβδομάδα ή μία φορά το χρόνο: αποθήκευση νερού κατά τις περιόδους χαμηλής ζήτησης (π.χ. το Σαββατοκύριακο για εβδομαδιαία εναλλαγή). Οι δύο τελευταίες περιπτώσεις εναλλαγής της λειτουργίας απαιτούν την ύπαρξη δεξαμενής αποθήκευσης (άνω ταμιευτήρα) πολύ μεγάλου όγκου.

Ένα αναστρέψιμο ΥΗΕ είναι τόσο περισσότερο οικονομικά συμφέρον όσο μεγαλύτερη είναι η υψομετρική διαφορά μεταξύ άνω και κάτω ταμιευτήρα. Η ενέργεια ανά μονάδα μάζας του νερού είναι μεγαλύτερη, οπότε η ίδια ισχύς επιτυγχάνεται με μικρότερες παροχές, άρα υδροηλεκτρικές μηχανές μικρότερου όγκου και μικρότερου κόστους.

Όσον αφορά τον ηλεκτρομηχανολογικό εξοπλισμό (υδροδυναμικές και ηλεκτρικές μηχανές) τα αναστρέψιμα ΥΗΕ διακρίνονται σε δύο κατηγορίες ανάλογα με τη σύνθεση των μονάδων τους:

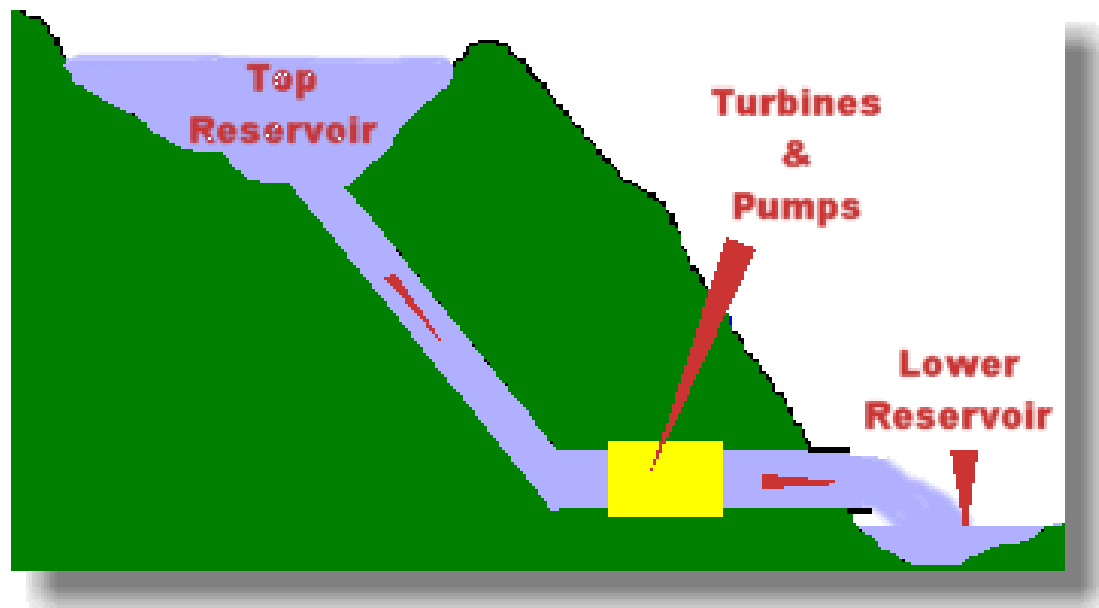
Τις σύνθετες, αυτές δηλαδή που είναι εξοπλισμένες με υδροστρόβιλο, φυγόκεντρη αντλία και ηλεκτρική μηχανή που λειτουργεί ως κινητήρας ή ως γεννήτρια. Και οι τρεις μηχανές έχουν κοινή άτρακτο. Ο υδροστρόβιλος ανάλογα με τη υδραυλική πτώση μπορεί να είναι δράσεως (Pelton) ή αντιδράσεως (Francis), ενώ η αντλία μπορεί να είναι μονοβάθμια, μονής ή διπλής αναρρόφησης ανάλογα με την υψομετρική διαφορά και την παροχή.

Αυτές που είναι εξοπλισμένες με αναστρέψιμη υδροδυναμική μηχανή (στροβιλοαντλία) και ηλεκτρική μηχανή που λειτουργεί ως γεννήτρια ή κινητήρας. Η αναστρέψιμη υδροδυναμική μηχανή έχει τη δυνατότητα λειτουργίας ως αντλίας και ως υδροστροβίλου με την αντιστροφή της φοράς περιστροφής της περρωτής.

Το βασικό πλεονέκτημα της πρώτης λύσης είναι ότι κάθε μηχανή (υδροστρόβιλος και αντλία) υπολογίζεται χωρίς να λειτουργεί στο αντίστοιχο κανονικό σημείο λειτουργίας. Παρουσιάζει όμως το μειονέκτημα του σημαντικού κόστους του ηλεκτρομηχανολογικού εξοπλισμού (δύο υδροδυναμικές μηχανές αντί μιας αναστρέψιμης) ενώ κάθε μονάδα καταλαμβάνει σημαντικά μεγαλύτερο χώρο σε σύγκριση με τη λύση της αναστρέψιμης υδροδυναμικής μηχανής.

Και τα δύο είδη όμως αποτελούν ένα αποτελεσματικό σύστημα αποθήκευσης ενέργειας, αφού συντελούν στη σταθεροποίηση του δικτύου και στη βελτίωση της ποιότητας της παρεχόμενης ισχύος. Επιπρόσθετα τα αναστρέψιμα ΥΗΕ έχουν μεγάλη διάρκεια ζωής, καθώς και μεγάλη χωρητικότητα, η οποία αυξάνει ανάλογα με το μέγεθος του ταμιευτήρα.

Η πρώτη εμφάνιση αυτών των συστημάτων έγινε στο Festiniog του Wales και στο Cruachan της Σκωτίας στα μέσα της δεκαετίας του '60. Λίγο πριν το 1970 κατασκευάστηκε άλλο ένα στο Foyers στη Σκωτία (300-400 MW). Το 1983 τέθηκε σε λειτουργία το πρώτο μεγαλύτερο Αναστρέψιμο ΥΗΕ στο Dinorwig (Ουαλία). Η υψομετρική διαφορά των δύο ταμιευτήρων ήταν 570m και η παραγόμενη ισχύς ξεπερνούσε τα 1,7 GW. Στο ακόλουθο σχήμα φαίνεται η δομή ενός αναστρέψιμου ΥΗΕ.



Εικόνα 2-10 Δομή Αναστρέψιμου ΥΗΕ¹⁶

Σήμερα από άποψης τεχνογνωσίας υπάρχει σημαντική υποδομή τόσο στο εξωτερικό όσο και στην Ελλάδα. Συγκεκριμένα εμφανίζουν ευρεία εφαρμογή στην Αγγλία,

¹⁶ Α. Σαγάνη, “ Η ανάγκη αποθήκευσης ενέργειας – Μέθοδοι αποθήκευσης και εφαρμογές”, Διπλωματική εργασία, Σχολή Μηχανολόγων Μηχανικών, ΕΜΠ, Αθήνα 2009.

Ιρλανδία, στη Γαλλία, στο Λουξεμβούργο, στη Σκωτία αλλά και στις ΗΠΑ, κυρίως λόγω της ταχύτατης απόκρισης τους τις ώρες αιχμής αλλά και της οικονομικότητας αυτής της λύσης.

2.3.3 Δυναμικό στην Ελλάδα, πλεονεκτήματα και περιορισμοί

Το οικονομοτεχνικά εκμεταλλεύσιμο ετήσιο υδροδυναμικό της χώρας μας εκτιμάται ότι είναι της τάξεως του 20,7 109 KWh/y. Το 1997, με εγκατεστημένη ισχύ των ΥΗΕ της τάξεως των 2730 MW, η παραγωγή υδροηλεκτρικής ενέργειας από το σύνολο των εγκατεστημένων ΥΗΕ έφθασε τα 4,072 109 KWh/y, δηλαδή αξιοποιήθηκε το 19,3% περίπου του οικονομικά εκμεταλλεύσιμου υδροδυναμικού. Το ποσοστό συμμετοχής της υδροηλεκτρικής ενέργειας στο σύνολο της ηλεκτρικής ενέργειας είναι της τάξεως του 10,4% ενώ η εγκατεστημένη ισχύς των ΥΗΕ ανέρχεται στο 27,7% της συνολικά εγκατεστημένης ισχύος των μονάδων παραγωγής της ΔΕΗ. Από τα στοιχεία αυτά προκύπτει ο χαρακτήρας των μεγάλων ΥΗΕ τα οποία καλύπτουν κυρίως τις αιχμές ζήτησης του δικτύου της ΔΕΗ, έχοντας χαμηλή τιμή του συντελεστού φορτίου.

Θα πρέπει να αναφερθεί ότι η μορφολογία της Ελλάδας ευνοεί τη διαμόρφωση ταμιευτήρων με υψηλή ρυθμιστική ικανότητα ενώ αντίθετα η έλλειψη μεγάλων ποταμών με κατά το δυνατόν συνεχή και ομοιόμορφη παροχή δεν επιτρέπει την κατασκευή μεγάλων ΥΗΕ βάσεως. Για τους λόγους αυτούς τα μεγάλα ΥΗΕ της χώρας μας χρησιμεύουν κυρίως για την κάλυψη των φορτίων αιχμής του δικτύου. Όμως η ορεινή επιφανειακή διαμόρφωση της χώρας μας ευνοεί τον σχηματισμό μικρών υδατοπτώσεων με ευνοϊκά χαρακτηριστικά για οικονομική εκμετάλλευση, δηλ. μεγάλη διαθέσιμη υδραυλική πτώση.

Οι μικροί υδροηλεκτρικοί σταθμοί (ΥΗΣ) που ήδη λειτουργούν στην Ελλάδα (1997) φαίνονται στον πίνακα 2.1 που ακολουθεί, και ανήκουν όλοι στην ΔΕΗ εκτός από τους ΥΗΣ του Βερμίου II και III, του Αγκίστρου και του Τσιβλού που ανήκουν σε Δημοτικές Επιχειρήσεις.

Από αυτούς, ο μικρός ΥΗΣ του Στράτου συνδυάζεται με την άρδευση του κάμπου κατάντι του φράγματος του ΥΗΕ Στράτου ενώ ο μικρός ΥΗΣ της Γκιώνας εκμεταλλεύεται την παροχή του υδαταγωγού του Μόρνου στο άκρο της σήραγγας της Γκιώνας. Μεταξύ των μικρών ΥΗΕ που ήδη λειτουργούν στον ελληνικό χώρο θα πρέπει να αναφερθούν και αυτά διαφόρων Ι. Μονών του Αγίου Ορους (όπως Ι.Μ. Γρηγορίου, Διονυσίου, Σίμωνος Πέτρας κ.ά.) τα οποία εξυπηρετούν αυτόνομα ηλεκτρικά δίκτυα και τα οποία είναι όλα της κατηγορίας των micro και έχουν ισχύ από 10 ως 130 KW.

Η καταγραφή και αξιολόγηση όλων των μικρών υδατοπτώσεων της Ελλάδας και ο καθορισμός των θέσεων που προσφέρονται για υδροηλεκτρική αξιοποίηση δεν έχει ολοκληρωθεί παρά τις προσπάθειες που έγιναν κατά το παρελθόν (κυρίως από την ΔΕΗ) και άλλες που βρίσκονται σε εξέλιξη, λόγω του μεγάλου πλήθους των θέσεων και της έλλειψης συστηματικών υδρολογικών στοιχείων. Η μόνη περιοχή της Ελλάδας στην οποία έγινε συστηματική διερεύνηση του υδροηλεκτρικού δυναμικού με οικονομοτεχνική αξιολόγηση όλων των θέσεων είναι η Κρήτη. Αυτό έγινε δυνατό χάρη στις από 25ετίας περίπου συστηματικές μετρήσεις της παροχής όλων των επιφανειακών υδάτων.

Κυριότερα εν λειτουργία μικρά ΥΗΕ στον Ελληνικό χώρο

A/a	Μικρός ΥΗΣ	Περιοχή	Έτος ένταξης	H(mΣΥ)	Εγκ.Ισχύς (MW)/μον.	Πλήθος μονάδων
1	Γλαύκος	Πάτρα	1927		1.6	1
2	Αγυιά	Χανιά	1929		0.3	1
3	Αγ. Ιωάννης	Σέρρες	1931		0.3	1
4	Τριπόταμος	Βέροια	1929		1.8	1
5	Λούρου Ι, ΙΙ	Ήπειρος	1954	60.6	2.5	2
6	Λούρου ΙΙΙ	Ήπειρος	1964	60.5	5.0	1
7	Μικρό Στράτου	Αργίτιο	1988	16.0	7.0	2
8	Γκιώνας	Άμφισσα	1989	54.0	8.0	1
9	Μακροχώρι	Βέροια	1992	10.0		
10	Βέρμιο ΙΙ	Βέροια		0.5		
11	Βέρμιο ΙΙΙ	Βέροια		0.3		
12	Αγκιστρο	Σέρρες		0.5		
13	Τσιβλός	Ακράτα	1998	110	1,25	2

Για τα υπόλοιπα 13 Υδατικά Διαμερίσματα της Ελλάδας, η εκτίμηση του υδροδυναμικού προκύπτει από θεωρητικούς υπολογισμούς οι οποίοι βασίζονται:

- σε τοπογραφικούς χάρτες υπό κλίμακα 1:400.000
- σε χάρτες των ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων (βροχοπτώσεων και χιονοπτώσεων) που συντάσσει η ΔΕΗ, θεωρώντας ότι το 50% των κατακρημνισμάτων διατηρείται στην επιφάνεια του εδάφους και άρα θα είναι δυνατόν να αξιοποιηθεί για υδροηλεκτρική παραγωγή
- στα στοιχεία από την εκμετάλλευση των ήδη λειτουργούντων μικρών ΥΗΣ
- σε διορθωτικούς συντελεστές από την αξιολόγηση της λειτουργίας μικρών ΥΗΕ στον Ευρωπαϊκό χώρο

Στον ακόλουθο πίνακα δίνεται το συνολικό υδροδυναμικό των 14 υδατικών διαμερισμάτων της Ελλάδας όπως αυτό εκτιμάται με βάση θεωρητικές και στατιστικές προσεγγίσεις.

Υδροδυναμικό των 14 υδατικών διαμερισμάτων της Ελλάδας

α/α	Υδατικό Διαμέρισμα	Επιφάνεια (Km ²)	Θεωρητικό Υδροδ/κό (GWh/yr)	Αναγν. Υδροδ/κό (GWh/yr)	Τεχνικά Αξιοποιήσιμο Υδροδ/κό (GWh/yr)	Οικονομικά Αξιοποιήσιμο Υδροδ/κό (GWh/yr)
1	Δυτ. Πελοπόννησος	7771	7210	460,0	1670	1260
2	Β. Πελοπόννησος	6596	4290	325,7	755	557
3	Αν. Πελοπόννησος	8702	4300	32,2	570	417
4	Δυτ. Στερεά Ελλάδα	10420	14880	3860,5	5500	4200
5	Ήπειρος	10275	15642	2432,0	6250	4830
6	Αττική	3326	282	20,8	9	5
7	Αν. Στερεά Ελλάδα	11923	5090	128,0	551	390
8	Θεσσαλία	13148	6010	567,0	665	468
9	Δυτ. Μακεδονία	13404	10444	1967,1	2240	1670
10	Κεν. Μακεδονία	10388	2800		185	123
11	Αν. Μακεδονία	7342	2270	102,5	175	118
12	Θράκη	10894	6783	694,6	1489	ΠΠΟ
13	Κρήτη	8330	4600	81,6	610	446
14	Νήσοι Αιγαίου	9060	400	2,0	11	6
	ΣΥΝΟΛΟ	131.579	85001	10774,0	20680	15600

Από τον πρώτο πίνακα προκύπτει ότι το ετήσιο οικονομοτεχνικά αξιοποιήσιμο υδροδυναμικό της Ελλάδας είναι της τάξεως των 15.600 GWh. Από μελέτη της ΔΕΗ του 1975 είχε υπολογισθεί ότι το ετήσιο υδροδυναμικό των μεγάλων και μεσαίου μεγέθους υδατοπτώσεων είναι της τάξεως των 13.000 GWh. Το οικονομοτεχνικά αξιοποιήσιμο υδροδυναμικό ισχύος μέχρι 10 MW εκτιμάται ότι είναι της τάξεως των

2.000 GWh, εκ των οποίων οι 1.500 GWh περίπου αντιστοιχούν σε έργα εγκατεστημένης ισχύος μέχρι 5 MW. Η εκτίμηση της κατανομής του υδροδυναμικού εγκατεστημένης ισχύος μέχρι 5 MW δίνεται στον ακόλουθο πίνακα ανά υδατικό διαμέρισμα.

Επιφάνεια και υδροδυναμικό μικρών ΥΗΕ εγκατεστημένης ισχύος μέχρι 5 MW των υδατικών διαμερισμάτων της Ελλάδας ¹⁷

α/α	Υδατικό Διαμέρισμα	Επιφάνεια (Km ²)	Υδροδ/κό (GWh/y)	Ποσοστό %	Πυκνότητα ενεργ. 10 ³ (GWh/y Km ²)
1	Δυτ. Πελοπόννησος	7.771	125	7,9	16,00
2	Β. Πελοπόννησος	6.596	55	3,5	8,34
3	Αν. Πελοπόννησος	8.702	40	2,5	4,60
4	Δυτ. Στερεά Ελλάδα	10.420	420	26,6	40,31
5	Ηπειρος	10.275	485	30,7	47,20
6	Αττική	3.326	3	0,2	0,90
7	Αν. Στερεά Ελλάδα	11.923	40	2,5	3,35
8	Θεσσαλία	13.148	37	2,3	2,81
9	Δυτ. Μακεδονία	13.404	165	10,4	12,31
10	Κεν. Μακεδονία	10.388	15	0,9	1,44
11	Αν. Μακεδονία	7.342	40	2,5	5,44
12	Θράκη	10.894 [^]	95	6,0	8,72
13	Κρήτη	8.330	45	2,8	5,40
14	Νήσοι Αιγαίου	9.060	15	0,9	1,65
	ΣΥΝΟΛΟ	131.579	1.580	100	12,00

Όπως αναμενόταν οι δυτικές περιοχές της χώρας είναι οι περισσότερες πλούσιες σε υδροδυναμικό λόγω των περισσότερων υδατοπτώσεων και του πλέον έντονου ανάγλυφου. Από τα στοιχεία που αναφέρθηκαν προκύπτει ότι υπάρχει σημαντικό περιθώριο ανάπτυξης μικρών ΥΗΕ στην Ελλάδα και ότι, παρά τις προσπάθειες της ΔΕΗ τα τελευταία χρόνια, ο ρυθμός κατασκευής τους δεν είναι

¹⁷ Α. Σαγάνη, “ Η ανάγκη αποθήκευσης ενέργειας – Μέθοδοι αποθήκευσης και εφαρμογές”, Διπλωματική εργασία, Σχολή Μηχανολόγων Μηχανικών, ΕΜΠ, Αθήνα 2009.

ικανοποιητικός, όπως συνέβη εξάλλου και σε όλες τις χώρες στις οποίες η ανάπτυξη των μικρών ΥΗΕ ανετέθη αποκλειστικά στην εθνική επιχείρηση παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, όπως είναι η ΔΕΗ, όπως ίσχυει και στην Ελλάδα μέχρι το 1985.

2.3.4 Περιβαλλοντικά οφέλη

Το περιβάλλον μας μπορεί να επωφεληθεί από μικρής κλίμακας υδραυλική ενέργεια. Η μικρής κλίμακας υδροηλεκτρική ενέργεια δεν είναι μόνο μια οικονομική και φιλική προς το περιβάλλον πηγή ενέργειας, αλλά έχει επίσης θετικές επιπτώσεις στο οικοσύστημα των ανθρώπων και των ζώων. Οι στρόβιλοι μικρής κλίμακας υδροηλεκτρικών σταθμών στροβιλίζουν το οξυγόνο στα ύδατα. Αυτό ωφελεί τη διατήρηση των αποθεμάτων ιχθύων. Επίσης, οι σταθμοί ηλεκτροπαραγωγής και οι εγκαταστάσεις τους μπορούν να συμβάλουν στον έλεγχο των πλημμυρών. Οι κοιλάδες των ποταμών εξασφαλίζουν μεγάλη γαλήνη και χαλάρωση, γι' αυτό εκτιμούνται ευρέως ως κατοικημένες περιοχές. Η ποιότητα ζωής, ωστόσο, επηρεάζεται βαθιά από τις πλημμύρες που συχνά προκαλούν μεγάλες ζημιές.

Τα φίλτρα που προηγούνται των στρόβιλων, φιλτράρουν τα απόβλητα από το νερό. Τα περιστασιακά απόβλητα διατίθενται στη συνέχεια από τους φορείς εκμετάλλευσης σταθμών ηλεκτροπαραγωγής, με τρόπο φιλικό προς το περιβάλλον. Οι δεξαμενές μπροστά από σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας αντιπροσωπεύουν πολύτιμες περιοχές αναψυχής, που χρησιμοποιούνται ευχάριστα από ανθρώπους και ζώα. Τα μονοπάτια της φύσης και τα μουσεία για την ιστορία της υδροηλεκτρικής ενέργειας φέρνουν αυτό το εντυπωσιακό αλλά ευρέως άγνωστο τοπίο πιο κοντά στον πληθυσμό.

Σε σύγκριση με άλλες πηγές ενέργειας, η υδροηλεκτρική ενέργεια εξασφαλίζει την παροχή ηλεκτρικού ρεύματος με ιδιαίτερα φιλικό προς το περιβάλλον τρόπο. Η υδροηλεκτρική ισχύς παρέχει την πλέον συμφέρουσα περιβαλλοντική ισορροπία, διότι χρησιμοποιεί νερό το οποίο επιστρέφει αμετάβλητο στον ποταμό. Ακόμη, νέοι, ασφαλείς βιότοποι για τους ανθρώπους, τα ζώα και τα φυτά συχνά αναπτύσσονται στους τομείς των μικρών σταθμών υδροηλεκτρικής ενέργειας. Η μικρής κλίμακας

υδροηλεκτρική ενέργεια παρέχει εύκολα προβλέψιμες ποσότητες ενέργειας κατά τη διάρκεια ενός έτους. Το προσδόκιμο ζωής των μικρής κλίμακας υδροηλεκτρικών σταθμών υπερβαίνει κατά κανόνα το προσδόκιμο ζωής όλων των άλλων εγκαταστάσεων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας.¹⁸

2.4 ΜΠΑΤΑΡΙΕΣ – ΣΥΣΤΟΙΧΙΕΣ ΜΠΑΤΑΡΙΩΝ

2.4.1 Γενικές αρχές λειτουργίας

Η κύρια λειτουργία των φωτοβολταϊκών στοιχείων είναι η μετατροπή της ενέργειας του ήλιου σε ηλεκτρική μέσω χημικών υπο-μετατροπών. Το φωτοβολταϊκό στοιχείο παράγει ενέργεια μόνο όταν υπάρχει διαθεσιμότητα ηλιακής ενέργειας και η ενέργεια που παράγεται είναι ανάλογη της διαθέσιμης ηλιακής ενέργειας. Σε περιόδους της ημέρα που η ηλιακή ενέργεια δεν είναι καθόλου διαθέσιμη (νύχτα) ή είναι περιορισμένη ή διακοπτόμενη (απόγευμα, συννεφιά), η ενέργεια που παράγεται από το φωτοβολταϊκό στοιχείο μπορεί να μην είναι επαρκής για την κάλυψη των ενεργειακών απαιτήσεων. Σε αυτές τις περιπτώσεις υπάρχει ανάγκη για ένα αποθηκευτικό μέσο, που συνήθως είναι οι μπαταρίες βαθιάς εκφόρτισης. Το χαρακτηριστικό της βαθιάς εκφόρτισης είναι απαραίτητο σε συστήματα με φωτοβολταϊκά στοιχεία, καθώς η διαθεσιμότητα της πρωτεύουσας πηγής ενέργειας μπορεί να είναι μειωμένη για πολλές ώρες και οι μπαταρίες θα πρέπει να έχουν την ικανότητα να αποδεσμεύσουν μεγάλο ποσοστό της φόρτισης τους (70-80%) για να καλύψουν τις ανάγκες του φορτίου.

2.4.2 Τύποι

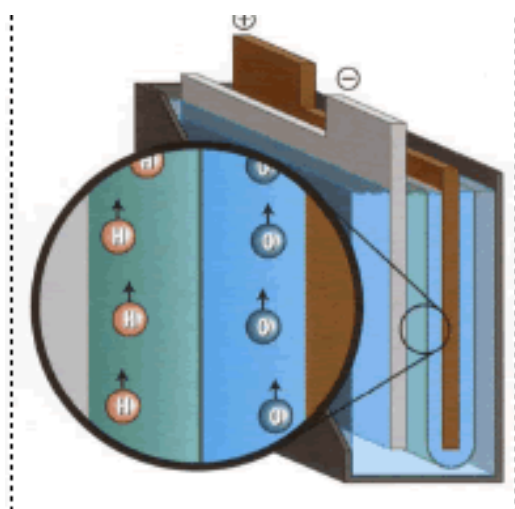
2.4.2.1 Μπαταρίες μολύβδου οξέως

¹⁸ <http://www.kleinwasserkraft.at/en/advantages-small-scale-hydropower>

Οι μπαταρίες μολύβδου οξέως χρησιμοποιούνται στα αυτοκίνητα ως μπαταρίες εκκίνησης και ως εκ τούτου είναι διαθέσιμες σε κάθε μέρος του κόσμου. Μπορούν να σχεδιαστούν ειδικά για βαθιά εκφόρτιση και να εγκαθίστανται σε συστήματα με φωτοβολταϊκά στοιχεία. Πλεονεκτήματα είναι το χαμηλό κόστος, η αντοχή σε κύκλους λειτουργίας και η ικανότητα φόρτισης/εκφόρτισης. Η βελτιστοποίηση της λειτουργίας τους, η διάρκεια ζωής τους σε θερμά κλίματα εξαρτώνται σε μεγάλο από το σύστημα διαχείρισης ενέργειας και τη λειτουργία του ρυθμιστή των μπαταριών.

Η ροή ενέργειας σε ένα αυτόνομο σύστημα με φωτοβολταϊκά στοιχεία και μπαταρίες μπορεί να κατευθύνεται από τη φωτοβολταϊκή γεννήτρια προς τις μπαταρίες και από τις μπαταρίες προς το φορτίο. Συνήθως δεν υπάρχει μόνο ένα στοιχείο μπαταρίας, αλλά πολλά στοιχεία που συνδέονται σε σειρά ή παράλληλα ανάλογα με την επιθυμητή τάση του συστήματος. Διαμορφώνεται έτσι μια συστοιχία μπαταριών με μια συγκεκριμένη τάση και ονομαστικό ρεύμα στην έξοδο της.

Το κόστος των μπαταριών μολύβδου οξέως είναι χαμηλό και η διαθεσιμότητα τους υψηλή, λόγω του ότι χρησιμοποιούνται και στις επίγειες εφαρμογές κίνησης. Η σύγκριση γίνεται με άλλες τεχνολογίες μπαταριών όπως ιόντων λιθίου και νικελίου-υδριδίου μετάλλου. Ανάλογα με τις απαιτήσεις της κάθε εφαρμογής, μπορεί ο σχεδιαστής να επιλέξει μεταξύ διαφορετικών επιπέδων χωρητικότητας και διαστάσεων.



Εικόνα 2-11 Διάταξη μπαταρίας μολύβδου οξέως

Υπάρχουν δύο τύποι μπαταριών βαθιάς εκφόρτισης: ανοικτού ή κλειστού τύπου. Οι μπαταρίες ανοικτού τύπου αποτελούνται από στιβαρές πλάκες και ηλεκτρολυτικό διάλυμα και απαιτούν συντήρηση κάθε 6-12 μήνες με συμπλήρωση απιονισμένου νερού. Οι μπαταρίες κλειστού τύπου, όπως οι AGM και GEL, δεν απαιτούν συντήρηση. Στα πλεονεκτήματα των μπαταριών βαθιάς εκφόρτισης συγκαταλέγονται η μεγάλη αντοχή σε κύκλους και ο μεγάλος χρόνος ζωής. Σε τεχνολογίες με μικρότερο βάθος εκφόρτισης (25%) οι πλάκες είναι πιο λεπτές και είναι κατασκευασμένες κράματα ασβεστίου μολύβδου.

Στις μπαταρίες ανοικτού τύπου τα μικρά ποσά υδρογόνου και οξυγόνου τα οποία παράγονται στα ηλεκτρόδια κατά τη λειτουργία της μπαταρίας, απελευθερώνονται στην ατμόσφαιρα μέσω μικρών οπών στο επάνω μέρος της μπαταρίας. Αντίθετα στις μπαταρίες κλειστού τύπου το υδρογόνο και το οξυγόνο επανενώνονται με τη βοήθεια μιας ειδικής διάταξης καταλύτη που βρίσκεται μέσα στη μπαταρία, με αποτέλεσμα να μην δημιουργείται απώλεια υγρού και να μην υπάρχουν απαιτήσεις συχνής συντήρησης.

Οι μπαταρίες λιθίου / αέρα, με βάση την υψηλή θεωρητική ειδική ενέργειά τους, αποτελούν μια εξαιρετικά ελκυστική τεχνολογία για την αποθήκευση ηλεκτρικής ενέργειας που θα μπορούσε να καταστήσει τα ηλεκτρικά οχήματα μεγάλου βεληνεκούς ευρέως προσιτά. Ωστόσο, η χρήση αυτής της τεχνολογίας μέχρι στιγμής υπολείπεται των δυνατοτήτων της, γεγονός που οφείλεται σε πολλές αποθαρρυντικές προκλήσεις. Στα μη υδατικά κύτταρα λιθίου/αέρα, η αναστρέψιμη χημεία με υψηλή απόδοση ρεύματος κατά αρκετούς κύκλους δεν έχει ακόμη καθοριστεί, και η εναπόθεση ενός ηλεκτρικά αντιστατικού παραγώγου φαίνεται να περιορίζει την χωρητικότητα. Τα υδατικά κύτταρα απαιτούν μεμβράνες με προστασία λιθίου και σταθερότητα στο νερό που τείνουν να έχουν μεγάλο πάχος, βάρος και υψηλή αντίσταση. Και οι δύο τύποι κυττάρων (υδατικοί και μη υδατικοί) υποφέρουν από κακή κινητική της οξειδοαναγωγής οξυγόνου στο θετικό ηλεκτρόδιο και επιβλαβείς αλλαγές του όγκου και της μορφολογίας στο αρνητικό ηλεκτρόδιο. Τα κλειστά συστήματα λιθίου/αέρα που περιλαμβάνουν αποθήκευση του οξυγόνου είναι πολύ μεγαλύτερα και βαρύτερα από τα ανοιχτά συστήματα, αλλά μέχρι στιγμής οι μεμβράνες τους δεν είναι αποτελεσματικές στην πρόληψη της μόλυνσης των

κυττάρων. Παρ' όλα αυτά, οι μπαταρίες λιθίου/ αέρα θα εξακολουθήσουν να αποτελούν μέρος της έρευνας για τα επόμενα χρόνια. Ωστόσο, αν μπορέσουν να αντιμετωπιστούν οι βασικές προκλήσεις, η μπαταρία λιθίου/ αέρα έχει τη δυνατότητα να ξεπεράσει σημαντικά την ικανότητα αποθήκευσης ενέργειας των μπαταριών ιόντων λιθίου σήμερα.

2.4.2.2 Μπαταρίες ιόντων λιθίου

Για πολλά χρόνια, οι μπαταρίες νικελίου-καδμίου αποτελούσαν τη μόνη κατάλληλη λύση για τον φορητό εξοπλισμό, από τις ασύρματες επικοινωνίες ως τους φορητούς υπολογιστές. Οι μπαταρίες νικελίου - υδριδίου μετάλλου και ιόντων λιθίου εμφανίστηκαν στις αρχές της δεκαετίας του 1990, και με δυσκολία κέρδισαν την ευρύτερη αποδοχή. Σήμερα, η τεχνολογία ιόντων λιθίου είναι η ταχύτερα αναπτυσσόμενη και πλέον υποσχόμενη κατηγορία μπαταριών.

Η ανάπτυξη της μπαταρίας λιθίου από την εταιρεία Pioneer ξεκίνησε το 1912 υπό την επιβλεψη του G.N. Lewis, αλλά δεν ήταν μέχρι τις αρχές της δεκαετίας του 1970, που οι πρώτες μη-επαναφορτιζόμενες μπαταρίες λιθίου έγιναν εμπορικά διαθέσιμες. Το λίθιο είναι το ελαφρύτερο όλων των μετάλλων, έχει το μεγαλύτερο ηλεκτροχημικό δυναμικό και παρέχει την μεγαλύτερη πυκνότητα ενέργειας ανά μονάδα βάρους.

Οι προσπάθειες να αναπτυχθούν επαναφορτιζόμενες μπαταρίες λιθίου απέτυχαν λόγω προβλημάτων ασφάλειας. Λόγω της εγγενούς αστάθειας του λιθίου, ειδικά κατά τη διάρκεια της φόρτισης, η έρευνα μετατοπίζεται σε μια μη μεταλλική μπαταρία λιθίου χρησιμοποιώντας ιόντα λιθίου. Αν και ελαφρώς χαμηλότερες σε ενεργειακή πυκνότητα από το μέταλλο λίθιο, οι μπαταρίες ιόντων λιθίου είναι ασφαλείς, υπό τον όρο ότι πληρούνται ορισμένες προφυλάξεις κατά τη φόρτιση και εκφόρτιση. Το 1991, η Sony Corporation εμπορευματοποιεί τη πρώτη μπαταρία ιόντων λιθίου. Άλλοι κατασκευαστές ακολούθησαν το παράδειγμά τους.

Η ενεργειακή πυκνότητα της μπαταρίας ιόντων λιθίου είναι συνήθως διπλάσια σχετικά με τη μπαταρία νικελίου-καδμίου. Υπάρχει δυνατότητα για υψηλότερες πυκνότητες ενέργειας. Τα χαρακτηριστικά φόρτισης είναι αρκετά καλά και παρόμοια

με αυτά της μπαταρίας νικελίου-καδμίου όσον αφορά την εκφόρτιση. Η υψηλή τάση των στοιχείων 3,6 βολτ επιτρέπει διατάξεις συστοιχιών με μόνο ένα στοιχείο. Τα περισσότερα από τα κινητά τηλέφωνα σήμερα λειτουργούν με ένα μόνο κύτταρο. Μια συστοιχία μπαταριών με βάση το νικέλιο θα απαιτούσε τρία στοιχεία 1,2 βολτ που συνδέονται σε σειρά.

Οι μπαταρίες ιόντων λιθίου είναι χαμηλής συντήρησης, ένα πλεονέκτημα που οι περισσότερες άλλες μπαταρίες δεν κατέχουν. Δεν υπάρχει μνήμη μπαταρίας και δεν πρέπει να προγραμματιστούν οι κύκλοι φόρτισης –εκφόρτισης ώστε να παραταθεί η διάρκεια ζωής τους. Επιπλέον, η αυτο-εκφόρτιση σε κατάσταση αποθήκευσης είναι λιγότερη από το μισό σε σύγκριση με τις μπαταρίες νικελίου-καδμίου, καθιστώντας την τεχνολογία ιόντων λιθίου κατάλληλη για σύγχρονες εφαρμογές μετρητή καυσίμων. Επίσης, οι κυψέλες ιόντων λιθίου προκαλούν μικρή βλάβη/ρύπανση όταν απορρίπτονται.

Παρά τα αρκετά πλεονεκτήματά τους, οι μπαταρίες ιόντων λιθίου έχουν και κάποια μειονεκτήματα. Είναι εύθραυστες και απαιτούν ένα κύκλωμα προστασίας για να διατηρηθεί η ασφαλής λειτουργία. Ενσωματωμένο σε κάθε πακέτο, το κύκλωμα προστασίας περιορίζει την τάση αιχμής του κάθε στοιχείου κατά τη διάρκεια φόρτισης και εμποδίζει την τάση κυττάρων από μείωση σε πολύ χαμηλά επίπεδα κατά την εκφόρτιση. Επιπλέον, η θερμοκρασία του θαλάμου των στοιχείων θα πρέπει να παρακολουθείται να αποτρέψει ακραίες θερμοκρασίες. Το μέγιστο φορτίο και ρεύμα εκφόρτισης στα περισσότερα στοιχεία περιορίζεται μεταξύ 1C και 2C. Με αυτές τις προφυλάξεις, η πιθανότητα εμφάνισης μεταλλικών ελασμάτων λιθίου που συμβαίνουν λόγω υπερφόρτισης, σχεδόν εξαλείφεται.

Το ζήτημα της γήρανσης αποτελεί έναν προβληματισμό για τις περισσότερες μπαταρίες ιόντων λιθίου και πολλοί κατασκευαστές παραμένουν σιωπηλοί σχετικά με αυτό το θέμα. Η μείωση της χωρητικότητας είναι εμφανής μετά από ένα έτος, ανεξάρτητα από το εάν η μπαταρία είναι σε χρήση ή όχι. Η μπαταρία βγαίνει εκτός λειτουργίας συχνά, μετά από δύο ή τρία χρόνια. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι και άλλες τεχνολογίες σχετίζονται επίσης με εκφυλιστικές επιδράσεις γήρανσης. Αυτό συμβαίνει σε μεγάλο βαθμό στις μπαταρίες νικελίου -υδριδίου μετάλλου αν εκτεθούν σε υψηλές θερμοκρασίες περιβάλλοντος. Την ίδια στιγμή, οι συστοιχίες των

μπαταριών ιόντων λιθίου μπορεί να διαρκέσουν ως και πέντε έτη σε ορισμένες εφαρμογές.

Οι κατασκευαστές βελτιώνουν συνεχώς τις μπαταρίες ιόντων λιθίου. Οι νέες και βελτιωμένες τεχνολογίες με συνδυασμούς χημικών στοιχείων εισάγονται κάθε έξι μήνες περίπου. Με μια τέτοια ταχεία πρόοδος, είναι δύσκολο να εκτιμηθεί η απόδοση της μπαταρίας κατά τη γήρανση.

Η αποθήκευση σε δροσερό μέρος επιβραδύνει τη διαδικασία γήρανσης της μπαταρίας ιόντων λιθίου (και άλλων τεχνολογιών). Οι κατασκευαστές συνιστούν αποθήκευση σε θερμοκρασίες των 15 ° C (59 ° F). Επιπλέον, η μπαταρία πρέπει να φορτιστεί εν μέρει κατά τη διάρκεια της αποθήκευσης. Ο κατασκευαστής συνιστά φόρτιση κατά 40%.

Η πιο οικονομική μπαταρία ιόντων λιθίου από την άποψη της σχέσης κόστους-ενέργειας είναι η κυλινδρική 18650 (18mm x 65,2 mm). Αυτό το κύτταρο χρησιμοποιείται για σε εφαρμογές κινητών υπολογιστών και άλλες εφαρμογές που δεν απαιτούν εξαιρετικά λεπτή γεωμετρία. Εάν απαιτείται ένα ιδιαίτερα λεπτό στοιχείο, η πρισματική μπαταρία ιόντων λιθίου είναι η καλύτερη επιλογή. Αυτά τα στοιχεία έχουν υψηλότερο κόστος σε σχέση με την αποθηκευμένη ενέργεια.

Πλεονεκτήματα

- Υψηλή ενεργειακή πυκνότητα - δυνατότητες για ακόμη υψηλότερες χωρητικότητες.
- Δεν χρειάζεται παρατεταμένη πλήρωση όταν η μπαταρία είναι νέα. Μια κανονική φόρτιση είναι το μόνο που χρειάζεται.
- Σχετικά χαμηλή αυτοεκφόρτιση – η αυτοεκφόρτιση είναι λιγότερο από το ήμισυ των μπαταριών νικελίου.
- Χαμηλή Συντήρηση - δεν χρειάζεται περιοδική εκφόρτιση καθώς δεν υπάρχει μνήμη.
- Εξειδικευμένα κύτταρα μπορούν να παρέχουν πολύ υψηλό ρεύμα σε εφαρμογές όπως τα ηλεκτρικά εργαλεία.

Περιορισμοί

- Απαιτεί κύκλωμα προστασίας για τη διατήρηση της τάσης και του ρεύματος εντός ασφαλών ορίων.

- Γήρανση, ακόμη και αν δεν είναι σε χρήση – η αποθήκευση σε δροσερό μέρος σε φόρτιση κατά 40% μειώνει τη γήρανση.
- Περιορισμοί μεταφοράς - μεταφορά μεγαλύτερων ποσοτήτων μπορεί να υπόκειται σε ρυθμιστικό έλεγχο.
- Δαπανηρή κατασκευή - περίπου 40 τοις εκατό πιο ακριβή από τις μπαταρίες νικελίου-καδμίου.
- Δεν είναι πλήρως ώριμη τεχνολογία – τα μέταλλα και οι χημικές ενώσεις αλλάζουν σε συνεχή βάση.

2.4.2.3 Η μπαταρία πολυμερών λιθίου

Η μπαταρία πολυμερούς λιθίου διαφοροποιείται από τα συμβατικά συστήματα μπαταρίας του τύπου ηλεκτρολύτη. Το αρχικό σχέδιο, που χρονολογείται από τη δεκαετία του 1970, χρησιμοποιεί ξηρούς στερεούς πολυμερείς ηλεκτρολύτες. Η διάταξη αυτή μοιάζει με έναν πλαστικό ηλεκτρολύτη σαν ταινία που δεν άγει τον ηλεκτρισμό, αλλά επιτρέπει την ανταλλαγή ιόντων (ηλεκτρικά φορτισμένα άτομα ή ομάδες ατόμων). Οι πλαστικοί ηλεκτρολύτες αντικαθιστούν το παραδοσιακό πορώδες διαχωριστικό, το οποίο είναι εμποτισμένο με ηλεκτρολύτη.

Ο ξηρός σχεδιασμός του πολυμερούς προσφέρει απλουστεύσεις σε σχέση με τη κατασκευή, τη τραχύτητα, την ασφάλεια και προφίλ λεπτής γεωμετρίας. Το πάχος του κάθε στοιχείου φτάνει το ένα χιλιοστό (0,039 ίντσες) και ως εκ τούτου οι σχεδιαστές μπορούν να πάρουν πολλές αποφάσεις ως προς τη μορφή, το σχήμα και το μέγεθος.

Δυστυχώς, η ξηρή μπαταρία πολυμερούς λιθίου υποφέρει από κακή αγωγιμότητα. Η εσωτερική αντίσταση είναι πολύ υψηλή και δεν μπορεί να αποδώσει τα υψηλά ρεύματα αιχμής που απαιτούνται για να τροφοδοτήσουν τις σύγχρονες συσκευές επικοινωνίας και τους σκληρούς δίσκους του κινητού εξοπλισμού πληροφορικής. Η θέρμανση του κυττάρου στους 60° C (140° F) οδηγεί σε υψηλότερες αυξήσεις της αγωγιμότητας, απαίτηση η οποία είναι ακατάλληλη για φορητές εφαρμογές.

Προς συμβιβασμό, έχει προστεθεί ένας ηλεκτρολύτης gel. Τα εμπορικά στοιχεία χρησιμοποιούν μια μεμβράνη διαχωριστή / ηλεκτρολύτη που παρασκευάζεται από τον ίδιο παραδοσιακό πορώδες διαχωριστικό από πολυαιθυλένιο ή πολυπροπυλένιο γεμάτο με ένα πολυμερές, το οποίο πήζει κατά την πλήρωση με τον υγρό ηλεκτρολύτη. Έτσι, τα εμπορικά στοιχεία πολυμερούς λιθίου-ιόντων είναι πολύ παρόμοια στη χημεία και τα υλικά με τα αντίστοιχα υγρά στοιχεία.

Τα πολυμερή ιόντων λιθίου δεν έχουν αναπτυχθεί όπως αναμενόταν από κάποιους ερευνητές, καθώς δεν έχει ακόμα γίνει αντιληπτή η υπεροχή των στοιχείων αυτών και το χαμηλό κόστος παραγωγής.

Πλεονεκτήματα

- Πολύ χαμηλό προφίλ - ηλεκτρικές στήλες που μοιάζουν με το προφίλ μιας πιστωτικής κάρτας είναι εφικτές.
- Ευέλικτη μορφή – οι κατασκευαστές δεν δεσμεύονται από τυποποιημένες μορφές κελιών. Με την οικονομία κλίμακας, στοιχεία κάθε μεγέθους μπορούν να παραχθούν οικονομικά.
- Μικρό βάρος – με τη προσθήκη των ηλεκτρολυτών gel επιτρέπεται η απλουστευμένη συσκευασία με την εξάλειψη του μεταλλικού περιβλήματος.
- Βελτίωση της ασφάλειας – μεγαλύτερη αντοχή στην υπερφόρτιση, λιγότερες πιθανότητες για διαρροή ηλεκτρολυτών.

Περιορισμοί

- Χαμηλότερη ενεργειακή πυκνότητα και μείωση του αριθμού των κύκλων σε σχέση με τις μπαταρίες ιόντων λιθίου.
- Υψηλό κόστος κατασκευής.
- Δεν υπάρχουν τυποποιημένα μεγέθη. Τα περισσότερα κύτταρα παράγονται για καταναλωτικές αγορές υψηλού όγκου.
- Υψηλότερη αναλογία κόστους- ενέργειας από τη μπαταρία ιόντων λιθίου

2.5 ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΟΣ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ ΜΕΤΑΤΡΟΠΕΙΣ

Στα μικροδίκτυα χρησιμοποιούνται μετατροπείς DC/AC οι οποίοι έχουν σχεδιαστεί για να καλύπτουν απομονωμένα φορτία μετατρέποντας την ισχύ που παράγεται από μια πηγή DC σε ισχύ με AC χαρακτηριστικά, τα οποία προσομοιάζουν την ενέργεια

που θα λάμβανε το φορτίο αυτό αν ήταν συνδεδεμένο στο δίκτυο. Μετατροπείς χρησιμοποιούνται σε πολλές εφαρμογές, όπως σε περιπτώσεις όπου η ενέργεια από DC πηγές, όπως μπαταρίες, φωτοβολταϊκά και κυψέλες καυσίμου πρέπει να μετατραπεί έτσι ώστε να μπορούν να καλύψουν τις ενεργειακές ανάγκες φορτίων AC. Παράδειγμα τέτοιων εφαρμογών είναι τα αυτόνομα φωτοβολταϊκά συστήματα, όπου η φωτοβολταϊκή συστοιχία παράγει ρεύμα DC υπό μία χαμηλή τάση DC (24 ή 48 V) και μέσω του μετατροπέα αυτά μετατρέπονται σε AC για την κάλυψη των φορτίων μίας κατοικίας που δεν έχει καμία σύνδεση με το δημόσιο δίκτυο.

Οι τρεις βασικές λειτουργίες που εκτελεί ένας αντιστροφέας είναι οι εξής:

- Μετατροπή του ρεύματος σε εναλλασσόμενο.
- Μετασχηματισμός του ρεύματος σε ημιτονοειδή κυματομορφή με συγκεκριμένη συχνότητα.
- Ενίσχυση της τάσης της DC πηγής με μετατροπέα DC/DC.

Με βάση τις ανωτέρω λειτουργίες, καθορίζονται τα επιμέρους στοιχεία του αντιστροφέα και ως εκ τούτου προσδιορίζεται η απόδοση και οι απώλειες. Αντί του DC/DC μετατροπέα, μπορεί να χρησιμοποιηθεί μετασχηματιστής αλλά αυξάνει τις απώλειες. Άλλο στοιχείο που πρέπει να ενσωματωθεί στην έξοδο του αντιστροφέα είναι το φίλτρο που θα αποκόψει τις ανώτερες αρμονικές συνιστώσες που προκύπτουν από τη λειτουργία των διακοπτικών στοιχείων, ώστε να λάβουμε στην έξοδο όσο το δυνατόν πιο καθαρό ημίτονο.

Οι υψηλότερες μέγιστες αποδόσεις επιτυγχάνονται στους αντιστροφείς που δεν περιλαμβάνουν στην διάταξή τους μετασχηματιστή, με μέση μέγιστη απόδοση εμπορικών αντιστροφέων της τάξεως του 96,5%. Η ευρωπαϊκή απόδοση είναι μία μέτρηση που έχει καθιερωθεί από τα ευρωπαϊκά πρότυπα ώστε να δώσει μία εκτίμηση της απόδοσης του αντιστροφέα σε πραγματικές συνθήκες λειτουργίας. Η ανάγκη καθιέρωσης ενός τέτοιου δείκτη, δημιουργήθηκε καθώς η απόδοση του αντιστροφέα μεταβάλλεται με την μεταβολή των συνθηκών ακτινοβολίας και θερμοκρασίας. Η ευρωπαϊκή απόδοση ορίζεται ως:

$$n_{\text{euro}} = 0.03 \cdot n_5 + 0.06 \cdot n_{10} + 0.13 \cdot n_{20} + 0.1 \cdot n_{30} + 0.48 \cdot n_{50} + 0.2 \cdot n_{100}$$

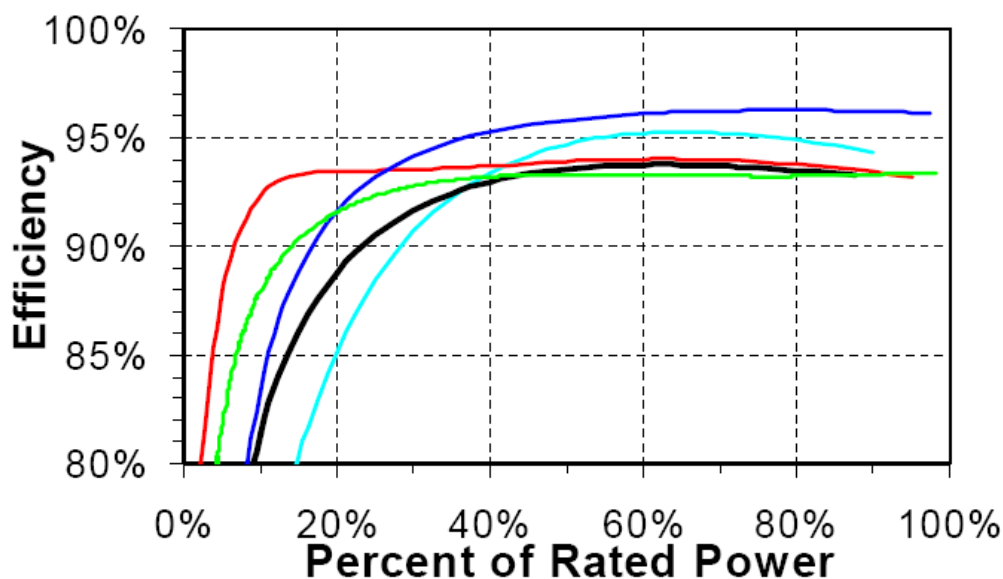
Τις υψηλότερες ευρωπαϊκές αποδόσεις έχουν πάλι οι αντιστροφείς χωρίς μετασχηματιστή. (~90%).

Διάφορες εφαρμογές των διατάξεων αντιστροφών DC/AC υπάρχουν σήμερα, όπως:

- Έλεγχος ταχύτητας ηλεκτρικών μηχανών AC
- Αντιστάθμιση αέργου ισχύος σε δίκτυα (SVC-Static Var Compansator) ή ως ενεργά φίλτρα σε συστήματα μεταφοράς ισχύος (FACTS-Flexible AC Transmission Systems)
- Έλεγχος τάσης εξόδου σε αιολικά συστήματα
- Έλεγχος θερμοκρασίας με επαγωγή
- Γενικά σε συστήματα Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας
- Διατάξεις Αδιάκοπης Παροχής Ισχύος (UPS-Uninterruptible Power Supplies)

Οι κύριες κατηγορίες αντιστροφών σε σχέση με την πηγή που θεωρείται στην είσοδο τους είναι οι εξής:

- Αντιστροφείς πηγής τάσεως (στην DC πλευρά του αντιστροφέα υπάρχει πηγή DC τάσης)
- Αντιστροφείς πηγής ρεύματος (στην DC πλευρά του αντιστροφέα υπάρχει πηγή DC ρεύματος)



Εικόνα 2-12 Τυπικές αποδόσεις αντιστροφέων ανάλογα με το επίπεδο ισχύος. (Πηγή: SMA)

Οι αντιστροφείς VSI είναι ο πιο συνηθισμένος τύπος αντιστροφέα και βρίσκει εφαρμογή στις περισσότερες βιομηχανικές διατάξεις. Οι αντιστροφείς πηγής ρεύματος βρίσκουν εφαρμογή κυρίως σε μηχανές πολύ υψηλής ισχύος.

Σχετικά με την τοπολογία των αντιστροφέων πηγής τάσεως, υπάρχουν διάφοροι τύποι ανάλογα με τον αριθμό και τη συνδεσμολογία των διακοπτικών στοιχείων που περιλαμβάνει η διάταξη του αντιστροφέα, μονοφασικοί αντιστροφείς ημιγέφυρας, μονοφασικοί αντιστροφείς γέφυρας και τριφασικοί αντιστροφείς.

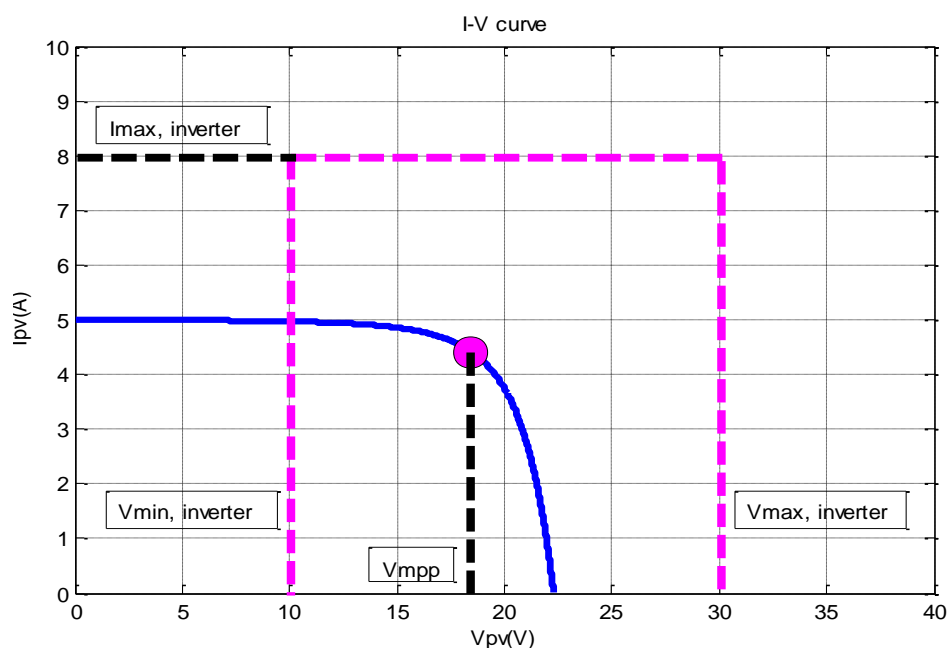
Από την Εικόνα 10 φαίνεται ότι η απόδοση του αντιστροφέα δεν διατηρείται σταθερή σε όλα τα επίπεδα ισχύος. Προκειμένου να έχουμε υψηλές αποδόσεις ο αντιστροφέας πρέπει να είναι κοντά στο πλήρες φορτίο. Όμως αυτό δεν είναι πάντα δυνατό. Μερικά συστήματα δεν φτάνουν ποτέ την ονομαστική τους ισχύ λόγω της ανεπαρκούς κλίσης, του προσανατολισμού ή της ακτινοβολίας στην περιοχή. Οι μέσες ετήσιες αποδόσεις των αντιστροφέων είναι συνήθως 6-8% χαμηλότερες από τις ονομαστικές. Η υποδιαστασιολόγηση μεταθέτει την μέγιστη απόδοση σε πιο χαμηλά επίπεδα ισχύος, στα οποία λειτουργεί ο αντιστροφέας τις περισσότερες ώρες του έτους.

Οι μετατροπείς χρησιμοποιούν την διαδικασία εντοπισμού του σημείου λειτουργίας μέγιστης ισχύος (MPPT) για να πάρουν τη μέγιστη δυνατή ισχύ από τη DC

γεννήτρια. Για παράδειγμα, τα Φ/Β στοιχεία παρουσιάζουν μια σύνθετη σχέση μεταξύ της ηλιακής ακτινοβολίας, της θερμοκρασίας και της συνολική αντίστασης, η οποία έχει σαν αποτέλεσμα μία μη γραμμική καμπύλη απόδοσης εξόδου (Εικόνα 11). Ο σκοπός του συστήματος MPPT είναι να δοκιμάζει την έξοδο των στοιχείων και να καθορίσει το ζεύγος τάσης και ρεύματος που επιτυγχάνει τη μέγιστη ισχύ για κάθε δεδομένες περιβαλλοντικές συνθήκες. Το εύρος των τάσεων όπου εκτελείται το MPPT (Maximum Power Point Tracking - Εύρεση Σημείου Μέγιστης Ισχύος) δίνεται ώστε να μπορεί να προσδιοριστεί η συμβατότητα με την τάση MPPT της DC γεννήτριας.

Υπάρχουν τρεις κύριοι τύποι αλγορίθμων MPPT: perturb and observe, incremental conductance και constant voltage. Οι δύο πρώτες μέθοδοι που συχνά αναφέρονται ως μέθοδοι αναρρίχησης λόφου, βασίζονται στην καμπύλη της ισχύος συναρτήσεως της τάσης η οποία έχει θετική κλίση αριστερά του σημείου μέγιστης ισχύος και αρνητική στη δεξιά πλευρά αυτού.

Στην Εικόνα 11 φαίνεται η καμπύλη I-V μιας Φ/Β πηγής και τα όρια τάσεως και ρεύματος του αντιστροφέα. Θα πρέπει η I-V στις κανονικές συνθήκες να παρουσιάζει το σημείο MPP κάπου στα μέσα του παραθύρου τάσης του αντιστροφέα, ώστε να υπάρχουν περιθώρια για τις μεταβολές της τάσης της πηγής λόγω θερμοκρασίας.



2.6 ΜΙΚΡΟΔΙΚΤΥΑ

2.6.1 Τρόπος λειτουργίας

Βασικό χαρακτηριστικό των μικροδικτύων είναι ο συντονισμένος έλεγχος ώστε να μην επιβαρύνουν το δίκτυο. Επιπλέον, μπορούν να λειτουργούν σε διττή λειτουργία, δηλαδή να συνδέονται και να αποσυνδέονται από το δίκτυο ανάλογα με τις ανάγκες τους, βάση των σημάτων που λαμβάνουν από το σύστημα ελέγχου τους, και παράλληλα να συνεχίζουν τη λειτουργία τους αδιάλειπτα. Σημαντικό είναι να αναφέρουμε εδώ, ότι τα μικροδίκτυα δεν χρειάζονται να λαμβάνουν σήματα από το σύστημα ελέγχου του κεντρικού δικτύου και έτσι δεν το επιβαρύνουν.

Αυτή η δυνατότητα βεβαίως απαιτεί εξελιγμένες υποδομές προστασίας, ελέγχου και τηλεπικοινωνιών, προκειμένου να είναι σε θέση να απομονώσουν το μικροδίκτυο και να παράσχουν σταθερή, αυτόνομη λειτουργία. Η διαρκής όμως πρόοδος στον τομέα των τηλεπικοινωνιών και ελεγκτών των πηγών διεσπαρμένης παραγωγής συμβάλλει ώστε τέτοια λειτουργία να γίνεται ολοένα και περισσότερο εύκολο να επιτευχθεί τόσο τεχνικά όσο και οικονομικά.

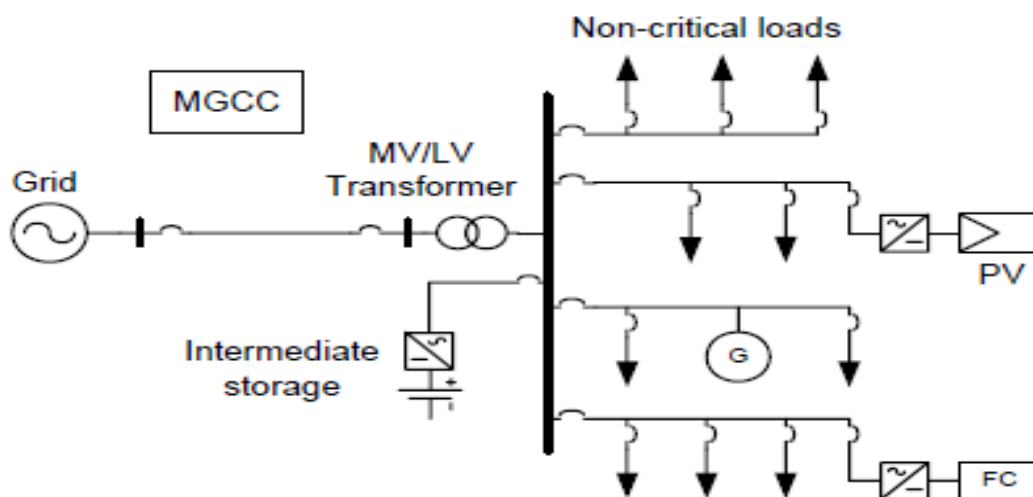
Οι πηγές ενέργειας μπορεί να είναι:

- Ανεμογεννήτριες
- Φωτοβολταϊκά
- Κυψέλες καυσίμου
- Βιομάζα
- Γεννήτριες ντίζελ
- Γεννήτριες φυσικού αερίου

- Συμπαράγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και ζεστού νερού χρήσης
- Γεωθερμία
- Ηλιοθερμία

Τα συνδεδεμένα φορτία μπορεί να είναι κρίσιμα, ή μη κρίσιμα. Τα κρίσιμα φορτία απαιτούν αξιόπιστη πηγή ενέργειας και αυστηρές προδιαγραφές ποιότητας ισχύος. Τα φορτία αυτά συνήθως κατέχουν τις *microsources* επειδή απαιτούν συνεχή παροχή ενεργειακού εφοδιασμού. Τα μη κρίσιμα φορτία μπορεί να απορριφθούν κατά τη διάρκεια συνθηκών έκτακτης ανάγκης και όταν απαιτείται, όπως ορίζεται από τις πολιτικές λειτουργίας του μικροδίκτυου.

Η ενδιάμεση συσκευή αποθήκευσης ενέργειας αποτελείται από inverter – interfaced συστοιχία μπαταριών, supercapacitors ή σφονδύλους. Η συσκευή αποθήκευσης στο μικροδίκτυο είναι ανάλογη με την στρεφόμενη εφεδρεία των μεγάλων γεννητριών στο συμβατικό δίκτυο. Εξασφαλίζει την ισορροπία μεταξύ της ενέργειας παραγωγής και κατανάλωσης, ιδίως κατά τη διάρκεια της απότομης αλλαγής στο φορτίο ή στην παραγωγή.



Εικόνα 2-14: Σχηματικό διάγραμμα μικροδικτύου.

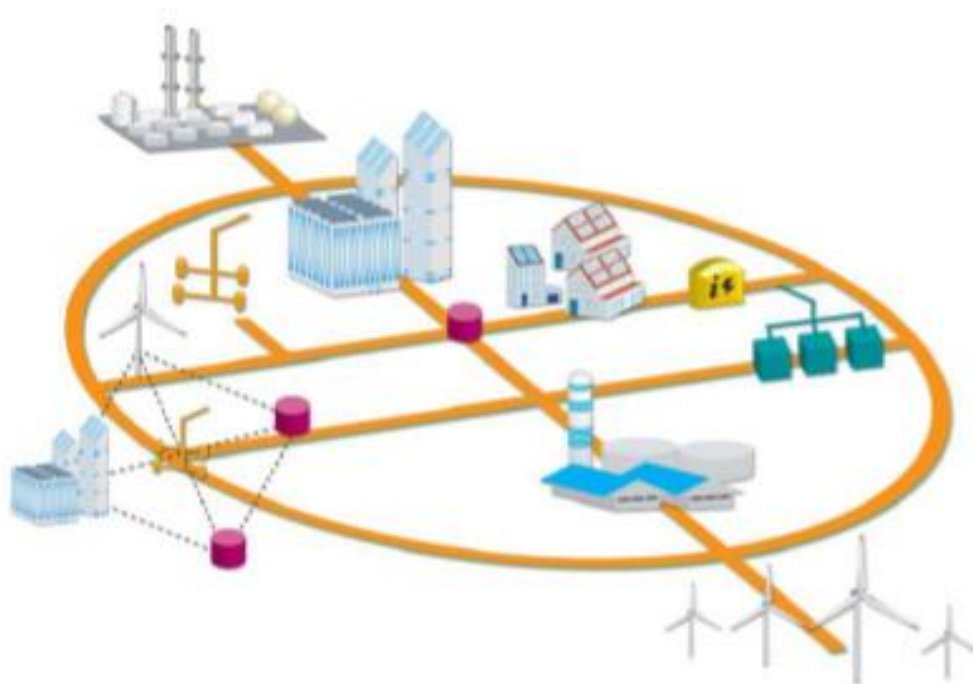
Το μικροδίκτυο στην Εικόνα 12 έχει μια ειδική συσκευή αποθήκευσης στο σημείο σύνδεσης με το δίκτυο. Μια άλλη μέθοδος ενσωμάτωσης της αποθήκευσης ενέργειας στο μικροδίκτυο είναι η εγκατάσταση συστοιχιών συσσωρευτών στις DC συνδέσεις των μετατροπέων της των πηγών.

Οι μονάδες αποθήκευσης μπορεί να είναι:

- Μπαταρίες (ηλεκτρικοί συσσωρευτές) μολύβδου οξέως βαθιάς εκφόρτισης.
- Αποθήκευση ενέργειας με πεπιεσμένο αέρα (Compressed Air Energy Storage, CAES). Η συμπίεση του αέρα γίνεται με κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας. Στη συνέχεια, ο πεπιεσμένος αέρας κινεί στρόβιλο και παράγει εκ νέου ηλεκτρική ενέργεια.
- Σφόνδυλοι (flywheels). Πρόκειται για διατάξεις όπου μέσω ενός κινητήρα-γεννήτριας μπορεί να γίνει αποθήκευση με την μορφή κινητικής ενέργειας σε μια στρεφόμενη μάζα.
- Υπεραγώγιμες διατάξεις. Εφαρμογές με διατάξεις που χρησιμοποιούν υγρό ήλιο είναι ήδη σε εμπορική εκμετάλλευση ενώ επίσης διατάξεις υγρού αζώτου αναμένονται στο άμεσο μέλλον.
- Αντλησιοταμίευση. Η ενέργεια που παράγεται από αιολικά κυρίως πάρκα και υβριδικά συστήματα σε νησιά, αξιοποιείται για την άντληση και αποταμίευση νερού σε υψηλότερη στάθμη. Στη συνέχεια το νερό αυτό μπορεί να απελευθερωθεί και μέσω υδροστροβίλου να παράγει ηλεκτρική ενέργεια.

Ένα μικροδίκτυο μπορεί να θεωρηθεί ως μια οντότητα που ελέγχεται από το ενεργειακό σύστημα και μπορεί να χρησιμοποιηθεί για μεμονωμένα φορτία, μια μικρή πηγή ενέργειας είτε ως δευτερεύουσα δραστηριότητα, που λειτουργεί ως υποστήριξη δικτύου. Ως προς τον καταναλωτή, το μικροδίκτυο μπορεί να καλύψει τις ανάγκες του για παραγωγή θερμότητας και ηλεκτρισμού, παρόμοια με τα παραδοσιακά δίκτυα διανομής μέσης τάσης, αλλά και ενισχύει την τοπική αξιοπιστία, τη μείωση των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου και βελτιώνει τη ποιότητα ισχύος.

Το πιο σημαντικό χαρακτηριστικό του μικροδικτύου είναι ότι ενώ υπό κανονικές συνθήκες συνδέεται με την κανονική λειτουργία του δικτύου, μπορεί να τοποθετηθεί αυτόματα σε λειτουργία σε μεμονωμένες περιπτώσεις. Επομένως, ένα μικροδίκτυο με τα κατάλληλα οικονομικά κίνητρα μπορεί να προσφέρει και βοηθητικές υπηρεσίες στο δίκτυο καθώς διαθέτει την υποδομή των συστημάτων ελέγχου.



Εικόνα 2-15: Ένα τοπικό μικροδίκτυο μεγάλης έκτασης

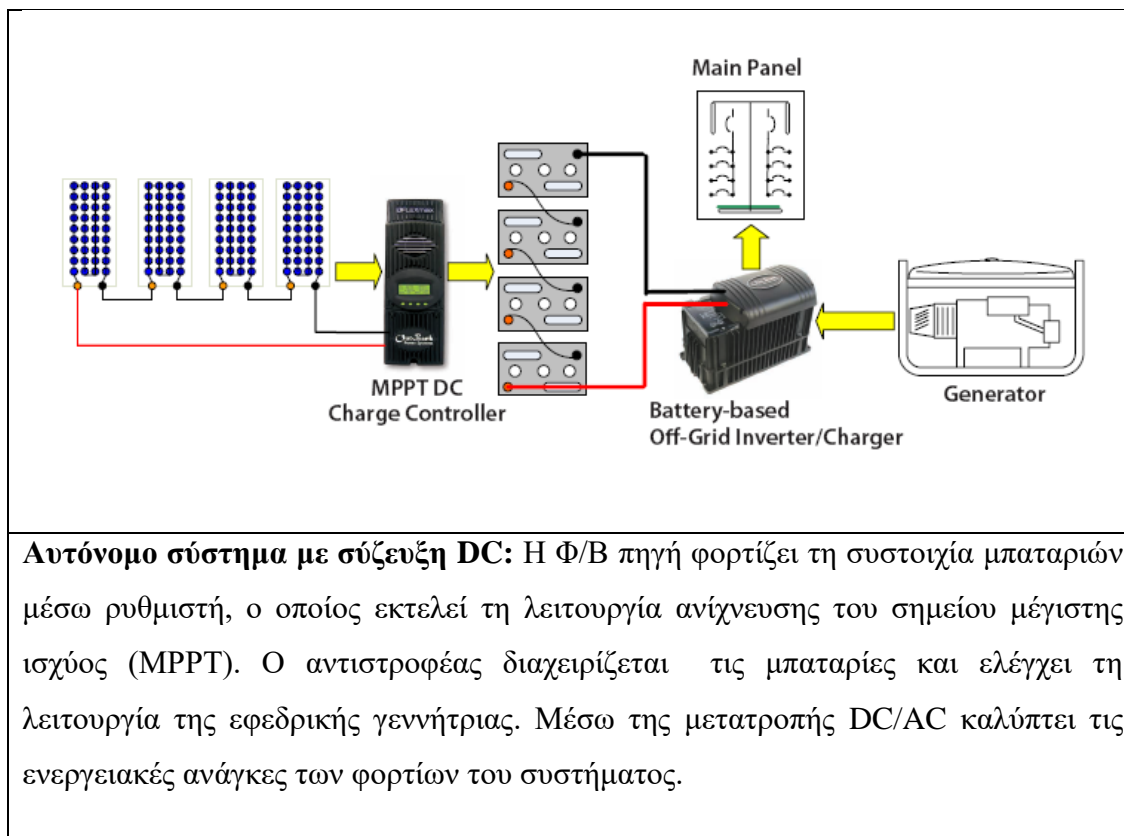
2.6.2 Τεχνικά χαρακτηριστικά

Στο υβριδικό σύστημα του μικροδικτύου ενσωματώνονται διάφορες μονάδες που αξιοποιούν ανανεώσιμες πηγές, όπως φωτοβολταϊκοί συλλέκτες, ανεμογεννήτριες κ.λπ. Συνήθως εγκαθίσταται ως εφεδρεία γεννήτρια diesel. Παλαιότερα αποτελούσε κοινή πρακτική η σύζευξη των επιμέρους συστημάτων στην DC πλευρά του συστήματος. Στη διαμόρφωση με DC σύζευξη, τα Φ/Β ή/και η ανεμογεννήτρια φορτίζουν τις μπαταρίες μέσω κατάλληλων ρυθμιστών. Στη συνέχεια η

αποθηκευμένη ενέργεια των μπαταριών αντλείται για την άμεση τροφοδότηση φορτίων DC ή, μέσω αντιστροφών, την κάλυψη των AC καταναλώσεων.

Η σύζευξη AC σε συστήματα τροφοδοσίας για δίκτυα απομακρυσμένων περιοχών αποτελεί την τεχνολογία του μέλλοντος, εφόσον παρουσιάζει σημαντικά πλεονεκτήματα. Η διάταξη των μικροδικτύων με σύζευξη στην πλευρά AC περιέχει τα εξής στοιχεία:

- Απλό αντιστροφέα (inverter) δικτύου χωρίς μπαταρίες που μετατρέπει το DC ρεύμα που παράγεται από τις ανανεώσιμες πηγές σε AC
- Έναν αντιστροφέα μπαταριών που διαμορφώνει το AC δίκτυο και αποτελεί κεντρικό μέρος του συστήματος. Ο εν λόγω αντιστροφέας διαχειρίζεται την φόρτιση και εκφόρτιση των μπαταριών.
- Η ενέργεια από τις ανανεώσιμες πηγές κατευθύνεται προς τις μπαταρίες μέσω δύο διαδοχικών μετατροπών DC/ AC (στον αντιστροφέα της πηγής) και AC/DC(στον κεντρικό αντιστροφέα).



Τα βασικά πλεονεκτήματα του μικροδικτύου AC είναι η επεκτασιμότητα και η ευκολία στη διαμόρφωση λόγω της χρήσης τυποποιημένου εξοπλισμού. Κάθε επιμέρους σύστημα (πηγές, φορτία, μπαταρίες) συνδέεται σε ένα δίκτυο AC. Το γεγονός αυτό επιτρέπει την εφαρμογή καθιερωμένων προτύπων για τη διασύνδεση των διατάξεων σε δίκτυα AC χαμηλής τάσης. Η επέκταση του συστήματος όταν οι ενεργειακές ανάγκες αυξηθούν γίνεται εύκολα, σαν να εγκαθίσταται και να συνδέεται ένα νέο σύστημα στο δίκτυο. Η εκτίμηση των μελλοντικών ενεργειακών αναγκών είναι δύσκολη υπόθεση (ειδικά σε μεγάλα συστήματα) και συχνά οδηγεί σε υπέρ- ή υπό- διαστασιολόγηση. Κάθε πηγή συνδέεται στο δίκτυο AC και με αυτόν τον τρόπο διαμορφώνεται ένας μικρός σταθμός παραγωγής που επεκτείνεται εύκολα ανάλογα με τις ανάγκες.

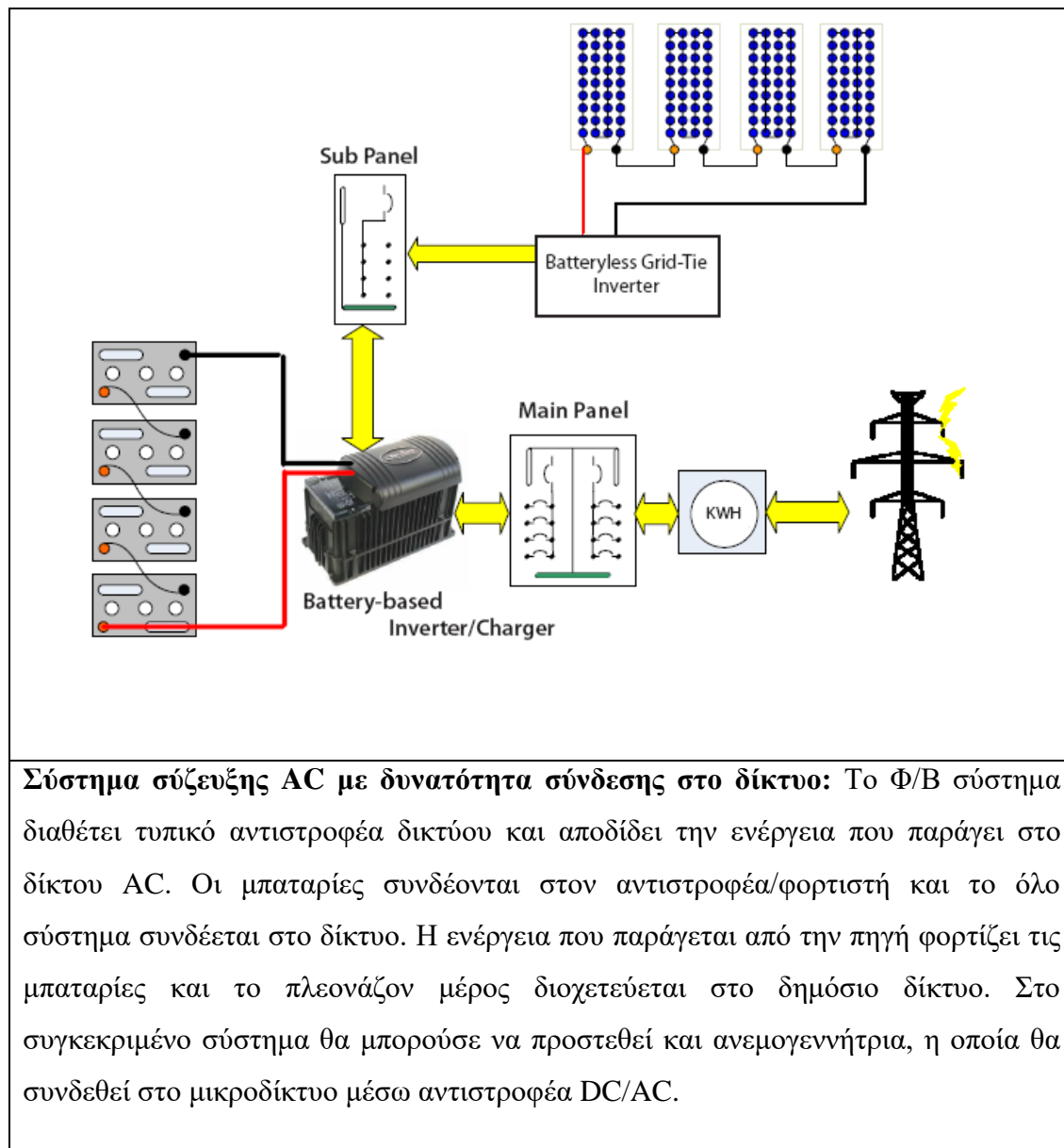
Επιπλέον, τα μικροδίκτυα έχουν τη δυνατότητα διασύνδεσης και λειτουργίας βάσει κοινών παραμέτρων. Έτσι, πολλά μικρά συστήματα μπορούν να συνδυαστούν απλά, με σύνδεση στην AC πλευρά. Το γεγονός αυτό διευκολύνει την διαμόρφωση μεγαλύτερων συστημάτων, για παράδειγμα σε επίπεδο κοινότητας, ενώ παράλληλα ενισχύει την αξιοπιστία εξασφαλίζοντας σε μεγαλύτερο βαθμό την κάλυψη των φορτίων.

Τα μικροδίκτυα AC έχουν την δυνατότητα της σύνδεσης με το δημόσιο δίκτυο, οποιαδήποτε στιγμή. Αυτό αποτελεί σημαντικό πλεονέκτημα, ιδιαίτερα σε περιοχές που το δίκτυο επεκτείνεται γρήγορα. Ακόμα όμως και σε περίπτωση παράλληλης με το δίκτυο λειτουργίας, το μικροδίκτυο θα συνεχίσει να τροφοδοτεί τα φορτία όταν η παροχή από το δημόσιο δίκτυο διακοπεί.

Το μόνο μειονέκτημα των μικροδικτύων AC είναι η λίγο μικρότερη απόδοση, σε σύγκριση με τα δίκτυα DC σύζευξης, λόγω των περισσότερων μετατροπών από DC σε AC και αντίστροφα. Αυτό μπορεί να επηρεάσει περισσότερο συστήματα στα οποία η κατανάλωση και η παραγωγή συμβαίνουν σε διαφορετικούς χρόνους, οπότε και μεγαλύτερο μέρος της ενέργειας αποθηκεύεται στις μπαταρίες.

Τεχνικά, η μεγαλύτερη πρόκληση σε ένα μικροδίκτυο AC είναι ο συντονισμός των επιμέρους συστημάτων και ιδιαίτερα των αντιστροφικών μπαταριών αφού αυτοί συνήθως διαμορφώνουν το δίκτυο AC. Η διαδικασία έχει ως εξής: Ο αντιστροφέας μπαταριών σχηματίζει το δίκτυο εναλλασσόμενου ρεύματος, ρυθμίζοντας την τάση

και τη συχνότητα στην πλευρά AC. Τα φορτία και τα συστήματα παραγωγής ενέργειας συνδέονται απευθείας στο δίκτυο αυτό. Εάν ανιχνευθεί πλεόνασμα ενέργειας λόγω λειτουργίας των μονάδων παραγωγής, ο αντιστροφέας μπαταριών λαμβάνει ενέργεια από το δίκτυο και φορτίζει τις μπαταρίες. Σε περίπτωση που οι πηγές δεν καλύπτουν τις ενεργειακές ανάγκες του φορτίου, ο κεντρικός αντιστροφέας αντλεί ενέργεια από τις μπαταρίες.



Εάν σε κάποιο σύστημα λειτουργούν περισσότεροι του ενός κεντρικοί αντιστροφείς μπαταριών, αυτοί θα πρέπει να έχουν ακριβώς την ίδια συχνότητα και φάση, μοιράζοντας ισότιμα τις διαδικασίες φόρτισης και εκφόρτισης. Αυτό συνήθως

πραγματοποιείται με την επικοινωνία των αντιστροφών σε λειτουργία master/slave. Η υλοποίηση αυτή επιτρέπει την επεκτασιμότητα σε μικρά συστήματα αλλά δεν λειτουργεί καλά σε περίπτωση συνδυασμού πολλών επιμέρους μικροδικτύων αφού απαιτείται σημαντικός επανασχεδιασμός. Μία νέα μέθοδος που ονομάζεται drooping επιτρέπει την multi-master λειτουργία, αφού χρησιμοποιεί ως μέσω επικοινωνίας την τάση και συχνότητα του δικτύου.

Στο μικροδίκτυο AC μπορεί εύκολα να ενσωματωθεί συμβατική γεννήτρια η οποία λειτουργεί εφεδρικά. Η απευθείας σύνδεση στο δίκτυο AC απαιτεί τη χρήση διατάξεων ελέγχου υψηλού κόστους. Έτσι, η γεννήτρια ελέγχεται από τον αντιστροφή μπαταριών.

Η βασική λειτουργία των αντιστροφών (ή μετατροπών DC/AC) είναι ότι μετατρέπουν την DC ισχύ που παράγεται από την μία πηγή σε AC, χρησιμοποιώντας ηλεκτρονικά ισχύος. Μπορεί να είναι κατάλληλοι για διασύνδεση στο δημόσιο δίκτυο ή για αυτόνομη λειτουργία καθώς και για λειτουργία σε συνδυασμό με μέσα αποθήκευσης ενέργειας (μπαταρίες), πηγές ενέργειας και σύνδεση με το δίκτυο. Διαφοροποιούνται εκτός από την εφαρμογή, στην ονομαστική ισχύ, τα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά και την απόδοση.

2.7 ΈΛΕΓΧΟΣ ΜΙΚΡΟΔΙΚΤΥΟΥ

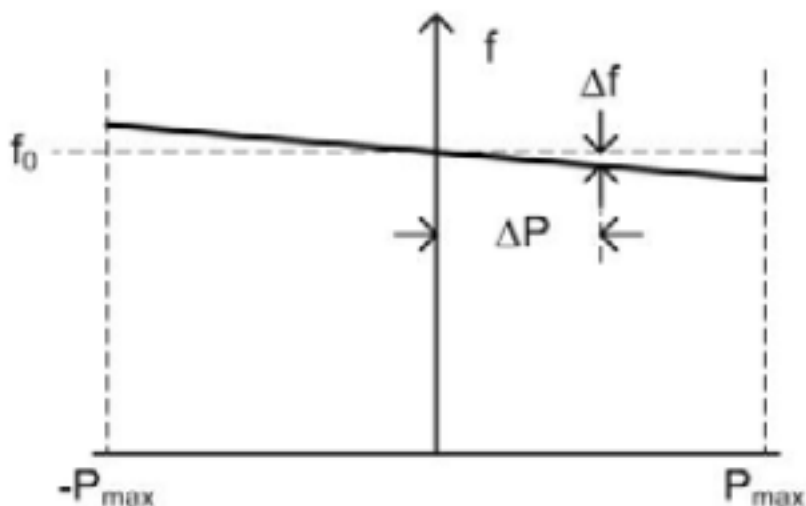
Τα συστατικά ενός μικροδικτύου ελέγχονται χρησιμοποιώντας μία αποκεντρωμένη διαδικασία λήψης αποφάσεων, προκειμένου να επιτυγχάνεται ισορροπία μεταξύ ζήτησης και προσφοράς που προέρχεται από τις πηγές ενέργειας και το δίκτυο. Ο βαθμός αποκέντρωσης μπορεί να ποικίλει από ένα πλήρως αποκεντρωμένο έλεγχο ή χρησιμοποιώντας τον ιεραρχικό έλεγχο. Ο τελευταίος κάνει χρήση ενός κεντρικού ελεγκτή (κεντρικός ελεγκτής μικροδικτύου ή MGCC), που ελέγχει τις ενέργειες όλων των συνιστωσών του μικροδικτύου. Ο MGCC βελτιστοποιεί τη λειτουργία με τη μεγιστοποίηση της αξίας της μικροδίκτυο. Είναι επίσης σε θέση να εφαρμόσει διαχείριση της ζήτησης του φορτίου του μικροδικτύου.

Όταν ένα μικροδίκτυο είναι διασυνδεδεμένο, συμπεριφέρεται ως ελεγχόμενο φορτίο ή πηγή. Δεν θα πρέπει ενεργά να ρυθμίζει την τάση του καθώς συνδέεται στο δίκτυο, και αυτό είναι που ρυθμίζει την τάση. Επιπλέον, οι αρμονικές και το συνεχές ρεύμα που διοχετεύει στο δίκτυο θα πρέπει να είναι κάτω από τα απαιτούμενα επίπεδα. Κατά τη διάρκεια αυτού του τρόπου λειτουργίας, η κύρια λειτουργία του μικροδικτύου είναι να ικανοποιεί όλες τις απαιτήσεις του φορτίου και των συμβατικών υποχρεώσεων με το δίκτυο.

Το μικροδίκτυο πρέπει να αποσυνδέσετε όταν μια ανώμαλη κατάσταση εμφανίζεται στο δίκτυο. Μετατίθεται σε λειτουργία νησιδοποίησης, και το μικροδίκτυο έρχεται αντιμέτωπο με τα ακόλουθα θέματα:

2.7.1 Διαχείριση τάσης και συχνότητας

Η τάση και η συχνότητα καθορίζονται από το δίκτυο όταν το μικροδίκτυο είναι διασυνδεδεμένο. Όταν το μικροδίκτυο είναι αυτόνομο, μια ή περισσότερες πρωτογενείς πηγές ενέργειας θα πρέπει να αποτελούν το δίκτυο και να ρυθμίζουν την τάση και τη συχνότητα, διαφορετικά, το μικροδίκτυο θα καταρρεύσει. Τόσο η τάση όσο και η συχνότητα θα πρέπει να ρυθμίζονται μέσα στα αποδεκτά όρια. Εάν η συχνότητα έχει πέσει σε εξαιρετικά χαμηλά επίπεδα, κάποια φορτία μπορεί να απορριφθούν για να επιταχύνουν την ανάκαμψη της προς την ονομαστική τιμή.



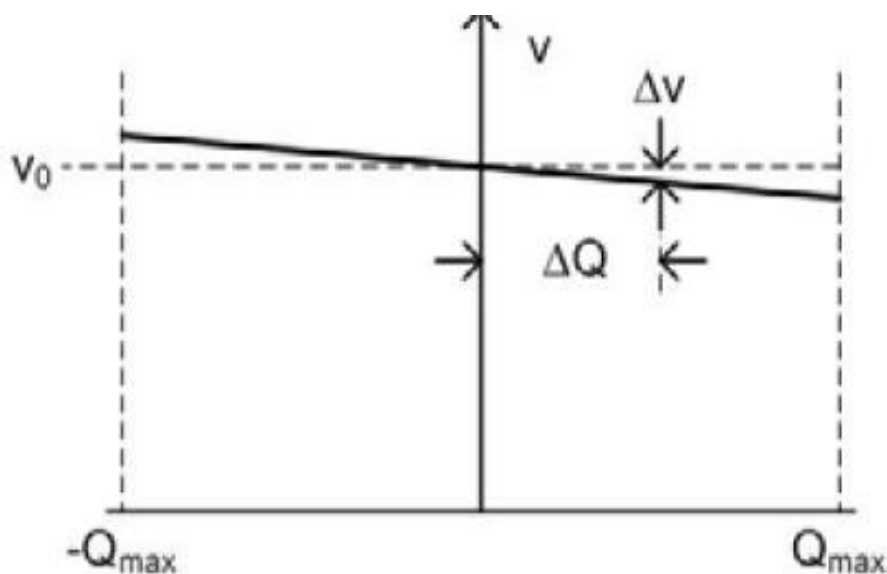
Εικόνα 2-16 Απόρριψη φορτίων (ρύθμιση ενεργού ισχύος) για τον έλεγχο της συχνότητας του μικροδικτύου.

2.7.2 Ισορροπία μεταξύ προσφοράς και ζήτησης

Αν το μικροδίκτυο εξάγει ή εισάγει ρεύμα προς το δίκτυο πριν από την αποσύνδεση, τότε δευτερεύουσες ενέργειες ελέγχου θα πρέπει να εφαρμοστούν για την εξισορρόπηση της παραγωγής και της κατανάλωσης στην αυτόνομη λειτουργία. Εάν το συνδεδεμένο φορτίο υπερβαίνει τη διαθέσιμη παραγωγή, θα πρέπει να εφαρμοστούν μέτρα διαχείρισης της ζήτησης. Επίσης, θα πρέπει να υπάρχει επαρκής ικανότητα αποθήκευσης ενέργειας προκειμένου να εξασφαλίσει την αρχική ισορροπία μετά από μια απότομη αλλαγή στο φορτίο ή στην παραγωγή.

2.7.3 Ποιότητα Ισχύος

Το μικροδίκτυο πρέπει να διατηρήσει μία αποδεκτή ποιότητα ισχύος σε αυτόνομη λειτουργία. Θα πρέπει να υπάρχει μια επαρκής παροχή έργου ισχύος για τον περιορισμό της βύθισης τάσης. Η συσκευή αποθήκευσης ενέργειας θα πρέπει να είναι ικανή να αντιδρά γρήγορα στις αποκλίσεις της συχνότητας και της τάση και την έγχυση ή απορρόφηση μεγάλων ποσοτήτων ισχύος. Τέλος, το μικροδίκτυο πρέπει να είναι σε θέση να παρέχει τις αρμονικές που απαιτούνται από μη γραμμικά φορτία.



Εικόνα 2-17 Έλεγχος βυθίσεων τάσης (ρύθμιση αέργου ισχύος) του μικροδικτύου.

2.7.4 Θέματα Μικροπηγών ενέργειας

Μια σημαντική διαφορά μεταξύ των πρωτογενών πηγών ενέργειας στο δίκτυο και των πηγών του μικροδικτύου είναι ότι οι τελευταίες δεν έχουν αδρανεία. Το μικροδίκτυο δεν έχει τις στρεφόμενες εφεδρείες που ενυπάρχουν στο συμβατικό δίκτυο. Οι περισσότερες *microsources* (π.χ. κυψέλες καυσίμου) έχουν αργή απόκριση ή ράμπα χρόνο κατά την εφαρμογή του δευτεροβάθμιου ελέγχου τάσης και συχνότητας. Οι ενδιάμεσες μονάδες αποθήκευσης και οι πηγές του μικροδικτύου με συστοιχίες μπαταριών επομένως, αναμένεται να δώσουν τα οφέλη που θα μπορούσαν να εξαχθούν από τις εφεδρείες. Η διασύνδεση των ηλεκτρονικών ισχύος επέτρεψε σε αυτές τις συσκευές για να αποκρίνονται γρήγορα σε απότομα σήματα εντολών και αλλαγές στα επίπεδα της ροής ισχύος.

2.7.5 Επικοινωνία μεταξύ των εξαρτημάτων του μικροδικτύου

Η διαθεσιμότητα της επικοινωνιακής υποδομής μεταξύ των εξαρτημάτων του μικροδικτύου είναι μια άλλη πτυχή που λαμβάνεται υπόψη κατά την επιλογή της μεθόδου ελέγχου σε ένα αυτόνομο μικροδίκτυο. Το μικροδίκτυο πρέπει να έχει plug and play αρχιτεκτονική έτσι ώστε οι πηγές να βασιστούν σε τοπικά διαθέσιμες πληροφορίες για τον έλεγχο της παραγόμενης ενέργειας. Εάν απαιτείται η επικοινωνία μεταξύ των εξαρτημάτων (π.χ. αποστολή ονομαστικών τιμών μικροπηγών ή διαπραγμάτευση μεταξύ παραγόντων ελέγχου μέσω του MGCC), η προθεσμία εντός της επικοινωνίας δικτύου δεν πρέπει να παρουσιάζει προβλήματα. Οι μικροπηγές και οι συσκευές αποθήκευσης θα πρέπει να συνεργαστούν μεταξύ τους για να διατηρηθεί η ισορροπία και η ακεραιότητα του μικροδικτύου.

2.8 Η ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Σε κάθε ηλεκτρικό δίκτυο, είτε ισχυρό διασυνδεδεμένο δίκτυο ή αυτόνομο (μεγάλης ή μικρής εγκατεστημένης ισχύος, όπως τα νησιά, ανάλογα με το μέγεθός τους), πρέπει να πληρείτε το ισοζύγιο ισχύος, που σημαίνει, η απορροφούμενη ενέργεια από τους καταναλωτές ρεύματος πρέπει να είναι η ίδια, με μικρές παραλλαγές, με εκείνη που παράγεται από σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας (θερμικά, υδροηλεκτρικά, κλπ.).

Η χρονική μεταβολή του φορτίου είναι σχετικά προβλέψιμη με τρόπο ώστε να είναι προσαρμοσμένη σε αυτήν την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Για τεχνικούς λόγους, σε στιγμές με χαμηλό φορτίο, μεγάλες θερμικές μονάδες δεν μπορούν να μειώσουν την παραγωγή κάτω από ένα κατώφλι και έτσι τότε υπάρχει πλεονάζουσα ενέργεια στο δίκτυο.

Αύξηση της συμμετοχής της ηλεκτρικής ενέργειας που προέρχεται από αιολική ενέργεια προκαλεί νέα τεχνικά προβλήματα στη διαχείριση του δικτύου, προκαλώντας σοβαρές χρονικές διακυμάνσεις στην παραγωγή των αιολικών πάρκων και την αδυναμία ακριβούς πρόβλεψης της παραγωγής από τα αιολικά πάρκα, λόγω της μεταβλητότητας του ανέμου. Τα μικρά υδροηλεκτρικά έργα, επίσης, δεν ρυθμίζουν τη ροή και η ενέργεια που παράγεται, καθώς η τελευταία εξαρτάται από την φυσική ροή του ποταμού (μεγάλη κατά τη διάρκεια των πλημμυρών και χαμηλή κατά τη διάρκεια ξηρών περιόδων). Επιπλέον, η ηλιακή ενέργεια που χρησιμοποιείται

στα φωτοβολταϊκά έργα είναι μηδενική κατά τη διάρκεια της νύχτας, ενώ την ημέρα εξαρτάται από τις καιρικές συνθήκες (ήλιος ή συννεφιά). Κατά συνέπεια, όλες αυτές οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας έχουν το μειονέκτημα της χρονικής υστέρησης της παραγωγής που δεν μπορεί να είναι στον ανθρώπινο έλεγχο, σε σχέση με τη ζήτηση. Δημιουργείται, ως εκ τούτου , η ανάγκη για αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας για μικρά και μεγάλα χρονικά διαστήματα. Η ανάγκη για αποθήκευση προϋπήρχε, επειδή οι θερμικές μονάδες δεν είναι ευπροσάρμοστες και, μερικές φορές (τη νύχτα) η ισχύς που παράγεται είναι μεγαλύτερη από τη ζήτηση. Ωστόσο, η ανάγκη για αποθήκευση θα αυξηθεί σημαντικά στο μέλλον, λόγω της αυξημένης συμμετοχής των ΑΠΕ.

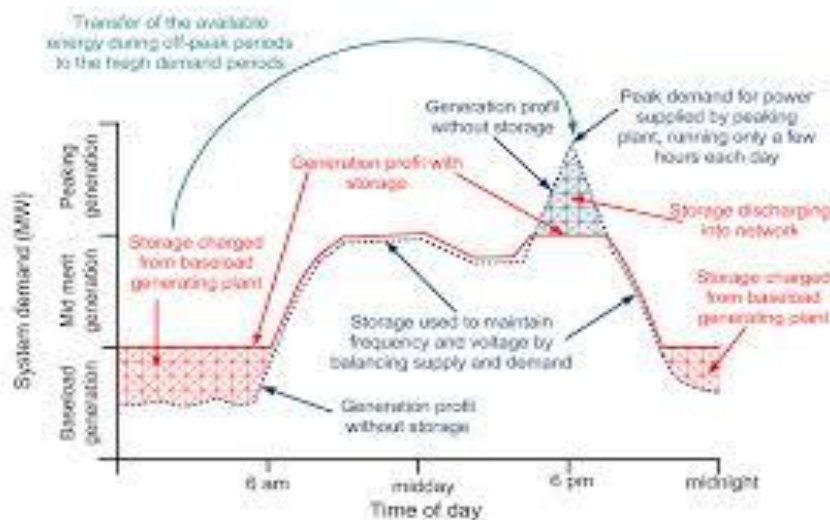
Η ανάγκη για την αποθήκευση ενέργειας υπήρχε κατά παράδοση, καθώς υπάρχουν τα τεχνικά ελάχιστα των μεγάλων θερμοηλεκτρικών σταθμών και η ανάγκη για την κάλυψη των λεγόμενων "αιχμών" φορτίου, δηλαδή των μικρών χρονικών διαστημάτων κατά τη διάρκεια της ημέρας, που το φορτίο αυξάνεται απότομα. Πλέον η ανάγκη για αποθήκευση προέρχεται και από την αύξηση της συμμετοχής των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, ιδίως των αιολικών πάρκων στο σύστημα παραγωγής .

Ο διαχειριστής του δικτύου ηλεκτρικής ενέργειας αντιμετωπίζει δύο ακραία προβλήματα:

- βέλτιστη ενσωμάτωση στο δίκτυο ηλεκτροπαραγωγής από ανανεώσιμες πηγές στις περιόδους χαμηλού φορτίου, κυρίως από αιολικά πάρκα (προβλήματα σταθερότητας σε υψηλή διείσδυση) και
- διαθεσιμότητα ισχύος και της ενέργειας σε σύντομο χρονικό διάστημα κατά τη διάρκεια των περιόδων υψηλού φορτίου, και ιδίως σε φορτία αιχμής.

Η ανάγκη για την αποθήκευση μέρους της ενέργειας που προέρχεται από την παραγωγή των ανεμογεννητριών γίνεται όλο και πιο επιτακτική, καθώς η αναλογία αιολικής ενέργειας αρχίζει να πλησιάζει κάποια όρια πέρα από τα οποία προκαλεί προβλήματα στο δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας. Ορισμένες περιοχές έχουν ήδη φτάσει στο όριο, έτσι ώστε η περαιτέρω ανάπτυξη της αιολικής ενέργειας μπορεί να γίνει μόνο αν συνδυαστεί με την αποθήκευση. Προφανώς, το πρόβλημα της διαχείρισης ενέργειας από ΑΠΕ είναι πολύ πιο έντονο και λιγότερο άκαμπτο σε μικρά συστήματα (νησιά), ακόμη και στο μέγεθος της Κρήτης.

Εν κατακλείδι, όταν μία από τις μονάδες που συμμετέχουν στην παραγωγή ενέργειας παράγει ηλεκτρική ενέργεια με υψηλή μεταβλητότητα, όπως στην περίπτωση μιας ανεμογεννήτριας, υπάρχει αβεβαιότητα σχετικά με τη διαθεσιμότητα της ενέργειας ανά πάσα στιγμή ώστε να ανταποκριθεί στη ζήτηση και ένας τρόπος για να μειωθεί η αβεβαιότητα και να εξασφαλιστεί η παροχή ηλεκτρικής ενέργειας στους καταναλωτές είναι μέσω της εγκατάσταση ενός ηλεκτρικού συστήματος αποθήκευσης ενέργειας, που επιτρέπει την προσαρμογή με τον παράτυπο χαρακτήρα της προμήθειας ηλεκτρικής ενέργειας από τις ανεμογεννήτριες. Ο πιο αποτελεσματικός τρόπος για να αποθηκεύουν μεγάλες ποσότητες ηλεκτρικής ενέργειας αυτή τη στιγμή είναι η χρήση των συστημάτων άντλησης.



Εικόνα 2-18 Η αποθήκευση ενέργειας

Το σχήμα 2-18 δείχνει πώς οι διατάξεις αποθήκευσης ενέργειας εξομαλύνουν την ισχύ των συμβατικών μονάδων, μια τυπική μέρα του χρόνου. Η διακεκομμένη γραμμή αντιστοιχεί στην ισχύ του φορτίου κατά τη διάρκεια της ημέρας, η οποία συμπίπτει με την απελευθέρωση ενέργειας στο κύτταρο των συμβατικών σταθμών ηλεκτροπαραγωγής απουσία συσσώρευσης ενέργειας. Σε αντίθεση, η συνεχής γραμμή αντιστοιχεί στην παραγωγή των συμβατικών μονάδων, όταν η λειτουργία του συστήματος περιλαμβάνει διατάξεις για την αποθήκευση ηλεκτρικής ενέργειας. Παρατηρούμε ότι, χρησιμοποιώντας τις μεθόδους αποθήκευσης, το εύρος λειτουργίας

των συμβατικών μονάδων, είναι αυστηρά περιορισμένο, με αποτέλεσμα την οικονομική λειτουργία του συστήματος παραγωγής. Έτσι, εάν το φορτίο του συστήματος μειώνεται σημαντικά, κάτι που συμβαίνει συνήθως τη νύχτα, όπου οι συμβατικές εγκαταστάσεις παραγωγής ενέργειας παράγουν ενέργεια που υπερβαίνει το φορτίο, η περίσσεια αποθηκεύεται για μεταγενέστερη χρήση. Ως εκ τούτου, το επίπεδο απόδοσης διατηρείται σε υψηλά επίπεδα. Σε βραδινές ώρες στις οποίες το φορτίο παρουσιάζει αιχμές, αντί να ενεργοποιούνται οι εγκαταστάσεις παραγωγής που συνεπάγεται σημαντικές πρόσθετες δαπάνες ισχύος, το φορτίο τροφοδοτείται από τη διάταξη αποθήκευσης όπου προηγουμένως είχε αποθηκεύσει την περίσσεια ηλεκτρικής ενέργειας.

Τα οφέλη της αποθήκευσης ενέργειας είναι τα ακόλουθα:

- Μείωση του λειτουργικού κόστους και του αρχικού κεφαλαίου για την εγκατάσταση συμβατικών μονάδων
- Αύξηση της παραγωγής από ΑΠΕ
- Βελτιστοποίηση της χρήσης του υπάρχοντος δικτύου μεταφοράς και διανομής και ελαχιστοποίηση του κόστους για την ενίσχυση της
- Λειτουργία σε stand- alone εφαρμογές
- Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας μέσω οικολογικών μέσων
- Βελτίωση της ευελιξίας και της αξιοπιστίας του συστήματος , παρέχοντας εφεδρική δύναμη .

Σε συνδυασμό με τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, η αποθήκευση της ηλεκτρικής ενέργειας μπορεί να αυξήσει την τιμή της ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται από φωτοβολταϊκά και ανεμογεννήτριες, καθιστώντας δυνατή την κάλυψη της αιχμής της ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας. Την ίδια στιγμή, η εξοικονόμηση ηλεκτρικής ενέργειας μπορεί να διευκολύνει την ένταξη σε ένα ευρύ φάσμα μεταβλητών ΑΠΕ (μη ρυθμιζόμενες), όπως η αιολική και η ηλιακή, στο δίκτυο. Οι διατάξεις των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας με συστήματα αποθήκευσης ενέργειας, παρέχουν

ευελιξία στην εγκατάσταση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας με ταυτόχρονη ελαχιστοποίηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων .

Η αποθήκευση ενέργειας παρέχει επίσης ευελιξία του δικτύου ηλεκτρικής ενέργειας , όσον αφορά την αποτελεσματική διαχείριση των πόρων. Ως πηγή της παραγωγής, η αποθήκευση της ηλεκτρικής ενέργειας μπορεί να επιφέρει εξοικονόμηση λειτουργικού κόστους και επενδύσεων κεφαλαίου. Παραδείγματα αποτελούν η στρεφόμενη εφεδρεία για την προσωρινή υποστήριξη της παραγωγής, η ρύθμιση συχνότητας για stand -alone μονάδες, αναβάλλοντας την εγκατάσταση νέων μονάδων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Ωστόσο, η στρατηγική που βασίζεται σε συστήματα αποθήκευσης που είναι εγκατεστημένα μπορεί να κάνει καλύτερη χρήση του εξοπλισμού μεταφοράς και της υφιστάμενης κατανομής.

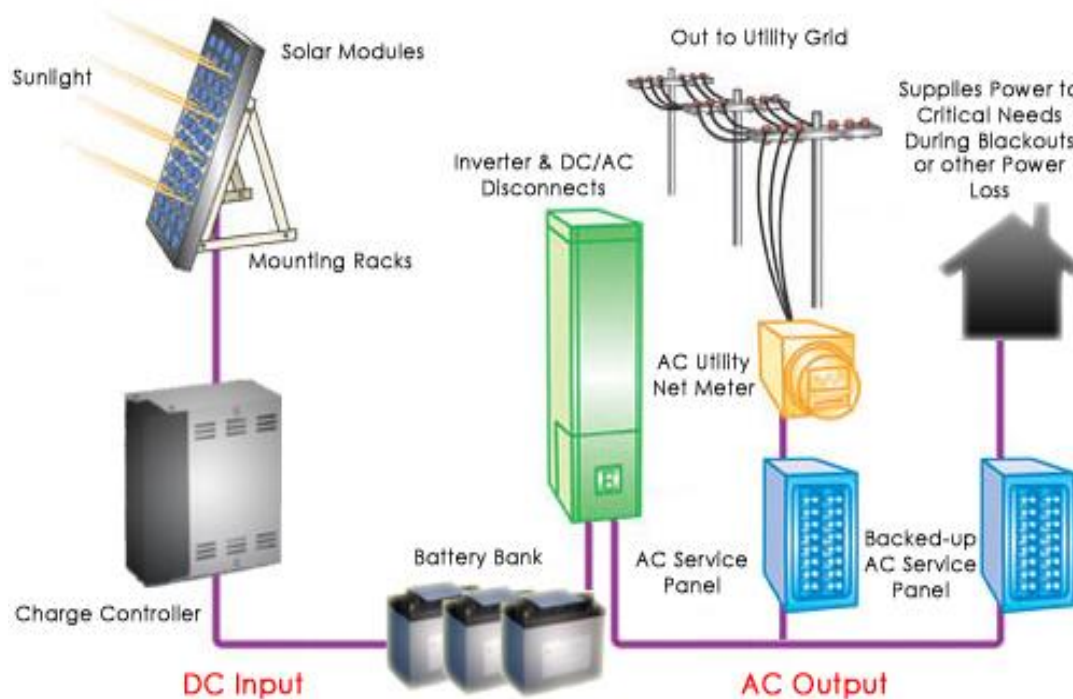
Επιπλέον, η αποθήκευση ενέργειας μπορεί να βοηθήσει στη μείωση της έντασης στις μεμονωμένες γραμμές που είναι κοντά στο ανώτατο όριο, μειώνοντας το φορτίο αιχμής του υποσταθμού.

2.8.1 Οι μπαταρίες ως διατάξεις αποθήκευσης

Καθώς ο ήλιος και ο άνεμος δεν μας δίνουν κάθε ώρα της ημέρας επαρκή ενέργεια για να καλύψουμε τις ανάγκες μας, είναι απαραίτητο να αποθηκεύουμε την ηλεκτρική ενέργεια. Αυτό γίνεται συνήθως (και ειδικά στα συστήματα ΑΠΕ) με τις μπαταρίες, από τις οποίες μπορεί να αντληθεί ενέργεια οποιαδήποτε ώρα της ημέρας. Μπαταρίες μολύβδου οξέως χρησιμοποιούνται στα αυτοκίνητα ως μπαταρίες εκκίνησης και ως εκ τούτου είναι διαθέσιμες σε κάθε μέρος του κόσμου.

Οι μπαταρίες μολύβδου οξέως - ειδικά σχεδιασμένες για τις ιδιαίτερες απαιτήσεις των συστημάτων ΑΠΕ - είναι συνήθως η πρώτη επιλογή για την αποθήκευση ενέργειας σε συστήματα με ανανεώσιμες πηγές καθώς έχουν ως κύρια πλεονεκτήματα το χαμηλό κόστος, την αντοχή σε κύκλους λειτουργίας και την ικανότητα φόρτισης/εκφόρτισης. Παρ' όλα αυτά υπάρχουν ακόμα προκλήσεις για τη βελτιστοποίηση της λειτουργίας τους, ειδικότερα ως προς τον χρόνο ζωής σε θερμά κλίματα. Η συστοιχία μπαταριών περιλαμβάνει πολλά στοιχεία μολύβδου οξέως

συνδεδεμένα σε σειρά μεταξύ τους. Οι μπαταρίες μολύβδου οξέως είναι σχετικά φθηνές και άμεσα διαθέσιμες από τους κατασκευαστές, σε σύγκριση με άλλα συστήματα μπαταριών όπως οι ιόντων λιθίου και οι νικελίου-υδριδίου μετάλλου. Υπάρχουν πολλοί τύποι, διαστάσεις και χωρητικότητες μπαταριών μολύβδου οξέως για να επιλέξει κανείς ανάλογα με την εφαρμογή.



Εικόνα 2-19 Φ/Β σύστημα με μπαταρίες για αποθήκευση ενέργειας.

Παρά την πληθώρα τύπων και εφαρμογών όσον αφορά τις μπαταρίες μολύβδου οξέως, τα χαρακτηριστικά που είναι ιδιαίτερα σημαντικά σε εφαρμογές Φ/Β συστημάτων είναι οι απαιτήσεις συντήρησης της μπαταρίας και η δυνατότητα βαθιάς εκφόρτισης, διατηρώντας παράλληλα μεγάλη διάρκεια ζωής.

Οι μπαταρίες βαθιάς εκφόρτισης μπορούν να είναι ανοικτού ή κλειστού τύπου. Οι μπαταρίες ανοικτού τύπου αποτελούνται από στιβαρές πλάκες και ηλεκτρολυτικό διάλυμα και απαιτούν συντήρηση κάθε 6-12 μήνες με συμπλήρωση απιονισμένου νερού. Οι μπαταρίες κλειστού τύπου, όπως οι AGM και GEL, δεν απαιτούν συντήρηση. Βασικά θετικά χαρακτηριστικά των μπαταριών βαθιάς εκφόρτισης είναι η μεγάλη αντοχή σε κύκλους και ο μεγάλος χρόνος ζωής. Οι μπαταρίες με μικρό

βάθος εκφόρτισης – μικρότερο του 25% - έχουν συνήθως λεπτότερες πλάκες από κράματα ασβεστίου μολύβδου.

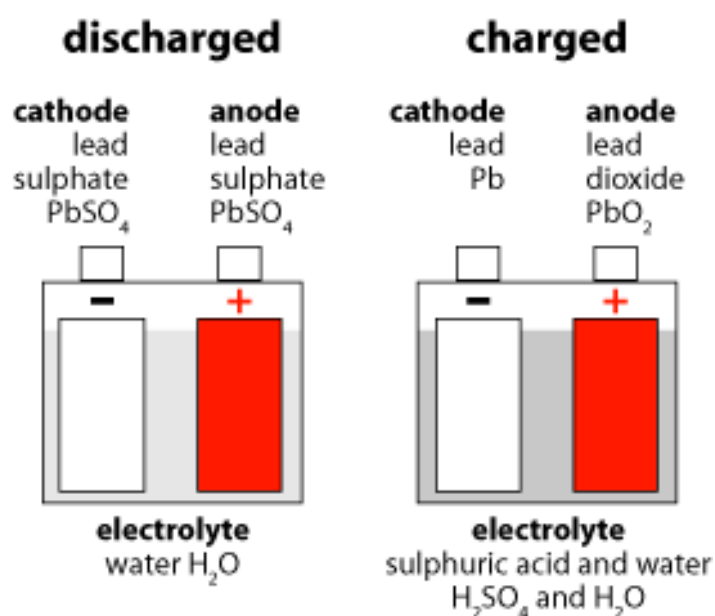
Χαρακτηριστικό των μπαταριών ανοικτού τύπου είναι ότι μικρό ποσό υδρογόνου και οξυγόνου που παράγονται στα ηλεκτρόδια κατά τη λειτουργία της μπαταρίας ελευθερώνονται στην ατμόσφαιρα μέσω μικρών οπών στο επάνω μέρος της μπαταρίας. Σε μία μπαταρία κλειστού τύπου μία ειδική διάταξη καταλύτη μέσα στη μπαταρία χρησιμοποιείται για να επανενώσει το υδρογόνο με το οξυγόνο δημιουργώντας νερό. Επομένως δεν υπάρχει απώλεια υγρού, όπως στις ανοικτού τύπου.

Οι αυστηρές απαιτήσεις για τις μπαταρίες που χρησιμοποιούνται σε φωτοβολταϊκά συστήματα έχουν προτρέψει διάφορους κατασκευαστές να αναπτύξουν μπαταρίες ειδικά σχεδιασμένες για Φ/Β ή άλλα συστήματα παραγωγής ενέργειας με ανανεώσιμες πηγές. Οι μπαταρίες που χρησιμοποιούνται συνηθέστερα στα αυτόνομα φωτοβολταϊκά συστήματα είναι είτε μολύβδου οξέως βαθιάς εκφόρτισης, είτε λιγότερων κύκλων χωρίς απαιτήσεις συντήρησης. Οι ειδικές μπαταρίες με μικρό βάθος εκφόρτισης που δεν απαιτούν συντήρηση μπορούν επίσης να εγκατασταθούν, αν η συστοιχία μπαταριών σχεδιαστεί κατάλληλα ώστε να μην απαιτηθεί ποτέ εκφόρτιση κάτω του 25%.

Μια μπαταρία μεγάλου χρόνου ζωής σε ένα κατάλληλα σχεδιασμένο Φ/Β σύστημα με τη σωστή συντήρηση μπορεί να διαρκέσει μέχρι 15 έτη, αλλά η χρήση μπαταριών που δεν σχεδιάστηκαν για πολλούς κύκλους φόρτισης, ή είναι ακατάλληλες για το συγκεκριμένο σύστημα, μπορεί να οδηγήσει σε μια συστοιχία μπαταριών ανίκανη να ικανοποιήσει τις απαιτήσεις της εφαρμογής σε μόλις μερικά χρόνια.

Η χωρητικότητα της μπαταρίας είναι το μέτρο για την ποσότητα ρεύματος που μπορεί να αποθηκευτεί και να αντληθεί από μία μπαταρία. Η μονάδα μέτρησης είναι τα αμπερώρια (Ah). Η τιμή αυτή είναι θεωρητική και εξαρτάται από μια σειρά παραγόντων. Στις μπαταρίες μολύβδου οξέως υπάρχουν τρία ενεργά συστατικά μέρη, το ενεργό υλικό του θετικού ηλεκτροδίου, το ενεργό υλικό του αρνητικού ηλεκτροδίου και ο ηλεκτρολύτης. Μία από αυτές τις ουσίες μπορεί να μειώσει τη χωρητικότητα και αν έχει καταναλωθεί, η τάση της μπαταρίας καταρρέει και η μπαταρία αποφορτίζεται.

Είναι λοιπόν πιο πρακτικό να αναφερόμαστε στην ονομαστική τιμή της χωρητικότητας, η οποία δίνεται από τον κατασκευαστή για την εγγυημένη χωρητικότητα μιας καινούργιας μπαταρίας που εκφορτίζεται με κάποια τυποποιημένη διαδικασία. Για τις μπαταρίες αυτοκινήτου, η μπαταρία αποφορτίζεται σε 20 ώρες με σταθερό ρεύμα ως μία προκαθορισμένη τιμή τάσης. Το ρεύμα αυτό επισημαίνεται με I_{20} και η αντίστοιχη χωρητικότητα με C_{20} . Η χωρητικότητα μπορεί να διαφέρει από την ονομαστική τιμή. Πολλαπλές παράμετροι επηρεάζουν τη χωρητικότητα όπως η θερμοκρασία, η προηγούμενη φόρτιση, ο χρόνος από την τελευταία φόρτιση, η ηλικία της μπαταρίας, η συμπεριφορά ως προς το ρεύμα, η τάση αποφόρτισης κ.λπ.



Εικόνα 2-20: Κατάσταση μπαταρίας σε φόρτιση και αποφόρτιση.

Στην κανονική λειτουργία υπάρχουν τέσσερις κύριοι λόγοι για την γήρανση των μπαταριών:

- Βαθεία εκφόρτιση
- Υπερφόρτιση
- Χαμηλό επίπεδο ηλεκτρολύτη

- Υψηλή θερμοκρασία μπαταρίας

Ως παράδειγμα, ο χρόνος ζωής της μπαταρίας μειώνεται δραματικά αν αφηθεί σε βαθιά αποφόρτιση για πολύ καιρό (περισσότερο από μερικές μέρες). Μία τέτοια κατάσταση μπορεί να προκύψει αν το φορτίο είναι μεγάλο σε σχέση με την ενέργεια που δίνει η Φ/Β πηγή και ο ρυθμιστής φόρτισης δεν έχει κάποια ειδική προστασία για αποσύνδεση των μπαταριών σε κατάσταση χαμηλής φόρτισης. Σε τέτοιες περιπτώσεις η μπαταρία θα πρέπει να αποσυνδεθεί αμέσως από το φορτίο και να φορτιστεί με άλλα μέσα πριν τεθεί ξανά σε λειτουργία. Ένας καλός ρυθμιστής δεν θα επέτρεπε να φτάσουν οι μπαταρίες που επιβλέπει σε τέτοιες επικίνδυνες καταστάσεις.

Μια μπαταρία μολύβδου οξέως σε ένα Φ/Β σύστημα δεν χρειάζεται να δίνει υψηλό ρεύμα κατά την εκφόρτιση ή να υπόκειται σε ταχεία φόρτιση. Θα πρέπει όμως να έχει υψηλή χωρητικότητα. Μία μπαταρία αυτοκινήτου που συνδέεται σε Φ/Β σύστημα θα δουλέψει καλά για 1-5 μέρες, αλλά η αντοχή σε κύκλους δεν θα μπορέσει να καλύψει το σύστημα για περισσότερο χρόνο. Για το λόγο αυτό οι μπαταρίες που εγκαθίστανται σε Φ/Β συστήματα σχεδιάζονται για περισσότερους κύκλους.

Τα βήματα της διαδικασίας φόρτισης είναι τα εξής:

- Κύρια φόρτιση, όπου η μπαταρία φορτίζεται ως ένα επίπεδο τάσης που ξεκινά ο βρασμός του υγρού και η τάση αυξάνεται.
- Φόρτιση για το 100%, όπου η μπαταρία φορτίζεται από μία κατάσταση του 90-95% για να φτάσει το 100%.
- Φόρτιση εξισορρόπησης, όπου η χωρητικότητα των επιμέρους στοιχείων εξισώνεται ώστε όλα τα στοιχεία να βρίσκονται στο ίδιο επίπεδο φόρτισης.
- Φόρτιση συντήρησης, ώστε να διατηρείται σε μέγιστο επίπεδο η χωρητικότητα της μπαταρίας που είναι ήδη φορτισμένη αλλά δεν έχει αποφορτιστεί για κάποιο χρόνο.

Οι μπαταρίες δεν είναι ιδιαίτερα ευαίσθητες στην κύρια φόρτιση, εκτός από την αύξηση της θερμοκρασίας που αυτή επιφέρει. Είναι προτιμότερο να μην ξεκινήσει κανείς να φορτίζει μία μπαταρία που έχει υψηλή θερμοκρασία αν μπορεί με κάποιο τρόπο να τη ρίξει πρώτα. Όταν ο ρυθμιστής ρυθμίζει τη λειτουργία της φόρτισης

σύμφωνα με τη τάση, θεωρείται πως όλα τα στοιχεία έχουν την ίδια τάση. Επειδή αυτό δεν είναι πάντα αληθές μερικά στοιχεία μπορεί να μην φορτιστούν πλήρως. Είναι λοιπόν σημαντικό να ελέγχεται η τάση σε κάθε στοιχείο συχνά.

2.8.2 Η αντλησιοταμίευση ως διάταξη ενεργειακής αποθήκευσης

Στα συστήματα με αντλησιοταμίευση (PSS) εμφανίζεται ένα πλεόνασμα ενέργειας, ειδικά σε περιόδους χαμηλής ζήτησης ή αύξησης της παραγωγής (π.χ. από τα υπάρχοντα αιολικά πάρκα ή φωτοβολταϊκά) που χρησιμοποιείται από την άντληση ώστε να ανεβάσει το νερό από ένα φράγμα σε ένα χαμηλό επίπεδο σε άλλο που βρίσκεται σε υψηλότερο επίπεδο. Σε αυτή τη βάση, στις περιόδους αιχμής ή άπνοιας, το νερό στην άνω δεξαμενή απελευθερώνεται και μέσω στροβίλων στην εγκατάσταση γεννητριών, γίνεται η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, με αξιοποίηση της δυναμικής ενέργειας του νερού μέσα από τη διαφορά ύψους των δύο δεξαμενών. Έτσι, το σύστημα αυτό είναι σε θέση να ανταποκριθεί στις ενεργειακές ανάγκες του φορτίου χρησιμοποιώντας την ενέργεια που αποθηκεύτηκε προηγουμένως. Τα PSS αναλαμβάνουν την υποχρέωση να παρέχουν ενέργεια στο φορτίο σε λίγα δευτερόλεπτα λόγω της γρήγορης απόκρισης των στροβίλων και του συνδυασμού εύκολα με άλλες μονάδες που παρέχουν εγγυημένη ενέργεια ανανεώσιμων πηγών στο δίκτυο. Η τυπική απόδοση ενός PSS είναι μεταξύ 65 και 77 % και η διάρκεια της περιόδου λειτουργίας μεταξύ 20 και 50 ετών , ανάλογα με το μέγεθος της εγκατάστασης. Έχουν σχετικά μικρή ανάγκη για συντήρηση και αποθήκευση, το κόστος της παραγόμενης ενέργειας δεν παρουσιάζει διακυμάνσεις, ενώ συχνά συνδυάζονται με άλλα συστήματα, όπως άρδευση, ύδρευση, ρύθμιση των πλημμυρών και συνοδεύονται με τα έργα υποδομής που βοηθούν απομακρυσμένες περιοχές .

Το κύριο μειονέκτημα αυτής της διάταξης είναι η έλλειψη κατάλληλων χώρων (απαιτεί μεγάλες υψομετρικές διαφορές σε μια μικρή γεωγραφική περιοχή) και υψηλό κόστος κεφαλαίου, κυρίως λόγω της κατασκευής των δύο δεξαμενών με κατάλληλη υψομετρική διαφορά. Εξαιτίας αυτού, ένα ποτάμι θα μπορούσε να ενεργεί σαν μια δεξαμενή για να μειωθεί το κόστος του έργου. Ένα άλλο μειονέκτημα είναι οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις του έργου του φράγματος.

Ως αναστρέψιμα υδροηλεκτρικά έργα ορίζουμε τη διάταξη που λειτουργεί ώστε να παράγει ηλεκτρική ενέργεια μέσω του στροβίλου και αποθηκεύσει υδραυλική ενέργεια με την άντληση του νερού από την κάτω προς την άνω δεξαμενή διαμέσου αντλιών. Η άντληση του νερού γίνεται κατά τις ώρες χαμηλής ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας, όπου υπάρχει περίσσεια ενέργειας από τις μονάδες βάσης. Σε αντίθεση με τα διαστήματα αυξημένης ζήτησης, όπου οι μονάδες βάσης δεν είναι αρκετές, το σύστημα παρέχει ενέργεια διαμέσου του στροβίλου χρησιμοποιώντας την ενέργεια που αποθηκεύεται στο νερό. Η μετατροπή της ηλεκτρικής ενέργειας σε υδραυλική και στη συνέχεια πάλι σε ηλεκτρική εισάγει απώλειες ενέργειας περίπου 25 % .

Ένα PSS είναι πιο οικονομικά επωφελές όσο μεγαλύτερη είναι η διαφορά ύψους μεταξύ της άνω και κάτω δεξαμενής : η ενέργεια ανά μονάδα μάζας του νερού είναι μεγαλύτερη όταν η ίδια ισχύς επιτυγχάνεται με μικρότερες παροχές. Ως εκ τούτου, μπορούν να γίνουν έργα ροής στροβίλους και μικρότερο όγκο και συνεπώς χαμηλότερο κόστος. Για τα δεδομένα της Γαλλίας θεωρείται συμφέρουσα η επένδυση σε ένα αναστρέψιμο υδροηλεκτρικό εργοστάσιο, όταν η υδραυλική πτώση είναι μεγαλύτερη από περίπου 200 μέτρα, στην Ελβετία (όπου υπάρχουν πολλά σημεία με μεγάλες υψομετρικές διαφορές) αναστρέψιμο υδροηλεκτρικό εργοστάσιο είναι συμφέρον σε πτώση μεγαλύτερη από 300m, ενώ στην Ιαπωνία κατασκευάζονται σε υδραυλικές θέσεις από 50 έως 200 μέτρα.

Εξαίρεση από τα παραπάνω αποτελούν μερικά έργα που αξιοποιούν την παλίρροια όπως αυτό της Rance στη Γαλλία, που διαθέτει είκοσι τέσσερις τουρμπίνες ονομαστικής ισχύος 10MW έκαστη , που λειτουργούν σε πολύ χαμηλές τιμές της υδραυλικής πτώσης ($H = 3 - 11 \text{ m}$) .

Στην Ελλάδα , υπάρχουν σήμερα δύο υδροηλεκτρικοί σταθμοί αναστρέψιμου τύπου:

- Ασώματα, Σφηκιά (Αλιάκμονας)
- Πλατανόβρυση, Θησαυρός (Νέστος)

Ο Μικρός Υδροηλεκτρικός Σταθμός (ΥΗΣ) Σφηκιάς έχει τρεις αναστρέψιμες μονάδες εγκατεστημένης ισχύος 105 MW η κάθε μία, ενώ η χωρητικότητα του ταμιευτήρα είναι 20,0 εκατ. m³ . Η λειτουργία των ανεμογεννητριών αντιστρέφεται , ανάλογα με την περίπτωση, το βράδυ θα αντλούν νερό από την κοιλάδα της λίμνης

Ασωμάτων , όταν υπάρχει πλεόνασμα ηλεκτρικής ενέργειας από λιγνιτικούς σταθμούς και την εγχέουν στο δίκτυο τις ημέρες στις πιο ευνοϊκές συνθήκες. Η συμβατική παραγωγή των υδάτων του ποταμού είναι 266 GWh και η παραγωγή με αναστρέψιμη λειτουργία 394 GWh. Η δεξαμενή Ασωμάτων έχει ωφέλιμο φορτίο 14 εκατ. m³, παρέχοντας, όπως αναφέρθηκε, με την άντληση νερού στο σταθμό ΥΗΣ Σφηκιάς και ικανοποιεί τις ανάγκες της άρδευσης. Η συνολική εγκατεστημένη ισχύς του ΥΗΣ Ασωμάτων ανέρχεται σε 108 MW.

Ο Μικρός Υδροηλεκτρικός Σταθμός Θησαυρού έχει αναστρέψιμο αντλιοστάσιο και εργάζεται τη νύχτα μεταφέροντας το νερό από τη δεξαμενή στο άνω ταμιευτήρα της Πλατανόβρυσης. Οι στρόβιλοι μπορούν να αντιστραφούν και εδώ τη νύχτα και αντλούν νερό από τη δεξαμενή προς τα κάτω στην Πλατανόβρυση όταν υπάρχει πλεόνασμα της ηλεκτρικής ενέργειας από λιγνιτικούς σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, και την ημέρα γίνεται απόδοση στις πιο ευνοϊκές συνθήκες . Η συμβατική παραγωγή των υδάτων του ποταμού είναι 440 GWh και η παραγωγή σε αναστρέψιμη λειτουργία 615 GWh. Ο ταμιευτήρας του ΥΗΣ Θησαυρού έχει ωφέλιμη χωρητικότητα 565 εκ. m³ . Η υδραυλική πτώση που είναι διαθέσιμη είναι 154m και το έργο έχει τρεις αναστρέψιμες μονάδες, Francis κάθετου άξονα, έκαστη εγκατεστημένης ισχύος 127 MW.

Το 1929 αρχίζει η σχεδίαση των αναστρέψιμων μηχανημάτων ενώ από το 1950, ήταν η κυρίαρχη λύση στο σχεδιασμό των PSS. Αυτή η νέα βασική δομή παρέχεται από ένα ζεύγος των δεξαμενών νερού, μια αναστρέψιμη υδραυλική μηχανή, που είναι γνωστή ως αντλία τούρμπο και έναν ηλεκτρικό κινητήρα συνδεδεμένο με το δίκτυο. Η μηχανή λειτουργεί όπως στην περίπτωση του κινητήρα για την άντληση και ως γεννήτρια αλλάζοντας την κατεύθυνση της περιστροφής, στην περίπτωση της παραγωγής της ηλεκτρικής ενέργειας.

Η αρχή λειτουργίας του συστήματος είναι ως εξής: Η περίσσεια ενέργειας που λαμβάνει χώρα κατά τη διάρκεια περιόδων χαμηλού φορτίου και υψηλής απόδοσης ΑΠΕ χρησιμοποιείται για την άντληση του νερού και αποθηκεύεται ως δυναμική ενέργεια. Ομοίως , κατά τη διάρκεια περιόδων αιχμής , το νερό απελευθερώνεται από την άνω δεξαμενή και οι τουρμπίνες παράγουν ηλεκτρική ενέργεια καθώς αυτό φτάνει στην κάτω σειρά της δεξαμενής. Με τον τρόπο αυτό, το σύστημα μπορεί να αντισταθμίσει την έλλειψη ενέργειας χρησιμοποιώντας τη σωστή ποσότητα της

ενέργειας που αποθηκεύεται προηγουμένως. Μεγαλύτερες διαφορές ύψους μεταξύ των δύο δεξαμενών με λιγότερο όγκο νερού παρέχουν την ίδια ισχύ.

Τα αναστρέψιμα υδροηλεκτρικά ως εκ τούτου έχουν ένα διπλό πλεονέκτημα:

- Απορρόφηση υπερβολικής ενέργειας κατά τη διάρκεια περιόδων χαμηλής ζήτησης για τη μετατροπή σε υδραυλική ενέργεια (η οποία είναι αποθηκευμένη στην άνω δεξαμενή) και
- Απόδοση στο δίκτυο κατά τη διάρκεια της αιχμής εξοικονόμηση ενέργειας , αλλά τις περισσότερες φορές παράγουν ενέργεια απευθείας από την εκμετάλλευση των φυσικών ροών στην άνω δεξαμενή .

Τα αναστρέψιμα υδροηλεκτρικά έργα, εξαιτίας του μικρού χρόνου απόκρισης και του υψηλού βαθμού αυτονομίας, μπορούν αν συνδυαστούν ιδανικά με άλλες πηγές ενέργειας, ενώ με την αιολική ενέργεια είναι άριστο υβριδικό σύστημα. Σε αυτή την περίπτωση, είναι σε θέση να λύσουν τα προβλήματα της ασυνέχειας της αιολικής ενέργειας, επειδή παρέχουν εγγυημένη ενέργεια, και την ίδια στιγμή να αντικαταστήσουν συμβατικές μονάδες.

Εκτός από την τυπική μορφή PSS, υπάρχει και μια άλλη λιγότερο συχνή, η οποία αποτελείται από μια κάτω δεξαμενή σε ένα ρέμα, ένα ποταμό ή άλλη πηγή νερού και μία δεξαμενή έξω από την παροχή που τοποθετείται σε ένα υψηλότερο επίπεδο.

Ένα άλλο χαρακτηριστικό του αναστρέψιμου ΥΕΣ είναι η ανταλλαγή μεταξύ της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και της άντλησης: ο διακόπτης μπορεί να γυρίζει μία ή περισσότερες φορές την ημέρα, μία φορά την εβδομάδα ή μία φορά το χρόνο.

Σχετικά με τον ηλεκτρομηχανολογικό εξοπλισμό, τα υδροηλεκτρικά έργα που είναι αναστρέψιμα διακρίνονται σε τρεις κατηγορίες, ανάλογα με τις μονάδες που τα απαρτίζουν και τη διασύνδεση τους:

- Συστήματα με ηλεκτρική μηχανή σε λειτουργία κινητήρα/γεννήτριας, υδροστρόβιλο και φυγόκεντρη αντλία, που διαθέτουν κοινή άτρακτο. Ο υδροστρόβιλος μπορεί να είναι Pelton ή Francis, η αντλία πολυβάθμια, μονοβάθμια, μονής ή διπλής αναρρόφησης.

- Το σύστημα άντλησης είναι ξεχωριστό και ανεξάρτητο από το υδραυλικό (υδροστρόβιλος, γεννήτρια). Κάθε αντλία έχει ξεχωριστό κινητήρα και κάθε υδροστρόβιλος ξεχωριστή γεννήτρια.
- Στο σύστημα υπάρχει στροβιλοαντλία και ηλεκτρική μηχανή που λειτουργεί σε θέση γεννήτριας και κινητήρα.

Στην πρώτη περίπτωση, η μετάβαση από την άντληση στην παραγωγή γίνεται γρήγορα, η εκκίνηση της αντλίας είναι εύκολη και βελτιστοποιείται η λειτουργία κάθε μηχανής καθώς μπορεί να λειτουργεί στο βέλτιστο σημείο της. Παράλληλα η πολυβάθμια αντλία μειώνει την βύθιση του σταθμού. Παρόλα αυτά η διάταξη είναι πολυπλοκότερη και υπάρχει ανάγκη για βοηθητικό εξοπλισμό. Το κόστος του ηλεκτρομηχανολογικού εξοπλισμού είναι μεγάλο και ο τελευταίος καταλαμβάνει μεγάλο χώρο.

Για έργα ως 10MW η δεύτερη επιλογή είναι η συνηθέστερη καθώς υπάρχει τυποποιημένος εξοπλισμός για την παραγωγή και αποθήκευση ηλεκτρικής ενέργειας με στόχο το μικρότερο κόστος. Ο χρόνος αντιστροφής της λειτουργίας μεταξύ άντλησης και παραγωγής είναι πολύ μικρός, ενώ υπάρχει η δυνατότητα ταυτόχρονης λειτουργίας παραγωγής και αποθήκευσης ενέργειας. Παρόλα αυτά η εγκατάσταση των σωληνώσεων και του ηλεκτρολογικού εξοπλισμού έχει υψηλό κόστος ενώ η εγκατάσταση ενώ η μεταβολή της ισχύος που απορροφάται είναι κλιμακωτή.

Η τρίτη διαμόρφωση, έχει μικρότερο κόστος συγκριτικά με τις προηγούμενες και έχει μικρότερη ανάγκη χώρου. Το μειονέκτημα εδώ είναι ότι η αντλία εκκινεί δύσκολα και ο εξοπλισμός πρέπει να διαμορφωθεί κατά παραγγελία, που σημαίνει υψηλότερο κόστος για το σύστημα. Επίσης η μετάβαση από άντληση σε παραγωγή είναι σχετικά αργή, επομένως σε εφαρμογές που προβλέπεται η εναλλαγή να είναι συχνή η συγκεκριμένη διαμόρφωση μειονεκτεί.

3 ΤΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΜΙΚΡΟΔΙΚΤΥΟΥ

3.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Σήμερα, ένα σύστημα μικροδίκτυου θεωρείται μια από τις λύσεις για το ενεργειακό πρόβλημα σε όλο τον κόσμο και κερδίζει ολοένα και μεγαλύτερη προσοχή. Μπορεί να θεωρηθεί ως μια ομάδα διανεμημένων πηγών παραγωγής που συνδέονται με τα φορτία, στα οποία οι μονάδες παραγωγής μπορούν να τροφοδοτηθούν μόνο στο φορτίο ή να τροφοδοτηθούν σε δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας. Τα τελευταία χρόνια, το σύστημα μπαταριών αποθήκευσης ενέργειας (BESS) μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε διάφορες πτυχές των συστημάτων ισχύος. Καθώς τα χαρακτηριστικά εξόδου αυτών των πηγών είναι αρκετά διαφορετικά από τις συμβατικές πηγές ενέργειας, το σύστημα πρέπει να είναι σε θέση να χειρίζεται απρόσμενες διακυμάνσεις και να διατηρεί την αξιοπιστία του. Όταν συμβαίνει διακοπή της σύνδεση με το δίκτυο (νησιδοποίηση) σε ένα μικρό δίκτυο όπου μια ΓΔ ή μια ομάδα ΓΔ συνεχίζει να τροφοδοτεί το σύστημα φορτίων που είναι διαχωρισμένο από το ηλεκτρικό δίκτυο, το σύστημα πρέπει να έχει την κύρια γεννήτρια η οποία μπορεί να παρέχει κατάλληλες τιμές τάσης και συχνότητας. Γενικά, μια σύγχρονη γεννήτρια μπορεί να ικανοποιήσει αυτή τη ζήτηση. Όταν δεν υπάρχει σύγχρονη γεννήτρια, οι μετατροπείς μπορούν να λειτουργήσουν ως κύριος έλεγχος. Επομένως, οι διατάξεις αποθήκευσης μπαταριών χρησιμεύουν ως σημαντική πτυχή στις λειτουργίες microgrid.

Το BESS εφαρμόζεται σε διάφορες πτυχές των συστημάτων ηλεκτροπαραγωγής ως ένας βασικός παράγοντας για την αειφόρο ενέργεια σε πολλές χώρες, ιδιαίτερα στην Ευρώπη, την Αμερική και την Ιαπωνία. Τα πλεονεκτήματα του BESS περιλαμβάνουν τη βελτίωση της συχνότητας του συστήματος, ειδικά όταν χρησιμοποιείται το BESS για τον έλεγχο της συχνότητας του συστήματος. Για μικρές διαταραχές, το BESS εκφορτίζεται όταν η συχνότητα του συστήματος είναι μικρότερη από 50 ή 60 Hz. Από την άλλη πλευρά, το BESS φορτίζει όταν η συχνότητα του συστήματος είναι υψηλότερη από 50 ή 60 Hz. Για μεγάλες διαταραχές, το BESS μπορεί να βελτιώσει την απόδοση του ελέγχου συχνότητας του συστήματος, ενσωματώνοντας το BESS με ένα σύστημα μείωσης φορτίου με έλεγχο συχνότητας. Με αυτές τις διαφορετικές

λειτουργίες, το BESS μπορεί να προσφέρει μια καλή λύση. Έτσι, συμπεραίνεται ότι το BESS είναι ένα γρήγορο και ευέλικτο στοιχείο για συστήματα ισχύος.

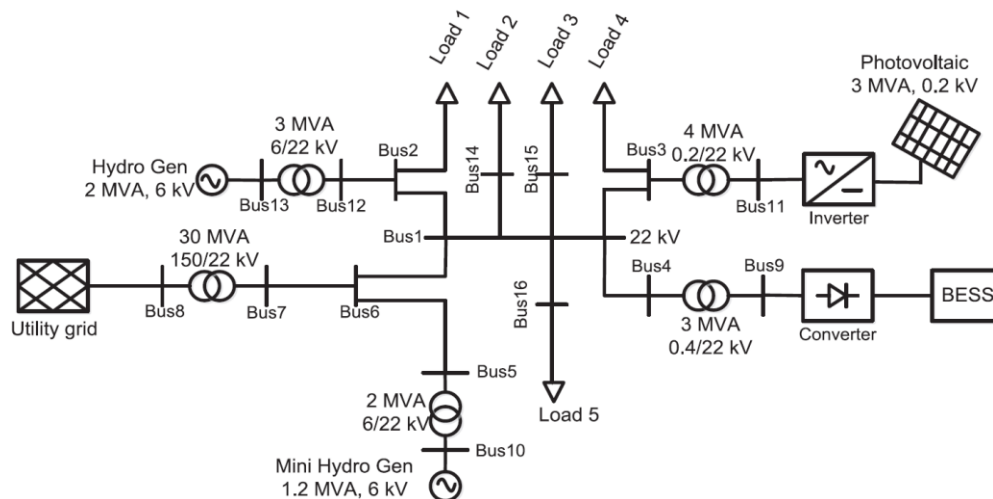
Η προηγούμενη διαδικασία βελτιστοποίησης έχει εφαρμοστεί σε περιπτώσεις διασυνδεδεμένου ηλεκτρικού συστήματος χρησιμοποιώντας μια μικρή ονομαστική ισχύ BESS (π.χ. 2 MW) σε σύγκριση με τη συνολική ισχύ που παρέχεται από τις συμβατικές γεννήτριες (δηλ. 3000 MW). Επομένως, ο αντίκτυπος του BESS στη συμπεριφορά συχνотήτων του συστήματος σε τέτοιες περιπτώσεις είναι σε μεγάλο βαθμό αμελητέος. Λαμβάνοντας υπόψη την περίπτωση ενός συστήματος μικροδικτύου (π.χ. ενός μικρού συστήματος ισχύος), η ονομαστική ισχύς BESS δεν μπορεί πλέον να είναι αμελητέα, οπότε η συχνότητα του δικτύου είναι τώρα ευαίσθητη στις μεταβολές ισχύος εξόδου του BESS. Έτσι, η εγκατάσταση ενός μεγάλου / ακατάλληλου μεγέθους ή τυχαίου μεγέθους BESS μπορεί συχνά να προκαλέσει προβλήματα, να αυξήσει τις απώλειες του συστήματος και να προσθέσει επιπλέον κόστος στο μικροδίκτυο. Για τους λόγους αυτούς, η βέλτιστη διαστασιολόγηση του BESS είναι μια βασική μέθοδος για ένα μικρό δίκτυο. Ωστόσο, η μέθοδος βελτιστοποίησης μπορεί να επιτευχθεί με πολλές μεθόδους, όπως η ισορροπημένη μέθοδος παραγωγής και ζήτησης φορτίου, η μέθοδος γραμμικού προγραμματισμού, η μέθοδος απαρίθμησης, ο επαναληπτικός αλγόριθμος, ο γενετικός αλγόριθμος, η βελτιστοποίηση σμήνους σωματιδίων.

Έτσι, στη παρούσα εργασία επιλέξαμε διαδικασία βελτιστοποίησης του BESS χρησιμοποιώντας έναν έλεγχο συχνότητας βασισμένο σε αναλυτικές μεθόδους με σκοπό να εμποδίσει το μικροδίκτυο να γίνει ασταθές και να καταρρεύσει το σύστημα μετά την απώλεια του δικτύου κοινής ωφέλειας.

3.2 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΜΙΚΡΟΔΙΚΤΥΟΥ

Το τυπικό μικροδίκτυο μπορεί να λειτουργήσει είτε σε κατάσταση σύνδεσης με το δίκτυο είτε σε αυτόνομη λειτουργία. Κάτω από κανονική λειτουργία, το μικροδίκτυο συνδέεται στο δίκτυο κοινής ωφέλειας. Στην Εικόνα 21 παρουσιάζεται το μικροδίκτυο που προσομοιώνεται στη παρούσα μελέτη, το οποίο περιέχει μία mini-

hydro γεννήτρια 1.2 MW, μία υδροηλεκτρική γεννήτρια 2 MW και 3MVA φωτοβολταϊκό σύστημα και το BESS. Το σύστημα περιέχει την ομάδα γραμμών μεταφοράς που θα μπορούσαν να είναι ένα μέρος του συστήματος διανομής. Τα κρίσιμα φορτία 1 και 4 απαιτούν τοπική παραγωγή και τα μη κρίσιμα φορτία 2, 3 και 5 δεν συνδέονται σε καμία τοπική πηγή ενέργειας. Αυτό το σύστημα είναι χαρακτηριστικό ενός πραγματικού συστήματος που διατίθεται για την προώθηση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στο πιλοτικό έργο Mae Hong Son (δηλ. Πιλοτικό έργο) το οποίο ξεκίνησε και χρηματοδοτήθηκε από το Πρόγραμμα Ανάπτυξης των Ηνωμένων Εθνών (UNDP) και την Παγκόσμια Περιβαλλοντική Διευκόλυνση (GEF). Το έργο αυτό αρχικά λειτουργεί στην επαρχία Mae Hong Son, την οποία το υπουργείο Ενέργειας έχει προσδιορίσει ως στόχο να είναι η πρώτη αυτοδύναμη επαρχία στην Ταϊλάνδη.



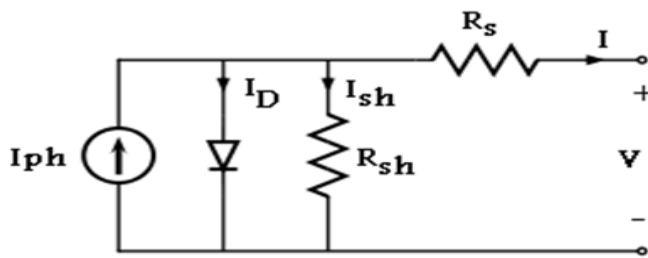
Εικόνα 21 Το σύστημα του μικροδικτύου.

3.2.1 Φωτοβολταϊκό σύστημα

Ένα ηλιακό κύτταρο είναι μια συσκευή ημιαγωγών που μετατρέπει την ηλιακή ενέργεια σε ηλεκτρική ενέργεια μέσω του φωτοβολταϊκού φαινομένου. Ένα τυπικό στοιχείο κύτταρο αποτελείται από ένα λεπτό πλακίδιο, στο οποίο το ένα στρώμα πυριτίου νοθευμένου με βόριο (P-τύπου) τοποθετείται πάνω από ένα εξαιρετικά

λεπτό στρώμα πυριτίου νοθευμένου με φώσφορο ή αρσενικό (N-τύπου) για να σχηματίσει ένα ένωση P-N. Όταν μια ένωση P-N απορροφά την ενέργεια των φωτονίων, παράγει φορείς φορτίου οι οποίοι διαχωρίζονται στην ένωση. Η συγκέντρωση φορέων φορτίου στην περιοχή της ένωσης δημιουργήσει διαφορά τάσης με αποτέλεσμα να ρέει ρεύμα όταν το κύκλωμα κλείνει. Το ρεύμα αυτό εξαρτάται από το επίπεδο ακτινοβολίας. Αν ακτινοβολία είναι υψηλή, τότε περιέχει περισσότερα φωτόνια με επαρκή ενέργεια για να δημιουργήσει περισσότερα ζεύγη οπών ηλεκτρονίων με αποτέλεσμα να παράγεται περισσότερο ρεύμα από τα κύτταρα (Jung and Ahmed, 2010).

Έχουν αναπτυχθεί αρκετά μοντέλα φωτοβολταϊκών κυττάρων με διαφορετικές κλίμακες πολυπλοκότητας. Τα μοντέλα με μαθηματική βάση αποτελούνται από μια πηγή φωτορεύματος παράλληλα με μια ή δύο διόδους, μία αντίσταση διακλάδωσης και μία σειράς (R_{sh} και R_s αντιστοίχως). Το μοντέλο μιας διόδου είναι απλούστερο και χρησιμοποιείται συχνότερα και ως εκ τούτου θα χρησιμοποιηθεί στην παρούσα εργασία (Jung and Ahmed, 2010).



Εικόνα 3-22 Μοντέλο φωτοβολταϊκού στοιχείου μίας διόδου.

Το ρεύμα εξόδου του παραπάνω μοντέλου, αν θεωρήσουμε ότι η R_{sh} είναι άπειρη (αμελήσουμε την επίδραση της) δίνεται από τη σχέση (PVPMC, 2016):

$$I_{pv} = I_{ph} - I_o \left[\exp \left[\frac{(V + IR_s)}{AV_t} \right] - 1 \right] \quad (1)$$

Το φωτόρευμα I_{ph} δίνεται από τη σχέση (PVPMC, 2016):

$$I_{ph} = [I_{sc} + K_i(T - T_r)] * \frac{G}{G_r} \quad (2)$$

Το ανάστροφο ρεύμα κορεσμού δίνεται από τη σχέση:

$$I_{rs} = \frac{I_{sc}}{\exp \frac{V_{oc}}{N_s A V_t} - 1} \quad (3)$$

Το ρεύμα κορεσμού δίνεται από τη σχέση:

$$I_o = I_{rs} \left[\frac{T}{T_r} \right]^3 \exp \left[\frac{q E_g}{A k} * \left(\frac{1}{T_r} - \frac{1}{T} \right) \right] \quad (4)$$

Όπου

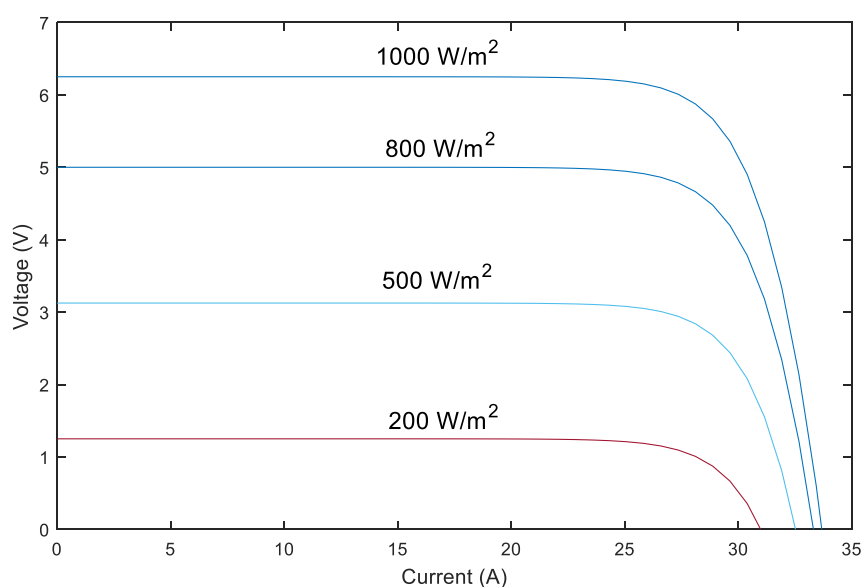
- V είναι η τάση του φωτοβολταϊκού στοιχείου (V)
- Vt είναι η θερμική τάση η οποία είναι ίση με kT / q
- q είναι το φορτίο των ηλεκτρονίων ($1.602 \cdot 10^{-19}$ C)
- k είναι η σταθερά του Boltzmann ($1.38065 \cdot 10^{-23}$)
- Ki είναι η θερμοκρασιακή σταθερά του ρεύματος βραχυκύκλωσης
- A είναι συντελεστής ιδανικότητας της διόδου ($1 \leq A \leq 1.5$)
- G H πραγματική ακτινοβολία σε kW/m^2
- Gn H ονομαστική ακτινοβολία σε kW/m^2
- T είναι η θερμοκρασία λειτουργίας του στοιχείου
- Isc είναι το ρεύμα βραχυκυκλώματος σε Κανονικές Συνθήκες Λειτουργίας (25°C και $1 kW/m^2$)
- Tr θερμοκρασία αναφοράς του φωτοβολταϊκού στοιχείου (25°C)
- Rsh είναι η κάθετη αντίσταση (Ω)
- Rs είναι η αντίσταση σειράς (Ω)
- Ns είναι ο αριθμός των στοιχείων που συνδέονται σε σειρά στο φωτοβολταϊκό πλαίσιο

Πίνακας 1 Δεδομένα συστοιχίας φωτοβολταϊκών στοιχείων

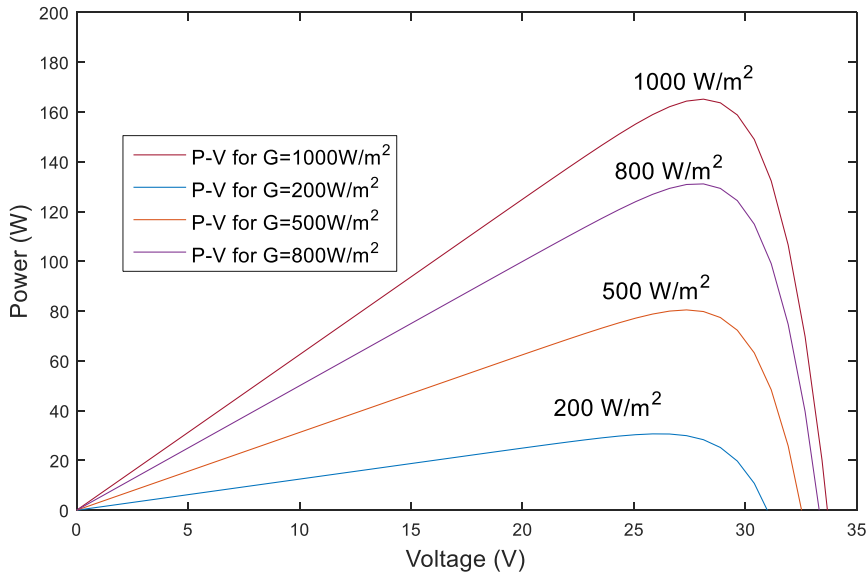
Παράμετρος	Τιμή
Μέγιστη ισχύς (W)	165,2
Τάση μέγιστου σημείου λειτουργίας (V)	28,1
Τάση ανοικτού κυκλώματος (V)	33,7

Ρεύμα βραχυκύκλωσης (A)	6,25
-------------------------	------

Τα στοιχεία της συστοιχίας φωτοβολταϊκών στοιχείων δίνονται στον Πίνακα 4-1. Η συστοιχία αποτελείται από 50 φωτοβολταϊκά στοιχεία τύπου C60 της Sunpower. Στην Εικόνα 4-2 παρουσιάζονται οι καμπύλες ρεύματος τάσης (I-V) της φωτοβολταϊκής συστοιχίας σε διάφορα επίπεδα ακτινοβολίας. Στην Εικόνα 4-3 παρουσιάζονται οι καμπύλες ισχύος τάσης (P-V) σε διάφορα επίπεδα ακτινοβολίας.



Εικόνα 23 καμπύλες ρεύματος τάσης (I-V) της φωτοβολταϊκής συστοιχίας σε διάφορα επίπεδα ακτινοβολίας



Εικόνα 24 Καμπύλες ισχύος τάσης (P-V) σε διάφορα επίπεδα ακτινοβολίας

3.2.2 Συστοιχία μπαταριών ως σύστημα αποθήκευσης ενέργειας

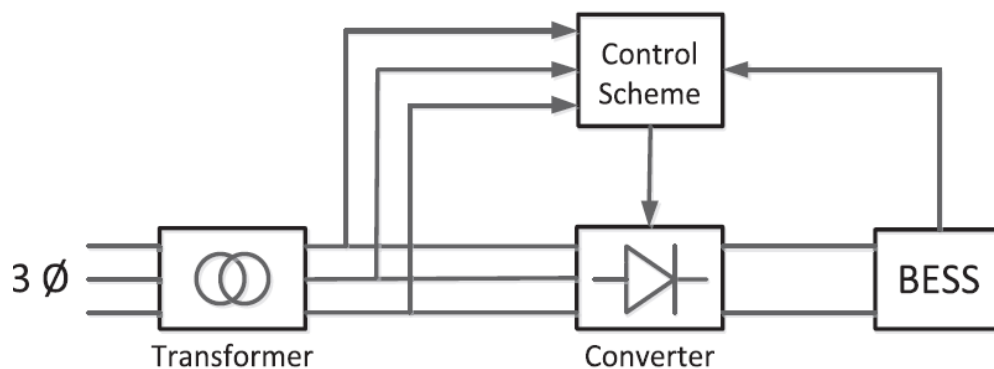
Το δυναμικό μοντέλο της φόρτισης και εκφόρτισης μιας μπαταρίας ακολουθεί τις ακόλουθες σχέσεις (Lee et al., 2012):

$$V_{bt} = E_o - RI - K \frac{Q}{it - 0.1Q} i^* - K \frac{Q}{Q - it} it + A \exp(-B * it) \quad (5)$$

$$V_{bt} = E_o - RI - K \frac{Q}{Q - it} (it - i^*) + A \exp(-B * it) \quad (6)$$

Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας εξαρτώνται από τις καιρικές συνθήκες. Έτσι, το BESS χρησιμοποιείται για την αποθήκευση της πλεονάζουσας ισχύος για τη διατήρηση της συχνότητας του συστήματος, της τάσης του συστήματος και την τροφοδοσία ισχύος σε φορτία σε περίπτωση χαμηλής ηλιακής ακτινοβολίας ή αλλαγών φορτίου στο microgrid. Επιπλέον, το BESS μπορεί να εξομαλύνει τις διακυμάνσεις της ηλιακής ενέργειας και να αυξήσει τη διαθεσιμότητα του φορτίου. Σε αυτή τη μελέτη, για μια λειτουργία που συνδέεται με το δίκτυο, όταν η ισχύς που παράγεται από το σύστημα microgrid είναι υψηλότερη από τη ζήτηση φορτίου, η

πλεονάζουσα ισχύς μπορεί να αποθηκευτεί στο BESS για μελλοντικές χρήσεις. Αντίθετα, όταν υπάρχει έλλειψη στην παραγωγή ενέργειας του μικρο-πλέγματος, η αποθηκευμένη ισχύς χρησιμοποιείται για την τροφοδοσία του φορτίου. Για αυτόνομη λειτουργία, ο κύριος σκοπός του BESS είναι η σταθεροποίηση του μικροδικτύου από την αστάθεια και την κατάρρευση παρουσία βίαιων μεταβολών φορτίων ή διακοπής καταναμημένων γεννητριών/δικτύου. Η δομή του BESS περιλαμβάνει μετατροπείς ισχύος, κυψέλες μπαταριών και εξαρτήματα ελέγχου που παρουσιάζονται στο σχήμα 2.



Εικόνα 25 Δομή συστήματος αποθήκευσης μπαταριών

Από τη δομή του BESS προκύπτει ότι:

$$\Delta E_d = \frac{K_b}{1 + sT_b} \Delta f$$

Όπου το Δf αποτελεί ανάδραση του συστήματος που είναι χρήσιμη για τον υπολογισμό της τάσης και του ρεύματος στην έξοδο του συστήματος αποθήκευσης.

3.3 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΜΕ ΜΠΑΤΑΡΙΕΣ

Μια ισορροπημένη στρατηγική παραγωγής και ζήτησης φορτίου έχει σχεδιαστεί και εφαρμοστεί σε πολλές μελέτες για τον έλεγχο και την εξισορρόπηση του συστήματος σε απόκριση καταστάσεων αλλαγής παραγωγής ή διακοπής της κατανομής δικτύου παραγωγής / ηλεκτρικής ενέργειας. Έτσι, προτείνεται και σχεδιάζεται η ισορροπημένη παραγωγή και η ζήτηση φορτίου με τη χρήση του βέλτιστου μεγέθους BESS βάσει της αναλυτικής μεθόδου και σχεδιάζεται με στόχο τον έλεγχο συχνότητας. Ο χρυσός του βέλτιστου μεγέθους της αναλυτικής μεθόδου με βάση το BESS είναι να προσδιορίσει ένα βέλτιστο μέγεθος του BESS με ελάχιστο συνολικό κόστος BESS προκειμένου να ισορροπήσει η παραγωγή και το φορτίο μετά την απώλεια του δικτύου κοινής ωφέλειας για την αποτροπή του δικτύου από την αστάθεια και την κατάρρευση του συστήματος. Το γενικό διάγραμμα ροής του βέλτιστου μεγέθους της αναλυτικής μεθόδου που βασίζεται σε BESS φαίνεται στο σχήμα 6. Ο αλγόριθμος λύσης αυτής της μεθόδου έχει ως εξής:

Βήμα (1) Αρχικοποιούμε τα δεδομένα παραγωγής από φωτοβολταϊκά (P_{PV}), υδροηλεκτρικά (P_{HV}), μίνι υδροηλεκτρικά (P_{Mini}).

Βήμα (2) Ρυθμίζουμε τη συνολική ζήτηση φορτίου (P_{Load}).

Βήμα (3) Υπολογίζουμε τη διαφορική ισχύ (P_D) μεταξύ παραγωγής και φορτίων.

Βήμα (4) Ρυθμίζουμε τη διαφορική ισχύ (P_D) ίση με την ισχύ BESS (P_{BESS}).

Βήμα (5) Ελέγχουμε εάν το $P_{BESS} > 0$ και στη συνέχεια γίνεται έλεγχος της συχνότητας (αν βρίσκεται μέσα στα όρια που τίθενται). Εάν το $P_{BESS} < 0$, η διαδικασία τελειώνει και το σύστημα μπαταριών δεν παρέχει ισχύ στο σύστημα.

Βήμα (6) Εάν η συχνότητα δεν ικανοποιεί τη συνθήκη σχετικά με τα όρια, το πρόγραμμα θα αυξήσει το P_{BESS} κατά 0,1MW και θα μεταβεί πάλι στο βήμα (5). Αυτό το βήμα θα συνεχιστεί μέχρι να εκπληρώσει την προϋπόθεση.

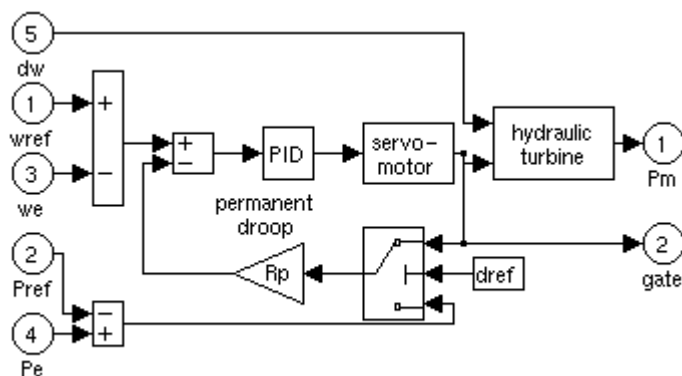
Βήμα (7) Αν η συχνότητα του ικανοποιεί την κατάσταση συχνότητας, η διαδικασία τελειώνει και στη συνέχεια επιτυγχάνεται ένα βέλτιστο μέγεθος του BESS.

4. ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΣΤΟ MATLAB/SIMULINK

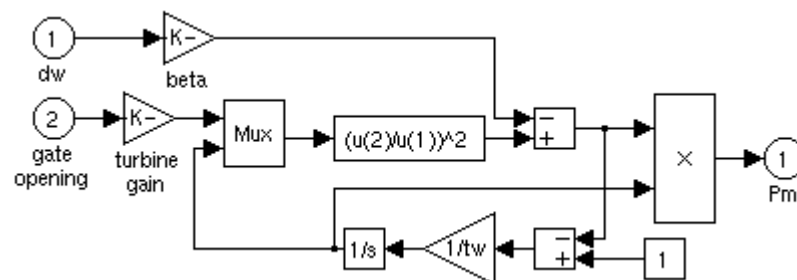
Το μικροδίκτυο περιλαμβάνει δύο υδροηλεκτρικές γεννήτριες. η πρώτη έχει ονομαστική ισχύ 2 MVA και η δεύτερη 1,2 MVA.

Τα συστήματα των υδροηλεκτρικών γεννητριών μοντελοποιήθηκαν με τη βοήθεια του εργαλείου υδραυλικού στρόβιλου και ελεγκτή που παρέχει το λογισμικό προσομοίωσης MATLAB/SIMULINK.

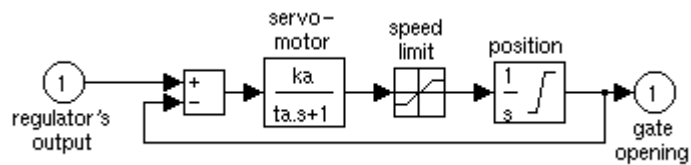
Πιο συγκεκριμένα το εργαλείο αυτό υλοποιεί έναν γραμμικό στρόβιλο και ελεγκτή μέσω ενός μη γραμμικού μοντέλου υδραυλικού στρόβιλου, ενός ελεγκτή PID και ενός σερβοκινητήρα, όπως φαίνεται στο ακόλουθο σχήμα:



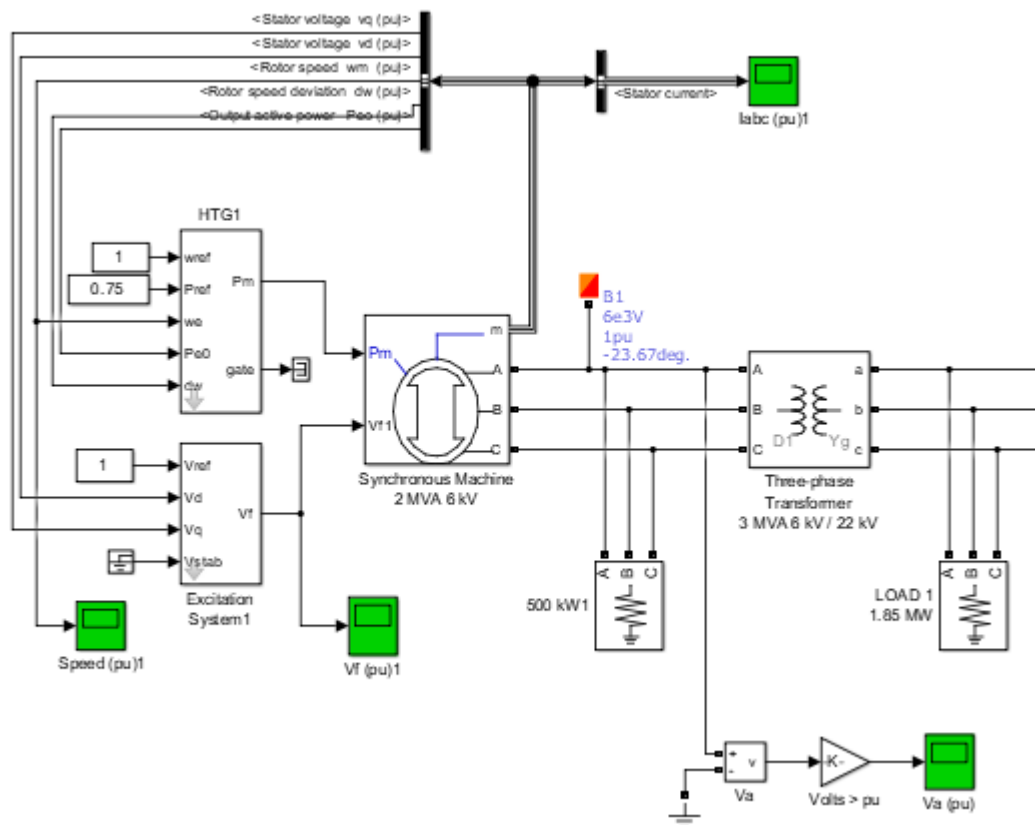
Ο υδραυλικός στρόβιλος μοντελοποιείται με το ακόλουθο μη γραμμικό σύστημα:



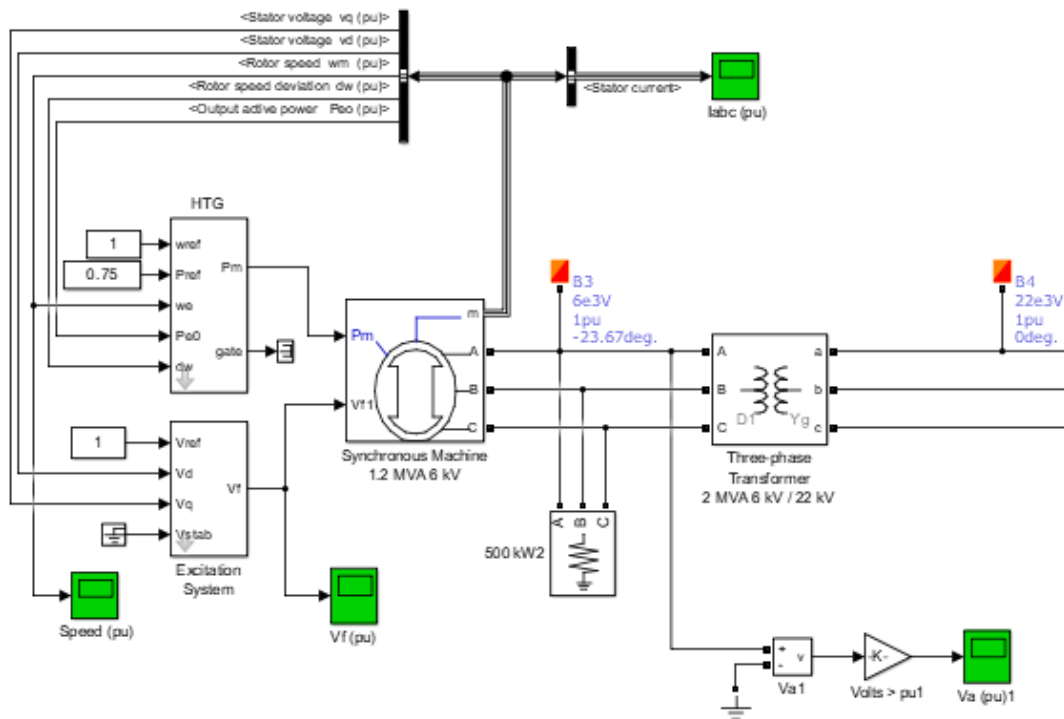
Και ο σερβοκινητήρας από ένα σύστημα δευτέρας τάξης:



Το ολοκληρωμένο σύστημα κάθε υδροηλεκτρικής γεννήτριας παρουσιάζεται στις ακόλουθες Εικόνες:

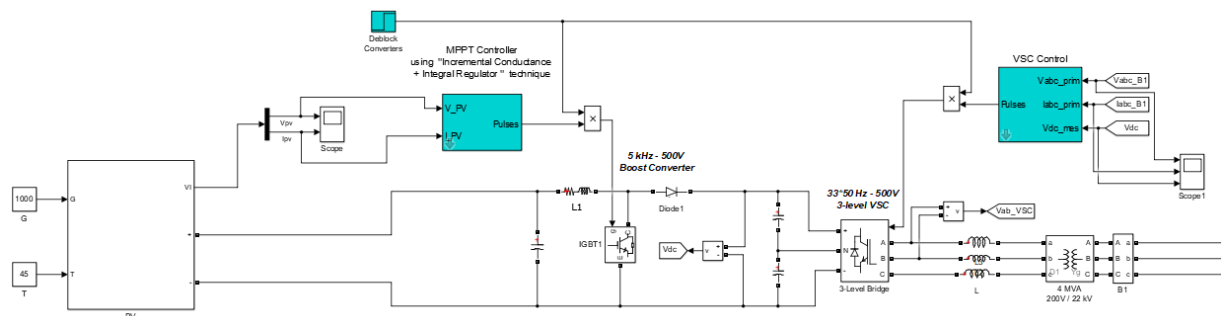


Εικόνα 26 Υδροηλεκτρική γεννήτρια 2MVA 6kV



Εικόνα 27 Υδροηλεκτρική γεννήτρια 1.2MVA 6kV

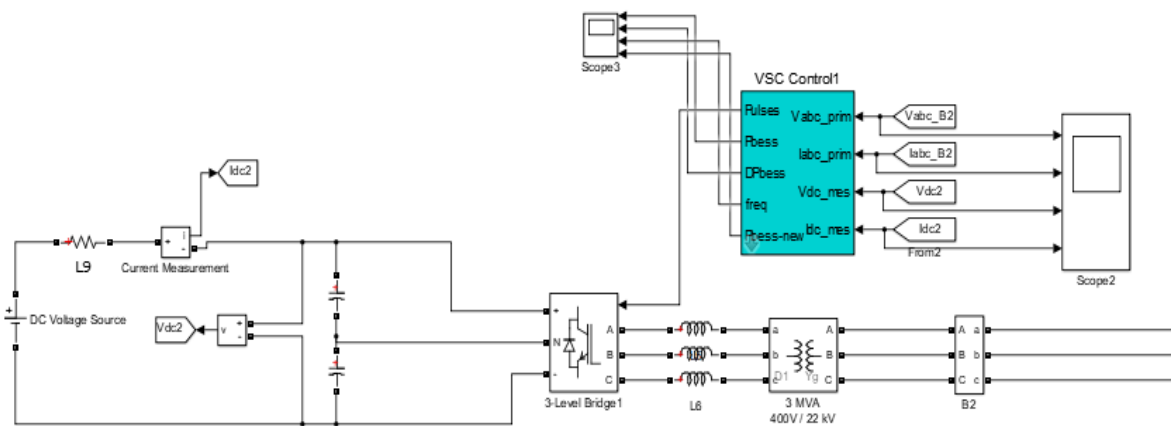
Στη συνέχεια προχωράμε στο μοντέλο για το φωτοβολταϊκό σύστημα. Η πηγή ενέργειας περιλαμβάνει στη πλευρά συνεχούς τάσης, μια συστοιχία φωτοβολταϊκών πλαισίων και έναν μετατροπέα ανύψωσης τάσης, πριν την είσοδο στον αντιστροφέα. Μετά τον αντιστροφέα τοποθετείται μετασχηματιστής για τη σύνδεση με το δίκτυο.



Εικόνα 28 Φωτοβολταϊκή γεννήτρια 3MVA

Στην συνέχεια υλοποιείται το σύστημα ελέγχου/αποθήκευσης μπαταριών, αυτό περιλαμβάνει μια πηγή συνεχούς τάσης, έναν αντιστοφέα συνεχούς-εναλλασσόμενης

τάσης και ένα σύστημα ελέγχου που τροφοδοτεί με παλμούς το σύστημα του αντιστροφέα ανάλογα με την τάση και τη συχνότητα στο σημείο εξόδου. Επίσης εντός αυτού του συστήματος ελέγχου γίνεται και ο έλεγχος συχνότητας του μικροδικτύου, όπου και μετράται η συχνότητα του δικτύου και συγκρίνεται με την συχνότητα αναφοράς. Σε περίπτωση διακοπής της παροχής με το δίκτυο, αυτό το σύστημα ελέγχου είναι υπεύθυνο για τη διατήρηση της συχνότητας του δικτύου εντός του προκαθορισμένου επιτρεπόμενου εύρους.



Εικόνα 29 Σύστημα μπαταριών αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας.

4 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Από τις αρχές του 21ου αιώνα, οι αυξανόμενες ανησυχίες για τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις από τους σταθμούς ορυκτών καυσίμων έχουν οδηγήσει σε μια επιθυμία να χρησιμοποιηθούν μεγάλες ποσότητες ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές. Κυρίαρχες μορφές όπως η αιολική και η ηλιακή ενέργεια είναι εξαιρετικά μεταβλητές, και έτσι η ανάγκη για πιο εξελιγμένα συστήματα ελέγχου έγινε εμφανής, για να διευκολυνθεί η σύνδεση των πηγών αυτών στο κατά τα άλλα ελεγχόμενο δίκτυο. Η ηλεκτροπαραγωγή από φωτοβολταϊκά κύτταρα (και σε μικρότερο βαθμό από ανεμογεννήτριες), τίθεται υπό αμφισβήτηση και είναι επιτακτική η ανάγκη για μεγάλους, κεντρικούς σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Οι ραγδαία πτώση του κόστους δείχνει μια σημαντική αλλαγή από την κεντρική τοπολογία του δικτύου σε ένα που είναι σε μεγάλο βαθμό καταναμημένο, με την ισχύ να παράγεται και να καταναλώνεται στο δίκτυο διανομής.

Τέλος, η αυξανόμενη ανησυχία για τρομοκρατική επίθεση σε ορισμένες χώρες έχει οδηγήσει σε εκκλήσεις για ένα πιο ισχυρό ενεργειακό δίκτυο που είναι λιγότερο εξαρτημένο από κεντρικούς σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας που θεωρήθηκαν ότι είναι πιθανοί στόχοι επίθεσης.

Η εφαρμογή της ψηφιακής επεξεργασίας και η επικοινωνία με το δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας, καθιστώντας τη ροή των δεδομένων και τη διαχείριση πληροφοριών στο επίκεντρο του έξυπνου δικτύου. Διάφορες δυνατότητες απορρέουν από την ολοκληρωμένη χρήση της ψηφιακής τεχνολογίας με δίκτυα παροχής ηλεκτρικής ενέργειας. Τα κύρια πλεονεκτήματα από τα πολύπλοκα αλλά αποδοτικά αυτά δίκτυα είναι: η βελτίωση των υποδομών, η μείωση του κόστους επέκτασης και συντήρησης του υφιστάμενου δικτύου, η ενίσχυση στην ένταξη των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, η μείωση των απωλειών του δικτύου, η μείωση των αερίων ρύπων και η μείωση των blackouts και των διακοπών παροχής ηλεκτρικής ενέργειας (outages).

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

"Theft of power". James Bong's Ultimate SpyGuide to Marijuana. pp. 234–242.

"What are KYZ Pulses?". SolidState Instruments - a division of Brayden Automation Corp.

AquaBuoy, (<http://peswiki.com/index.php/Directory:AquaBuOY>)

Brian Kirke, Enhancing fish stocks with wave-powered artificial upwelling. *Ocean & Coastal Management* 46 (2003) 901–915.

C. Bueno, J. A. Carta, “Wind powered pumped hydro storage systems, a means of increasing the penetration of renewable energy in the Canary Islands”, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 10, No. 4 (2006) : 312-340.

C. Marín, L. M. Alves, A. Zervos, “100% RES: A challenge for Island Sustainable Development”, 2005.

Centre for Renewable Energy Sources (CRES) (2002). Wave energy Utilization in Europe: Current Status and Perspectives. European Thematic Network on Wave Energy

D. Altinbilek, R. Abdel - Malek, J-M. Devernay, R. Gill, S. Leney, T. Moss, H. P. Schiffer, R. M. Taylor, “Hydropower’s Contribution to Energy Security”, World Energy Congress, Rome 2007.

Det Norske Veritas (DNV), Modelling and Analysis of marine operations, april 2011, (<http://www.dnv.com>)

Development of Pump Turbine for Seawater Pumped – Storage Power Plant, Tetsuo Fujihara, Haruo Imano, Katsuhio Oshima

Energy Future Coalition, "Challenge and Opportunity: Charting a New Energy Future," Appendix A: Working Group Reports, Report of the Smart Grid Working Group.

F.R. Yu, P. Zhang, W. Xiao, and P. Choudhury, "Communication Systems for Grid Integration of Renewable Energy Resources," IEEE Network, vol. 25, no. 5, pp. 22-29, Sept. 2011.

Falnes, J., Ocean Waves and Oscillating Systems, Linear interactions including wave-energy extraction, Cambridge University Press 2002.

Federal Energy Regulatory Commission staff report (August 2006). "Assessment of Demand Response and Advanced Metering (Docket AD06-2-000)". United States Department of Energy.

G. P. Izquierdo, "El Hierro, 100% RES island, Wind-hydro power system Integration of renewable energy sources", Spain 2005.

G. P. Izquierdo, "Renewable Energies in the Canary Islands: Present and Future", European RE Islands Conference, Brussels, 21 September 2005.

Goofrey Boyle «Renewable Energy: Power for a sustainable future»

Hart, G.W. (June 1989). "Residential energy monitoring and computerized surveillance via utility power flows". Technology and Society Magazine, IEEE 8 (2): 12–16. doi:10.1109/44.31557

Henri O. Berteaux, Buoy engineering, Wiley, New York, 1976.

IEEE Recommended practice for industrial and commercial power systems analysis Standard 399-1997, IEEE, ISBN 1-55937-968-5

J. K. Kaldellis, D. Zafirakis, K. Kavadias, "Techno-economic comparison of energy storage systems for island autonomous electrical networks", Renewable and Sustainable Energy Reviews, Vol. 13 (2009) : 378-392.

J. M. Merino, A. Lopez, "Varspeed generator boosts efficiency and operating flexibility of hydropower plant", ABB review 3, p.p. 33-38, 1996.

K. Βουρνάς, Γ. Κονταξής, "Εισαγωγή στα Συστήματα Ηλεκτρικής Ενέργειας", Εκδόσεις Συμμετρία, Αθήνα 2010.

Klimstra, Jakob; Hotakainen, Markus (2011). Smart Power Generation (PDF). Helsinki: Avain Publishers.

Market Data Exchange Day ahead, Hour ahead and Real time pricing for New York

Mohsen Fadaee Nejad, Amin Mohammad Saberian and Hashim Hizam (June 3, 2013). "Application of smart power grid in developing countries". 7th International Power Engineering and Optimization Conference (PEOCO) (IEEE)

N. A. Sinitsyn, S. Kundu, S. Backhaus (2013). "Safe Protocols for Generating Power Pulses with Heterogeneous Populations of Thermostatically Controlled Loads". Energy Conversion and Management 67: 297–308

Newman, J.N., Marine Hydrodynamics, MIT Press 1977.

O. M. Faltinsen. Sea Loads on Ships and Offshore Structures. Cambridge University Press, Cambridge, UK, 1990.

Ocean Power Technologies (OPT) PowerBuoy
(<http://www.oceanpowertechnologies.com/technology.htm>)

Qixun Yang, Board Chairman, Beijing Sifang Automation Co. Ltd., China and .Bi Tianshu, Professor, North China Electric Power University, China. (2001-06-24). "WAMS Implementation in China and the Challenges for Bulk Power System Protection". Panel Session: Developments in Power Generation and Transmission — Infrastructures in China, IEEE 2007 General Meeting, Tampa, FL, USA, 24–28 June 2007 Electric Power, ABB Power T&D Company, and Tennessee Valley Authority (Institute of Electrical and Electronics Engineers).

Robert George Dean, Robert A. Dalrymple, Water Wave Mechanics for Engineers and Scientists. World Scientific, Singapore 1991.

Shallnberger integrating watt meter, with illustration, retrieved 2010 Sep 29

Smart Grid Working Group (June 2003). "Challenge and Opportunity: Charting a New Energy Future, Appendix A: Working Group Reports" Energy Future Coalition.

Stephen A. Dyer (ed.) Survey of instrumentation and measurement Wiley-IEEE, 2001
ISBN 0-471-39484-X, page 875

Steve Aubert, “Power on tap - A pumped storage solution to meet energy and tariff demands”, ABB review, p.p. 26-31, 2011. 185

T. Kuwabara, A. Shibuya, H. Furuta, E. Kita, K. Mitsuhashi, “Design and dynamic response characteristics of 400 MW adjustable speed pumped storage unit for Ohkawachi power station”, IEEE Transactions on Energy Conversion, Vol. 11, No. 2, June 1996.

Teridian Semiconductors Application Note, "Antitamper Features Enabled by the 71M6511" The 71M6511 is a single chip metering device widely used in computerised meters.

Verne Kopytoff; Ryan Kim (2009-02-22). "Google plans meter to detail home energy use". San Francisco Chronicle

WAMIT, (<http://www.wamit.com>).

Wave Energy Planning and Marketing. (<http://www.waveplam.eu>)

White A. et al. "An open ocean trial of controlled upwelling using wave pump technology". Journal of atmospheric and oceanic technology, volume 27,2010.

Yih-Fang Huang; Werner, S.; Jing Huang; Kashyap, N.; Gupta, V., "State Estimation in Electric Power Grids: Meeting New Challenges Presented by the Requirements of the Future Grid," Signal Processing Magazine, IEEE , vol.29, no.5, pp.33,43, Sept. 2012

A. Σαγάνη, “ Η ανάγκη αποθήκευσης ενέργειας – Μέθοδοι αποθήκευσης και εφαρμογές”, Διπλωματική εργασία, Σχολή Μηχανολόγων Μηχανικών, ΕΜΠ, Αθήνα 2009.

Γ. Κατσαπρακάκης (2011) “ Μοντελοποίηση και διαστασιολόγηση υβριδικού ενεργειακού συστήματος για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας στη Νήσο Ντία” Πτυχιακή εργασία, ΤΕΙ Κρήτης

Γ. Κατσαπρακάκης “Υδροδυναμικές Μηχανές”, Εργαστήριο Αιολικής Ενέργειας, ΤΕΙ Κρήτης

Γ. Α. Γληνού, Δ. Α. Παπαχρήστου και Α. Μ. Παπαδόπουλος, 2005, Η εκμετάλλευση της αιολικής ενέργειας στην Ελλάδα: αναδρομή, παρούσα κατάσταση και προοπτικές,

Γ. Τριανταφύλλης, “Η ανάπτυξη του Ελληνικού Υδροδυναμικού και η τεχνογνωσία της ΔΕΗ Α.Ε.”, EnergyTec 2006, Αθήνα 23-26 Νοεμβρίου 2006.

Γιαννάκογλου Κ.Χ, Ι. Αναγνωστόπουλος, Γ. Μπεργελές. “Αριθμητική Ανάλυση για Μηχανικούς”, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο (ΕΜΠ), Αθήνα 2003.

Δ. Ε. Παπαντώνης, “Μικρά Υδροηλεκτρικά Έργα”, Εκδόσεις Συμεών, Αθήνα 2008.

Δ. Ε. Παπαντώνης, “Υδροδυναμικές Μηχανές Αντλίες – Υδροστρόβιλοι Υδροδυναμικές Μεταδόσεις”, Εκδόσεις Συμεών, Αθήνα 2009.

Δ. Παπαντώνης, “Τεχνολογικές επιλογές και τεχνολογικοί περιορισμοί του εξοπλισμού της Μονάδας Αντλησιοταμίευσης Υβριδικών Σταθμών Παραγωγής”, Τεχνολογίες και εφαρμογές ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στην Κρήτη, ΤΕΕ & ΤΕΕ – Τμ. Δυτικής Κρήτης, 22 – 23 Μαΐου 2009, Χανιά.

Ελληνικό Κέντρο Θαλάσσιων Ερευνών. (<http://www.hcmr.gr>)

Ζ. Μαντάς, Π. Θεοδωρόπουλος, Γ. Μπέτζιος, Α. Ζερβός, “Υβριδικό σύστημα με χρήση Αντλησιοταμίευσης για μέγιστη διείσδυση της αιολικής ενέργειας στη νήσο Σέριφο”, Μάιος 2010.

Θ.Σταματόπουλος (2013) “Σχεδιασμός Υβριδικού Συστήματος Ενέργειας Στη Νήσο Δονούσα Με Χρήση Homer Energy” Διπλωματική Εργασία, ΕΜΠ

Ι. Γ. Αργυράκης, “Οι Υδροηλεκτρικοί Σταθμοί της ΔΕΗ Α.Ε. και η συμβολή τους στην κάλυψη των Ενεργειακών Αναγκών της Χώρας”, Αθήνα 2006.

Ι. Κανδηλώρος, “Χρήση Αεροφυλακίου σε Αεριοστροβλικές Μονάδες για Ρύθμιση Συχνότητας και Αποθήκευση Ενέργειας σε Ηλεκτρικά Συστήματα με Μεγάλη Αιολική Διείσδυση – Εφαρμογή στο Αυτόνομο Σύστημα της Ρόδου”, Διπλωματική

Εργασία, Σχολή Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών ΕΜΠ, Αθήνα Νοέμβριος 2012.

Κ. Στεφανάκης, “Μελέτη αντλησιοταμίευσης για εξοικονόμηση καυσίμου στο ενεργειακό σύστημα της Κρήτης”, Διπλωματική Εργασία, Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Κρήτης, ΕΜΠ, Ηράκλειο 2005.

ΚΑΠΕ, “Οδηγός τεχνολογιών ηλεκτροπαραγωγής από ΑΠΕ”, Αθήνα 2001.

Μ. Αρχοντίκη (2010) “Μελέτη δομής και λειτουργίας ενός υβριδικού ηλεκτρομηχανικού συστήματος μετατροπής της ενέργειας από ανανεώσιμες σε ηλεκτρική” Διπλωματική Εργασία, Πολυτεχνείο Πατρών

Μ. Γερανάκη, “Μελέτη της επίδρασης συστήματος αντλησιοταμίευσης στην δυναμική ασφάλεια του ΣΗΕ της Ικαρίας”, Διπλωματική Εργασία, Σχολή Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών ΕΜΠ, Αθήνα 2009.

Μιχ. Π. Παπαδόπουλου, “Παραγωγή Ενέργειας από Ανανεώσιμες Πηγές”, Εκδόσεις ΕΜΠ, Αθήνα 1997.

Μπαλανός Κ., 2006, Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Προοπτικές εφαρμογής τους στην Ελλάδα

Ν. Μαμάσης, Ι. Στεφανάκος, “Εισαγωγή στην Ενεργειακή Τεχνολογία: Υδροηλεκτρική ενέργεια”, Τομέας Υδάτινων Πόρων και Περιβάλλοντος, ΕΜΠ, Αθήνα 2010.

Ν. Χατζηαργυρίου (Επιστ. Υπεύθυνος), Ερευνητικό Έργο, “Ανάλυση Ευστάθειας Διασυνδεδεμένου Συστήματος υπό μεγάλη Αιολική Διείσδυση και Αξιολόγηση Μεταβατικής Συμπεριφοράς Ανεμογεννητριών σε βυθίσες τάσεως”, Κεφάλαιο 5, “Επίδραση μεταβλητότητας ανέμου”, Ε.Μ.Π., Τελική Έκθεση, Αθήνα 2007.

Σ. Παπαευθυμίου Ε. Καραμάνου, Σ. Παπαθανασίου, Μ. Παπαδόπουλος, Σ. Ροντήρης, Ι. Δρυμωνίτης, “Αρχές Διαχείρισης Υβριδικών Σταθμών: Εφαρμογή στο Σύστημα της Ικαρίας”, Πρακτικά Συνόδου της Ε.Ε. CIGRE, Αθήνα, Δεκέμβριος 2009.

Σοφιανίδης Λ., 2006, Εφαρμογές Α.Π.Ε

ΤΕΙ Κρήτης, “Η Αντλησιοταμίευση”, Εργαστήριο Αιολικής Ενέργειας, Ιούλιος 2009
(available from:
www.wel.teiher.gr/index.php?option=com_content&view=article&id=64&Itemid=80&lang=el)