



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ
ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ
ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

Υβριδικά Συστήματα Διεσπαρμένης Παραγωγής

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Στυλιανός Φουρλής

Επιβλέπων: Δημήτριος Μπαργιώτας
Αναπληρωτής Καθηγητής

Συνεπιβλέπων: Ελευθέριος Τσουκαλάς
Καθηγητής

Βόλος, Οκτώβριος 2018



UNIVERSITY OF THESSALY
ENGINEERING SCHOOL
DEPARTMENT OF ELECTRICAL AND
COMPUTER ENGINEERING

Hybrid Systems of Distributed Generation

DIPLOMA THESIS

Stylianos Furlis

Supervisor: Dimitrios Bargiotas

Associate Professor

Co-supervisor: Eleutherios Tsoukalas

Professor

Volos, October 2018

Περίληψη

Στην παρούσα διπλωματική εργασία αναλύεται η σημασία της αποκεντροποίησης της παραγωγής, με σκοπό την μεγαλύτερη διείσδυση των ΑΠΕ στον τομέα της παραγωγής. Το μεγαλύτερο μέρος της παραγωγής σήμερα στηρίζεται σε μεγάλους κεντροποιημένους σταθμούς ορυκτών πόρων όπως λιγνίτη και άνθρακα.

Στο 1^ο κεφάλαιο γίνεται μία εισαγωγή στα συστήματα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας δίνοντας στοιχεία για τα ελληνικά δεδομένα, και τέλος μία μικρή εισαγωγή στην έννοια της διεσπαρμένης παραγωγής

Στο 2^ο κεφάλαιο γίνεται αναφορά στο νέα μοντέλο των συστημάτων ενέργειας και πιο συγκεκριμένα στα έξυπνα δίκτυα (smart-grids). Γίνεται πλήρη εξήγηση της δομής των έξυπνων δικτύων καθώς και αναφορά στα χαρακτηριστικά τους. Στο τέλος αναλύεται ο τρόπος με τον οποίο συμβάλλουν τα έξυπνα δίκτυα στην εισχώρηση της διεσπαρμένης παραγωγής στον παραγωγικό τομέα.

Στο 3^ο κεφάλαιο παρουσιάζεται το μοντέλο που εκφράζει την έννοια του έξυπνου δικτύου, το Μικροδίκτυο καθώς επίσης τα χαρακτηριστικά του, την δομή του και τον τρόπο ελέγχου του.

Στο 4^ο, 5^ο και 6^ο κεφάλαιο παρουσιάζονται λεπτομερώς τα στοιχεία που εισάγονται στο Μικροδίκτυο. Οι τρόποι παραγωγής ενέργειας που στηρίζονται εξ' ολοκλήρου στις ΑΠΕ και τους συσσωρευτές/μπαταρίες ως τρόπος την αποθήκευση ενέργειας και τέλος τα ηλεκτρονικά ισχύος που συμβάλλουν στην βελτιστοποίηση του δικτύου και στην διαχείριση της ενέργειας

Λέξεις κλειδιά: Μικροδίκτυο, Διεσπαρμένη Παραγωγή, Υβριδικά συστήματα, Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας, Έξυπνο δίκτυο, Ανεμογεννήτρια, Κυψέλες καυσίμου, Φωτοβολταϊκά, Συσσωρευτές, Ηλεκτρονικά ισχύος, Μετατροπείας

Abstract

This diplomatic thesis explains the importance of distributed generation with a view to increasing RES penetration in the power generation sector. Most of today's production is based on large centralized stations of mineral fossil fuel resources such as lignite and coal.

Chapter 1 introduces an introduction to the generation and distribution systems of electricity electrical systems providing data for the current situation in Greece; a short introduction to the concept of dispersed production is presented in its latter part.

Chapter 2 includes a presentation of the new power systems/networks and more precisely to smart-grids. There is a detailed and thorough explanation of the structure of smart grids and a presentation of their characteristics. Finally, the way smart grids contribute to the introduction of dispersed production in the power generation.

Chapter 3 is about the model that best represents the concept of smart grid, the Microgrid and more precisely, its features, structure and control methods.

In Chapters 4, 5 and 6 there is a full analysis of the data introduced in Microgrids. The power generations methods, which totally depend on RES, the accumulators and batteries as power storage methods and finally the power electronics which contribute to the optimization of the grid and the power management.

Key Words: Microgrid, Distributed power generation, Hybrid systems, Renewable Energy Sources, Smart Grid, Wind Turbine, fuel cells, Solar Panels, Accumulators, Power Electronics, Converter/Inverter

Πίνακας περιεχομένων

Περίληψη	3
Abstract	4
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1	7
Εισαγωγή στα Συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας	7
1.1 Εισαγωγή.....	7
1.2 Δομή των συστημάτων ενέργειας.....	9
1.3 Το ελληνικό σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας	10
1.4 Διεσπαρμένη παραγωγή	13
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2	15
Από τον κεντρικό έλεγχο στα Έξυπνα δίκτυα	15
2.1 Εισαγωγή στα έξυπνα δίκτυα.....	15
2.2 Το αφηρημένο μοντέλο NIST και οι τομείς του	17
2.3 Τα βασικά χαρακτηριστικά των Smart grids	20
2.4 Κεντροποιημένη και Αποκεντρωμένη Παραγωγή.....	27
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3	34
Μικροδίκτυα	34
3.1 Μικροδίκτυο – Μια πρόταση για το Μέλλον.....	34
3.2 Κατηγορίες και έλεγχος του Μικροδικτύου	36
3.3 Θέση εγκατάστασης του Μικροδικτύου	50
3.4 Απομονωμένη λειτουργία και σύνδεση με το κυρίως δίκτυο	51

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4	54
Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας	54
4.1 Εισαγωγή στις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (ΑΠΕ)	54
4.2 Φωτοβολταϊκές Κυψέλες.....	56
4.3 Ανεμογεννήτριες	61
4.4 Κυψέλες καυσίμου.....	65
4.5 Γεωθερμία.....	68
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5	71
Τεχνολογία των συσσωρευτών.....	71
5.1 Εισαγωγή στην τεχνολογία των συσσωρευτών	71
5.2 Φόρτιση και εκφόρτιση	74
5.3 Παράγοντες επίδρασης στην διάρκεια ζωής	77
5.4 Τεχνολογίες συσσωρευτών μόλυβδου	80
5.5 Συσσωρευτές και Μικροδίκτυο.....	82
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6	83
Διαχείριση Ενέργειας και ηλεκτρονικά ισχύος.....	83
6.1 Εισαγωγή στα ηλεκτρονικά ισχύος και στους μετατροπείς.....	83
6.2 Μοντέλα τρανζίστορ για ημιαγώγιμα στοιχεία ισχύος.....	84
6.3 Μοντέλα θυρίστορ για ημιαγώγιμα στοιχεία ισχύος	87
6.4 Τα επίπεδο ισχύος και οι αντίστοιχες διακοπτικές συχνότητες	90
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	91
ΕΝΔΕΙΚΤΙΚΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	92

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

Εισαγωγή στα Συστήματα Ηλεκτρικής Ενέργειας

1.1 Εισαγωγή

Ο ηλεκτρισμός εδώ και πολλούς αιώνες αποτελεί αναπόσπαστο κομμάτι της καθημερινότητάς του ανθρώπου. Ήδη από το έτος 1889 ο ηλεκτρισμός κατέφθασε στην Ελλάδα σύμφωνα με τα ιστορικά στοιχεία της ΔΕΗ Α.Ε. Ξεκινώντας τις βασικές αρχές των συστημάτων αυτών βασικό μέλημα αποτελεί η συνεχή κάλυψη των αναγκών του καταναλωτή που με το πέρασμα των χρόνων παρατηρείται ραγδαία αύξηση. Σκοπός λοιπόν των μηχανικών για να μπορέσει να λειτουργήσει σωστά ένα σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας είναι να γίνει ένας σωστός σχεδιασμός, έτσι ώστε αυτό να λειτουργεί αξιόπιστα αποδοτικά, να έχει περιθώρια βελτιστοποίησης, επέκτασης αλλά και δυνατότητα τροποποίησης.

Σοβαρό ζήτημα που απασχολεί τα σύγχρονα συστήματα στην πλειοψηφία τους είναι η αλματώδη αύξηση της ζήτησης του φορτίου. Χαρακτηριστικό παράδειγμα του συγκεκριμένου ζητήματος αποτελούν οι χώρες της Μέσης ανατολής όπου το 1990 παρατηρήθηκε πόσο κατανάλωσης ενέργειας κοντά στις 2.600 TWh και έπειτα το 2008 εκτοξεύτηκε στις 6.900 TWh, δηλαδή μια αύξηση της τάξης του 170%. Ανάλογες περιπτώσεις αποτελούν η Ινδία και η Κίνα (Πίνακας 1.1). Σε παγκόσμιο επίπεδο σ' αυτήν την διάρκεια των 18 χρόνων υπήρξε αύξηση της τάξης του 39%, από 102.300 TWh σε 142.300 TWh. Για να καλυφθούν οι συγκεκριμένες ανάγκες θεμελιώδης απαίτηση αποτελεί η ανάπτυξη των Ανανεώσιμων Πηγών ενέργειας και η βελτιστοποίηση των ήδη υπαρχόντων.

Πίνακας 1.1 Αύξηση κατανάλωσης ενέργειας ανά περιοχή [5].

Region	kWh/capita			Population (million)			Energy use (1,000 TWh)		
	1990	2008	Growth	1990	2008	Growth	1990	2008	Growth
USA	89,021	87,216	-2%	250	305	22%	22.3	26.6	20%
EU-28	40,240	40,821	1%	473	499	5%	19.0	20.4	7%
Middle East	19,422	34,774	79%	132	199	51%	2.6	6.9	170%
China	8,839	18,608	111%	1,141	1,333	17%	10.1	24.8	146%
Latin America	11,281	14,421	28%	355	462	30%	4.0	6.7	66%
Africa	7,094	7,792	10%	634	984	55%	4.5	7.7	70%
India	4,419	6,280	42%	850	1,140	34%	3.8	7.2	91%
Others*	25,217	23,871	nd	1,430	1,766	23%	36.1	42.2	17%
The World	19,422	21,283	10%	5,265	6,688	27%	102.3	142.3	39%

Source: IEA/OECD, Population OECD/World Bank

• Energy use = kWh/capita * billion capita (population) = 1 TWh

• Others: Mathematically calculated, includes e.g. countries in Asia and Australia. The use of energy varies between the "other countries": E.g. in Australia, Japan, or Canada energy is used more per capita than in Bangladesh or Burma.

Μετάπειτα, τα καταστροφικά καιρικά φαινόμενα η μόλυνση του περιβάλλοντος η κλιματική αλλαγή αρχίζουν να επηρεάζουν σε μεγάλο βαθμό όλους τους κατοίκους παγκοσμίως ακόμα και στις αναπτυγμένες χώρες. Αναλύοντας ακόμα το φαινόμενο του θερμοκηπίου παρουσιάζεται σημαντική άνοδος της θερμοκρασίας, που οδηγεί την πολιτεία στην δημιουργία ενός μακροχρόνιου πλάνου με σκοπό την αντιμετώπιση του. Το φαινόμενο αυτό κατά βάση είναι φυσικό, ωστόσο αναμφισβήτητο γεγονός αποτελεί ότι η ανθρώπινη δραστηριότητα με την αύξηση του CO₂ (διοξειδίου του άνθρακα), επιβαρύνει ακόμα την ατμόσφαιρα που οδηγεί σε δυσάρεστα αρνητικά αποτελέσματα. Οι επιπτώσεις αυτές έχουν αρχίσει να δημιουργούν πολλά προβλήματα σε πολλές περιοχές παγκοσμίως.

Το πρώτο βήμα της παγκόσμιας κοινότητας έγινε από τον Οργανισμό Ηνωμένων εθνών, προκειμένου να αντιμετωπιστούν τα συγκεκριμένα προβλήματα με το πρωτόκολλο του Κιότο το οποίο αποτελεί μια συμφωνία μεταξύ των κρατών που επιβάλλει από τα ίδια τα κράτη να συμβάλλουν στην σημαντική μείωση της εκπομπής των αερίων καθώς και στην δημιουργία κατάλληλων υποδομών και φίλτρων που θα μειώσει αισθητά τις μολύνσεις των υδάτων, του αέρα και του εδάφους.

Πίνακας 1.2 Αέρια θερμοκηπίου με τη μεγαλύτερη αύξηση συγκέντρωσης[32].

Αέριο	Επίπεδα 1998	Αύξηση από το 1750	Ποσοστό αύξησης	Συνεισφορά στο φαινόμενο [W/m ²]
Διοξείδιο του άνθρακα (CO ₂)	365 ppm	87 ppm	31%	1,46
Μεθάνιο (CH ₄)	1,745 ppb	1,045 ppb	150%	0,48
Υποξείδιο του Αζώτου (N ₂ O)	314 ppb	44 ppb	16%	0,15

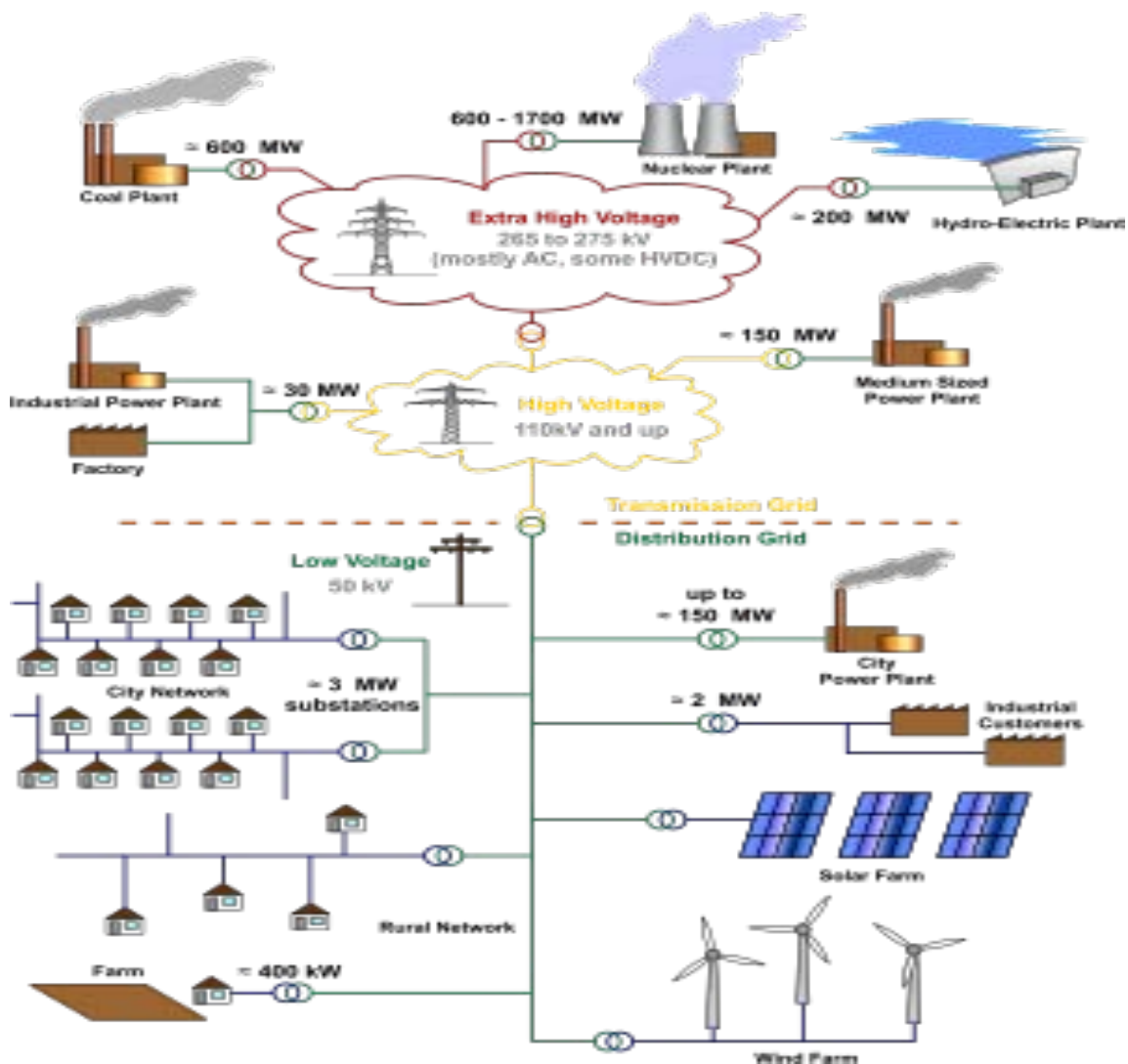
Τέλος, η θεωρία ότι οι πρώτες ύλες με τις οποίες παράγεται η ενέργεια από τις συμβατικές πηγές είναι άφθονες και δεν υπάρχει λόγος δημιουργίας νέων σταμάτησε να υφίσταται από τις δεκαετίες του '70 και '80 όπου ουσιαστικά συνέβαλαν σε μεγάλο βαθμό οι ενεργειακές κρίσεις. Έτσι, εμφανίστηκε επιτακτική ανάγκη εμβάθυνσης στην θεωρία των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Όπως θα εξετασθούν και λεπτομερώς στην συνέχεια φαίνεται πως οι μεγάλες ποσότητες ενέργειας από πρώτες ύλες θα αντικατασταθούν από τον ήλιο, το νερό και τον άνεμο.

1.2 Δομή των συστημάτων ενέργειας

Η πλειοψηφία των συστημάτων ηλεκτρικής ενέργειας ανά τον κόσμο δομήθηκε όλες τις προηγούμενες δεκαετίες από την γέννηση τους ακόμη, πάνω στην διαπίστωση ότι το κόστος της παραγόμενης ενέργειας μειώνεται με την αύξηση του μεγέθους των σταθμών παραγωγής ενέργειας. Η διαπίστωση αυτή ήταν καθοριστικός παράγοντας για την δομή των ηλεκτρικών δικτύων καθώς βασικότερα κριτήρια για την ηλεκτροπαραγωγή ήταν το κόστος και η απόδοση. Η δημιουργία οπότε μεγάλων σταθμών λιγνίτη ή πετρελαίων και η συνεχή επένδυση έτσι ώστε να μεγεθυνθούν αυτές οι μονάδες δημιούργησε ένα μοντέλο μονόδρομης ροής ισχύος από τους σταθμούς παραγωγής μέσω μεγάλων γραμμών μεταφοράς στα αστικά κέντρα.

Αναλόγως λοιπόν και με την μονάδα στην οποία βρισκόμαστε για σημαντικούς λόγους βλέπουμε και μεγάλες αλλαγές ως προς την τάση. Από τους σταθμούς παραγωγής όπως λιγνίτη ή πετρέλαιο αλλά και πυρηνικής μορφής συναντάμε την λεγόμενη υπερύψηλή τάση των 400kV (ΥΥΤ). Σε άλλους σταθμούς όπως λιθάνθρακα η ακόμα και

υδροηλεκτρικούς η τάση ανυψώνεται στα 230kV (ΥΤ). Ο λόγος αυτής της ανύψωσης τάσης εξυπηρετεί τον τομέα της μεταφοράς καθώς έτσι παρουσιάζονται λιγότερες απώλειες. Στην συνέχεια, φτάνοντας στα αστικά κέντρα γίνεται πτώση τάσης στα 11kV έως και 35kV στην μέση τάση (ΜΤ) για να εξυπηρετήσει μεγάλες μονάδες της βιομηχανίας αλλά και διάφορων άλλων υποδομών, και τέλος από την μέση τάση γίνεται ακόμα μία πτώση στην χαμηλή τάση (ΧΤ) στα 400V που είναι ουσιαστικά η τάση στο τοπικό δίκτυο που φτάνει στα σπίτια των περισσότερων καταναλωτών (Σχήμα 1.3).



Σχήμα 1.3 Αναπαράσταση της δομής ενός ΣΗΕ

1.3 Το ελληνικό σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας

Η γεωγραφική διάταξη της χώρας καθιστά το ελληνικό σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας περίπλοκο αλλά ταυτόχρονα ενδιαφέρον. Ο μεγάλος αριθμός των νησιών αλλά πόσο μάλλον και η Κρήτη απαιτεί έναν μεγάλο αριθμό υποθαλάσσιων διασυνδέσεων είτε με σύστημα συνεχής τάσης HVDC είτε με εναλλασσόμενο τεχνολογίας HVAC. Ωστόσο, η πλειοψηφία των νησιών μέχρι και σήμερα ουσιαστικά αυτοεξυπηρετούνταν με μικρούς τοπικούς πετρελαιοσταθμούς. Με την μεγάλη κρίση των πρώτων υλών το πετρέλαιο σαν καύσιμο την σήμερα εποχή φαντάζει αδύνατον οικονομικά να αποτελεί την κύρια πηγή ηλεκτρικής παραγωγής. Γι' αυτό στα μελλοντικά σχέδια του ΑΔΜΗΕ σαν θυγατρική εταιρεία της ΔΕΗ Α.Ε έχουν δρομολογηθεί υποθαλάσσιες διασυνδέσεις με σκοπό την ένταξη των περισσότερων νησιών στο κύριο ηπειρωτικό δίκτυο (Σχήμα 1.5) [32].



Σχήμα 1.4 Χερσαίες Διασυνδέσεις ΑΔΜΗΕ[32]



Σχήμα 1.5 Μελλοντικές Υποθαλάσσιες Διασυνδέσεις ΑΔΜΗΕ[32]

Στον ελλαδικό χώρο η μεγαλύτερη ποσότητα ενέργειας που παράγεται στηρίζεται στον λιγνίτη.. Η εγκατεστημένη ισχύς των υδροηλεκτρικών σταθμών είναι επίσης

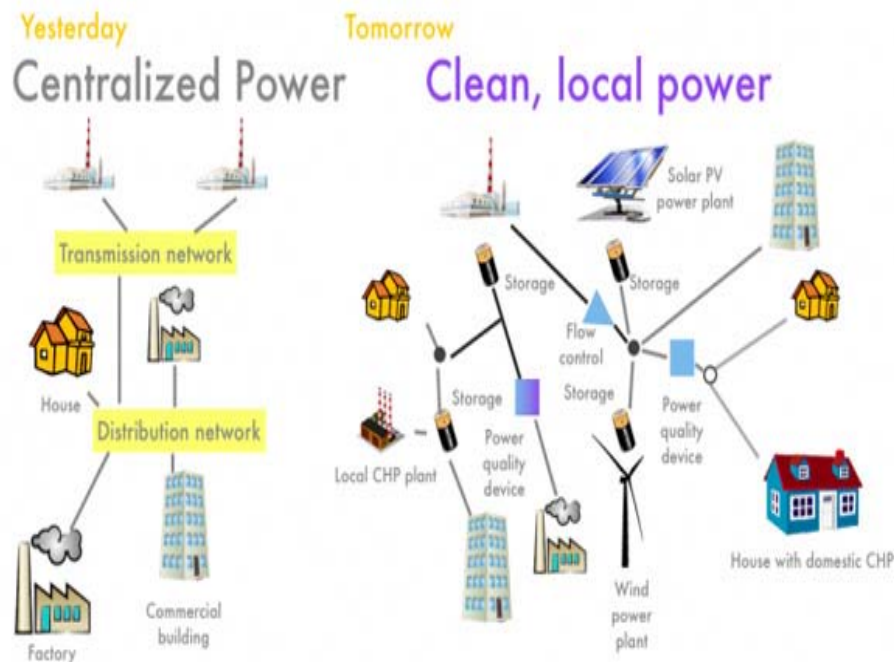
σημαντική, ωστόσο οι περιορισμοί της υδραυλικότητας την καθιστούν συχνά μη εκμεταλλεύσιμη. Τα τελευταία χρόνια παρατηρείτε αύξηση παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας μέσω των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας με μεγαλύτερη έμφαση στην αιολική και την ηλιακή ενέργεια, καθώς η χώρα μας προσφέρει μεγάλες ευκαιρίες στον συγκεκριμένο τομέα. Γι' αυτό και η ελληνική αγορά ανανεώσιμων πηγών ενέργειας από το 1990 και μετέπειτα δείχνει πλέον σημάδια σχετικής ωριμότητας και διαθεσιμότητας επένδυσης στον συγκεκριμένο τομέα. Βέβαια να σημειώσουμε πως αυτή την στιγμή η Ελλάδα αδυνατεί να καλύψει της ίδιες της ανάγκες της σε ενέργεια γι' αυτό και αναγκάζεται να εισάγει ενέργειας είτε με την διασύνδεση της με την Ιταλία είτε από τις βόρειες χώρες.

Πίνακας 1.6 Ετήσια παραγωγή ΔΕΗ ανά είδος σταθμού 2012 [43]

Καύσιμο	Εγκατεστημένη Ισχύς (MW)	%
Λιγνίτης (100% ΔΕΗ)	4.456	28,43%
Φυσικό Αέριο (35% ΔΕΗ, 65% ιδιώτες)	4.486	28,62%
Πετρέλαιο (100% ΔΕΗ)	698	4,45%
Μεγάλα Υδροηλεκτρικά (100% ΔΕΗ)	3.018	19,25%
ΑΠΕ (~100% ιδιώτες)	3.018	19,25%
ΣΥΝΟΛΟ	15.676	100,00%

1.4 Διεσπαρμένη παραγωγή

Ξεκινώντας την δόμηση των ηλεκτρικών εγκαταστάσεων ανά τον κόσμο, φαίνεται να δόθηκε μεγάλη σημασία στην κεντρικοποιημένη παραγωγή, γιατί όπως αναφέρθηκε παραπάνω διαπιστώθηκε πως όσο μεγεθυνόταν η παραγόμενη εγκατεστημένη ισχύς τόσο πιο συμφέρουσα γινόταν οικονομικά. Ακολουθώντας την συγκεκριμένη τακτική φτάσαμε στο σημείο δημιουργίας γιγαντιαίων εγκαταστάσεων είτε λιγνίτη είτε πετρελαίου είτε ακόμα και με πυρηνικά καύσιμα ώστε να μειωθεί κατά πολύ η τιμή παραγωγής της κιλοβατόρας, αφού βασικό κριτήριο εδώ και πολλά χρόνια στα συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας είναι να αποτελεί ένα σύστημα οικονομικό και ταυτόχρονα ευσταθές για την παροχή καλής ποιότητας ενέργειας στους καταναλωτές. Η δημιουργία τέτοιων εγκαταστάσεων άρχισε να δημιουργεί αρκετά προβλήματα καθώς απαιτούνταν συνέχεια δημιουργία και μεγαλύτερων δικτύων μεταφορές φτάνοντας πλέον να μιλάμε και για την υπερυψηλή τάση φτάνοντας μέχρι και τα 1000kV.



Σχήμα 1.7 Αναπαράσταση του μελλοντικού δικτύου σε σχέση με το υφιστάμενο[42]

Έτσι δομήθηκε το μέχρι πρότινος σύστημα. Λίγοι μεγάλοι σταθμοί με τεράστια εγκατεστημένη ισχύ να συνδέονται με πολλά αστικά κέντρα με διασυνδετικές γραμμές τεράστιας απόστασης σε υψηλή τάση. Ενώ η δόμηση του συστήματος αυτού εξελισσόταν, πολλές βιομηχανίες μελετήσαν και βρήκαν σαν οικονομικότερη λύση την δημιουργία τοπικών ιδιόκτητων σταθμών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και θερμότητας. Με αφορμή το συγκεκριμένο γεγονός, ήδη από το 1980, άρχισε να αμφισβητείται το συγκεκριμένο μοντέλο εισάγοντας έτσι τον όρο της <<Διεσπαρμένης παραγωγής>>. Ωστόσο, η εφαρμογή του νέου αυτού μοντέλου πριν την εφαρμογή του στα συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας φαίνεται να είχε πρωταγωνιστικό ρόλο σε ανάγκες ψύξης, θέρμανσης, φωτισμού και κίνησης. Το γεγονός ότι η διεσπαρμένη παραγωγή αν και δεν ελέγχεται από κάποιον κεντρικό φορέα (ηλεκτρική επιχείρηση), προσφέρει πολλά θετικά στοιχεία στο συνολικό ηλεκτρικό δίκτυο, όπως διάφορες υπηρεσίες στους ίδιους τους καταναλωτές που ίσως μια ηλεκτρική επιχείρηση απλά θα αδιαφορούσε. Να σημειωθεί πως τα τελευταία χρόνια με το άνοιγμα της ηλεκτρικής ενέργειας δίνεται σημαντική χρηματοδότηση για την δημιουργία νέων υποδομών διεσπαρμένης παραγωγής.

Όπως θα αναλύσουμε και στην συνέχεια, βασικό εργαλείο υλοποίησης του μοντέλου της διεσπαρμένης παραγωγής αποτελεί το Μικροδίκτυο. Ένα δίκτυο που βασικά στοιχεία παραγωγής είναι οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και μπορεί να λειτουργήσει είτε σε κατάσταση αποκοπής από το υπόλοιπο δίκτυο (νησιδοποίηση), είτε και ως συνδεδεμένο μ' αυτό.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

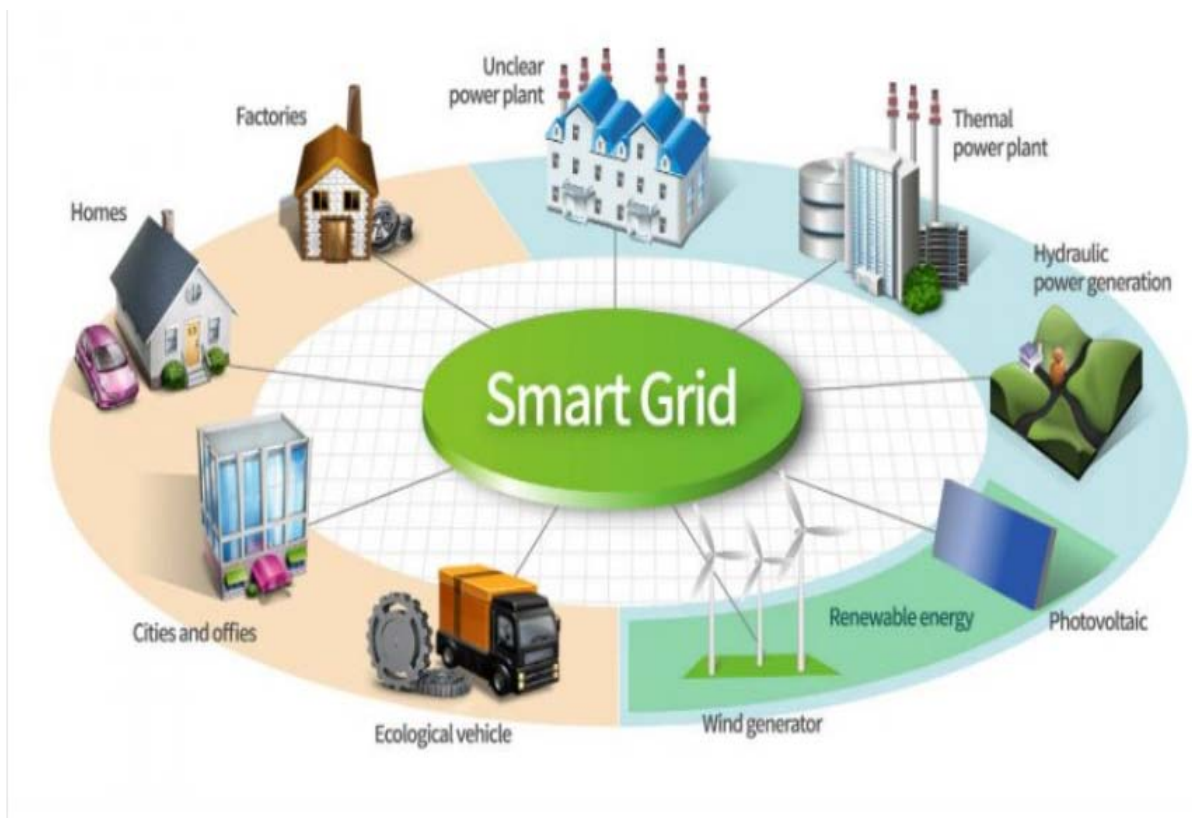
Από τον κεντρικό έλεγχο στα Έξυπνα δίκτυα

2.1 Εισαγωγή στα έξυπνα δίκτυα

Ο ηλεκτρισμός εδώ και πολλούς αιώνες αποτελεί αναπόσπαστο κομμάτι της καθημερινότητας μας. Ο όρος έξυπνο δίκτυο ενέργειας δεν έχει έναν ακριβή και ευρέως αποδεκτό ορισμό, αλλά αποτελεί έννοια που περιέχει μία πληθώρα αλλαγών στο παραδοσιακό σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας. Σύμφωνα λοιπόν με το Electric Power Research Institute (EPRI) το Έξυπνο Δίκτυο παρουσιάζεται ως «μία ευφυής υποδομή παροχής ηλεκτρικής ενέργειας η οποία υποστηρίζεται από τις τελευταίες τεχνολογίες στον τομέα της επικοινωνίας, του υπολογισμού και της ηλεκτρονικής, προκειμένου να ανταποκριθεί στις μελλοντικές απαιτήσεις της κοινωνίας σε ηλεκτρική ενέργεια». Ωστόσο πέρα από την EPRI υπάρχουν κι άλλες εκδοχές πάνω στο θέμα των έξυπνων δικτύων όπως για παράδειγμα του Γραφείου Μεταφοράς και Διανομής Ενέργειας του Department of Energy (DoE) των ΗΠΑ, που υποστηρίζει πως το Έξυπνο Δίκτυο είναι αυτό που «θα εξασφαλίσει την αξιοπιστία, την ασφάλεια και την αποδοτικότητα του ηλεκτρικού συστήματος μέσω ανταλλαγής πληροφοριών κατανεμημένης παραγωγής και αποθήκευσης ενέργειας».

Αναλύοντας τους παραπάνω ορισμούς, μπορούμε να συμπεράνουμε ότι το Έξυπνο Δίκτυο βασικά στηρίζεται στην ενσωμάτωση τεχνολογιών πληροφορικής και επικοινωνιών στο υπάρχον δίκτυο για την συλλογή δεδομένων που θα συμβάλουν στην αποτελεσματικότερη διαχείριση και βελτιστοποίηση της αξιοπιστίας του δικτύου, δίνοντας το δικαίωμα και στους καταναλωτές να ρυθμίζουν και οι ίδιοι της προσωπική τους κατανάλωση ενέργειας ξέροντας ο καθένας την οικονομική του δυνατότητα. Κατ' επέκταση αντιλαμβανόμαστε ότι θα γίνει ενσωμάτωση μιας αμφίδρομης επικοινωνίας και του διαδικτύου δημιουργώντας ευκαιρίες δημιουργίας διαφόρων εφαρμογών πιο φιλικών προς του πελάτες/καταναλωτές. Μέσω της συλλογής δεδομένων η τεχνολογία της

πληροφορίας θα επιτρέπει πλέον τον απομακρυσμένο έλεγχο όλων των σταδίων από την παραγωγή στην κατανάλωση, την αμφίδρομη επικοινωνία μεταξύ παραγωγής και κατανάλωσης (δίνοντας την ευκαιρία στον καταναλωτή να μετέχει και στην παραγωγή ως prosumer), την εξασφάλιση βιωσιμότητας (sustainability) και ποιότητας υπηρεσιών, την κατανεμημένη (distributed) παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, την επεξεργασία της πληροφορίας σε τοπικό επίπεδο (χωρίς να απαιτείται αποστολή της σε ένα κεντρικό σημείο), την αποθήκευσή της παραγόμενης ενέργειας και την έξυπνη μέτρηση της κατανάλωσής της.



Σχήμα 2.1 Γραφική αναπαράσταση του έξυπνου δικτύου [28]

2.2 Το αφηρημένο μοντέλο NIST και οι τομείς του

Υπάρχει μια πληθώρα τρόπων με τους οποίους μπορεί κανείς να περιγράψει ένα Έξυπνο Δίκτυο. Ένας τρόπος ο οποίος αξιοποιείται συχνά στη βιβλιογραφία αφορά στην απεικόνιση του Έξυπνου Δικτύου ως ενός συνόλου από οντότητες οι οποίες επικοινωνούν μεταξύ τους. Ο τρόπος αυτός όπως προτάθηκε για πρώτη φορά από τον οργανισμό NIST, ο οποίος προσφέρει μια αφαιρετική απεικόνιση του Έξυπνου Δικτύου σε υψηλό επίπεδο, χωρίζοντάς το σε επτά συνεργαζόμενους τομείς - δίκτυα κάθε ένα από τα οποία περιλαμβάνει μία ή περισσότερες οντότητες - συσκευές, συστήματα ή προγράμματα (όπως π.χ. smart meters, συστήματα SCADA κτλ..) τα οποία ανταλλάσσουν πληροφορίες και λαμβάνουν αποφάσεις για την εξασφάλιση της εύρυθμης λειτουργίας του. Όπως φαίνεται και στο Σχήμα. 2.2, οι επτά τομείς στους οποίους μπορούμε να χωρίσουμε ένα Έξυπνο Δίκτυο είναι οι Πελάτες, οι Αγορές, οι Πάροχοι Υπηρεσιών, οι Λειτουργίες, η Παραγωγή, η Μεταφορά και η Διανομή. Ακολουθεί μια περιγραφή των οντοτήτων τις οποίες περιλαμβάνει κάθε τομέας του μοντέλου όπως προκύπτει από τον οργανισμό NIST[30] .

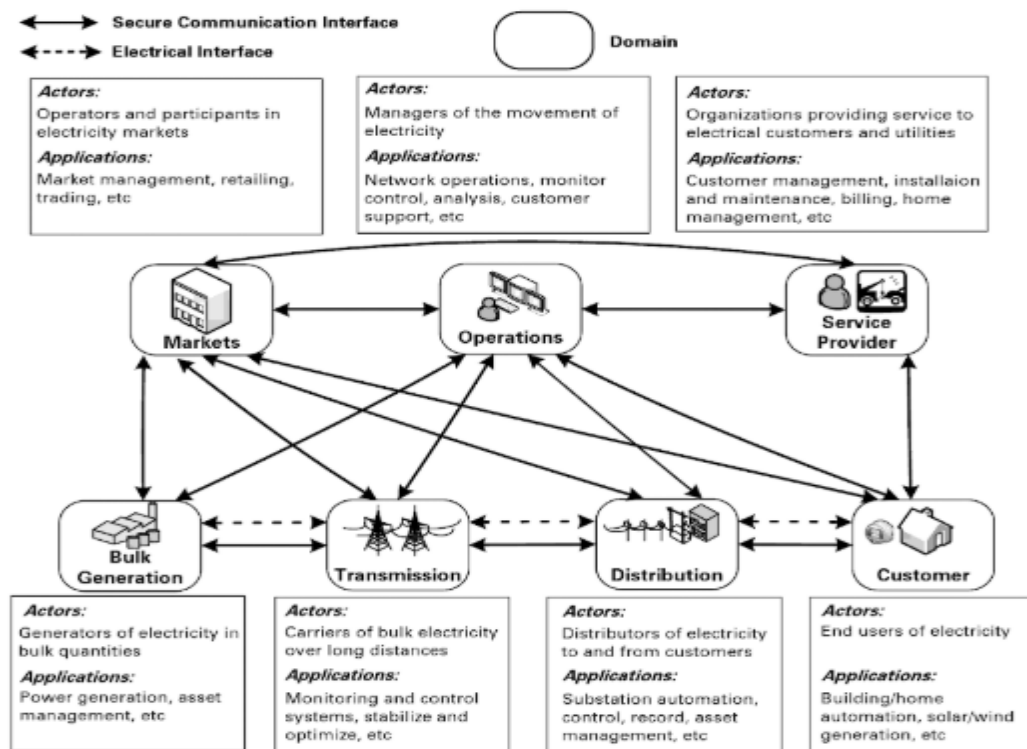
- **Τομέας των πελατών:** Ο τομέας των πελατών είναι ένας από τους βασικούς, καθώς ο καταναλωτής και κατά συνέπεια πελάτης τελικά είναι το κύριο ενδιαφερόμενο μέρος για την υποστήριξη του οποίου δημιουργείται όλο το δίκτυο. Σε αυτό τον τομέα καταναλώνεται η ηλεκτρική ενέργεια και οι οντότητες βοηθούν τους καταναλωτές να διαχειρίζονται την χρήση αλλά και την παραγωγή της αναλόγως με τις ανάγκες του. Ο τομέας των πελατών χωρίζεται συνήθως σε άλλες υποκατηγορίες για τους οικιακούς, εμπορικούς και βιομηχανικούς καταναλωτές, σύμφωνα με τις διαφορετικές απαιτήσεις τους ως προς την κατανάλωση ενέργεια.
- **Τομέας των Αγορών:** Στον τομέα της αγοράς πραγματοποιείται η αγοραπωλησία των πόρων του δικτύου. Είναι σημαντικός, καθώς οι αγορές και οι νέες ευκαιρίες που δημιουργούνται μπορούν να επηρεάσουν πολύ την εξέλιξη της μορφής του δικτύου.

Μέσω του τομέα αυτού επίσης γίνεται και συντονισμός της κατανάλωσης με την παραγωγή.

- **Τομέας Παροχής Υπηρεσιών:** Στον τομέα αυτό δημιουργούνται και παρέχονται νέες και καινοτόμες υπηρεσίες, οι οποίες αξιοποιούν τις ευκαιρίες που παρουσιάζονται με τη νέα μορφή δικτύου. Οι επιχειρήσεις που τις παρέχουν μπορεί να είναι οι εταιρείες ηλεκτρισμού ή καινούργιες επιχειρήσεις, οι οποίες εκμεταλλεύονται τη νέα μορφή του επιχειρηματικού μοντέλου, χωρίς απαραίτητα οι ίδιες να παράγουν ή να σχετίζονται με την ηλεκτρική ενέργεια.
- **Τομέας των Λειτουργιών:** Οι οντότητες στον τομέα των λειτουργιών είναι υπεύθυνες για την ομαλή λειτουργία του συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας. Για να επιτευχθεί αυτό απαιτούνται διαδικασίες παρακολούθησης μεταβλητών του δικτύου, όπως για παράδειγμα συνθήκες φορτίου και κατάσταση του εξοπλισμού, ελέγχου του δικτύου, διαχείριση των σφαλμάτων που προκύπτουν και κατασκευής και συντήρησης του δικτύου. Παρόλο που σήμερα οι διαδικασίες αυτές γίνονται συνήθως από μια επιχείρηση, το έξυπνο δίκτυο θα δώσει τη δυνατότητα διαχωρισμού τους και εκτέλεσής τους από διάφορους φορείς παροχής υπηρεσιών.
- **Τομέας της Παραγωγής:** Ο τομέας της Παραγωγής εμπεριέχει τις πρωταρχικές διαδικασίες για την διάθεση ηλεκτρισμού στον τελικό καταναλωτή, όπως την παραγωγή ηλεκτρισμού από μια πληθώρα μορφών ενέργειας, όπως είναι η αιολική, η ηλιακή, η πυρηνική και η θερμική. Ο τομέας αυτός επικοινωνεί με τα δίκτυα μεταφοράς ή/και διανομής, πρωτίστως ηλεκτρικά, ώστε να μεταφέρει την ενέργεια στα σημεία κατανάλωσης, και μετά μέσω ανταλλαγής πληροφοριών, ώστε να διευθετούνται τα ζητήματα όταν προκύπτουν.
- **Τομέας της Μεταφοράς:** Ένα πολύ σημαντικό κομμάτι των συστημάτων ηλεκτρικής ενέργειας είναι το δίκτυο μεταφοράς, το οποίο μεταφέρει μεγάλες ποσότητες ισχύος

από τα κέντρα παραγωγής προς τους σταθμούς διανομής, μέσω υποσταθμών ζεύξεως ή μετασηματισμού. Επιπλέον, το σύστημα μεταφοράς μπορεί να εξυπηρετεί κατευθείαν πολύ μεγάλους καταναλωτές, και, χρησιμοποιώντας διασυνδεδεμένες γραμμές, μπορεί να ανταλλάσσει ενέργεια με γειτονικά ενεργειακά συστήματα, για να καλύψει ανάγκες ή περίσσεια ηλεκτρικής ενέργειας.

- **Τομέας της Διανομής:** Το δίκτυο διανομής είναι αυτό που συνδέει το δίκτυο μεταφοράς με τους καταναλωτές. Παραδοσιακά είχε ακτινική μορφή, καθώς μετέφερε ενέργεια προς μια κατεύθυνση, από τους σταθμούς παραγωγής προς τους τελικούς πελάτες, και δεν βασιζόταν ιδιαίτερα σε συστήματα τηλεμετρίας.



Σχήμα 2.2.Γραφική αναπαράσταση της αρχιτεκτονικής ενός smart grid σύμφωνα με τον NIST[30]

2.3 Τα βασικά χαρακτηριστικά των Smart grids

Μιλώντας λοιπόν για τα έξυπνα δίκτυα, ταυτόχρονα αναφερόμαστε στον τομέα της πληροφορικής και των τηλεπικοινωνιών, πέρα από τον ενεργειακό. Ουσιαστικά το αντικείμενο αποτελεί τον κρίκο σύνδεσης αυτών των επιστημών, γι' αυτό και τα χαρακτηριστικά που εμφανίζουν καθώς και οι προκλήσεις τους προέρχονται από τις εκάστοτε επιστήμες. Γενικά οι βασικοί κανόνες βελτιστοποίησης ενός συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας προϋποθέτουν το σύστημα να είναι κατά βάση ευσταθές (stability), να είναι αξιόπιστο (reliability) ως προς την ενέργεια που μεταφέρει, να διαθέτει εύκολη προσβασιμότητα με την έννοια της μετρησιμότητας (measurability) και της εκλεξιμότητας (controllability), και τέλος να έχει την δυνατότητα επέκτασης και κλιμάκωσης (scalability). Πιο συγκεκριμένα πέρα από τις εξής υπάρχουν πολλές κατηγορίες που μπορούν να χαρακτηρίσουν ένα έξυπνο δίκτυο. Στην εικόνα 2.3 παρουσιάζονται τα βασικά χαρακτηριστικά που καλείται να έχει ένα έξυπνο δίκτυο. Όπως φαίνεται, διασυνδέονται με μια στενή σχέση αιτίου-αποτελέσματος το ένα με το άλλο και αποτελούν προκλήσεις που θα πρέπει να ληφθούν σοβαρά υπ' όψη κατά το σχεδιασμό ενός έξυπνου δικτύου.[31]

Αξιοπιστία και Ευστάθεια (Reliability and Stability)

Με τον όρο αξιοπιστία αναφερόμαστε στην ικανότητα ενός συστήματος ή και στοιχείων αυτού να εκτελούν τις απαιτούμενες λειτουργίες υπό δεδομένες συνθήκες για καθορισμένο χρονικό διάστημα. Η αξιοπιστία έχει ένα χαρακτηριστικό ανθεκτικότητας. Σε γενικές γραμμές, ερμηνεύει τη λειτουργική υγεία και το βαθμό μεταβλητότητας όλου του 14 συστήματος. Επιπλέον, παρουσιάζει την κατάσταση υψηλής συνοχής, επαναληψιμότητας και φερεγγυότητας που το έξυπνο δίκτυο θα διατηρήσει σύμφωνα με αποτελεσματικές μετρήσεις και εκτιμήσεις. Με την αξιοπιστία απαιτούμε οι βλάβες του συστήματος να συμβαίνουν με μικρή πιθανότητα, ενώ σε περίπτωση που κάτι πάει στραβά, η επίπτωσή του στο συνολικό σύστημα να είναι ελάχιστη και το δυσλειτουργικό στοιχείο να αντικατασταθεί ή να επιδιορθωθεί όσο το δυνατόν συντομότερα. Η αξιοπιστία εξαρτάται από την επίτευξη άλλων καθοριστικών παραγόντων, που περιγράφονται στις

παρακάτω υποενότητες. Η ευστάθεια ενός συστήματος καθορίζει το επίπεδο αξιοπιστίας που το χαρακτηρίζει. Το έξυπνο δίκτυο πρέπει να εγγυάται σταθερότητα της τάσης και του ρεύματος, να περιορίζει τη ζήτηση αιχμής και τη μεταβλητότητα του φορτίου, με την εφαρμογή κατανεμημένης ηλεκτροπαραγωγής (Distributed Generation - DG) και αποθήκευση ενέργειας σε μεγάλες εκτάσεις, και να αποκλείει διάφορα ανεπιθύμητα περιστατικά



Σχήμα 2.3 Γραφική αναπαράστασή των χαρακτηριστικών και των απαιτήσεων ενός έξυπνου δικτύου[31]

Μετρησιμότητα και Ελεγχιμότητα (Measurability and Controllability)

Η διακοπή υπηρεσιών και οι βλάβες είναι περιστατικά σοβαρά και υπάρχει μεγάλη πιθανότητα να συμβούν. Είναι σημαντικό να είναι μετρήσιμα και ελέγξιμα με τρόπο ώστε να μπορούν να πραγματοποιηθούν σκόπιμες εκτιμήσεις και αξιολογήσεις. Το έξυπνο δίκτυο είναι σε θέση να εντοπίζει και να διορθώνει λειτουργικές διαταραχές μέσω δυναμικών μετρήσεων και παρακολούθηση πραγματικού χρόνου. Παράλληλα, θα πρέπει να υπάρχει κάποιος βαθμός παρατηρησιμότητας και διαφάνειας με στόχο την αποτελεσματική ανάλυση, διαχείριση, καθώς και την πρόβλεψη και αντίδραση στις

μεταβαλλόμενες καταστάσεις του δικτύου. Ο πλούτος πληροφοριών των δεδομένων, που ουσιαστικά καθιστά το δίκτυο έξυπνο πρέπει επίσης να είναι μετρήσιμος, παρατηρήσιμος και διαχειρίσιμος.

Ευελιξία και Κλιμάκωση (Flexibility and Scalability)

Το δίκτυο κινείται από μια κεντρική δομή σε πολλαπλά αποκεντρωμένα Μικροδίκτυα (Microgrids - MGs). Η κλιμάκωση του έξυπνου δικτύου είναι σημαντικό να οριστεί καλά. Μέσω της νησιδοποίησης (islanding), τα Μικροδίκτυα προσπαθούν να ενσωματώσουν την κατανεμημένη παραγωγή (DG) και την αποθήκευση ενέργειας για να συνεισφέρουν ενέργεια στις επιχειρήσεις κοινής ωφέλειας σε περιόδους ζήτησης αιχμής. Η λειτουργία της νησίδας εισάγει μια έννοια ενός γιγάντιου έξυπνου δικτύου που αποτελείται από πολλαπλά μικρά έξυπνα δίκτυα. Κάθε τοπικό δίκτυο μπορεί να λειτουργεί αυτόνομα ως προς τη Διαχείριση της Ζήτησης (Demand Side Management - DSM), το μοντέλο ποιότητας και αξιοπιστίας, τη διαχείριση προβλημάτων και τη διαχείριση ασφάλειας.

Η ευελιξία επιτρέπει στο έξυπνο δίκτυο να παρέχει πολλαπλές εναλλακτικές διαδρομές για τη ροή της ενέργειας και των δεδομένων, ενώ επίσης παρέχει επιλογές για να είναι εφικτός ο έλεγχος και η λειτουργία όποτε χρειάζεται. Θα λέγαμε ότι παρουσιάζει τέσσερις πτυχές: α) επεκτασιμότητα για μελλοντική ανάπτυξη με τη διεϊσδυση καινοτόμων και διαφορετικών τεχνολογιών παραγωγής, β) προσαρμοστικότητα στις ποικίλες γεωγραφικές τοποθεσίες και τα κλίματα, γ) πολλαπλές στρατηγικές ελέγχου για το συντονισμό των αποκεντρωμένων συστημάτων ελέγχου ανάμεσα στους υποσταθμούς και τα κέντρα ελέγχου και δ) απρόσκοπτη συμβατότητα με τα διάφορα συλ λειτουργίας της αγοράς και plug-and-play ικανότητα να φιλοξενήσει σταδιακή αναβάθμιση, με συστατικά υλικού και λογισμικού, της τεχνολογίας.

Η ευελιξία μπορεί ακόμη να εφαρμοστεί σε ένα σύνολο προτύπων (standards) που λειτουργούν στο δίκτυο, συμπεριλαμβανομένων των ANSI, IEC, PLC, wireless M-Bus και ZigBee, ούτως ώστε να είναι διαθέσιμα και αναβαθμίσιμα σε όλο τον κόσμο.

Διαθεσιμότητα (Availability)

Η διαθεσιμότητα της ενέργειας και των επικοινωνιών είναι ουσιώδης για τη ζήτηση ενέργειας και πληροφοριών από τους καταναλωτές και βασίζεται στη διαθεσιμότητα των δεδομένων που ανταλλάσσονται στο δίκτυο. Ο βαθμός διαθεσιμότητας πόρων που απαιτείται, ειδικά όταν πρόκειται για θέματα που σχετίζονται με την καθυστέρηση (latency) ή την ασφάλεια, είναι υψηλός. Για παράδειγμα, στα συστήματα προστασίας και ελέγχου της γραμμής η καθυστέρηση χρειάζεται να είναι της τάξης των χιλιοστών του δευτερολέπτου, αλλά μια επίθεση άρνησης υπηρεσίας (Denial of Service - DoS) μπορεί να επιδεινώσει την επίδοση του δικτύου κάνοντας τους servers ή τις υπηρεσίες προσωρινά μη διαθέσιμες. Ο πλεονασμός (redundancy) θα μπορούσε να είναι ένα μέτρο επίλυσης του προβλήματος. Ωστόσο, η αποτελεσματικότητά του θα εξαρτηθεί από το πώς θα σχεδιαστεί το σύστημα για να αποφεύγει παράλληλα το επακόλουθο κόστος της μεγάλης πολυπλοκότητας δικτύου, καθώς και από το θέμα της κλιμάκωσης.

Ανθεκτικότητα (Resiliency)

Ο βαθμός της ανθεκτικότητας καθορίζει πόσο πραγματικά αξιόπιστο είναι το έξυπνο δίκτυο όταν συμβαίνουν διάφορα περιστατικά. Γενικά, το δίκτυο θα πρέπει να είναι σε θέση να παρέχει ηλεκτρική ενέργεια στους πελάτες με ασφάλεια και αξιοπιστία παρά τους οποιουσδήποτε εσωτερικούς ή εξωτερικούς κινδύνους. Ειδικά από τη σκοπιά της ασφάλειας, η ανθεκτικότητα αναπαριστά την ικανότητα ανάκτησης και αποκατάστασης μετά από τις οποιεσδήποτε διαταραχές ή δυσλειτουργίες, μέσω μιας εύρωστης διαδικασίας γρήγορης απόκρισης. Η ικανότητα αυτή της αυτό-θεραπείας καθιστά το δίκτυο ικανό να επαναπροσδιορίζεται δυναμικά ώστε να ανακάμψει από επιθέσεις, διακοπές ρεύματος, φυσικές καταστροφές, κακόβουλες δραστηριότητες και βλάβες των κατασκευαστικών στοιχείων του. Τα ευάλωτα ηλεκτρικά στοιχεία είναι πιθανότατα οι γραμμές μεταφοράς και οι σταθμοί, οι μεγάλες μονάδες παραγωγής ενέργειας, καθώς και οι πυρηνικοί σταθμοί με διαρροή. Σχέδια έκτακτης ανάγκης απαιτούνται για την αντιμετώπιση των παραπάνω δυσμενών περιπτώσεων.

Δυνατότητα Συντήρησης (Maintainability)

Η συντηρησιμότητα αντανακλά ουσιαστικά τη μακροβιότητα και την αξιοπιστία ενός συστήματος. Συνήθως δείχνει την ικανότητά του να εκτελεί αποτελεσματικά και αποδοτικά μια σειρά δράσεων για εργασίες συντήρησης. Οι διαδικασίες που γίνονται ειδικά κατά τη συντήρηση περιλαμβάνουν την επιθεώρηση, την αντιμετώπιση προβλημάτων και την αντικατάσταση. Το έξυπνο δίκτυο θα πρέπει να σχεδιαστεί με τέτοιο τρόπο που να διευκολύνει τη συντήρηση, έτσι ώστε τα διάφορα στοιχεία ενέργειας και επικοινωνιών (π.χ. εγκαταστάσεις, εξοπλισμός, συστήματα, υποσυστήματα, ασφάλεια του δικτύου και διαχείριση) να επιδιορθώνονται γρήγορα και με τρόπο οικονομικά αποδοτικό. Παρομοίως, η υψηλή αποδοτικότητα εργατοώρας, καθώς και των εργαλείων και του εξοπλισμού αποτελεί σημαντικό παράγοντα για το σύστημα συντήρησης του δικτύου.

Βιωσιμότητα (Sustainability)

Η άνοδος της ανησυχίας για το περιβάλλον αλλά και οι κίνδυνοι από τη ζήτηση αιχμής καθιστούν κρίσιμη απαίτηση για τη λειτουργία του έξυπνου δικτύου μεταφοράς τη βιωσιμότητα, η οποία παρουσιάζεται ως επάρκεια, αποδοτικότητα και φιλικότητα προς το περιβάλλον. Η αύξηση της ζήτησης για ηλεκτρική ενέργεια θα πρέπει να ικανοποιηθεί με την εφαρμογή προσιτών εναλλακτικών ενεργειακών πόρων, την αύξηση εξοικονόμησης ενέργειας μέσω της τεχνολογίας στη λειτουργία του συστήματος παροχής και μετριασμό της συμφόρησης δικτύου. Οι καινοτόμες τεχνολογίες που θα χρησιμοποιηθούν θα πρέπει να προκαλούν λιγότερη μόλυνση ή εκπομπές και να είναι ανεξαρτημένες από τον άνθρακα, λαμβάνοντας υπόψη τις περιβαλλοντικές και κλιματικές αλλαγές.

Διαλειτουργικότητα (Interoperability)

Η αποδοτικότητα και αποτελεσματικότητα της συνολικής επίδοσης του συστήματος θα εξαρτηθεί κατά κύριο λόγο από τη διαλειτουργικότητα που παρουσιάζει η υποδομή. Τα κατασκευαστικά στοιχεία του έξυπνου δικτύου προϋποθέτουν την ύπαρξη ενός συνόλου κοινών και διαλειτουργικών προτύπων για τη διασύνδεση τόσο της ενέργειας όσο και των

επικοινωνιών. Αυτή η δυνατότητα απαιτείται κατά την ενσωμάτωση και σύγκλιση διαφόρων τεχνολογιών και πρωτοκόλλων επικοινωνιών, προκειμένου να γίνονται κατανοητά το ένα στο άλλο και να παρέχουν αδιάλειπτη μεταφορά ενέργειας και δεδομένων. Αδέξια αλληλεπίδραση και ενοποίηση μεταξύ των ποικιλόμορφων μερών θα επιβράδυνε το χρόνο απόκρισης και θα υποβάθμιζε τη λειτουργία του συνολικού συστήματος καθώς και την αποδοτικότητα.

Ασφάλεια (Security)

Η έννοια της ασφάλειας απευθύνεται στις δυσλειτουργίες του συστήματος που οφείλονται σε ανθρώπινα αίτια, όπως εσκεμμένες επιθέσεις και μη εξουσιοδοτημένες τροποποιήσεις. Μια ασφαλής και σίγουρη συνδεσιμότητα μεταξύ προμηθευτών και καταναλωτών παρέχει προστασία για τις κρίσιμες εφαρμογές και τα δεδομένα αλλά και άμυνες ενάντια σε παραβιάσεις της ασφάλειας. Διάφορα υπάρχοντα μέτρα και εργαλεία ασφαλείας αποτελούν στοιχειώδεις απαιτήσεις για το έξυπνο δίκτυο, όπως τα συστήματα Firewall, τα συστήματα ανίχνευσης και αποτροπής εισβολών (IDS/IPS), τα εικονικά ιδιωτικά δίκτυα (virtual private network - VPN), τα εικονικά τοπικά δίκτυα (virtual local area network-VLAN) και ο έλεγχος πρόσβασης.

Βελτιστοποίηση (Optimization)

Η βελτιστοποίηση της λειτουργίας και των στοιχείων ενεργητικού του έξυπνου δικτύου είναι επιτακτική ανάγκη. Μπορεί να επιτευχθεί με τη βοήθεια των προηγμένων τεχνολογιών και των έξυπνων ηλεκτρικών συσκευών (Intelligent electronic devices - IEDs), καθώς και με ευφυή διαχείριση και αυτοματισμό, εξισορροπώντας ταυτόχρονα μια ποικιλομορφία μεταβλητών και tradeoffs. Το έξυπνο δίκτυο καλείται να βελτιστοποιηθεί σύμφωνα με όρους α) αξιοπιστίας της παροχής ηλεκτρικής ενέργειας, β) αποδοτικότητας μετατροπής και χρήσης της ενέργειας, γ) ποιότητας παραγωγής και διανομής ενέργειας, δ) διαθεσιμότητας για τη μεταφορά ενέργειας και δεδομένων, ε) αποτελεσματικότητας και ακρίβειας των δεδομένων και των επικοινωνιών, στ) χρονικής απόκρισης και διαχείρισης

σφαλμάτων, ζ) οικονομικό κέρδος. Εν τω μεταξύ, η μείωση του κόστους κεφαλαίου, η πολυπλοκότητα του δικτύου και η χρήση των πόρων είναι αποφασιστικής σημασίας για το έξυπνο δίκτυο που θα αναπτυχθεί στην πράξη.

Εκτός από όσα απεικονίζονται και αναλύθηκαν παραπάνω, ως επιπλέον ιδιότητες ενός μελλοντικού έξυπνου δικτύου θα μπορούσαμε να σημειώσουμε και τα εξής:

Ψηφιοποίηση (Digitalization)

Το έξυπνο δίκτυο θα χρησιμοποιεί μια μοναδική, ψηφιακή πλατφόρμα για γρήγορη και αξιόπιστη ανίχνευση, μέτρηση, επικοινωνία, υπολογισμό, έλεγχο, προστασία, απεικόνιση και συντήρηση ολόκληρου του συστήματος μεταφοράς. Πρόκειται για θεμελιώδες χαρακτηριστικό που θα διευκολύνει την υλοποίηση άλλων έξυπνων λειτουργιών. Αυτή η πλατφόρμα χαρακτηρίζεται από φιλική προς το χρήστη απεικόνιση για ενημέρωση ευαίσθητων καταστάσεων αλλά και από υψηλή ανοχή προς ανθρωπογενή λάθη

Ευφυΐα (Intelligence)

Ευφυείς τεχνολογίες και ανθρώπινη τεχνογνωσία θα ενσωματωθούν στο έξυπνο δίκτυο μεταφοράς. Αυτό-επίγνωση της κατάστασης λειτουργίας του συστήματος θα είναι διαθέσιμη με τη βοήθεια online ανάλυσης στο πεδίο του χρόνου, όπως ανάλυση της σταθερότητας τάσης/γωνίας και της ασφάλειας. Θα υπάρχει, επίσης, αυτό-θεραπεία για να ενισχύσει την ασφάλεια του δικτύου μεταφοράς μέσω συντονισμένων σχημάτων προστασίας και ελέγχου.

Προσαρμογή (Customization)

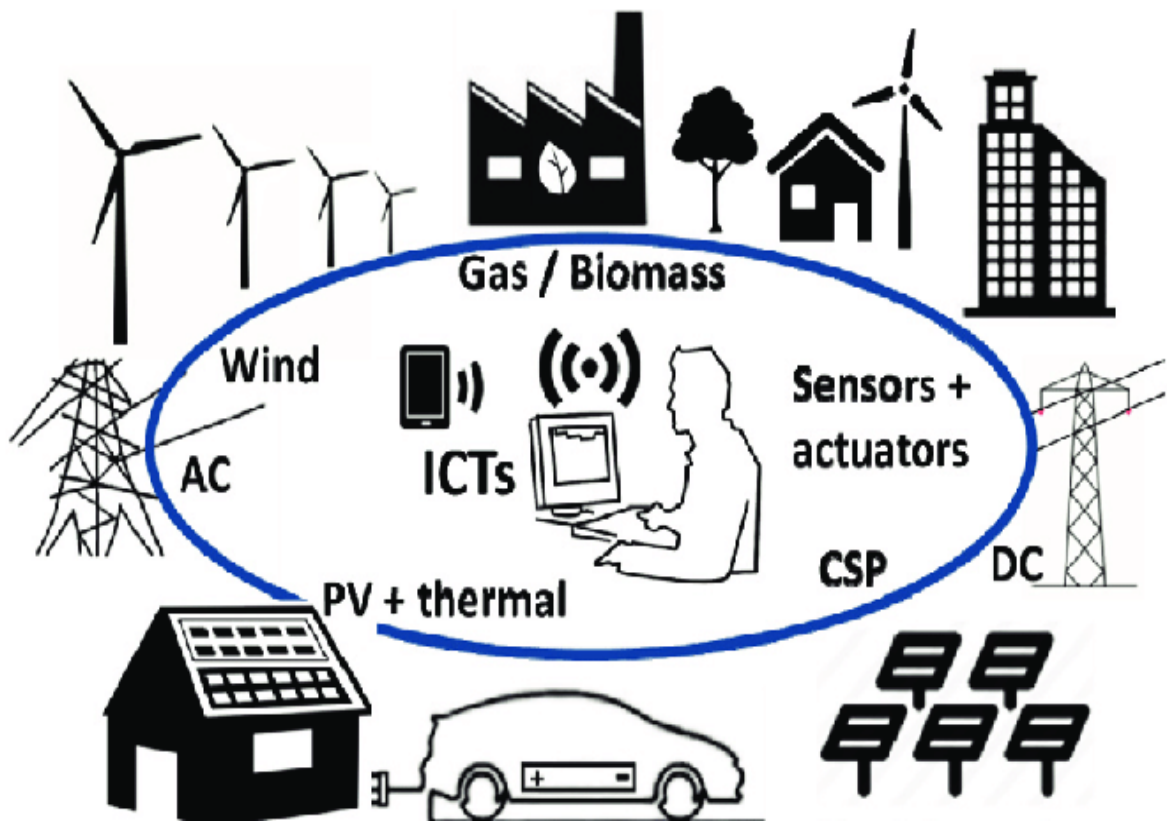
Ο σχεδιασμός του έξυπνου δικτύου μεταφοράς θα είναι, για την ευκολία των φορέων εκμετάλλευσης, προσαρμοσμένος στον πελάτη, χωρίς να χάνει τις λειτουργίες του και τη διαλειτουργικότητά του. Επίσης, θα εξυπηρετεί τους πελάτες παρέχοντας περισσότερες επιλογές κατανάλωσης ενέργειας για έναν υψηλότερο λόγο ποιότητας/τιμής. Το έξυπνο

δίκτυο θα απελευθερώσει περαιτέρω την αγορά ενέργειας με την αύξηση της διαφάνειας και τη βελτίωση του ανταγωνισμού για τους συμμετέχοντες στην αγορά.

2.4 Κεντριοποιημένη και Αποκεντρωμένη Παραγωγή

Όπως προαναφέρθηκε και στις παραπάνω ενότητες, κύρια παραγωγή ενέργειας τόσο στο Μικροδίκτυο που αποτελεί την βασική μονάδα εφαρμογής των Smart-grids όσο και στις νέες κεντριοποιημένες παραγωγές αποτελεί οι Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (Α.Π.Ε), που δύναται να συμβάλλουν κατά μεγάλο βαθμό στην ενεργειακή ενίσχυση του Συστήματος Ηλεκτρικής Ενέργειας. Κάνοντας αναφορά και στην δομή του ίδιου του συστήματος οι έννοιες που περιγράφουν ακριβέστερα την παραγωγή αποτελούν η Κεντριοποιημένη και η Αποκεντρωμένη παραγωγή. Αναλύοντας περαιτέρω τους όρους ο καθένας θα μπορούσε να συνειδητοποιήσει ότι αυτές οι έννοιες δίνουν μία γεωγραφική διάσταση ηλεκτροπαραγωγικών μονάδων οποιαδήποτε είδους αναφορικά με τα σημεία ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας(καταναλωτών).

Με την εισαγωγή των όρων smart grid και distributed generation εισάγουμε την έννοια της καθαρής πράσινης ενέργειας σε δομές ηλεκτροπαραγωγικές που θα καλύπτουν τους τοπικούς καταναλωτές. Ο κυριότερος λόγος που γίνεται η μετάβαση από την Κεντριοποιημένη παραγωγή αποτελεί αφετέρου η εισαγωγή των Α.Π.Ε αλλά και οι σημαντικού βαθμού απώλειες ηλεκτρικής ενέργειας από τις μεγάλου μήκους διασυνδέσεις. Ωστόσο στην αποκεντρωμένη παράγωγή οι μονάδες προφανώς θα είναι μικρότερης παραγόμενης ισχύς από τους υπερμεγέθεις σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής της κεντριοποιημένης της τάξης του 1MW και θα συνδέονται κατευθείαν σε δίκτυα Μέσης Τάσης και σπανιότερα σε Χαμηλής Τάσης εφόσον η ισχύς τους θα είναι μικρότερη από 100kW. Τα τελευταία χρόνια έχουν δημιουργηθεί διάφορα όρια για το σε τι είδους τάσης θα συνδέεται η κάθε μονάδα παραγωγής ανάλογος την εγκατεστημένη της ισχύ. Η τελική ωστόσο απόφαση θα παρθεί από το αποτέλεσμα συγκερασμού μεταξύ τεχνοοικονομικών μελετών και αποφάσεων που αφορούν την στρατηγική ανάπτυξης των δικτύων.



Σχήμα 2.4 Γραφική αναπαράσταση της διεσπαρμένης παραγωγής στο smart grid[32]

Κοιτάζοντας στο Σχήμα 2.4 παρατηρούμαι ότι οι όλοι οι τρόποι ηλεκτροπαραγωγής στηρίζονται πάνω στις Α.Π.Ε, και γνωρίζοντας προς το παρόν λίγα γι' αυτές βασιζόμαστε στο γεγονός ότι λόγω της σχετικά μικρής εγκατεστημένης ισχύος που διαθέτουν, μπορούν να θωρακίσουν στο σύνολό τους την Αποκεντρωμένη παραγωγή(distributed generation). Βασικό κριτήριο τοποθέτησης της κάθε μορφής σταθμού παραγωγής ενέργειας αποτελεί πέρα από το να βρίσκεται κοντά στους καταναλωτές του, οι κατάλληλες περιβαλλοντικές συνθήκες έτσι ώστε ο ίδιος σταθμός να μπορέσει να αποδώσει καλύτερα. Για παράδειγμα τα φωτοβολταϊκά συστήματα, τα αιολικά και τα πάρκα και οι υδροηλεκτρικοί σταθμοί προϋποθέτουν περιοχές αρκετά αραιοκατοικημένες και μη αστικές για λόγους καθαρά επάρκειας και περιβαλλοντικών περιορισμών για την εκμετάλλευση της πρώτης ύλης. Τα αποτελέσματα αυτού του γεγονότος οδηγούν στην κατασκευή ασθενών δικτύων κοντά στις Α.Π.Ε με ανάγκη είτε ως προς την ενίσχυση τους ή κατασκευή νέων, και τέλος ότι οι παραπάνω μονάδες δεν θα καταναλωθούν τοπικά. Υιοθετώντας λοιπόν το συμπέρασμα

αυτό, οι παραπάνω μονάδες μπορούν να θεωρηθούν καταχρηστικά ως Κεντρικοποιημένη παραγωγή, ενώ, επιπρόσθετα, μόνο οι ηλεκτροπαραγωγικοί σταθμοί Α.Π.Ε. που εγκαθίστανται πλησίον των φορτίων (Μέσης ή Χαμηλής Τάσης) μπορούν να θεωρηθούν ως Αποκεντρωμένη παραγωγή. Συχνά οι σταθμοί αυτοί αποκαλούνται κατανεμημένοι ή ακόμα και μονάδες διεσπαρμένης παραγωγής (**Dispersed Power Generation Systems**).

2.5 Το smart metering και οι έξυπνοι μετρητές

Λόγω της κλιματικής αλλαγής, η τροφοδοσία των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας σε δίκτυα διανομής χαμηλής τάσης περιπλέκει την εξισορρόπηση της ζήτησης και της προσφοράς. Αυτό συνεπάγεται σε κίνδυνο αστάθειας δικτύου που προκαλεί ζημιά σε ηλεκτρονικές συσκευές και διακοπές ρεύματος, οι οποίες τελικά οδηγούν σε απώλειες μεγάλης ισχύος. Κατ' αρχήν, τα προβλήματα που προκύπτουν από τη διακύμανση της τροφοδοσίας μπορούν να επιλυθούν με την αύξηση της ελαστικότητας της ζήτησης ή της παραγωγής και κατανάλωσης. Για αρχή, η δημιουργία μίας προηγμένης υποδομής μέτρησης και, για συνέχεια, μια εγκατάσταση αποκεντρωμένης αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας θα αποτελέσουν βασικά στοιχεία βελτίωσης. Ωστόσο, μέχρι σήμερα, η διάχυση των βασικών συστατικών των μελλοντικών έξυπνων δικτύων είναι χαμηλή. Επιτάζεται ανάγκη παροχής νέων ιδεών για την κατανόηση και την υπέρβαση των φραγμών διάχυσης. Αναγνωρίζονται οι σημαντικότεροι ενδιαφερόμενοι φορείς, καθώς και οι σχετικές ιδιωτικές δαπάνες και οφέλη. Τα ευρήματα δείχνουν ότι και τα δύο αυτά συστατικά έξυπνου δικτύου θεωρούνται ευρέως ευεργετικά για την κοινωνία από ειδικούς. Ωστόσο, επειδή τα πολυάριθμα ιδιωτικά οφέλη κατανέμονται ευρέως μεταξύ διακεκριμένων παικτών, οι κοινωνικά επιθυμητές επενδύσεις παρεμποδίζονται από θετικές εξωτερικές επιδράσεις. Η σημασία των καλά σχεδιασμένων και συνεπών κανονιστικών και νομικών πλαισίων που παρέχουν οικονομικά κίνητρα στους εμπλεκόμενους φορείς επισημαίνεται στα αποτελέσματα.

Ένας έξυπνος μετρητής είναι μια ηλεκτρονική συσκευή που καταγράφει την κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας και μεταδίδει τις πληροφορίες στον προμηθευτή

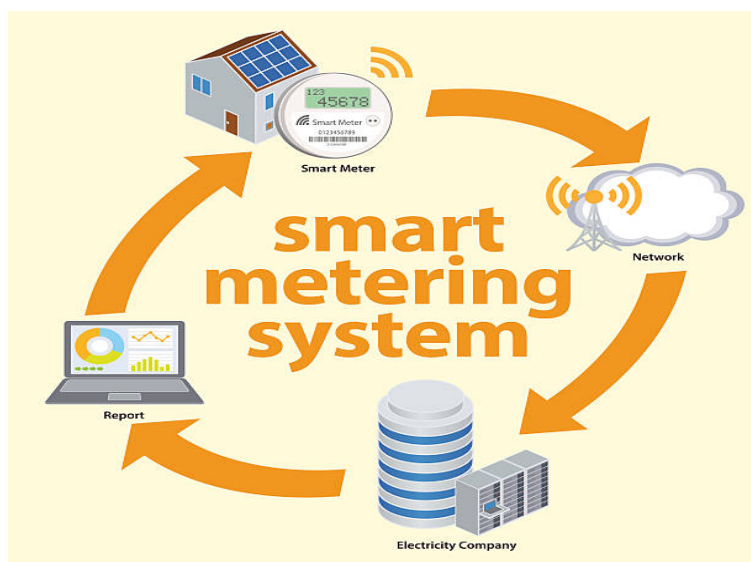
ηλεκτρικής ενέργειας για παρακολούθηση και τιμολόγηση. Οι έξυπνοι μετρητές τυπικά καταγράφουν ενέργεια ωριαία ή συχνότερα και αναφέρουν τουλάχιστον καθημερινά [7]. Οι έξυπνοι μετρητές επιτρέπουν αμφίδρομη επικοινωνία μεταξύ του μετρητή και του κεντρικού συστήματος. Μια τέτοια προηγμένη υποδομή μέτρησης (AMI) διαφέρει από την αυτόματη ανάγνωση μετρητών (AMR) στο ότι επιτρέπει αμφίδρομη επικοινωνία μεταξύ του μετρητή και του προμηθευτή. Οι επικοινωνίες από το μετρητή στο δίκτυο μπορεί να είναι ασύρματες ή μέσω σταθερών ενσύρματων συνδέσεων, όπως φορέα ηλεκτρικής γραμμής (PLC). Οι επιλογές ασύρματης επικοινωνίας που χρησιμοποιούνται συχνά περιλαμβάνουν κυτταρικές επικοινωνίες (που μπορούν να είναι ακριβές), Wi-Fi (άμεσα διαθέσιμα), ασύρματα δίκτυα ad hoc μέσω Wi-Fi, ασύρματα δίκτυα mesh, χαμηλής ισχύος ασύρματα δίκτυα μεγάλης εμβέλειας (LORA) ασύρματο χαμηλής ταχύτητας δεδομένων) και Wi-SUN (Smart Utility Networks).



Σχήμα 2.5 Προσομοίωση ενός έξυπνου μετρητή[22]

Η επικοινωνία είναι μια κρίσιμη τεχνολογική απαίτηση για έξυπνους μετρητές (Σχήμα 2.6). Κάθε μετρητής πρέπει να είναι σε θέση να διαβιβάζει αξιόπιστα και με ασφάλεια τις πληροφορίες που συλλέγονται σε κάποια κεντρική τοποθεσία. Λαμβάνοντας υπόψη τα διάφορα περιβάλλοντα και τις τοποθεσίες όπου βρίσκονται οι μετρητές, το πρόβλημα αυτό μπορεί να είναι αποθαρρυντικό. Μεταξύ των προτεινόμενων λύσεων είναι η χρήση δικτυακών κυττάρων, δορυφορικών ραδιοσυχνοτήτων, ραδιοεπικοινωνιών, και ασύρματων ραδιοσυχνοτήτων. Δεν είναι μόνο το μέσο που χρησιμοποιείται για

επικοινωνιακούς σκοπούς, αλλά και ο τύπος του δικτύου που χρησιμοποιείται. Ως εκ τούτου, θα μπορούσαν να βρεθούν: σταθερό ασύρματο, ασύρματο δίκτυο ματιών και ασύρματα δίκτυα ad hoc ή ένας συνδυασμός των δύο. Υπάρχουν πολλές άλλες πιθανές διαμορφώσεις δικτύου, όπως η χρήση Wi-Fi και άλλων δικτύων που σχετίζονται με το διαδίκτυο. Μέχρι σήμερα καμία λύση δεν φαίνεται να είναι βέλτιστη για όλες τις εφαρμογές. Οι αγροτικές επιχειρήσεις κοινής ωφέλειας έχουν πολύ διαφορετικά προβλήματα επικοινωνίας από αστικές επιχειρήσεις κοινής ωφέλειας ή επιχειρήσεις κοινής ωφέλειας που βρίσκονται σε δύσκολες τοποθεσίες, όπως ορεινές περιοχές ή περιοχές που δεν εξυπηρετούνται από εταιρείες ασύρματου και διαδίκτυο.



Σχήμα 2.6 Προσομοίωση ενός smart metering system[23]

2.6 Πρόσβαση στον καταναλωτή

Η ανάπτυξη των έξυπνων δικτύων υπόσχεται να δώσει στους καταναλωτές μεγαλύτερο έλεγχο στους λογαριασμούς τους για ενέργεια, καθώς και να ενθαρρύνει τους ίδιους στην δημιουργία μικρής κλίμακας οικιακών εγκαταστάσεων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Υπάρχουν πολλά διαφορετικά οφέλη που συνδέονται με την αναβάθμιση του υφιστάμενου δικτύου σε ένα ευφυέστερο δίκτυο για το ευρύ κοινό, αλλά η αξιοπιστία της

παροχής ενέργειας είναι το σημείο έμφασης καθώς η σύγχρονη τεχνολογία, όπως τα κέντρα δεδομένων, απαιτεί συνεπή, αδιάλειπτη δύναμη. Η αξιοπιστία επίσης αποτελεί βασική ανησυχία για την πλειοψηφία των καταναλωτών ηλεκτρικής ενέργειας. Φυσικά, οι φορείς του δικτύου αναμένουν την περιστασιακή διακοπή ρεύματος λόγω καταιγίδων και άλλων καιρικών φαινομένων. Στο παλιό σύστημα, ωστόσο, αν υπήρχε διακοπή ρεύματος, οι επιχειρήσεις κοινής ωφελείας στηριζόταν στους πελάτες της έτσι ώστε να την αναφέρουν προκειμένου να πληροφορούνται ότι απαιτείται επισκευή. Οι έξυπνοι μετρητές χρησιμοποιούν το Διαδίκτυο σαν δίκτυο επικοινωνίας με τους φορείς του ίδιου δικτύου σε πραγματικό χρόνο και μπορεί να ειδοποιήσει άμεσα μέσω βοηθητικού προγράμματος εάν υπάρχει διακοπή οπουδήποτε στο σύστημα. Αυτό θα περιορίσει το ποσοστό των διακοπών αλλά και την διάρκειά τους.

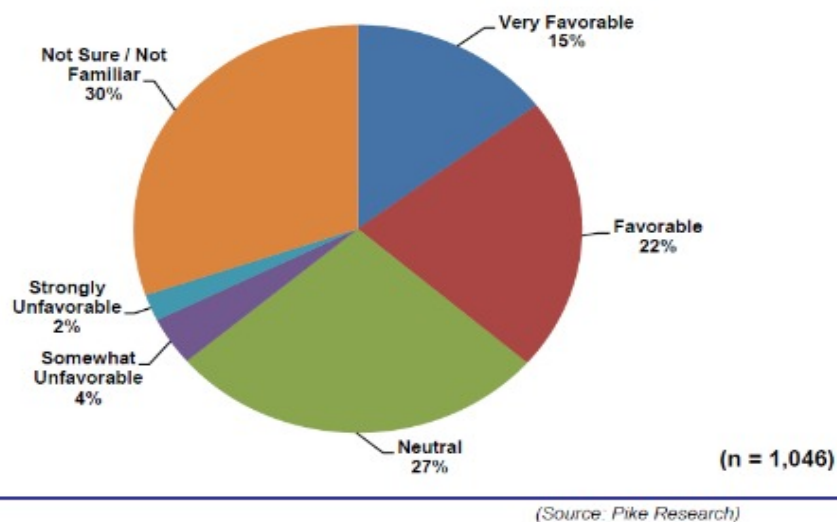
Τα οφέλη για τον καταναλωτή ενέργειας ουσιαστικά βασίζονται στην υψηλότερη αξιοπιστία. Η ικανοποίηση των πελατών αναμένεται να αυξηθεί με τη μετάβαση στο έξυπνο δίκτυο. Οι πελάτες θα έχουν την ευκαιρία να μειώσουν τους λογαριασμούς λόγω της αύξησης της δικής τους γνώσης ως προς την χρήση ενέργειας με την παρακολούθηση των πραγματικών δεδομένων. Με την ανάλυση αυτών των δεδομένων, ο πελάτης θα μπορεί να καθορίσει το πόση ενέργεια θα χρησιμοποιήσει και να αλλάξει την συμπεριφορά του έτσι ώστε να είναι πιο ενεργειακά αποδοτική απενεργοποιώντας συσκευές και τη χρήση τους κατά τη διάρκεια υψηλών περιόδων ζήτησης. Προκειμένου να αξιοποιηθεί πλήρως το δυναμικό αυτών των αποταμιεύσεων, ο πελάτης ίσως χρειαστεί να μεταβεί σε τιμολόγηση σε πραγματικό χρόνο.

Επιπλέον, θα υπάρχει ακριβέστερη τιμολόγηση και δεν θα απαιτείται κάποιος ειδικός αναγνώστης μετρητών να επισκέπτεται κάθε μετρητή για κάθε πελάτη για τον προσδιορισμό της κατανάλωσης ενέργειας. Επιπλέον, δεν θα χρησιμοποιείται πλέον η διαδικασία εκτίμησης τιμολόγησης. Όλα τα δεδομένα που αφορούν όλους τους καταναλωτές θα μεταδίδονται ασύρματα από το καθένα έξυπνο μετρητή ξεχωριστά στο βοηθητικό πρόγραμμα για να παράγει μια πιο ακριβή πολιτική τιμολόγησης. Τέλος, δεν θα υπάρχει πλέον η ταλαιπωρία ενός μηνιαίου μετρητή επισκέψεων ανάγνωσης και

εκτίμησης επιβαρύνσεων, και έτσι θα οδηγηθούμε στη βελτίωση της ικανοποίησης των καταναλωτών.

Τέλος, επιστρέφοντας στα τωρινά δεδομένα και στην πραγματικότητα η άγνοια των καταναλωτών πάνω στο συγκεκριμένο θέμα πολλές φορές λειτουργεί αρνητικά στην όλη διαδικασία, καθώς για να επιτευχθεί αυτό το project απαιτείται η ύπαρξη ενός κλίματος εμπιστοσύνης και ευημερίας από όλες τις μεριές. Για παράδειγμα, σε μία έρευνα που εξελίχθηκε διαδικτυακά σε πάνω από 1000 πολίτες των Ηνωμένων Πολιτειών της Αμερικής μόνο το 37% ψήφισε ότι η αναβάθμιση των υφιστάμενων δικτύων σε έξυπνα δίκτυα θα λειτουργήσει θετικά ως προς την αξιοπιστία και στα οφέλη του δικτύου (Σχήμα 2.7).

Chart 4.1 Overall Impressions of Smart Grid



Σχήμα 2.7 Γράφημα της προδιάθεσης των πολιτών για την εισχώρηση του Smart grid[24]

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

Μικροδίκτυα

3.1 Μικροδίκτυο – Μια πρόταση για το μέλλον

Στο κεφάλαιο αυτό εστιάζεται σε ένα νέο μοντέλο το οποίο θα προάγει την έννοια της διεσπαρμένης παραγωγής και θα μπορεί ταυτόχρονα να λειτουργεί και αυτόνομα. Το **Μικροδίκτυο** αποτελεί ίσως την αποτελεσματικότερη λύση στην προώθηση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στην σημερινή αγορά. Θα αποτελεί την βασική μονάδα αλλά και την σημαντικότερη για την ανάπτυξη της έννοιας του έξυπνου δικτύου ξεφεύγοντας από τα παραδοσιακά Κεντροποιημένα συστήματα παραγωγής όπου θα συμβάλει σημαντικά στην μείωση των απωλειών μεταφοράς και διανομής της ηλεκτρικής ενέργειας. Τα Μικροδίκτυα ωστόσο ακόμα αποτελούν μονάδες έρευνας και ανάπτυξης έτσι ώστε να συμβάλλει το μέγιστο στην βελτίωση των ενεργειακών συστημάτων.

Τα οφέλη των Μικροδικτύων φαίνεται να είναι σημαντικά, ένα Μικροδίκτυο έχει την δυνατότητα διασύνδεσης με το κεντρικό δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας. Σε μια τέτοια παραλληλισμένη λειτουργία είναι δυνατή η ανταλλαγή μεγάλων ποσοτήτων ενέργειας. Δυνατότητα παροχής πλεονάζουσας ενέργειας είτε απορρόφηση όταν οι μονάδες του Μικροδικτύου δεν επαρκούν να καλύψουν την ζήτηση. Ακόμη σε περίπτωση μόνιμα διασυνδεδεμένης λειτουργίας είναι δυνατή η αξιόπιστη τροφοδότηση του μικροδικτύου από τις δικές του μονάδες σε περίπτωση κατάρρευσης του κεντρικού δικτύου. Πρέπει να τονιστεί ότι σε περιπτώσεις παραλληλισμένης λειτουργίας με το κεντρικό Δίκτυο, αυτό που πρωτίστως επιδιώκεται είναι να μην προκαλεί το Μικροδίκτυο προβλήματα. Η ποιότητα της τάσης πρέπει να ανταποκρίνεται στις προδιαγραφές του δικτύου, η απορροφούμενη ενέργεια να μην ξεπερνά τις απαιτήσεις ενός τυπικού καταναλωτή.

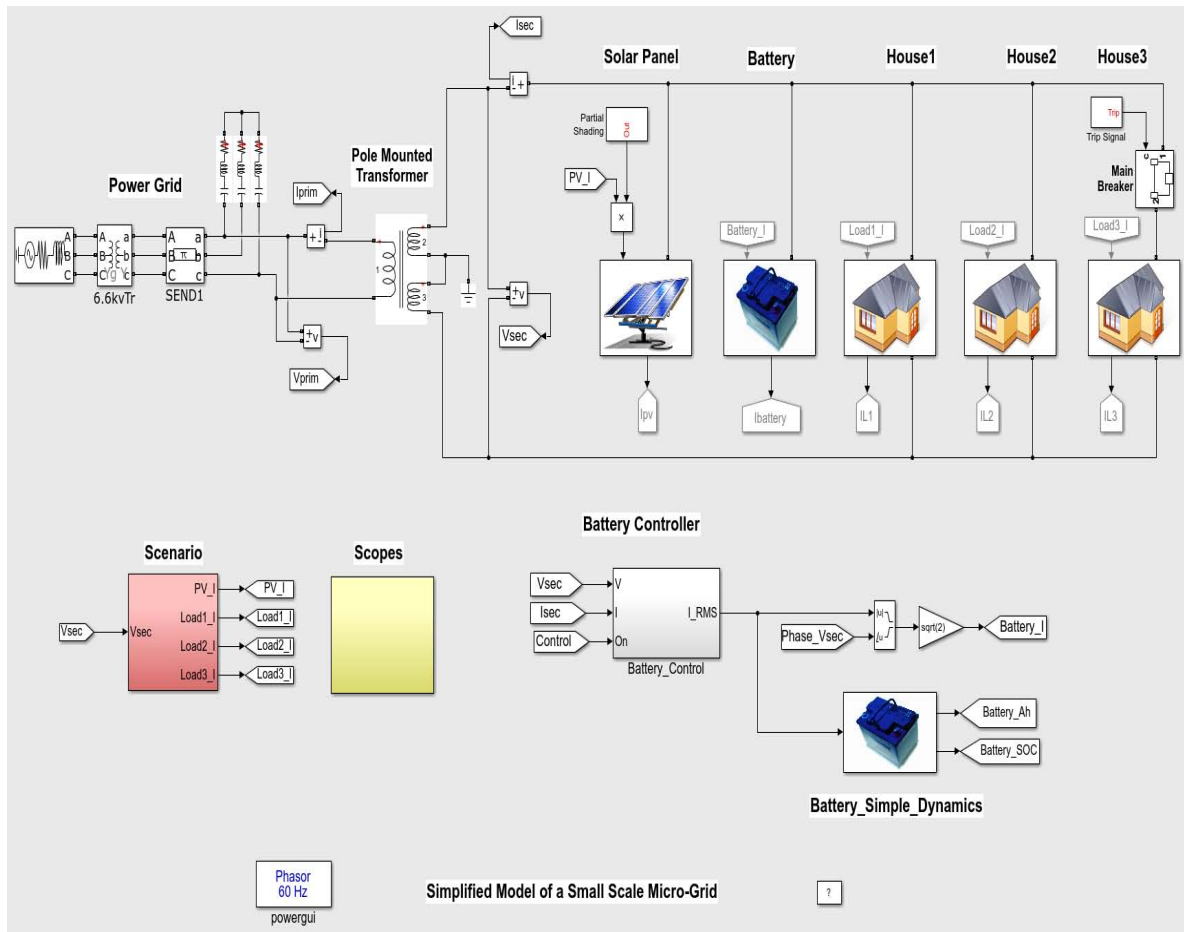
Για την συγκεκριμένη περίπτωση το Μικροδίκτυο μπορεί να αποτελέσει βασικό στήριγμα για το υφιστάμενο κεντρικό δίκτυο ενέργειας. Όπως όταν υπάρχει πλεονάζουσα η ελλιπή ενέργεια το κεντρικό δίκτυο φροντίζει να παρέχει το κατάλληλο συμπλήρωμα για

το Μικροδίκτυο έτσι και το αντίστροφο αλλά όπως είναι λογικό σε πολύ μικρότερο βαθμό ακόμα και σε πολύ μικρά χρονικά διαστήματα. Στην περίπτωση αυτή απαιτείται προφανώς και μία μορφή αμφίδρομης επικοινωνίας μεταξύ των κέντρων ελέγχου του Μικροδικτύου και του κεντρικού υφιστάμενου δικτύου.

Και πάλι νέες τεχνολογίες υπόσχονται πολλά στην διαχείριση των μεταβατικών φαινομένων. Για την κάλυψη υψηλών αιχμών ζήτησης (π.χ. εκκίνηση μεγάλων κινητήρων, ψυγείων) και την αποθήκευση περισευούμενης ενέργειας, ένα Μικροδίκτυο, ιδιαίτερα όταν βρίσκεται σε απομονωμένη λειτουργία, μπορεί να χρησιμοποιεί ενέργεια που αποθηκεύεται σε υπερπυκνωτές, υπεραγωγικά πηνία, μηχανές υψηλής στρεφόμενης αδράνειας (flywheels), συσσωρευτές, ή με τη μορφή δυναμικής ενέργειας μέσω συμπιεστών αέρα ή αντλησιοταμιευτικών συστημάτων. Η τελευταία δε τεχνική μπορεί να εφαρμοστεί σε περιοχές όπου αιολικά ή ηλιακά πάρκα βρίσκονται κοντά σε θάλασσα ή λίμνη, οπότε και αποθηκεύουν την περισευούμενη ενέργεια που παράγουν, αντλώντας νερό σε ταμιευτήρες υψηλότερης στάθμης. Στη συνέχεια όταν χρειάζεται ενέργεια οι αντλητικοί κινητήρες χρησιμοποιούνται ως γεννήτριες, παρέχοντας ισχύ στο Μικροδίκτυο (Σχήμα 3.1).

Μια συνδυασμένη χρήση των νέων τεχνολογιών συμπαραγωγής και ανανεώσιμων πηγών, θα μπορούσε ίσως να κάνει την τιμή της ηλεκτρικής ενέργειας στο Μικροδίκτυο ανταγωνιστική αυτής των κεντρικών δικτύων.

Η αξιόπιστη λειτουργία ενός Μικροδικτύου, συνεπάγεται εκτός από την κάλυψη των απαιτήσεων ενεργού και άεργου ισχύος, και τη συνεχή ρύθμιση της τάσης και της συχνότητας αυτού. Παράλληλα θα πρέπει να περιλαμβάνει όλες τις διατάξεις προστασίας από σφάλματα, βραχυκυκλώματα ή διαρροές.



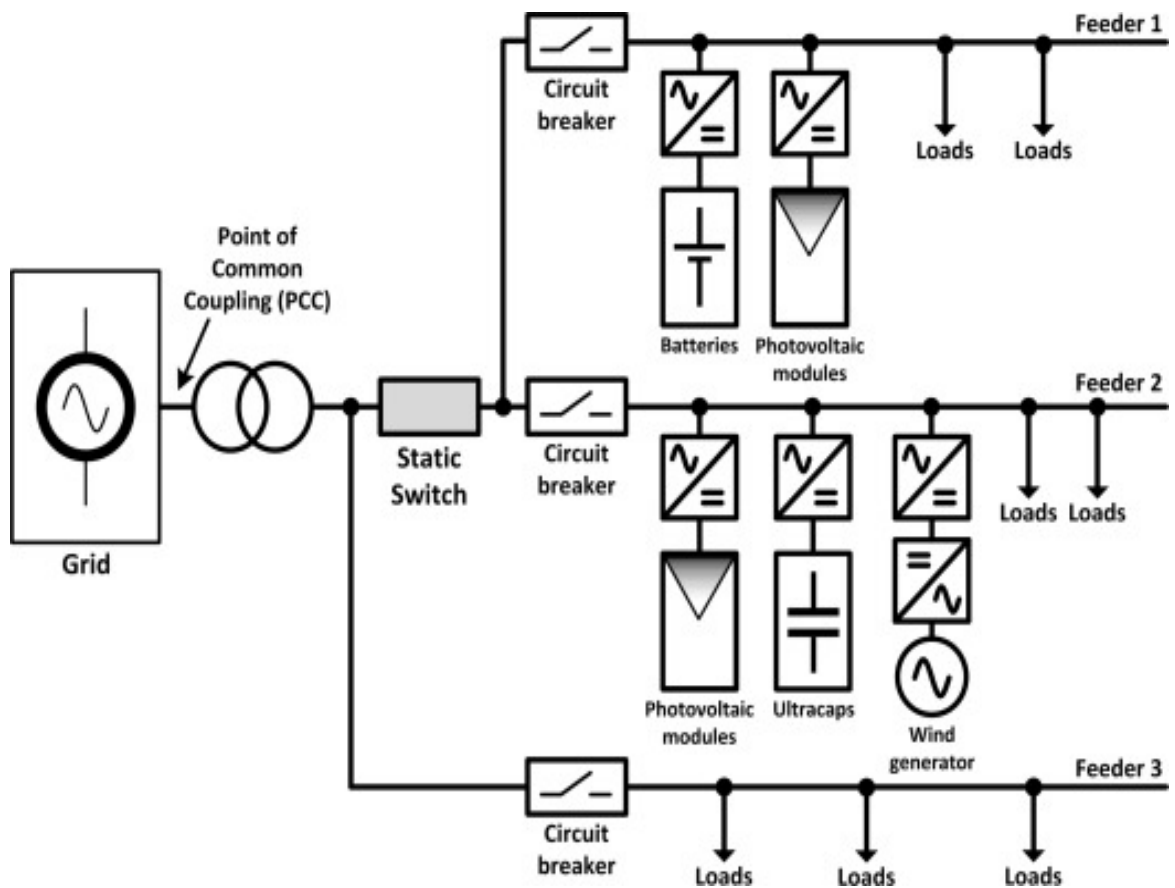
Σχήμα 3.1 Αναπαράσταση Μικροδικτύου στο Simulink/Matlab[21]

3.2 Κατηγορίες και έλεγχος του Μικροδικτύου

Τα Μικροδίκτυα αναλόγως με το είδος του ρεύματος το οποίο υποστηρίζει μπορεί να διαχωριστεί είτε σε Μικροδίκτυο εναλλασσόμενου ρεύματος (AC microgrid) είτε συνεχούς (DC microgrid). Παρακάτω θα γίνει ανάλυση και περιγραφή του κάθε είδους Μικροδικτύου και τέλος θα εστιάσουμε στις κατηγορίες ελέγχου του DC Μικροδικτύου.

AC Μικροδίκτυο (AC Microgrid)

Στο παρακάτω σχήμα φαίνεται η αρχιτεκτονική και η δομή ενός AC Μικροδικτύου



Σχήμα 3.2 Αρχιτεκτονική ενός AC Μικροδικτύου[33]

Το Μικροδίκτυο του παραπάνω σχήματος αποτελείται από τρεις ακτινικές γραμμές (Feeders). Υπάρχουν δύο γραμμές ευαίσθητων φορτίων (Feeders 1-2) και μία μη ευαίσθητου φορτίου (Feeder 3). Οι ευαίσθητες γραμμές περιέχουν κρίσιμα φορτία που πρέπει να τροφοδοτούνται συνεχώς και έτσι κάθε γραμμή θα πρέπει να έχει τουλάχιστον μία πηγή καθώς και συσκευές αποθήκευσης ενέργειας, έτσι ώστε να μπορεί να ικανοποιήσει τα φορτία στη γραμμή αυτή. Από την άλλη η μη ευαίσθητη γραμμή είναι αυτή που μπορεί να τερματιστεί σε περιπτώσεις διαταραχών ή προβλημάτων στην ποιότητα ενέργειας του δικτύου και να παραμείνει έτσι μέχρι να ξεπεραστεί το πρόβλημα.

Οι ηλεκτρονικοί μετατροπείς ισχύος αποτελούν το βασικό εργαλείο με το οποίο συνδέονται οι μικροπηγές (φωτοβολταικά, ανεμογεννήτριες κ.τ.λ.). Όπως προαναφέρθηκε το AC Μικροδίκτυο έχει σχεδιαστεί έτσι ώστε να υποστηρίζει εναλλασσόμενο ρεύμα. Επειδή όμως πολλές κατανεμημένες μικρές πηγές ενέργειας παράγουν ισχύ σε Συνεχές Ρεύμα, είναι απαραίτητο να συνδέονται στο Μικροδίκτυο μέσω ηλεκτρονικών μετατροπέων dc-ac προκειμένου να μετατρέπουν την ενέργεια συνεχούς μορφής σε εναλλασσόμενη. Επιπλέον κάποιες μικροπηγές, όπως οι μικρές ανεμογεννήτριες, παρόλο που παράγουν ισχύ σε Ε.Ρ. είναι απαραίτητο να συνδέονται στο Μικροδίκτυο μέσω ηλεκτρονικών μετατροπέων, διότι η τάση εξόδου και η συχνότητα είναι διαφορετική από αυτή του Μικροδικτύου.

Οι διακόπτες είναι απαραίτητοι έτσι ώστε το Μικροδίκτυο να μπορεί να ρυθμίσει τη παραγωγή και την κατανάλωση σε κάθε κατάσταση λειτουργίας. Ο στατικό διακόπτης είναι υπεύθυνος για τη σύνδεση του Μικροδικτύου με το υπερκείμενο δίκτυο. Έτσι στην περίπτωση που συμβεί κάποιο σφάλμα στο υπερκείμενο δίκτυο, οι γραμμές 1-2 μπορούν να νησιδοποιηθούν (απομόνωση από το κεντρικό δίκτυο) με τη χρήση του στατικού διακόπτη, έτσι ώστε να απομονωθούν τα ευαίσθητα φορτία από το ισχυρό δίκτυο και να ελαχιστοποιηθεί η διαταραχή σε αυτά. Κατά τη νησιδοποιημένη λειτουργία, το Μικροδίκτυο θα λειτουργεί αυτόνομα. Παρόλα αυτά πρέπει να έχει αρκετή τοπική παραγωγή ώστε να ικανοποιήσει τις ανάγκες των ευαίσθητων φορτίων. Επιπλέον μπορεί να συμβεί μια διαταραχή που θα αναγκάσει κάποια γραμμή να λειτουργήσει μόνη της. Σε αυτή την τελευταία περίπτωση θεωρείται στη σχεδίαση του μικροδικτύου ότι κάθε γραμμή που τροφοδοτεί ευαίσθητα φορτία πρέπει να έχει αρκετή τοπική παραγωγή ώστε να ικανοποιήσει τα δικά της φορτία, ενώ η γραμμή με τα μη ευαίσθητα φορτία θα βασίζεται μόνο στο ισχυρό δίκτυο.

Μετά τη διαταραχή, το Μικροδίκτυο θα επανασυνδεθεί στο υπερκείμενο δίκτυο και θα λειτουργεί διασυνδεδεμένα. Σε αυτή την περίπτωση, η περίσσεια τοπική παραγωγή θα τροφοδοτεί τα μη ευαίσθητα φορτία ή θα φορτίζει τις συσκευές αποθήκευσης ενέργειας για ύστερη χρήση. Επίσης αυτή η ενέργεια μπορεί να πουληθεί στην επιχείρηση

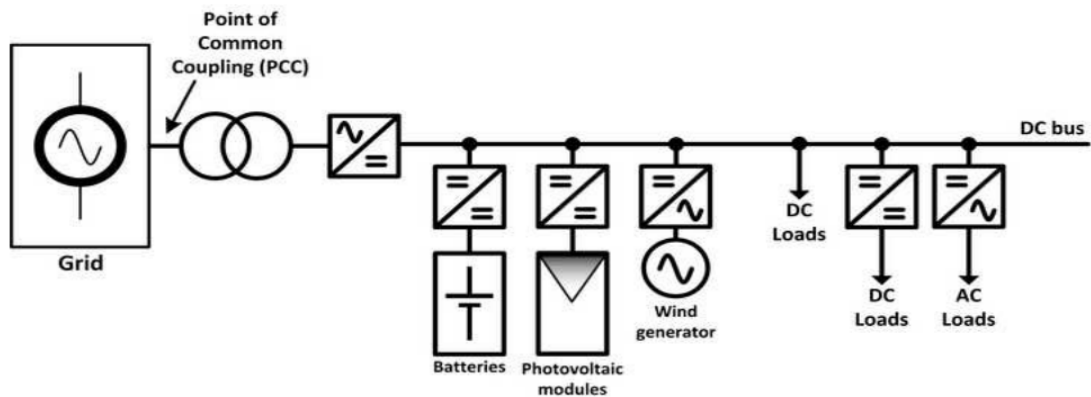
ηλεκτρισμού. Έτσι το Μικροδίκτυο θα διαδραματίζει ενεργό ρόλο στην αγορά ή θα παρέχει βοηθητικές υπηρεσίες.

Η αποσύνδεση ή η επανασύνδεση του Μικροδικτύου με το κεντρικό δίκτυο πρέπει να καθοριστεί από το Ζυγό Κοινής Σύνδεσης (Point of Common Coupling-PCC), ένας ζυγός σύνδεσης με το υπερκείμενο δίκτυο, τοποθετημένος στο πρωτεύον του μετασχηματιστή. Σε αυτό το σημείο το Μικροδίκτυο πρέπει να πληροί τις απαιτήσεις σύνδεσης. Επιπλέον η επιτυχής αποσύνδεση ή επανασύνδεση εξαρτάται από το σύστημα ελέγχου του Μικροδικτύου. Οι ελεγκτές πρέπει να διασφαλίσουν την εκτέλεση των διεργασιών και ότι τα σημεία λειτουργίας ικανοποιούνται μετά από κατάλληλες ενέργειες.

Το βασικό μειονέκτημα της αρχιτεκτονικής του AC Μικροδικτύου είναι ότι απαιτείται μεγάλος αριθμός σύνθετων ηλεκτρονικών μετατροπών διότι σήμερα κυριαρχούν τα οικιακά DC φορτία και επιπλέον πολλές μικροπηγές παράγουν ισχύ σε Σ.Ρ. Το γεγονός αυτό μειώνει την αποδοτικότητα και την αξιοπιστία του Μικροδικτύου. Όσο πιο σύνθετος είναι ένας ηλεκτρονικός μετατροπέας ισχύος, τόσο μικρότερη αξιοπιστία παρουσιάζει. Στο σημείο αυτό είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι έχει μελετηθεί ο μέσος χρόνος μεταξύ βλαβών (Mean Time Between Failures-MTBF) για διαφορετικές τοπολογίες ηλεκτρονικών μετατροπών ισχύος. Σε γενικές γραμμές οι έρευνες καταλήγουν στο συμπέρασμα ότι ο μέσος χρόνος μεταξύ βλαβών μειώνεται, όσο αυξάνεται η πολυπλοκότητα του Μικροδικτύου.

DC Μικροδίκτυο (DC Microgrids)

Το DC Μικροδίκτυο είναι ένα σύστημα ισχύος το οποίο έχει αναθερμανθεί το τελευταίο διάστημα μέσα στα πλαίσια της διανομής με συνεχές ρεύμα. Το DC Μικροδίκτυο μπορεί να παρέχει υψηλής ποιότητας ισχύ υποστηρίζοντας συνεχές ρεύμα. Στο παρακάτω σχήμα παρουσιάζεται η διαμόρφωση ενός DC Μικροδικτύου.[12]



Σχήμα 3.3 Αρχιτεκτονική DC Μικροδικτύου[33]

Το DC Μικροδίκτυο έχει σχεδιαστεί έτσι ώστε να υποστηρίζει Σ.Ρ. και περιλαμβάνει ένα ζυγό συνεχούς τάσης (DC Bus) με ρυθμιζόμενη τάση. Για το λόγο αυτό είναι κατάλληλο για κατανομημένες μικρές πηγές ενέργειας που παράγουν ισχύ σε Σ.Ρ. όπως είναι τα φωτοβολταϊκά και οι κυψέλες καυσίμου, καθώς και για συσκευές αποθήκευσης ενέργειας όπως δευτερεύουσες μπαταρίες (secondary batteries) και για υπερπυκνωτές διπλού στρώματος EDLCs (Electric Double Layer Capacitors). Οι μικροπηγές αυτές καθώς και οι συσκευές αποθήκευσης ενέργειας συνδέονται στο Μικροδίκτυο μέσω ηλεκτρονικών μετατροπέων dc-dc προκειμένου να ρυθμίζουν την τάση στα κατάλληλα επίπεδα.[2.5] Παρόλα αυτά στο DC Μικροδίκτυο είναι δυνατόν να συνδεθούν και μικροπηγές που παράγουν ισχύ σε Ε.Ρ. Οι μικροπηγές αυτές συνδέονται στο Μικροδίκτυο μέσω ηλεκτρονικών μετατροπέων AC-DC έτσι ώστε να μετατρέπουν την ενέργεια εναλλασσόμενης μορφής σε συνεχή.

Τα AC φορτία συνδέονται στο DC ζυγό μέσω ηλεκτρονικών μετατροπέων dc-ac έτσι ώστε η DC τάση του ζυγού να ρυθμιστεί στις απαιτούμενες συνθήκες για κάθε φορτίο. Τα DC φορτία είτε συνδέονται απευθείας στο Μικροδίκτυο, είτε συνδέονται μέσω ηλεκτρονικών μετατροπέων dc-dc έτσι ώστε η DC τάση του ζυγού να ρυθμιστεί στο

κατάλληλο επίπεδο για κάθε φορτίο. Με αυτό τον τρόπο δημιουργείται ένα κατανεμημένο σύστημα ηλεκτρονικών μετατροπών που συνδέονται στην πλευρά των φορτίων. Έτσι στην περίπτωση που συμβεί βραχυκύκλωμα στην πλευρά ενός φορτίου, δεν επηρεάζει τα υπόλοιπα φορτία του Μικροδικτύου. Συνεπώς το σύστημα αυτό συνεισφέρει στην παροχή ισχύος υψηλής ποιότητας.

Το DC Μικροδίκτυο συνδέεται με το υπερκείμενο δίκτυο μέσω ενός μετατροπέα Ac-Dc. Αν είναι επιθυμητό το Μικροδίκτυο να εξάγει το πλεόνασμα της ενέργειας στο υπερκείμενο δίκτυο, τότε αυτός ο μετατροπέας είναι αμφίδρομης ροής ισχύος. Επειδή η τάση του DC ζυγού ρυθμίζεται από το μετατροπέα Ac-Dc, έχει υψηλή ποιότητα ακόμα και όταν το Μικροδίκτυο συνδέεται με χαμηλής ποιότητας δίκτυα διανομής. Στην περίπτωση που συμβεί κάποιο σφάλμα στο υπερκείμενο δίκτυο, το Μικροδίκτυο μπορεί να αποσυνδεθεί πολύ γρήγορα και να συνεχίσει να λειτουργεί αυτόνομα σε κατάσταση νησιδοποίησης, παρέχοντας την απαιτούμενη ισχύ στα φορτία από τις δικές του μονάδες. Αν η κατανάλωση ισχύος από τα φορτία είναι μεγαλύτερη από την ισχύ που παράγουν οι μικροπηγές του Μικροδικτύου κατά τη διάρκεια απομονωμένης λειτουργίας, το DC Μικροδίκτυο έχει τη δυνατότητα να σταματήσει σκόπιμα την παροχή ισχύος σε κάποια από αυτά, προκειμένου να συνεχίσει να τροφοδοτεί τα κρίσιμα φορτία. Αυτό επιτυγχάνεται μέσω των ηλεκτρονικών μετατροπών με τους οποίους τα φορτία αυτά συνδέονται στο Μικροδίκτυο. Στην περίπτωση αυτή είναι απαραίτητο το DC Μικροδίκτυο να ρυθμίσει από μόνο του την τάση του DC ζυγού, χωρίς τον κεντρικό μετατροπέα Ac-Dc. Σχετικά με αυτό το θέμα έχουν αναπτυχθεί και προταθεί διάφορες τεχνικές ελέγχου.

Βασικό μειονέκτημα των DC Μικροδικτύων είναι ο συνδεδεμένος σε σειρά μετατροπέας ac-dc αμφίδρομης ροής ισχύος, ο οποίος διαχειρίζεται τη συνολική ροή ισχύος από και προς το δίκτυο διανομής, γεγονός που μειώνει την αξιοπιστία του συστήματος. Επιπλέον τα AC φορτία δεν μπορούν να συνδεθούν απευθείας στο Μικροδίκτυο, αλλά απαιτούνται μετατροπείς Dc-Ac. Τέλος η DC τάση των φορτίων δεν είναι τυποποιημένη με αποτέλεσμα να απαιτείται για τα περισσότερα μετατροπέας Dc-Dc για τη σύνδεσή τους με το Μικροδίκτυο.

Ιεραρχικός Έλεγχος DC Μικροδικτύων

Για το σχηματισμό του μικροδικτύου συνδέονται στο δίκτυο ΧΤ διάφορες πηγές ισχύος. Για λόγους αξιοπιστίας είναι θεμιτό να ενσωματώνονται διάφοροι τύποι μικροπηγών. Οι ηλεκτρικές πηγές μπορεί να είναι είτε πηγές τάσης είτε πηγές ρεύματος. Επειδή όμως για λόγους οικονομίας και πρακτικής εφαρμογής η τάση παροχής διατηρείται σταθερή και το ρεύμα διαμορφώνεται από το φορτίο, πηγές τάσης συνδέονται μεταξύ τους παράλληλα και το σχηματιζόμενο δίκτυο χαρακτηρίζεται από παραλληλία.[12]

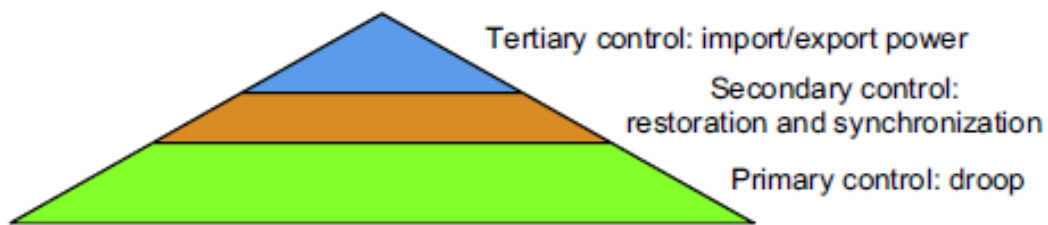
Στα συμβατικά συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας οι πηγές χρησιμοποιούν σύγχρονες μηχανές για τη μετατροπή της ενέργειας σε ηλεκτρική και για τη σύνδεσή τους για τη δημιουργία του δικτύου. Αντίθετα, στο Μικροδίκτυο οι πηγές χρησιμοποιούν ηλεκτρονικούς μετατροπείς ώστε η παροχή ισχύος στην έξοδό τους να έχει τα επιθυμητά χαρακτηριστικά που είναι αναγκαία για την τροφοδότηση των φορτίων. Σε αυτή την περίπτωση λοιπόν θα πρέπει οι ηλεκτρονικοί μετατροπείς των πηγών να παραλληλιστούν μέσω του δικτύου για το σχηματισμό του.

Ο παραλληλισμός όμως των ηλεκτρονικών μετατροπέων εισάγει στο Μικροδίκτυο μια σειρά από προκλήσεις. Μία από αυτές αφορά στην ευστάθεια του συστήματος, η οποία απαιτεί σωστό σχεδιασμό των μετατροπέων. Επιπλέον είναι απαραίτητος ο αποδοτικός έλεγχος της DC τάσης του μικροδικτύου, δεδομένου ότι τα φορτία που ενδεχομένως τροφοδοτούνται από αυτό, είναι ευαίσθητα στις μεταβολές της τάσης. Επιπρόσθετα οι μικροπηγές του μικροδικτύου θα πρέπει να επιμερίζονται το φορτίο σύμφωνα με τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά τους και η συμμετοχή τους στην παραγωγή της ισχύος του φορτίου θα πρέπει κατά το δυνατόν να είναι ανεπηρέαστη από τη θέση τους και να εξαρτάται μόνο από τον έλεγχο που εφαρμόζεται και τη δυναμικότητά τους.

Στην προσπάθεια βελτιστοποίησης της λειτουργίας του μικροδικτύου και της εξάλειψης των προαναφερθέντων περιορισμών και προκλήσεων, είναι απαραίτητο το η λειτουργία του μικροδικτύου να ελέγχεται με κατάλληλο τρόπο έτσι ώστε:

- Να υπάρχει δυνατότητα άμεσης σύνδεσης στο Μικροδίκτυο και αποσύνδεσης από αυτό, νέων μονάδων διεσπαρμένης παραγωγής
- Να εξασφαλίζεται κατάλληλος διαμοιρασμός του φορτίου στις μικροπηγές.
- Να μπορούν να αμβλυνθούν οι διακυμάνσεις της τάσης εξόδου των μετατροπέων.
- Να εξασφαλίζεται η επιθυμητή ροή ισχύος από το Μικροδίκτυο προς το υπερκείμενο δίκτυο αλλά και αντίστροφα. [2.10]

Για το σκοπό αυτό έχει εισαχθεί μια ιεραρχική αρχιτεκτονική ελέγχου η οποία περιλαμβάνει τρία επίπεδα, τον πρωτογενή, το δευτερογενή και τον τριτογενή έλεγχο(Σχήμα 3.4).



Σχήμα 3.4 Ιεραρχικός Έλεγχος των Μικροδικτύων [12]

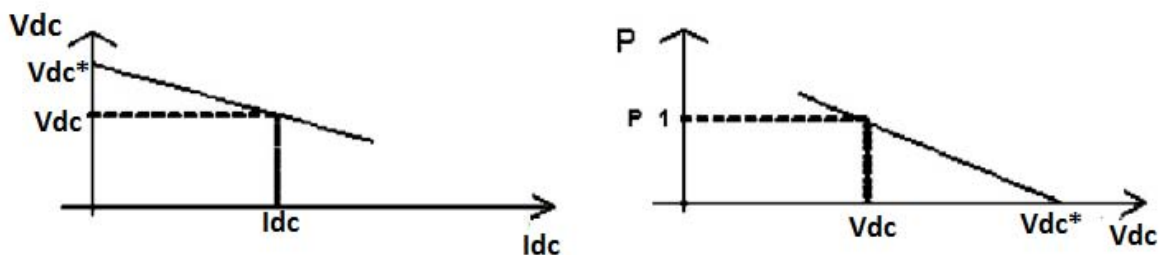
Παθητική μέθοδος ελέγχου (Primary Control)

Το πρώτο επίπεδο ελέγχου είναι υπεύθυνο για τον κατάλληλο διαμοιρασμό του φορτίου στις μικροπηγές καθώς και για τη ρύθμιση της τάσης εξόδου των μετατροπέων. Αυτό είναι εφικτό μέσω του ελέγχου των dc-dc μετατροπέων με τους οποίους οι πηγές συνδέονται στο Μικροδίκτυο. Για την επίτευξη του σκοπού αυτού, καταλληλότερη είναι η μέθοδος στατισμού (droop concept) η οποία και θα αναλυθεί στη συνέχεια.

Τα ηλεκτρικά συστήματα εν γένει είναι ικανά να εργάζονται χωρίς κεντρικό έλεγχο. Αυτό επιτυγχάνεται με τα δύο συστήματα ελέγχου που διαθέτει κάθε στροβιλογεννήτρια, δηλαδή τον έλεγχο πραγματικής ισχύος-συχνότητας P-f και τον έλεγχο αέργου ισχύος-

τάσης Q-V. Ο έλεγχος συχνότητας επιτρέπει σε κάθε γεννήτρια στο σύστημα να μοιράζεται το φορτίο ενεργού ισχύος με τις υπόλοιπες, με βάση τη δική της χαρακτηριστική ενεργού ισχύος-συχνότητας (στατισμός –droop). Με τον τρόπο αυτό οι δύο προηγούμενοι έλεγχοι μαζί με τη φυσική ρύθμιση του φορτίου εξαναγκάζουν τις γεννήτριες μιας περιοχής να μοιράζονται το φορτίο.

Στα DC Μικροδίκτυα η μέθοδος droop που εφαρμόζεται είναι λίγο διαφορετική αφού δεν υπάρχει άεργος ισχύς και συχνότητα και αυτό έχει σαν αποτέλεσμα τη συσχέτιση της ενεργού ισχύος με την τάση. Ουσιαστικά η μέθοδος αυτή βασίζεται στην εισαγωγή της εικονικής αντίστασης στατισμού (αντίσταση droop) και στις χαρακτηριστικές στατισμού (χαρακτηριστικές droop) των dc-dc μετατροπέων με τους οποίους οι μικροπηγές συνδέονται στο Μικροδίκτυο Η χαρακτηριστική στατισμού ενός μετατροπέα είναι μια γραμμική συνάρτηση τάσης-ρεύματος V-I (συνηθέστερα) ή ενεργού ισχύος-τάσης P-V όπως φαίνεται στο σχήμα 3.5.[12]



Σχήμα 3.5 Χαρακτηριστική Droop[12]

Από την χαρακτηριστική V-I Droop είναι σαφές ότι ισχύει η σχέση:

$$V_{dc} = V'_{dc} - I_{dc}R_d \Rightarrow$$

$$I_{dc} = \frac{(V'_{dc} - V_{dc})}{R_d}$$

όπου:

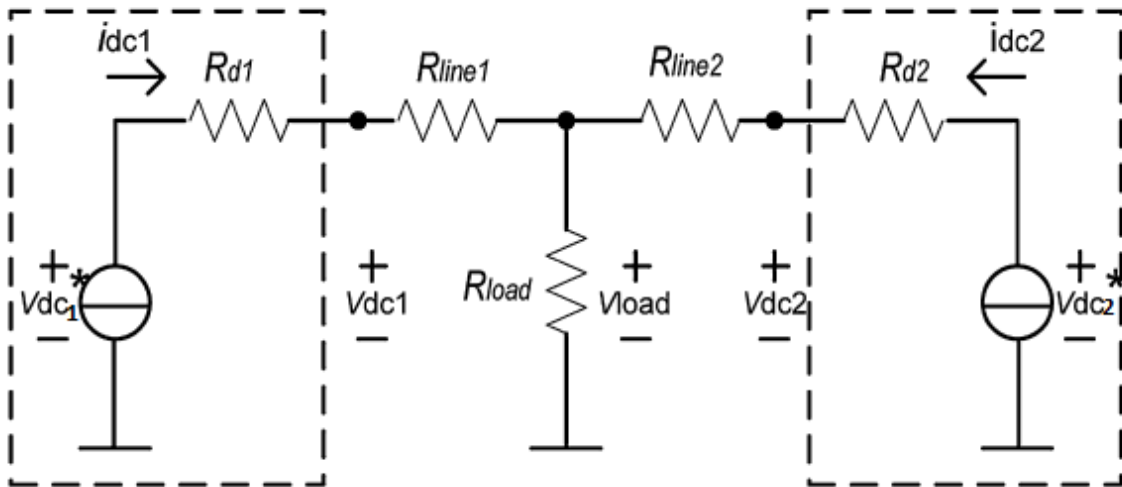
- **V_{dc}**: η μετρούμενη τάση εξόδου του μετατροπέα δηλαδή η τάση εξόδου στο σημείο λειτουργίας

- **V'dc**: η ονομαστική τάση εξόδου του μετατροπέα δηλαδή η τάση εξόδου όταν λειτουργεί χωρίς φορτίο (τάση ανοιχτοκύκλωσης).
- **I_{dc}**: το ρεύμα εξόδου του μετατροπέα στο σημείο λειτουργίας δηλαδή το ρεύμα που παρέχει ο μετατροπέας στο φορτίο.
- **R_d**: η κλίση της χαρακτηριστικής στατισμού που ονομάζεται εικονική αντίσταση η αντίσταση στατισμού (αντίσταση D_{roop}).

Από την παραπάνω σχέση της χαρακτηριστικής στατισμού διαμορφώνεται ανάλογα με την κάθε αντίσταση στατισμού του κάθε μετατροπέα. Επιλέγοντας την συγκεκριμένη αντίσταση καθορίζουμε την τάση και το ρεύμα της εξόδου του. Άρα πλέον η χαρακτηριστική στατισμού D_{roop} θα διαμορφώνεται από την κάθε μικροπηγή-μετατροπέα μοιράζοντας ανάλογα το φορτίο. Τέλος, για να γίνεται σωστός διαμοιρασμός του φορτίου σε κάθε μικροπηγή ανάλογα με την ονομαστική ισχύ και δυναμικότητα της καθενός, θα πρέπει το ρεύμα εξόδου κάθε μετατροπέα να είναι αντιστρόφως ανάλογο με την εικονική αντίσταση R_d.

Αναπτύσσοντας κι άλλο την σχέση παρατηρούμαι ότι ο έλεγχος d_{roop} φαίνεται να αποδίδει όταν με την γραμμική μείωση της τάσης εξόδου του μετατροπέα, το ρεύμα εξόδου αυξάνεται. Το σημαντικότερο πλεονέκτημα της μεθόδου αυτής είναι ότι αποφεύγεται η αμφίδρομη επικοινωνία μεταξύ των μικροπηγών και των μετατροπέων και δεν καθιστά απαραίτητη την ύπαρξη ενός κεντρικού ελεγκτή, με αποτέλεσμα την σημαντική βελτίωση της αξιοπιστίας του συστήματος.

Για το πρακτικό κομμάτι παρακάτω παρουσιάζεται ένα DC Μικροδίκτυο το οποίο αποτελείται από δύο μικροπηγές στο σχήμα 3.6. Για κάθε μικροπηγή συνδέεται στο Μικροδίκτυο μέσω ενός DC-DC μετατροπέα (ηλεκτρονικό ισχύος), ο οποίος για λόγους απλοποίησης απεικονίζεται με το ισοδύναμο κύκλωμα Thevenin.



Σχήμα 3.6 Απλοποιημένο ισοδύναμο κύκλωμα μικροδικτύου[12]

Για τον 1^ο Μετατροπέα DC-DC έχουμε:

- V'_{dc1} : ονομαστική τάση – τάση ανοιχτοκύκλωσης
- I_{dc1} : ρεύμα εξόδου
- R_{d1} : αντίσταση στατισμού (αντίσταση Droop)
- V_{dc1} : τάση εξόδου

Για τον 2^ο Μετατροπέα DC-DC έχουμε:

- V'_{dc2} : ονομαστική τάση – τάση ανοιχτοκύκλωσης
- I_{dc2} : ρεύμα εξόδου
- R_{d2} : αντίσταση στατισμού (αντίσταση Droop)
- V_{dc2} : τάση εξόδου

Επιπλέον R_{line1} και R_{line2} είναι οι αντιστάσεις στις γραμμές διασύνδεσης, R_{load} το ωμικό φορτίο του μικροδικτύου και V_{load} η τάση του φορτίου. Η V_{load} είναι η τάση του μικροδικτύου δηλαδή $V_{load} = V_{MG}$.

Εφαρμόζοντας τον Νόμο Τάσεων του Kirchhoff στους δύο βρόχους του κυκλώματος προκύπτει ότι:

$$-V'dc1 + Idc1(Rd1 + Rline1) + Vload = 0 \Rightarrow (1)$$

$$Idc1 = \frac{V'dc1 - Vload}{Rd1 + Rline1} (2)$$

$$Vload = VMG = V'dc1 - Idc1(Rd1 + Rline1) (3)$$

Παρόμοια για την μικροπηγή 2:

$$-V'dc2 + Idc2(Rd2 + Rline2) + Vload = 0 \Rightarrow (4)$$

$$Idc2 = \frac{V'dc2 - Vload}{Rd2 + Rline2} (5)$$

$$Vload = VMG = V'dc2 - Idc2(Rd2 + Rline2) (6)$$

Επομένως η διαφορά στα ρεύματα με τα οποία οι δύο μετατροπείς τροφοδοτούν το φορτίο θα είναι:

$$\Delta I_{12} = Idc1 - Idc2 = \frac{(Rd2 + Rline2)(V'dc1 - Vload) - (Rd1 + Rline1)(V'dc2 - Vload)}{(Rd1 + Rline1)(Rd2 + Rline2)} (7)$$

Απαραίτητη προϋπόθεση για να παράγουν οι δύο πηγές ισχύ ανάλογα με τη δυναμικότητά τους είναι να έχουν ακριβώς την ίδια τάση ανοιχτοκύκλωσης, δηλαδή να ισχύει $V'dc1 = V'dc2 = V'dc$. Τότε οι σχέσεις (2) και (5) λαμβάνουν τις παρακάτω μορφές:

$$I_{dc1} = \frac{V'_{dc} - V_{load}}{R_{d1} + R_{line1}} \quad (8)$$

$$I_{dc2} = \frac{V'_{dc} - V_{load}}{R_{d2} + R_{line2}} \quad (9)$$

Διαιρώντας κατά μέλη τις δύο παραπάνω σχέσεις έχουμε:

$$\frac{I_{dc1}}{I_{dc2}} = \frac{R_{d2} + R_{line2}}{R_{d1} + R_{line1}} = \frac{R_{d2}}{R_{d1}} + \frac{R_{line2} - \left(\frac{R_{d2}}{R_{d1}}\right)R_{line1}}{R_{d1} + R_{line1}} \quad (10)$$

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, για να έχουμε σωστό διαμοιρασμό ρεύματος θα πρέπει το ρεύμα I_{dc1} να είναι αντιστρόφως ανάλογο της αντίστασης droop R_{d1} και το ρεύμα I_{dc2} αντιστρόφως ανάλογο της αντίστασης droop R_{d2} . Επομένως θα πρέπει ο δεύτερος όρος της σχέσης (10) να είναι ίσος με το μηδέν. Άρα έχουμε:

$$\frac{R_{line2} - \left(\frac{R_{d2}}{R_{d1}}\right)R_{line1}}{R_{d1} + R_{line1}} = 0 \Rightarrow$$

$$\frac{R_{d1}}{R_{d2}} = \frac{R_{line1}}{R_{line2}} \quad (11)$$

Συμπεραίνουμε λοιπόν ότι για να επιμερίζονται οι δύο μικροπηγές το φορτίο ανάλογα με τη δυναμικότητα τους θα πρέπει αφενός μεν οι τάσεις ανοιχτοκύκλωσης να είναι ίσες, αφετέρου δε να ισχύει $\frac{R_{d1}}{R_{d2}} = \frac{R_{line1}}{R_{line2}}$. Στην συγκεκριμένη περίπτωση έχουμε:

$$\frac{I_{dc1}}{I_{dc2}} = \frac{R_{d2}}{R_{d1}} \quad (12)$$

Αξίζει να σημειωθεί ότι η διαφορά στις αντιστάσεις R_{line1} και R_{line2} είναι ικανή να προκαλέσει σφάλμα στο διαμοιρασμό του ρεύματος μόνο αν οι τιμές τους είναι συγκρίσιμες με τις αντιστάσεις στατισμού. Σε αντίθετη περίπτωση αν επιλέξουμε μεγάλες τιμές για τις αντιστάσεις στατισμού δηλαδή $R_{d1} \gg R_{line1}$ και $R_{d2} \gg R_{line2}$ από τη σχέση (10) έχουμε:

$$\frac{I_{dc1}}{I_{dc2}} = \frac{R_{d2} + R_{line2}}{R_{d1} + R_{line1}} \approx \frac{R_{d2}}{R_{d1}}$$

Οπότε δεν έχουμε σφάλμα στο διαμοιρασμό του ρεύματος. Η επιλογή όμως μεγάλων ανά μονάδα τιμών για τις αντιστάσεις d_{roop} , δεν μπορεί να εφαρμοστεί για μεγάλα συστήματα, διότι μπορεί να κινδυνεύσει η ευστάθεια του συστήματος.

Αν επιπλέον οι εικονικές αντιστάσεις R_{d1} και R_{d2} έχουν την ίδια ανά μονάδα τιμή δηλαδή $R_{d1}=R_{d2}=R_d$, τότε οι δύο πηγές παρέχουν στο φορτίο το ίδιο ακριβώς ρεύμα αφού ισχύει:

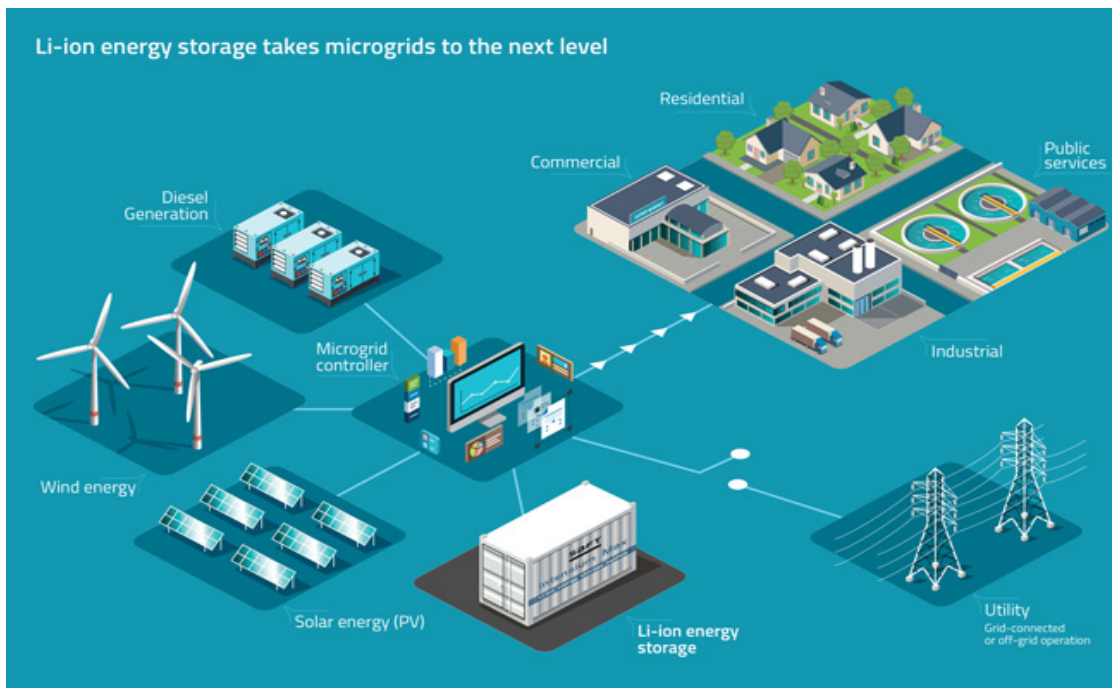
$$\frac{I_{dc1}}{I_{dc2}} = 1$$

Η μέθοδος στατισμού μπορεί να εφαρμοστεί με ευκολία στους μετατροπείς προσφέροντας στο DC Μικροδίκτυο ανεξάρτητο έλεγχο και ο διαμοιρασμός του φορτίου επιτυγχάνεται χωρίς την ανάγκη επικοινωνίας μεταξύ των μονάδων. Παρόλα αυτά παρουσιάζει κάποια μειονεκτήματα τα οποία οφείλονται είτε σε άνισες αντιστάσεις στις γραμμές δηλαδή $R_{line1} \neq R_{line2}$ (με την προϋπόθεση ότι $\frac{R_{d1}}{R_{d2}} \neq \frac{R_{line1}}{R_{line2}}$) όταν αυτές είναι συγκρίσιμες με τις αντιστάσεις στατισμού, είτε λόγω διαφοράς στις ονομαστικές τάσεις των δύο μετατροπέων δηλαδή $V'_{dc1} \neq V'_{dc2}$. Εξαιτίας αυτού δημιουργείται σφάλμα στο διαμοιρασμό του ρεύματος και απόκλιση στην τάση του Μικροδικτύου, τα οποία αναλύονται στη συνέχεια.

3.3 Θέση εγκατάστασης του Μικροδικτύου

Τα Μικροδίκτυα αποτελούν μονάδες ενσωμάτωσης γεννητριών παραγωγής ενέργειας κατά βάση στην χαμηλή και την μέση τάση. Το μέγεθος ενός Μικροδικτύου ποικίλει. Μικροδίκτυο ονομάζεται από ένα απλό υβριδικό σύστημα φωτοβολταϊκών το οποίο στεγάζεται στην στέγη ενός σπιτιού ή και μία απλή γεννήτρια βιομάζας που είναι συνδεδεμένη σε 3 φορτία μέχρι και ακόμα ένα μεγάλο αιολικό πάρκο με εγκατεστημένη ισχύ μερικών GW. Για αυτό τον λόγο η τοποθεσία όπου θα εγκατασταθεί το συγκεκριμένο Μικροδίκτυο θα πρέπει να είναι κατάλληλο έτσι ώστε να παρέχει την φυσική πηγή ενέργειας που θα απαιτείται για την παραγωγή.

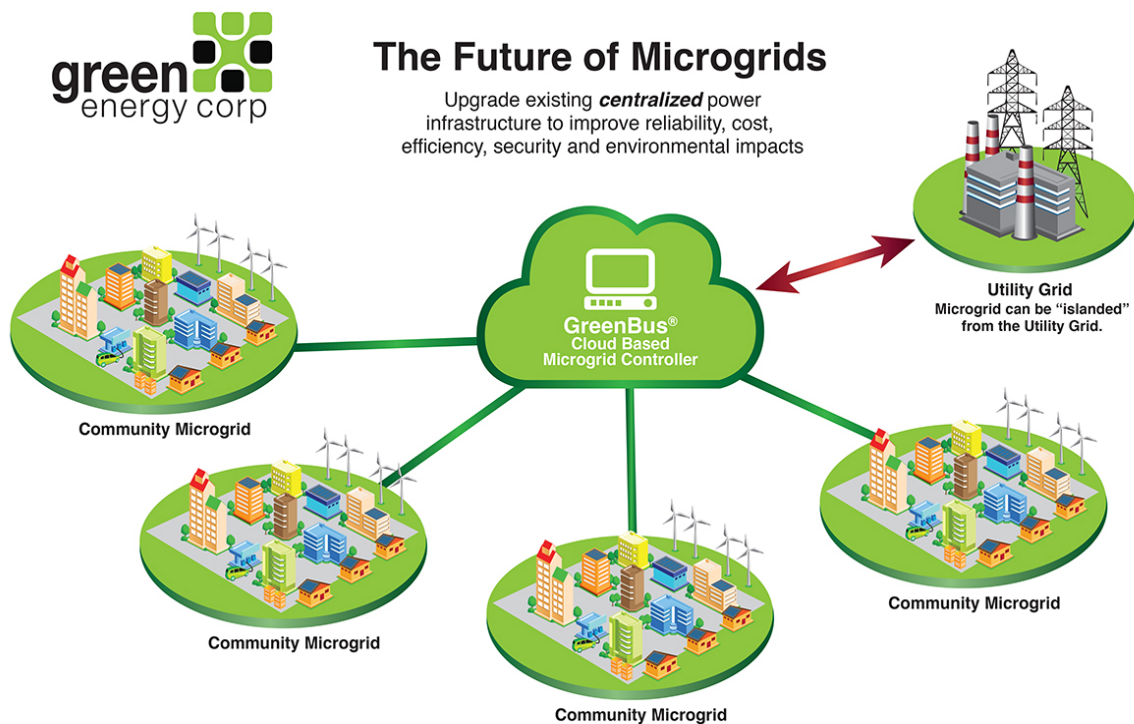
Πιο συγκεκριμένα, συνήθως η θέση των μονάδων παραγωγής των Μικροδικτύων αποτελεί μία συνάρτηση που σκοπός της είναι η ελαχιστοποίηση του κόστους μεταφοράς και διανομής. Έτσι βλέποντας πιο τεχνικά το πρόβλημα μεγάλο ρόλο παίζει η απόσταση μεταξύ των μονάδων παραγωγής και των κύριων φορτίων του με σκοπό την μείωση των απωλειών από την μεταφορά(Σχήμα 3.7).



Σχήμα 3.7 Αναπαράσταση διασύνδεσης μεταξύ πηγών και φορτίων[26]

3.4 Απομονωμένη λειτουργία και σύνδεση με το κυρίως δίκτυο

Το Μικροδίκτυο σαν μονάδα προσφέρει μεγάλη ευελιξία στους φορείς και στο δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας συνολικά, καθώς προσφέρει την δυνατότητα αυτοεξυπηρέτησης σε κατάσταση νησιδοποιημένης λειτουργίας αλλά και την ευκαιρία να μπορεί να συνδεθεί με το κεντρικό δίκτυο και να ανταλλάξει παράλληλα ενέργεια. Όπως είναι λογικό η διασύνδεση του με το κυρίως δίκτυο θα προσφέρει κάποιου είδους ασφάλειας καθώς σε περίπτωση που το Μικροδίκτυο χρειάζεται ενέργεια για να εξυπηρετήσει τα δικά του φορτία και οι πηγές/μικροπηγές δεν επαρκούν για να τα καλύψουν έχει την δυνατότητα να εισάγει ενέργεια από το κεντρικό δίκτυο. Μία περίπτωση είναι αυτή, ωστόσο υπάρχει και η εντελώς ανάποδη κατάσταση όπου εάν υπάρχει πλεονάζουσα ενέργεια στο Μικροδίκτυο μπορεί να την μεταφέρει για να καλύψει άλλες ανάγκες του κυρίως δικτύου.



Σχήμα 3.8 Αναπαράσταση ενός Microgrid Controller για ασφάλεια του Μικροδικτύου[27]

Οι περισσότερες μικροπηγές που συνδέονται με το Μικροδίκτυο είναι μικρής εγκατεστημένης ισχύος και το γεγονός ότι δεν απαιτείται ανύψωση τάσης εφόσον δεν υπάρχει μεγάλη απόσταση μεταξύ πηγής και καταναλωτή μας οδηγεί στο να συνδέσουμε σχεδόν όλες τις μικροπηγές στην χαμηλή τάση. Το βασικό βέβαια κριτήριο αποτελεί το μέγεθος των μονάδων παραγωγής που καθορίζει την στάθμη λειτουργείας. Για να δούμε με ποιον τρόπο θα γίνει η διασύνδεση του Μικροδικτύου , με άλλα Μικροδίκτυα ή με το κεντρικό δίκτυο εξετάζουμε το συνολικό μέγεθος του συνολικά σαν φορτίο και την εγκατεστημένη ισχύ των μονάδων παραγωγής του.

Σε περίπτωση παραλληλισμένης λειτουργείας με το κεντρικό δίκτυο κύριο μέλημα του μηχανικού είναι το Μικροδίκτυο να μην προκαλέσει προβλήματα. Αυτό επιτυγχάνεται μέσω του ελέγχου της τάσης έτσι ώστε αυτή να ανταποκρίνεται ποιοτικά και αξιόπιστα στα κριτήρια του κυρίως δικτύου. Και η ποσότητα της απορροφημένης ενέργειας δεν θα πρέπει να ξεπερνά κατά πολύ τις απαιτήσεις και τα όρια που έχει ένας τυπικός καταναλωτής. Ένας άλλος τρόπος με τον οποίο θα μπορούσε να λειτουργήσει παράλληλα το Μικροδίκτυο με το κεντρικού δικτύου είναι ρυθμιζόταν το έτσι ώστε να μπορεί να υποστηρίξει το κεντρικό δίκτυο όταν υπάρχει ανάγκη ρύθμισης, π.χ. να παρέχει ή να απορροφά ενεργό ή άεργο ισχύ όταν απαιτείται, ακόμη και σε μικρά χρονικά διαστήματα. Στην δεύτερη αυτή περίπτωση απαιτείται προφανώς και μια μορφή επικοινωνίας μεταξύ των κέντρων ελέγχου Μικροδικτύου (**Microgrid Controllers**) και του κεντρικού δικτύου. Στην παρακάτω εικόνα απεικονίζονται όλα τα στοιχεία που απαρτίζουν ένα σύγχρονο Μικροδίκτυο καθώς επίσης και η διασύνδεση του με το κύριο δίκτυο μέσω ενός κέντρου ελέγχου Μικροδικτύου το οποίο είναι υπεύθυνο για την τήρηση των προδιαγραφών για τις διάφορες υπηρεσίες που παρέχονται από και προς το κάθε δίκτυο (Σχήμα 3.8).

Και πάλι νέες τεχνολογίες υπόσχονται πολλά στην διαχείριση των μεταβατικών φαινομένων. Για την κάλυψη υψηλών αιχμών ζήτησης (π.χ. εκκίνηση μεγάλων κινητήρων, φυγείων) και την αποθήκευση περισσευούμενης ενέργειας, ένα Μικροδίκτυο, ιδιαίτερα όταν βρίσκεται σε απομονωμένη λειτουργία, μπορεί να χρησιμοποιεί ενέργεια που αποθηκεύεται σε υπερπυκνωτές, μηχανές υψηλής στρεφόμενης αδράνειας (flywheels),

συσσωρευτές ή με τη μορφή δυναμικής ενέργειας μέσω συμπιεστών αέρα ή αντλησιοταμιευτικών συστημάτων. Η τελευταία δε τεχνική μπορεί να εφαρμοστεί σε περιοχές όπου αιολικά ή ηλιακά πάρκα βρίσκονται κοντά σε θάλασσα ή λίμνη, οπότε και αποθηκεύουν την περισσευούμενη ενέργεια που παράγουν, αντλώντας νερό σε ταμιευτήρες υψηλότερης στάθμης. Στη συνέχεια όταν χρειάζεται ενέργεια οι αντλητικοί κινητήρες χρησιμοποιούνται ως γεννήτριες, παρέχοντας ισχύ στο Μικροδίκτυο. Πρέπει να τονιστεί ότι ένας πολύπλοκος έλεγχος ενός τέτοιου συστήματος με την παρούσα διαθέσιμη τεχνολογία απαιτεί την χρησιμοποίηση ηλεκτρονικών μετατροπέων ισχύος, για τη διασύνδεση των περισσότερων πηγών ενέργειας του Μικροδικτύου με τους ζυγούς. Είτε η παραγόμενη ισχύς είναι διαρκώς μεταβαλλόμενη όπως στην περίπτωση των φωτοβολταϊκών και ανεμογεννητριών, είτε ελεγχόμενη όπως των υδροηλεκτρικών σταθμών και των ντιζελογεννητριών, η διοχέτευση αυτής μέσω ηλεκτρονικών μετατροπέων κάνει εφικτό τον έλεγχο των πιο σημαντικών μεγεθών αυτής, δηλαδή της τάσης και της συχνότητας, μέσω της ροής ενεργού και άεργου ισχύος. Το βασικότερο στοιχείο ενός Μικροδικτύου είναι συνήθως ένας ηλεκτρονικός αντιστροφέας ισχύος, ο οποίος ελέγχει και το ισοζύγιο ισχύος στο Μικροδίκτυο. Αυτό μπορεί να γίνεται είτε με την οδήγηση μιας ελεγχόμενης γεννήτριας, είτε με την διαχείριση συσσωρευτών ή μικροστροβίλων, είτε με τον έλεγχο των ηλεκτρονικών ισχύος των άλλων μικρομονάδων παραγωγής ενέργειας.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας

4.1 Εισαγωγή στις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (ΑΠΕ)

Σ' ένα κόσμο με τόσες αντιθέσεις αλλά και μεγάλων προσδοκιών για μεγαλύτερη ποιότητα ζωής, οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας(ΑΠΕ) φαίνεται να πρωταγωνιστούν στον τομέα της παραγωγής ενέργειας. Από τα τόσα προβλήματα που έχουν δημιουργήσει οι υφιστάμενες μορφές(υδάτινη ρύπανση, φαινόμενο θερμοκηπίου κ.τ.λ.) αλλά και η συνεχή μείωση των διαθέσιμων πρώτων υλών, αναγκάζουν πλέον τον τομέα της παραγωγής να εισχωρήσει περισσότερο στον τομέα των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας(Σχήμα 4.1).



Σχήμα 4.1 ΑΠΕ [25]

Ο όρος ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (ΑΠΕ) ή ήπιες μορφές ενέργειας αποτελούν μορφές εκμεταλλεύσιμης ενέργειας που προέρχονται από διάφορες φυσικές διαδικασίες, όπως για παράδειγμα ο άνεμος, ο αέρας και η κινητική ενέργεια του τρεχούμενου ύδατος. Για να δώσουμε τον σαφή ορισμό πιο συγκεκριμένα με την οδηγία 2009/28/ΕΚ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου, ως ενέργεια από ανανεώσιμες μη ορυκτές πηγές θεωρείται η

αιολική, ηλιακή, αεροθερμική, γεωθερμική γεωθερμική, υδροθερμική και ενέργεια των ωκεανών, υδροηλεκτρική, από βιομάζα, από τα εκλυόμενα στους χώρους υγειονομικής ταφής αέρια, από αέρια μονάδων επεξεργασίας λυμάτων και από βιοαέριο.

Μιλώντας λοιπόν για τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας πολλοί την ταυτίζουν με την <<πράσινη ενέργεια>>. Κατά κάποιο τρόπο οι δύο έννοιες συμπίπτουν, αλλά με τον όρο <<πράσινη ενέργεια>> θεωρούμε εκείνη την ενέργεια η οποία προέρχεται από πηγές οι οποίες ουσιαστικά δε ρυπαίνουν την ατμόσφαιρα με CO₂ και άλλα επιβλαβή καυσαέρια (Πίνακας 4.2).

Βεβαίως όπως και στα περισσότερα θέματα έτσι και εδώ υπάρχουν διαβαθμίσεις ως προς την εκπομπή ρυπαντών από τις διάφορες πηγές ηλεκτρικής ενέργειας. Στην συγκεκριμένη περίπτωση υπάρχουν δύο κατηγορίες

- **Βαθιά πράσινη:** Αποτελεί την ενέργεια που αποδίδουν οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας: Αιολική, Ηλιακή, Υδροηλεκτρική, Βιοενέργεια οι οποίες απορρίπτουν ελάχιστο CO₂ ανά kWh στο περιβάλλον.
- **Ελαφρά πράσινη:** Αποτελεί την ενέργεια που παράγεται από τα απορρίμματα-απόβλητα(μέσω καύσης) από την συμπαραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και θερμότητας και από το φυσικό αέριο

Για μία κατανόηση της διαφοράς της κάθε ενέργειας ως προς την εκπομπή CO₂ ακολουθεί ο παρακάτω πίνακας:

Πίνακας 4.2 Τυπικές τιμές CO₂ από διάφορες πηγές

Πηγές	Εκπομπή CO₂ σε gr ανά kWh
Μικρά Υδροηλεκτρικά	50 gr/kWh
Σύνθετη παραγωγή Ενέργειας	300 gr/kWh
Άνθρακας	1050 gr/kWh

4.2 Φωτοβολταϊκές Κυψέλες

Στις μονάδες παραγωγής του Μικροδικτύου βασική συνιστώσα αποτελούν οι φωτοβολταϊκές μονάδες του , οι οποίες παράγουν ηλεκτρική ενέργεια αξιοποιώντας την αφθονία του ήλιου. Κάθε συλλέκτης αποτελείται από ένα συνδυασμό φωτοβολταϊκών στοιχείων σε σειρά η κατά ομάδες παράλληλα. Κάθε φωτοβολταϊκό στοιχείο συντίθεται από μονοκρυσταλλικό η πολυκρυσταλλικό πυρίτιο, ή από μείγματα βαρέων μετάλλων, σχηματίζοντας μια δίοδο p-n.

Η φωτοβολταϊκή (PV) τεχνολογία ξεκίνησε οργανωμένα σε παγκόσμιο επίπεδο και κυρίως στις Η.Π.Α και την Ευρώπη πριν από περίπου 30 χρόνια, και ουσιαστικά δεν υπήρχε αγορά για τις φωτοβολταϊκές εφαρμογές πάρα μόνον σε εξειδικευμένες περιπτώσεις και ιδίως στην διαστημική τεχνολογία. Ακόμα οι PV γεννήτριες χρησιμοποιούνται και για τις ανάγκες συστημάτων επικοινωνίας, συστημάτων μετρήσεων μετεωρολογικών και άλλων φυσικών μεγεθών και φαινομένων, ηλεκτροφωτισμού περιοχής, στάθμευσης κ.τ.λ. (Σχήμα 4.3).



Σχήμα 4.3 Διαστημική εφαρμογή PV τεχνολογίας[29]

Αρχή λειτουργίας PV τεχνολογίας

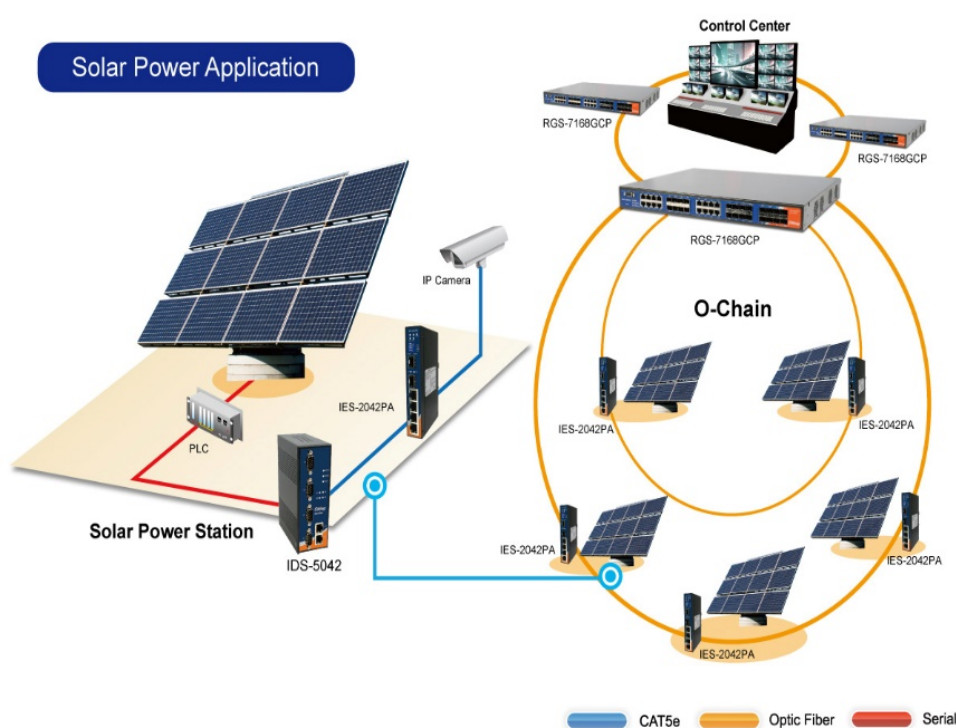
Τα PV στοιχεία αξιοποιούν το φωτοβολταϊκό φαινόμενο κατά το οποίο έχουμε την ανάπτυξη μίας διαφοράς δυναμικού μεταξύ των ακροδεκτών του PV στοιχείου όταν επι του συστήματος αυτού προσπέσει μία φωτεινή δέσμη. Στην συγκεκριμένη περίπτωση ενός μονοκρυσταλλικού πυριτίου η δίοδος p-n αποτελείται από δύο στρώματα πυριτίου υψηλής καθαρότητας στα οποία έχουν εγχυθεί οι κατάλληλες προσμίξεις. Η μέθοδος παρασκευής τόσο υψηλής καθαρότητας πυριτίου είναι που κάνει την κατασκευή δαπανηρή.

Τα ηλιακά κύτταρα είναι δηλαδή δίοδοι ημιαγωγού με τη μορφή ενός δίσκου που δέχεται ηλιακή ακτινοβολία. Κάθε φωτόνιο της ακτινοβολίας με ενέργεια ίση ή μεγαλύτερη από το ενεργειακό διάκενο του ημιαγωγού, έχει τη δυνατότητα να απορροφηθεί σε ένα χημικό δεσμό και να ελευθερώσει ένα ηλεκτρόνιο, παράγοντας έτσι ζεύγη φορέων (ελεύθερα ηλεκτρόνια και οπές).

Ένα μέρος από του φορείς αυτούς διαχωρίζεται με την επίδραση του ενσωματωμένου πεδίου της διόδου και εκτρέπεται προς τα εμπρός (τα ελεύθερα e^-) ή προς τα πίσω (οι οπές h^+). Οι υπόλοιποι φορείς επανασυνδέονται και εξαφανίζονται. Επίσης ένα μέρος της ακτινοβολίας ανακλάται στην επιφάνεια του στοιχείου, ενώ ένα άλλο μέρος της διέρχεται από το στοιχείο χωρίς να απορροφηθεί, μέχρι να συναντήσει το πίσω ηλεκτρόδιο. Δημιουργείται έτσι όσο διαρκεί η ακτινοβολήση, μια περίσσεια από ζεύγη φορέων (ελεύθερα ηλεκτρόνια και οπές) πέρα από τις συγκεντρώσεις που αντιστοιχούν στις συγκεντρώσεις ισορροπίας.

Έτσι τα ελεύθερα ηλεκτρόνια εκτρέπονται προς το τμήμα τύπου n και οι οπές εκτρέπονται προς το τμήμα τύπου p, με αποτέλεσμα να δημιουργηθεί μία διαφορά δυναμικού ανάμεσα στους ακροδέκτες των δύο τμημάτων της διόδου. Δηλαδή, η διάταξη αποτελεί μία πηγή ηλεκτρικού ρεύματος, που διατηρείται όσο διαρκεί η πρόσπτωση του ηλιακού φωτός πάνω στην επιφάνεια του στοιχείου. Η εκδήλωση της διαφοράς δυναμικού ανάμεσα στις δύο όψεις του φωτιζόμενου δίσκου, η οποία αντιστοιχεί σε ορθή πόλωση της διόδου, ονομάζεται φωτοβολταϊκό φαινόμενο. Η

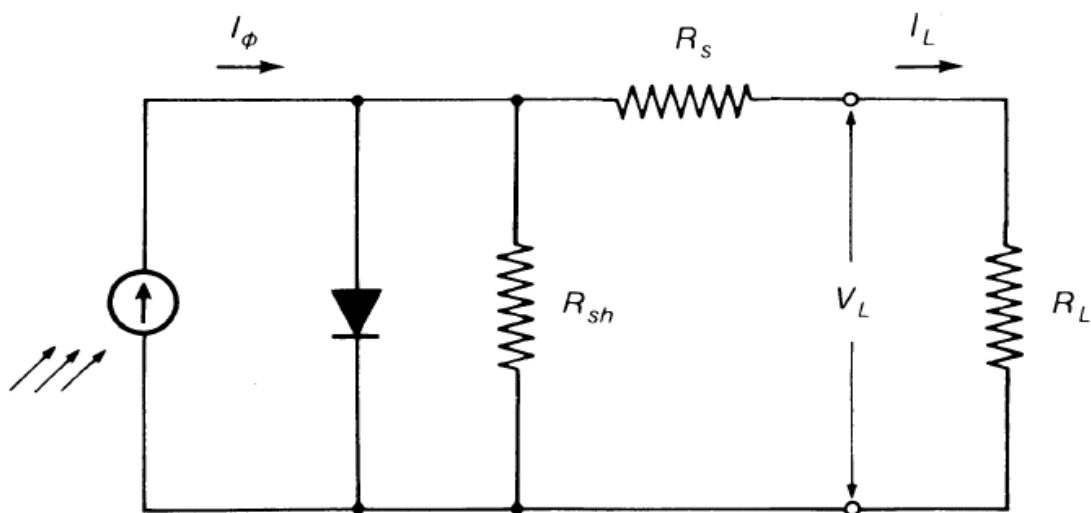
αποδοτική λειτουργία των ηλιακών φωτοβολταϊκών στοιχείων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας στηρίζεται στην πρακτική εκμετάλλευση του παραπάνω φαινομένου. Εκτός από τις προσμίξεις των τμημάτων p και n μίας ομοένωσης, δηλαδή υλικού από το ίδιο βασικά ημιαγωγό, το ενσωματωμένο ηλεκτροστατικό πεδίο, που είναι απαραίτητη προϋπόθεση για την πραγματοποίηση ενός ηλιακού στοιχείου, αλλά και κάθε φωτοβολταϊκής διάταξης, μπορεί να προέρχεται επίσης και από διόδους άλλων ειδών. Όπως για παράδειγμα από διόδους ετεροενώσεων p-n διαφορετικών στοιχείων ή από διόδους Schottky(Σχήμα 4.4).



Σχήμα 4.4 Ανταλλαγή πληροφοριών μεταξύ PV συστημάτων μέσω κεντρικού ελεγκτή[20]

Ισοδύναμο κύκλωμα φωτοβολταϊκού στοιχείου

Παρακάτω φαίνεται το ισοδύναμο κύκλωμα ενός φωτοβολταϊκού στοιχείου.



Σχήμα 4.5 Ισοδύναμο κύκλωμα φωτοβολταϊκού στοιχείου

- R_s : η αντίσταση που συναντάει το παραγόμενο φωτόρευμα μέσα στον ημιαγωγό
- R_{sh} : η παράλληλη αντίσταση που συναντά το φωτόρευμα λόγω της μη ιδανικής συμπεριφοράς της διόδου
- I_ϕ : το φωτόρευμα το οποίο βάση σχήματος ισούται

$$I_\phi = I_0 \left[\exp\left(\frac{eV}{\gamma kT}\right) - 1 \right]$$

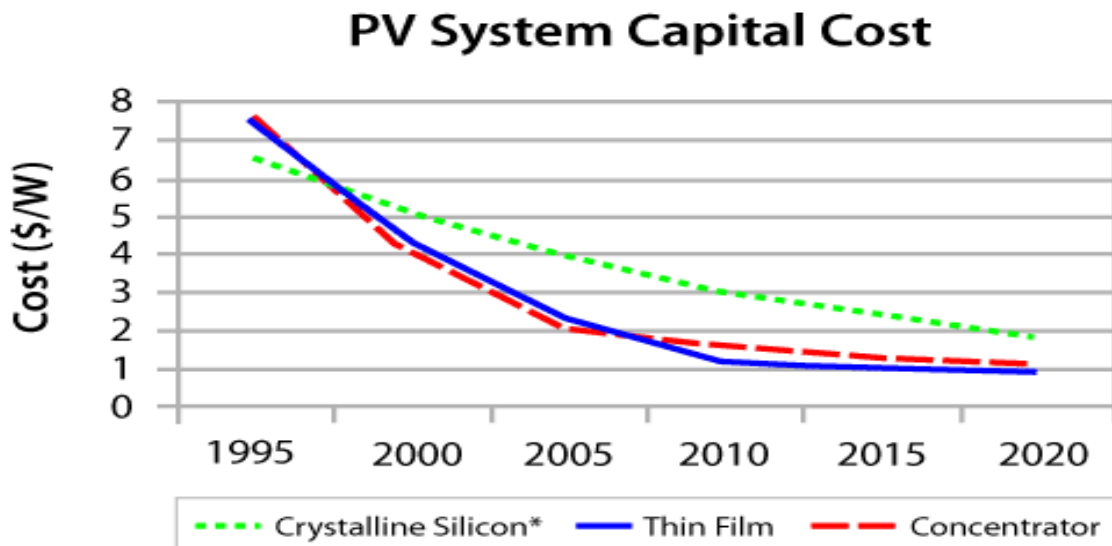
Λόγω των δύο αντιστάσεων το συνολικό ρεύμα είναι:

$$I_L = \frac{I_\phi - I_0 \left[\exp\left(\frac{eV}{\gamma kT}\right) - 1 \right] - \frac{V_L}{R_{sh}}}{1 + \frac{R_s}{R_{sh}}}$$

- V_i : η τάση εξόδου του στοιχείου
- γ : ο συντελεστής ποιότητας της διόδου
- K : σταθερά Boltzmann
- T : η απόλυτη θερμοκρασία

Η αγορά των φωτοβολταϊκών

Όσο αφορά την παραγωγή των φωτοβολταϊκών μονάδων φαίνεται πως πρωταρχικό ρόλο παίζουν οι αναπτυσσόμενες χώρες και πιο συγκεκριμένα η Ιαπωνία, η Η.Π.Α και η Ευρώπη. Στις Η.Π.Α υπολογίζεται ότι μέχρι το έτος 2020 θα έχουν πουληθεί φωτοβολταϊκά πλαίσια ισχύος 7×10 Watts με περισσότερο από 3 δις Watts για τον οικιακό τομέα, μιλώντας για μία εγκατεστημένη ισχύ 7 GWp και τα 3 GWp στον οικιακό τομέα. Τέλος, θα υπάρξει σημαντική μείωση του κόστους παραγωγής ανά Watt από τις τάξεις των 3\$ ανά Watt θα φτάνει στον κοινό χρήστη στα 1.5\$ ανά Watt από μία PV γεννήτρια (Σχήμα 4.6).



Σχήμα 4.6 Η εξέλιξη της μείωσης του κόστους ανά Watt σε μία PV γεννήτρια[19]

4.3 Ανεμογεννήτριες

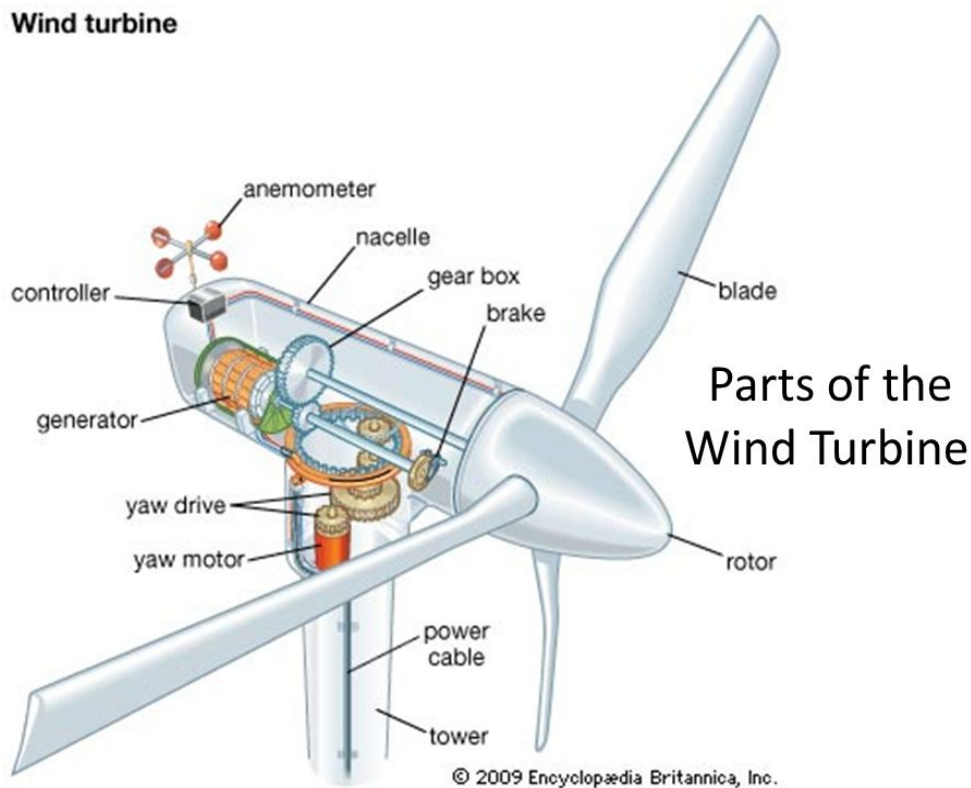
Μία ακόμα βασική συνιστώσα που απαρτίζει τις παραγωγικές μονάδες του Μικροδικτύου και μία βασική πηγή ενέργειας από τις Α.Π.Ε αποτελούν οι ανεμογεννήτριες. Η ανεμογεννήτρια αποτελεί μία αιολική μηχανή η οποία έχει σαν στόχο να μετατρέπει την κινητική ενέργεια του ανέμου σε ηλεκτρική. Γενικά η κατασκευή της αποτελείται από μία συνήθως μεγάλη στήλη που είναι κάθετη προς το έδαφος και μία τουρμπίνα – γεννήτρια στην κορυφή της. Όπως τα φωτοβολταϊκά έτσι και οι ανεμογεννήτριες μπορούν να εξυπηρετήσουν κατά μονάδες για οικιακή χρήση, αλλά μπορούν να λειτουργούν και συλλογικά(Σχήμα 4.7).

Η τεχνολογία των ανεμογεννητριών φαίνεται να έχει βασιστεί κατά βάση στους ανεμόμυλους που ήδη είχαν κάνει την εμφάνιση τους από τον 11^ο αιώνα. Η πρώτη ανεμογεννήτρια παραγωγής ρεύματος αποτελούσε μία μηχανή φόρτισης μπαταριών και εφευρέθηκε τον Ιούλιο του 1887 από τον Σκωτσέζο ακαδημαϊκό Τζέιμς Μπλιθ. Πλέον εταιρίες κατασκευής ανεμογεννητριών υπάρχουν πολλές κυρίως σε Κίνα και Ινδία, όμως από το 2012 η δανέζικη εταιρία Vestas θεωρείται ο μεγαλύτερος κατασκευαστής ανεμογεννητριών σε παγκόσμιο επίπεδο.



Σχήμα 4.7 Αιολικό πάρκο στην Κρήτη [32]

Ως προς την δομή των ανεμογεννητριών βασικό ρόλο αποτελεί ο δρομέας ο οποίος συνδέεται μέσω ενός κιβωτίου ταχυτήτων με την γεννήτρια ηλεκτρικής ενέργειας. Η γεννήτρια μαζί με τον μηχανισμό μετάδοσης της κίνησης εμπεριέχονται μέσα στην άτραχτο. Στην μεγαλύτερη πλειοψηφία ο δρομέας συνδέεται με τρία πτερύγια ενώ υπάρχουν και περιπτώσεις όπου συνδέεται με δύο. Τα πτερύγια είναι το βασικό εργαλείο στα οποία όπως προσπέφτει ο άνεμος δημιουργούν κινητική ενέργεια μέσω της κίνησης τους και κατ' επέκταση ηλεκτρική. Ο ρόλος του κιβωτίου ταχυτήτων είναι ρυθμίζει την ταχύτητα κίνησης των πτερυγίων αναλόγως την ταχύτητα του ανέμου την συγκεκριμένη στιγμή (Σχήμα 4.8).



Σχήμα 4.8 Η δομή και τα μέρη μίας ανεμογεννήτριας[35]

Η Ισχύς εξόδου της ανεμογεννήτριας δίνεται από την παρακάτω σχέση:

$$P = \frac{1}{2} C_p \rho V^2 A \quad (1)$$

- **P:** Η ισχύς εξόδου σε Watt
- **C_p:** Ο συντελεστής ισχύος της ανεμογεννήτριας
- **ρ:** Η πυκνότητα του αέρα $\frac{kg}{m^3}$
- **V:** Η ταχύτητα του αέρα σε $\frac{m}{s}$
- **A:** Το εμβαδόν του πτερυγίου που προσπίπτει ο αέρας σε m^2

Ο συντελεστής C_p έχει ως μέγιστη τιμή το 0.593 σύμφωνα με το όριο του Betz, αλλά σύμφωνα με την πρακτική άποψη θεωρείται πως το μέγιστο όριο που μπορεί να φτάσει ο συντελεστής είναι το 0.4. Φαίνεται πως ο συντελεστής εκφράζει το μέγιστο ωφέλιμο φορτίο που μπορεί να παραχθεί σε συνάρτηση με τον άνεμο ο οποίος εξάγεται από τον δρομέα. Τέλος, άλλος ένας σημαντικός αριθμός είναι η παράμετρο λ η οποία μας δίνει τον λόγο της ταχύτητας του πτερυγίου και δίνεται από την σχέση:

$$\lambda = \frac{\omega R}{V} \quad (2)$$

- **ω:** Η γωνιακή ταχύτητα περιστροφής του δρομέα της ανεμογεννήτριας
- **R:** Η ακτίνα των πτερυγίων σε m
- **V:** Η ταχύτητα του αέρα σε $\frac{m}{s}$

Στη δεκαετία του 1990, το κόστος κατασκευής ανεμογεννητριών μειωνόταν στο 20% κάθε φορά που διπλασιαζόταν η παραγωγή τους. Σήμερα, η κατασκευή ανεμογεννητριών που συνδέονται στο ηλεκτρικό δίκτυο διπλασιάζεται κάθε τρία χρόνια. Ανάλογες περίπου αυξήσεις συμβαίνουν και στον τομέα της βιομάζας, ενώ κατά πολύ μεγαλύτερες είναι αυτές στον τομέα των φωτοβολταϊκών. Η DEA (Danish Energy Agency) προβλέπει, ότι μέχρι το 2020 θα έχει επέλθει μείωση του κόστους ενέργειας σε ποσοστό 50%

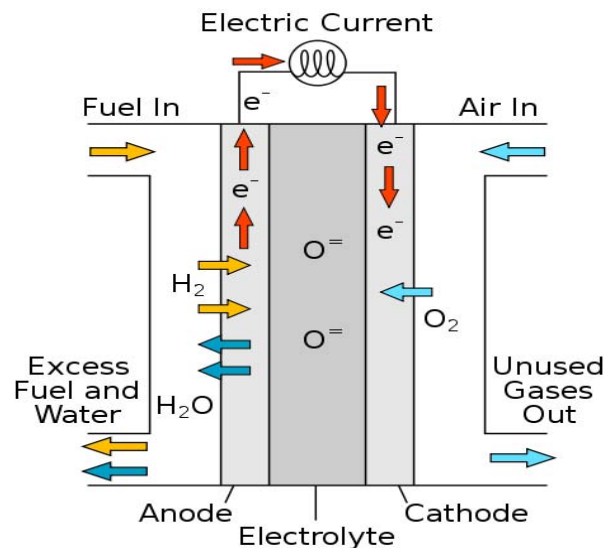
Υπολογίζεται ότι μια μόνο ανεμογεννήτρια παράγει ηλεκτρισμό ισχύος 550 kW σε ένα χρόνο όπου αναπληρώνει την ενέργεια που παράγεται από την καύση 2.700 βαρελιών πετρελαίου, δηλαδή αποτροπή της εκπομπής 73 περίπου τόνων διοξείδιο του άνθρακα ετησίως καθώς και δύο τόνων άλλων ρύπων. Αυτό συνεπάγεται στον σημαντικό περιορισμό της ρύπανσης του περιβάλλοντος(Σχήμα 4.9).



Σχήμα 4.9 Η ανεμογεννήτρια λύση του μέλλοντος[34]

4.4 Κυψέλες καυσίμου

Σαν κυψέλες καυσίμου μπορούμε να ορίσουμε τις μηχανές παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας που βασίζονται πάνω στην χημικές ικανότητες εναλλακτικών καυσίμων όπως για παράδειγμα του υδρογόνου. Βασική διαδικασία που παίζει σημαντικό ρόλο στην παραγωγή της ηλεκτρικής ενέργειας μέσω κυψελών καυσίμου αποτελεί η κατάλυση. Το καύσιμο υφίσταται οξείδωση και όχι καύση όπως η παραδοσιακή παραγωγή ενέργειας μέσω λιγνίτη ή άνθρακα και έτσι ο βαθμός απόδοσης δεν περιορίζεται από τον γνωστό κύκλο Carnot.

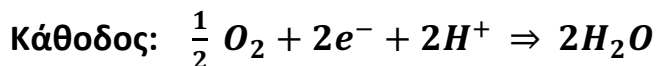
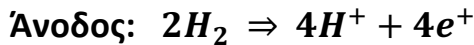


Σχήμα 4.10 Σχηματική διάταξη μίας κυψέλης καυσίμου[36]

Ως προς την δομή μίας κυψέλης καυσίμου, τα βασικά στοιχεία που περιλαμβάνει είναι ένα αρνητικά φορτισμένο ηλεκτρόδιο που ονομάζεται άνοδος, ένα θετικά φορτισμένο ηλεκτρόδιο η κάθοδος και μία ενιαία μεμβράνη ηλεκτρολύτη. Αρχικά το καύσιμο (κυρίως υδρογόνο) εισέρχεται στην κάθοδο, και τα ηλεκτρόνια που οδεύουν στην κάθοδο μέσω του εξωτερικού φορτίου παράγουν ρεύμα. Έτσι στην κάθοδο το οξυγόνο αντιδρά με τα πρωτόνια και τα ηλεκτρόνια και ως τελικό προϊόν παράγεται νερό και ένα σημαντικό ποσό θερμότητας συνέπεια της εξώθερμης ηλεκτροχημικής αντίδρασης (Σχήμα 4.10)

Χημικές εξισώσεις

Η βασικές εξισώσεις που συναντάμε σε μία κυψέλη καυσίμου είναι οι εξής:



Κατηγορίες και είδη κυττάρων καυσίμου

Τα διάφορα είδη κυττάρων καυσίμου διαχωρίζονται με βάση τον ηλεκτρολύτη τους. Οι διαφορετικοί τύποι έχουν διαφορετικές θερμοκρασίες λειτουργίας, διαφορετικά υλικά και ελαφρώς διαφορετική αλληλεπίδραση, αλλά η ίδια αντίδραση αποτελεί τη βάση όλων αυτών. Εξαιτίας των διαφορών στις χαρακτηριστικές λειτουργίας, κάθε τύπος προορίζεται για διαφορετικές εφαρμογές. Οι κυψέλες καυσίμου με μεμβράνη πολυμερούς ηλεκτρολύτη (PEMFC - Polymer Electrolyte Membrane Fuel Cell) είναι ο πιο δημοφιλής τύπος κυψέλης καυσίμου και χρησιμοποιεί ως καύσιμο το υδρογόνο. Οι PEM-κυψέλες έχουν και άλλες επιλογές για καύσιμο οι οποίες κυμαίνονται από υδρογόνο ως αιθανόλη και μέχρι και υλικά που προέρχονται από βιομάζα. Αυτά τα καύσιμα μπορούν να τροφοδοτηθούν είτε απευθείας στην κυψέλη, είτε να περάσουν πρώτα από έναν μετατροπέα (reformer) ο οποίος θα εξάγει καθαρό υδρογόνο, το οποίο ύστερα θα τροφοδοτηθεί στην κυψέλη καυσίμου (Σχήμα 4.12).

Η βασικές κατηγορίες που υπάρχουν μέχρι στιγμής στην αγορά είναι οι εξής:

- Κυψέλες καυσίμου πολυμερούς ηλεκτρολυτικής μεμβράνης (PEMFC)
- Κυψέλες καυσίμου φωσφορικού οξέος (PAFC)

- Αλκαλικές κυψέλες καυσίμου (AFC)
- Κυψέλες καυσίμου τήγματος ανθρακικών αλάτων (MCFC)
- Κυψέλες καυσίμου στερεού οξειδίου (SOFC)
- Κυψέλη καυσίμου άμεσης μεθανόλης (DMFC)

4.11 Πίνακας με τις θερμοκρασίες ανα είδος κυψέλης καυσίμου

Τύπος κυψέλης καυσίμου	Θερμοκρασία (°C)	Ηλεκτρολύτης
Κυψέλες καυσίμου πολυμερούς ηλεκτρολυτικής μεμβράνης (PEMFC)	50-100	Στερεά πολυμερής μεμβράνη
Κυψέλες καυσίμου φωσφορικού οξέως (PAFC)	160-210	Σταθεροποιημένο φωσφορικό οξύ
Αλκαλικές κυψέλες καυσίμου (AFC)	70-100	Υδατικό διάλυμα υδροξειδίου του καλίου
Κυψέλες καυσίμου τήγματος ανθρακικών αλάτων (MCFC)	650	Αλκαλικό-ανθρακικό άλας
Κυψέλες καυσίμου στερεού οξειδίου (SOFC)	800-1000	Κεραμικό οξείδιο
Κυψέλη καυσίμου άμεσης μεθανόλης (DMFC)	80	Στερεά πολυμερής μεμβράνη

Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα

Πλεονεκτήματα:

- *Εισχώρηση των ΑΠΕ- φιλικό προς το περιβάλλον*
- *Άμεση παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας*
- *Αθόρυβη λειτουργία με ελάχιστο κόστος συντήρησης*
- *Μεγάλη απόδοση ισχύος της τάξης του 40-65%*

- Πιο ασφαλή καύσιμα καθώς το υδρογόνο αποτελεί ελαφρύ καύσιμο και διαχέεται γρήγορα στον αέρα
- Ευκολία μεταφοράς του υδρογόνου μέσω σωλήνων όπως του φυσικού αερίου

Μειονεκτήματα:

- Υψηλό κόστος εγκατάστασης και αγοράς
- Η μεταρρύθμιση καυσίμων προσθέτει πολυπλοκότητα
- Ελλιπής υποδομή υδρογόνου
- Χαμηλή διαθεσιμότητα



Σχήμα 4.12 Η κυψέλη καυσίμου μια λύση για το μέλλον[37]

4.5 Γεωθερμία

Ένας ορισμός ο οποίος θα μπορούσε να χαρακτηρίσει την Γεωθερμική ενέργεια δόθηκε από το ASTM E957 (Standard Terminology Relating to Geothermal Energy) που λέει ότι << η θερμική ενέργεια είναι η ενέργεια που περιέχεται στα πετρώματα και στα ρευστά της γης>>. Η ενέργεια αυτή συνήθως βρίσκεται περιορισμένη σε μία γεωθερμική περιοχή ή πεδίο με συγκεκριμένα επιφανειακά όρια. Η γεωθερμική ενέργεια είναι μια σχετικά

ήπια, εναλλακτική μορφή ενέργειας, η οποία με τα σημερινά τεχνολογικά δεδομένα μπορεί να καλύψει σημαντικό μέρος των αναγκών μας σε ενέργεια. Η αξιοποίηση της γεωθερμικών ρευστών βρίσκονται συνήθως κοντά σε βιομηχανικές, αγροτικές ή αστικές περιοχές ή όπου παρέχει ανάγκη θέρμανσης καθ' όλη την διάρκεια του χρόνου.

Ως προς την δομή τους τα γεωθερμικά συστήματα ταξινομούνται με βάση διάφορα κριτήρια ο τύπος και η θερμοκρασία των ρευστών, ο τύπος του πετρώματος που φιλοξενεί τα ρευστά, το είδος της εστίας θερμότητας, αν κυκλοφορούν ή όχι ρευστά στον ταμιευτήρα κ.τ.λ. Ως εκ τούτου, μπορεί να διαδραματίσει βασικό ρόλο στη συνολική ενεργειακή απόδοση και πράσινες πρακτικές. Οι γεωθερμικές αντλίες θερμότητας έχουν αποδειχθεί ότι μειώνουν την κατανάλωση ενέργειας έως 44% σε σύγκριση με τις τυπικές αντλίες θερμότητας πηγής αέρα και έως 72% σε σύγκριση με τον κανονικό εξοπλισμό κλιματισμού. Επιπλέον, έχουν αποδείξει υψηλότερη αποτελεσματικότητα - έως 300 και 400 τοις εκατό υψηλότερη - σε σχέση με τους κλιβάνους με ορυκτά καύσιμα, οι οποίοι λειτουργούν σε λιγότερο από 100 τοις εκατό. Αυτό καθιστά τα γεωθερμικά συστήματα οπουδήποτε από τέσσερις έως έξι φορές πιο αποτελεσματικά από το αέριο, το προπάνιο ή το πετρέλαιο. Συνολικά, αυτά τα συστήματα μπορούν να εξοικονομήσουν μεταξύ 40 και 70 τοις εκατό για το κόστος θέρμανσης και μεταξύ 30 και 50 τοις εκατό για το κόστος ψύξης έναντι των υφισταμένων συστημάτων HVAC (Σχήμα 4.13).

Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα

Πλεονεκτήματα:

- *Άμεση και συνεχή παροχή ενέργειας*
- *Υψηλός συντελεστής απόδοσης*
- *Σχετικά μικρό λειτουργικό κόστος*
- *Ελάχιστη εκπομπή αερίων- φιλικό στο περιβάλλον*
- *Μικρή απαίτηση έκτασης*
- *Μείωση δαπανών για θέρμανση σε περίπτωση οικιακής χρήσης*

Μειονεκτήματα:

- *Το αρχικό κόστος ενός γεωθερμικού συστήματος είναι υψηλότερο από αυτό των συμβατικών συστημάτων, αλλά κάνει απόσβεση σε λίγα χρόνια.*
- *Για τα ανοικτά γεωθερμικά κυκλώματα απαιτείται παροχή καθαρού νερού (π.χ. από γεώτρηση).*
- *Κατά την ανόρυξη των γεωτρήσεων δημιουργείται λάσπη, η οποία θα πρέπει να ξηραθεί και να απομακρυνθεί από το χώρο ανέγερσης της κατοικίας.*



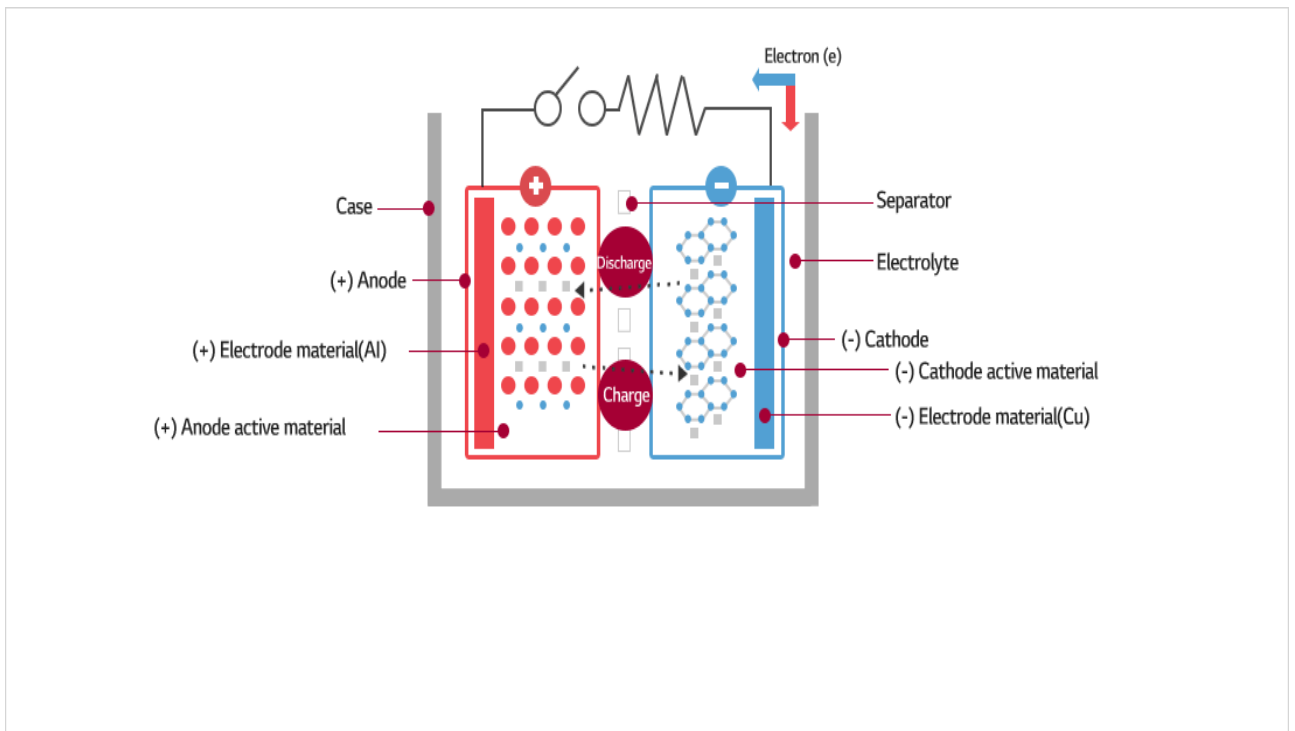
Σχήμα 4.13 Γεωθερμικός σταθμός στην Νέα Ζηλανδία[38]

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

Τεχνολογία των συσσωρευτών

5.1 Εισαγωγή στην τεχνολογία των συσσωρευτών

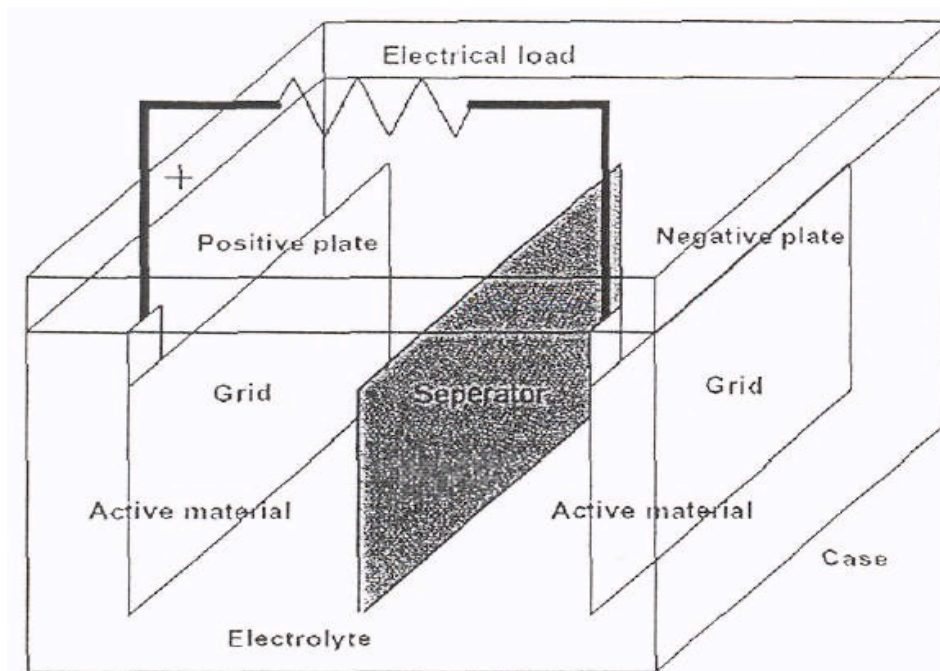
Ένα από τα βασικότερα ζητήματα που απασχολούν τον τομέα της ηλεκτρικής ενέργειας είναι η μείωση της δαπάνης πλεονάζουσας ενέργειας. Οι βασικοί τρόποι αντιμετώπισης αυτήν την στιγμή του συγκεκριμένου θέματος είναι πρώτων η ακριβής πρόβλεψη του φορτίου που θα καταναλωθεί μέσω διαφόρων αριθμητικών μεθόδων που θα αποτρέπει την παραγωγή πλεονάζουσας ενέργειας και δεύτερον η αποθήκευση της παραπάνω ενέργειας για μελλοντική χρήση μέσω συσσωρευτών(κοινώς μπαταρίες) ή μέσω υπερπυκνωτών. Στο συγκεκριμένο κεφάλαιο θα εστιάσουμε πιο συγκεκριμένα στην δεύτερη περίπτωση της αποθήκευσης ενέργειας και κατά βάση στους συσσωρευτές (Σχήμα 5.1)[41].



Σχήμα 5.1 Η διαδικασία παραγωγής ενέργειας από τον συσσωρευτή[41]

Ο συσσωρευτής ή μπαταρία αποτελεί μία συσκευή η οποία μετατρέπει την χημική ενέργεια που εμπεριέχει στο ενεργό υλικό του, απευθείας σε ηλεκτρική μέσω κάποιας ηλεκτροχημικής αντίδρασης οξειδοαναγωγής. Αναλόγως με την επιθυμητή τάση οι συσσωρευτές διακρίνονται σε ένα ή περισσότερα ηλεκτρικά στοιχεία συνδεδεμένα παράλληλα η σε σειρά η κάποιον συνδυασμό και των δύο διασυνδέσεων. Κατά την διάρκεια της ηλεκτροχημικής αντίδρασης τα ηλεκτρόνια αφαιρούνται από το ενεργό υλικό του ενός ηλεκτροδίου δημιουργώντας την οξείδωση , η αντίθετη διαδικασία οπού εισέρχονται ηλεκτρόνια στο ενεργό υλικό του άλλου ηλεκτροδίου ονομάζεται αναγωγή. Η διαδικασία μοιάζει και με την λειτουργία καυσίμων που εξετάστηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο, ωστόσο η ιδιότητα των συσσωρευτών να αποθηκεύουν ενέργεια ανά πάσα στιγμή καθορίζει την μεγάλη σημασία των συσσωρευτών στα ηλεκτρικά δίκτυα ενέργειας. Η δυνατότητα επαναφόρτισης δεν αντιστοιχούν σ' όλους τους συσσωρευτές γι' αυτό αναλόγως αυτής διακρίνονται σε δύο κατηγορίες που είναι οι εξής:

- **Πρωτογενών(primary):** Δεν έχουν δυνατότητα επαναφόρτισης
- **Δευτερογενών(secondary):** Έχουν δυνατότητα επαναφόρτισης



Σχήμα 5.2 Η δομή ενός συσσωρευτή[41]

Ως προς την δομή του ο συσσωρευτής αποτελείται από μια θετική και μία αρνητική πλάκα οι οποίες βρίσκονται μέσα σε ένα διάλυμα κάποιου ηλεκτρολύτη και όλες αυτά περικλείονται σε ένα δοχείο. Αναλύοντας την εικόνα 5.2 μπορούμε να διακρίνουμε πως τα κύρια στοιχεία ενός συσσωρευτή είναι τα εξής:[41]

- **Ενεργό υλικό** : Το ενεργό υλικό από τη θετική και την αρνητική πλάκα είναι ένας συνδυασμός υλικών τα οποία, είναι οι βασικοί συντελεστές της ηλεκτροχημικής αντίδρασης μέσα στην κυψελίδα
- **Ηλεκτρολύτης** : Ο ηλεκτρολύτης είναι το αγωγίμο μέσο που επιτρέπει τη ροή ηλεκτρικού ρεύματος μέσω της ιοντικής ανταλλαγής ή της ανταλλαγής ηλεκτρονίων, επάνω στις πλάκες της κυψελίδας.
- **Πλέγμα**: Σε μία μπαταρία μολύβδου, το πλέγμα συνήθως είναι ένα πλαίσιο από κράμα μολύβδου το οποίο υποστηρίζει το ενεργό υλικό επάνω στις πλάκες και είναι αγωγός ηλεκτρικού ρεύματος.
- **Πλάκες**: Οι πλάκες, που συνίστανται από το πλέγμα και από το ενεργό υλικό, είναι το βασικό στοιχείο της μπαταρίας και συνήθως αναφέρονται ως ηλεκτρόδια.
- **Διαχωριστής**: Ο διαχωριστής είναι ένα πορώδες απομονωτικό μέσο μεταξύ των πλακών της μπαταρίας που εμποδίζει την αγωγή επαφή μεταξύ θετικού και αρνητικού ηλεκτροδίου.
- **Τερματικού Πόλοι**: Οι πόλοι είναι οι εξωτερικές θετικές ή αρνητικές, ηλεκτρικές συνδέσεις της μπαταρίας.

Τύποι συσσωρευτών

Οι τύποι των συσσωρευτών που εμφανίζονται στο εμπόριο είναι οι εξής:

- Μόλυβδου - οξέος
- Νικελίου – καδμίου

- Νικελίου – σιδήρου
- Επαναφορτιζόμενες μπαταρίες λιθίου διαφόρων τύπων

5.2 Φόρτιση και εκφόρτιση

Διαδικασία φόρτισης

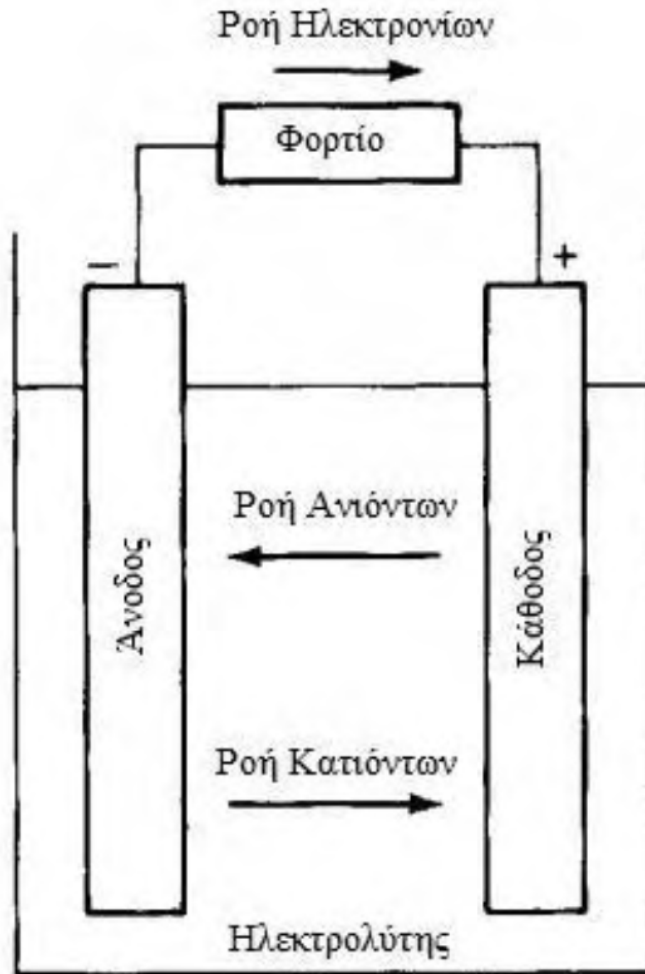
Στην κάθε περίπτωση φόρτισης ή εκφόρτισης των μπαταριών αναφερόμαστε συγκεκριμένα στην κατηγορία των συσσωρευτών που έχουν δυνατότητα επαναφόρτισης. Κατά την διάρκεια της επαναφόρτισης ενός στοιχείου, σύμφωνα με το σχήμα 5.3 βλέπουμε το ρεύμα να έχει αντίστροφη ροή και η οξείδωση να λαμβάνει χώρα στο θετικό ηλεκτρόδιο και αυτό το οποίο ανάγεται στην συγκεκριμένη περίπτωση είναι το αρνητικό ηλεκτρόδιο δηλαδή η κάθοδος. Ουσιαστικά όπως θα δούμε και παρακάτω γίνεται ακριβώς η ανάποδη διαδικασία μ' αυτήν της εκφόρτισης. Καθώς η αντίδραση οξειδοαναγωγής στους συσσωρευτές γίνεται ηλεκτροχημικά, δεν υπόκειται στους περιορισμούς του κύκλου Carnot που διέποντας από το δεύτερο νόμο της θερμοδυναμικής, με αποτέλεσμα οι μπαταρίες να έχουν υψηλότερη ενεργειακή απόδοση μετατροπής. Στις περιπτώσεις των επαναφορτιζόμενων συστημάτων, οι συσσωρευτές φορτίζονται ξανά, ακολουθώντας την αντίστροφη διαδικασία(Σχήμα 5.3)[1].



Σχήμα 5.3 Αναπαράσταση φόρτισης συσσωρευτή[1]

Διαδικασία εκφόρτισης

Όταν το ηλεκτροχημικό στοιχείο είναι συνδεδεμένο με ένα εξωτερικό φορτίο, ηλεκτρόνια ρέουν μέσω του εξωτερικού φορτίου από την άνοδο, η οποία οξειδώνεται προς την κάθοδο, όπου δέχεται τα ηλεκτρόνια. Το ηλεκτρικό κύκλωμα ολοκληρώνεται με τον ηλεκτρολύτη και τη ροή ανιόντων (αρνητικών ιόντων) και κατιόντων (θετικών ιόντων) προς την άνοδο και την κάθοδο, αντίστοιχα(Σχήμα 5.4) [1].



Σχήμα 5.4 Αναπαράσταση εκφόρτισης συσσωρευτή[1]

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

$$\text{Συντελεστής απόδοσης} = \frac{\text{Εισαρχόμενη ποσότητα Ah}}{\text{Εξαρχόμενη ποσότητα Ah}}$$

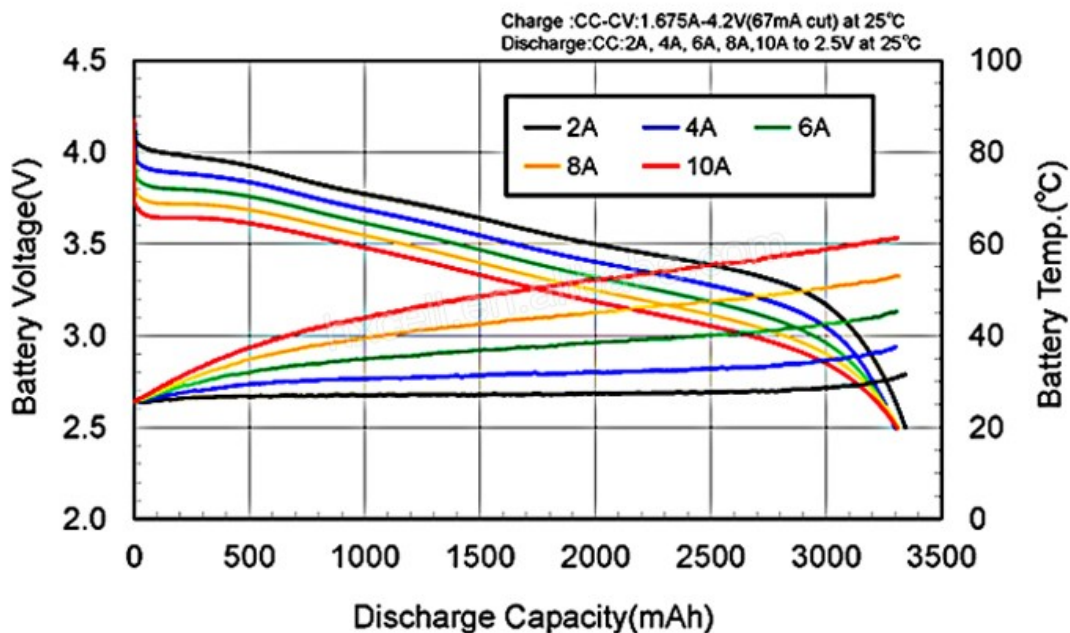
5.3 Παράγοντες επίδρασης στην διάρκεια ζωής

Βασικά στοιχεία τα οποία χαρακτηρίζουν έναν συσσωρευτή/μπαταρία αποτελεί η δυνατότητα του να διατηρεί τα χαρακτηριστικά του και να μην αλλοιώνεται με τον χρόνο. Βασικό μειονέκτημα των μπαταριών είναι η μικρή διάρκεια ζωής/κύκλων σε σχέση με άλλες μεθόδους αποθήκευσης ενέργειας, γι' αυτό όσο πιο μεγάλη διάρκεια λειτουργίας αντέχει μία μπαταρία τόσο πιο κοστοφόρα είναι η αγορά του. Πέρα ωστόσο από τα χαρακτηριστικά της ίδιας της μπαταρίας υπάρχουν και εξωτερικοί παράγοντες οι οποίοι επιδρούν στην διάρκεια ζωής του συσσωρευτή τα οποία είναι τα εξής [7]:

Θερμοκρασία

Ένας από τους βασικούς παράγοντες που επηρεάζει σε μεγάλο βαθμό την διάρκεια ζωής ενός συσσωρευτή είναι η θερμοκρασία. Όλες οι μετρήσεις σχετικά με την διάρκεια και τα χαρακτηριστικά των συσσωρευτών έχουν γίνει κάτω από συγκεκριμένες συνθήκες και όσο αφορά την θερμοκρασία είναι στους 25 βαθμούς Κελσίου. Με την κάθε αύξηση της θερμοκρασία επηρεάζεται και η χωρητικότητα η οποία αυξάνεται μειώνοντας ωστόσο την διάρκεια ζωής λόγω της επιτάχυνσης του ρυθμού διάβρωσης της μπαταρίας. Το αντίθετο ακριβώς γεγονός συμβαίνει όταν η θερμοκρασία μειώνεται ,μειώνεται και η χωρητικότητα άρα ο ρυθμός διάβρωσης μειώνεται με αποτέλεσμα η διάρκεια ζωής να αυξάνεται. Μια γενική παρατήρηση είναι επίσης ότι σε περιπτώσεις όπου το περιβάλλον στο οποίο θα τοποθετηθεί ο ηλεκτρολύτης είναι πολύ θερμό, συνήθως η αραιώση του ηλεκτρολύτη με νερό είναι λίγο μεγαλύτερη από τη συνήθη των 1,28 gr/cm³. Αντίθετα σε ψυχρά κλίματα, επιλέγεται πυκνότερο διάλυμα ηλεκτρολύτη, εξασφαλίζοντας παράλληλα κατ' αυτό τον τρόπο και την αποφυγή της πήξης του(Σχήμα 5.5).

Discharge Rate Characteristics Of NCR18650GA



Σχήμα 5.5 Συσχέτιση θερμοκρασίας, τάσης και χωρητικότητας ενός συσσωρευτή[41]

Κύκλοι φόρτισης – εκφόρτισης

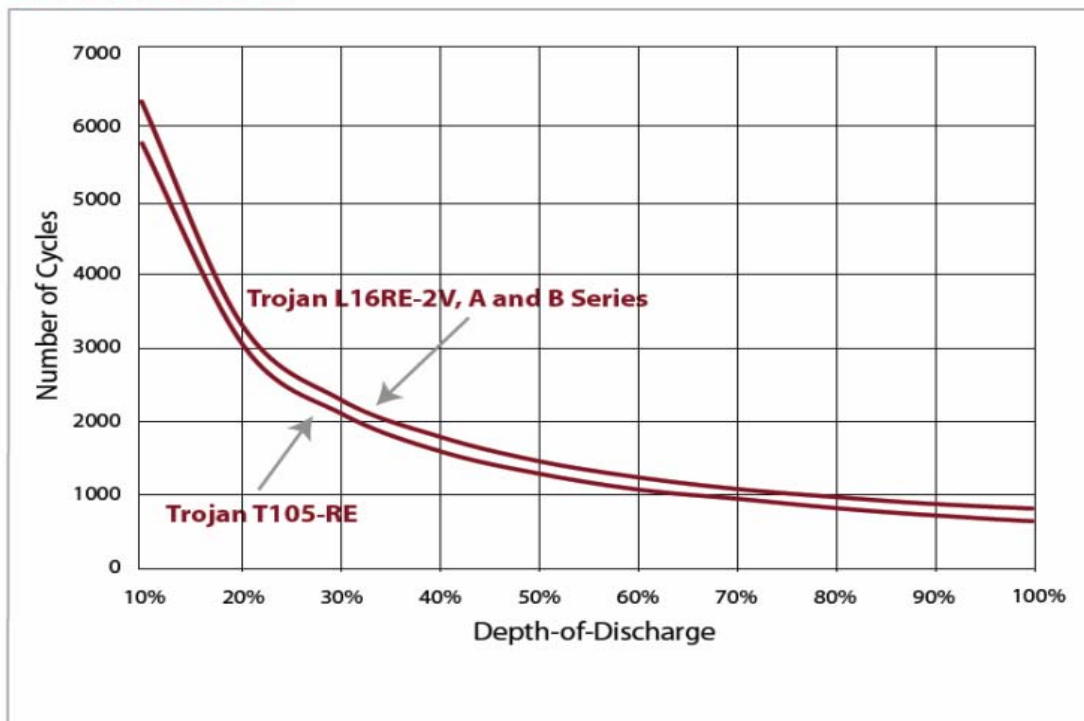
Πέρα από την θερμοκρασία η οποία δρα σαν εξωτερικός παράγοντας στην συσσωρευτή άλλο ένα βασικό χαρακτηριστικό του συσσωρευτή αποτελεί η ονομαστική χωρητικότητα και του και το μέγιστο επιτρεπόμενο βάθος εκφόρτισης. Έπειτα από κάποιον μέγιστο αριθμό κύκλων φόρτισης εκφόρτισης ο συσσωρευτής αρχίζει και χάνει την ονομαστική του χωρητικότητα(βασικό μειονέκτημα των συσσωρευτών). Όποτε χρίζει απαραίτητη η γνώση αυτού του αριθμού κύκλων από τον μηχανικό έτσι ώστε να γίνεται έγκαιρη συντήρηση για να μην χαθεί η ευστάθεια ενός συστήματος όπως για παράδειγμα ενός φωτοβολταϊκού που αποθηκεύει την ενέργεια του σε κάποιον συσσωρευτή για μελλοντική χρήση. Η συνεπαγόμενη αύξηση της περιεκτικότητας του ηλεκτρολύτη σε στάθμες πάνω από 1,28 gr/cm³ συμβάλλει στη διάβρωση των πλακών, άρα και στην μείωση της ενεργού τους ουσίας. Επίσης παρατηρούνται φαινόμενα στρέβλωσης των

πλακών με την αύξηση της θερμοκρασίας, πράγμα που μπορεί να καταστρέψει τελείως ένα στοιχείο.

Βαθμός εκφόρτισης, συστολή-διαστολή μάζας ηλεκτροδίων

Το τελευταίο από τα βασικότερα στοιχεία που επηρεάζουν την διάρκεια ζωής των συσσωρευτών είναι ο βαθμός εκφόρτισης (DOD, depth of discharge). Για να αποφύγουμε δυσάρεστες καταλήξεις δημιουργήθηκαν τεχνολογίες συσσωρευτών που επιτρέπουν την φόρτιση να γίνεται από το 10 έως 100 τοις εκατό. Ο περιορισμός αυτός γίνεται λόγω της δομής που έχει ο συσσωρευτής. Ένας πρακτικός κανόνας που επικρατεί για την διόρθωση του βαθμού απόδοσης είναι ότι το ρεύμα φόρτισης πρέπει να είναι ανάλογο της χωρητικότητας του συσσωρευτή και πιο συγκεκριμένα C/10. Ομοίως ο ρυθμός φόρτισης αυτού πρέπει να κυμαίνεται μεταξύ των ορίων C/20 και C/10 (Σχήμα 5.6).

CYCLE LIFE



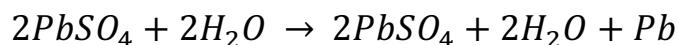
Σχήμα 5.6 Παραδείγματα δύο συσσωρευτών που δείχνουν την μεταβολή των κύκλων ως προς το βάθος εκφόρτισης[40]

5.4 Τεχνολογίες συσσωρευτών μόλυβδου

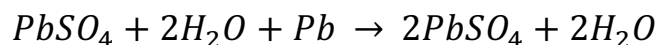
Ο πιο ευρέως γνωστός συσσωρευτής παγκοσμίως αποτελεί ο συσσωρευτής μόλυβδου – οξέος. Ο περιορισμένος κύκλος ζωής των μπαταριών αυτών, αντισταθμίζονται με το χαμηλό κόστος τους, αν και εξαντλούνται σημαντικές ερευνητικές προσπάθειες για την κατανόηση των μηχανισμών γήρανσης τους και την πρόταση τεχνικών αντιμετώπισής της. Σημαντική προϋπόθεση για την μακροζωία τους είναι η φόρτιση και η επιφόρτιση καθώς και η σωστή αποθήκευση. Τα συστήματα μόλυβδου – οξέος βελτιώνονται σταδιακά και με διάφορους τρόπους. Η χρήση ηλεκτρολυτών σε μορφή gel, αντί για υγρό, είναι μια από τις μεγάλες βελτιώσεις που είχε ως αποτέλεσμα να μπορούν οι μπαταρίες να χρησιμοποιηθούν σε οποιαδήποτε θέση χωρίς να χρειαστεί να ανεφοδιαστούν, και να είναι ανθεκτικές σε κραδασμούς. Στις ρυθμιζόμενες από βαλβίδα, μπαταρίες μόλυβδου – οξέος (VRLA) η διαφυγή αερίου ρυθμίζεται από ευαίσθητες βαλβίδες πίεσης. Η απόδοση και ο χρόνος ζωής βελτιώνονται από τις καινοτόμες τεχνικές φόρτισης, όπως οι παλμικές μέθοδοι φόρτισης.

Το βασικό μοντέλο συσσωρευτή αποτελείται από δύο πλάκες βυθισμένες σε αραιό διάλυμα θειϊκού οξέος. Η κάθε πλάκα αποτελείται από μία σχάρα σκληρού αντιμονιούχου μόλυβδου, αφήνοντας κενά στο εξωτερικό των επιφανειών τους. Στην θετική πλάκα τα κενά της σχάρας είναι γεμισμένα με υπεροξειδίο του μόλυβδου, που είναι και η ενεργός ουσία η οποία παίρνει μέρος στην ηλεκτροχημική διαδικασία. Η αρνητική πλάκα έχει στα κενά της σχάρας της πορώδη μόλυβδο, αν και συνήθως αναμειγνύεται με άλλες ουσίες για ανθεκτικότητα. Ανάμεσα στις πλάκες, οι οποίες μπορεί να βρίσκονται πολύ κοντά η μία στην άλλη, παρεμβάλλεται μια αδρανής πλάκα από πορώδες μονωτικό υλικό η οποία δεν επιτρέπει στις πλάκες να έρθουν σε επαφή, αλλά αφήνει το διάλυμα να κυκλοφορεί. Το τελευταίο με τη σειρά του αποτελείται από διάλυμα θειϊκού οξέος σε αποταγμένο νερό περιεκτικότητας 1,28 gr/cm³. Αν και διάλυμα μεγαλύτερης περιεκτικότητας μπορεί να δώσει μεγαλύτερη αγωγιμότητα στα ηλεκτρόνια, δεν χρησιμοποιείται για το λόγο ότι πάνω από αυτό το όριο αρχίζει να γίνεται οξειδωτικό, με αποτέλεσμα να οξειδώνει τις πλάκες του μόλυβδου (Σχήμα 5.7) [39].

Εξίσωση φόρτισης συσσωρευτή:



Εξίσωση εκφόρτισης συσσωρευτή:

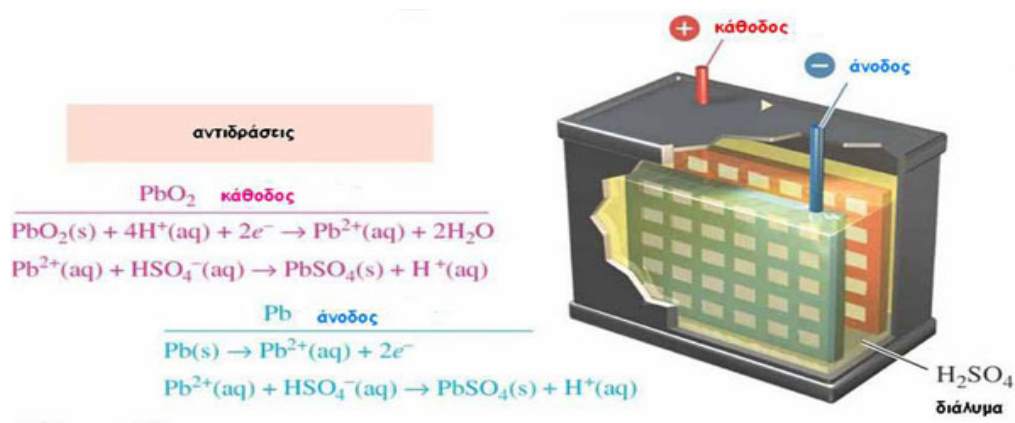


Πλεονεκτήματα

- (+) Ανοχή σε υπερφόρτιση και κακομεταχείριση
- (+) Μεγάλο εύρος ως προς την τάση και την χωρητικότητα που αναζητάς
- (+) Ανακυκλώσιμη
- (+) Σχετικά χαμηλή εσωτερική εμπέδηση
- (+) Εύκολη διαχείριση μεγάλων ποσοτήτων ρεύματος

Μειονεκτήματα

- (-) Απαιτούν μεγάλο χρόνο φόρτισης
- (-) Κίνδυνος υπερθέρμανσης κατά την διάρκεια φόρτισης
- (-) Μεγάλο βάρος και όγκο
- (-) Κίνδυνος έκρηξης λόγω εύφλεκτων υλικών που περιέχει

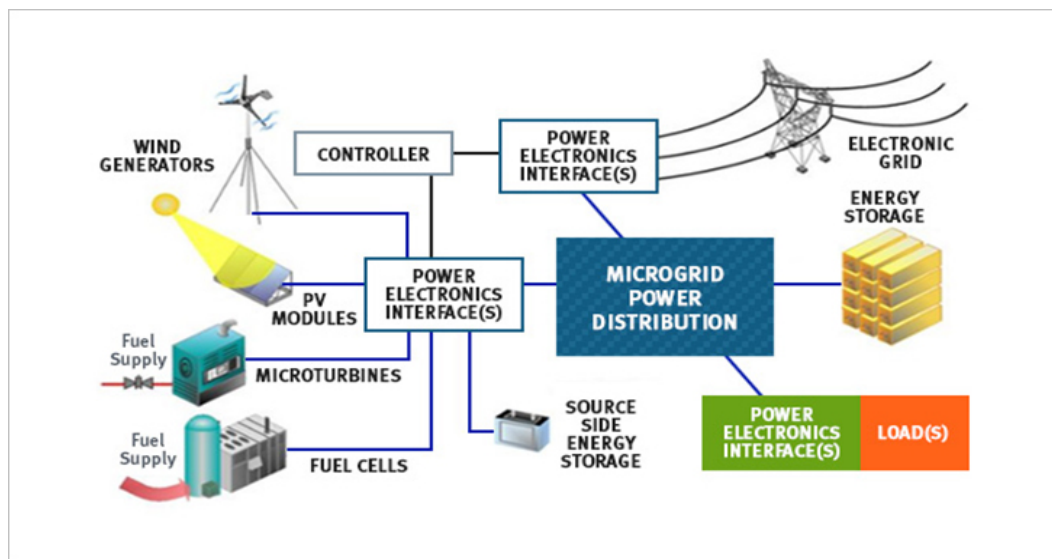


Σχήμα 5.7 Μπαταρία μόλυβδου[39]

5.5 Συσσωρευτές και Μικροδίκτυο

Όπως εύκολα μπορεί κανείς να καταλάβει από τις προηγούμενες παραγράφους, οι συσσωρευτές να μεν είναι μια εύχρηστη και αποδοτική πηγή αποθήκευσης της ενέργειας, ωστόσο η ικανότητα τους δεν μπορεί να ξεπεράσει κάποια όρια. Αφ' ενός το υψηλό κόστος και αφετέρου η μικρή σχετικά διάρκεια ζωής δεν επιτρέπουν τη χρήση τους ως βασικό εξυπηρετητή μεγάλων φορτίων. Για τα Μικροδίκτυα η λύση των συσσωρευτών βαθιάς εκφόρτισης (ανοιχτού τύπου, χαμηλού αντιμονίου) μπορεί να είναι μια συμφέρουσα λύση για την αποθήκευση της ενέργειας και την διαχείριση της ισχύος αλλά μέχρι κάποιου ορίου(Σχήμα 5.8).

Εν συγκρίσει με τους υπόλοιπους τύπους συσσωρευτών που αναφέρθηκαν, ο μεγάλος χρόνος ζωής τους, η ικανότητα τους να εκφορτίζονται βαθιά και το γεγονός ότι όλα τα υλικά τους είναι πλήρως ανακυκλώσιμα καθιστά αυτόν τον τύπο συσσωρευτών εφικτή λύση για πολλά Μικροδίκτυα της τάξης των λίγων KW. Μεγαλύτερες απαιτήσεις φορτίων είναι καλύτερα να εξυπηρετούνται από γεννήτριες ντίζελ, μικροστροβίλους ή κυψέλες καυσίμου, μονάδες δηλαδή που έχουν μεγάλη διάρκεια ζωής και παραγωγική ικανότητα ισχύος.



Σχήμα 5.8 Η διασύνδεση της μπαταρίας με το υπόλοιπο δίκτυο

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

Διαχείριση Ενέργειας και Ηλεκτρονικά Ισχύος

6.1 Εισαγωγή στα ηλεκτρονικά ισχύος και στους μετατροπείς

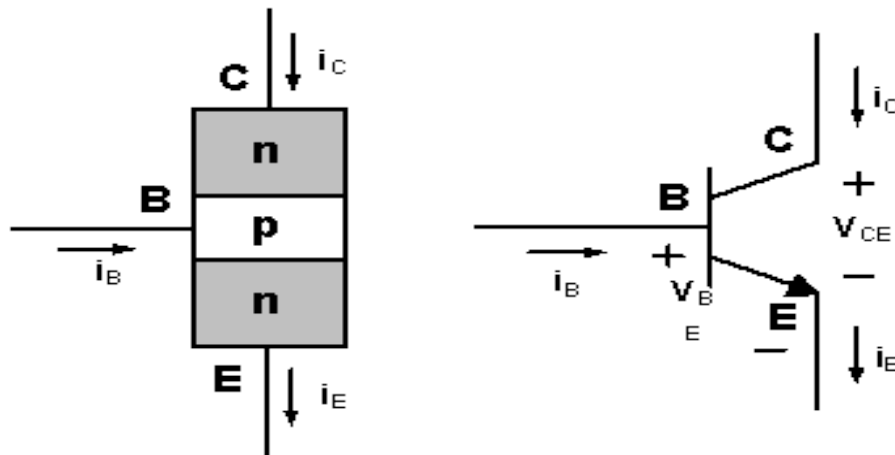
Με τον όρο ηλεκτρονικά ισχύος αναφερόμαστε στα ηλεκτρονικά συστήματα τα οποία είναι υπεύθυνα στο να διαχειρίζονται και να προσαρμόζουν την ηλεκτρική ισχύ επηρεάζοντας και μετατρέποντας την κυματομορφή της τάσης ή τους ρεύματος με τέτοιο τρόπο έτσι ώστε να αξιοποιηθεί πιο αποτελεσματικά από τα συστήματα παραγωγής ενέργειας για την μεταφορά, την διανομή, την αποθήκευση και την κατανάλωση ενέργειας. Τα πιο σημαντικά συστήματα ηλεκτρονικών ισχύων είναι τα εξής [16]:

- **Μετατροπέας DC-DC:** μετατροπή του συνεχούς σε συνεχές, διαφορετικής τάσης και έντασης. Αποτελεί βασικό στοιχείο ενός φωτοβολταϊκού συστήματος για την διασύνδεση του με το υπόλοιπο δίκτυο
- **Μετατροπέας AC-DC:** μετατροπή του εναλλασσόμενου σε συνεχές. Μια άλλη ονομασία του συγκεκριμένου μετατροπέα αποτελεί ο ανορθωτής.
- **Μετατροπέας DC-AC:** μετατροπή του συνεχούς σε εναλλασσόμενο. Το εναλλασσόμενο ρεύμα έχει επικρατήσει σε κάθε είδους οικιακές χρήσεις και εφαρμογές, καθώς και στη βιομηχανία. Στα φωτοβολταϊκά συστήματα συνδέεται μετά τον μετατροπέα DC-DC για να συνδεθεί στο υπόλοιπο δίκτυο
- **Μετατροπέας AC-AC :** μετατροπή του εναλλασσόμενου σε εναλλασσόμενο διαφορετικής τάσης και έντασης. Αποτελεί βασικό στοιχείο μίας ανεμογεννήτριας για την διασύνδεση της με το υπόλοιπο δίκτυο

6.2 Μοντέλα τρανζίστορ για ημιαγώγιμα στοιχεία ισχύος

BJT (Bipolar Junction Transistor):

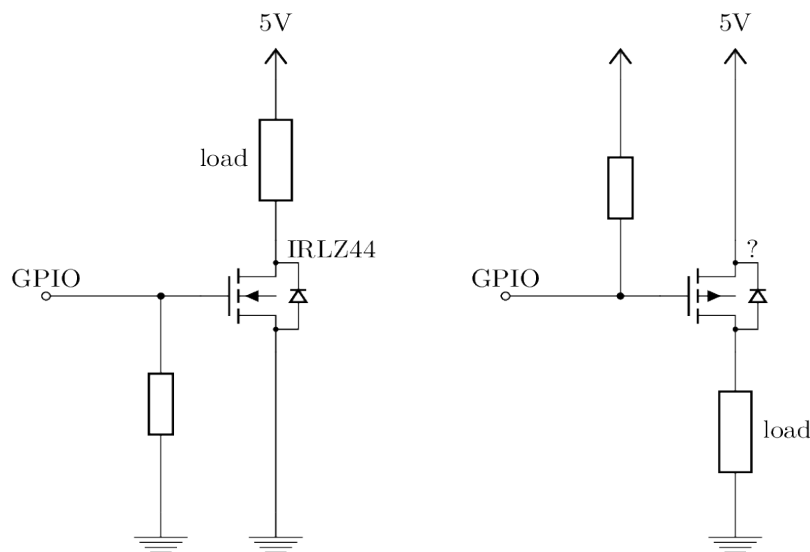
Τα διπολικά τρανζίστορ επαφής (Bipolar Junction Transistor ή BJT) είναι γνωστά ως ενισχυτές σήματος, αλλά μπορούν να χρησιμοποιηθούν και σε διατάξεις ισχύος. Τα BJTs έχουν τρεις ακροδέκτες: την βάση (B, από το Base), τον εκπομπό (E, από το Emitter) και τον συλλέκτη (C, από το Collector). Είναι διατάξεις ελεγχόμενες από ρεύμα (για να μείνουν σε αγωγή πρέπει το ρεύμα βάσης να είναι μεγαλύτερο από ένα όριο) και γνωρίζουν μικρή εφαρμογή σε διατάξεις ισχύος. Η ευκολία έναυσης και αποκοπής με εφαρμογή και απομάκρυνση ενός σήματος στη βάση κάνει το στοιχείο αυτό προτιμότερο για μετατροπείς σε πλήθος εφαρμογών. Το μεγαλύτερο μειονέκτημα των BJTs είναι ότι δεν μπορούν να υφίστανται αντίστροφες τάσεις πάνω από μερικές δεκάδες Volt, κάτι που αποκλείει τις εφαρμογές διαμόρφωσης ισχύος εναλλασσόμενου ρεύματος, εκτός αν χρησιμοποιηθεί δίοδος σε σειρά. Η ταχύτητα λειτουργίας των BJTs είναι περίπου δέκα φορές μεγαλύτερη από ότι των θυρίστορ, αλλά η μέγιστη ισχύς τους είναι πολύ μικρότερη. Είναι το ταχύτερο στοιχείο των ηλεκτρονικών ισχύος με αρκετές εφαρμογές σε χαμηλής ισχύος αντιστροφείς και μετατροπείς DC/DC (Σχήμα 6.1).



Σχήμα 6.1 Η τοπολογία ενός JBT τρανζίστορ[38]

MOSFET:

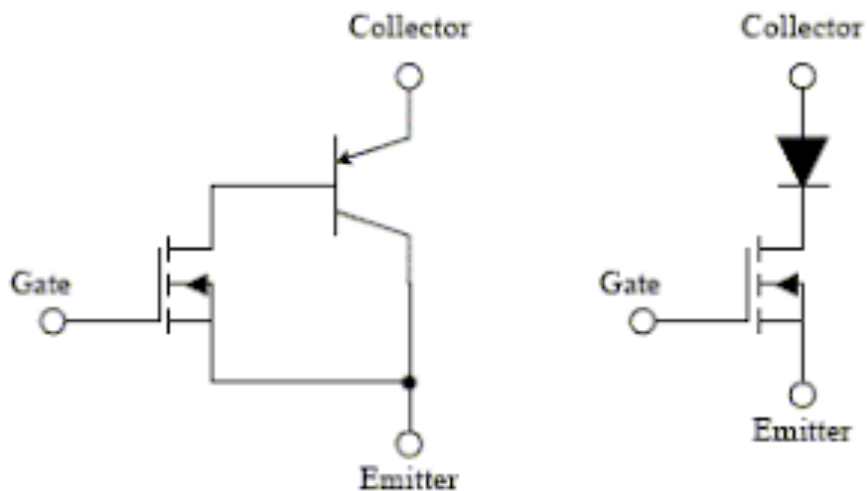
Από την οικογένεια των τρανζίστορ μεγάλη εφαρμογή σε διατάξεις ισχύος γνωρίζουν τα IGBT και τα MOSFET ισχύος. Τα MOSFET ισχύος (τρανζίστορ μεταλλικών οξειδίων ημιαγωγών με επίδραση πεδίου ή Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor) είναι διατάξεις ελεγχόμενες από τάση επίσης με τρεις ακροδέκτες που ονομάζονται πύλη (G, από το Gate), πηγή (S, από το Source) και υποδοχή (D, από το Drain). Ο έλεγχος της ροής ρεύματος γίνεται μέσω σήματος τάσης στην πύλη. Συνήθως τα MOSFET βρίσκονται σε αποκοπή μέχρι την εφαρμογή κατάλληλου σήματος, αλλά υπάρχει και μία ειδική κατηγορία των στοιχείων αυτών που συμπεριφέρονται αντίστροφα. Το κύριο πλεονέκτημα των MOSFET είναι η μεγάλη συχνότητα λειτουργίας τους που ξεπερνά τα 100kHz, αλλά η ισχύς τους περιορίζεται σε μερικά kWatts. Για αυτή την ισχύ όμως έχουν προτιμότερα χαρακτηριστικά από άλλα στοιχεία, όπως ο μικρός χρόνος έναυσης και σβέσης. Λόγω της υψηλής ταχύτητας είναι κατάλληλα για εφαρμογές διαμόρφωσης εύρους παλμού (PWM), διακοπτικά τροφοδοτικά, επαγωγική θέρμανση, ηλεκτροσυγκόλληση και φωτισμό φθορισμού με υψηλή συχνότητα, ειδικά μάλιστα για φορητές συσκευές και οχήματα (Σχήμα 6.2).



Σχήμα 6.2 Η τοπολογία ενός MOSFET τρανζίστορ[38]

IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor):

Τα IGBT (διπολικά τρανζίστορ με μονωμένη πύλη (Insulated Gate Bipolar Transistor) έχουν επίσης τρεις ακροδέκτες με παρόμοια ονομασία με αυτούς των BJT (πύλη-εκπομπός-συλλέκτης) αλλά ελέγχονται από τάση, όπως τα MOSFET. Αποτελούν ένα συνδυασμό των BJT και MOSFET ισχύος ώστε να παραχθεί ένα στοιχείο με ανώτερη απόδοση σε συγκεκριμένες εφαρμογές και έχουν σε μεγάλο ποσοστό αντικαταστήσει τα BJT στις διατάξεις ηλεκτρονικών ισχύος. Η λειτουργία του IGBT στηρίζεται στην αγωγή του με την εφαρμογή θετικής τάσης στην πύλη, ενώ με την αφαίρεση της συμβαίνει σβέση. Η συχνότητα λειτουργίας ενός τυπικού IGBT είναι μέχρι περίπου 50kHz και η μέγιστη ισχύς που μπορεί να χειριστεί είναι μικρότερη από μερικές εκατοντάδες kWatts. Βρίσκει ίδιες εφαρμογές με το BJT, αλλά με καλύτερα χαρακτηριστικά. Συνήθεις εφαρμογές είναι μετατροπείς DC/DC και αντιστροφείς (inverters). Εδώ να σημειωθεί ότι και άλλα στοιχεία έχουν αναπτυχθεί που ανήκουν στην οικογένεια των τρανζίστορ (π.χ. SITs) τα οποία όμως ακόμα γνωρίζουν ελάχιστη εφαρμογή (Σχήμα 6.3).

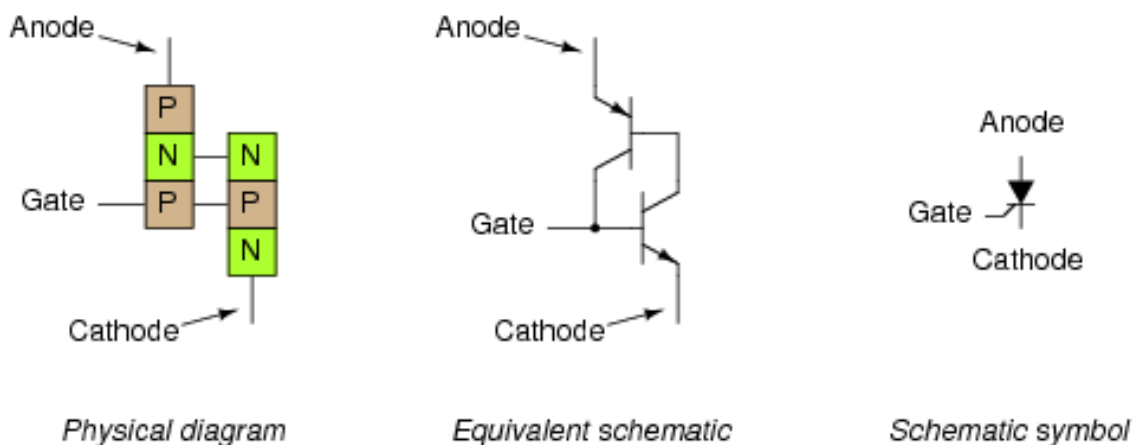


Σχήμα 6.3 Η τοπολογία ενός IGBT τρανζίστορ[38]

6.3 Μοντέλα θυρίστορ για ημιαγώγιμα στοιχεία ισχύος

SCR (Silicone Controlled Rectifiers):

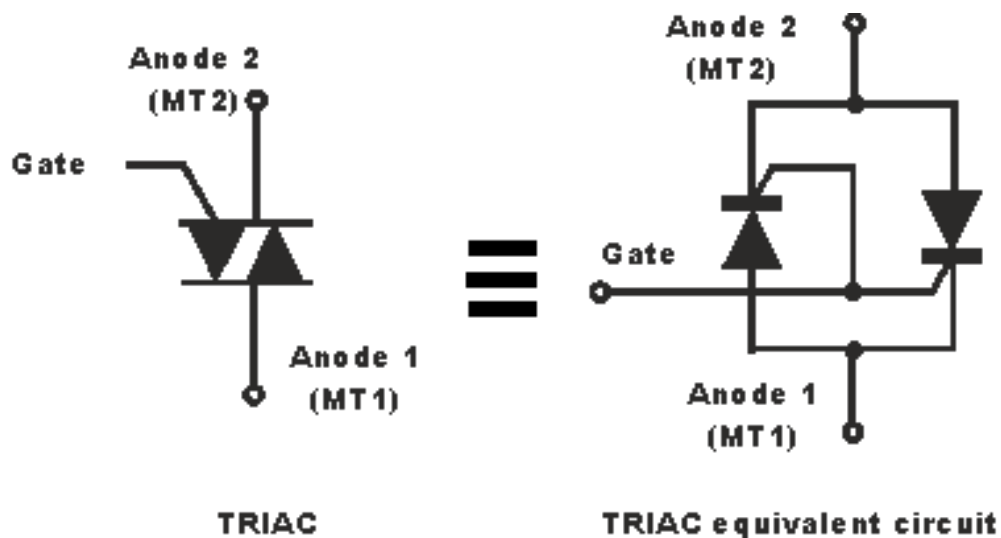
Ένας SCR είναι μία συσκευή σταθερής κατάστασης, η οποία έχει τέσσερα, εναλλασσόμενα ενισχυμένα ημιαγώγιμα στρώματα. Η συσκευή, σχεδόν πάντα, είναι κατασκευασμένη από πυρίτιο, αλλά έχει χρησιμοποιηθεί και γερμάνιο. Τα τέσσερα στρώματα του SCR συχνά σχηματίζονται από μία διαδικασία διάχυσης, αλλά επίσης χρησιμοποιείται μία συνδυασμένη μέθοδος διάχυσης – ανάμειξης. Μπορεί να χειριστεί ισχύ από δεκάδες W μέχρι MW, την μεγαλύτερη ισχύ από όλα τα άλλα ημιαγώγιμα στοιχεία και με συχνότητα λειτουργίας μέχρι 10 kHz. Για να μεταβεί ένα θυρίστορ σε κατάσταση αγωγής πρέπει να είναι ορθά πολωμένο (η τάση ανόδου να είναι μεγαλύτερη από την τάση καθόδου) και να δεχτεί κατάλληλο παλμό στην πύλη του. Η σβέση γίνεται αντίστοιχα με την δίοδο. Συνεπώς ένα SCR είναι ένα μερικώς ελεγχόμενο στοιχείο (ελέγχεται η έναυση αλλά όχι η σβέση του) (Σχήμα 6.4).



Σχήμα 6.4 Η τοπολογία ενός SCR θυρίστορ[38]

TRIAC:

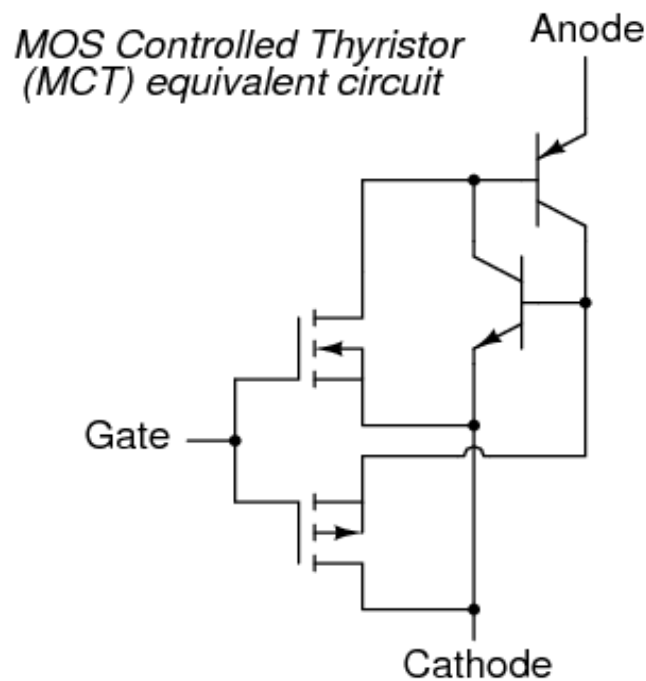
Ειδική αναφορά πρέπει να γίνει στα αμφίδρομα τριαδικά θυρίστορ ή TRIAC που ισοδυναμούν με δύο αντιπαράλληλα συνδεδεμένα θυρίστορ (χρησιμοποιούνται για έλεγχο δύο κατευθύνσεων). Η ονομασία υποδηλώνει ότι το στοιχείο έχει 3 ακροδέκτες και μπορεί να χειριστεί εναλλασσόμενο ρεύμα. Επιτρέπει τη διέλευση ρεύματος και προς τις δύο κατευθύνσεις χωρίς διάκριση, ενώ η αγωγή ή όχι του ρεύματος ελέγχεται με σήμα στην πύλη. Η μέγιστη ισχύς που μπορεί να διαμορφώσει φτάνει σε αρκετές δεκάδες kWatt. Κύρια εφαρμογή είναι ο έλεγχος εναλλασσόμενου ρεύματος σε διατάξεις για έλεγχο φωτισμού, θερμοκρασίας ή μικρών κινητήρων, όπως ανεμιστήρων. Είναι το μοναδικό ημιαγωγικό στοιχείο που μπορεί πραγματικά να χειριστεί εναλλασσόμενο ρεύμα. Το κύριο μειονέκτημα του είναι ότι δεν μπορεί να χειρισθεί μεγάλη ισχύ και γι' αυτό σε τέτοιες περιπτώσεις συνήθως χρησιμοποιούνται τα δύο αντιπαράλληλα θυρίστορ (Σχήμα 6.5).



Σχήμα 6.5 Η τοπολογία ενός TRIAC θυρίστορ[38]

MCT (MOS controlled thyristor):

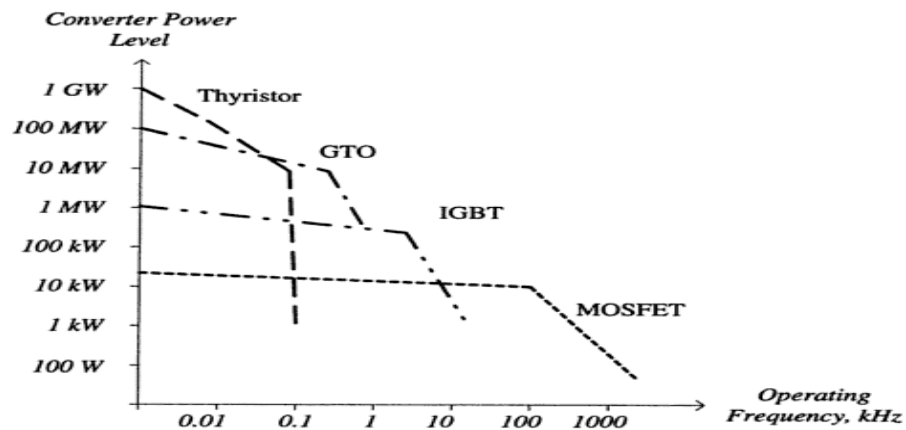
Το MCT (MOS Controlled Thyristor) είναι ο συνδυασμός ενός GTO με δύο MOSFET. Το πρώτο MOSFET χρησιμοποιείται για την έναυση του GTO και το δεύτερο για την σβέση του. Το πλεονέκτημα του συνδυασμού των τριών αυτών στοιχείων σε ένα στοιχείο είναι ότι η έναυση επιτυγχάνεται με μικρότερη ισχύ και με μεγαλύτερη ταχύτητα. Η συχνότητα λειτουργίας του MCT μπορεί να φτάσει μέχρι περίπου 20kHz, οπότε είναι συγκρίσιμο με ένα τυπικό IGBT, αλλά το MCT πλεονεκτεί έναντι του IGBT στην μικρή πτώση τάσης σε αγωγή. Το μειονέκτημα του MCT είναι η μικρότερη ικανότητα αντοχής σε αντίστροφη τάση, αλλά θεωρείται ότι έχει τη δυνατότητα να αντικαταστήσει άλλα στοιχεία και να καλύψει μεγάλο εύρος εφαρμογών (Σχήμα 6.6).



Σχήμα 6.6 Η τοπολογία ενός MCT θυρίστορ[38]

6.4 Τα επίπεδο ισχύος και οι αντίστοιχες διακοπτικές συχνότητες

Η κατάλληλη επιλογή των ημιαγωγικών στοιχείων για κάθε εφαρμογή γίνεται με βάση τα τεχνικά χαρακτηριστικά τους, κυρίως την διακοπτική συχνότητα και την στάθμη τάσης και ρεύματος (ή αλλιώς την ισχύ) που μπορούν να διαχειριστούν. Μία αυστηρή κατάταξη δεν είναι δυνατή καθώς οι κατασκευαστές συνεχίζουν να αναπτύσσουν νέα προϊόντα με βελτιωμένα χαρακτηριστικά. Ο γενικός κανόνας, με βάση τα βασικά στοιχεία και την χρήση τους σε εφαρμογές, είναι ότι τα δύο άκρα καταλαμβάνονται από τα θυρίστορ (πολύ υψηλή ισχύ και χαμηλή διακοπτική συχνότητα) και τα MOSFET ισχύος (χαμηλή ισχύ και πολύ υψηλή διακοπτική συχνότητα) με τα υπόλοιπα στοιχεία να καταλαμβάνουν τον ενδιάμεσο χώρο. Στο Σχήμα 6.7 συνοψίζεται ότι προαναφέρθηκε. Είναι σαφές ότι τα θυρίστορ κυριαρχούν στην περιοχή της υπέρ-υψηλής ισχύος για σχετικά χαμηλές συχνότητες. Το GTO είναι το αμέσως επόμενο στοιχείο όταν πρόκειται για την δυνατότητα χειρισμού της ισχύος που εκτείνεται σε συχνότητες μερικών εκατοντάδων Hz. Το IGBT κατέχει την περιοχή της μέσης ισχύος έχοντας την ικανότητα να λειτουργεί σε σχετικά υψηλές συχνότητες, και τελικά τα MOSFET που εκτείνουν την λειτουργία τους στις περιοχές των υψηλών συχνοτήτων για σχετικά χαμηλά επίπεδα ισχύος. Η τάση για τα επόμενα χρόνια είναι να επεκτείνουν την περιοχή ισχύος των GTO προς τα επίπεδα αυτά των θυρίστορ.



Σχήμα 6.7 Γραφική αναπαράσταση Τα επίπεδα ισχύος και οι αντίστοιχες διακοπτικές συχνότητες[38]

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στην παρούσα εργασία ερευνήθηκε ο τομέας της διεσπαρμένης παραγωγής και πως αυτή μπορεί να συμβάλει στην βελτιστοποίηση και τον εκσυγχρονισμό των συστημάτων ηλεκτρικής ενέργειας. Ερευνήθηκαν επίσης και οι τρόποι διαχείρισης της ενέργειας όπως η αποθήκευση της και η μεμονωμένοι τρόποι παραγωγής της από εναλλακτικές μορφές ενέργειας όπως η αιολική και η ηλιακή.

Το μοντέλο που εξετάστηκε για την εισχώρηση της διεσπαρμένης παραγωγής και των ΑΠΕ ονομάζεται Μικροδίκτυο και από τα πλεονεκτήματα που παρουσιάστηκαν φαίνεται μία αξιόπιστη λύση για το μέλλον δίνοντας την δυνατότητα σε πολλές τοπικές κοινωνίες να λειτουργούν αυτόνομα και κοιτώντας πιο σφαιρικά την κατάσταση να προάγουν το μοντέλο της έξυπνης πόλης. Μαζί με την διεσπαρμένη παραγωγή και τα Μικροδίκτυα γίνεται προσπάθεια πλήρης εκσυγχρόνισης των ΣΗΕ με την έννοια των smart grid δίνοντας δικαίωμα στον καταναλωτή να γίνει και αυτός ενεργό μέλος των ΣΗΕ και να προσαρμόζει το δίκτυο σύμφωνα με τις ανάγκες του.

Ωστόσο τα smart grid όπως και τα Μικροδίκτυα ακόμα βρίσκονται σε πρώιμο και πειραματικό στάδιο και υπάρχει ανάγκη για μεγαλύτερη έρευνα και σίγουρα θα αποτελέσει βασικό αντικείμενο για τον τομέα της ενέργειας καθώς η ενέργεια πλέον αποτελεί θεμελιώδη στοιχείο στην ζωή και στην καθημερινότητα του ανθρώπου.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1].** Διπλωματική εργασία Γεωργίου και Ευάγγελου Κοκολάκη "Μελέτη smart-grids" , Φεβρουάριος 2016
- [2].** Διδακτορική Διατριβή Άρη Ευάγγελου Λ. Δημέα "Συμβολή στον κατακευματισμένο έλεγχο συστημάτων ηλεκτρικής ενέργειας με μονάδες διεσπαρμένης παραγωγής στην χαμηλή τάση", Αθήνα 2006
- [3].** Διπλωματική εργασία Ροζίκ Λυσίμαχος-Ιωάννης "Προσομοίωση και μελέτη υβριδικού συστήματος διεσπαρμένης παραγωγής", Μάιος 2012
- [4].** Διπλωματική εργασία Ευθυμία Κ. Χατζηγελευθερίου "Εκτίμηση Κατάστασης σε Δίκτυα Διανομής με Διασπαρμένη Παραγωγή", Μάρτιος 2010
- [5].** Διπλωματική εργασία Θωμάς Α. Αλεξόπουλος "Μελέτη μοντελοποίηση και προσομοίωση εγκατεστημένου Μικροδικτύου", Δεκέμβριος 2008
- [6].** Διπλωματική εργασία Ευαγγελία Μελίστα "Εφαρμογή και μελέτη ευστάθειας ιεραρχικού ελέγχου σε DC Μικροδίκτυο", Οκτώβριος 2015
- [7].** Διπλωματική εργασία Γεωργίου Κατσαρού "Μοντελοποίηση και δυναμική ανάλυση μικροδικτύου", Οκτώβριος 2012
- [8].** Μεταπτυχιακή Διπλωματική εργασία Ιωάννας Μπουλούμπαση "Συγχρομισμός μετατροπέα σε μικροδίκτυο και ανταλλαγή πληροφοριών μεταξύ μετατροπέων", Νοέμβριος 2015
- [9].** Χ. Ν. Παπαδημητρίου, «Έλεγχος κατακευματισμένης παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας για την ένταξη της σε μικροδίκτυα», Διδακτορική Διατριβή, Πανεπιστήμιο Πατρών, 2012.
- [10].** Γ. Β. Γιαννακόπουλος, Ν. Α. Βοβός «Εισαγωγή στα Συστήματα Ηλεκτρικής Ενέργειας», ΖΗΤΗ, 2008.
- [11].** Γ. Β. Γιαννακόπουλος, Ν. Α. Βοβός «Έλεγχος και Ευστάθεια Συστημάτων Ηλεκτρικής Ενέργειας», ΖΗΤΗ, 2008.

- [12]. C.N. Papadimitriou, E.I. Zountouridou, N.D. Hatziargyriou, “Review of hierarchical control in DC microgrids”.
- [13]. Εργασία προπτυχιακού μαθήματος Στυλιανού Φουρλή “Κτηριακοί αυτοματισμοί και Ευφυή Δίκτυα και πόλεις”, Ιούνιος 2018
- [14]. <https://www.newmoney.gr/palmos-oikonomias/energeia/345312-dei-mexri-to-2020-tha-ependisei-700-ekat-eiro-se-ape> , στοιχεία ΔΕΗ
- [15]. Διπλωματική εργασία Ζάππη Σωκράτη “Εξυπνα Δίκτυα Ενέργειας”, Μάιος 2015
- [16]. Ηλεκτρονικά ισχύος Wikipedia https://el.wikipedia.org/wiki/Ηλεκτρονικά_ισχύος
- [17]. Power outages and distributed generation <http://www.imsinfo.com/industry-insights/power-outages-distributed-generation/>
- [18]. Πτυχιακή εργασία Κωνσταντινίδη Μάρκου “Παραγωγική διαδικασία και ποιοτικός έλεγχος μπαταρίας οξέος μολύβδου”, Καβάλα 2013
- [19]. <https://sites.lafayette.edu/egrs352-sp14-pv/technology/history-of-pv-technology/> “Efficiency Of Solar PV, Then, Now And Future”
- [20]. http://www.evalvetec.com/solar_energy.html, Evalve ISO
- [21]. <https://www.mathworks.com/help/physmod/sps/examples/simplified-model-of-a-small-scale-micro-grid.html>, Simplified Model of a Small Scale Micro-Grid
- [22]. <https://www.clicksoftware.com/blog/emea-smart-metering-roadmap/> , EMEA Utilities Smart Metering: A roadmap for the Rest of the World?
- [23]. <https://www.shutterstock.com/image-vector/smart-metering-system-diagram-vector-244539127>, shutterstock
- [24]. <https://smartenergycc.org/the-perceptions-of-the-consumer/> , The perceptions of the consumer
- [25]. <http://www.ieso.ca/learn/ontario-power-system/a-smarter-grid>, Ontario’s power system
- [26]. <https://www.altenergymag.com/article/2018/03/taking-microgrids-to-the-next-level-with-li-ion-energy-storage/28049/>, Taking Microgrid to the Next Level With Li-ion Energy Storage

- [27]. <http://www.greenenergycorp.com/about-us/about-us/technology/>, Microgrid Overview
- [28]. “International symposium on ‘Smart Grid technologies”, Online: <https://citytoday.news/international-symposium-on-smart-grid-technologies/>, 2017
- [29]. <https://www.wired.com/story/can-these-small-satellites-solve-the-riddle-of-internet-from-space/>, CAN THESE SMALL SATELLITES SOLVE THE RIDDLE OF INTERNET FROM SPACE?
- [30]. U.S. Department of Commerce, “NIST Special Publication 1108 NIST Framework and Roadmap for Smart Grid Interoperability Standards, Release 1.0”, 2010.
- [31]. Διπλωματική εργασία Ευφροσύνη Θ. Ζώτου, “Σύγχρονες Τεχνολογίες Πρόσβασης και Δια- δικτύου σε Έξυπνα Δίκτυα (Smart Grids)”, 2012
- [32]. Δεη Ανανεώσιμες <https://www.ppcr.gr/el/>
- [33]. Iván Patrao, Emilio Figueres, Gabriel Garcerá, Raúl González-Medina, “Microgrid architectures for low voltage distributed generation”, Renewable and Sustainable Energy Reviews 43 2015
- [34]. <https://www.sootoday.com/local-news/sault-inventor-promotes-benefits-of-new-type-of-wind-turbine-671461>, Sault inventor promotes benefits of new type of wind turbine
- [35]. <https://slideplayer.com/slide/9352601/>, How does A wind Turbine Work
- [36]. https://en.wikipedia.org/wiki/Fuel_cell, Wikipedia
- [37]. <https://www.treehugger.com/cars/it-time-drop-idea-hydrogen-fuel-cell-vehicles-are-green.html>, Time to drop the idea that hydrogen fuel cell vehicles are green
- [38]. Διπλωματική εργασία Ορφανού Γεώργιου “ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΙΣΧΥΟΣ ΓΙΑ ΤΗ ΣΥΝΔΕΣΗ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΩΝ ΠΗΓΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΟ ΔΙΚΤΥΟ”, Ιούλιος 2012
- [39]. <http://users.sch.gr/xbalasi/electrochem/sect03/page3145.html>,
- [40]. https://passiontech.com.au/index.php/energy-solutions-shop/product/1061-trojan-225ah-c20-6v-battery-t-105-re-made-in-usa/category_pathway-68, trojan batteries

- [41]. Διπλωματική Εργασία Κωνσταντίνου Παναγιωτόπουλου “Ευφυή συστήματα ελέγχου: Εφαρμογή σε Μικροδίκτυα”, Βολος 2015
- [42]. <http://highwestenergy.com/distributed-generation>
- [43]. ΛΑΓΓΗ, Συνοπτικό Πληροφοριακό Δελτίο Δεκέμβριος 2012