



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ

ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ

**ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ**

**Συστήματα Διεσπαρμένης Παραγωγής Ηλεκτρικής
Ενέργειας**

Διπλωματική Εργασία

Πατσία Τριανταφυλλιά

Επιβλέπων καθηγητής: Μπαργιώτας Δημήτριος
Αναπληρωτής Καθηγητής, ΠΘ

Συνεπιβλέπων καθηγητής: Τσουκαλάς Ελευθέριος
Καθηγητής, ΠΘ

Βόλος 2020



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ

ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ

**ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ**

**Συστήματα Διεσπαρμένης Παραγωγής Ηλεκτρικής
Ενέργειας**

Διπλωματική Εργασία

Πατσιά Τριανταφυλλιά

Επιβλέπων καθηγητής: Μπαργιώτας Δημήτριος
Αναπληρωτής Καθηγητής, ΠΘ

Συνεπιβλέπων καθηγητής: Τσουκαλάς Ελευθέριος
Καθηγητής, ΠΘ

Βόλος 2020



UNIVERSITY OF THESSALY

SCHOOL OF ENGINEERING

DEPARTMENT OF ELECTRICAL AND COMPUTER ENGINEERING

Distributed Power Generation Systems

Diploma Thesis

Patsia Triantafyllia

Supervisor: Dimitrios Bargiotas

Associate Professor, UTH

Co-advisor: Lefteri Tsoukalas

Professor, UTH

Volos 2020

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Πρώτα απ' όλα θα ήθελα να ευχαριστήσω ολόψυχα τον επιβλέποντα Καθηγητή Μπαργιώτα Δημήτριο για τη διαθεσιμότητά του, την υποστήριξη και την καθοδήγηση που μου προσέφερε κατά την ενασχόλησή μου με ένα τόσο ενδιαφέρον θέμα.

Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Καθηγητή Ελευθέριο Τσουκαλά ως συνεπιβλέποντα αυτής της διπλωματικής.

Τέλος, χρωστώ ένα μεγάλο ευχαριστώ στην οικογένειά μου που μου παρείχε τη στήριξη, την ενθάρρυνση και τη βοήθεια που είχα ανάγκη όλα τα χρόνια των σπουδών μου.

ΥΠΕΥΘΥΝΗ ΔΗΛΩΣΗ ΠΕΡΙ ΑΚΑΔΗΜΑΪΚΗΣ ΔΕΟΝΤΟΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ ΠΝΕΥΜΑΤΙΚΩΝ ΔΙΚΑΙΩΜΑΤΩΝ

«Με πλήρη επίγνωση των συνεπειών του νόμου περί πνευματικών δικαιωμάτων, δηλώνω ρητά ότι η παρούσα διπλωματική εργασία, καθώς και τα ηλεκτρονικά αρχεία και πηγαίοι κώδικες που αναπτύχθηκαν ή τροποποιήθηκαν στα πλαίσια αυτής της εργασίας, αποτελεί αποκλειστικά προϊόν προσωπικής μου εργασίας, δεν προσβάλλει κάθε μορφής δικαιώματα διανοητικής ιδιοκτησίας, προσωπικότητας και προσωπικών δεδομένων τρίτων, δεν περιέχει έργα/εισφορές τρίτων για τα οποία απαιτείται άδεια των δημιουργών/δικαιούχων και δεν είναι προϊόν μερικής ή ολικής αντιγραφής, οι πηγές δε που χρησιμοποιήθηκαν περιορίζονται στις βιβλιογραφικές αναφορές και μόνον και πληρούν τους κανόνες της επιστημονικής παράθεσης. Τα σημεία όπου έχω χρησιμοποιήσει ιδέες, κείμενο, αρχεία ή/και πηγές άλλων συγγραφέων, αναφέρονται ευδιάκριτα στο κείμενο με την κατάλληλη παραπομπή και η σχετική αναφορά περιλαμβάνεται στο τμήμα των βιβλιογραφικών αναφορών με πλήρη περιγραφή. Αναλαμβάνω πλήρως, ατομικά και προσωπικά, όλες τις νομικές και διοικητικές συνέπειες που δύναται να προκύψουν στην περίπτωση κατά την οποία αποδειχθεί, διαχρονικά, ότι η εργασία αυτή ή τμήμα της δεν μου ανήκει διότι είναι προϊόν λογοκλοπής».

Η Δηλούσα

(Υπογραφή)

Πατσιά Τριανταφυλλιά

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η μελέτη και η ανάλυση των συστημάτων διεσπαρμένης παραγωγής. Αρχικά γίνεται εισαγωγή στη δομή και τη λειτουργία του παραδοσιακού συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας με έμφαση στα ελληνικά δεδομένα. Στο Κεφάλαιο 2 αναλύονται οι λόγοι που οδήγησαν στην αναμόρφωση της αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας και γίνεται αναφορά στα θεσμικά όργανα της Ελλάδας. Η αναζήτηση μεθόδων για την ελάττωση του κόστους και τη βελτίωση της ποιότητας της ηλεκτρικής ενέργειας οδήγησε στην επανεξέταση των κανόνων λειτουργίας των ΣΗΕ. Κατ' αυτόν τον τρόπο και με παράγοντες που αναφέρονται στο Κεφάλαιο 3 εξηγείται η μετάβαση στις τεχνολογίες διεσπαρμένης παραγωγής και μελετώνται αφού προηγηθεί η διάκρισή τους.

Τα ευφυή ηλεκτρικά δίκτυα αναλύονται στο Κεφάλαιο 4 και διευκρινίζονται οι διαφοροποιήσεις τους από το παραδοσιακό ηλεκτρικό δίκτυο, καθώς πρόκειται για ηλεκτρικά δίκτυα που ενσωματώνουν τους κατανεμημένους ενεργειακούς πόρους. Επιπροσθέτως γίνεται αναφορά όχι μόνο στα οφέλη που παρουσιάζουν, αλλά και στις προκλήσεις που παράλληλα αντιμετωπίζουν.

Τα μικροδίκτυα προκύπτουν από την αυξημένη διείσδυση των συστημάτων διεσπαρμένης παραγωγής και έχουν δομή, λειτουργία και διάφορες αρχιτεκτονικές που περιγράφονται στο Κεφάλαιο 5. Στο ίδιο κεφάλαιο γίνεται λόγος για ένα ελληνικό μικροδίκτυο, το μικροδίκτυο της Κύθνου.

Τέλος, ένα ζήτημα το οποίο δε θα μπορούσε να παραληφθεί είναι ο έλεγχος των μικροδικτύων. Έτσι, στο Κεφάλαιο 6 παρουσιάζεται η ιεραρχική δομή ελέγχου τριών επιπέδων και γίνεται διεξοδική αναφορά σε κάθε επίπεδο.

ABSTRACT

The purpose of the thesis is the study and analysis of distributed generation systems. In the first chapter there is an introduction to the structure and operation of the traditional electricity system, with emphasis on Greek data. Chapter 2 analyzes the reasons that led to the reformation of the electricity market and refers to the Greek institutions. The search for methods to reduce costs and improve the quality of electricity has led to a review of the rules of operation of electricity systems. In this way, the factors mentioned in Chapter 3 explain the transition to distributed technologies and are studied after their differentiation.

Smart grids are discussed in Chapter 4 and their distinctions from the traditional grid are clarified, as they are grids that incorporate distributed energy resources. In addition, not only they present some benefits, but also they face certain challenges.

Microgrids are the result of the increasing penetration of the distributed generation systems and have the structure, function and various architectures described in Chapter 5. The same chapter includes the Greek microgrid in Kythnos.

Finally, issues regarding the control of microgrids are presented. Thus, Chapter 6 presents the hierarchical three-level control structure and makes a detailed reference to each level.

Πίνακας Περιεχομένων

<i>ΠΕΡΙΛΗΨΗ</i>	<i>vi</i>
<i>ABSTRACT</i>	<i>vii</i>
<i>Κεφάλαιο 1</i>	<i>1</i>
<i>Το παραδοσιακό σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας</i>	<i>1</i>
1.1 Η ηλεκτρική ενέργεια στην Ελλάδα και στο εξωτερικό	1
1.2 Η δομή ενός ΣΗΕ - Τα στάδια παραγωγής, μεταφοράς και διανομής ηλεκτρικής ενέργειας ..	3
1.3 Λειτουργία και έλεγχος των συστημάτων ηλεκτρικής ενέργειας	6
1.4 Το Ελληνικό ΣΗΕ	8
1.4.1 Ιστορική Αναδρομή	8
1.4.1 Το υφιστάμενο σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας.....	9
<i>Κεφάλαιο 2</i>	<i>14</i>
<i>Η απελευθέρωση της αγοράς ενέργειας</i>	<i>14</i>
2.1 Η αναμόρφωση της αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας στην Ευρώπη	14
2.1.1 Τα νομικά πλαίσια της Ευρωπαϊκής Ένωσης	14
2.2 Η απελευθέρωση της ελληνικής αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας	16
2.2.1 Τα νομικά πλαίσια στην Ελλάδα	16
2.3 Θεσμικά όργανα στην απελευθερωμένη αγορά ηλεκτρικής ενέργειας στην Ελλάδα	18
<i>Κεφάλαιο 3</i>	<i>23</i>
<i>Διεσπαρμένη Παραγωγή</i>	<i>23</i>
3.1 Ορισμός.....	23
3.2 Παράγοντες μετάβασης από τη συγκεντρωμένη παραγωγή στη διεσπαρμένη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.....	24
3.2.1 Η κατανεμημένη παραγωγή στην απελευθερωμένη αγορά ενέργειας	25
3.2.2 Η κατανεμημένη παραγωγή στο περιβαλλοντικό πλαίσιο	26
3.2.3 Οικονομικοί και τεχνικοί προβληματισμοί	27
3.3 Οι τεχνολογίες διεσπαρμένης παραγωγής	28
3.3.1 Παραδοσιακές γεννήτριες καύσης.....	29
3.3.2 Μη παραδοσιακές γεννήτριες καύσης.....	34
<i>Κεφάλαιο 4</i>	<i>40</i>
<i>Έξυπνο Δίκτυο – Το μελλοντικό ηλεκτρικό δίκτυο</i>	<i>40</i>
4.1 Εισαγωγή.....	40
4.2 Ορισμός του έξυπνου δικτύου	43

4.3 Υφιστάμενα δίκτυα και Ευφυή δίκτυα: οι χαρακτηριστικές διαφορές	45
4.4 Προκλήσεις του νέου δικτύου παροχής ηλεκτρικής ενέργειας.....	48
Κεφάλαιο 5.....	50
Εισαγωγή στα μικροδίκτυα.....	50
5.1 Περιγραφή των μικροδικτύων	50
5.2 Οι τρόποι λειτουργίας ενός μικροδικτύου και ο ρόλος των Μικροελεγκτών και των Κεντρικών Ελεγκτών	53
5.3 Αρχιτεκτονικές ομαδοποίησης μικροδικτύων	58
5.3.1 Αλληλεπίδραση του μικροδικτύου με το κυρίως δίκτυο ή και με άλλα μικροδίκτυα	58
5.3.2 Αρχιτεκτονικές μικροδικτύων.....	60
5.3 Το μικροδίκτυο της Κύθνου	67
Κεφάλαιο 6.....	69
Λειτουργία και Έλεγχος Μικροδικτύων.....	69
6.1 Εισαγωγή.....	69
6.1.1 Παράγοντες που διαμορφώνουν τον σχεδιασμό ελέγχου στα μικροδίκτυα	69
6.1.2 Μεταβλητές ελέγχου στη νησιδοποιημένη και στη διασυνδεδεμένη με το δίκτυο λειτουργία	70
6.2 Η κατάληξη στο ιεραρχικό επίπεδο ελέγχου μικροδικτύου	71
6.3 Πρωτοβάθμιος έλεγχος	73
6.3.1 Εισαγωγή στον πρωτοβάθμιο έλεγχο.....	73
6.3.2 Στρατηγικές πρωτοβάθμιου ελέγχου - Ελεγκτής εξόδου μετατροπέα	74
6.3.3 Στρατηγικές πρωτοβάθμιου ελέγχου - Έλεγχος κατανομής ισχύος	75
6.4 Δευτεροβάθμιος έλεγχος ή Σύστημα Διαχείρισης Ενέργειας του Μικροδικτύου (EMS)	77
6.4.1 Εισαγωγή στον δευτεροβάθμιο έλεγχο.....	77
6.4.2 Αποκεντρωμένος δευτεροβάθμιος έλεγχος.....	78
6.5 Τριτοβάθμιος έλεγχος	82
6.5.1 Εισαγωγή στον τριτοβάθμιο έλεγχο.....	82
6.5.2 Κεντρική διαχείριση.....	82
6.5.3 Κατανεμημένη διαχείριση.....	82
Κεφάλαιο 7.....	84
Συμπεράσματα.....	84
Βιβλιογραφία.....	85

Κεφάλαιο 1

Το παραδοσιακό σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας

1.1 Η ηλεκτρική ενέργεια στην Ελλάδα και στο εξωτερικό

Η καθιέρωση της ηλεκτρικής ενέργειας άλλαξε ολοκληρωτικά τις συνθήκες παραγωγής αντικαθιστώντας τις φυσικές διεργασίες με τεχνικές. Συντέλεσε στην πολιτιστική πρόοδο του ανθρώπου προκαλώντας μεταβολές στους τομείς της οικονομίας, της υγείας και της επικοινωνίας και προσέφερε τη δυνατότητα για καλύτερες συνθήκες διαβίωσης με μικρότερο περιβαλλοντικό κόστος.

Ο ηλεκτρισμός άρχισε να χρησιμοποιείται εμπορικά για φωτισμό για πρώτη φορά γύρω στο 1870. Γύρω στο 1880 εμφανίστηκαν στις Ηνωμένες Πολιτείες και στη Μεγάλη Βρετανία οι πρώτες εταιρείες που χρησιμοποιούσαν συνεχές ρεύμα ισχύος 60kW με τάση 110V. Η πρώτη μονάδα παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος με ισχύ 746 kW λειτούργησε το 1881. Η παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος ήταν εξαρτημένη από τις βροχοπτώσεις, καθώς τη γεννήτρια κινούσαν δύο υδρόμυλοι. Το 1882 εγκαταστάθηκε στην Στουτγάρδη μονάδα που παρήγαγε ηλεκτρική ενέργεια για 30 λαμπτήρες πυρακτώσεως, ενώ το 1885 άρχισαν να δημιουργούνται στο Βερολίνο τα πρώτα δίκτυα ηλεκτρικής ενέργειας.

Στη Νέα Υόρκη εγκαταστάθηκε το πρώτο πλήρες ηλεκτρικό σύστημα συνεχούς ρεύματος από τον Thomas Edison το οποίο ξεκίνησε να λειτουργεί το 1882. Μία ατμομηχανή κινούσε μια γεννήτρια να τροφοδοτώντας με ηλεκτρική ενέργεια 59 καταναλωτές. (1)

Τα πρώτα ηλεκτρικά συστήματα έρχονταν αντιμέτωπα με τεχνικά προβλήματα. Για μεγάλη χρονική διάρκεια, τα συστήματα υπολειτουργούσαν ή ήταν ανενεργά, καθώς δεν υπήρχε ζήτηση για φωτισμό κατά τη διάρκεια της μέρας.

Το 1886 ο Nicola Tesla συνέλαβε τη μεταφορά της ηλεκτρικής ενέργειας με εναλλασσόμενο ρεύμα. Τα πρώτα συστήματα δεν υποστήριζαν τεχνολογικά την μεταφορά ισχύος σε μεγάλες αποστάσεις. Έπρεπε τα επίπεδα της τάσης να είναι υψηλά για να διατηρηθούν οι απώλειες μεταφοράς και οι πτώσεις τάσης σε αποδεκτά επίπεδα. Η λύση αυτή τη φορά ήρθε με τη χρήση συσκευών που μετασχηματίζουν τάση και ρεύμα στα επιθυμητά επίπεδα. Με τους μετασχηματιστές χρησιμοποιούνται πλέον διαφορετικά επίπεδα τάσης για την παραγωγή, μεταφορά και διανομή της ηλεκτρικής ενέργειας. Το

εναλλασσόμενο ρεύμα επικράτησε για δύο ακόμη λόγους: οι γεννήτριές του ήταν απλούστερες από τις γεννήτριες συνεχούς και οι κινητήρες του ήταν απλούστεροι και φθηνότεροι από τους κινητήρες συνεχούς.

Το εναλλασσόμενο ρεύμα όταν χρησιμοποιήθηκε για πρώτη φορά, κάλυπτε ανάγκες φωτισμού και οι πρώτες γραμμές εναλλασσόμενου ήταν μονοφασικές. Το 1890 τέθηκε σε λειτουργία ο πρώτος σταθμός παραγωγής εναλλασσόμενου ρεύματος στο Deptford και τροφοδοτούσε το κεντρικό Λονδίνο με γραμμή 10 kV. Στη Γερμανία, εγκαταστάθηκε το 1890 υδροηλεκτρική μονάδα 138 kW που μετέφερε ισχύ σε 175 χλμ. ενώ στις Η.Π.Α λειτούργησε η πρώτη γραμμή μεταφοράς ηλεκτρικού ρεύματος. Ενώ οι πρώτοι σταθμοί εξυπηρετούσαν στενές γεωγραφικές περιοχές, στη συνέχεια οι σταθμοί αυτοί άρχισαν να διασυνδέονται και να λειτουργούν σε κοινή, τυποποιημένη συχνότητα. (2)

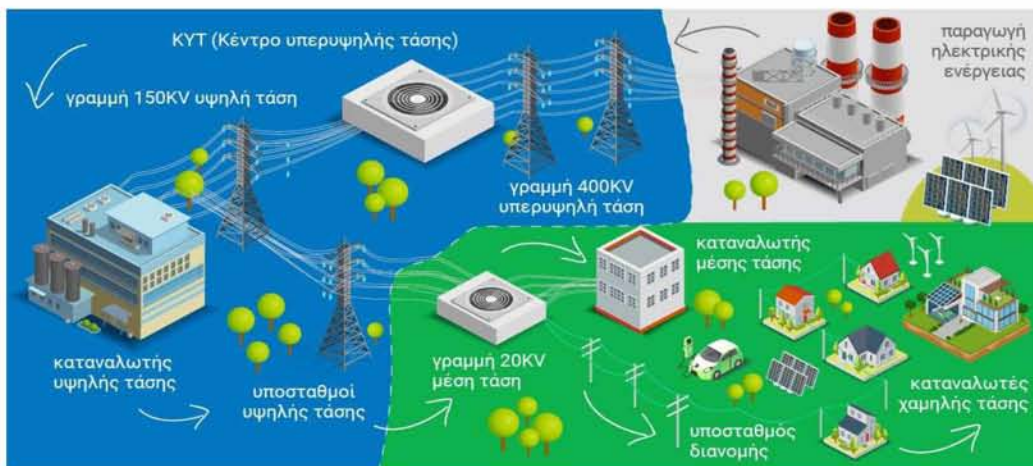
Στην Ελλάδα, ο ηλεκτρισμός έφτασε το 1889. Η πρώτη μονάδα παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος κατασκευάστηκε στην Αθήνα από τη Γενική Εταιρεία Εργοληψιών, ενώ τον φωτισμό της Θεσσαλονίκης και την κατασκευή εργοστασίου παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας ανέλαβε Βελγική Εταιρεία. Μέχρι το 1929 είχαν εμφανιστεί πολυεθνικές εταιρείες που φρόντισαν για την κατασκευή μονάδων παραγωγής σε 250 πόλεις. Περιοχές πιο απομακρυσμένες και αραιοκατοικημένες ηλεκτροδοτούνταν από μικρά εργοστάσια, διότι η παραγωγή μονάδων ήταν οικονομικά ασύμφορη. Η ηλεκτρική ενέργεια αποτελούσε αγαθό πολυτελείας εξαιτίας των εισαγόμενων καυσίμων, αλλά και για τον λόγο ότι η παραγωγή υποδιαιρούνταν σε πολλές, μικρές μονάδες. Έτσι, η τιμή του ηλεκτρικού ρεύματος, παρ' όλο που παρεχόταν με ωράριο και αντιμετώπιζε συχνές διακοπές, παρέμενε στα ύψη συγκριτικά με άλλες Ευρωπαϊκές χώρες.

Το 1950 με την ίδρυση της ΔΕΗ τα δίκτυα μεταφοράς άρχισαν να διασυνδέονται σε ένα ενιαίο, εθνικό σύστημα και σημειώθηκε στροφή προς την εκμετάλλευση των εγχώριων πηγών ενέργειας (λιγνιτικά κοιτάσματα και ύδατα). (3)

Η βιομηχανία ηλεκτρικής ισχύος εξαπλώθηκε ραγδαία και είναι από τις μεγαλύτερες στον κόσμο. Οι αυξανόμενες ανάγκες της κοινωνίας σε ηλεκτρική ενέργεια απαιτούν αναβάθμιση του εξοπλισμού και ανάπτυξη καινοτόμων τεχνολογιών οι οποίες αποτελούν το κύριο αντικείμενο μελέτης της παρούσας διπλωματικής.

1.2 Η δομή ενός ΣΗΕ - Τα στάδια παραγωγής, μεταφοράς και διανομής ηλεκτρικής ενέργειας

Ένα ΣΗΕ δομείται από εγκαταστάσεις και μέσα που λειτουργούν ώστε να προμηθεύεται ένα σύνολο καταναλωτών με ηλεκτρική ενέργεια, όπως φαίνεται στην *Εικόνα 1*. Ένα ΣΗΕ λειτουργεί με τον επιθυμητό τρόπο όταν εξισορροπείται η ζήτηση με την προσφορά σε ενέργεια, με γνώμονα την ελαχιστοποίηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων. Είναι επίσης αναγκαίο να διασφαλίζονται η σταθερή τάση, η σταθερή συχνότητα και η υψηλή αξιοπιστία.



Εικόνα 1: Οι συνιστώσες ενός ΣΗΕ

Τα συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας καλούνται να εξυπηρετήσουν τις ανάγκες μεγάλων ομάδων χρηστών. Είναι αρκετά πολύπλοκα, από το μικρότερο έως το μεγαλύτερο σύστημα, αφού αποτελούνται από πολλές συνιστώσες όπως γραμμές μεταφοράς, μετασχηματιστές, γεννήτριες κ.ά.

Η βασική δομή τους θα μπορούσε να περιγραφεί βάσει μεγέθους. Για παράδειγμα, κάθε σύστημα δομείται διαφορετικά ανάλογα με την έκταση της γεωγραφικής περιοχής που εξυπηρετεί. Όμως η ομοιότητα των συστημάτων εντοπίζεται όχι στο μέγεθος, αλλά στα επίπεδα τάσης στα οποία λειτουργούν. Έτσι, από το χαμηλότερο επίπεδο τάσης έως το υψηλότερο εντοπίζουμε το σύστημα διανομής, το σύστημα υπομεταφοράς και το σύστημα μεταφοράς τα οποία περιγράφονται παρακάτω.

- **Σταθμοί παραγωγής**

Μέσω θερμικών σταθμών μετατρέπεται η θερμική ενέργεια των ορυκτών καυσίμων σε ηλεκτρική, ενώ μέσω υδροηλεκτρικών σταθμών μετατρέπεται η μηχανική ενέργεια των υδάτινων ροών και των υδατοπτώσεων σε ηλεκτρική. Έτσι, ανάλογα με την πηγή πρωτογενούς ενέργειας που χρησιμοποιούν, οι σταθμοί διακρίνονται σε ατμοηλεκτρικούς (ΑΗΣ), υδροηλεκτρικούς (ΥΗΣ) και πυρηνικούς (ΠΣ). Στο σύστημα παραγωγής ανήκουν οι σταθμοί παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος και οι μετασχηματιστές που ανυψώνουν την τάση. Οι σταθμοί εγκαθίστανται στις προσφορότερες περιοχές, ώστε να παράγονται επαρκείς ποσότητες ενέργειας.

- **Γραμμές μεταφοράς**

Όλοι οι μεγάλοι σταθμοί παραγωγής, καθώς και τα σημεία μεγάλης κατανάλωσης διασυνδέονται στο σύστημα μεταφοράς. Το σύστημα μεταφοράς δέχεται ενέργεια απευθείας από τους σταθμούς παραγωγής και μπορεί να εξυπηρετήσει μεγάλους καταναλωτές, καθώς και να ανταλλάξει ενέργεια με γειτονικά συστήματα. Γι' αυτό και έχει δομή βρόχου σε σύγκριση με τα συστήματα διανομής και υπομεταφοράς που συνήθως έχουν ακτινική δομή.

Λειτουργεί στα μέγιστα επίπεδα τάσης ώστε να μειωθούν οι απώλειες και μεταφέρει μεγάλα μεγέθη ισχύος από τους σταθμούς παραγωγής προς τα κέντρα κατανάλωσης. Στο σύστημα ανήκουν τα δίκτυα των γραμμών υπερυψηλής τάσης και υψηλής τάσης και οι υποσταθμοί ζεύξης τους. Επιπλέον χρησιμοποιούνται διάφορα επίπεδα τάσης και οι υποσταθμοί μετασχηματισμού της τάσης εντοπίζονται στο σύστημα μεταφοράς.

- **Σύστημα υπομεταφοράς**

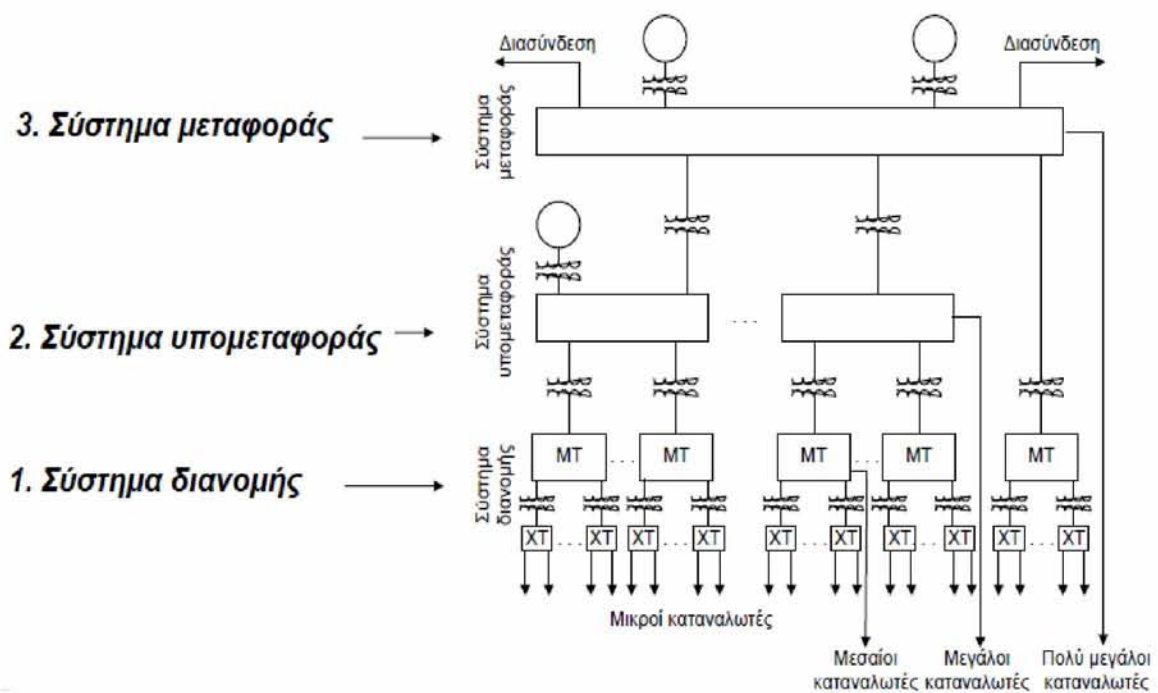
Το σύστημα υπομεταφοράς δέχεται ενέργεια είτε από σταθμούς παραγωγής είτε από το σύστημα μεταφοράς. Οι μεγάλες βιομηχανίες τροφοδοτούνται συνήθως απευθείας από αυτό το σύστημα. Η ισχύς και οι αποστάσεις από υποσταθμούς μεταφοράς προς υποσταθμούς κατανάλωσης είναι τώρα μικρότερες, όπως και τα επίπεδα τάσης, ενώ οι γραμμές μεταφοράς είναι περισσότερες. Το συγκεκριμένο σύστημα, θα έλεγε κανείς ότι είναι ένα σύστημα διανομής που εξυπηρετεί μεγαλύτερη γεωγραφική έκταση, με μεγαλύτερη ισχύ. Τα δίκτυα υπομεταφοράς και μεταφοράς διακρίνονται δύσκολα όσο ευρύνεται το δίκτυο και προκύπτει ανάγκη για μεταφορά υπό υψηλότερα επίπεδα τάσης.

- **Δίκτυο διανομής**

















Μέσω των δικτύων διανομής η ηλεκτρική ενέργεια διανέμεται στους καταναλωτές μέσης τάσης (MT) και χαμηλής τάσης (XT) και μέσω των μετασχηματιστών διανομής η μέση τάση υποβιβάζεται σε χαμηλή. Η μέση τάση (πχ. 15 kV) ονομάζεται και τάση τροφοδοσίας ή πρωτεύουσα τάση. Η χαμηλή τάση (πχ. 220 V) ονομάζεται και δευτερεύουσα τάση ή τάση κατανάλωσης.

Στους υποσταθμούς διανομής η τάση υποβιβάζεται στη μέση τάση διανομής. Οι υποσταθμοί αυτοί τροφοδοτούν το σύστημα που με τη σειρά του παρέχει ηλεκτρική ενέργεια στους καταναλωτές μεσαίου μεγέθους και στους οικιακούς καταναλωτές. Ανάλογα το αν μια περιοχή είναι πυκνοκατοικημένη ή όχι, τα δίκτυα διακρίνονται σε υπόγεια ή σε εναέρια, ενώ οι τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται στα δίκτυα διανομής είναι ασφάλειες, διακόπτες, διατάξεις μέτρησης κ.λπ.

Στο μονογραμμικό διάγραμμα της *Εικόνας 2* γίνονται διακριτά τα παραπάνω υποσυστήματα. Η *Εικόνα 3* επεξηγεί σύμβολα αναπαράστασης του προηγούμενου διαγράμματος.



Εικόνα 2: Μονογραμμικό διάγραμμα ΣΗΕ

	Περιστρεφόμενη μηχανή		Αποξευκτης
	Ζυγός		Ασφάλεια
	Μετασχηματιστής ισχύος 2 τυλιγμάτων		Αποσύνδεση
	Μετασχηματιστής ισχύος 3 τυλιγμάτων		Διακόπτης ισχύος
	Φορτίο		Πυκνωτής
	Μετασχηματιστής έντασης		Τύλιγμα συνδεσμολογίας αστέρα
	Μετασχηματιστής τάσης		Τύλιγμα συνδεσμολογίας τριγώνου
			Γη
			Τύλιγμα συνδεσμολογίας γειωμένου αστέρα
			Γραμμή μεταφοράς

Εικόνα 3: Σύμβολα για την παράσταση των συνιστωσών ενός ΣΗΕ

1.3 Λειτουργία και έλεγχος των συστημάτων ηλεκτρικής ενέργειας

Η λειτουργία των συστημάτων ηλεκτρικής ενέργειας καθίσταται ολοένα πολυπλοκότερη όσο μεγαλώνει ο αριθμός των γεννητριών, των γραμμών μεταφοράς, των μετασχηματιστών, των υποσταθμών κ.ά. Για την αποτελεσματικότερη λειτουργία του ΣΗΕ υπάρχει ένα κεντρικό σημείο που συλλέγει πληροφορίες για το σύστημα και συντονίζει τη λειτουργία των συνιστωσών του, το λεγόμενο Κέντρο Κατανομής Φορτίου. Ένα σύνολο από σύγχρονα ΚΚΦ (Κέντρα Ελέγχου Ενέργειας) αποτελεί ένα Σύστημα Ελέγχου Ενέργειας που επιτελεί λειτουργίες σχετικές με την ασφάλεια του συστήματος.

Το ΣΗΕ υποστηρίζεται από τηλεπικοινωνιακό δίκτυο που μεταδίδει τις μετρήσεις από τους υποσταθμούς προς τα ΚΕΕ και αντίστροφα τις εντολές από τα ΚΕΕ προς τους υποσταθμούς. Μετρήσεις από διάφορα σημεία του ηλεκτρικού δικτύου που λαμβάνει το Κέντρο Ελέγχου Ενέργειας υπόκεινται σε επεξεργασία από ένα σύστημα ηλεκτρονικού υπολογιστή ώστε να εντοπιστούν οι τιμές που είναι εκτός ορίων και συνεπώς επικίνδυνες για τη λειτουργία του συστήματος. Τα ΚΕΕ επικοινωνούν μέσω RTUs και GUSs (Τερματικές Μονάδες και Μονάδες Ελέγχου Παραγωγής αντίστοιχα).

Δύο ομάδες λειτουργιών αποτελούν το λογισμικό εφαρμογών των Συστημάτων Ελέγχου Ενέργειας (4):

- Λειτουργία Συστήματος Διαχείρισης Ενέργειας (EMS – Energy Management System), η οποία διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στη λειτουργία και τον έλεγχο του συστήματος. Η λειτουργία αυτή περιλαμβάνει τρία υποσυστήματα:

I. Σύστημα Ελέγχου - Εποπτείας και Μεταφοράς Δεδομένων (SCADA).

Ο Εποπτικός Έλεγχος και Συλλογή Πληροφοριών (5) είναι μια κατηγορία συστημάτων τηλεμετρίας. Πραγματοποιείται από ένα δίκτυο υπολογιστών που συγκεντρώνει δεδομένα σε πραγματικό χρόνο και τα μεταφέρει σε μια αίθουσα ελέγχου για την προβολή τους από χειριστή και για τη λήψη ενεργειών ελέγχου. Οι απομακρυσμένες τερματικές μονάδες (RTUs) εκτελούν τον ρόλο των αισθητήρων και των ενεργοποιητών στα συστήματα SCADA. Εκτός αυτών, συστατικά ενός συστήματος SCADA αποτελούν οι προγραμματιζόμενοι λογικοί ελεγκτές (PLCs) , οι διακομιστές υπολογιστών¹, οι σταθμού εργασίας SCADA², οι τηλεπικοινωνιακές υποδομές, ο εξοπλισμός δικτύωσης υπολογιστών κ.ά.

Το SCADA επιτελεί τις ακόλουθες λειτουργίες για την παρακολούθηση και λειτουργία του δικτύου:

- 1) Εποπτικός Έλεγχος και απόκτηση δεδομένων (πχ επεξεργασία συναγερμών και συμβάντων, ενημέρωση περιβάλλοντος χρήστη).
- 2) Διατήρηση προηγούμενων τιμών δεδομένων σε ιστορική βάση δεδομένων.
- 3) Ανάρτηση Πινακίδων (tagging).
- 4) Επεξεργασία Τοπολογίας.
- 5) Αποκοπή Φορτίου.

II. Παραγωγής.

Παρέχει λειτουργίες όπως:

- 1) Αυτόματος Έλεγχος Παραγωγής.
- 2) Ενεργειακή Παρακολούθηση.
- 3) Οικονομική Κατανομή Φορτίου.
- 4) Ένταξη Μονάδων.

¹ Επικοινωνούν με τις RTUs και PLC, διατηρούν βάση δεδομένων SCADA σε πραγματικό χρόνο και ιστορική βάση δεδομένων με προηγούμενες τιμές και πραγματοποιούν τη διεπαφή με άλλα συστήματα υπολογιστών.

² Συγκροτούν το γραφικό περιβάλλον διεπαφής χρήστη και μέσω αυτών εμφανίζονται παράμετροι όπως οι πιέσεις, οι θερμοκρασίες, οι ρυθμοί ροής κ.ά.

- 5) Αξιολόγηση των ανταλλαγών.
- 6) Βραχυπρόθεσμη Πρόβλεψη Φορτίου.

III. Ηλεκτρικού Δικτύου Μεταφοράς.

Εκτελεί τις ακόλουθες ενέργειες:

- 1) Στατική Εκτίμηση κατάστασης (SSE). Αξιοποιείται στον προγραμματισμό και αποστολή φορτίου και παραγωγής. Οι εκτιμήσεις των συνθηκών λειτουργίας του συστήματος ενημερώνονται σε χρονικό διάστημα ενός δευτερολέπτου ή περισσότερο. Λόγω των αργών ρυθμών ενημέρωσης η στατική εκτίμηση κατάστασης δεν είναι κατάλληλη για παρακολούθηση και έλεγχο κρίσιμων καταστάσεων στο σύστημα σε πραγματικό χρόνο.
- 2) Βέλτιστη Ροή Ισχύος.
- 3) Ανάλυση ενδεχόμενων διαταραχών.

1.4 Το Ελληνικό ΣΗΕ

1.4.1 Ιστορική Αναδρομή

Το 1953 ξεκίνησε η μεταφορά ηλεκτρικής ενέργειας στο ηπειρωτικό κομμάτι της χώρας με αρχική εγκατεστημένη ισχύ 212,5 MVA. Το 1968 ξεκινά η λειτουργία των πρώτων υποβρύχιων διασυνδέσεων 150 kV και 66 kV και του συστήματος μεταφοράς Κρήτης. Το 1973 λειτουργεί σύστημα μεταφοράς 400 kV και τέσσερα χρόνια αργότερα τίθεται σε λειτουργία ο πρώτος κλειστός υποσταθμός 150 kV στην περιοχή Ν. Ελβετίας Θεσσαλονίκης. Το 1998 λειτουργεί στο Λαύριο ο πρώτος κλειστός υποσταθμός 400 kV και έναν χρόνο μετά, τίθεται σε ισχύ ο Ν.2773/1999 για την απελευθέρωση της αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας.

Η ΔΕΗ (Δημόσια Επιχείρηση Ηλεκτρισμού) ορίζεται ως κύριος του Συστήματος Μεταφοράς και δημιουργούνται η ΡΑΕ (Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας) και ο ΔΕΣΜΗΕ (Διαχειριστής Ελληνικού Συστήματος Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας). Πλέον

δραστηριοποιούνται και ιδιωτικές εταιρείες που συμμετέχουν στον ανταγωνισμό της ελεύθερης αγοράς ενέργειας. Τέτοιες είναι οι Ήρων Θερμοηλεκτρική, Elpedison, Aegean Power, EFT Hellas κλπ.

Το σύστημα Ελλάδας διασυνδέεται με το σύστημα Ιταλίας με συνεχές ρεύμα μέσω υποβρύχιου καλωδίου και εναέριας γραμμής. Η διασύνδεση συνεχούς ρεύματος μέσω υποβρυχίου καλωδίου έχει τεθεί σε εμπορική λειτουργία από το τέλος του 2002. Το 2004 αναβαθμίζεται από 150 kV στα 400 kV η διασύνδεση Ελλάδας με τη Β. Μακεδονία. Η Κέρκυρα συνδέεται με την Ηγουμενίτσα με υποβρύχια καλωδιακή γραμμή μεταφοράς 150 kV. Για τη διασύνδεση Ελλάδας - Τουρκίας ολοκληρώνεται το 2008 η κατασκευή γραμμών μεταφοράς 400 kV που τίθεται σε εμπορική λειτουργία τον Απρίλιο του 2015 (6).

1.4.1 Το υφιστάμενο σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας

Το ελληνικό ενεργειακό σύστημα αλλάζει βάσει των εθνικών οικονομικών απαιτήσεων, των καταναλωτικών συνηθειών και των ευρωπαϊκών πολιτικών για την ενέργεια, το περιβάλλον και την ανάπτυξη. Με στοιχεία³ που έχουν συλλεχθεί από τον Διεθνή Οργανισμό Ενέργειας, η *Εικόνα 4* δείχνει την εξέλιξη της ποσοστιαίας παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας στην Ελλάδα από διάφορες πηγές από το 1990 έως το 2018.

Παρατηρούμε ότι το φυσικό αέριο και οι ΑΠΕ απουσίαζαν εντελώς από τις αρχικά αξιοποιούμενες πηγές ενέργειας. Το μερίδιο των ΑΠΕ στο ενεργειακό μείγμα έχει ανέλθει στο 19,2% .

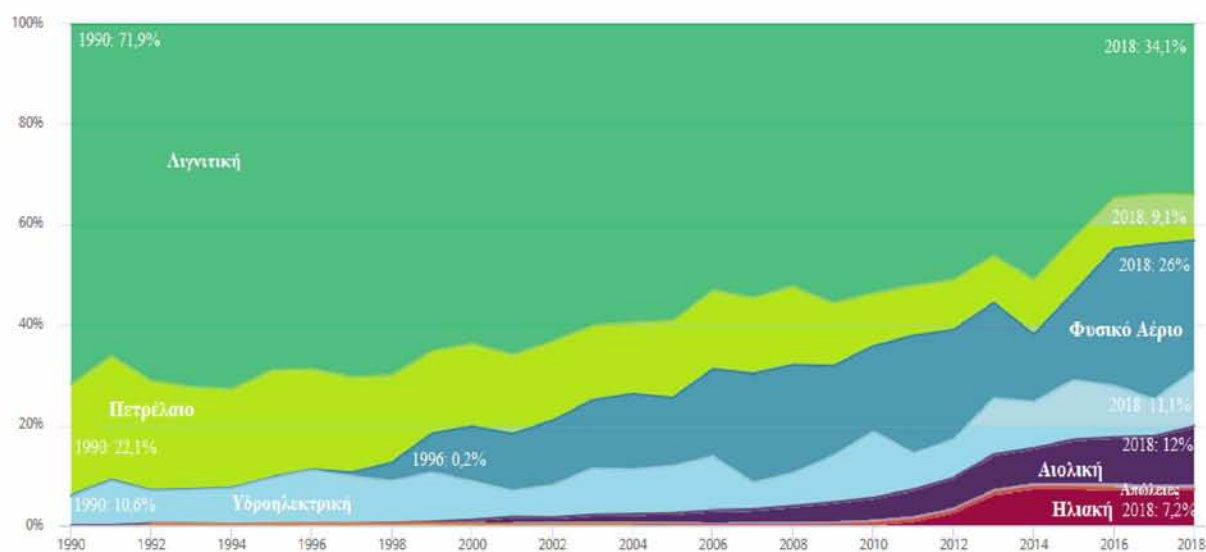
Στην ηπειρωτική χώρα, οι μονάδες παραγωγής είναι λιγνιτικές, φυσικού αερίου, υδροηλεκτρικές και πετρελαϊκές. Ο λιγνίτης μέχρι και σήμερα αποτελεί το βασικό εγχώριο καύσιμο, βρίσκεται σε μεγάλα αποθέματα και είναι το σημαντικότερο ενεργειακό καύσιμο για την οικονομία της χώρας, με τις λιγνιτικές μονάδες να παράγουν το 34,1% της συνολικής ηλεκτρικής παραγωγής.

³ IEA: Electricity generation by source, Greece 1990-2018
Webpage: <https://www.iea.org/statistics/?country=GRC&isISO=true>

Στα ελληνικά νησιά, λόγω της δυσκολίας διασύνδεσής τους, οι μονάδες παραγωγής είναι επί το πλείστον πετρελαϊκές και τα τελευταία χρόνια γίνεται αξιοποίηση της αιολικής ενέργειας και άλλων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας οι οποίες έχουν μεν ανεξάντλητα αποθέματα, αλλά δεν έχουν εγγυημένη και σταθερή παραγωγή.

Το Ελληνικό Σύστημα Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας αποτελείται από το Διασυνδεδεμένο Σύστημα του ηπειρωτικού τμήματος της χώρας και των διασυνδεδεμένων με αυτό νησιών στα επίπεδα υψηλής (150kV και 66kV) και υπερυψηλής τάσης (400kV) (7). Η χαμηλή τάση για το ελληνικό σύστημα είναι 230 V για μονοφασικούς καταναλωτές, ενώ για τριφασικούς καταναλωτές είναι 380 V. Η μέση τάση είναι 6,6 kV/ 15 kV για τα παλιότερα συστήματα και 20 kV για τα νεότερα συστήματα.

Παραγωγή Ενέργειας ανά Πηγή Ελλάδα 1990 - 2018
GWh



Εικόνα 4: Ποσοστιαία παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας στην Ελλάδα ανά πηγή

Βάσει ποσοτικών μεγεθών του ΔΕΔΔΗΕ για το 2018, το ελληνικό ηλεκτρικό δίκτυο έχει έκταση 239.236 χλμ. εκ των οποίων τα 112.295 χλμ. ανήκουν στο δίκτυο Μέσης Τάσης (MT) και τα 126.941 χλμ. ανήκουν στο δίκτυο χαμηλής τάσης (XT). Το δίκτυο υψηλής τάσης (YT) εκτείνεται στα 989 χλμ. Υπάρχουν 163.220 υποσταθμοί MT προς XT και 240 υποσταθμοί YT προς MT. Επίσης, για το 2018 έχει υπολογιστεί ότι το δίκτυο εξυπηρετεί 7.543.107 πελάτες που καταναλώνουν συνολικά 43.194 GW ανά ώρα (8).

Κάποτε υπήρχε το πρόβλημα της γεωγραφικής ισορροπίας παραγωγής και φορτίου, με τους περισσότερους σταθμούς παραγωγής να εντοπίζονται στο Βόρειο τμήμα της χώρας και το κέντρο κατανάλωσης να εμφανίζεται στον Νότο. Ιδιαίτερα τους καλοκαιρινούς μήνες το πρόβλημα διογκώνονταν και προκαλούσε σημαντικά προβλήματα τάσεων. Πλέον έχει αντιμετωπιστεί με την ένταξη νέων μονάδων παραγωγής στο Νότιο σύστημα, με την μείωση των φορτίων, την ένταξη πυκνωτών αντιστάθμισης και την αύξηση της διεσπαρμένης παραγωγής, η οποία θα αναλυθεί εκτενέστερα (6).

Το ελληνικό σύστημα μεταφοράς περιλαμβάνει:

- Εναέριες γραμμές μεταφοράς. Στον Πίνακα 1 παρουσιάζονται τα μήκη οδεύσεων των γραμμών μεταφοράς.
 - Νησιά (Ρόδος, Κρήτη) : 66 kV (AC)
 - Υψηλή Τάση : 150 kV (AC)
 - Υπερυψηλή Τάση : 400 kV (AC)
 - Ιταλία – Ελλάδα : 400 kV (DC)
- Καλώδια
 - Ηγουμενίτσα – Κέρκυρα : 66 kV (AC)
 - Υπόγεια και υποβρύχια : 150 kV (AC)
 - Θεσσαλονίκη : 400 kV (AC)
 - Ιταλία– Ελλάδα, Άραχθος: 400 kV (DC)
- Διασυνδέσεις⁴
 - Αλβανία (150 kV, 400 kV)
 - Β. Μακεδονία (400 kV)
 - Βουλγαρία (400 kV)
 - Τουρκία (400 kV)

⁴ Λαμβάνοντας υπόψη τα περιεχόμενα του πίνακα 2.4 της βιβλιογραφίας (7)

- Ιταλία (400 kV)

Στον Πίνακα 2 δίνονται τα μήκη των γραμμών διανομής, ενώ ο Πίνακας 3 δίνει πληροφορίες για τους μετασχηματιστές υψηλής τάσης που συνδέονται στο ελληνικό σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας (7).

Πίνακας 1: Χιλιομετρικά στοιχεία των γραμμών μεταφοράς ανά κατηγορία

Τύπος γραμμών	400 kV	D.C. 400 kV	150 kV	66 kV	ΣΥΝΟΛΟ
Εναέρειες	2.756,41	106,95	8.147,12	39,05	11.049,53
Υποβρύχιες			440,37	74	514,37
Υποβρύχιες (Υ/Γ) τμήμα	-	-	20,56	1,27	21,83
Υπόγειες Γραμμές	31,35	-	189,58	-	220,92
ΣΥΝΟΛΟ	2.787,76	106,95	8.797,62	114,32	11.806,65

Πίνακας 2: Χιλιομετρικά στοιχεία των γραμμών διανομής ανά κατηγορία

Τύπος γραμμών	6,6 kV, 15 kV, 20 kV, 22 kV	220 V	ΣΥΝΟΛΟ
Εναέρειες	89706	98738	188444
Υποβρύχιες	1056	2	1058
Υπόγειες Γραμμές	7715	10082	17797
ΣΥΝΟΛΟ	98477	108822	207299

Πίνακας 3: Στοιχεία μετασχηματιστών υψηλής τάσης στο ΕΣΜΗΕ

ΤΥΠΟΣ Υ/Σ	ΤΑΣΗ (kV)	ΠΛΗΘΟΣ Μ/Σ	ΙΣΧΥΣ ΜVA	ΙΔΙΟΚΤΗΤΗΣ/ ΧΡΗΣΤΗΣ
ΑΜΣ	400/150	59	16.070	ΑΔΜΗΕ
ΑΜΣ	150/66	1	50	
Μ/Σ ΣΤΑΘΜΟΥ ΜΕΤΑΤΡΟΠΗΣ	400	1	597	
Μ/Σ ΥΠΟΒΙΒΑΣΜΟΥ	150/66	2	50	

ΣΥΝΟΛΟ (ΑΔΜΗΕ)		63	16.767	
ΑΝΥΨΩΣΗΣ (ΣΤΑΘΜΩΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ)	400	25	8.521	ΠΑΡΑΓΩΓΟΙ
	150	66	7.903	
ΑΝΥΨΩΣΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΩΝ ΑΠΕ	20	2	7	
	150	68	3.677	
ΣΥΝΟΛΟ (ΠΑΡΑΓΩΓΟΙ ΜΕ ΣΥΝΔΕΣΗ ΣΤΗΝ ΥΤ)		161	20.109	
ΥΠΟΒΙΒΑΣΜΟΥ	150/20	410	17.304	ΔΕΔΔΗΕ
	66/20	3	75	
ΥΠΟΒΙΒΑΣΜΟΥ	150/20	5	212	ΠΑΡΑΓΩΓΟΙ
ΥΠΟΒΙΒΑΣΜΟΥ ΒΟΗΘΗΤΙΚΟΙ	150	21	966	
ΥΠΟΒΙΒΑΣΜΟΥ	150/20	13	650	ΔΕΗ/ΟΡΥΧΕΙΑ
ΥΠΟΒΙΒΑΣΜΟΥ	150/ΜΤ	92	2.766	ΠΕΛΑΤΕΣ ΥΤ
ΣΥΝΟΛΟ (ΛΟΙΠΕΣ ΣΥΝΔΕΣΕΙΣ ΣΤΗΝ ΥΤ)		544	21.972	

Κεφάλαιο 2

Η απελευθέρωση της αγοράς ενέργειας

2.1 Η αναμόρφωση της αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας στην Ευρώπη

Παλαιότερα το κράτος κάλυπτε την παραγωγή, μεταφορά και διανομή ηλεκτρικής ενέργειας και εμπλεκόταν νομικά και στους τρεις τομείς. Είχε την αποκλειστικότητα στη βιομηχανία της ηλεκτρικής ενέργειας δεδομένου ότι η αποδοτικότητα αυτού του κλάδου επηρεάζει την κρατική οικονομία.

Ο στόχος ελάττωσης του κόστους της ηλεκτρικής ενέργειας και ο στόχος βελτίωσης της ποιότητάς της, οδήγησαν σε δομικές αλλαγές της βιομηχανίας ηλεκτρικής ενέργειας, στην επανεξέταση των ρυθμιστικών κανόνων λειτουργίας των ΣΗΕ και έδωσαν την ώθηση για τη δημιουργία μιας ανταγωνιστικής αγοράς ενέργειας. Η πτώση της τιμής του φυσικού αερίου, η προώθηση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και η τεχνολογική ανάπτυξη ενθάρρυναν την απελευθέρωση της αγοράς δίνοντας στους ιδιώτες τη δυνατότητα να επενδύσουν στον τομέα της ενέργειας.

2.1.1 Τα νομικά πλαίσια της Ευρωπαϊκής Ένωσης

Οδηγία 96/92/ΕΚ

Η Ευρωπαϊκή Επιτροπή προώθησε την παραπάνω δέσμη μέτρων η οποία εγκρίθηκε από το Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο. Έφερε τις πρώτες ρυθμίσεις σχετικά με την παραγωγή, μεταφορά και διανομή ηλεκτρικής ενέργειας, έχοντας ως στόχο την ενδυνάμωση της ανταγωνιστικότητας και τη βελτίωση της αποδοτικότητας δίχως να παραλείπονται η περιβαλλοντική προστασία και η εξοικονόμηση ενέργειας. Το νομοθετικό πλαίσιο αποσκοπούσε στην εισαγωγή του ανταγωνισμού στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, στον διαχωρισμό των τομέων παραγωγής, μεταφοράς και διανομής και στο δικαίωμα πρόσβασης τρίτων στα δίκτυα μεταφοράς και διανομής. Η κοινοτική οδηγία 96/92/ΕΚ

υιοθετήθηκε από όλα τα κράτη μέλη εντός 2 ετών με εξαίρεση το Βέλγιο, την Ελλάδα και την Ιρλανδία που καθυστέρησαν λόγω τεχνικών χαρακτηριστικών του ΣΗΕ (9).

Οδηγία 2003/54/EK

Παρόλο που η ευρωπαϊκή οδηγία 96/92/EK έδωσε το έναυσμα για την απελευθέρωση της αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας, έπρεπε να ληφθούν μέτρα για τη διασφάλιση ισότιμων όρων παραγωγής. Έτσι, τον Ιούνιο του 2013 η οδηγία τροποποιήθηκε από το Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο και το Συμβούλιο Υπουργών Ενέργειας με κύρια σημεία τα παρακάτω (10):

- Από την 1^η Ιουλίου 2007 όλοι οι πελάτες να μπορούν να επιλέξουν τον προμηθευτή τους.
- Στις κάθετα οργανωμένες επιχειρήσεις⁵ επιβάλλεται ο διαχωρισμός των δραστηριοτήτων μεταφοράς και διανομής. Οι δραστηριότητες αυτές θα ελέγχονται από ξεχωριστά νομικά πρόσωπα.
- Οι ρυθμιστικές αρχές να διασφαλίζουν ότι τα τιμολόγια μεταφοράς και διανομής αντιπροσωπεύουν το πραγματικό κόστος.
- Έγκριση κοινών τεχνικών χαρακτηριστικών που σχετίζονται με την παροχή υπηρεσιών κοινής ωφέλειας.

Τρίτη νομοθετική δέσμη

Το τρίτο πακέτο ρυθμίσεων της Ευρωπαϊκής Ένωσης επιδίωκε τους ακόλουθους στόχους:

- Ενίσχυση των κανόνων προστασίας των καταναλωτών.
- Καλύτερη διαφάνεια στις αγορές λιανικής.
- Αποτελεσματικότερη εποπτεία από ανεξάρτητους ελεγκτές όπως οι Εθνικές Ρυθμιστικές Αρχές.
- Καθιέρωση Αντιπροσωπείας για τη Συνεργασία των Ρυθμιστικών Αρχών, ώστε οι εθνικές ρυθμιστικές αρχές να συνεργάζονται μεταξύ τους και να λαμβάνουν αποφάσεις που αφορούν ζητήματα διασυνοριακά.
- Συνεργασία μεταξύ των διαχειριστών συστημάτων και σχηματισμός κοινών εμπορικών, τεχνικών προτύπων και προτύπων ασφαλείας.

⁵ Εταιρείες που ασχολούνται με την παραγωγή, μεταφορά και διανομή ηλεκτρικής ενέργειας.

2.2 Η απελευθέρωση της ελληνικής αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας

Η εξέλιξη της αγοράς από μονοπωλιακή σε ανταγωνιστική αποτέλεσε για την Ελλάδα μια δύσκολη μεταρρύθμιση επειδή εκτός της ΔΕΗ οι τρίτοι παραγωγοί είχαν ελάχιστη ή μηδενική πρόσβαση στα αποθέματα λιγνίτη και στο δίκτυο μεταφοράς και διανομής. Οι παραγωγοί αυτοί έρχονταν αντιμέτωποι με εμπόδια εισόδου στον κλάδο εξαιτίας των αυξημένων κεφαλαιακών απαιτήσεων. Η ΔΕΗ είχε συμβάλει στον εξηλεκτρισμό τη χώρας επενδύοντας μεγάλα κεφάλαια για τη δημιουργία μονάδων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Σ' αυτήν ανήκουν οι συνιστώσες του δικτύου από το στάδιο παραγωγής έως το στάδιο προμήθειας (σταθμοί μετασχηματισμού, κέντρα ελέγχου, δίκτυο διανομής) και όλες οι διασυνδέσεις του ελληνικού δικτύου με ξένα δίκτυα. Επιπλέον, η πιθανότητα άλλοι προμηθευτές να ανταγωνιστούν με επιτυχία τη ΔΕΗ ήταν πολύ μικρή, καθώς η τελευταία άλλαζε την τιμολογιακή πολιτική της ανάλογα με την δραστηριότητά τους.

Οι παραγωγοί που ενδιαφέρονται να εισέλθουν στον κλάδο παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας επηρεάζονται από τη δυνατότητα πώλησης της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας και από τη δυνατότητα επίτευξης κέρδους μετά τη διαμόρφωση μιας συμφέρουσας τιμής πώλησης. Ως εκ τούτου, η είσοδος νέων παραγωγών στην απελευθερωμένη αγορά εξασφαλίζεται από τη δυνατότητα χρήσης των δικτύων και από την δυνατότητα παραγωγής ενέργειας με χαμηλό κόστος αντίστοιχα. Επίσης, όπως προαναφέρθηκε η ΔΕΗ απομόνωνε τους ανταγωνιστικούς προμηθευτές προσφέροντας χαμηλές τιμές, συνεπώς θα πρέπει η αγορά να είναι οργανωμένη έτσι ώστε να καταργήσει τον μονοπωλιακό καθεστώς.

2.2.1 Τα νομικά πλαίσια στην Ελλάδα

Νόμος 2773/1999

- Ο τομέας ενέργειας επιβλέπεται από τον υπουργό Ανάπτυξης.
- Ιδρύεται η Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας (ΡΑΕ) για τον έλεγχο και την επίβλεψη της απελευθερωμένης αγοράς ενέργειας.
- Ο υπουργός Ανάπτυξης και η ΡΑΕ πρέπει να λειτουργούν δίνοντας προσοχή στην προστασία του περιβάλλοντος, του καταναλωτή, της δημόσιας υγείας και ασφάλειας και να ενεργούν έτσι ώστε να επιτείνεται ο ανταγωνισμός στην αγορά ενέργειας.

- Οι άδειες οποιασδήποτε δραστηριότητας διατίθενται βάσει διατάξεων του Κανονισμού Αδειών Παραγωγής και Προμήθειας ηλεκτρικής ενέργειας, εξαρτάται από τη γνωμοδότηση του ΡΑΕ προτού χορηγηθεί από τον υπουργό Ανάπτυξης.
- Η αγορά λειτουργεί βάσει του Κώδικα Διαχείρισης του Δικτύου Διανομής, του Κώδικα Συναλλαγών Ηλεκτρικής Ενέργειας, του Κώδικα Διαχείρισης του Δικτύου Διανομής και του Κώδικα Προμήθειας σε πελάτες.

Νόμος 3175/2003

- Δημιουργία αγοράς ενέργειας που θα λειτουργεί βάσει της προσφερόμενης ενέργειας προς το ΔΕΣΜΗΕ (Διαχειριστής Ελληνικού Συστήματος Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας).
- Ορισμός των αποκλίσεων μεταξύ προγραμματισμένων εγχύσεων και απορροφήσεων ποσοτήτων ενέργειας προς ή από το σύστημα και των εγχύσεων και απορροφήσεων ποσοτήτων ενέργειας αντίστοιχα.

Νόμος 3426/2005

- Διακρίθηκε το σύστημα μεταφοράς από το σύστημα διανομής ηλεκτρικής ενέργειας και αποσαφηνίστηκαν οι αρμοδιότητες της ΡΑΕ.
- Όσον αφορά το δίκτυο μεταφοράς, πρέπει να αναπτύσσεται όπως προβλέπει ο Διαχειριστής και να υποβάλλεται σε έλεγχο και συντήρηση.
- Οι δραστηριότητες του Δικτύου Διανομής και του Διαχειριστή του Συστήματος διαχωρίστηκαν από άλλες δραστηριότητες. Η εποπτεία του δικτύου Διανομής στα μη διασυνδεδεμένα νησιά ανατέθηκε στη ΔΕΗ.
- Από τη 1.1.2007 όλοι οι καταναλωτές, εκτός από εκείνους που είναι συνδεδεμένοι με απομονωμένα μικροδίκτυα, μπορούν να επιλέξουν ελεύθερα προμηθευτή.

Νόμος 4001/2011

- Αναβαθμίστηκαν οι αρμοδιότητες της ΡΑΕ.
- Δημιουργήθηκαν ρυθμιστικές διατάξεις για τα δίκτυα διανομής και μεταφοράς.
- Ενημερώθηκε το πλαίσιο διαδικασιών αδειοδότησης.
- Διαχωρίστηκαν οι δραστηριότητες παραγωγής/προμήθειας και διαχείρισης δικτύων/μεταφοράς και αναλύθηκαν τα μοντέλα Ιδιοκτησιακού Διαχωρισμού, Ανεξάρτητου Διαχειριστή Συστήματος και Ανεξάρτητου Διαχειριστή Μεταφοράς.

2.3 Θεσμικά όργανα στην απελευθερωμένη αγορά ηλεκτρικής ενέργειας στην Ελλάδα

Η αγορά οργανώνεται ομοιόμορφα σε πολλές χώρες, υπάρχουν δηλαδή σε κάθε χώρα επιχειρήσεις που ανταγωνίζονται στην παραγωγή και εμπορία ηλεκτρικής ενέργειας και οργανωμένες χονδρεμπορικές ή χρηματιστηριακές αγορές.

Επίσης υπάρχει μια Ανεξάρτητη Ρυθμιστική Αρχή, οι αρμοδιότητες της οποίας είναι η ρύθμιση των τιμών στα μονοπωλιακά τμήματα και ο έλεγχος της λειτουργίας των αγορών. Στη χώρα μας, η *Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας (Ρ.Α.Ε)* εποπτεύει την εγχώρια αγορά ενέργειας μέσα από ένα εκτεταμένο εύρος δραστηριοτήτων⁶, όπως:

- Η παρακολούθηση της αγοράς ενέργειας.
- Εποπτεία για την εφαρμογή μέτρων προστασίας των καταναλωτών.
- Η παρακολούθηση της ασφάλειας του ενεργειακού ανεφοδιασμού.
- Χορήγηση, τροποποίηση ή ανάκληση των αδειών για την άσκηση ενεργειακών δραστηριοτήτων.
- Εποπτεία επί του Ανεξάρτητου Διαχειριστή Μεταφοράς.
- Έγκριση τιμολογίων μη ανταγωνιστικών δραστηριοτήτων.
- Παρακολούθηση πρόσβασης στις ενεργειακές διασυνδέσεις.
- Λήψη ρυθμιστικών μέτρων για την εύρυθμη λειτουργία των ενεργειακών αγορών.

Ένας Ανεξάρτητος Οργανισμός διαχειρίζεται την αγορά, τα δίκτυα μεταφοράς και διανομής, την εξισορρόπηση προσφοράς και ζήτησης και τη διασφάλιση επάρκειας. Ο *Ανεξάρτητος Διαχειριστής Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας (Α.Δ.Μ.Η.Ε)* εκτελεί τις ακόλουθες αρμοδιότητες⁷:

- Διαχείριση των ροών της ηλεκτρικής ενέργειας στο Σύστημα.
- Μέριμνα για την ασφαλή, αξιόπιστη και αποδοτική λειτουργία του Συστήματος.
- Διασφάλιση ότι η μακροχρόνια ικανότητα του Συστήματος ανταποκρίνεται σε εύλογες ανάγκες για μεταφορά ηλεκτρικής ενέργειας υπό οικονομικά και περιβαλλοντικά βιώσιμες συνθήκες.

⁶ Πηγή: www.rae.gr

⁷ Πηγή: www.admie.gr

- Παροχή πρόσβασης στο Σύστημα στους κατόχους άδειας παραγωγής, προμήθειας ή εμπορίας ηλεκτρικής ενέργειας, σε όσους έχουν νόμιμα εξαιρεθεί από την υποχρέωση κατοχής τέτοιων αδειών και στους Επιλεγέντες Πελάτες.
- Συνεργασία με το ΛΑΓΗΕ, σύμφωνα με τις διατάξεις του Κώδικα Συναλλαγών και του Κώδικα Διαχείρισης του Συστήματος.
- Παροχή της δυνατότητας σύνδεσης του Ελληνικού Δικτύου Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας (ΕΔΔΗΕ) με το ΕΣΜΗΕ.
- Κατάρτιση του προγράμματος κατανομής των μονάδων παραγωγής που συνδέονται με το Σύστημα, προσδιορισμός της χρήσης των διασυνδέσεων με άλλα συστήματα μεταφοράς και κατανομή σε πραγματικό χρόνο του φορτίου ηλεκτρικής ενέργειας στις διαθέσιμες εγκαταστάσεις παραγωγής.
- Παροχή στους Διαχειριστές άλλων Συστημάτων μεταφοράς και δικτύων διανομής ηλεκτρικής ενέργειας επαρκών πληροφοριών για την ασφαλή και αποδοτική λειτουργία.
- Παροχή στους Χρήστες του Συστήματος κάθε αναγκαίας πληροφορίας για την αποτελεσματική πρόσβασή τους στο Σύστημα.
- Παροχή των υπηρεσιών του με διαφάνεια, αντικειμενικότητα και αμεροληψία, ώστε να αποτρέπεται κάθε διάκριση μεταξύ των Χρηστών ή των κατηγοριών Χρηστών του Συστήματος και κάθε διάκριση υπέρ των συνδεδεμένων με αυτόν επιχειρήσεων.
- Χορήγηση και διαχείριση της πρόσβασης τρίτων στο Σύστημα και παροχή ειδικά αιτιολογημένων επεξηγήσεων σε περίπτωση άρνησης πρόσβασης.
- Συμμετοχή σε ενώσεις, οργανώσεις ή εταιρείες, οι οποίες έχουν σκοπό την επεξεργασία και διαμόρφωση κανόνων κοινής δράσης που συντείνουν, στο πλαίσιο της κοινοτικής νομοθεσίας, στη δημιουργία ενιαίας εσωτερικής αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας και ειδικότερα στον καταμερισμό και την εκχώρηση δικαιωμάτων μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας μέσω των αντίστοιχων διασυνδέσεων, καθώς και στη διαχείριση των δικαιωμάτων αυτών για λογαριασμό των ως άνω διαχειριστών και ιδίως στο Ευρωπαϊκό Δίκτυο Διαχειριστών Συστημάτων Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας (ENTSO-E).
- Είσπραξη των τελών πρόσβασης στο Σύστημα και διευθέτηση των χρεοπιστώσεων που του αναλογούν στο πλαίσιο του μηχανισμού αντιστάθμισης μεταξύ

διαχειριστών συστημάτων μεταφοράς, σύμφωνα με το άρθρο 13 του Κανονισμού (ΕΚ) 714/2009.

- Εκπόνηση σε ετήσια βάση Δεκαετούς Προγράμματος Ανάπτυξης του ΕΣΜΗΕ
- Τήρηση των αναγκαίων διαχειριστικών λογιστικών λογαριασμών για την είσπραξη των εσόδων από τη διαχείριση συμφόρησης των διασυνδέσεων, ή άλλων χρεώσεων που προκύπτουν από τη λειτουργία και τη διαχείριση του ΕΣΜΗΕ
- Δημοσίευση στην ιστοσελίδα του καταλόγου όλων των εγκεκριμένων από τη ΡΑΕ τιμολογίων με τα οποία χρεώνει τους Χρήστες του Συστήματος.
- Υπολογισμός της Οριακής Τιμής Αποκλίσεων.
- Εκκαθάριση των Αποκλίσεων Παραγωγής – Ζήτησης και διευθέτηση των χρηματικών συναλλαγών στο πλαίσιο της διευθέτησης των Αποκλίσεων Παραγωγής – Ζήτησης σε συνεργασία με το ΛΑΓΗΕ και το Διαχειριστή του ΕΔΔΗΕ.
- Σύναψη, κατόπιν διαγωνισμού, συμβάσεων αγοραπωλησίας ηλεκτρικής ενέργειας, περιλαμβανομένων συμβάσεων διαχείρισης της ζήτησης, μόνον εφόσον αυτό απαιτείται για την παροχή των επικουρικών υπηρεσιών και για τις ανάγκες εξισορρόπησης των αποκλίσεων παραγωγής – ζήτησης κατά τη λειτουργία του συστήματος σε πραγματικό χρόνο και στο πλαίσιο των ρυθμίσεων του Κώδικα Διαχείρισης του Συστήματος.
- Προσφορά συμβουλευτικών υπηρεσιών τεχνικής φύσεως σε θέματα της αρμοδιότητάς του σε διαχειριστές ή κυρίους συστημάτων μεταφοράς έναντι αμοιβής, καθώς και συμμετοχή σε ερευνητικά προγράμματα, καθώς και σε προγράμματα χρηματοδοτούμενα από την Ε.Ε., εφόσον δεν παρακωλύεται η άρτια εκτέλεση των καθηκόντων του.

Ο Λειτουργός Αγοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας (Λ.Α.Γ.Η.Ε) έχει τα παρακάτω καθήκοντα⁸:

- Διενεργεί τον ημερήσιο ενεργειακό προγραμματισμό.
- Συνεργάζεται με τον Διαχειριστή του ΕΣΜΗΕ.
- Τηρεί ειδικό Μητρώο Συμμετεχόντων στην Αγορά Ηλεκτρικής Ενέργειας και εγγράφει τους Συμμετέχοντες, σύμφωνα με τις ειδικότερες διατάξεις του Κώδικα Συναλλαγών Ηλεκτρικής Ενέργειας.

⁸ Πηγή: www.lagie.gr

- Παρέχει έγκαιρα και με κάθε πρόσφορο τρόπο στους Συμμετέχοντες στην Αγορά αυτή Ηλεκτρικής Ενέργειας τις απαραίτητες πληροφορίες για τη συμμετοχή τους στην Αγορά.
- Αποφεύγει κάθε διάκριση μεταξύ των Συμμετεχόντων στην Αγορά Συναλλαγών Ηλεκτρικής Ενέργειας και εφαρμόζει κατά την παροχή των υπηρεσιών του διαφανή, αντικειμενικά και αμερόληπτα κριτήρια.
- Συμμετέχει σε κοινές επιχειρήσεις, ιδίως με διαχειριστές συστημάτων μεταφοράς, καθώς και χρηματιστήρια ηλεκτρικής ενεργείας και άλλους ανάλογους φορείς, με στόχο τη δημιουργία περιφερειακών αγορών στο πλαίσιο της εσωτερικής αγοράς ενέργειας.
- Εισπράττει από τους Συμμετέχοντες τέλη για τη διαχείριση και λειτουργία της Αγοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας και τηρεί τους αναγκαίους λογαριασμούς, σύμφωνα με τις ειδικότερες προβλέψεις του Κώδικα Συναλλαγών Ηλεκτρικής Ενέργειας.
- Συμμετέχει σε ενώσεις, οργανώσεις ή εταιρείες, μέλη των οποίων είναι λειτουργοί αγορών ηλεκτρικής ενέργειας και χρηματιστήρια ηλεκτρικής ενέργειας, οι οποίες έχουν σκοπό την επεξεργασία και διαμόρφωση κανόνων κοινής δράσης που συντείνουν, στο πλαίσιο της κοινοτικής νομοθεσίας, στη δημιουργία ενιαίας εσωτερικής αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας.
- Συνάπτει συμβάσεις πώλησης ηλεκτρικής ενέργειας κατά τα προβλεπόμενα στο άρθρο 12 του ν. 3468/2006 που παράγονται από εγκαταστάσεις ΑΠΕ ή ΣΗΘΥΑ, εφόσον οι εγκαταστάσεις παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας συνδέονται στο Σύστημα είτε απευθείας είτε μέσω του Δικτύου, και καταβάλλει τις πληρωμές που προβλέπονται στις συμβάσεις αυτές. Τα ποσά που καταβάλλονται στους αντισυμβαλλόμενους ανακτώνται κατά τα προβλεπόμενα στο άρθρο 143 του Ν. 4001/2011.
- Διενεργεί τη διευθέτηση των χρηματικών συναλλαγών στο πλαίσιο του Ημερήσιου Ενεργειακού Προγραμματισμού σε συνεργασία με τους Διαχειριστές του ΕΣΜΗΕ και του ΕΔΔΗΕ.

Η **Δημόσια Επιχείρηση Ηλεκτρισμού (Δ.Ε.Η)** κατέχει περίπου το 68% της εγκατεστημένης ισχύος των σταθμών ηλεκτροπαραγωγής στην Ελλάδα, διαθέτοντας λιγνιτικούς, υδροηλεκτρικούς και πετρελαϊκούς σταθμούς, μονάδες ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και σταθμούς φυσικού αερίου. Είναι η μεγαλύτερη εταιρεία παραγωγής και

προμήθειας ηλεκτρικής ενέργειας στην Ελλάδα. Η Δ.Ε.Η Α.Ε, ο Α.Δ.Μ.Η.Ε Α.Ε και Δ.Ε.Δ.Δ.Η.Ε Α.Ε δημιουργήθηκαν μετά τον διαχωρισμό των κλάδων μεταφοράς και διανομής.

Ο *Διαχειριστής του Ελληνικού Δικτύου Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας* είναι ανεξάρτητος λειτουργικά και διοικητικά από τη Δ.Ε.Η και συστάθηκε με στόχο τη λειτουργία, συντήρηση και ανάπτυξη του δικτύου διανομής ηλεκτρικής ενέργειας στην Ελλάδα και τη διασφάλιση της αμερόληπτης πρόσβασης όλων των χρηστών του δικτύου.

Οι στόχοι της εταιρείας συνοψίζονται ως εξής:

- Βελτίωση της ποιότητας εξυπηρέτησης και αναβάθμιση των υπηρεσιών που παρέχονται στους πελάτες με την ικανοποίηση των αιτημάτων τους.
- Βελτίωση της ποιότητας της παρεχόμενης ενέργειας, εκσυγχρονισμός και αναβάθμιση των εγκαταστάσεων της διανομής.
- Μείωση του λειτουργικού κόστους του δικτύου .
- Προσαρμογή στις απαιτήσεις ενός περιβάλλοντος όπου όλοι οι χρήστες έχουν πρόσβαση με ίσους όρους.

Κεφάλαιο 3

Διεσπαρμένη Παραγωγή

3.1 Ορισμός

Υπάρχουν πολλοί ορισμοί που καλύπτουν ένα μεγάλο μέρος συστημάτων παραγωγής, χωρίς να υπάρχει επικρατούσα άποψη για τον ορισμό της διεσπαρμένης παραγωγής. Οι αγγλοαμερικανικές χώρες χρησιμοποιούν τον όρο «ενσωματωμένη γενιά», στη Βόρεια Αμερική χρησιμοποιείται ο όρος «διανεμημένη παραγωγή», ενώ στην Ευρώπη αναφέρεται ο όρος «αποκεντρωμένη παραγωγή» (11).

Κάποιοι ορισμοί εστιάζουν σε μονάδες παραγωγής μικρής κλίμακας που συνδέονται στο δίκτυο διανομής, ενώ κάποιοι συμπεριλαμβάνουν μονάδες παραγωγής μεγαλύτερης κλίμακας. Από ερωτηματολόγιο που υποβλήθηκε από το Διεθνές συνέδριο για τη διανομή ηλεκτρικής ενέργειας (CIRED) στις χώρες μέλη, η κατανεμημένη παραγωγή ορίζεται με βάση το επίπεδο τάσης. Για κάποιες χώρες του ερωτηματολογίου, η κατανεμημένη παραγωγή συνδέεται με τα κυκλώματα που παρέχουν απευθείας φορτία στους καταναλωτές, ενώ για άλλες χώρες συνδέεται με χαρακτηριστικά όπως οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και η συμπαραγωγή. Μια ομάδα εργασίας του Διεθνούς Συμβουλίου για μεγάλα ΣΗΕ (CIGRE) ορίζει την κατανεμημένη παραγωγή ως τις μονάδες χωρητικότητας των 50 – 100 MW που συνδέονται με το δίκτυο διανομής. Από τον IEEE ορίζεται ως η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από εγκαταστάσεις μικρότερες από τις κεντρικές μονάδες παραγωγής. Για τον διεθνή οργανισμό ενέργειας (IEA) η κατανεμημένη παραγωγή είναι μονάδες που παράγουν ενέργεια σε τοπικά δίκτυα διανομής.

Για τον ακριβέστερο ορισμό της κατανεμημένης παραγωγής, πρέπει να συζητηθούν ζητήματα όπως ο σκοπός, η θέση, ο τρόπος λειτουργίας, η τεχνολογία, οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις και η περιοχή παροχής ισχύος.

3.2 Παράγοντες μετάβασης από τη συγκεντρωμένη παραγωγή στη διεσπαρμένη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας

Η διεύθυνση της καταναμημένης παραγωγής στα δίκτυα προωθείται βάσει του Διεθνούς Οργανισμού Ενέργειας (IEA) από τους ακόλουθους παράγοντες:

- Απελευθέρωση της αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας
- Όριο στην κατασκευή νέων γραμμών μεταφοράς
- Περιβαλλοντικές ανησυχίες
- Αυξημένη ζήτηση για αξιόπιστη ηλεκτρική ενέργεια
- Ανάπτυξη των τεχνολογιών καταναμημένης παραγωγής

Τα πρώτα ηλεκτρικά δίκτυα λειτουργούσαν σε συνεχές ρεύμα και περιορίζονταν σε μικρή ακτίνα εξυπηρετώντας τις τοπικές κοινωνίες. Η καταναμημένη παραγωγή προϋπήρχε ως ιδέα και μάλιστα αποτελούσε τον κανόνα στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Αργότερα εμφανίστηκαν τα δίκτυα εναλλασσόμενου ρεύματος που επέτρεπαν τη μεταφορά του ηλεκτρισμού σε μεγάλες αποστάσεις.

Η αυξανόμενη ζήτηση οδήγησε στην ανάπτυξη μεγαλύτερων σταθμών παραγωγής που σχεδιάστηκαν με κεντρικό στόχο την αύξηση της απόδοσης και τη μείωση του κόστους της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας. Το συμβατικό ηλεκτρικό δίκτυο, όπως είδαμε στο Κεφάλαιο 1, στηρίζεται στη συγκεντρωμένη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από σταθμούς μεγάλης ισχύος που μεταφέρεται με γραμμές υψηλής τάσης και διανέμεται στον καταναλωτή με γραμμές μέσης και χαμηλής τάσης. Η πρακτική αύξησης του μεγέθους των σταθμών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας ικανοποιούσε το ζήτημα μείωσης του κόστους της ηλεκτρικής ενέργειας χωρίς να λαμβάνει σοβαρά υπόψη την περιοχή εγκατάστασής τους και το μέγεθός τους.

Αφενός, η τοποθεσία εγκατάστασης ενός εργοστασίου ηλεκτρικής ενέργειας επιλεγόταν ώστε να λαμβάνεται όσο το δυνατόν ευκολότερα η πρώτη ύλη που θα χρησιμοποιηθεί, συνεπώς η ηλεκτρική ενέργεια έπρεπε να μεταδοθεί σε μεγάλες αποστάσεις. Αφετέρου, σημαντική ποσότητα της καύσιμης ύλης μετατρέπεται σε θερμότητα που εκλύεται στο περιβάλλον. Οι μονάδες συμπαραγωγής ηλεκτρισμού και θερμότητας αξιοποιούν στο μέγιστο την πρωτογενή ύλη, διότι μεταφέρουν την παραγόμενη θερμότητα για βιομηχανική και οικιακή χρήση. Πρόκειται για μια μέθοδο που δίνει λύση στο ζήτημα της

απόρριψης θερμότητας στο περιβάλλον και ελαττώνει την κατανάλωση καυσίμων. Η λύση αυτή είναι εφικτή με την προϋπόθεση ότι τα συστήματα συμπαραγωγής εγκαθίστανται κοντά στο σημείο παραγωγής, αφού η θερμότητα δεν μεταφέρεται σε μεγάλες αποστάσεις.

Η ανάγκη αντιμετώπισης των παραπάνω ζητημάτων επιστρέφει στο προσκήνιο τη διανεμημένη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας που μπορεί να μειώσει την ανάγκη για αναβαθμίσεις ή για κατασκευή μεγάλων υποδομών. Σε συνδυασμό με μονάδες συμπαραγωγής, η διεσπαρμένη παραγωγή μπορεί να τροφοδοτήσει με ηλεκτρισμό και θερμότητα μεγαλύτερο μέρος του πληθυσμού σε σύγκριση με την συγκεντρωμένη παραγωγή που στηρίζεται σε λίγους και μεγάλους θερμικούς σταθμούς. Η θερμότητα μπορεί να χρησιμοποιηθεί για θέρμανση, ψύξη, αφύγρανση ή ατμό.

Εκτός από τη συνδυασμένη παραγωγή θερμότητας και ηλεκτρικής ενέργειας, αξιοποιούνται ανανεώσιμες πηγές ενέργειας για να μεταφερθεί ηλεκτρική ενέργεια κοντά στο σημείο κατανάλωσης - που σημαίνει ότι οι απώλειες μεταφοράς μειώνονται σε σημαντικό βαθμό. Αφού η ζήτηση εξασφαλίζεται μερικώς από την τοπικά παραγόμενη ενέργεια, μειώνονται οι βλάβες στις διατάξεις των δικτύων διανομής μέσης και χαμηλής τάσης ειδικά σε περιόδους υψηλής ζήτησης.

3.2.1 Η κατανεμημένη παραγωγή στην απελευθερωμένη αγορά ενέργειας

Στην υπάρχουσα αγορά ενέργειας διαφορετικοί πελάτες δείχνουν προτίμηση σε διαφορετικά χαρακτηριστικά παροχής ηλεκτρικής ενέργειας, συνεπώς ο καθένας θέλει να επιλέγει την υπηρεσία που τον εξυπηρετεί καλύτερα. Η διεσπαρμένη παραγωγή είναι ένας τομέας με ενδιαφέρον για τους προμηθευτές ηλεκτρικής ενέργειας, μια και είναι ευέλικτη στις μεταβαλλόμενες συνθήκες της αγοράς. Οι τεχνολογίες διανεμημένης παραγωγής έχουν μικρό μέγεθος σε σύγκριση με τους μεγάλους σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής και έχουν συντομότερο χρόνο κατασκευής. Είναι επεκτάσιμες και αντιδρούν με ευέλικτο τρόπο στις διακυμάνσεις των τιμών της ηλεκτρικής ενέργειας.

Ο βαθμός ενσωμάτωσης της κατανεμημένης παραγωγής εξαρτάται από τη λειτουργία και διάρθρωση της αγοράς και την τιμολόγηση. Οι πελάτες στο επίπεδο διανομής, με την απελευθέρωση αγοράς, θα αντιμετωπίσουν ένα μονοπώλιο και μπορεί να χρεωθούν πολύ

υψηλές ή πολύ χαμηλές τιμές τις παρεχόμενες υπηρεσίες. Σε αυτό το σημείο μπορεί να επέμβει η ρυθμιστική αρχή καθορίζοντας ελάχιστες τιμές αγοράς.

Η αξιοπιστία που προσθέτουν τα συστήματα διεσπαρμένης παραγωγής στην παροχή ηλεκτρικής ενέργειας φαίνεται στην αποσυμφόρηση των δικτύων, στη δυνατότητα αυτόνομης εκκίνησης και στην σταθερότητα στην παροχή τάσης. Σε περίπτωση διακοπής ρεύματος μπορούν να παρέχουν εφεδρική ισχύ. Ενδεχομένως η αξιόπιστη παροχή ισχύος να μην αποτελεί πρωταρχική απαίτηση των οικιακών καταναλωτών, ωστόσο απαιτείται αδιάλειπτη εξυπηρέτηση από καταναλωτές όπως τα νοσοκομεία, τα εργοστάσια επεξεργασίας τροφίμων, οι στρατιωτικές εγκαταστάσεις και επιχειρήσεις όπως οι τράπεζες, τα κέντρα δεδομένων και τηλεπικοινωνιών κλπ. Σύμφωνα με τον Διεθνή Οργανισμό Ενέργειας, δύο τεχνολογίες διεσπαρμένης παραγωγής που θα μπορούσαν να παρέχουν προστασία έναντι διακοπών ρεύματος είναι οι κυψέλες καυσίμου και τα εφεδρικά συστήματα σε συνδυασμό με σύστημα αδιάλειπτης παροχής ρεύματος (UPS).

Όσον αφορά την ποιότητα της ηλεκτρικής ενέργειας, πολλοί συγγραφείς προβάλλουν επιχειρήματα υπέρ της κατανεμημένης παραγωγής και άλλοι επιχειρηματολογούν εναντίον της. Για παράδειγμα, υποστηρίζεται ότι η κατανεμημένη παραγωγή βοηθά σε περιοχές όπου η στήριξη τάσης είναι δύσκολη, ενώ παράλληλα υποστηρίζεται ότι η εισαγωγή αποκεντρωμένων μονάδων μεγάλης κλίμακας οδηγεί σε αστάθεια του προφίλ τάσης. Η ισχύς που ρέει σε δύο κατευθύνσεις μπορεί να οδηγήσει σε έντονη διακύμανση της τάσης. Επιπλέον εμποδίζεται η προσαρμογή των συστημάτων προστασίας στο δίκτυο, μια και τα πιθανά βραχυκυκλώματα και υπερφορτίσεις προέρχονται από πολλαπλές πηγές.

3.2.2 Η κατανεμημένη παραγωγή στο περιβαλλοντικό πλαίσιο

Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας προωθούνται από τους περιβαλλοντικούς κανονισμούς διότι βοηθούν στην εξοικονόμηση ενέργειας και στη μείωση των εκπομπών ρύπων, απορροφώντας την ενέργειά τους από τις συνεχείς φυσικές διεργασίες. Έχουν αποκέντρωση, γεγονός που αυξάνει τον αντίκτυπο των τεχνολογιών κατανεμημένης παραγωγής. Ωστόσο, η παραγωγή από ΑΠΕ δεν ανταγωνίζεται οικονομικά τις μεγάλες μονάδες παραγωγής, που σημαίνει ότι η επένδυση σε αυτές καθίσταται βιώσιμη ύστερα από κρατική επιχορήγηση. Επίσης τα αιολικά πάρκα και τα φωτοβολταϊκά συστήματα

εγκαθίστανται σε μεγάλη έκταση σε σύγκριση με τις συμβατικές τεχνολογίες της ίδιας εγκατεστημένης ισχύος.

Σε ορισμένες εγκαταστάσεις (πχ αιολικά πάρκα) η ικανότητα παραγωγής δεν είναι δεδομένη, αλλά βασίζεται σε μετεωρολογική πρόβλεψη που δεν δίνει με ακρίβεια την ποσότητα ισχύος που δύναται να παραχθεί. Εφόσον λοιπόν η δυνατότητα παραγωγής αποκλίνει κάποιες φορές από τη ζήτηση και η ζήτηση δεν καλύπτεται πλήρως από τις μονάδες ΑΠΕ, είναι σημαντικό να υπάρχει εφεδρεία συμβατικών μονάδων παραγωγής.

3.2.3 Οικονομικοί και τεχνικοί προβληματισμοί

Οι μικρότερες γεννήτριες κοστίζουν περισσότερο ανά εγκατεστημένη ισχύ σε kW έναντι του κόστους κεφαλαίου των μεγάλων κεντρικών μονάδων εξαιτίας της οικονομίας κλίμακας. Το κόστος μεταξύ διαφόρων τεχνολογιών καταναμημένης παραγωγής διαφέρει επίσης. Για παράδειγμα το κόστος κεφαλαίου για τους στροβίλους καύσης κυμαίνεται στα 1.000 ευρώ/ kW, ενώ το κόστος κεφαλαίου για τις κυμέλες καυσίμου είναι άνω των 20.000 ευρώ/ kW. (12)

Έπειτα, υπάρχει ο ισχυρισμός ότι οι εφαρμογές καταναμημένης παραγωγής θα δαπανούν μεγαλύτερα ποσά στην κύρια πηγή καυσίμων. Πιθανόν ο ισχυρισμός αυτός συνδέεται με τις οικονομίες κλίμακας και με τη ζήτηση της αγοράς σε πρωτογενή καύσιμα. Ακόμη, οι εγκαταστάσεις καταναμημένης παραγωγής θεωρούνται περισσότερο αποδοτικές από άποψη κατανάλωσης καυσίμων από τις κεντρικές εγκαταστάσεις όταν λειτουργούν με συμπαραγωγή θερμότητας και ηλεκτρικής ενέργειας. Οι τεχνολογίες συνδυασμένης παραγωγής θερμότητας και ηλεκτρικής ενέργειας αποτελούν ένα μεγάλο τμήμα της αγοράς διεσπαρμένης παραγωγής και όπως είδαμε βελτιστοποιούν την ενεργειακή κατανάλωση σε χώρους που έχουν σημαντική και σχετικά σταθερή ζήτηση σε θερμότητα και ηλεκτρική ενέργεια.

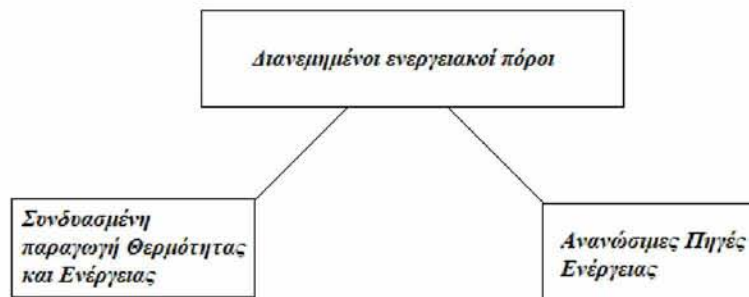
Αντιδράσεις από τους τοπικούς παράγοντες μπορούν να αναστείλουν ή να ματαιώσουν την εγκατάσταση μονάδων παραγωγής σε ορισμένες τοποθεσίες, ενώ σε τεχνικό επίπεδο η σύνδεση εγκαταστάσεων παραγωγής στο δίκτυο διανομής ίσως επιφέρουν προβλήματα στην ποιότητα ισχύος του δικτύου. Η αρμονική παραμόρφωση και οι διακυμάνσεις της τάσης είναι τεχνικά προβλήματα για την αντιμετώπιση των οποίων θεσπίζονται όρια και κανόνες προκειμένου να γίνει επιτυχής σύνδεση των μονάδων στο δίκτυο.

3.3 Οι τεχνολογίες διεσπαρμένης παραγωγής

Οι διανεμημένες γεννήτριες περιλαμβάνουν σύγχρονες γεννήτριες, γεννήτριες επαγωγής, παλινδρομικές μηχανές, στροβίλους καύσης που λειτουργούν με ορυκτά καύσιμα υψηλής ενέργειας (πετρέλαιο, προπάνιο, φυσικό αέριο, βενζίνη ή ντίζελ), αεριοστροβίλους, ανεμογεννήτριες και ηλιακά φωτοβολταϊκά (13).

Τα συστήματα συμπαραγωγής μπορούν να χωριστούν σε δύο τμήματα (Εικόνα 5):

- i. Συμπαραγωγή θερμότητας και ηλεκτρικής ενέργειας
- ii. Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας



Εικόνα 5: Διαχωρισμός των Ενεργειακών Πηγών

Η διάκριση των τεχνολογιών διεσπαρμένης παραγωγής μπορεί να γίνει και ανάλογα με τις εφαρμογές τους στις διάφορες απαιτήσεις σε φορτίο.

Αναμονή (Standby):

Χρήση για την παροχή ισχύος κατά τη διάρκεια διακοπών του δικτύου (πχ σε νοσοκομεία).

Αυτόνομη λειτουργία (Stand alone):

Υπάρχουν περιοχές που αντιμετωπίζουν γεωγραφικά εμπόδια ως προς τη σύνδεσή τους στο δίκτυο, γι' αυτό και είναι δαπανηρή. Η επιλογή των τεχνολογιών διεσπαρμένης παραγωγής ως παροχέα ενέργειας των περιοχών αυτών δίνει λύση στη δυσκολία σύνδεσης (Φωτοβολταϊκά).

Εξομάλυνση των αιχμών φορτίου:

Ανάλογα με τη διαθέσιμη τεχνολογία παραγωγής ενέργειας και με τις καμπύλες ζήτησης φορτίου μεταβάλλεται και το κόστος της ηλεκτρικής ενέργειας και οι μεγάλοι βιομηχανικοί πελάτες πληρώνουν ποσοστά χρόνου χρήσης ηλεκτρικής ενέργειας. Οι τεχνολογίες ΔΠ μπορούν να μειώσουν το κόστος παρέχοντας φορτίο σε περιόδους αιχμής (πχ μικροστρόβιλοι).

Αγροτικές εφαρμογές:

Η διεσπαρμένη παραγωγή μπορεί να ρυθμίσει την τάση του συστήματος σε αγροτικές περιοχές που συνδέονται με το δίκτυο και να εξυπηρετήσει τις ανάγκες τους σε φωτισμό, θέρμανση, ψύξη και επικοινωνία (πχ φωτοβολταϊκά σε συνδυασμό με μπαταρίες).

Συμπαραγωγή θερμότητας και ηλεκτρικής ενέργειας:

Η θερμότητα που εκλύεται από την μετατροπή του καυσίμου στην διαδικασία παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας αξιοποιείται επί τόπου σε ένα ευρύ φάσμα εφαρμογών (πχ μικροστρόβιλοι, κυψέλες καυσίμου).

Φορτίο βάσης:

Οι τεχνολογίες διεσπαρμένης παραγωγής συνήθως χρησιμοποιούνται ως φορτίο βάσης για να παρέχουν μέρος της κύριας απαιτούμενης ισχύος (πχ μικροστρόβιλοι, μεγάλοι σταθμοί κυψελών καυσίμου).

Συνήθως οι τύποι διεσπαρμένης παραγωγής κατατάσσονται ανάλογα με την τεχνολογία λειτουργίας τους. Βάσει αυτού του κριτηρίου διαχωρισμού μπορούν να διακριθούν στις παραδοσιακές και μη παραδοσιακές γεννήτριες καύσης (14). Οι παραδοσιακές γεννήτριες χρησιμοποιούν τους μικροστρόβιλους και τους αεριοστρόβιλους ως πρωταρχικούς κινητήρες. Στις μη συμβατικές γεννήτριες συγκαταλέγονται οι ηλεκτροχημικές συσκευές, οι συσκευές αποθήκευσης και οι τεχνολογίες ΑΠΕ.

3.3.1 Παραδοσιακές γεννήτριες καύσης

- Μικροστρόβιλοι (MT)

Οι μικροστρόβιλοι είναι στρόβιλοι καύσης μικρής κλίμακας, μεγέθους 20 kW – 500 kW. Οι μικροστρόβιλοι που είναι εμπορικά βιώσιμοι είναι διαθέσιμοι στην κλίμακα 27-250 kW (15). Αποτελούνται από συμπιεστή, καυστήρα, ανάκτηση, μικρό στρόβιλο και γεννήτρια και λειτουργούν με φυσικό αέριο, πετρέλαιο ή προπάνιο. Διαφέρουν ως προς τη λειτουργία τους από τους παραδοσιακούς στρόβιλους καύσης, διότι λειτουργούν με χαμηλότερη θερμοκρασία, χαμηλότερη πίεση και μεγαλύτερη ταχύτητα.

Είναι δημοφιλείς για την κατανεμημένη παραγωγή και για τις εφαρμογές τους στη συμπαραγωγή θερμότητας και ηλεκτρικής ενέργειας. Η απόδοσή τους κυμαίνεται μεταξύ 33% και 37% αλλά με τη συνδυασμένη παραγωγή (CHP) μπορεί να φτάσει το 80%.

Οι μικροστρόβιλοι έχουν απλό σχεδιασμό, άρα απαιτούν λιγότερη συντήρηση και έχουν συμπαγές μέγεθος και ελαφρύ βάρος συγκριτικά με τους παραδοσιακούς κινητήρες καύσης. Έχουν απόδοση πάνω από 80%, χαμηλότερες εκπομπές οξειδίων του αζώτου από τις μεγάλες κλίμακες και καλά χαρακτηριστικά παρακολούθησης του φορτίου. Το κόστος ηλεκτρικής ενέργειας καθώς και το κόστος κεφαλαίου είναι χαμηλότερο από κάθε άλλης τεχνολογίας διεσπαρμένης παραγωγής.

Οι **αεριοστρόβιλοι** είναι στρόβιλοι καύσης. Στο ρεύμα αερίου του καυστήρα, ο αέρας αναμειγνύεται με καύσιμο και αναφλέγεται. Η θερμοκρασία του αερίου αυξάνεται με την καύση, όπως αυξάνεται και η ταχύτητα ροής του. Το αέριο περιστρέφει τον στρόβιλο και ο στρόβιλος οδηγεί έναν συμπιεστή, έναν ηλεκτρικό εναλλάκτη και μια γεννήτρια. Η παραγόμενη θερμότητα μπορεί να ανακτηθεί για συμπαραγωγή (Εικόνα 6) και για εφαρμογές υβριδικών κυψελών καυσίμου/ στρόβιλων.

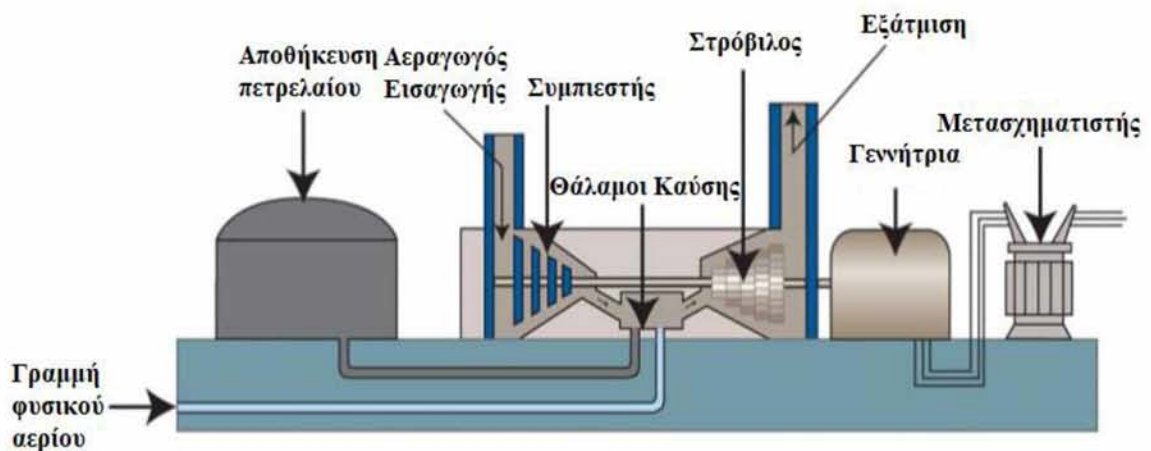


Εικόνα 6: Η τυπική λειτουργία ενός μικροστρόβιλου

Οι αεριοστρόβιλοι χρησιμοποιούνται πάνω από 1 MW, όμως μπορούμε να παράγουμε ηλεκτρική ενέργεια από έναν μικρό αεριοστρόβιλο των 200 kW. Ανάλογα με τον τρόπο διαμόρφωσης του κύκλου λειτουργίας τους οι αεριοστρόβιλοι διακρίνονται σε:

- Απλού τύπου:

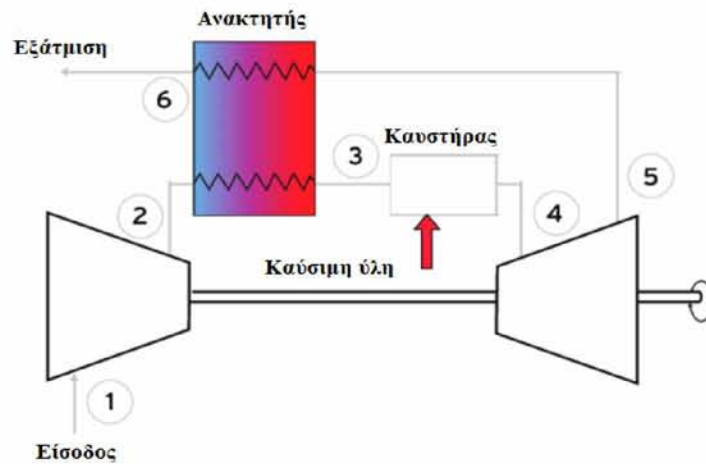
Οι αεριοστρόβιλοι απλού τύπου (Εικόνα 7) μπορεί να είναι ένα μηχάνημα με συμπιεστή αέρα και στρόβιλο ισχύος στον ίδιο άξονα ή ένα μηχάνημα χωριστού άξονα. Διαθέτουν καυστήρα και ηλεκτρική γεννήτρια που περιστρέφονται από τον στρόβιλο ισχύος.



Εικόνα 7: Αεριοστρόβιλος απλού τύπου

- Ανακτημένους αεριοστρόβιλους:

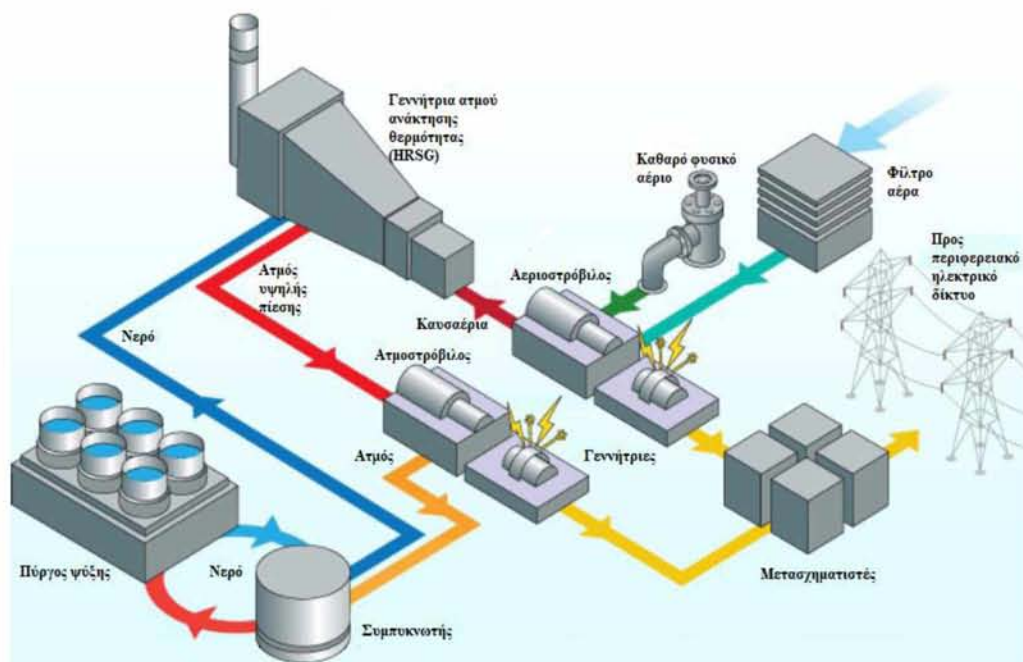
Έχουν έναν ειδικό εναλλάκτη θερμότητας (ανακτητή) για να αυξήσει τη θερμική απόδοση του στροβίλου. Στην Εικόνα 8 φαίνεται πως η λειτουργία τους είναι παρόμοια με αυτή των απλού τύπου αεριοστρόβιλων, με τη διαφορά ότι ο ανακτητής χρησιμοποιεί την θερμική ενέργεια εξάτμισης εξόδου για να προθερμάνει τον πεπιεσμένο αέρα στο πέρασμά του στον καυστήρα.



Εικόνα 8: Ανακτημένος αεριοστρόβιλος

- Αεριοστρόβιλοι συνδυασμένου κύκλου:

Όπως φαίνεται στην *Εικόνα 9*, οι αεριοστρόβιλοι συνδυασμένου κύκλου χρησιμοποιούν τη θερμική ενέργεια εξάτμισης σε μια γεννήτρια ατμού ανάκτησης θερμότητας (HRSG) η οποία πιθανόν περιλαμβάνει έναν καυστήρα για να αυξάνει την παροχή ατμού. Ο ατμός από τη γεννήτρια οδηγεί έναν ατμοστρόβιλο ο οποίος αυξάνει τη συνολική ηλεκτρική απόδοση παράγοντας ενέργεια επιπλέον του κύριου στροβίλου ισχύος.



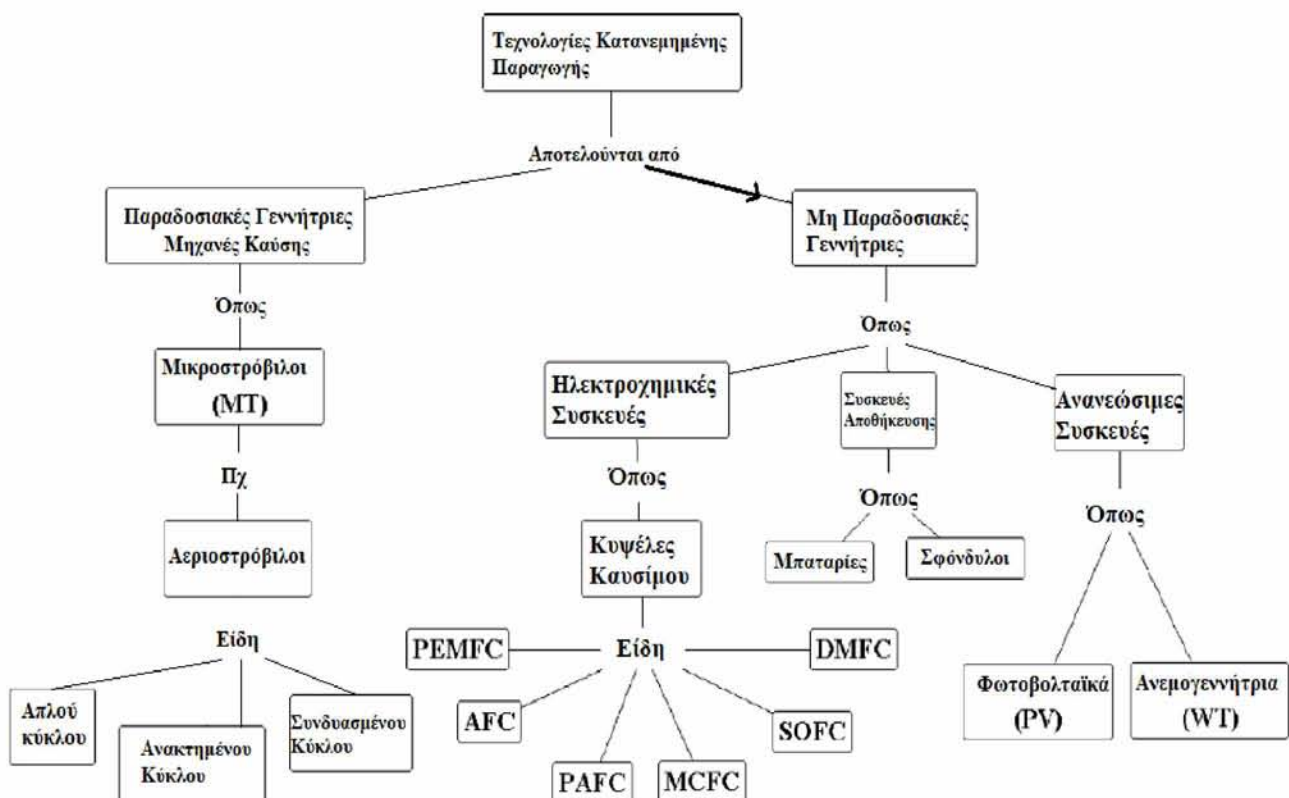
Εικόνα 9: Αεριοστρόβιλος συνδυασμένου κύκλου

- Παλινδρομικοί κινητήρες

Οι παλινδρομικοί κινητήρες αποτελούν ένα υποσύνολο κινητήρων εσωτερικής καύσης. Λέγονται παλινδρομικοί επειδή τα έμβολα στους κυλίνδρους κινούνται προς τα εμπρός και προς τα πίσω. Έχουν διάφορες κλίμακες – από μερικές μονάδες ισχύος 1 kVA μέχρι δεκάδες MVA. Οι μικρότεροι κινητήρες έχουν σχεδιαστεί για μεταφορά και μπορούν να τροποποιηθούν σε γεννήτριες ισχύος. Οι μεγαλύτεροι κινητήρες έχουν σχεδιαστεί για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, για μηχανικές κινήσεις και για θαλάσσια πρόωση.

Παρόλο που οι παλινδρομικοί κινητήρες λειτουργούν σε χαμηλό κόστος με καλή απόδοση, έχουν υψηλά έξοδα συντήρησης και παράγουν μονοξείδιο του άνθρακα (CO), εκπομπές υδρογονανθράκων, ενώ η διαδικασία καύσης παράγει οξείδια του αζώτου. Οι κινητήρες με φυσικό αέριο που έχουν αναπτυχθεί έχουν χαμηλότερες εκπομπές NOx και λειτουργούν με την ίδια απόδοση και αξιοπιστία των πετρελαιοκινητήρων.

Μέχρι στιγμής, έχει γίνει αναφορά στις παραδοσιακές γεννήτριες καύσης και ακολουθεί η ανάλυση των μη παραδοσιακών γεννητριών με τον τρόπο που διαχωρίζονται στην *Εικόνα 10*.

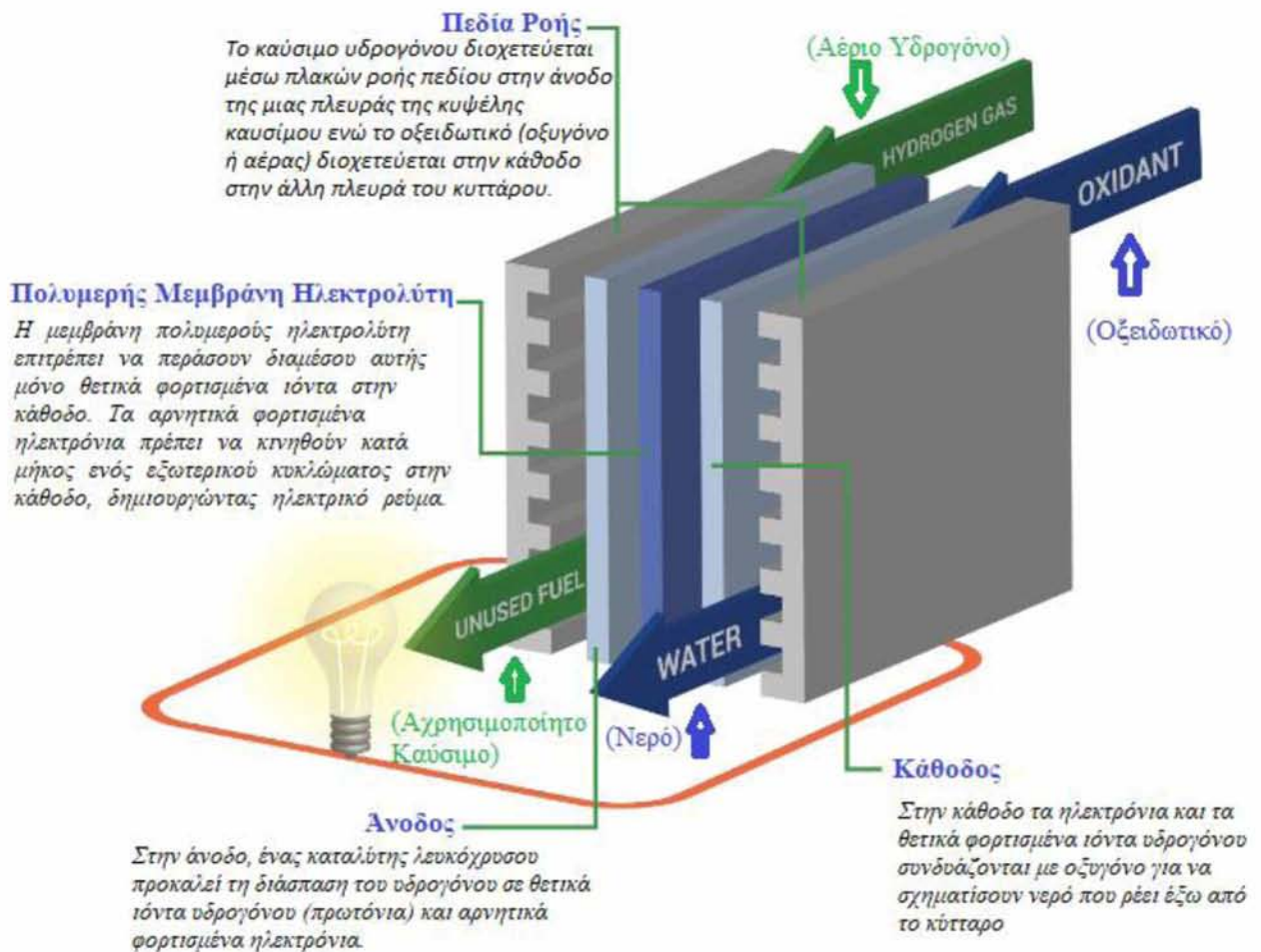


Εικόνα 10: Τεχνολογίες διεσπαρμένης παραγωγής

3.3.2 Μη παραδοσιακές γεννήτριες καύσης

3.3.2.1 Ηλεκτροχημικές συσκευές: κυψέλες καυσίμου (FC)

Οι κυψέλες καυσίμου χρησιμοποιούνται για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και παρέχουν θερμική ενέργεια από τη χημική ενέργεια των ηλεκτροχημικών διεργασιών. Μάλιστα, μετατρέπουν τη χημική ενέργεια καυσίμου σε ηλεκτρική ενέργεια με απόδοση που θεωρείται διπλάσια των παραδοσιακών σταθμών παραγωγής (60%). Η *Εικόνα 11* περιγράφει τη λειτουργία των κυψελών καυσίμου⁹.



©Setra Systems, Inc.

Εικόνα 11: Το εσωτερικό μιας κυψέλης καυσίμου

⁹ Πηγή: www.setra.com

Η χωρητικότητά τους ξεκινά από kW για φορητές μονάδες και στις σταθερές μονάδες φθάνει στα MW. Η λειτουργία τους μοιάζει με τη λειτουργία των μπαταριών, με τη διαφορά ότι δεν χρειάζονται επαναφόρτιση. Λειτουργούν σε διαφορετικές πιέσεις και θερμοκρασίες και παρέχουν θερμότητα και καθαρή ισχύ χρησιμοποιώντας καύσιμα πλούσια σε υδρογόνο, όπως το φυσικό αέριο, το βιοαέριο, η βενζίνη και το προπάνιο. Το υδρογόνο συνδυάζεται με το οξυγόνο σε μια ηλεκτροχημική διαδικασία για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας χωρίς να εμπλέκεται καμία καύση.

Το συνεχές ρεύμα που παράγεται, μετατρέπεται σε εναλλασσόμενο ρεύμα με ρυθμιστή ισχύος. Τα υπόλοιπα προϊόντα της διαδικασίας είναι θερμότητα, νερό και αέρια. Όσον αφορά τα αέρια, οι κυψέλες καυσίμου θεωρούνται φιλικές προς το περιβάλλον, καθώς έχουν χαμηλότερες εκπομπές σε NOx και CO₂ σε σύγκριση με τις παραδοσιακές γεννήτριες. Επίσης περιλαμβάνουν ανεμιστήρες αέρα για το οξυγόνο και για το καύσιμο και αντλίες νερού. Πέραν αυτών, δεν υπάρχουν άλλα κινητά εξαρτήματα που σημαίνει ότι εκπέμπουν χαμηλότερους ατμοσφαιρικούς ρύπους.

Ένα μειονέκτημα των κυψελών καυσίμου είναι ότι η εσωτερική σύνθετη αντίσταση αυξάνεται ως αποτέλεσμα της γήρανσης. Επομένως χρειάζεται μια ηλεκτρονική μονάδα ισχύος για τη ρύθμιση της τάσης εξόδου. Το υδρογόνο δεν είναι άμεσα διαθέσιμο καύσιμο και έχει αργό ρυθμό αντίδρασης (16), ενώ το κόστος των κυψελών είναι ακριβό επειδή χρειάζονται υλικά με συγκεκριμένες ιδιότητες. Επίσης το υδρογόνο αποθηκεύεται δύσκολα γιατί έχει μεγάλο όγκο και έτσι τα συστήματα που υποστηρίζουν κυψέλες καυσίμου είναι ογκώδη και βαριά. Έχουν δοκιμαστεί διάφοροι τύποι κυψελών καυσίμου για την αντιμετώπιση των προβλημάτων όσον αφορά το καύσιμο οι οποίοι διαφοροποιούνται βάσει του ηλεκτρολύτη που χρησιμοποιείται στην ηλεκτροχημική διαδικασία:

- i. Μεμβράνη ανταλλαγής πρωτονίων ή κυψέλη καυσίμου μεμβράνης πολυμερούς ηλεκτρολύτη (PEMFC). Λειτουργεί στους 30–100°C και μπορεί να χρησιμοποιεί σε οχήματα και σε συστήματα συμπαραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και θερμότητας χαμηλής ισχύος.
- ii. Κυψέλη αλκαλικών καυσίμων (AFC). Λειτουργεί στους 50–200°C και βρίσκει εφαρμογή σε διαστημικά οχήματα.
- iii. Κυψέλη καυσίμου μεθανόλης (DMFC). Λειτουργεί στους 20–90°C και είναι κατάλληλη για φορητά ηλεκτρονικά συστήματα με χαμηλή κατανάλωση ισχύος.
- iv. Κύτταρο καυσίμου φωσφορικού οξέος (PAFC). Λειτουργεί στους περίπου 220°C σε μεγάλο αριθμό συστημάτων συμπαραγωγής των 200 kW.

- v. Κυψέλη καυσίμου τηγμένου ανθρακικού (MCFC). Λειτουργεί στους περίπου 650°C για συστήματα συμπαραγωγής μεσαίας ή μεγάλης κλίμακας (με χωρητικότητα σε MW).
- vi. Κυψέλη καυσίμου στερεών οξειδίων (SOFC). Έχει θερμοκρασία λειτουργίας 500-1000°C και προορίζεται για όλα τα συστήματα συμπαραγωγής.

3.3.2.2 Συσκευές αποθήκευσης

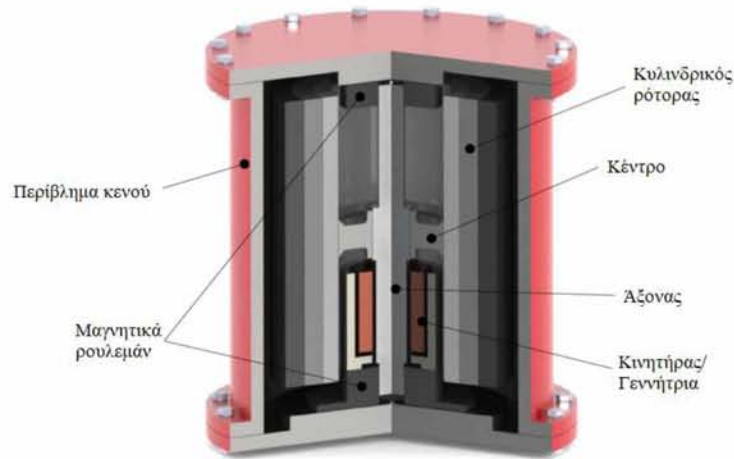
Οι συσκευές αποθήκευσης (σφόνδυλοι, μπαταρίες, αποθήκευση ενέργειας πεπιεσμένου αέρα, αντλία αποθήκευσης, υπεραγώγιμη αποθήκευση μαγνητικής ενέργειας) αποτελούν ένα μέσο για την αξιοποίηση της πλεονάζουσας παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας.

Οι μπαταρίες φορτίζονται κατά τη διάρκεια ζήτησης χαμηλού φορτίου για να χρησιμοποιηθούν όταν απαιτείται συνήθως σε συνδυασμό με άλλα είδη τύπων διεσπαρμένης παραγωγής. Οι μπαταρίες αυτές μπορούν να φορτιστούν και να εκφορτιστούν πολλές φορές χωρίς καμία ζημιά και ονομάζονται μπαταρίες βαθιάς κυκλοφορίας (deep-cycle). Συνήθως η περίοδος εκκένωσής τους καθορίζεται από το μέγεθός τους. Για να προστατεύονται από την υπερφόρτιση ή από την υπερβολική αποφόρτιση, ένας ελεγκτής φόρτισης αποσυνδέει τη διαδικασία φόρτισης.

Οι σφόνδυλοι είναι συστήματα τα οποία αποθηκεύουν ενέργεια σε μια περιστρεφόμενη μάζα. Δε δημιουργούν ηλεκτρισμό, αλλά αποθηκεύουν μια ποσότητα ηλεκτρικής ενέργειας ως περιστροφική ενέργεια ανάλογα με την αδράνεια και την ταχύτητα της περιστρεφόμενης μάζας (17). Λειτουργούν με 80% ενεργειακή απόδοση και χρησιμοποιούνται για να κάνουν ομοιόμορφη τη ροή ενέργειας στο δίκτυο. Η ενέργεια που αποθηκεύουν είναι ιδιαίτερα χρήσιμη όταν συνδέονται σε συστήματα που τροφοδοτούνται από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας.

Ο σφόνδυλος τοποθετείται σε ένα κενό αέρος (για τη μείωση των τριβών λόγω του αέρα) και αναρτάται από ρουλεμάν (Εικόνα 12). Μια ηλεκτρική μηχανή λειτουργεί είτε ως κινητήρας είτε ως γεννήτρια ανάλογα με τη γωνία φάσης. Όταν η ηλεκτρική μηχανή λειτουργεί ως κινητήρας, η ηλεκτρική ενέργεια μετατρέπεται σε στροφορμή περιστρέφοντας τον ρότορα και αυξάνοντας την κινητική του ενέργεια. Όταν η ηλεκτρική μηχανή συμπεριφέρεται ως γεννήτρια, η κινητική ενέργεια που είναι αποθηκευμένη στον

ρότορα μετατρέπεται σε ηλεκτρική. Εκτός από τον σφόνδυλο υπάρχουν ηλεκτρονικά ισχύος που ελέγχουν την ένταση την είσοδο και έξοδο ισχύος, την ταχύτητα, τη συχνότητα κλπ.



Εικόνα 12: Η δομή ενός σφονδύλου

Πλεονεκτήματα των σφονδύλων

Η ποσότητα ενέργειας που μπορούν να αποθηκεύσουν είναι μεγάλη και απελευθερώνεται γρήγορα συγκριτικά με τις συμβατικές μπαταρίες (15). Δεν επηρεάζονται από τις αλλαγές θερμοκρασίας όπως οι χημικές μπαταρίες και μπορούν να λειτουργούν για περίπου 20-30 χρόνια.

Η ποσότητα ενέργειας που παράγεται δεν είναι απρόβλεπτη όπως στα συστήματα ΑΠΕ, αλλά μπορεί να μετρηθεί με ακρίβεια από την ταχύτητα περιστροφής του σφονδύλου.

3.3.2.3 Ανανεώσιμες πηγές

Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας αποτελούν ο ήλιος, ο άνεμος και το νερό. Το ηλεκτρικό ρεύμα που παράγεται από αυτές τις πηγές κοστίζει περισσότερο από την παραγόμενη ισχύ των συμβατικών πηγών πετρελαίου.

- Φωτοβολταϊκά

Η βασική μονάδα είναι ένα τετράγωνο ή στρογγυλό κύτταρο από κρύσταλλο πυριτίου με προσμίξεις. Τα κύτταρα συνδέονται για να σχηματίσουν μια μονάδα ή ένα πάνελ και οι μονάδες συνδέονται για να σχηματίσουν μια συστοιχία για την παραγωγή της απαιτούμενης ισχύος.

Τα κύτταρα απορροφούν την ηλιακή ενέργεια και τη μετατρέπουν σε συνεχές ηλεκτρικό ρεύμα. Κάθε κύτταρο ανάλογα με το μέγεθός του παρέχει 2 – 4 Ampere με τάση 0,5 Volt. Μια συστοιχία κυττάρων παρέχει 12 V για να φορτίζει τις μπαταρίες.

Μπορούν να παρέχουν μια ποικιλία από περιοχές ισχύος, όμως παρέχουν χαμηλή ισχύ εξόδου. Επιπλέον, η εγκατάσταση και λειτουργία τους δεσμεύεται από γεωγραφικά και καιρικά χαρακτηριστικά, ενώ το κόστος της περιοχής εγκατάστασης των φωτοβολταϊκών είναι ακριβό.

Τα φωτοβολταϊκά χρησιμοποιούνται για οικιακό φωτισμό και θέρμανση, σε πινακίδες οδικής σήμανσης και σε οδικό φωτισμό. Έχουν εφαρμογές σε διαστημικά προγράμματα όπου παρέχουν ενέργεια σε εξοπλισμό δορυφόρων και σε πομπούς στο διάστημα.

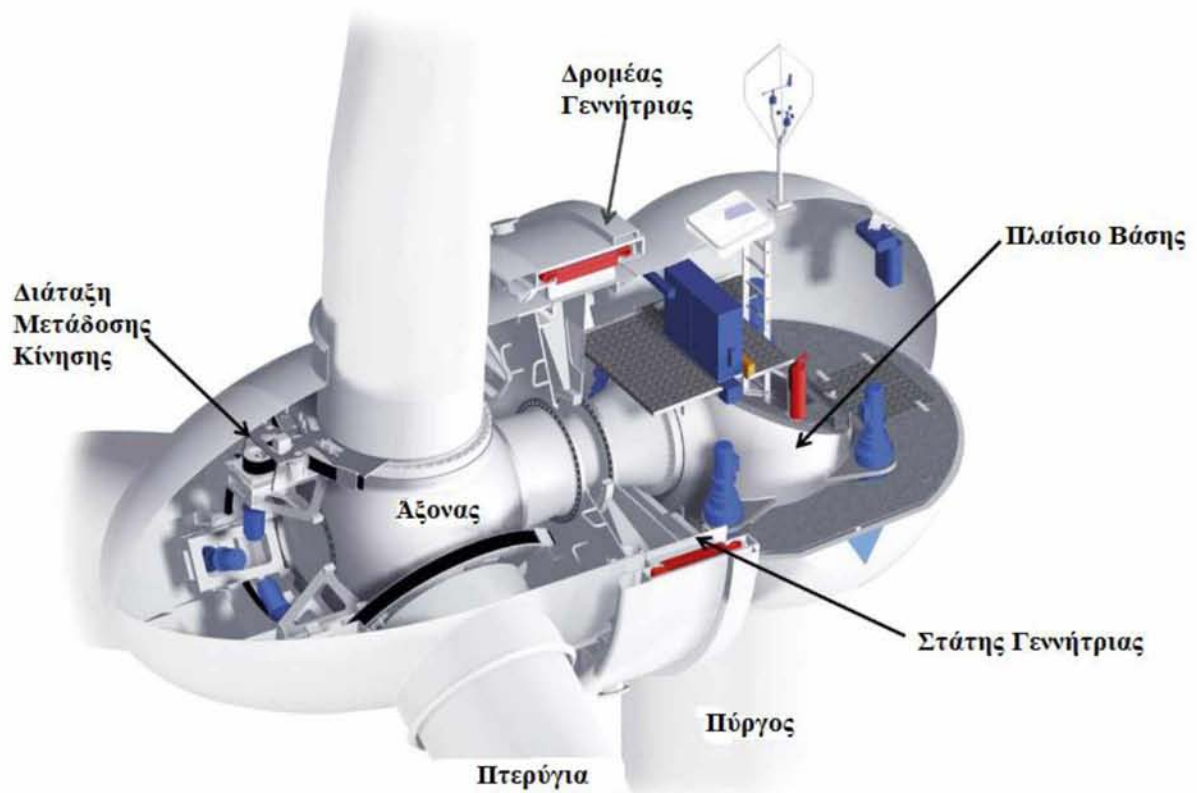
Η ηλιακή ενέργεια χρησιμοποιείται κατά τη διάρκεια των φορτίων αιχμής. Για παράδειγμα το καλοκαίρι χρησιμοποιούνται φωτοβολταϊκά για να παρέχουν την απαιτούμενη πλεονάζουσα ισχύ για τις διαδικασίες κλιματισμού και ψύξης και η υπόλοιπη ενέργεια τροφοδοτείται στο δίκτυο.

- **Ανεμογεννήτριες**

Μία ανεμογεννήτρια αποτελείται από έναν δρομέα, πτερύγια ανεμοστρόβιλου, γεννήτρια, διάταξη μετάδοσης κίνησης ή ζεύξης, άξονα και την κεφαλή του στροβίλου που περιέχει τη γεννήτρια και το κιβώτιο ταχυτήτων όπως φαίνεται στην *Εικόνα 13*. Τα πτερύγια του ανεμοστρόβιλου είναι συνήθως δύο ή τρία, μήκους 10 – 30 μέτρων. Ο άνεμος περιστρέφει τις λεπίδες. Οι λεπίδες περιστρέφουν με τη σειρά τους τον προσαρτημένο άξονά τους. Ο άξονας χρησιμοποιεί μια αντλία ή μια γεννήτρια που παράγει ηλεκτρική ενέργεια.

Οι σύγχρονες ανεμογεννήτριες μπορούν να παρέχουν ηλεκτρική ενέργεια μεμονωμένα ή ως αιολικά πάρκα. Οι μεγαλύτερες αγροτικές ανεμογεννήτριες είναι κοντά στις κεντρικές πηγές ενέργειας, ενώ οι μικρότερες ανεμογεννήτριες μπορούν σε συνδυασμό με συστήματα φωτοβολταϊκών και συσσωρευτών να εξυπηρετήσουν μια περιοχή των 25 kW έως 100 kW.

Συμβάλλουν στον καθαρό αέρα σε αντίθεση με το παραδοσιακό καύσιμο πετρελαίου και δεν έχουν επικίνδυνα ή ραδιενεργά απόβλητα όπως η πυρηνική ενέργεια. Έχουν βιώσιμο μέλλον, αφού ο αέρας είναι μη εξαντλήσιμος πόρος και μάλιστα το κόστος της αιολικής ενέργειας μειώνεται με τον χρόνο, αντίθετα από τα καύσιμα.



Εικόνα 13: Το εσωτερικό μιας ανεμογεννήτριας

Κεφάλαιο 4

Έξυπνο Δίκτυο – Το μελλοντικό ηλεκτρικό δίκτυο

4.1 Εισαγωγή

Τα υφιστάμενα συστήματα που καλύπτουν για δεκαετίες τις ανάγκες σε ηλεκτρική ενέργεια καταναλώνουν ταχύτατα και με μη ανανεώσιμο τρόπο φυσικούς πόρους όπως ο άνθρακας, το πετρέλαιο και το φυσικό αέριο. Πλέον έχει αυξηθεί η ευαισθητοποίηση σε περιβαλλοντικά ζητήματα και η προσοχή έχει στραφεί στην εξασφάλιση ενός ενεργειακά βιώσιμου μέλλοντος με λύσεις όπως η αξιοποίηση αποθεμάτων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, η αποθήκευση ενέργειας και τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα. Ένα έξυπνο δίκτυο μπορεί να θεμελιώσει ένα αειφόρο ενεργειακό μέλλον εμπεριέχοντας τις λύσεις αυτές.

Πέραν των περιβαλλοντικών αναγκών, η παρούσα υποδομή παροχής ηλεκτρικής ενέργειας δεν έχει σχεδιαστεί για να ανταποκριθεί στις απαιτήσεις της αναδιαρθρωμένης αγοράς και υφίσταται καταπονήσεις για να ανταπεξέλθει στην αυξανόμενη ζήτηση της ψηφιακής κοινωνίας σε ηλεκτρική ενέργεια.

Για να χειριστεί το σύστημα παροχής ηλεκτρικής ενέργειας τις νέες καταναλωτικές προσδοκίες καθώς και τις νέες απαιτήσεις σε υποδομή πρέπει να μετατραπεί σε ένα πιο αξιόπιστο, έξυπνο και διαδραστικό δίκτυο. Σε επίπεδο διανομής, τα δίκτυα λειτουργούν παραδοσιακά ως παθητικά συστήματα. Η ενσωμάτωση κατανεμημένων πόρων μετασχηματίζει τα δίκτυα σε ενεργά συστήματα με κατανεμημένο έλεγχο και αμφίδρομη ροή ισχύος. Η πιο ελπιδοφόρα δομή δικτύου για την επέκταση των ενεργών δικτύων διανομής είναι τα μικροδίκτυα που θα δούμε στη συνέχεια.

Από οικονομική σκοπιά, ένα ευφύες δίκτυο μπορεί με προγράμματα διαχείρισης απόκρισης/ φορτίου να μειώσει την κατανάλωση ενέργειας μεταφέροντας τη χρήση ηλεκτρικής ενέργειας σε ώρες εκτός αιχμής που θα είναι λιγότερο δαπανηρές για τον καταναλωτή. Τα προγράμματα που αξιοποιεί το ευφύες δίκτυο προσθέτουν οφέλη που σχετίζονται και με την αειφόρο ανάπτυξη, αφού ελαχιστοποιούν τη χρήση της αιχμής παραγωγής και οι παραδοσιακές μορφές παραγωγής αντικαθίστανται από ανανεώσιμες. Έτσι, η μετάβαση σε ένα ευφύτερο δίκτυο δεν ωφελεί μονάχα τους φορείς

εκμετάλλευσης δικτύων. Ωφελεί και τους καταναλωτές και την κοινωνία συνολικά παρέχοντας μεγαλύτερη ασφάλεια και καλύτερη αξιοπιστία.

Τα οφέλη που θα προκύψουν από την οικοδόμηση και εφαρμογή ενός έξυπνου δικτύου συνοψίζονται στον Πίνακα 4, όπου γίνεται αναφορά για κάθε ενδιαφερόμενο μέρος ξεχωριστά (18). Ένα πλεονέκτημα για οποιοδήποτε ενδιαφερόμενο μέρος μπορεί να ωφελήσει τα άλλα. Για παράδειγμα, χαμηλότερο κόστος και λιγότερες απαιτήσεις υποδομής για τις επιχειρήσεις κοινής ωφελείας σημαίνει χαμηλότερες τιμές για τους πελάτες.

Εν κατακλείδι, ένα έξυπνο δίκτυο περιλαμβάνει ένα εύρος τεχνολογικών λύσεων που βελτιώνουν την ασφάλεια, την αξιοπιστία και την αποδοτικότητα του ηλεκτρικού συστήματος. Η ουσιαστική βελτίωση των υφισταμένων δικτύων είναι όπως είδαμε αναγκαία, διαφορετικά όχι μόνο δεν θα επωφεληθούμε από την εφαρμογή τους, αλλά η ηλεκτροπαραγωγή από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας θα ανακοπεί και θα κινδυνεύσει η ασφάλεια των δικτύων. Η πορεία από τα υπάρχοντα ενεργειακά μοντέλα στο έξυπνο δίκτυο απαιτεί την προσεκτική διαμόρφωση πολιτικής, τη δίκαιη κατανομή κόστους μεταξύ των ενδιαφερόμενων μερών και επενδύσεις για έρευνα, ανάπτυξη και υποδομή.

Πίνακας 4: Τα οφέλη της εφαρμογής των Smart Grids

Πιθανά και πραγματικά οφέλη που θα προκύψουν από την οικοδόμηση και εφαρμογή ενός έξυπνου δικτύου						
Όφελος	Ενδιαφερόμενος					
	Υπηρεσία Κοινής Ωφελείας	Ανεξάρτητος Παραγωγός	Αστικός	Εμπορικός	Βιομηχανικός	Μελλοντικές Γενιές
Αξιοπιστία του συστήματος και οικονομικό όφελος						
Ταχύτερη διάγνωση διακοπών διανομής, αυτοματοποιημένη αποκατάσταση τμημάτων του δικτύου, μείωση των συνολικών χρόνων διακοπής.	X		X	X	X	
Η αυτοματοποιημένη διαγνωστική και η αυτοθεραπευτική ικανότητα του ευφυούς δικτύου παρατείνει τη διάρκεια ζωής της υποδομής.	X					X
Η διανεμημένη παραγωγή υποστηρίζεται επειδή το δίκτυο έχει τη δυνατότητα να διαχειρίζεται δυναμικά όλες τις πηγές ενέργειας.	X	X	X	X	X	X

Το σύστημα εξομάλυνσης αιχμών απομακρύνει την ανάγκη για επέκταση και αναβάθμιση του δικτύου.	X					
Το σύστημα εξομάλυνσης αιχμών μειώνει την ανάγκη για επενδύσεις υψηλής παραγωγικής ικανότητας.	X		X	X	X	
Οι τεχνολογίες ευφών δικτύων επιτρέπουν την αξιοποίηση των καλύτερων διαδρομών μεταφοράς, βελτιώνοντας τη μεταφορά ενέργειας σε μεγάλες αποστάσεις.	X	X				
Περιβαλλοντική επίδραση						
Το ευφές δίκτυο μπορεί να μειώσει τις απώλειες διανομής μειώνοντας τις απαιτήσεις παραγωγής ενέργειας.	X		X	X	X	X
Η ενσωμάτωση των ανανεώσιμων πόρων στο δίκτυο, όπως ζητείται σε πολλά κρατικά πρότυπα RPS, απαιτεί το ευφές δίκτυο να διαχειρίζεται εκτεταμένη διανεμημένη παραγωγή και εκτεταμένους αποθηκευτικούς πόρους.	X	X	X	X	X	X
Η υψηλή διείσδυση του υβριδικού ηλεκτρικού οχήματος (PHEV) θα απαιτήσει το έξυπνο δίκτυο να υποστηρίξει τη φόρτιση του οχήματος. Η πιθανή χρήση του PHEV ως οχήματος σε δίκτυο θα απαιτήσει τις τεχνολογίες ευφών δικτύων.	X		X			X
Ένα έξυπνο δίκτυο επιτρέπει σε έξυπνες συσκευές να παρέχουν ανατροφοδότηση μέσω του συστήματος και να μειώσουν τη χρήση ενέργειας κατά τη διάρκεια των περιόδων αιχμής της ζήτησης.	X		X			
Προηγμένη τεχνολογία μέτρησης μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη μέτρηση της κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας και για τον υπολογισμό της προκύπτουσας παρουσίας άνθρακα.			X	X	X	X
Αυξημένη απόδοση της παροχής ενέργειας						
Οι άμεσες δαπάνες λειτουργίας μειώνονται με τη χρήση προηγμένης	X					

τεχνολογίας μέτρησης.						
Οι τεχνολογίες έξυπνων δικτύων υπόσχονται μείωση της συμφόρησης στις γραμμές μεταφοράς.	X	X	X	X	X	
Οικονομική ανάπτυξη						
Τα πρότυπα και τα πρωτόκολλα που υποστηρίζουν τη διαλειτουργικότητα θα προωθήσουν τα καινοτόμα προϊόντα και τις επιχειρηματικές ευκαιρίες που υποστηρίζουν την ιδέα του έξυπνου δικτύου.	X	X	X	X	X	X
Καταναλωτικές προτιμήσεις						
Παροχή πληροφοριών στους καταναλωτές σχετικά με την ηλεκτρική τους χρήση, ώστε να μπορούν να κάνουν έξυπνες επιλογές ενέργειας.			X	X	X	X
Η τιμολόγηση σε πραγματικό χρόνο προσφέρει στους καταναλωτές μια επιλογή συμβολαίων κόστους και ευκολίας που υπερβαίνουν τα ιεραρχικά προγράμματα διαχείρισης της ζήτησης.			X	X	X	
Η ενσωμάτωση συστημάτων αυτοματισμού κτιρίων προσφέρει κέρδη απόδοσης, αναβολή επέκτασης δικτύου και εξομάλυνση των αιχμών.	X			X		

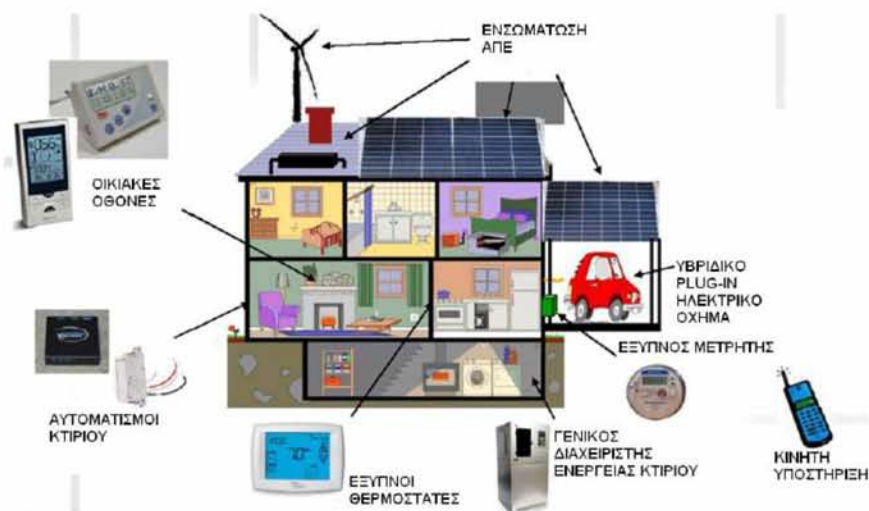
4.2 Ορισμός του έξυπνου δικτύου

Η Ευρωπαϊκή Ομάδα Ειδικών Καθηκόντων έχει συσταθεί από την Ευρωπαϊκή Επιτροπή ώστε να παρέχει συμβουλές για την αξιοποίηση των έξυπνων ηλεκτρικών δικτύων στην Ευρώπη. Ορίζει τα ευφυή δίκτυα ως δίκτυα ηλεκτρισμού τα οποία ενοποιούν αποτελεσματικά τις δράσεις του συνόλου των χρηστών τους (καταναλωτές, εταιρείες ηλεκτροπαραγωγής ή και τα δύο) ώστε να εξασφαλίζεται ένα σύστημα ισχύος το οποίο θα είναι οικονομικά αποδοτικό, ασφαλές και αειφόρο, με χαμηλές απώλειες και υψηλή ποιότητα και ασφάλεια εφοδιασμού. (19)

Ένα έξυπνο δίκτυο είναι ένα ηλεκτρικό δίκτυο που ενσωματώνει τα οφέλη τεχνολογιών όπως τα ηλεκτρονικά ισχύος, τα καταναμημένα υπολογιστικά συστήματα, οι αισθητήρες, οι έξυπνοι μετρητές, ο αυτοματοποιημένος έλεγχος και διάφορες τεχνολογίες αποθήκευσης, όπως φαίνεται στην *Εικόνα 14* (20).

Μέσα σε ένα ευφυές δίκτυο, πάροχος και καταναλωτής αλληλεπιδρούν μέσω έξυπνων συστημάτων μέτρησης και παρακολούθησης, ώστε να ελέγχονται οι συσκευές των καταναλωτών, να εξοικονομείται ενέργεια και να γίνεται περισσότερο διαφανής η τιμολόγηση. Είναι επομένως ένα εκσυγχρονισμένο δίκτυο που προσφέρει δυνατότητες παρακολούθησης, ανάλυσης, ελέγχου και επικοινωνίας ανάμεσα σε οποιοδήποτε σημείο παραγωγής και κατανάλωσης.

Το βασικότερο χαρακτηριστικό των ευφύων δικτύων είναι η ένταξη σε αυτά των τεχνολογιών πληροφορικής και επικοινωνιών, δηλαδή πέρα από τη βασική δομή του συμβατικού δικτύου που περιλαμβάνει την παραγωγή, μεταφορά, διανομή και κατανάλωση, διακρίνουμε και ένα στρώμα επικοινωνιών. Μεταξύ άλλων, στόχος είναι η εξισορρόπηση της ηλεκτρικής ζήτησης και προσφοράς και για την ολοκλήρωσή του χρειάζεται η μετάδοση πληροφοριών σε πραγματικό χρόνο. Για την αποτελεσματικότερη διαχείριση της ενέργειας συνδυάζονται η υποδομή των ενεργειακών συστημάτων με την τεχνολογία της πληροφορίας και με την τιμολογιακή πολιτική.



Εικόνα 14: Τεχνολογικά μέσα των ευφύων δικτύων.

4.3 Υφιστάμενα δίκτυα και Ευφυή δίκτυα: οι χαρακτηριστικές διαφορές

Τα Smart Grids συγκεντρώνουν ορισμένες ιδιότητες και χαρακτηριστικά που δεν τα διαφοροποιούν απλώς από τα παραδοσιακά συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας, αλλά και αποτελούν λύσεις και προτάσεις βελτίωσης στα προβλήματα που τώρα αντιμετωπίζονται. Όπως φαίνεται στην *Εικόνα 15* (21), το smart grid προβλέπεται να παρέχει υψηλότερη ασφάλεια. Υποστηρίζεται από κεντρικούς σταθμούς μεγάλης παραγωγής, αλλά διαθέτει και εγκαταστάσεις αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας, εγκαταστάσεις παραγωγής ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και ηλεκτρικών οχημάτων και συσκευές επικοινωνίας. Ειδικότερα, στα ευφυή δίκτυα παρατηρούμε:

- ***Διπλή κατεύθυνση στη ροή της πληροφορίας***

Όπως αναφέρθηκε, όγκος πληροφοριών αξιοποιείται σε πραγματικό χρόνο για καλύτερη επίβλεψη των παραμέτρων της ηλεκτρικής ενέργειας. Πλέον η πληροφορία ρέει σε δύο κατευθύνσεις για να μπορούν να τη διαχειρίζονται οι παραγωγοί, το σύστημα μεταφοράς, το δίκτυο διανομής και οι καταναλωτές ηλεκτρικής ενέργειας. Για παράδειγμα, το σύστημα διαχείρισης ενέργειας συνδέεται με τον προμηθευτή και με τις συσκευές κατανάλωσης. Από τη μία κατεύθυνση ο καταναλωτής διαμορφώνει το κόστος της ηλεκτρικής ενέργειας αφού παρακολουθεί την κατανάλωσή του, αλλά και ο διαχειριστής στην αντίθετη κατεύθυνση προσαρμόζεται στη ζήτηση σε ηλεκτρική ενέργεια.

- ***Αυτόματη αποκατάσταση βλαβών***

Στο ευφυές δίκτυο εισάγονται παντού αισθητήρες που ελαχιστοποιούν την ανθρώπινη παρέμβαση και αυξάνουν την αξιοπιστία του συστήματος με το να προβλέπουν ή να εντοπίζουν σφάλματα και να προβαίνουν άμεσα σε ενέργεια.



Εικόνα 15: Τα στοιχεία από τα οποία θα αποτελούνται τα νέα δίκτυα ΗΕ.

- **Υψηλή διείσδυση ΑΠΕ**

Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας δεν ανταποκρίνονται σταθερά στη ζήτηση. Για παράδειγμα, μια ανεμογεννήτρια δεν μπορεί να παράγει ρεύμα χωρίς άνεμο. Το έξυπνο ηλεκτρικό δίκτυο χαρακτηρίζεται από αξιοπιστία, καθώς μπορεί να καλύψει την έλλειψη ενέργειας «πράσινων» πηγών με ενέργεια από άλλες πηγές. Η δυνατότητα διαχείρισης και συντονισμού των πηγών ενέργειας σε ένα ηλεκτρικό δίκτυο είναι σημαντικός παράγοντας για τη διείσδυση των ΑΠΕ και τα ευφυή δίκτυα προσφέρουν τη δυνατότητα αυτή.

- **Έξυπνοι μετρητές – ελέγκτη τιμολόγηση**

Ο καταναλωτής μπορεί να γίνει παραγωγός δίνοντας στο σύστημα δεδομένα χρήσης των οικιακών συσκευών. Για παράδειγμα, το κλιματιστικό ενός καταναλωτή σταματά όταν φθάσει στην επιθυμητή θερμοκρασία. Το έξυπνο δίκτυο τη συγκεκριμένη στιγμή μπορεί να διακόψει την παροχή ρεύματος και να το διαθέσει σε άλλον χρήστη για όσο διάστημα παραμένει σταθερή η θερμοκρασία. Για έναν οικιακό πελάτη αυτή η κίνηση ίσως να μην κάνει τη διαφορά, όμως αν γίνει μαζικά εξοικονομείται σημαντική ποσότητα ρεύματος. Η ενέργεια αυτή επιτυγχάνεται με τη βοήθεια έξυπνων μετρητών που προσφέρουν στο έξυπνο δίκτυο δεδομένα λειτουργίας των συσκευών. Προς το

παρόν η διαδικασία προσαρμογής των παλιών δικτύων φαίνεται χρονοβόρα, χωρίς όμως να λαμβάνεται υπόψη το γεγονός ότι η τεχνολογία εξελίσσεται ταχύτατα.

- **Αξιοποίηση στο έπακρο των υφιστάμενων υποδομών**

Ένα ευφυές δίκτυο κάνει αποδοτικότερη τη ροή ισχύος στις ήδη υπάρχουσες εγκαταστάσεις, συνεπώς δεν υπάρχει απαίτηση για κατασκευή νέων γραμμών ή σταθμών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Χωρίς την εξοικονόμηση που επιτυγχάνεται μέσω των έξυπνων μετρητών και δίχως τη διεσπαρμένη παραγωγή, θα προκαλούνταν μεγαλύτερη ζήτηση σε ηλεκτρική ενέργεια, γεγονός που θα επιδείνωνε την ήδη επιβαρυνόμενη υποδομή του δικτύου.

Ο Πίνακας 5 παρουσιάζει με συνοπτικό τρόπο τα διαφορετικά χαρακτηριστικά ανάμεσα στα ευφυή δίκτυα και στα παραδοσιακά δίκτυα ηλεκτρικής ενέργειας.

Πίνακας 5: Διαφορές ευφύων δικτύων από τα υφιστάμενα δίκτυα ηλεκτρικής ενέργειας.

Παρόν Δίκτυο	Smart Grid
Μονής Κατεύθυνσης	Διπλής κατεύθυνσης
Χειροκίνητη αποκατάσταση δικτύου	Αυτόματη αποκατάσταση βλαβών
Ελάχιστοι αισθητήρες	Παντού αισθητήρες
Κεντρική Παραγωγή	Διεσπαρμένη Παραγωγή
Manual Monitoring	Self - Monitoring
Βλάβες και black-outs	Adapting and islading (αυτόνομη λειτουργία)
Ηλεκτρομηχανολογικό	Ψηφιακό
Περιορισμένος έλεγχος	Διάχυτος έλεγχος
Ελάχιστες επιλογές πελατών	Πολλές επιλογές πελατών

4.4 Προκλήσεις του νέου δικτύου παροχής ηλεκτρικής ενέργειας

Μεταφερόμενοι από το σημερινό δίκτυο κεντρικής παραγωγής στο νέο δίκτυο διεσπαρμένης παραγωγής συναντάμε τεχνικές και διαδικαστικές προκλήσεις.

Διαδικαστικές προκλήσεις:

- Κάθε ενδιαφερόμενο μέρος θα επηρεαστεί από το smart grid είτε συμμετέχει ενεργά είτε όχι. Είναι αναγκαίο οι επιχειρήσεις κοινής ωφέλειας, οι πάροχοι υπηρεσιών ηλεκτρικής ενέργειας, οι φορείς εκμετάλλευσης συστημάτων ακόμη και οι ίδιοι οι καταναλωτές να κατανοήσουν και να αντιμετωπίσουν τις απαιτήσεις των ενδιαφερομένων μερών. Επίσης δε μπορούν να παραλειφθούν οι οικονομικές και περιβαλλοντικές πιέσεις που έχουν αντίκτυπο στο ευφυές δίκτυο.
- Το έξυπνο δίκτυο είναι πολύπλοκο. Σε ορισμένες περιπτώσεις αρκεί η ανθρώπινη ταχύτητα ανταπόκρισης, ενώ σε άλλες είναι απαραίτητες οι αυτοματοποιημένες αποκρίσεις.
- Η μετάβαση στο Smart Grid είναι προοδευτική και πολυετής, λαμβάνοντας υπόψη ότι ο υπάρχων εξοπλισμός δεν απομακρύνεται, τα υφιστάμενα συστήματα δεν αντικαθίστανται άμεσα και ο νέος εξοπλισμός πρέπει να συνυπάρχει μακροχρόνια με τις τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται ήδη, με προσοχή στις δαπάνες ώστε να μην θυσιάζονται η αξιοπιστία και η ασφάλεια του συστήματος. Επιπλέον, η σχεδίαση πολιτικών συνεχούς αξιολόγησης κινδύνων και μέσων εκπαίδευσης που εστιάζουν στον ανθρώπινο παράγοντα για να διασφαλίσουν την ορθή λειτουργία του συστήματος απαιτούν χρόνο.
- Είναι απαραίτητη η έρευνα και ανάπτυξη που συνεισφέρουν στην πρόβλεψη και εκτίμηση των εξελισσόμενων οφελών αλλά και απαιτήσεων, καθώς η δομή του ευφυούς δικτύου δεν είναι οριστική ούτε μη τροποποιήσιμη.

Τεχνικές προκλήσεις:

- Ο έξυπνος εξοπλισμός¹⁰ πρέπει να είναι ανθεκτικός και να λειτουργεί μακροχρόνια. Επίσης το έξυπνο δίκτυο βασίζεται σε συστήματα επικοινωνίας τα οποία εξελίσσονται, γι' αυτό είναι αναγκαία προϋπόθεση το δίκτυο να είναι ικανό να υποστηρίξει τα νέα μέσα επικοινωνίας.

¹⁰ Ο έξυπνος εξοπλισμός βασίζεται σε υπολογιστή, μικροεπεξεργαστές, απομακρυσμένες τερματικές μονάδες και έξυπνες ηλεκτρονικές συσκευές.

- Είναι επιθυμητές οι απαραίτητες ενέργειες¹¹ για την πρόληψη βλάβης, εκμετάλλευσης και επαναφοράς εάν καταστεί αναγκαία των συστημάτων πληροφορικής και επικοινωνιών.
- Η συλλογή, ανάλυση, αποθήκευση και παροχή δεδομένων σε χρήστες είναι μια δύσκολη και χρονοβόρα διαδικασία. Η διαχείριση δεδομένων δεν πρέπει να αποτυγχάνει όταν οι πληροφορίες παίρνουν τεράστιες διαστάσεις. Επιπλέον τίθεται το ζήτημα της ανησυχίας για την προστασία των ιδιωτικών δεδομένων. Οι ενδιαφερόμενοι θα πρέπει να δικαιούνται ο καθένας διαφορετικά δικαιώματα και διαφορετικό τρόπο πρόσβασης στην πληροφόρηση.
- Οι εφαρμογές λογισμικού¹² αποτελούν τη βάση λειτουργίας κάθε κόμβου του ευφυούς δικτύου και συναντούν υψηλές απαιτήσεις όπως η είσοδος ακριβέστερων δεδομένων και η έξοδος αποτελεσμάτων με ακρίβεια και ταχύτητα.

Τέλος, προκύπτουν κανονιστικές προκλήσεις και προκλήσεις που αφορούν το εργατικό δυναμικό. Αρκετοί εργαζόμενοι θα χρειαστεί λόγω συνταξιοδότησης να αντικατασταθούν από νέο εργατικό δυναμικό. Οι νέοι εργαζόμενοι θα πρέπει να είναι εκπαιδευμένοι στη χρήση συστημάτων που στηρίζονται στα ψηφιακά εξαρτήματα. Αντίστοιχα, οι επιχειρήσεις κοινής ωφέλειας πρέπει να αποκτήσουν κίνητρο συμμετοχής στα προγράμματα εφαρμογής των smart grids μέσω ρυθμιστικών και επιχειρηματικών μοντέλων.

¹¹ Κυβερνοασφάλεια (Cyber Security)

¹² Εφαρμογές λογισμικού συνιστούν οι αλγόριθμοι, τα προγράμματα και η ανάλυση δεδομένων.

Κεφάλαιο 5

Εισαγωγή στα μικροδίκτυα

5.1 Περιγραφή των μικροδικτύων

Όπως έχει αναφερθεί προηγουμένως, υπάρχει η ανάγκη για μείωση του κόστους της ηλεκτρικής ενέργειας και αναβάθμιση των υποδομών του υφιστάμενου ηλεκτρικού δικτύου. Η παραγωγή ενέργειας από ορυκτά καύσιμα συνδέεται με διάφορες περιβαλλοντικές ανησυχίες και χαμηλή ενεργειακή απόδοση. Για την άμβλυνση της κλιματικής αλλαγής είναι υποχρεωτική η μείωση των εκπομπών CO₂. Τα μικροδίκτυα μειώνουν τη ρύπανση του περιβάλλοντος και αποτελούν μέσο τόνωσης της βιώσιμης ανάπτυξης.

Καθώς ολοένα και περισσότερα συστήματα διεσπαρμένης παραγωγής διεισδύουν στο δίκτυο διανομής δημιουργείται ένα μικροδίκτυο. Η παραγωγή ενέργειας σε τεχνολογίες διεσπαρμένης παραγωγής όπως οι ανεμογεννήτριες και τα φωτοβολταϊκά είναι αβέβαιη. Έτσι, την αυτονομία του δικτύου μπορεί να εξασφαλίσει η χρήση μονάδων αποθήκευσης ενέργειας. Επιπλέον, η ηλεκτρική ενέργεια εντός του μικροδικτύου δε μεταφέρεται σε μικρές αποστάσεις, που σημαίνει πως η παραγωγή και η διανομή της είναι προτιμότερο να γίνεται στη χαμηλή τάση. Τα μικροδίκτυα είναι επομένως μικρής κλίμακας ηλεκτρικά δίκτυα στην πλευρά διανομής. Περιλαμβάνουν μονάδες αποθήκευσης και μονάδες κατανάλωσης ενέργειας, όπως οι γεννήτριες και τα ελεγχόμενα φορτία. Οι γεννήτριες που χρησιμοποιούνται συνήθως είναι μη συμβατικές κατανεμημένες ενεργειακές πηγές που αξιοποιούν ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (γεωθερμικοί, ηλιοθερμικοί σταθμοί).

Ουσιαστικά, τα μικροδίκτυα είναι μια μικρογραφία του κυρίως δικτύου με τεχνικά χαρακτηριστικά που τα καθιστούν κατάλληλα για την παροχή ηλεκτρικών και θερμικών φορτίων σε μια κοινότητα. Έχουν διαφορετικό μέγεθος ανάλογα με τα φορτία που εξυπηρετούν στην περιοχή που εγκαθίστανται. Η εγκατάσταση μικροδικτύων μπορεί να γίνεται σε μια κατοικία, μια ακαδημαϊκή κοινότητα (πχ σχολείο, πανεπιστήμιο), μια προαστιακή περιοχή ή μια βιομηχανική περιοχή. Η λειτουργία τους είναι ιδιαίτερα

χρήσιμη σε απομακρυσμένες περιοχές όπου η παροχή από το εθνικό δίκτυο είναι δύσκολη είτε εξαιτίας γεωγραφικών χαρακτηριστικών είτε λόγω κλιματικών συνθηκών.

Στη βιβλιογραφία (22) αναφέρεται ένας ευρέως χρησιμοποιούμενος ορισμός¹³ για τα μικροδίκτυα: *«Ένα μικροδίκτυο είναι μια ομάδα διασυνδεδεμένων φορτίων και καταναλωμένων ενεργειακών πόρων μέσα σε σαφώς καθορισμένα ηλεκτρικά όρια που ενεργούν ως μία και μόνο ελεγχόμενη οντότητα σε σχέση με το δίκτυο. Ένα μικροδίκτυο μπορεί να συνδεθεί και να αποσυνδεθεί από το δίκτυο για να μπορέσει να λειτουργήσει σε λειτουργία συνδεδεμένη στο δίκτυο ή αυτόνομα.»*

Στον παραπάνω ορισμό δε γίνεται κάποια αναφορά στο μέγεθος ούτε στον τύπο των καταναμημένων πηγών ενέργειας που χρησιμοποιούνται στα μικροδίκτυα. Αναφέρονται όμως ορισμένα χαρακτηριστικά ενός μικροδικτύου:

- Είναι διακριτό από το υπόλοιπο δίκτυο (*«ομάδα διασυνδεδεμένων φορτίων... ελεγχόμενη οντότητα σε σχέση με το δίκτυο»*).
- Μπορεί να λειτουργήσει σε σύνδεση με το κυρίως δίκτυο αλλά και ανεξάρτητα από αυτό.
- Οι πόροι του ελέγχονται τοπικά, συ συνεργασία μεταξύ τους και όχι με μακρινούς πόρους (*«" σαφώς καθορισμένα ηλεκτρικά όρια που ενεργούν ως μία και μόνο ελεγχόμενη οντότητα σε σχέση με το δίκτυο»*).

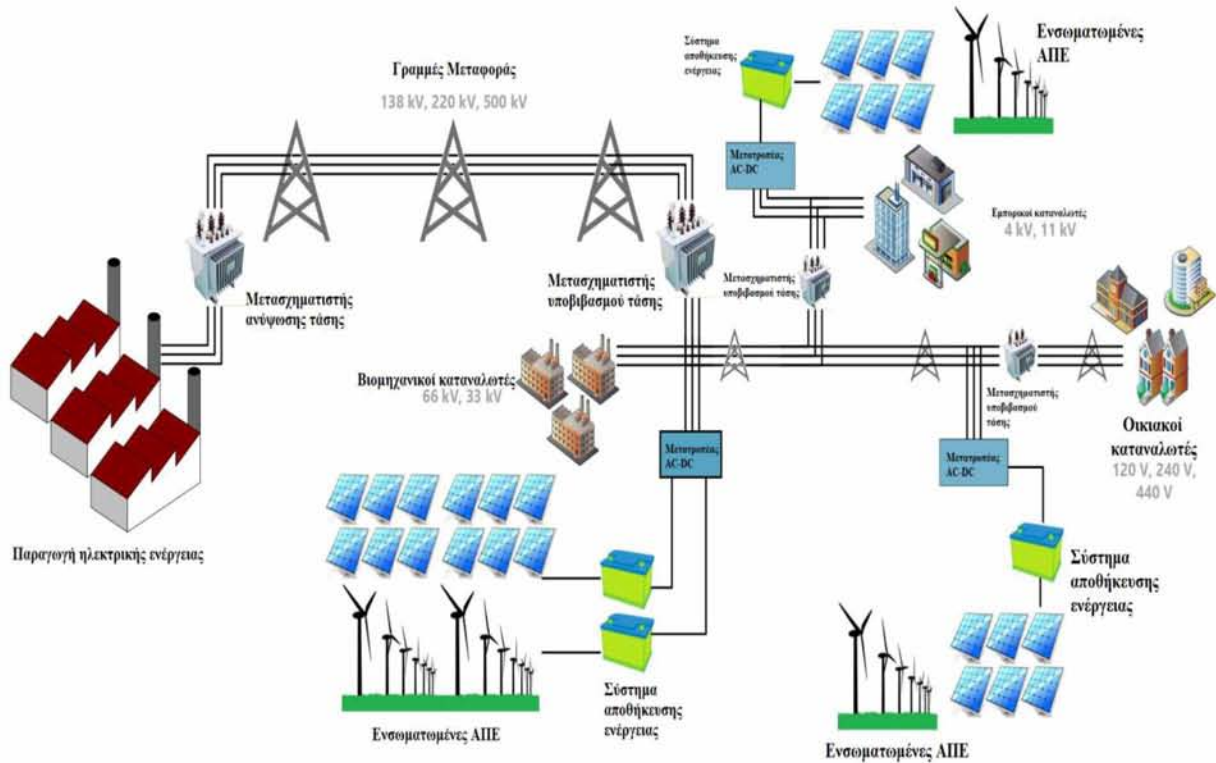
Αναφορικά με τον τρόπο λειτουργίας του μικροδικτύου, μπορεί να εξυπηρετήσει φορτία όντας διασυνδεδεμένο στο κυρίως δίκτυο ή ανεξάρτητα από αυτό. Η αποσύνδεση από το υπερκείμενο δίκτυο μπορεί να είναι προγραμματισμένη για λόγους συντήρησης ή για την ευστάθειά του. Μπορεί ωστόσο να συμβεί με απρόβλεπτο τρόπο εξαιτίας σφαλμάτων.

Η νησιδοποιημένη λειτουργία ενδείκνυται για την παροχή ηλεκτρικής ενέργειας με χαμηλότερο κόστος και λιγότερες απώλειες ισχύος σε αγροτικές περιοχές. Στη διασυνδεδεμένη λειτουργία το μικροδίκτυο εξυπηρετεί και υποστηρίζει το κυρίως δίκτυο παρέχοντας μεγαλύτερη αξιοπιστία και ευελιξία.

Στην *Εικόνα 16* παρουσιάζεται η τυπική δομή ενός μικροδικτύου που περιλαμβάνει καταναμημένους ενεργειακούς πόρους (συστήματα αποθήκευσης ενέργειας, ΑΠΕ κ.ά), δίκτυο διανομής και καταναλωτές (23). Όπως φαίνεται, εντός του μικροδικτύου παράγονται συνεχής τάση και συνεχές ρεύμα με μεταβαλλόμενο ρυθμό και παρέχονται

¹³ Ορισμός που προτάθηκε από τον MEG (Micro grid Exchange Group) για το αμερικανικό υπουργείο Ενέργειας.

στους καταναλωτές σε εκμεταλλεύσιμη μορφή μέσω της χρήσης μετατροπέων. Η σύνδεση στο κυρίως δίκτυο (και η αποσύνδεση από αυτό) γίνεται στο σημείο κοινής σύζευξης (PCC).



Εικόνα 16: Τυπική δομή μικροδικτύου

Κάτι που δεν ισχύει στα συμβατικά δίκτυα ηλεκτρικής ενέργειας αλλά παρατηρείται στα μικροδίκτυα, είναι το γεγονός πως η ηλεκτρική ισχύς παράγεται και τροφοδοτείται στο δίκτυο διανομής του δικτύου. Οι εξοπλισμοί εγκαθίστανται κοντά στους καταναλωτές για την τροφοδότηση με ηλεκτρικό/ θερμικό φορτίο με αμελητέες απώλειες γραμμών.

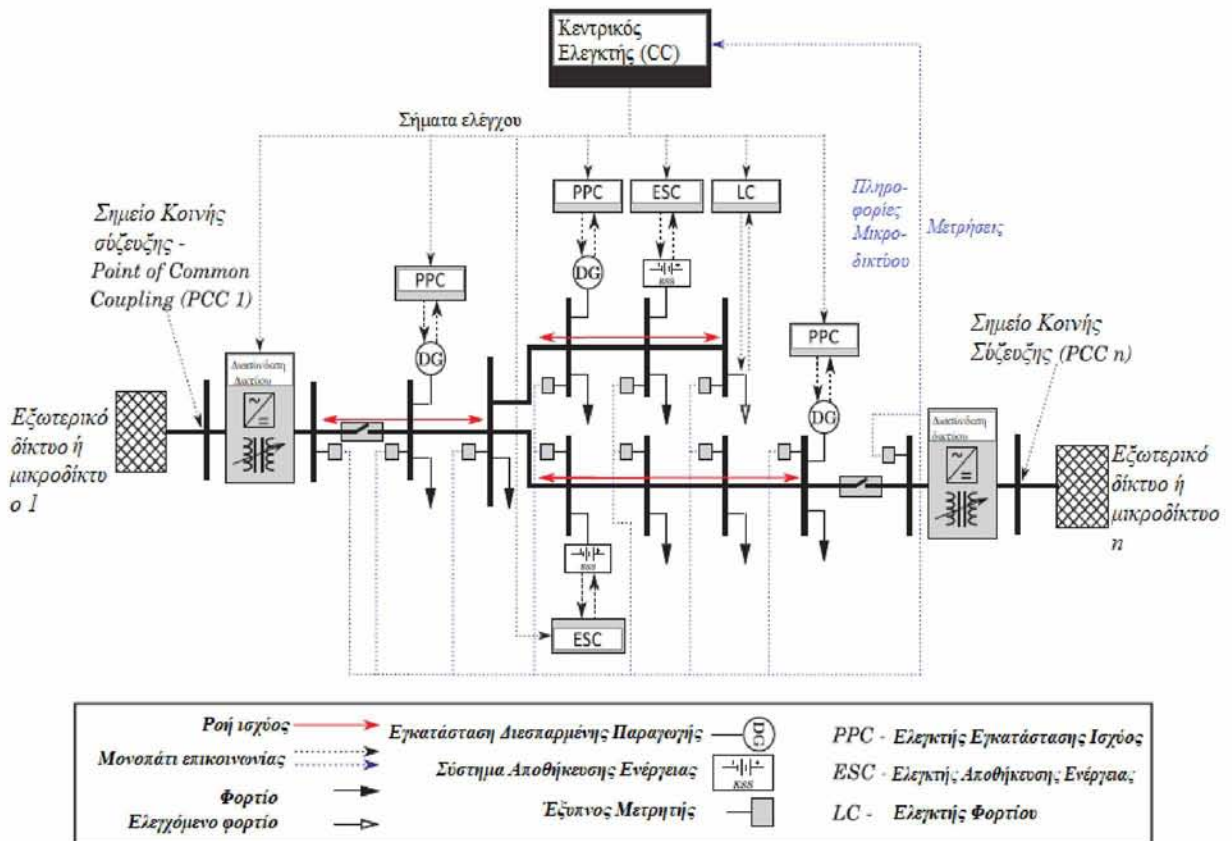
Μια ακόμη σημαντική διαφοροποίηση των μικροδικτύων από τους παραδοσιακούς σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής είναι η διαφορά σε χωρητικότητα των μικρών μονάδων παραγωγής συγκριτικά με τις μεγάλες γεννήτριες. Τα μικροδίκτυα λοιπόν, λόγω της μειωμένης τους χωρητικότητας, μπορούν να λειτουργήσουν με ή χωρίς την υποστήριξη του κυρίως δικτύου όντας διασυνδεδεμένα σε πολλαπλά μικροδίκτυα.

Τα μικροδίκτυα παρέχουν αδιάλειπτη ισχύ στους καταναλωτές, μειώνουν τις απώλειες τροφοδοσίας και έχουν τη δυνατότητα ελέγχου και συμμόρφωσης με τους κανονισμούς του δικτύου χωρίς να μειώνουν την ασφάλεια και την αξιοπιστία του (24). Γι'αυτό τον σκοπό μελετώνται και σχεδιάζονται στρατηγικές ελέγχου και συστήματα προστασίας για

κάθε τρόπο λειτουργίας των μικροδικτύων και για την επίλυση προβληματικών τομέων όπως είναι ο διακοπόμενος χαρακτήρας της παραγωγής των καταναμημένων ενεργειακών πόρων.

5.2 Οι τρόποι λειτουργίας ενός μικροδικτύου και ο ρόλος των Μικροελεγκτών και των Κεντρικών Ελεγκτών

Η Εικόνα 17 δείχνει τη σχηματική απεικόνιση ενός μικροδικτύου (25). Στην εικόνα διακρίνονται οι καταναμημένες πηγές ενέργειας (DG) που μπορεί να είναι μικροστρόβιλοι, κυψέλες καυσίμου, φωτοβολταϊκά, διατάξεις αποθήκευσης ενέργειας (ESC) όπως σφόνδυλοι, ενεργειακοί πυκνωτές και μπαταρίες και ελεγχόμενα φορτία.

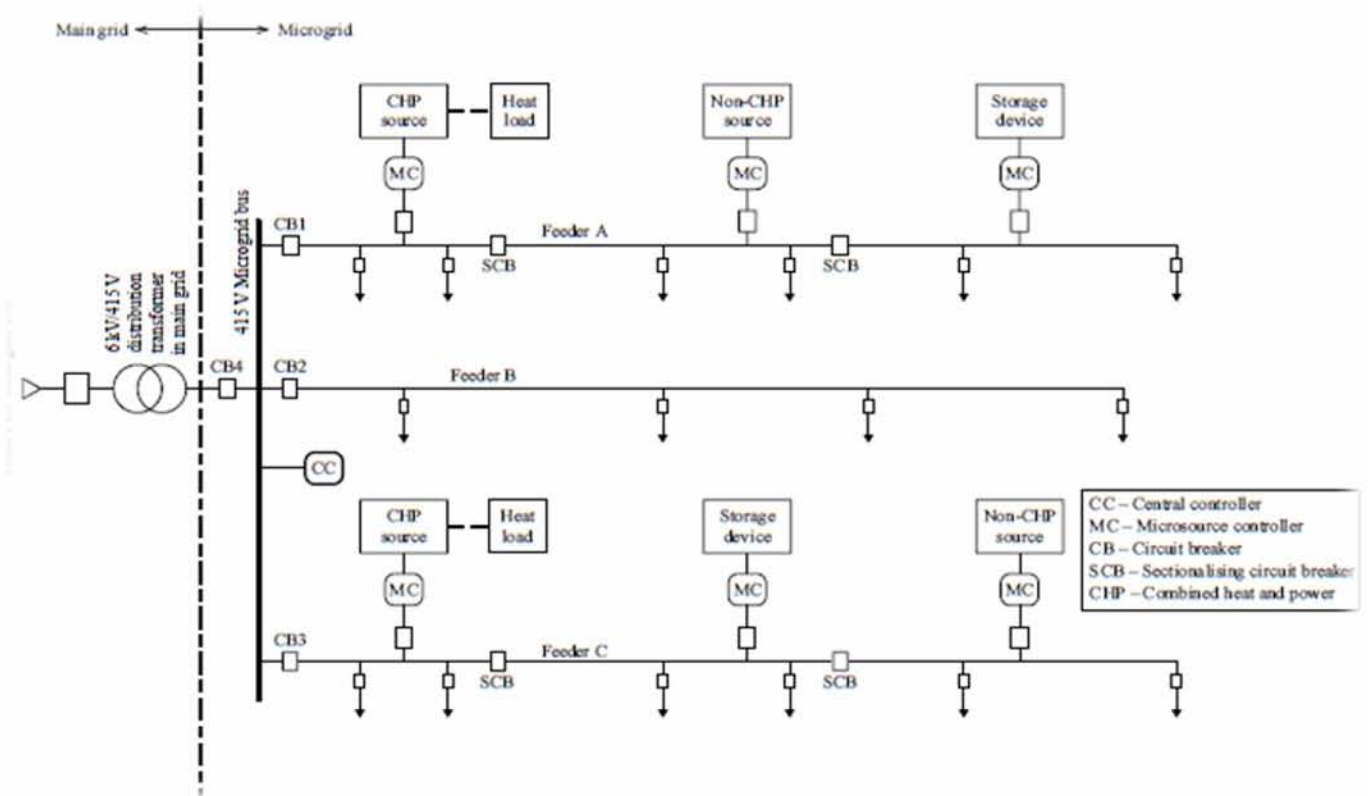


Εικόνα 17: Σχηματική αναπαράσταση μικροδικτύου

Τα όρια του μικροδικτύου με το κυρίως δίκτυο ή με άλλα μικροδίκτυα αναφέρονται στην εικόνα ως σημεία κοινής σύζευξης (Points of Common Coupling). Αμέσως μετά το PPC φαίνεται η Διασύνδεση Δικτύου η οποία είναι αναγκαία, γιατί το μικροδίκτυο ενδεχομένως δεν λειτουργεί στην ίδια τάση με το υπόλοιπο δίκτυο. Εγκαθίστανται μετρητές και δομή

επικοινωνίας και πρέπει να υπάρχει ένας διακόπτης ανά PCC που θα ρυθμίζει τη λειτουργία του μικροδικτύου σε νησιδοποιημένη ή μη. Επίσης χρησιμοποιούνται ηλεκτρονικά ισχύος και μετασχηματιστές, ανάλογα με τη λειτουργία του μικροδικτύου σε εναλλασσόμενο ρεύμα, συνεχές ρεύμα ή σε συνδυασμό εναλλασσόμενου και συνεχούς ρεύματος.

Μια πιο λεπτομερής διαμόρφωση μικροδικτύου φαίνεται στην *Εικόνα 18* (26). Θεωρούμε ένα μοντέλο peer to peer¹⁴ και plug-and-play¹⁵ για κάθε στοιχείο του μικροδικτύου. Στο μοντέλο ομότιμου χρήστη (peer to peer), αντί για κεντρική μονάδα υπάρχουν πολλές διεσπαρμένες μονάδες παραγωγής. Στην απώλεια οποιασδήποτε μονάδας, με την προσθήκη μίας επιπλέον μονάδας παραγωγής εξασφαλίζεται και πάλι πλήρης λειτουργικότητα για το μικροδίκτυο. Αυτό σημαίνει περισσότερη ευστάθεια και ασφάλεια για το μικροδίκτυο, αφού μπορεί να συνεχίσει να λειτουργεί με απώλεια οποιουδήποτε εξαρτήματος ή γεννήτριας (27).



Εικόνα 18: Διαμόρφωση μικροδικτύου

¹⁴ Η ιδέα του ομότιμου χρήστη (P2P) εξασφαλίζει ότι δεν υπάρχουν στοιχεία που είναι κρίσιμα για τη λειτουργία του μικροδικτύου (όπως ένας κύριος ελεγκτής ή μια κεντρική μονάδα αποθήκευσης).

¹⁵ Λογισμικό ή συσκευές που προορίζονται να λειτουργούν τέλεια όταν χρησιμοποιούνται ή συνδέονται για πρώτη φορά, χωρίς αναρρύθμιση ή προσαρμογή από το χρήστη.

Στο μοντέλο plug-and-play κάθε συσκευή έχει την ευελιξία να συνδεθεί στη θέση όπου χρειάζεται και με αυτό τον τρόπο διευκολύνει την τοποθέτηση γεννητριών κοντά στα φορτία. Είναι χρήσιμο ειδικά για τα θερμικά φορτία, γιατί επιτρέπει την αποτελεσματικότερη χρήση της απόβλητης θερμότητας. Σε διαφορετική περίπτωση θα έπρεπε να χρησιμοποιηθούν σύνθετα συστήματα διανομής θερμότητας όπως αγωγοί ατμού και κρύου νερού. Επίσης η τοποθέτηση των μονάδων παραγωγής κοντά στα φορτία ελαχιστοποιεί την απώλεια θερμότητας κατά τη διάρκεια μετάδοσής της.

Για την παροχή των ηλεκτρικών και θερμικών φορτίων το μικροδίκτυο αποτελείται από τρεις ακτινικούς τροφοδότες (A, B και C). Οι τροφοδότες θα μπορούσαν να είναι μέρος ενός συστήματος διανομής ή ενός ηλεκτρικού συστήματος ενός κτιρίου. Υπάρχουν επίσης πηγές συμπαραγωγής θερμότητας και ηλεκτρικής ενέργειας (CHP), μονάδες παραγωγής και συσκευές αποθήκευσης.

Στην *Εικόνα 18* οι μονάδες παραγωγής (non-CHP) και οι συσκευές αποθήκευσης συνδέονται με τα τροφοδοτικά A και C μέσω μικροελεγκτών (MCs). Οι τροφοδότες A και C έχουν φορτία προτεραιότητας (φορτία που απαιτούν αδιάλειπτη τροφοδοσία) και φορτία χωρίς προτεραιότητα, ενώ ο τροφοδότης B περιέχει μόνο φορτία χωρίς προτεραιότητα. Οι μονάδες παραγωγής των τροφοδοτών A και C είναι τοποθετημένες μακριά από τον δίαυλο του μικροδικτύου για καλό προφίλ τάσης, μείωση των απωλειών γραμμής και βέλτιστη χρήση της απορριπτόμενης θερμότητας.

Το μικροδίκτυο συνδέεται με το κύριο δίκτυο μέσης τάσης μέσω του διακόπτη CB4 του κυκλώματος PCC. Ο διακόπτης CB4, ανάλογα με τον επιλεγμένο τρόπο λειτουργίας του μικροδικτύου, συνδέει και αποσυνδέει ολόκληρο το μικροδίκτυο από το κύριο πλέγμα. Οι τροφοδότες A, B και C μπορούν να συνδεθούν και να αποσυνδεθούν από τους διακόπτες CB1, CB2 και CB3 αντίστοιχα.

Όταν το μικροδίκτυο λειτουργεί συνδεδεμένο στο κύριο δίκτυο, μπορεί να παραμείνει συνδεδεμένο, εισάγοντας ή εξάγοντας ηλεκτρική ενέργεια από ή προς αυτό. Όταν όμως στο κύριο δίκτυο προκύπτει διαταραχή, το μικροδίκτυο μεταβαίνει σε νησιδοποιημένη λειτουργία, τροφοδοτώντας παράλληλα με ηλεκτρική ενέργεια τα φορτία προτεραιότητας.

Υπάρχουν δύο τρόποι μετάβασης του μικροδικτύου στην αυτόνομη λειτουργία:

- i. Αποσύνδεση ολόκληρου του μικροδικτύου με το άνοιγμα του διακόπτη CB4. Σ' αυτή την περίπτωση, το μικροδίκτυο λειτουργεί ως αυτόνομο σύστημα και οι A, B και C τροφοδοτούν όλα τα φορτία.

- ii. Αποσυνδέοντας μόνο των τροφοδοτών A και C με το άνοιγμα των διακοπών CB1 και CB3 αντίστοιχα. Τότε τα A και C θα τροφοδοτούν μόνο τα φορτία προτεραιότητας.

Η λειτουργία του μικροδικτύου ελέγχεται και συντονίζεται από τοπικούς μικροελεγκτές (MC) και τον κεντρικό ελεγκτή (CC) που έχουν τις παρακάτω λειτουργίες:

- Μικροελεγκτής (MC):

Ελέγχει τη ροή ισχύος και το προφίλ τάσης του φορτίου σε διαταραχές και αλλαγές του φορτίου χωρίς να επικοινωνεί με τον κεντρικό ελεγκτή. Οι οδηγίες του μικροελεγκτή υπερिशύουν από τις οδηγίες που δίνει ο κεντρικός ελεγκτής όταν αυτές θεωρούνται επικίνδυνες για τη μικροπηγή του πρώτου.

Επίσης, ελέγχει τις μονάδες αποθήκευσης για διαχείριση της ζήτησης, συμμετέχει στον προγραμματισμό οικονομικής παραγωγής και στη διαχείριση του φορτίου. Στη νησιδοποιημένη λειτουργία του μικροδικτύου ο μικροελεγκτής διασφαλίζει τη ραγδαία τροφοδότηση του φορτίου. Όταν το μικροδίκτυο πρέπει να επανασυνδεθεί με το κυρίως δίκτυο, αυτό γίνεται με τη βοήθεια του κεντρικού ελεγκτή.

Ο μικροελεγκτής έχει ένα πολύ σημαντικό χαρακτηριστικό που προσδίδει στο μικροδίκτυο την plug-and-play δυνατότητα, διευκολύνει δηλαδή την απρόσκοπτη προσθήκη μονάδων παραγωγής σε οποιοδήποτε σημείο του δικτύου χωρίς κάποια επιρροή στον έλεγχο και την προστασία των υφιστάμενων μονάδων. Αυτό επιτυγχάνεται χάρη στην ταχύτητα του μικροελεγκτή να ανταποκρίνεται στις τοπικά παρακολουθούμενες τάσεις και ρεύματα ανεξάρτητα από τα δεδομένα γειτονικών μικροελεγκτών.

- Κεντρικός ελεγκτής (CC):

Ελέγχει τη λειτουργία του μικροδικτύου και το προστατεύει μέσω των μικροελεγκτών. Έχει σχεδιαστεί ώστε να λειτουργεί αυτόματα, όμως υπάρχει και η δυνατότητα χειροκίνητης επέμβασης όταν κρίνεται αναγκαίο. Έχοντας ως κύριες λειτουργικές ενότητες τη Μονάδα Προστασίας και τη Μονάδα Διαχείρισης Ενέργειας, στοχεύει στη διατήρηση της προκαθορισμένης τάσης και συχνότητας και παρέχει τα σημεία αποστολής ισχύος και τάσης για όλους τους μικροελεγκτές. Για κάθε τρόπο λειτουργίας του δικτύου είναι διαφορετική και η λειτουργία του κεντρικού ελεγκτή. Συγκεκριμένα:

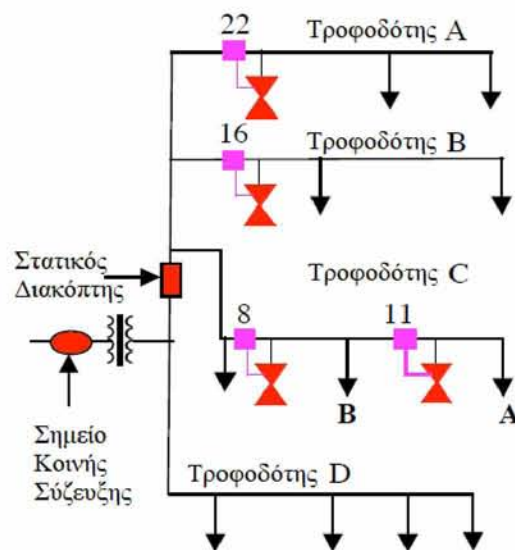
- i. Στη λειτουργία σύνδεσης στο δίκτυο οι λειτουργίες του κεντρικού ελεγκτή είναι:

- Διασφάλιση συγχρονισμένης λειτουργίας με το κυρίως δίκτυο
- Σύστημα παρακολούθησης με συλλογή πληροφοριών από τις μονάδες παραγωγής κι από τα φορτία.
- Αξιολόγηση της ασφάλειας, προγραμματισμός οικονομικής παραγωγής και έλεγχος της ενεργής και αέργου ισχύος των μικροπηγών.

ii. Στην αυτόνομη λειτουργία του μικροδικτύου, ο κεντρικός ελεγκτής εκτελεί τα ακόλουθα:

- Επανεκκίνηση του συστήματος από ολική διακοπή (καλύτερη αξιοπιστία).
- Έλεγχος ενεργού και αέργου ισχύος των μικροπηγών για τη διατήρηση σταθερής τάσης και συχνότητας.
- Διατήρησης της ισορροπίας ισχύος με στρατηγικές διακοπής/απόρριψης φορτίου.
- Μετά την αποκατάσταση των βλαβών του κυρίως δικτύου βοηθά στην επανασύνδεση του μικροδικτύου με αυτό.

Στο Κεφάλαιο 6 επεκτείνεται η ανάλυση στον έλεγχο των μικροδικτύων. Η διαμόρφωση του μικροδικτύου που παρουσιάστηκε δεν είναι η μοναδική. Στη βιβλιογραφία γίνεται αναφορά σε έναν εναλλακτικό τρόπο διαμόρφωσης ενός μικροδικτύου, όπως αυτό απεικονίζεται στην *Εικόνα 19* (27).



Εικόνα 19: Εναλλακτική διαμόρφωση μικροδικτύου

Το μικροδίκτυο της *Εικόνας 19* έχει παρόμοια δομή με το προηγούμενο. Αποτελείται από μια ομάδα ακτινικών τροφοδοτών A, B, C, D. Οι τροφοδότες A, B, C έχουν φορτία προτεραιότητας που απαιτούν τοπική παραγωγή και ο τροφοδότης φορτίων D δεν έχει καμία τοπική παραγωγή.

Στους κόμβους 8, 11, 16 και 22 υπάρχουν τέσσερις μικροελεγκτές που ελέγχουν τη λειτουργία με τοπικές μετρήσεις τάσης και ρεύματος. Ο στατικός διακόπτης ανοίγει όταν υπάρχει πρόβλημα με την παροχή ρεύματος και απομονώνει τα ευαίσθητα φορτία από το ηλεκτρικό δίκτυο. Ο τροφοδότης D καλύπτει το συμβάν. Όταν το μικροδίκτυο είναι συνδεδεμένο στο κύριο δίκτυο, η ισχύς από την τοπική παραγωγή μπορεί να κατευθυνθεί στον τροφοδότη D.

5.3 Αρχιτεκτονικές ομαδοποίησης μικροδικτύων

Τα μικροδίκτυα δίνουν ώθηση στην ενσωμάτωση της διεσπαρμένης παραγωγής στο σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας, μελετώνται και εξελίσσονται. Για τους λόγους αυτούς αναμένεται το σημερινό δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας να μετασχηματιστεί σε ένα σύστημα ενέργειας που αποτελείται από πολλαπλά μικροδίκτυα.

Εξετάζοντας τη λειτουργία του μικροδικτύου ως ενιαία οντότητα ή σε αλληλεπίδραση με το κυρίως δίκτυο προκύπτουν διάφορες αρχιτεκτονικές πολλαπλών μικροδικτύων που θα αναλυθούν στη συνέχεια αυτής της ενότητας (25).

Χρησιμοποιούνται διάφορα κριτήρια για την επιλογή της καταλληλότερης αρχιτεκτονικής. Οι υπεύθυνοι σχεδιασμού δικτύων πρέπει να λαμβάνουν υπόψη κριτήρια όπως το κόστος, η προστασία και η επεκτασιμότητα του μικροδικτύου.

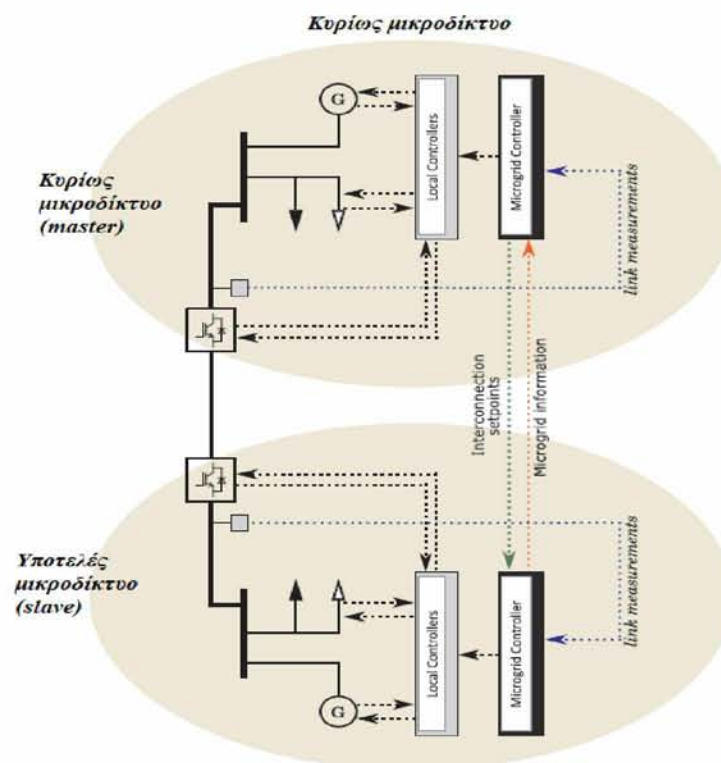
5.3.1 Αλληλεπίδραση του μικροδικτύου με το κυρίως δίκτυο ή και με άλλα μικροδίκτυα

Ένα μικροδίκτυο μπορεί να προσφέρει βοηθητικές υπηρεσίες στη σύνδεσή του σε δίκτυο διανομής:

- Αποφεύγει την απότομη ρύθμιση τάσης παρέχοντας άεργο ισχύ από μικρές μονάδες παραγωγής.

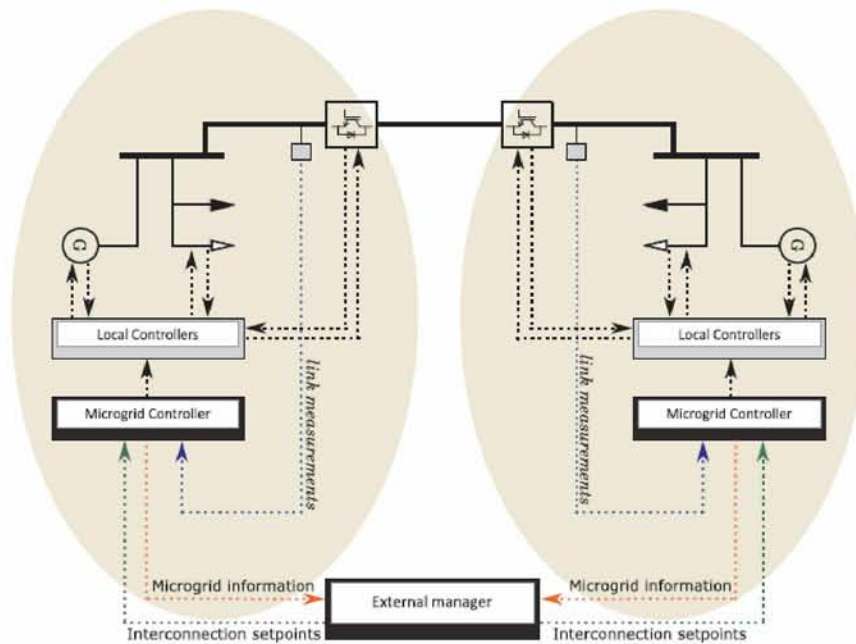
- Παρέχει συμπληρωματικό απόθεμα κάνοντας τους παραγωγούς τους να υπακούουν στα αιτήματα του χειριστή του συστήματος (σύστημα εξομάλυνσης αιχμών ή έλεγχος ροής τροφοδοσίας).
- Σχεδιάζει την παραγωγή και προσαρμόζεται λεπτό προς λεπτό ανάλογα με τη ζήτηση ισχύος.
- Έχει τη δυνατότητα επανεκκίνησης μετά από ολική διακοπή (islanded mode).
- Μετά από κατάρρευση του κυρίως δικτύου, το μικροδίκτυο μπορεί να εξάγει ενεργό ισχύ στην επανεκκίνηση του συστήματος.

Στη διασύνδεση διαφόρων μικροδικτύων υπάρχουν δύο κανόνες αλληλεπίδρασης που κάθε φορά αλλάζουν τον ρόλο κάθε μικροδικτύου. Ο πρώτος κανόνας αλληλεπίδρασης είναι ο κανόνας master-slave. Βάσει αυτού, το κυρίως μικροδίκτυο (master) είναι υπεύθυνο για την αποστολή εντολών στο υποτελές μικροδίκτυο (slave) που λειτουργεί ως ενιαία ελεγχόμενη οντότητα, όπως φαίνεται στην *Εικόνα 20*. Το κυρίως μικροδίκτυο μπορεί να είναι υποτελές σε ένα άλλο μικροδίκτυο ή να έχει περισσότερα από ένα μικροδίκτυα υποτελή του.



Εικόνα 20: Master – slave τοπολογία

Στην *Εικόνα 21* παρουσιάζεται ο δεύτερος κανόνας αλληλεπίδρασης. Πρόκειται για την κεντρικά ελεγχόμενη τοπολογία, όπου ένας εξωτερικός πράκτορας αποφασίζει ποιες λειτουργίες/ ενέργειες επιτελεί το κάθε μικροδίκτυο. Τα μικροδίκτυα της προκειμένης περίπτωσης συνιστούν ενιαίες ελεγχόμενες οντότητες. Μπορούν να υπάρχουν παραλλαγές, δηλαδή ένας εξωτερικός πράκτορας μπορεί να ελέγχει περισσότερα του ενός μικροδίκτυα.



Εικόνα 21: Κεντρικά ελεγχόμενη τοπολογία

5.3.2 Αρχιτεκτονικές μικροδικτύων

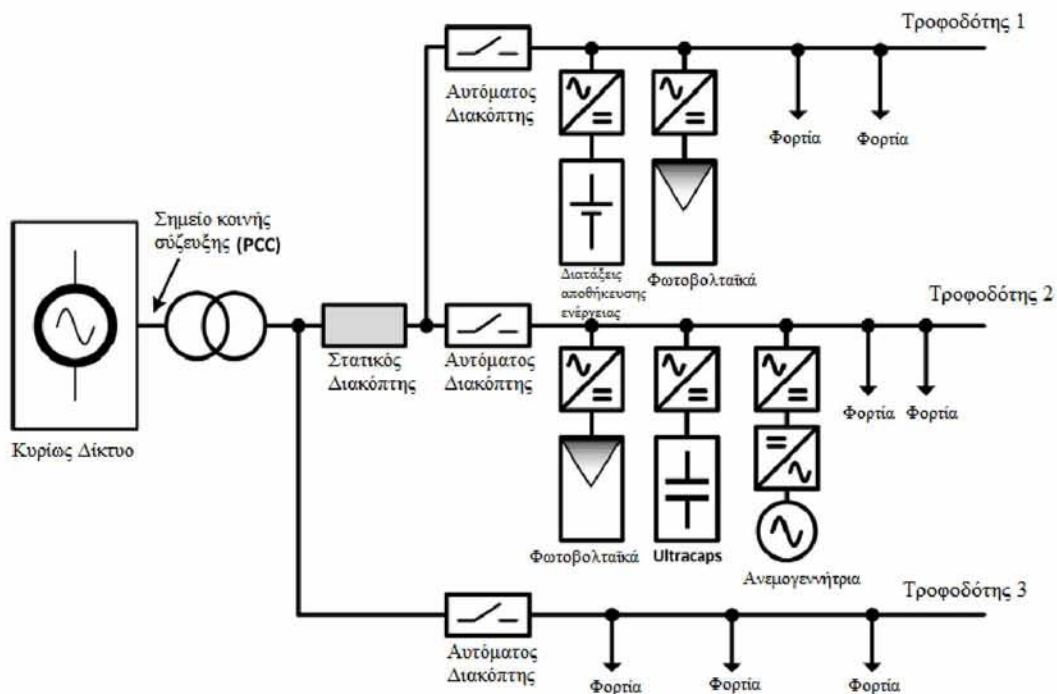
Ανάλογα με τον τρόπο σύνδεσης των αγωγών AC και DC τα μικροδίκτυα μπορούν να διακριθούν σε έξι ομάδες (28):

- i. Μικροδίκτυα AC.
- ii. Μικροδίκτυα DC.
- iii. Υβριδικά μικροδίκτυα (AC – DC).
- iv. AC μικροδίκτυα με DC αποθήκευση.
- v. Μικροδίκτυο διαιρεμένο σε ζώνες DC.
- vi. Μικροδίκτυο με μετασχηματιστή στερεάς κατάστασης (Solid State Transformer).

5.3.2.1 Μικροδίκτυα AC

Το μικροδίκτυο AC έχει έναν ή περισσότερους αγωγούς AC. Σε αυτό, κάθε συσκευή είναι συνδεδεμένη μέσω διεπαφής εναλλασσόμενου ρεύματος. Για τον λόγο αυτό οι περισσότερες κατανεμημένες γεννήτριες χρειάζονται ηλεκτρονικές διεπαφές ισχύος AC/DC.

Στην *Εικόνα 22* το μικροδίκτυο συνδέεται με το κυρίως δίκτυο στο Σημείο Κοινής Σύζευξης (PCC). Αποτελείται από τρία τροφοδοτικά εναλλασσόμενου ρεύματος. Τα τροφοδοτικά έχουν τις ίδιες συνθήκες τάσης και συχνότητας με το δίκτυο για να είναι συμβατές οι γεννήτριες, οι συσκευές αποθήκευσης ενέργειας και τα φορτία.



Εικόνα 22: Μικροδίκτυα AC.

Οι τροφοδοτές 1 και 2 περιλαμβάνουν τα κρίσιμα φορτία¹⁶ και τις κατανεμημένες γεννήτριες, ενώ τα φορτία χωρίς προτεραιότητα βρίσκονται στον τροφοδότη 3. Οι τρεις αυτόματοι διακόπτες ρυθμίζουν την παραγωγή και την κατανάλωση για τις διάφορες συνθήκες λειτουργίας.

¹⁶ Φορτία που απαιτούν αδιάλειπτη τροφοδοσία (σχετική αναφορά στην ενότητα 5.2).

Ένας στατικός διακόπτης συνδέει και αποσυνδέει το μικροδίκτυο από το δίκτυο διανομής. Συγκεκριμένα, όταν η ποιότητα του δικτύου διανομής είναι κακή¹⁷ ο στατικός διακόπτης αποσυνδέει το μικροδίκτυο από το δίκτυο διανομής. Με το άνοιγμα του στατικού διακόπτη όλα τα φορτία αποσυνδέονται. Κατ'αυτόν τον τρόπο τα κρίσιμα φορτία προστατεύονται από βλάβες ή δυσλειτουργίες εξαιτίας ενός σφάλματος δικτύου. Στη νέα κατάσταση λειτουργίας του μικροδικτύου (νησιδοποιημένη) οι νέες μονάδες τροφοδοσίας των φορτίων με προτεραιότητα είναι οι κατανεμημένες γεννήτριες, οι μπαταρίες και οι πυκνωτές.

Στη λειτουργία σύνδεσης στο δίκτυο, ένα χαρακτηριστικό που προσθέτει αξιοπιστία στο AC μικροδίκτυο είναι η απευθείας ροή ισχύος από το δίκτυο με την αποφυγή οποιουδήποτε μετατροπέα συνδεδεμένου σε σειρά. Ωστόσο, μειονέκτημα της αρχιτεκτονικής του AC μικροδικτύου απαιτούν οι πολύπλοκες διεπαφές ηλεκτρονικής ισχύος γιατί παρουσιάζουν χαμηλότερη αξιοπιστία συγκριτικά με τους μετατροπείς ισχύος με λιγότερα εξαρτήματα.

5.3.2.2 Μικροδίκτυα DC

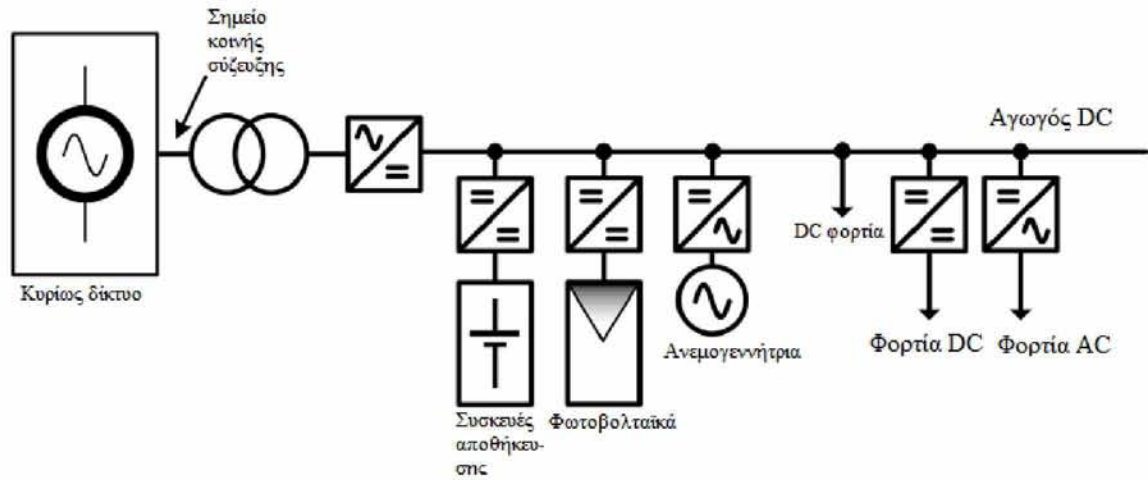
Τα DC μικροδίκτυα συνδέονται στο δίκτυο μέσω μετατροπέα AC/DC. Αυτή η διεπαφή ισχύος θα πρέπει να είναι αμφίδρομη εάν επιθυμούμε το μικροδίκτυο να εξάγει την περίσσεια παραγόμενη ισχύ.

Το DC μικροδίκτυο της *Εικόνας 23* έχει έναν αγωγό DC με ρυθμιζόμενη τάση. Οι περισσότερες κατανεμημένες γεννήτριες συνδέονται με τον αγωγό μέσω ηλεκτρονικών διεπαφών ισχύος DC/DC ή AC/DC. Τα φορτία εναλλασσόμενου ρεύματος απαιτούν μετατροπέα DC/AC, ενώ τα φορτία συνεχούς ρεύματος μπορούν να συνδεθούν στον DC αγωγό είτε απευθείας είτε με μετατροπέα DC/DC. Σε σφάλμα του δικτύου διανομής το μικροδίκτυο χρειάζεται να ρυθμίσει την τάση του αγωγού DC χωρίς τον κύριο μετατροπέα AC/DC.

Το γεγονός ότι τα φορτία εναλλασσόμενου ρεύματος δε μπορούν να συνδεθούν στο μικροδίκτυο απευθείας αποτελεί μειονέκτημα της συγκεκριμένης αρχιτεκτονικής, όπως επίσης το γεγονός ότι τα φορτία DC δεν έχουν τυποποιημένη τάση. Παρ' όλα αυτά, το DC μικροδίκτυο παρουσιάζει κάποια πλεονεκτήματα έναντι του AC μικροδικτύου, όπως είναι

¹⁷ Υπέρταση (+ 10%), υπόταση (-20%), υπερσυχνότητα (+ 0.5 Hz), υποσυχνότητα (-0.5Hz) και υπερένταση (+ 30%).

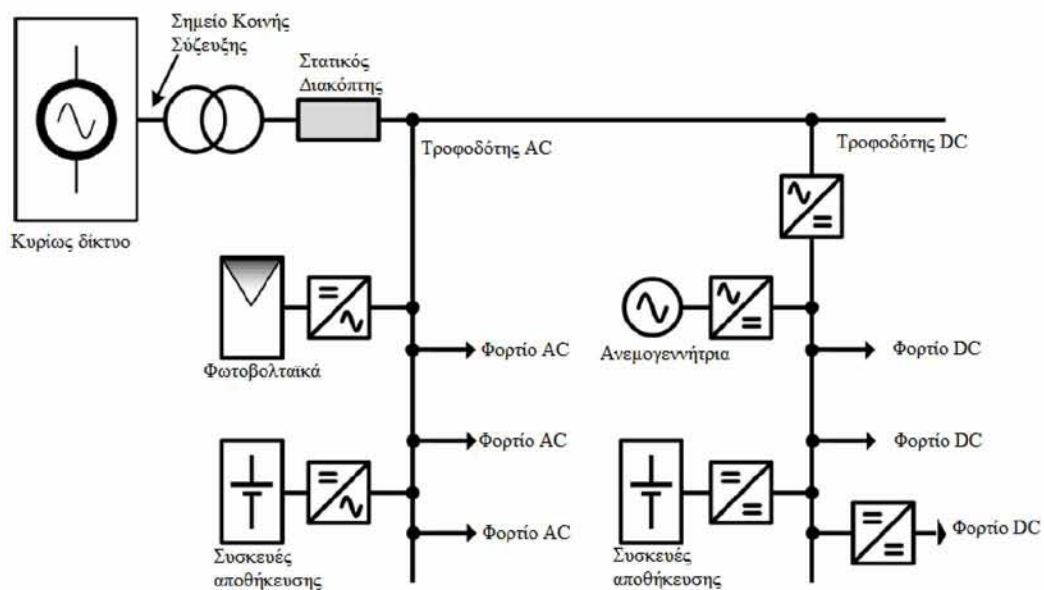
οι λιγότεροι και απλούστεροι μετατροπείς ισχύος, η δυνατότητα προσαρμογής της τάσης του διαύλου DC και η ποιότητα τάσης του διαύλου που είναι τέτοια, ώστε μερικά φορτία μπορούν να συνδεθούν άμεσα σ' αυτόν.



Εικόνα 23: Μικροδίκτυα DC.

5.3.2.3 Υβριδικά μικροδίκτυα AC – DC

Την αρχιτεκτονική υβριδικών μικροδικτύων AC-DC συνιστούν ένα μικροδίκτυο εναλλασσόμενου ρεύματος με υποδίκτυο συνεχούς ρεύματος συνδεδεμένα με αμφίδρομο μετατροπέα AC/DC. Οι καταναμημένες γεννήτριες μπορούν να συνδεθούν με τροφοδοτικά AC ή με τροφοδοτικά DC (Εικόνα 24).



Εικόνα 24: Υβριδικά μικροδίκτυα AC – DC.

Στο τροφοδοτικό εναλλασσόμενου ρεύματος συνδέονται τα αντίστοιχα φορτία εναλλασσόμενου ρεύματος και στο τροφοδοτικό συνεχούς ρεύματος είναι συνδεδεμένα τα φορτία συνεχούς ρεύματος, τα οποία χρησιμοποιούν - εάν είναι αναγκαίο - μετατροπέα ισχύος για την προσαρμογή του επιπέδου τάσης. Ανάλογα με την ισορροπία ισχύος στο τροφοδοτικό συνεχούς ρεύματος, το υποσύστημα DC μπορεί να λειτουργήσει ως γεννήτρια ή φορτίο του συστήματος AC.

Η αρχιτεκτονική υβριδικών μικροδικτύων AC - DC συνδυάζει τα πλεονεκτήματα των AC και DC μικροδικτύων. Η άμεση σύνδεση με το δίκτυο προσθέτει υψηλή αξιοπιστία και το τροφοδοτικό εναλλασσόμενου ρεύματος επιτρέπει τη χρήση του υπάρχοντος εξοπλισμού. Ο τροφοδότης DC χρησιμοποιεί απλούστερους μετατροπείς με πολλά DC φορτία να συνδέονται απευθείας στον τροφοδότη συνεχούς ρεύματος δίχως μετατροπέα ισχύος.

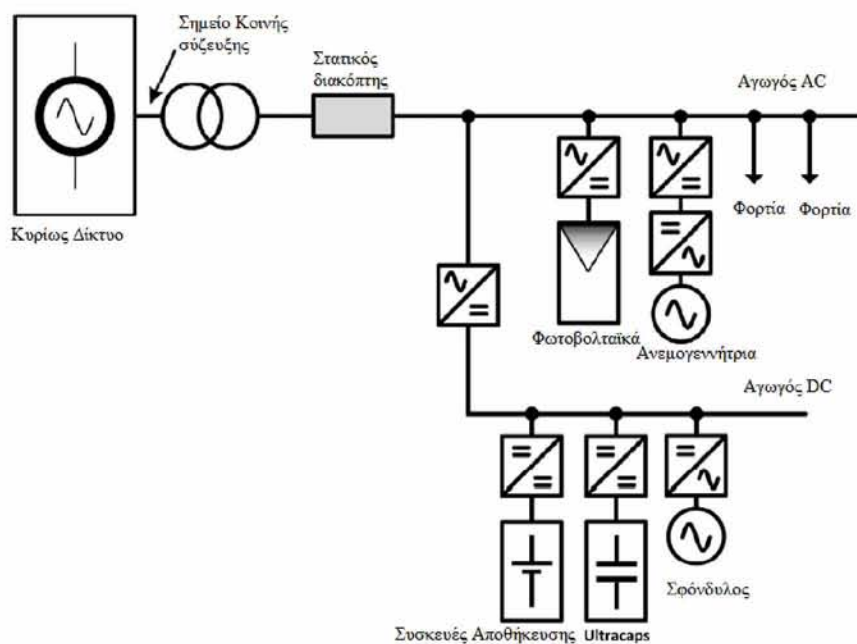
Η αρχιτεκτονική αυτή θα μπορούσε να επιλεγεί για τον διαχωρισμό των φορτίων με προτεραιότητα από τα φορτία χωρίς προτεραιότητα, με τα πρώτα φορτία να συνδέονται στον τροφοδότη DC και τα τελευταία φορτία να συνδέονται στον τροφοδότη AC.

5.3.2.4 Μικροδίκτυα AC με αποθήκευση DC

Η *Εικόνα 25* παρουσιάζει την αρχιτεκτονική μικροδικτύων AC με αποθήκευση DC. Στην παρούσα αρχιτεκτονική, οι συσκευές αποθήκευσης ενέργειας τοποθετούνται σε ξεχωριστό αγωγό DC¹⁸ από τις κατανεμημένες γεννήτριες και τα φορτία που τοποθετούνται στον αγωγό AC. Οι συσκευές αποθήκευσης ομαδοποιούνται με τέτοιο τρόπο που το μικροδίκτυο τις «βλέπει» σαν ενιαίο σύστημα αποθήκευσης ενέργειας.

Όμοια με τα μικροδίκτυα AC, τα παραπάνω μικροδίκτυα συνδέονται με το δίκτυο μέσω του στατικού διακόπτη. Αυτή η αρχιτεκτονική έχει παρόμοια απόδοση με την προηγούμενη, με τη διαφορά ότι διαχειρίζεται την αποθήκευση ενέργειας με ευκολότερο τρόπο. Μπορεί να καταστεί ιδιαίτερα χρήσιμη σε κατοικημένες περιοχές με κοινοτικές ενεργειακές υπηρεσίες, καθώς θεωρούνται ως εγκαταστάσεις που συγκεντρώνουν μέσα αποθήκευσης ενέργειας.

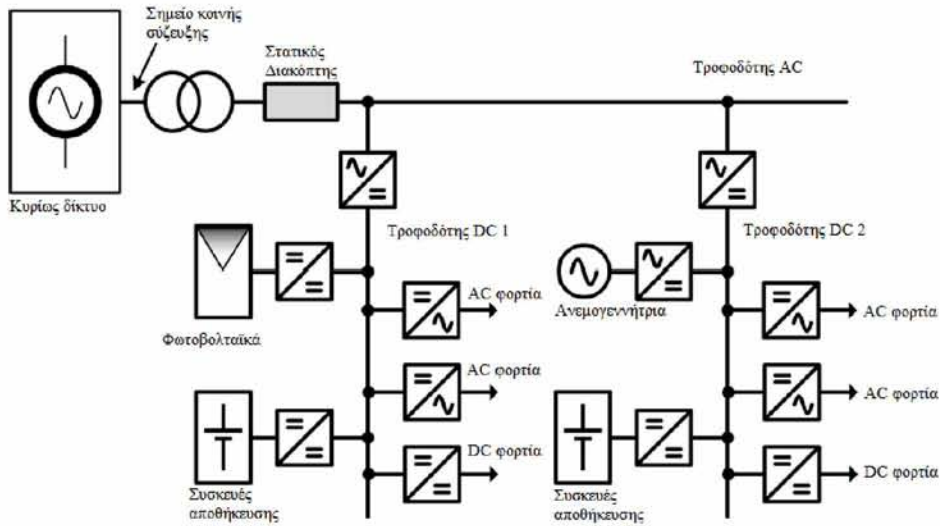
¹⁸ Σε αυτή την περίπτωση χρησιμοποιείται ηλεκτρονική διεπαφή AC/DC.



Εικόνα 25: AC μικροδίκτυα με DC αποθήκευση.

5.3.2.5 Μικροδίκτυο διαιρεμένο σε ζώνες DC

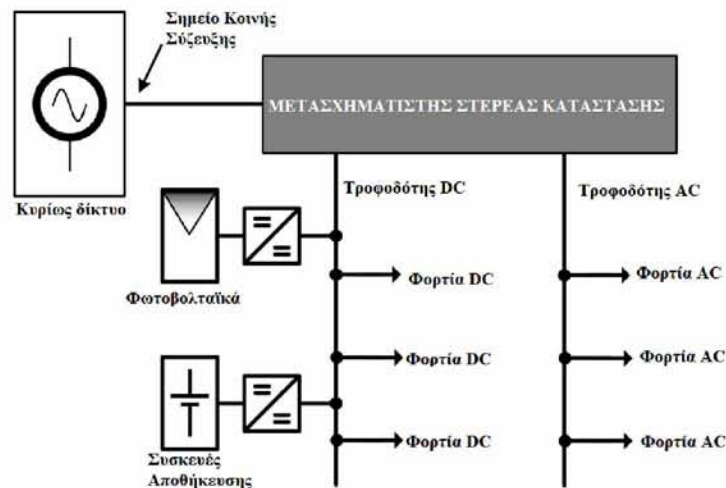
Στο μικροδίκτυο της *Εικόνας 26* οι τροφοδοτές DC 1 και DC 2 συνδέονται με τον κύριο αγωγό AC μέσω κεντρικών αμφίδρομων μετατροπέων AC/DC. Οι κατανεμημένες γεννήτριες και τα φορτία συνδέονται με τους τροφοδοτές DC με την κατάλληλη ηλεκτρονική διασύνδεση ισχύος. Τα τροφοδοτικά συνεχούς ρεύματος βελτιώνουν την απόδοση του μικροδικτύου παρέχοντας διαφορετικά επίπεδα τάσης. Τα οφέλη και τα μειονεκτήματα της παρούσας αρχιτεκτονικής είναι κοινά σε σχέση με τα μικροδίκτυα συνεχούς ρεύματος. Η διαφορά έγκειται στο ότι το μικροδίκτυο επιτρέπει διαφορετικές τεχνικές διαχείρισης σε κάθε τροφοδοτή, με το μειονέκτημα ωστόσο της πολύπλοκης διασύνδεσης μεταξύ των τροφοδοτικών. Οι εγκαταστάσεις για τις οποίες το μικροδίκτυο αυτό αποτελεί την καλύτερη επιλογή είναι εκείνες που απαιτούν υψηλότερη ποιότητα και αξιοπιστία της τάσης.



Εικόνα 26: Μικροδίκτυο διαιρεμένο σε ζώνες DC.

5.3.2.6 Μικροδίκτυο βασισμένο σε μετασχηματιστή στερεάς κατάστασης (Solid State Transformer).

Σε αυτή την αρχιτεκτονική μικροδικτύου ο μετασχηματιστής στερεάς κατάστασης (SST) αντικαθιστά τον μετασχηματιστή συχνότητας δικτύου. Έχει μικρότερο μέγεθος και λιγότερο βάρος από τον μετασχηματιστή υψηλής συχνότητας και διαχειρίζεται τη ροή ισχύος ανάμεσα στους τροφοδότες και στο δίκτυο. Η Εικόνα 27 δείχνει τα φορτία AC που συνδέονται απευθείας με τον τροφοδότη AC και τα φορτία DC που είναι συνδεδεμένα στον τροφοδότη DC. Η αιτία που οι καταναμημένες γεννήτριες συνδέονται στον τροφοδότη συνεχούς ρεύματος είναι η απλότητα των ηλεκτρονικών διεπαφών και του αλγορίθμου ελέγχου.



Εικόνα 27: Μικροδίκτυο βασισμένο σε μετασχηματιστή στερεάς κατάστασης (Solid State Transformer).

Στην αρχιτεκτονική μικροδικτύου με μετασχηματιστή στερεάς κατάστασης παράγεται ενέργεια υψηλής ποιότητας και χρησιμοποιούνται απλές ηλεκτρονικές διεπαφές. Όμως υπάρχει ο SST μειώνει την αξιοπιστία του συστήματος, καθώς είναι ένας μετατροπέας ισχύος συνδεδεμένος σε σειρά.

5.3 Το μικροδίκτυο της Κύθνου

Η δημιουργία ενός μικροδικτύου στην πράξη για τη διείσδυση των ΑΠΕ και άλλων μονάδων διεσπαρμένης παραγωγής απαιτεί παρεμβάσεις στο δίκτυο διανομής και ελέγχου. Χρειάζεται η μελέτη της συμπεριφοράς των μικροδικτύων όταν διασυνδέονται με το κυρίως δίκτυο, καθώς επίσης και της συμπεριφοράς τους σε σφάλματα και σε γενικές διακοπές.

Το ελληνικό δίκτυο είναι σχεδιασμένο στη φιλοσοφία της συγκεντρωμένης παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από μεγάλους θερμοηλεκτρικούς σταθμούς με ροή ισχύος προς μία κατεύθυνση. Η αρχιτεκτονική του είναι τέτοια που παρουσιάζει προβλήματα ευστάθειας, ελέγχου, προστασίας και αξιοπιστίας όταν γίνονται προσπάθειες μετατροπής του σε δίκτυο διεσπαρμένης παραγωγής.

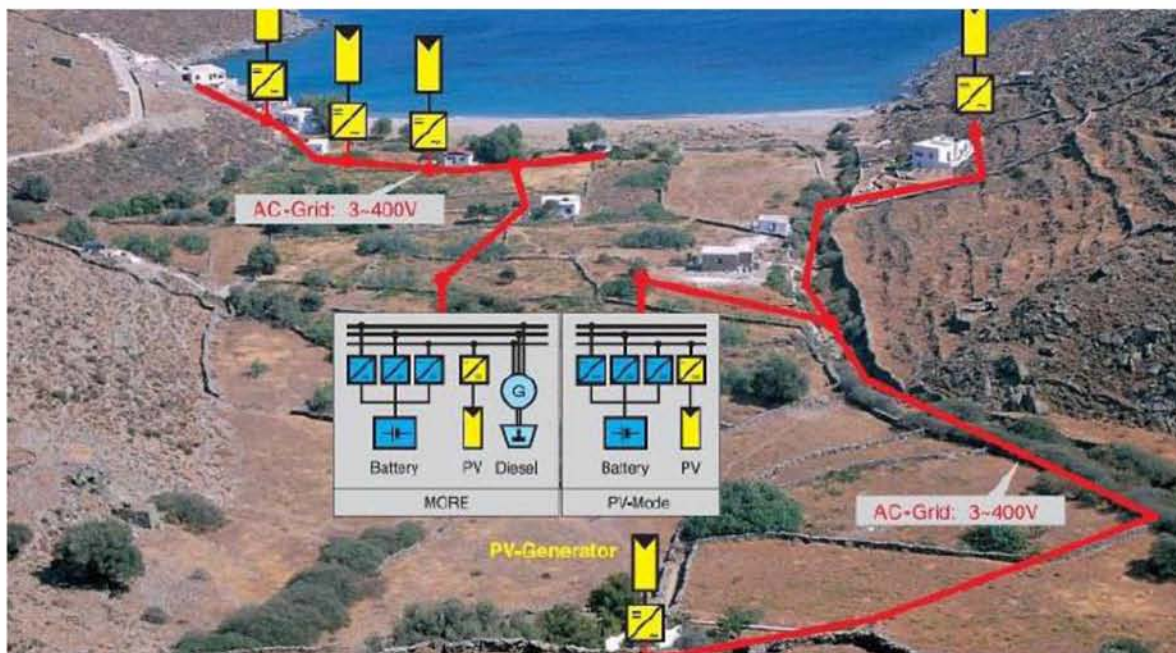
Το μικροδίκτυο της Κύθνου αποτελεί μια προσπάθεια ένταξης των μικροδικτύων στο ελληνικό δίκτυο. Πρόκειται για ένα μονοφασικό μικροδίκτυο στην περιοχή Γαϊδουρόμαντρα, έναν παραθαλάσσιο οικισμό νοτιοανατολικά του νησιού που θεωρείται δύσβατη περιοχή, απομακρυσμένη από το δίκτυο (29). Το μικροδίκτυο περιλαμβάνει δύο αυτόνομα φωτοβολταϊκά υβριδικά συστήματα και καλύπτει τις ανάγκες σε θερμότητα και ηλεκτρισμό σε δώδεκα σπίτια μιας μικρής κοιλάδας.

Βάσει κανονισμών του ΔΕΔΔΗΕ και της ΔΕΗ για σύνδεση σε σπίτια, η ισχύς που παρέχεται σε κάθε σπίτι από τις μονάδες του μικροδικτύου ελέγχεται από μία ασφάλεια των 6 Ampere. Το πλησιέστερο σημείο γραμμής μέσης τάσης του νησιού δεν ξεπερνά σε απόσταση τα 4 χιλιόμετρα από τον οικισμό.

Στη μέση του οικισμού είναι χτισμένο ένα κτήριο είκοσι τετραγωνικών μέτρων όπου στεγάζεται ο εξοπλισμός. Εκεί δηλαδή βρίσκονται οι μπαταρίες με τους αντιστροφείς τους, μια γεννήτρια diesel με ονομαστική έξοδο 5 kVA, ένας υπολογιστής ελέγχου και επικοινωνιακό υλικό. Οι μπαταρίες έχουν αντιστροφείς συνδεδεμένους παράλληλα, έτσι ώστε ανάλογα με τις ανάγκες των καταναλωτών να χρησιμοποιούνται ένας ή

περισσότεροι. Η μέγιστη ισχύς εξόδου των μπαταριών είναι 3,6 kW. Για την αποφυγή αποφόρτισης ή υπερφόρτισης των μπαταριών υπάρχουν διακόπτες ελέγχου φορτίου.

Όπως φαίνεται στην *Εικόνα 28*, στην οροφή του κτηρίου βρίσκεται ένα σύστημα που αποτελείται από φωτοβολταϊκά πάνελ περίπου 2 kWp και συνδέεται με αντιστροφέα και με μπαταρία χωρητικότητας 32 kWh. Πρόκειται για ένα σύστημα που παρέχει ισχύ για τον έλεγχο και την επικοινωνία του συστήματος. Η τροφοδοσία του οικισμού με ηλεκτρική ενέργεια πραγματοποιείται από διαφορετικό σύστημα φωτοβολταϊκών ισχύος 10 kWp που διαχωρίζονται σε υποσυστήματα και έχουν ενσωματωθεί ως υπόστεγα σε σπίτια. Επίσης υπάρχει συστοιχία μπαταριών των 53 kWh και η γεννήτρια που αναφέρθηκε προηγουμένως.



Εικόνα 28: Το μικροδίκτυο της Κύθνου.

Κεφάλαιο 6

Λειτουργία και Έλεγχος Μικροδικτύων

6.1 Εισαγωγή

6.1.1 Παράγοντες που διαμορφώνουν τον σχεδιασμό ελέγχου στα μικροδίκτυα

Κάθε μικροδίκτυο χρειάζεται ένα σύστημα ελέγχου γιατί πρέπει να παρέχει αξιόπιστη ηλεκτρική ενέργεια υψηλής ποιότητας. Ο έλεγχος των μικροδικτύων πρέπει να σχεδιαστεί σύμφωνα με τη δομή τους και την κατάσταση λειτουργίας τους και σύμφωνα με το επίπεδο της αγοράς για βέλτιστη οικονομική λειτουργία. Οι προδιαγραφές και οι ιδιαιτερότητες των μικροδικτύων πρέπει να λαμβάνονται υπόψιν μια και αυτά διαφοροποιούνται από τα κλασικά συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας.

Πλέον η ισχύς δε ρέει μόνο από την παραγωγή στα φορτία. Το γεγονός αυτό μπορεί να προκαλέσει προβλήματα στη ροή ρευμάτων βραχυκύκλωσης και στη λειτουργία ελέγχου τάσης, συνεπώς τα συστήματα προστασίας στο επίπεδο διανομής πρέπει να επαναπροσδιοριστούν. Επιπλέον ο σχεδιασμός του συστήματος ελέγχου των μικροδικτύων πρέπει να στοχεύει στη δυνατότητά τους να συνδέονται ή να απομονώνονται απρόσκοπτα από το δίκτυο (30). Πρέπει να λαμβάνεται υπόψιν πως μελλοντικά ίσως υπάρξει ανάγκη σύνδεσης νέων πηγών στο μικροδίκτυο χωρίς να τροποποιηθεί ο εξοπλισμός που ήδη υφίσταται, δηλαδή για μεγαλύτερη ευελιξία του δικτύου χρειάζεται να προσδίδεται στο σύστημα η plug and play δυνατότητα.

Ένα ιδιαίτερο χαρακτηριστικό των μικροδικτύων είναι η χαμηλή αδράνεια που παρουσιάζουν εξαιτίας των ηλεκτρονικών μετατροπέων που χρησιμοποιούνται στη σύνδεση των μονάδων διεσπαρμένης παραγωγής (31). Οι ηλεκτρονικοί μετατροπείς ισχύος προκαλούν μεταβολές στη συχνότητα. Τέτοιο πρόβλημα δε συναντάται στα κλασικά συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας όπου οι μεγάλες, σύγχρονες γεννήτριες παρέχουν τον απαιτούμενο βαθμό αδράνειας. Πέρα από τη χαμηλή αδράνεια, προβλήματα μεταβατικής

ευστάθειας μπορεί να προκύψουν όταν το δίκτυο μεταβαίνει από τη μία κατάσταση λειτουργίας στην άλλη (νησιδοποίηση/ σύνδεση στο κυρίως δίκτυο).

Οι διακυμάνσεις τάσης κι οι ανισορροπίες του συστήματος είναι σημαντικό να διορθώνονται και το ισοζύγιο ισχύος να διατηρείται. Η τάση και η συχνότητα σε μονάδες διεσπαρμένης παραγωγής που συνδέονται στο δίκτυο ελέγχονται μέσω ηλεκτρονικών μετατροπέων ισχύος. Στην προσπάθεια διατήρησης του ισοζυγίου ισχύος προκύπτει πρόβλημα αξιοπιστίας όταν το μικροδίκτυο αποσυνδέεται από το κεντρικό δίκτυο. Αυτό συμβαίνει επειδή ο βαθμός πρόβλεψης της παραγωγής και της κατανάλωσης στα μικροδίκτυα έχει κάποια αβεβαιότητα (31). Δεν είναι εύκολο να δοθούν ικανοποιητικές προβλέψεις βασιζόμενες στην καιρική πρόβλεψη και κατά συνέπεια να σχεδιαστούν κατάλληλες στρατηγικές ελέγχου.

Όσον αφορά τη ζήτηση φορτίου, οι καταναλωτές θα πρέπει να προσαρμόζουν την κατανάλωση βάσει των δυνατοτήτων του δικτύου κι αυτό μπορεί να επιτευχθεί με τον σχεδιασμό στρατηγικών διαχείρισης της ζήτησης¹⁹. Επειδή πρέπει να ικανοποιημένοι οι καταναλωτές αλλά και οι επενδυτές, στην αγορά ενέργειας χρειάζονται μοντέλα που καλλιεργούν τον βιώσιμο ανταγωνισμό ανάμεσα στους επενδυτές και τους ωθούν με οικονομικά κίνητρα στην ενασχόληση με τις ανανεώσιμες πηγές.

Τέλος πρέπει να δοθεί προσοχή στην μοντελοποίηση των μικροδικτύων διότι πράγματα που στα συνήθη συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας αποτελούν κανόνα, στα μικροδίκτυα παύουν να ισχύουν. Για παράδειγμα, η ύπαρξη τριφασικών συμμετρικών γραμμών δε θεωρείται δεδομένη ενώ οι γραμμές μεταφοράς πιθανόν να μην έχουν επαγωγικό χαρακτήρα (31).

6.1.2 Μεταβλητές ελέγχου στη νησιδοποιημένη και στη διασυνδεδεμένη με το δίκτυο λειτουργία

Από την προηγούμενη ενότητα συμπεραίνεται πως μεταβλητές ελέγχου των μικροδικτύων αποτελούν η τάση, η συχνότητα, η ενεργός ισχύς και η άεργος ισχύς. Ανάλογα με την κατάσταση λειτουργίας του μικροδικτύου αποφασίζεται σε ποιες μεταβλητές θα δοθεί έμφαση κατά τον σχεδιασμό στρατηγικών ελέγχου. Όταν το δίκτυο λειτουργεί ανεξάρτητα από το υπερκείμενο δίκτυο δίνεται προσοχή στην τάση, τη συχνότητα και το ισοζύγιο

¹⁹ Demand Side Management: Σχεδιασμός ενεργειών που αποσκοπούν στη διαχείριση της ενεργειακής κατανάλωσης ώστε να μειωθούν οι δαπάνες προμήθειας ηλεκτρικής ενέργειας. (Πηγή: www.enelx.com)

ισχύος. Όταν πρόκειται για αλληλεπίδραση του μικροδικτύου με το κυρίως δίκτυο το μικροδίκτυο εξάγει ενέργεια παρέχοντας βοηθητικές υπηρεσίες ή το κυρίως δίκτυο συνεισφέρει στην περίπτωση ελλείμματος σε φορτίο, άρα ελέγχεται η ροή ισχύος.

Στη μη αυτόνομη λειτουργία το μικροδίκτυο έχει συμπεριφορά είτε πηγής είτε ελεγχόμενου φορτίου (30). Η τάση του στο σημείο κοινής σύζευξης είναι κοινή με το κεντρικό δίκτυο και η συχνότητα του κεντρικού δικτύου επιβάλλεται και στο μικροδίκτυο. Έτσι απομένει ο έλεγχος της ισχύος που παράγουν οι μονάδες διεσπαρμένης παραγωγής και της ζήτησης σε ισχύ από τα φορτία εξυπηρέτησης.

Στη νησιδοποιημένη λειτουργία του μικροδικτύου ο έλεγχος περιπλέκεται επειδή σ' αυτή την περίπτωση δεν επιβάλλεται η συχνότητα του υπερκείμενου δικτύου, ενώ η τάση πρέπει να διατηρηθεί σε προκαθορισμένη τιμή²⁰. Αυτό μπορεί να γίνει με τη βοήθεια μικροπηγής που εκχέει άεργο ισχύ στον ζυγό στον οποίο λειτουργεί, αφού η τάση ενός ζυγού εξαρτάται από την άεργο ισχύ. Επιπλέον, δημιουργείται πρόβλημα στην ισορροπία παραγωγής και ζήτησης καθώς σταματά η ροή ισχύος από το κεντρικό δίκτυο στο μικροδίκτυο.

6.2 Η κατάληξη στο ιεραρχικό επίπεδο ελέγχου μικροδικτύου

Στην υποενότητα 6.1.1 έγινε αναφορά στους παράγοντες που επηρεάζουν τη σχεδίαση στρατηγικών ελέγχου και σε κάποια χαρακτηριστικά των μικροδικτύων συγκριτικά με τα παραδοσιακά ηλεκτρικά δίκτυα. Οι διορθώσεις και οι βελτιστοποιήσεις που προσφέρει ο έλεγχος των μικροδικτύων βρίσκουν εφαρμογή σε τεχνικά και σε οικονομικά θέματα. Τέτοια θέματα είναι η ρύθμιση τάσης, συχνότητας και ισχύος και η ελαχιστοποίηση του λειτουργικού κόστους αντίστοιχα. Έτσι, μπορεί ο έλεγχος να διαχωριστεί σε διάφορα επίπεδα με βάση αυτή τη διαφοροποίηση.

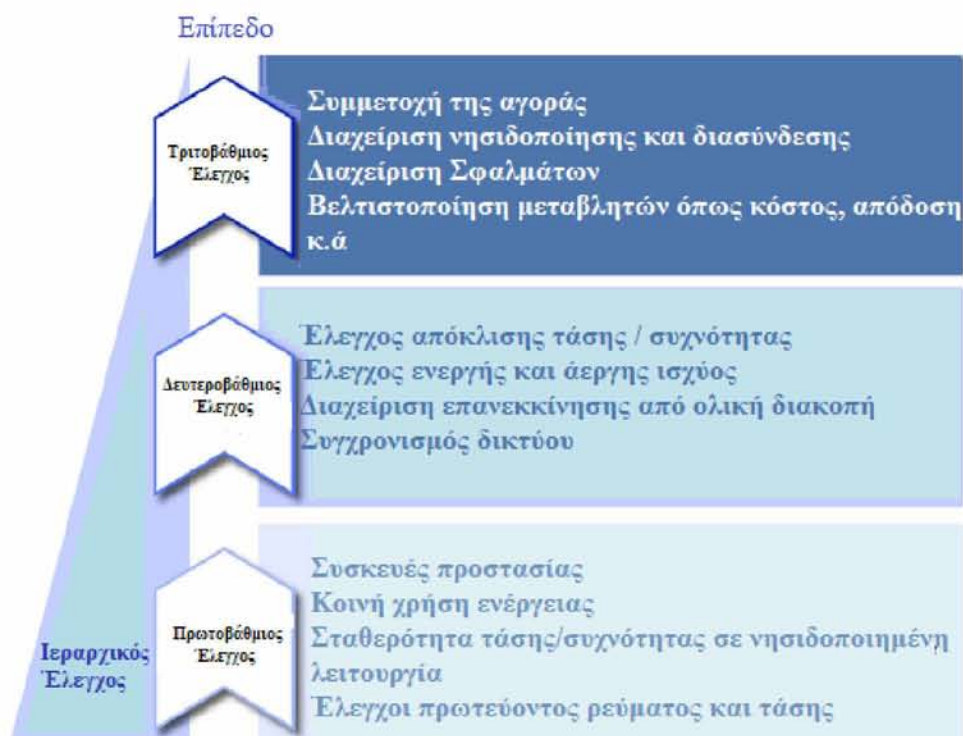
Από την άλλη, μπορεί να γίνει διαχωρισμός των τμημάτων ελέγχου με γνώμονα το χρονικό πλαίσιο εκτέλεσής τους. Για παράδειγμα η διατήρηση του ισοζυγίου ισχύος πρέπει να επιτυγχάνεται εντός δευτερολέπτων, ενώ η διόρθωση ενός σφάλματος τάσης μπορεί να έχει μεγαλύτερη διάρκεια, εξαρτώμενη από την ανοχή του συστήματος στις διάφορες τιμές της τάσης. Το διαφορετικό χρονικό πλαίσιο ελέγχου δεν είναι ανεπιθύμητο,

²⁰ Ανεκτή τιμή σε δίκτυα μέσης τάσης: +/- 10% της ονομαστικής τάσης.
Ανεκτή τιμή σε δίκτυα χαμηλής τάσης: +10%/ -15% της ονομαστικής τάσης.

πόσο μάλλον βοηθά στη διόρθωση σφαλμάτων ενός σταδίου προτού γίνει μετάβαση στο επόμενο στάδιο.

Δύο υποκατηγορίες ελέγχου είναι ο πλήρως κεντρικός έλεγχος και ο πλήρως αποκεντρωμένος έλεγχος. Ο κεντρικός έλεγχος συλλέγει δεδομένα μέσω μετρήσεων και μέσω δικτύου επικοινωνιών. Τα δεδομένα μεταφέρονται σε έναν κεντρικό ελεγκτή που με τη σειρά του τα επεξεργάζεται και ρυθμίζει το σύστημα με σήματα ελέγχου. Ο κεντρικός ελεγκτής και οι ελεγχόμενες μονάδες έχουν εκτεταμένη επικοινωνία μεταξύ τους.

Ο κεντρικός έλεγχος δείχνει αποτελεσματικός γιατί αντιμετωπίζει το σύστημα σαν σύνολο, ωστόσο συλλέγει μεγάλο όγκο δεδομένων και σε περίπτωση σφάλματος καταρρέει όλο το σύστημα. Έπειτα βασίζεται σε επικοινωνίες που σε συνδυασμό με τα χαρακτηριστικά του σύγχρονου δικτύου δεν είναι εύκολα υλοποιήσιμες. Στο μικροδίκτυο οι μονάδες είναι διεσπαρμένες σε μεγάλη γεωγραφική έκταση που σημαίνει ότι το δίκτυο επικοινωνιών θα πρέπει να είναι αρκετά εκτεταμένο. Είναι επίσης σημαντικό να αναφερθεί πως η χρήση κεντρικού ελέγχου δεν προσφέρει στο μικροδίκτυο την plug and play δυνατότητα, δηλαδή δεν είναι δυνατόν να επεκταθεί το μικροδίκτυο χωρίς περαιτέρω ρυθμίσεις επέκτασης του δικτύου επικοινωνιών.



Εικόνα 29: Δομή ιεραρχικού ελέγχου.

Στον πλήρως αποκεντρωμένο έλεγχο οι μετρήσεις και ο έλεγχος γίνονται τοπικά χωρίς καμιά επικοινωνία μεταξύ των μονάδων. Μια πλήρως αποκεντρωμένη προσέγγιση δεν είναι δυνατή αφού τα επιμέρους τμήματα του μικροδικτύου χρειάζονται κάποιο επίπεδο συντονισμού.

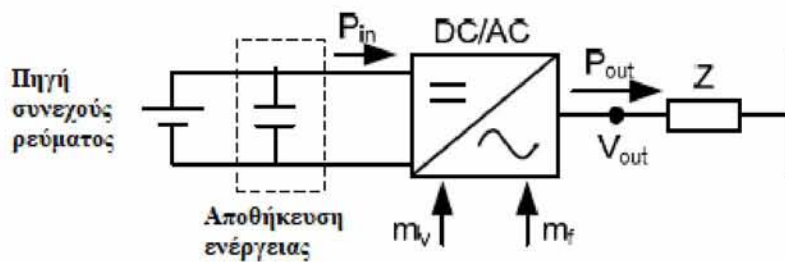
Το μοντέλο ιεραρχικού ελέγχου συνδυάζει τα πλεονεκτήματα του κεντρικού και αποκεντρωμένου ελέγχου (32). Περιλαμβάνει τρία επίπεδα με το καθένα από αυτά να επιφορτίζεται με ξεχωριστό ρόλο (πρωτοβάθμιο, δευτεροβάθμιο, τριτοβάθμιο). Κάθε ένα επίπεδο έχει διακριτό πλαίσιο εκτέλεσης από τα άλλα, αλλά επικοινωνεί μ' αυτά. Στην *Εικόνα 29* περιλαμβάνονται τα επίπεδα ελέγχου που θα αναλυθούν στην επόμενη υποενότητα και οι λειτουργίες που το καθένα επιτελεί (32).

6.3 Πρωτοβάθμιος έλεγχος

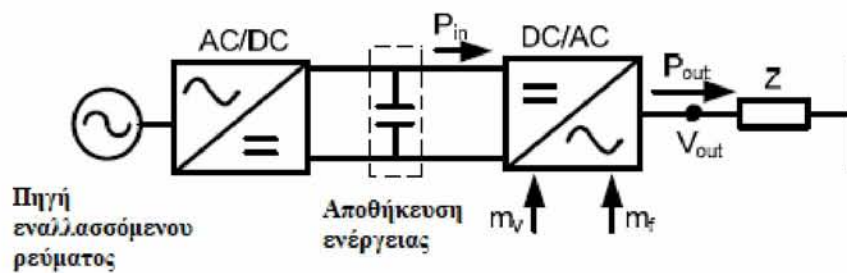
6.3.1 Εισαγωγή στον πρωτοβάθμιο έλεγχο

Ο πρωτοβάθμιος έλεγχος είναι το πρώτο επίπεδο στην ιεραρχία ελέγχου με τον μικρότερο χρόνο απόκρισης. Δεν απαιτεί επικοινωνία, λαμβάνει τοπικές μετρήσεις και επιτελεί λειτουργίες με γρήγορη απόκριση όπως η ανίχνευση νησιδοποίησης και ο έλεγχος κατανομής ισχύος μεταξύ των μονάδων παραγωγής (31). Ελέγχει επίσης την τάση και το ρεύμα των διεπαφών που συνδέονται στις μονάδες διεσπαρμένης παραγωγής.

Οι πηγές ενός μικροδικτύου μπορεί να είναι πηγές συνεχούς ρεύματος και πηγές εναλλασσόμενου ρεύματος. Πηγές συνεχούς ρεύματος αποτελούν οι κυψέλες καυσίμου, τα φωτοβολταϊκά κύτταρα και η αποθήκευση μπαταριών, ενώ πηγές εναλλασσόμενου ρεύματος αποτελούν οι μικροστρόβιλοι. Και στις δύο περιπτώσεις η τάση συνεχούς ρεύματος που παράγεται μετατρέπεται από μετατροπέα πηγής τάσης (Voltage- Source Inverters ή VSI) όπως φαίνεται στην *Εικόνα 30* για τις πηγές συνεχούς τάσης και στην *Εικόνα 31* για τις πηγές εναλλασσόμενης τάσης (33).



Εικόνα 30: Σύστημα μετατροπής τάσης σε ΔΠ συνεχούς ρεύματος



Εικόνα 31: Σύστημα μετατροπής τάσης σε ΔΠ εναλλασσόμενου ρεύματος

Οι μετατροπείς πηγής τάσης απαιτούν έλεγχο για τη ρύθμιση της συχνότητας και την προσομοίωση του χαρακτηριστικού αδρανείας των σύγχρονων γεννητριών. Ο ελεγκτής κατανομής ισχύος διαμοιράζει ενεργό και άεργο ισχύ στο μικροδίκτυο. Ο ελεγκτής εξόδου του μετατροπέα ρυθμίζει τις τάσεις και τα ρεύματα εξόδου.

6.3.2 Στρατηγικές πρωτοβάθμιου ελέγχου - Ελεγκτής εξόδου μετατροπέα

Ο έλεγχος εξόδου του μετατροπέα συνήθως αποτελείται από έναν εξωτερικό βρόχο για τον έλεγχο της τάσης και από έναν εσωτερικό βρόχο για την τρέχουσα ρύθμιση. Για τη βελτίωση της δυναμικής απόκρισης των μικροδικτύων και για την εξασφάλιση σταθερότητας στις παραμέτρους φορτίου έχουν προταθεί μέθοδοι ελέγχου πολλαπλών μεταβλητών (31). Η έρευνα που σχετίζεται με τον πολυπαραγοντικό έλεγχο μικροδικτύων επικεντρώθηκε στη ρύθμιση τάσης ενός μικροδικτύου με μονάδες διεσπαρμένης παραγωγής με αποκλειστικό φορτίο RLC όπου διαταράσσονται οι ονομαστικές τιμές των παραμέτρων φορτίου.

Παρ'όλο που έχουν διεξαχθεί έρευνες στην ανάπτυξη στρατηγικών πρωτοβάθμιου ελέγχου υπάρχουν περιθώρια βελτιστοποίησης των παρακάτω θεμάτων:

- Βελτίωση ενάντια στις τοπολογικές και παραμετρικές αβεβαιότητες.
- Βελτίωσης της μεταβατικής απόκρισης των ελεγκτών.
- Αποφυγή της ανάγκης για σύνθετη επικοινωνιακή υποδομή.
- Ενίσχυση της κλιμάκωσης των συστημάτων ελέγχου.
- Ανάπτυξη συστημάτων ελέγχου που λειτουργούν και σε νησιδοποιημένη κατάσταση και σε κατάσταση σύνδεσης στο δίκτυο και παρέχουν ομαλή μετάβαση.

6.3.3 Στρατηγικές πρωτοβάθμιου ελέγχου - Έλεγχος κατανομής ισχύος

Ο έλεγχος κατανομής ισχύος κατηγοριοποιείται ανάλογα με το αν χρησιμοποιεί την έννοια στατισμού ή όχι (droop control). Εάν ο έλεγχος κατανομής ισχύος γίνεται με χρήση κεντρικού ελεγκτή, τότε μπορεί να θεωρηθεί κομμάτι του δευτεροβάθμιου ελέγχου.

➤ *Μέθοδοι που βασίζονται σε στατισμό.*

Οι μέθοδοι ελέγχου στατισμού προέρχονται από την αρχή της ισορροπίας ισχύος των σύγχρονων γεννητριών σε μεγάλα διασυνδεδεμένα συστήματα ισχύος. Μια ανισορροπία μεταξύ της μηχανικής ισχύος εισόδου μιας γεννήτριας και της ηλεκτρικής ισχύος εξόδου της επηρεάζει την ταχύτητα του δρομέα και προκαλεί απόκλιση στη συχνότητα. Ομοίως, μεταβολή της αέργου ισχύος εξόδου οδηγεί σε απόκλιση στο μέγεθος της τάσης.

Η μέθοδος ελέγχου απόκλισης συχνότητας – ισχύος είναι ιδιότητα των συμβατικών μονάδων διεσπαρμένης παραγωγής στη λειτουργία σταθερής κατάστασης. Στις μονάδες διεσπαρμένης παραγωγής με ηλεκτρονική διασύνδεση μπορεί να κατασκευαστεί τεχνητά.

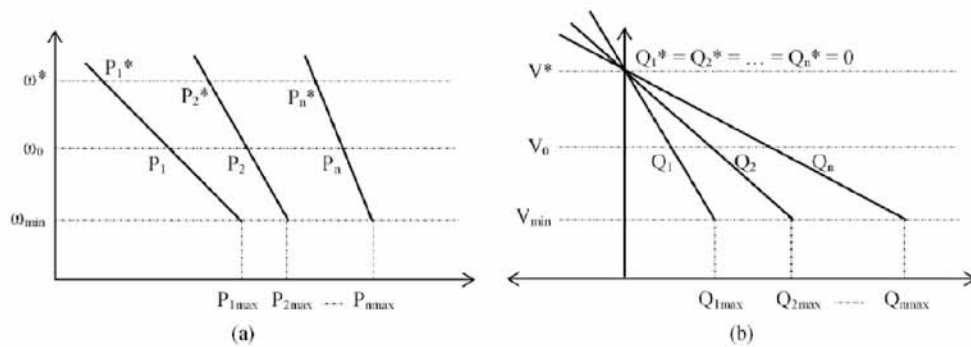
Στη θεωρία στατισμού ισχύουν οι παρακάτω σχέσεις που συνδέουν την πραγματική ισχύ με τη συχνότητα και την άεργο ισχύ με την τάση αντίστοιχα:

$$\omega_o = \omega^* - K_P (P_o - P^*) \quad (1)$$

$$V_o = V^* - K_Q (Q_o - Q^*) \quad (2)$$

- ω^* : τιμή αναφοράς γωνιακής συχνότητας
- V^* : τιμή αναφοράς γωνιακής τάσης
- ω_0 : συχνότητα εξόδου του συστήματος ΔΠ
- V_0 : τάση του συστήματος ΔΠ
- K_P, K_Q : συντελεστές στατισμού

Στην *Εικόνα 30* παρουσιάζονται οι χαρακτηριστικές στατισμού (droop characteristics) $P-\omega$ και $Q-V$ με την υπόθεση ότι σε συνθήκες ονομαστικής τάσης οι μονάδες διεσπαρμένης παραγωγής δεν παρέχουν άεργη ισχύ στο δίκτυο. Τα ω_{\min} και V_{\min} του σχήματος είναι η ελάχιστη αποδεκτή συχνότητα και η ελάχιστη αποδεκτή τάση εξόδου.



Εικόνα 32: Χαρακτηριστική droop: συχνότητα ($P-\omega$) και τάση ($Q-V$)

Η μέθοδος ελέγχου στατισμού έχει σαν βασικό πλεονέκτημα ότι δρα σε τοπικές μετρήσεις και έτσι απομακρύνει την ανάγκη για επικοινωνία. Εφόσον διατηρείται η ισορροπία παραγωγής και ζήτησης οι τοπικοί ελεγκτές επιτελούν τη λειτουργία τους βάσει τοπικών μετρήσεων χωρίς να αλληλοεξαρτώνται. Ωστόσο, δεν παύουν να υπάρχουν κάποια μειονεκτήματα. Για παράδειγμα υπάρχει αδυναμία επανεκκίνησης του συστήματος μετά από ολική διακοπή γιατί απαιτώνται ειδικές διατάξεις για την αποκατάσταση του συστήματος. Δεν παρέχεται ακριβής κατανομή ισχύος μεταξύ των μονάδων διεσπαρμένης παραγωγής λόγω αβεβαιότητας της αντίστασης εξόδου, ενώ σαν μέθοδος είναι ακατάλληλη για μη γραμμικά φορτία επειδή δε λαμβάνει υπόψη τα αρμονικά ρεύματα.

➤ **Μέθοδοι που δε βασίζονται σε στατισμό.**

Οι παρακάτω μέθοδοι πρωτοβάθμιου ελέγχου προτείνονται για μικροδίκτυα πολλαπλών μονάδων διεσπαρμένης παραγωγής.

- Σε έναν κεντρικό έλεγχο γίνεται μέτρηση του συνολικού ρεύματος φορτίου και μεταδίδεται σε έναν κεντρικό ελεγκτή. Προσδιορίζεται η συμβολή κάθε μονάδας κατανεμημένης παραγωγής με βάση τα χαρακτηριστικά της. Ένας εξωτερικός βρόχος ελέγχει ταυτόχρονα την τάση του συστήματος. Αυτή η μέθοδος έχει ως αποτέλεσμα το γρήγορο μετριασμό των μεταβατικών, αν όμως αποτύχει η επικοινωνία θα οδηγήσει σε κατάρρευση του συστήματος.
- **Στρατηγική ελέγχου master-slave.** Σ' αυτή τη στρατηγική ελέγχου μια κυρίαρχη μονάδα διεσπαρμένης παραγωγής αναλαμβάνει να διατηρεί την τάση του συστήματος μέσα σε ένα επιτρεπτό εύρος. Το φορτίο τροφοδοτείται από άλλες μονάδες. Η μέθοδος master-slave είναι ευέλικτη στη σύνδεση και αποδύνδεση των μονάδων ΔΠ όσο το φορτίο και η παραγωγή βρίσκονται σε ισορροπία. Ωστόσο είναι η κρίσιμη η παρουσία της κυρίαρχης μονάδας ΔΠ.
- **Έλεγχος τάσης και κατανομής ισχύος σε μικροδίκτυο πολλαπλών παράλληλων μονάδων ΔΠ.** Αυτή η μέθοδος χρησιμοποιεί ζεύξη επικοινωνίας χαμηλού εύρους ζώνης για την κατανομή ισχύος και τον έλεγχο της τάσης μέσω κεντρικού ελεγκτή. Οι τοπικοί ελεγκτές έχουν την ευθύνη απόρριψης αρμονικών και ανισορροπιών.

6.4 Δευτεροβάθμιος έλεγχος ή Σύστημα Διαχείρισης Ενέργειας του Μικροδικτύου (EMS)

6.4.1 Εισαγωγή στον δευτεροβάθμιο έλεγχο

Στην επόμενη βαθμίδα βρίσκεται ο δευτεροβάθμιος έλεγχος που λειτουργεί πιο αργά σε σύγκριση με τον πρωτοβάθμιο. Υπάρχει για να παρέχει στο μικροδίκτυο ασφάλεια και αξιοπιστία και για να διασφαλίζει την οικονομική λειτουργία του μικροδικτύου σε οποιαδήποτε κατάσταση λειτουργίας. Όταν το μικροδίκτυο είναι απομονωμένο πρέπει να παρακολουθεί το φορτίο και τη διαθέσιμη παραγωγή και να διατηρεί τη συχνότητα και την τάση σε ονομαστικές τιμές. Ο δευτεροβάθμιος έλεγχος κρίνεται ιδιαίτερα σημαντικός

στην ανεξάρτητη λειτουργία του μικροδικτύου. Σε αυτή την περίπτωση θεωρείται το υψηλότερο ιεραρχικό επίπεδο ελέγχου, που σημαίνει πως πρέπει να διασφαλίσει τη δυνατότητα επανεκκίνησης του δικτύου (black start) και τον επανασυγχρονισμό κατά τη μετάβαση από νησιδοποιημένη λειτουργία σε διασυνδεδεμένη με το δίκτυο λειτουργία (32).

Το σύστημα διαχείρισης ενέργειας αναθέτει την παραγωγή στις μονάδες ανάλογα με τα φορτία προς εξυπηρέτηση και αποκαθιστά μόνιμα σφάλματα στη συχνότητα και στην τάση που προκύπτουν από τις ρυθμίσεις του πρωτοβάθμιου ελέγχου. Μπορεί να χωριστεί σε κεντρικό και μη κεντρικό έλεγχο. Ο μη κεντρικός έλεγχος επιτρέπει την αλληλεπίδραση των διαφόρων μονάδων μέσα στο μικροδίκτυο. Διακρίνεται σε αποκεντρωμένο και διεσπαρμένο έλεγχο. Μπορεί να ενσωματώσει νέες μονάδες χωρίς αλλαγές στις ρυθμίσεις του ελεγκτή, όμως αντιμετωπίζει δυσκολίες σε μικροδίκτυα που απαιτούν υψηλά επίπεδα συντονισμού.

Η κεντρική προσέγγιση βασίζεται στη λειτουργία ενός κεντρικού ελεγκτή. Ο κεντρικός ελεγκτής διασφαλίζει την απρόσκοπτη λειτουργία του συστήματος τροφοδοσίας σε διαταραχές όπως η αποσύνδεση από το κύριο δίκτυο. Στη σύνδεση με το υπερκείμενο δίκτυο ο κύριος ελεγκτής ανταλλάσσει πληροφορίες με τοπικούς πράκτορες που ελέγχουν τις μονάδες διεσπαρμένης παραγωγής για να καθοριστούν οι προσφορές αγορών και πωλήσεων και έτσι να βελτιστοποιήσει την οικονομική λειτουργία του μικροδικτύου. Παρ'ότι στον κεντρικό έλεγχο όλες οι πληροφορίες συγκεντρώνονται σε ένα σημείο το χαρακτηριστικό plug-and-play δεν υποστηρίζεται.

Ανάλογα με το μικροδίκτυο μπορεί να επιλεγεί η καταλληλότερη προσέγγιση. Για απομονωμένα μικροδίκτυα με κρίσιμα ισοζύγια ζήτησης και προσφοράς προτιμάται ο συγκεντρωτικός έλεγχος. Για πολλά μικροδίκτυα που συνδέονται στο δίκτυο και για μεταβαλλόμενο αριθμό μονάδων διεσπαρμένης παραγωγής προτιμάται η αποκεντρωμένη προσέγγιση.

6.4.2 Αποκεντρωμένος δευτεροβάθμιος έλεγχος

Ο αποκεντρωμένος δευτεροβάθμιος έλεγχος προσπαθεί να λύσει το πρόβλημα διαχείρισης ενέργειας και να παρέχει υψηλότερη αυτονομία για διαφορετικές μονάδες ΔΠ και φορτία.

Η αυτονομία επιτυγχάνεται με τη χρήση μιας ιεραρχικής δομής τριών επιπέδων:

- Διαχειριστής Δικτύου Διανομής (DNO): Είναι υπεύθυνος για την αλληλεπίδραση του μικροδικτύου με το δίκτυο διανομής και με τα γειτονικά μικροδίκτυα, οπότε αποτελεί μέρος του τριτογενούς ελέγχου.
- Κεντρικός ελεγκτής μικροδικτύου (MGCC): Συντονίζει τη συνολική λειτουργία των κατανεμημένων ενεργειακών πόρων και φορτίων εντός του μικροδικτύου. Είναι υπεύθυνος για την αλληλεπίδραση με το κύριο δίκτυο και την αξιόπιστη και οικονομική λειτουργία τους.
- Τοπικοί ελεγκτές (Local Controllers): Ελέγχουν μονάδες ΔΠ μέσα στο μικροδίκτυο ή σε ένα σύνολο μικροδικτύων αλληλεπιδρώντας με ελεγκτές υψηλότερου επιπέδου. Ένας τοπικός ελεγκτής μπορεί στην αποκεντρωμένη αρχιτεκτονική να επικοινωνήσει με έναν κεντρικό ελεγκτή μικροδικτύου για να ζητήσει ή να προσφέρει υπηρεσία και να ανταλλάξει οποιεσδήποτε πληροφορίες που σχετίζονται με τη λειτουργία του μικροδικτύου.

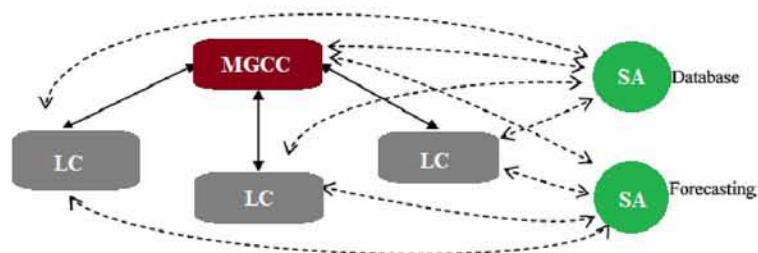
Από τα παραπάνω φαίνεται αυτή η προσέγγιση να εξακολουθεί να χρησιμοποιεί την ιεραρχική δομή για την ανταλλαγή δεδομένων. Ωστόσο, οι αποφάσεις σχετικά με τις μεταβλητές ελέγχου λαμβάνονται, ενσωματώνονται στον τοπικό ελεγκτή και αποφεύγεται η επικοινωνία με στρατηγικές ελέγχου ανώτερου επιπέδου. Πρόκειται για ένα σημαντικό χαρακτηριστικό που δίνει στο δίκτυο τη δυνατότητα στο μικροδίκτυο να λειτουργήσει κανονικά μετά την αποσύνδεση μιας ελαττωματικής μονάδας.

Τα αποκεντρωμένα δευτερεύοντα συστήματα ελέγχου χρησιμοποιούν το σύστημα πολλαπλών πρακτόρων (31). Το σύστημα αυτό αποτελείται από πολλούς ευφυείς πράκτορες με τοπικές πληροφορίες που αλληλεπιδρούν για να πετύχουν τοπικούς και συνολικούς στόχους. Η απόδοση του συστήματος επηρεάζεται από τη συνδεσιμότητα των πρακτόρων, τις λειτουργίες τους και τα χαρακτηριστικά της πληροφορίας που

μοιράζονται. Αν και υπάρχει δυνατότητα επικοινωνίας μεταξύ των πρακτόρων, μεγάλο μέρος του ελέγχου τους εκτελείται τοπικά.

Ένας δευτεροβάθμιος έλεγχος που βασίζεται σε σύστημα πολλαπλών πρακτόρων έχει προταθεί για τη συντονισμένη λειτουργία μικροδικτύων σε ανταγωνιστικό περιβάλλον με πολλούς παραγωγούς. Οι καταναλωτές, οι παραγωγοί, το σύστημα αποθήκευσης ενέργειας και το κυρίως δίκτυο συμμετέχουν στην αγορά ενέργειας. Ανάλογα με τις ιδιαίτερες ανάγκες, τους τεχνικούς περιορισμούς, τις προβλέψεις και τις προσδοκίες στέλνουν στον κεντρικό ελεγκτή (MGCC) προσφορές αγοράς και πώλησης.

Στη διαχείριση προγραμματισμού λειτουργίας πολλαπλών σταδίων στα συστήματα αποκεντρωμένου ελέγχου δεν διατίθενται όλες οι απαραίτητες πληροφορίες για την κατάσταση του συστήματος, τις προβλέψεις δεδομένων και τις λειτουργίες κόστους. Τον προγραμματισμό πολλαπλών σταδίων μπορεί να υποστηρίξει μια αρχιτεκτονική ελέγχου που χρησιμοποιεί πρόσθετους πράκτορες της οποίας η σχηματική αναπαράσταση δίνεται στην *Εικόνα 33*. Για την καλύτερη διαχείριση των ενεργειακών πόρων οι πράκτορες εξυπηρέτησης (SAs) παρέχουν στους κεντρικούς ελεγκτές (LCs) υπηρεσίες πρόβλεψης πληροφοριών και βάσεων δεδομένων.



Εικόνα 33: Αποκεντρωμένο, δευτεροβάθμιο σύστημα ελέγχου πολλαπλών πρακτόρων με πράκτορες εξυπηρέτησης.

6.4.3 Κεντρικός δευτεροβάθμιος έλεγχος

Μια αρχιτεκτονική κεντρικού δευτερεύοντος ελέγχου αποτελείται από έναν κεντρικό ελεγκτή. Στον ελεγκτή συλλέγονται μεταβλητές όπως η ενεργή και άεργη ισχύς από τις μονάδες ΔΠ, από συστήματα αποθήκευσης ενέργειας κι από τα κρίσιμα φορτία.

Συγκεντρώνονται επίσης κάποια τεχνικά χαρακτηριστικά, ζητήματα ασφάλειας και περιορισμοί του δικτύου. Επίσης συστήματα πρόγνωσης τοπικού φορτίου, ταχύτητας ανέμου και ηλιακής ακτινοβολίας είναι χρήσιμα για την αποστολή πόρων σύμφωνα με τους επιλεγμένους στόχους. Ο λόγος που στον κεντρικό έλεγχο υπάρχουν υψηλές απαιτήσεις σε επικοινωνία είναι ότι οι προαναφερθείσες μεταβλητές συλλέγονται από τις ανώτερες μονάδες ελέγχου (π.χ. το SCADA του υπερκείμενου δικτύου) (32).

Όταν οι πολλοί ιδιοκτήτες μονάδων διεσπαρμένης παραγωγής δε μοιράζονται κοινά συμφέροντα, η κεντρική στρατηγική έλεγχου συναντά δυσκολίες. Συνεπώς συνίσταται σε περιπτώσεις μικροδικτύων μικρής κλίμακας με έναν ή ελάχιστους ιδιοκτήτες. Ο Πίνακας 6 συνοψίζει τα διαφορετικά χαρακτηριστικά ανάμεσα στον κεντρικό και στον αποκεντρωμένο έλεγχο μικροδικτύων και βοηθά στην καλύτερη κατανόησή τους.

Πίνακας 6: Διαφορές ανάμεσα στον κεντρικό έλεγχο και στον αποκεντρωμένο έλεγχο.

Χαρακτηριστικό	Κεντρικός έλεγχος	Αποκεντρωμένος έλεγχος
Ιδιοκτησία Κατανεμημένης Παραγωγής	Ένας ιδιοκτήτης	Πολλοί ιδιοκτήτες
Στόχοι	Μια ξεκάθαρη, μεμονωμένη εργασία	Αβεβαιότητα για το τι επιθυμεί ο κάθε ιδιοκτήτης σε κάποια συγκεκριμένη στιγμή
Διαθεσιμότητα Λειτουργικού Προσωπικού (παρακολούθηση, ειδικές λειτουργίες μεταγωγής κλπ)	Διαθέσιμο	Μη διαθέσιμο
Συμμετοχή της αγοράς	Όλες οι μονάδες συνεργάζονται	Ορισμένες μονάδες μπορεί να είναι ανταγωνιστικές
Εγκατάσταση νέου εξοπλισμού	Απαιτήσεις σε εξειδικευμένο προσωπικό	Δυνατότητα plug-and-play
Απαιτήσεις σε επικοινωνία	Υψηλές	Χαμηλές
Η λειτουργία του μικροδικτύου συνδέεται με μια μεγαλύτερη λειτουργία	Πιθανόν	Όχι

6.5 Τριτοβάθμιος έλεγχος

6.5.1 Εισαγωγή στον τριτοβάθμιο έλεγχο

Κάθε μικροδίκτυο που αλληλεπιδρά με άλλα μικροδίκτυα μπορεί να συνδέεται με το κυρίως δίκτυο στο σημείο κοινής σύζευξης και να ανταλλάσσει ισχύ μ'αυτό. Ο τριτοβάθμιος έλεγχος – το υψηλότερο επίπεδο ελέγχου – θεωρείται κομμάτι του δικτύου και όχι του μικροδικτύου γιατί συντονίζει τα μικροδίκτυα που το συνιστούν. Μπαίνει σε ισχύ αφότου το μικροδίκτυο συνδεθεί με το δίκτυο διανομής και έχει περισσότερο χρόνο λειτουργίας από τα υπόλοιπα επίπεδα ελέγχου.

Κατά τη σύνδεση ενός μικροδικτύου στο κυρίως δίκτυο ο τριτοβάθμιος έλεγχος διαχειρίζεται τη ροή ενεργού και άεργου ισχύος ρυθμίζοντας την τάση και τη συχνότητα του μικροδικτύου. Η λειτουργία του μπορεί να γίνει με κεντρική προσέγγιση όπου το επίπεδο τριτογενούς ελέγχου βρίσκεται στο MGCC (μπορεί να είναι το σύστημα SCADA) ή με κατακεντρωμένη προσέγγιση όπου ο έλεγχος διανέμεται στους τοπικούς ελεγκτές²¹.

6.5.2 Κεντρική διαχείριση

Μια πρώτη πρόταση τριτοβάθμιου ελέγχου είναι ένας κεντρικός ιεραρχικός έλεγχος αποτελούμενος από τρία επίπεδα. Οι τιμές ισχύος μετρώνται στο σημείο κοινής σύζευξης και συγκρίνονται με τις επιθυμητές τιμές προκειμένου να παραχθούν οι αναφορές συχνότητας και τάσης για το δευτερεύον επίπεδο.

Αυτή η στρατηγική λαμβάνει υπόψη παράγοντες όπως η πρόβλεψη των τιμών ηλεκτρικής ενέργειας, της παραγωγής και ζήτησης ισχύος πέρα από την εξασφάλιση ελέγχου τάσης. Αυτό γίνεται για να βελτιωθεί η αλληλεπίδραση του μικροδικτύου με το κεντρικό δίκτυο και η αλληλεπίδραση των μέσων αποθήκευσης ενέργειας με τους κατακεντρωμένους ενεργειακούς πόρους.

6.5.3 Κατακεντρωμένη διαχείριση

Αν και το τριτοβάθμιο επίπεδο ελέγχου συχνά εντοπίζεται στο κύριο δίκτυο και όχι στο μικροδίκτυο, υπάρχουν προσεγγίσεις όπου ο τριτογενής έλεγχος τοποθετείται με

²¹ Ομοίως δηλαδή με τον δευτεροβάθμιο έλεγχο

κατανεμημένο τρόπο στο δίκτυο. Παρ'όλο που αυτές οι στρατηγικές βελτιώνουν την ευελιξία των μικροδικτύων, η πιο συχνά ακολουθούμενη τάση είναι η χρήση κεντρικών στρατηγικών. Ο λόγος είναι ότι παράγοντες βάσει των οποίων επιτυγχάνεται ο συντονισμός των συσκευών στο μικροδίκτυο δύσκολα ενσωματώνονται σε κάθε συσκευή. Τέτοιοι είναι η πρόβλεψη των προφίλ παραγωγής και ζήτησης, η ροή ενέργειας στο μικροδίκτυο, η αγορά ενέργειας κλπ.

Κεφάλαιο 7

Συμπεράσματα

Η κατανεμημένη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας δεν είναι νέο φαινόμενο, αλλά μάλιστα αποτελούσε τον κανόνα στα πρώτα ηλεκτρικά δίκτυα. Το παραδοσιακό ηλεκτρικό δίκτυο μεταβάλλεται, ανανεώνεται με βάση τις ανάγκες που δημιουργούνται και μετατρέπεται σταδιακά σε ένα ευφύες ηλεκτρικό δίκτυο ενσωματώνοντας διεσπαρμένες πηγές ενέργειας. Η παρούσα διπλωματική μελετά αυτή τη μετάβαση και αναλύει τις συνιστώσες του σύγχρονου ηλεκτρικού δικτύου.

Είδαμε πως τα μικροδίκτυα αποτελούν μέσο τόνωσης της βιώσιμης ανάπτυξης και μπορούν να λειτουργήσουν με την υποστήριξη του δικτύου ή χωρίς αυτή, γεγονός που τα καθιστά λύση σε περίπτωση βλάβης του δικτύου ηλεκτρικού ρεύματος. Η διπλωματική εργασία παρέχει μια γενική εικόνα των μικροδικτύων, επεξεργάζεται διάφορες πτυχές του τρόπου λειτουργίας και ελέγχου τους και κάνει ανασκόπηση διαφόρων αρχιτεκτονικών τους.

Τα μικροδίκτυα βοηθούν στην ενσωμάτωση μονάδων διεσπαρμένης παραγωγής στο κυρίως δίκτυο. Ωστόσο απαιτούν πολυπλοκότερες στρατηγικές ελέγχου από ό,τι το συμβατικό δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας. Έτσι, προτάθηκαν διάφορες προσεγγίσεις πρωτοβάθμιου, δευτεροβάθμιου και τριτοβάθμιου ελέγχου.

Εάν πρέπει να επιλεγεί η καταλληλότερη προσέγγιση στο πρώτο επίπεδο ελέγχου, ο έλεγχος στατισμού σε οποιαδήποτε λειτουργία του δικτύου παρέχει plug-and-play δυνατότητα και εξασφαλίζει την κατανομή ισχύος των συσκευών. Στον δευτεροβάθμιο έλεγχο έχουν παρουσιαστεί συγκεντρωτικές και αποκεντρωμένες στρατηγικές για χαμηλής κλίμακας μικροδίκτυα και πολλαπλών χρηστών αντίστοιχα. Τέλος, στον τριτοβάθμιο έλεγχο χρησιμοποιούνται παρόμοιες τεχνικές με προτίμηση στον κεντρικό έλεγχο για καλύτερο συντονισμό των μονάδων.

Βιβλιογραφία

- [1] **Ιωάννης, Μαυρογιάννης.** *Ηλεκτροκίνητα μέσα μεταφοράς στην Ελλάδα - Υφιστάμενη κατάσταση και προοπτικές.* Αθήνα : s.n., Ιανουάριος 2006. TEE.
- [2] **Γαβριήλ Β. Γιαννακόπουλος, Νικόλαος Α. Βοβός.** *Εισαγωγή στα Συστήματα Ηλεκτρικής Ενέργειας.* s.l. : Εκδόσεις ΖΗΤΗ, 2017. σ. 336. 978-960-456-105-6.
- [3] www.dei.gr. [Ηλεκτρονικό]
- [4] **Αναστασιάδης, Ανέστης Γ.** *Συμβολή στην Διαχείριση Μικροδικτύων Ηλεκτρικής Ενέργειας με Ενσωμάτωση Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας και Συστημάτων Συμπαράγωγής Ηλεκτρισμού και Θερμότητας (Thesis).* Αθήνα : s.n., 2014.
- [5] **Michael Vanderzee, Doug Fisher, Gail Powley, Rumi Mohammad.** SCADA: Supervisory Control and Data Acquisition. σσ. 13-26.
- [6] **ΑΔΜΗΕ.** *Δεκαετές Πρόγραμμα Ανάπτυξης Συστήματος Μεταφοράς 2018 - 2027.* Αθήνα : s.n., 2018.
- [7] *Έκθεση για την απόδοση λειτουργίας του συστήματος μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας (Έτος 2018).* 2019. σ. 36, Έκθεση.
- [8] **ΔΕΔΔΗΕ, Διαχειριστής Ελληνικού Δικτύου Ηλεκτρικής Ενέργειας.** www.deddie.gr. [Ηλεκτρονικό]
- [9] **Κωνσταντίνος, Νικολλέτος.** *Η νέα δομή των συστημάτων ηλεκτρικής ενέργειας στην απελευθερωμένη αγορά.* Πάτρα : Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Τεχνολογίας Υπολογιστών, 2015.
- [10] **Λέκκα, Μαρία Έλενα.** *Απελευθέρωση της αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας στην Ελλάδα. Θεσμικές και οικονομικές προεκτάσεις.* Αθήνα : s.n., 2017. σ. 95, Master Thesis.
- [11] **Thomas Ackermann, Goran Andersson, Lennart Soder.** Distributed generation: a definition. *Electric Power Systems Research.* December 2000, pp. 195-204.
- [12] *Distributed generation: definition, benefits and issues.* **Guido Pepermans, Dries Haeseldonckx, Ronnie Belmans, William D'haeseleer.** Energy Policy, 2005, p. 20.
- [13] *Recent Trends in Distributed Generation.* **Mohan Kashyap, Jai SINGH Arya, Bhanu Partap Singh.** 2018. p. 9.
- [14] *Distributed generation technologies, definitions and benefits.* **W. El-Khattam, M.M.A. Salama.** 2004, Electric Power Systems Research, σσ. 119-128.
- [15] *Distributed energy resources and benefits to the environment.* **Mudathir Funsho Akorede, Hashim Hizam, Edris Pouresmaeil.** Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2009, Elsevier, p. October.

- [16] **James Larminie, Andrew Dicks.** *Fuel Cell Systems Explained.* West Sussex PO19 8SQ, England : s.n., 2003.
- [17] *Flywheel energy and power storage systems.* **Bjorn Bolund, Hans Bernhoff, Mats Leijon.** Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2005, Elsevier, pp. 235–258.
- [18] **(EAC), The Electricity Advisory Committee.** *Smart Grid: Enabler Of The New Energy Economy.* 2008.
- [19] *Εξυπνα ηλεκτρικά δίκτυα: από την καινοτομία στην αξιοποίηση.* Βρυξέλλες : s.n., 2011. Ευρωπαϊκή Επιτροπή.
- [20] **Κωνσταντίνος, Ανδρεάδης.** *Ευφυή Συστήματα Μέτρησης και Διαχείρισης Ηλεκτρικής Ενέργειας.* s.l. : ΔΕΔΔΗΕ, 2014.
- [21] **Institute, Electric Power Research.** *Estimating the Costs and Benefits of the Smart Grid.* Palo Alto : s.n., 2011.
- [22] *Microgrids A review of technologies, key drivers and outstanding issues.* **Adam Hirsch, Yael Parag, Josep Guerrero.** s.l. : ScienceDirect, σσ. 402–411.
- [23] **Faisal Mumtaz, Islam Safak Bayram.** Planning, Operation, and Protection of Microgrids: An Overview. *Energy Procedia.* 2016, pp. 94-100.
- [24] *Microgrids-Large Scale Integration of Microgeneration to Low Voltage Grids.* **Nikos D. Hatziargyriou, Nick Jenkins, G. Strbac, Joao Abel Peças Lopes.** 2006.
- [25] *Microgrid clustering architectures.* **Eduard Bullich-Massagué, Francisco Díaz-González, Mònica Aragüés-Peñalba.** Barcelona : s.n., 2018.
- [26] **Shahidullah Chowdhury, S.P. Chowdhury, P.A. Crossley.** *Microgrids and Active Distribution Networks.* 2009. 978-1-84919-014-5.
- [27] *Microgrid: A Conceptual Solution.* **Robert H. Lasseter, Paolo Piagi.** Madison, Wisconsin : s.n., 2004.
- [28] *Microgrid architectures for low voltage distributed generation.* **Iván Patrao, Emilio Figueres, Gabriel Garcerá, Raúl González - Medina.** Valencia : s.n., 2014.
- [29] **Ηλίου, Γεώργιος.** *Μελέτη Αυτόνομου Υβριδικού Ηλεκτρικού Δικτύου, Thesis.* Πάτρα : s.n., 2017.
- [30] **Mahmoud, Magdi S.** *MICROGRID Advanced Control Methods And Renewable Energy System Integration .* 978-0-08-101753-1.
- [31] *Trends in Microgrid Control.* **Cañizares, Claudio A.** IEEE transactions on smart grid, July 2014, Τόμ. 5.
- [32] *Hybrid ac/dc microgrids — Part II : Review and classification.* **Eneko Unamuno, Jon Andoni Barrena.** Spain : s.n., 2015.

- [33] **Wei Huang^a, Miao Lua, Li Zhang^b**. Survey on Microgrid Control Strategies. September 2011.
- [34] **Δημήτρης Μεζαρτάσογλου, Κ.Ν.Σταμπολής, Ι.Χατζηβασιλειάδης**. *Ο Ελληνικός Ενεργειακός Τομέας - Ετήσια Έκθεση 2019*. s.l. : IENE (Ινστιτούτο Ενέργειας ΝΑ Ευρώπης), 2019.