



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ

ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ

ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

Η ΕΝΣΩΜΑΤΩΣΗ ΤΩΝ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΩΝ ΠΗΓΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΑ ΕΥΦΥΗ ΔΙΚΤΥΑ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Διπλωματική Εργασία

Θεοδωρόπουλος Απόστολος

Τσιαγκάλης Δημήτριος

Επιβλέπων Καθηγητής:
Μπαργιώτας Δημήτριος

Συνεπιβλέπων Καθηγητής:
Τσουκαλάς Ελευθέριος

Βόλος 2019



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ

ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ

ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

Η ΕΝΣΩΜΑΤΩΣΗ ΤΩΝ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΩΝ ΠΗΓΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΑ ΕΥΦΥΗ ΔΙΚΤΥΑ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Διπλωματική Εργασία

Θεοδωρόπουλος Απόστολος

Τσιαγκάλης Δημήτριος

Επιβλέπων Καθηγητής:
Μπαργιώτας Δημήτριος

Συνεπιβλέπων Καθηγητής:
Τσουκαλάς Ελευθέριος

Βόλος 2019



UNIVERSITY OF THESSALY

SCHOOL OF ENGINEERING

DEPARTMENT OF ELECTRICAL AND COMPUTER ENGINEERING

**INTEGRATION OF RENEWABLE ENERGY
SOURCES IN SMART GRIDS**

Diploma Thesis

Theodoropoulos Apostolos

Tsiagaklis Dimitrios

Supervisor:
Bargiotas Dimitrios

Co-supervisor:
Tsoukalas Lefteri

Volos 2019

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Με αφορμή την παρούσα διπλωματική εργασία θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε ιδιαίτερα τον επιβλέποντα καθηγητή κ. Μπαργιώτα Δημήτριο για την καθοδήγησή και τις χρήσιμες συμβουλές που προσέφερε, καθώς και τον κ. Τσουκαλά Ελευθέριο ως συνεπιβλέποντα της εργασίας.

Επίσης, θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε τις οικογένειές μας για την ψυχολογική και οικονομική υποστήριξη κατά τη διάρκεια των σπουδών μας.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στόχος της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η ανάδειξη του σημαντικού ρόλου που διαδραματίζουν οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας στην εξέλιξη του ηλεκτρικού δικτύου και τη μετάβασή του σε ένα ευφυές δίκτυο.

Στο Κεφάλαιο 1 παραθέτονται ιστορικά στοιχεία για το ηλεκτρικό δίκτυο, καθώς και προσωπικότητες που συνέβαλαν στη διαμόρφωση του όπως είναι σήμερα. Επίσης, περιγράφονται η εξέλιξη του ελληνικού ηλεκτρικού δικτύου και τα βασικά μεγέθη του.

Στο Κεφάλαιο 2 γίνεται αναφορά στις βασικές μορφές ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, καθώς και τις μεθόδους αξιοποίησής τους.

Στο Κεφάλαιο 3 αναλύεται η αρχιτεκτονική του ευφυούς δικτύου δίνοντας βαρύτητα στον μηχανισμό διαχείρισης πλευράς ζήτησης και στα ευέλικτα συστήματα μετάδοσης AC. Ακόμη, γίνεται αναφορά στα πλεονεκτήματά του ευφυούς δικτύου, αλλά και στις προκλήσεις που καλείται να αντιμετωπίσει.

Τέλος, στο Κεφάλαιο 4 παρουσιάζονται η δομή του μικροδικτύου, το σύστημα ενεργειακής διαχείρισής, καθώς και οι τεχνικές και οικονομικές προκλήσεις υλοποίησής του.

ABSTRACT

The purpose of this thesis is to highlight the important role played by renewable energy sources in the evolution of the electricity grid and its transition to a smart grid.

Chapter 1 lists historical data on the electricity grid, as well as personalities who helped shape it as it is today. It also describes the evolution of the Greek electricity network and its basic sizes.

Chapter 2 deals with the basic forms of renewable energy, as well as methods to exploit them.

Chapter 3 analyzes the architecture of the smart grid, emphasizing on demand side management and flexible AC transmission systems. Furthermore, this chapter lists the advantages and challenges of smart grids.

Finally, Chapter 4 presents the structure of the microgrid, its energy management system and major technical and economical challenges of implementing it .

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΟΧΟΜΕΝΩΝ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ	v
ABSTRACT	vi
ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ	vii
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1	1
ΕΙΣΑΓΩΓΗ	1
1.1 Ιστορική αναδρομή	1
1.2 Ο πόλεμος των ρευμάτων	2
1.3 Εξέλιξη στην Ευρώπη	3
1.4 Εξέλιξη του δικτύου στην Ελλάδα	5
1.5 Γενική περιγραφή ενός ηλεκτρικού δικτύου	6
1.6 Δομή του ελληνικού ηλεκτρικού δικτύου	8
1.6.1 Μεγέθη του δικτύου Διανομής	10
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2	13
ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ	13
2.1 Εισαγωγή	13
2.2 Ηλιακή Ενέργεια	14
2.2.1 Φωτοβολταϊκή Τεχνολογία (PV)	14
2.2.2 Τρόπος κατασκευής και βαθμός απόδοσης	15
2.2.3 Φωτοβολταϊκά στην Ελλάδα	16
2.2.4 Τεχνολογία Συγκεντρωτικής Ηλιακής Ενέργειας (CSP)	17
2.3 Αιολική Ενέργεια	19
2.3.1 Ανεμογεννήτριες Οριζόντιου Άξονα	20
2.3.2 Ανεμογεννήτριες Κατακόρυφου Άξονα	20
2.3.3 Υιοθέτηση της αιολικής ενέργειας	20
2.4 Υδροηλεκτρική Ενέργεια	21
2.4.1 Τρόπος λειτουργίας	21
2.5 Βιομάζα	23
2.5.1 Βιοκαύσιμα	23
2.5.2 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα	24

2.5.3	Αξιοποίηση	24
2.6	Γεωθερμία	25
2.6.1	Γεωθερμία για ψύξη ή θέρμανση	25
2.6.2	Γεωθερμία για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας	26
2.7	Ενέργεια από τη θάλασσα	28
2.8	Κύρια πλεονεκτήματα των ΑΠΕ	29
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3		31
ΕΥΦΥΗ ΔΙΚΤΥΑ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ		31
3.1	Εισαγωγή	31
3.2	Αρχιτεκτονική Ευφυούς Δικτύου	31
3.2.1	Τομέας Καταναλωτών	32
3.2.2	Τομέας Αγοράς	33
3.2.3	Τομέας Παροχής Υπηρεσιών	33
3.2.4	Τομέας Κέντρου Ενέργειών	34
3.2.5	Τομέας Παραγωγής	34
3.2.6	Τομέας Μεταφοράς	35
3.2.7	Τομέας Διανομής	35
3.3	Διαχείριση Πλευράς Ζήτησης	36
3.3.1	Άμεσος έλεγχος φορτίου	38
3.3.2	Τιμολογιακά κίνητρα	38
3.4	FACTS	40
3.4.1	Στατικός αντισταθμιστής VAR	41
3.4.2	Στατικός σύγχρονος αντισταθμιστής	42
3.4.3	Στατικός σύγχρονος σε σειρά αντισταθμιστής	44
3.4.4	Σε σειρά αντισταθμιστής ελεγχόμενος από θυρίστορ	45
3.5	Τα πλεονεκτήματα ενός Ευφυούς Δικτύου	46
3.5.1	Αξιοπιστία	47
3.5.2	Αποδοτικότητα	47
3.5.3	Ευελιξία	48
3.5.4	Ενδυνάμωση του καταναλωτή	48
3.5.5	Φιλικό προς το περιβάλλον	49
3.5.6	Ποιότητα της ενέργειας	49
3.5.7	Ασφάλεια	50

3.5.8	Οικονομία	50
3.6	Οι προκλήσεις του ευφυούς δικτύου	51
3.6.1	Μειωμένη αξιοπιστία και ασφάλεια	51
3.6.2	Ιδιωτικότητα	52
3.6.3	Υποβαθμισμένη περιβαλλοντική ποιότητα	53
3.6.4	Οικονομικά	54
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4		56
ΜΙΚΡΟΔΙΚΤΥΟ		56
4.1	Εισαγωγή	56
4.2	Δομή του Μικροδικτύου	56
4.3	Διανεμημένη παραγωγή	57
4.4	Αποθήκευση ενέργειας	58
4.4.1	Αντλησιοταμίευση	59
4.4.2	Σφόνδυλοι	59
4.4.3	Πεπιεσμένος αέρας	60
4.4.4	Μπαταρίες	61
4.4.5	Υπεραγώγιμη αποθήκευση	61
4.4.6	Υπερπυκνωτές	62
4.4.7	Σύγκριση των συστημάτων αποθήκευσης ενέργειας	63
4.5	Έλεγχος και διαχείριση του μικροδικτύου	63
4.5.1	Δομή του EMS	65
4.5.2	Μονάδα προγνωστικών καιρού και ζήτησης	65
4.5.3	Μονάδα διαχείρισης ιστορικών στοιχείων	66
4.5.4	Μονάδα διαχείρισης πλευράς ζήτησης	66
4.5.5	Μονάδα εκτίμησης κατάστασης και ροής ενέργειας	67
4.5.6	Μονάδα κατανομής	67
4.5.7	Κεντρικό και αποκεντρωμένο EMS	69
4.6	Προκλήσεις των μικροδικτύων	71
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5		73
ΕΠΙΛΟΓΟΣ		73
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ		74

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

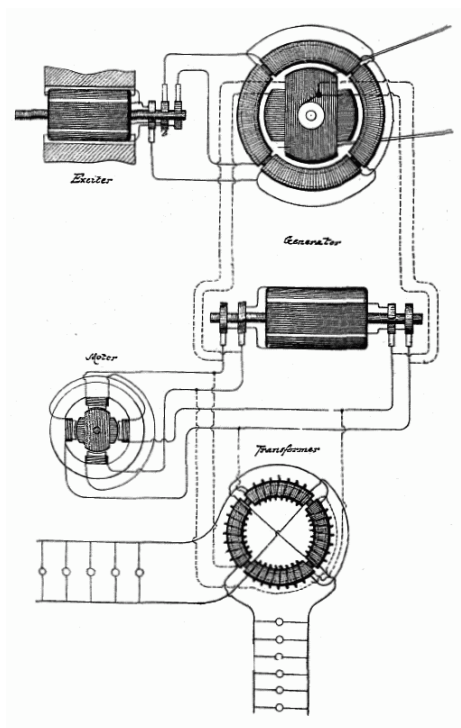
Πολλές καινοτομίες της τεχνολογίας άλλαξαν το πρόσωπο του πλανήτη: λαμπτήρες, μηχανές, τρανζίστορ, μικροεπεξεργαστές, ρομποτική και υπολογιστές. Η εξέλιξη της σύγχρονης κοινωνίας έχει συνδεθεί με την ηλεκτρική ενέργεια τόσο για την επιβίωση του ανθρώπινου είδους, όσο και για τη βελτίωση της ποιότητας ζωής (ψυχαγωγία, τηλεπικοινωνίες και μεταποιημένα αγαθά). Η ηλεκτρική ενέργεια αποτελεί τη βασική μορφή ενέργειας ενός προοδευτικού πολιτισμού.

1.1 Ιστορική αναδρομή

Στη δεκαετία του 1880, όταν ξεκίνησε η κατασκευή του Αμερικανικού ηλεκτρικού δικτύου, ο ηλεκτρισμός είχε να ανταγωνιστεί άλλα μέσα φωτισμού, θέρμανσης και παραγωγής ενέργειας. Όσον αφορά την παραγωγή κινητικής ενέργειας, κύριοι ανταγωνιστές ήταν ο πεπιεσμένος αέρας, οι ατμομηχανές, οι μηχανές εσωτερικής καύσης και το υδραυλικό σύστημα. Στον τομέα της θέρμανσης είχε να αντιμετωπίσει τον άνθρακα και το αέριο, ενώ στον τομέα του φωτισμού, το λάδι και το αέριο. Οι εταιρείες ηλεκτρικής ενέργειας αντιλήφθηκαν πως δεν θα μπορούσαν να στοχεύσουν όλους τους παραπάνω τομείς ταυτόχρονα κι έτσι στράφηκαν αρχικά στον φωτισμό, με στόχο την οικονομική επέκταση. Ο φωτισμός μέσω του ηλεκτρισμού σύντομα έγινε η πιο συμφέρουσα επιλογή, με αποτέλεσμα πλούσιες γειτονίες κι αργότερα μεγάλες πόλεις να φωταγωγούνται χρησιμοποιώντας ως βάση τον ηλεκτρισμό. Το τραμ έκανε την εμφάνισή του, και το 1888 είχε πλέον πάρει τη θέση της άμαξας. Την ίδια εποχή ξεκίνησε και η τροφοδοσία εργοστασίων με ηλεκτρική ενέργεια, ενώ οι ηλεκτρικοί κινητήρες εδραιώθηκαν στις αρχές του επόμενου αιώνα. Μειώνοντας τις χρεώσεις μεγάλων καταναλωτών, οι εταιρείες ηλεκτρικής ενέργειας πήραν τα ηνία από τον ατμό και στράφηκαν στην κεντρική παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, τη διανομή και τη διαχείριση του συστήματος. Με τη μετάδοση ισχύος σε μεγάλες αποστάσεις έγινε δυνατή η διασύνδεση σταθμών παραγωγής για την εξισορρόπηση του φορτίου και τη βελτίωση της αξιοπιστίας του δικτύου.

1.2 Ο πόλεμος των ρευμάτων

Κατά τη διάρκεια της δεκαετίας του 1880 αναπτύχθηκαν δύο διαφορετικοί τύποι συστημάτων ηλεκτρικής ενέργειας: το σύστημα DC ή συνεχούς ρεύματος και το σύστημα AC ή εναλλασσόμενου ρεύματος. Ο ανταγωνισμός μεταξύ των δύο συστημάτων ήταν έντονος [1]. Η διανομή της ηλεκτρικής ενέργειας ξεκίνησε με την Edison Electric του Thomas Edison το 1881, μέσω ενός συστήματος συνεχούς ρεύματος χαμηλής τάσης (LVDC). Ωστόσο, το σύστημα αυτό παρουσίαζε σημαντικά μειονεκτήματα στη μαζική παραγωγή και διανομή ηλεκτρικής ενέργειας. Την ίδια εποχή, Ο Nikola Tesla, οραματιζόταν ήδη τη μετάδοση ηλεκτρικής ενέργειας σε μεγάλες αποστάσεις. Έτσι, το 1884 μετά από παραίτησή του από την εταιρεία του Edison, άρχισε να καταπιάνεται με το πρόβλημα της μετάδοσης. Μετά από συνάντηση του με τους Alfred S. Brown και Charles F. Peck, ιδρύουν την Tesla Electric Company το 1887 [2]. Ο Tesla είχε πλέον στη διάθεση του ένα εργαστήριο όπου μπορούσε να εργαστεί πάνω σε νέους κινητήρες. Μετά από έναν χρόνο, το 1888, εφευρίσκει τη γεννήτρια εναλλασσόμενου ρεύματος (Σχήμα 1.1).



Σχήμα 1.1: Πατέντα της γεννήτρια AC του Τέσλα (1888).

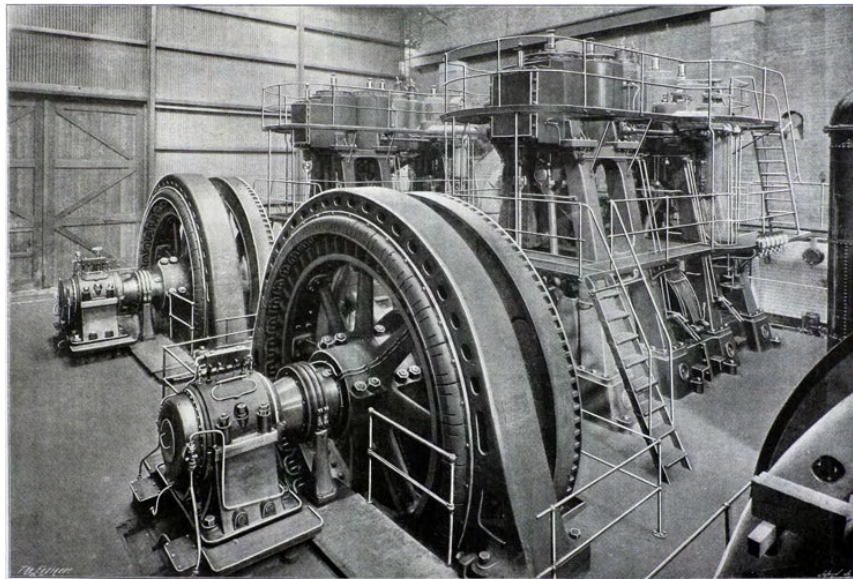
Για να δημοσιοποιήσουν τη νέα εφεύρεση, στέλνουν δελτία τύπου σε εφημερίδες και τεχνικά άρθρα. Μηχανικοί της Westinghouse, συνειδητοποιώντας πως ο κινητήρας του Tesla ήταν λειτουργικός και βιώσιμος, ενημερώνουν τον ιδιοκτήτη George Westinghouse. Εκείνος, μετά από προσφορά \$60,000 και \$2.50 ανά παραγόμενο ίππο, αποκτά τα δικαιώματα της μηχανής. Μόλις γίνεται γνωστό το γεγονός αυτό, ξεκινάει ένας διαφημιστικός πόλεμος ανάμεσα σε Edison και Westinghouse. Έχοντας επενδύσει πολλά χρήματα σε εργοστάσια DC, ο Edison παρουσιάζει το δικό του σύστημα ως το πιο ασφαλές από τα δύο, εκμεταλλευόμενος τον φόβο του κόσμου στις νέες τεχνολογίες.

Το 1893, χάρη στο έργο του Tesla, άρχισε να λειτουργεί το πρώτο σύγχρονο εργοστάσιο παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Το 1914, λειτουργούν ήδη 55 ηλεκτρικά συστήματα μετάδοσης και από τη δεκαετία του 1930 παρέχεται αξιόπιστη ισχύς στον αμερικανικό αγροτικό πληθυσμό. Μέχρι το 1960, οι επιχειρήσεις ηλεκτρισμού άρχισαν να εργάζονται από κοινού για τη μείωση των μπλακ άουτ, την καλύτερη κατανομή της παραγωγής, την εξισορρόπηση παραγωγής - ζήτησης και τον διαμοιρασμό ενέργειας ανάμεσα σε περιοχές. Μετά την ενεργειακή κρίση της δεκαετίας του 1970, το Κογκρέσο άλλαξε τη δομή του δικτύου για να επιτρέψει τον ανταγωνισμό στον τομέα της ενέργειας. Έτσι, θα μπορούσαν να εισέλθουν στην αγορά επιχειρήσεις που παρήγαγαν πιο αποδοτική ή βασισμένη σε ανανεώσιμες πηγές ενέργεια, ενώ οι φορείς εκμετάλλευσης (ISOs και RTOs) διατηρούσαν μονοπώλιο στη διαχείριση του δικτύου - μια αλλαγή που είναι γνωστή ως “αναδιάρθρωση”. Καθώς η ζήτηση για ηλεκτρική ενέργεια μεγάλωνε, ιδιαίτερα στην εποχή μετά τον Β΄ Παγκόσμιο Πόλεμο, οι επιχειρήσεις ηλεκτρικής ενέργειας διαπίστωσαν ότι ήταν πιο αποτελεσματική η διασύνδεση των συστημάτων μετάδοσης. Με την αυξανόμενη ζήτηση και τη συνοδευτική ανάγκη για νέες μονάδες ηλεκτροπαραγωγής προέκυψε η ανάγκη για διασυνδέσεις υψηλότερης τάσης για τη μεταφορά ισχύος.

1.3 Εξέλιξη στην Ευρώπη

Στην Ευρώπη και πιο συγκεκριμένα στο Ηνωμένο Βασίλειο, ο Charles Merz, της συμβουλευτικής εταιρείας Merz & McLellan, έκτισε τον πρώτο τριφασικό ηλεκτροπαραγωγικό σταθμό του Ηνωμένου Βασιλείου το 1901 στον ποταμό Tyne, κοντά

στο Newcastle. Ο σταθμός ονομάστηκε Neptune Bank (Σχήμα 1.2) και μέχρι το 1912 είχε εξελιχθεί στο μεγαλύτερο ολοκληρωμένο σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας στην Ευρώπη. Ο Merz διορίστηκε επικεφαλής της κοινοβουλευτικής επιτροπής και τα ευρήματά του οδήγησαν στην έκθεση Williamson το 1918, η οποία αποτέλεσε πρόδρομο για το νομοσχέδιο του 1919 που αφορούσε την παροχή ηλεκτρικού ρεύματος. Το νομοσχέδιο αυτό ήταν το πρώτο βήμα προς ένα ολοκληρωμένο σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας. Επτά χρόνια αργότερα, το 1926, ο νόμος περί παροχής ηλεκτρικού ρεύματος έθεσε τη βάση για τη δημιουργία του εθνικού δικτύου. Το Κεντρικό Συμβούλιο Ηλεκτρισμού τυποποίησε τον εφοδιασμό ηλεκτρικής ενέργειας του έθνους και καθιέρωσε το πρώτο συγχρονισμένο δίκτυο εναλλασσόμενου ρεύματος, το οποίο λειτουργούσε στα 132 kV και 50 Hz. Αυτό αποτέλεσε το πρώτο Εθνικό Δίκτυο [3], το 1938.



Σχήμα 1.2: Το εσωτερικό του τριφασικού σταθμού Neptune Bank.

1.4 Εξέλιξη του δικτύου στην Ελλάδα

Το έτος 1889 «έφτασε» ο ηλεκτρισμός στην Ελλάδα. Σύμφωνα με τα ιστορικά στοιχεία της ΔΕΗ Α.Ε., η «Γενική Εταιρεία Εργοληψιών» κατασκεύασε στην Αθήνα, στην οδό Αριστείδου, την πρώτη μονάδα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Το πρώτο κτίριο που φωτίζεται είναι τα Ανάκτορα και πολύ σύντομα ο ηλεκτροφωτισμός επεκτείνεται στο σημερινό ιστορικό κέντρο της πόλης. Τον ίδιο χρόνο ηλεκτροδοτείται επίσης η Θεσσαλονίκη, η οποία ανήκει ακόμα στην Οθωμανική Αυτοκρατορία. Η «Βελγική Εταιρεία» αναλαμβάνει απ' τις τουρκικές αρχές τον φωτισμό και την τροχοδρόμηση της πόλης με την κατασκευή εργοστασίου παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Δέκα χρόνια αργότερα κάνουν την εμφάνισή τους στην Ελλάδα οι πολυεθνικές εταιρείες ηλεκτρισμού. Η αμερικανική εταιρεία Thomson-Houston με τη συμμετοχή της Εθνικής Τράπεζας ιδρύουν την «Ελληνική Ηλεκτρική Εταιρεία» που αναλαμβάνει την ηλεκτροδότηση μεγάλων ελληνικών πόλεων. Μέχρι το 1929 θα έχουν ηλεκτροδοτηθεί 250 πόλεις με πληθυσμό άνω των 5.000 κατοίκων.

Στις πιο απομακρυσμένες και αραιοκατοικημένες περιοχές, που ήταν οικονομικά ασύμφορο για τις μεγάλες εταιρείες να κατασκευάσουν μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, την ηλεκτροδότηση αναλαμβάνουν ιδιώτες ή δημοτικές και κοινοτικές αρχές κατασκευάζοντας μικρά εργοστάσια. Το έτος 1950 υπήρχαν στην Ελλάδα περίπου 400 εταιρείες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Ως πρωτογενή καύσιμα χρησιμοποιούσαν το πετρέλαιο και τον γαιάνθρακα, αμφότερα εισαγόμενα από το εξωτερικό.

Η κατάτμηση της παραγωγής σε πολλές μικρές μονάδες, σε συνδυασμό με τα εισαγόμενα καύσιμα, εξωθούσε την τιμή της ηλεκτρικής ενέργειας στα ύψη, φτάνοντας στο τριπλάσιο μέχρι και πενταπλάσιο των τιμών που ίσχυαν στις άλλες ευρωπαϊκές χώρες. Η ηλεκτρική ενέργεια αποτελούσε αγαθό πολυτελείας, αν και τις περισσότερες φορές παρεχόταν με ωράριο, ενώ οι ξαφνικές διακοπές ήταν σύνηθες φαινόμενο.

Τον Αύγουστο του 1950 ιδρύθηκε η ΔΕΗ και ως εκ τούτου, οι δραστηριότητες παραγωγής, μεταφοράς και διανομής της ηλεκτρικής ενέργειας συγκεντρώθηκαν σε έναν δημόσιο φορέα. Η ΔΕΗ αμέσως στρέφεται προς την αξιοποίηση των εγχώριων

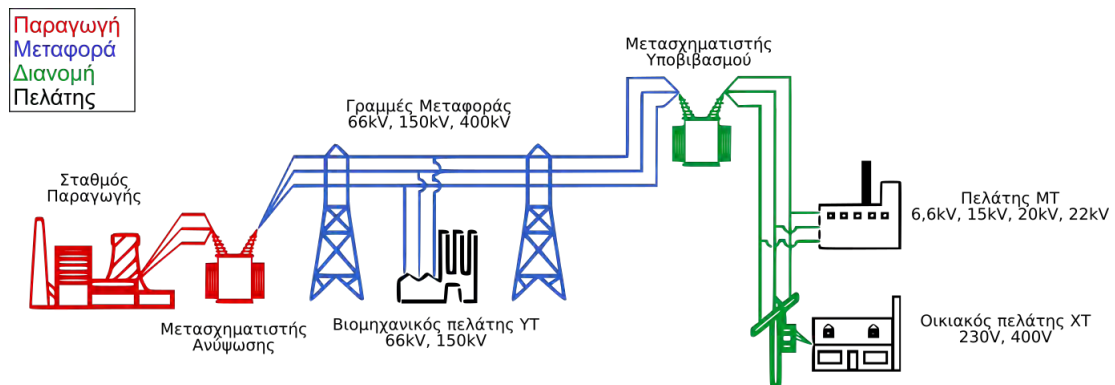
πηγών ενέργειας, ενώ ξεκινά και η ενοποίηση των δικτύων μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας σε ένα εθνικό διασυνδεδεμένο σύστημα. Τα πλούσια λιγνιτικά κοιτάσματα του ελληνικού υπεδάφους που είχαν νωρίτερα εντοπισθεί, άρχισαν να εξορύσσονται και να χρησιμοποιούνται ως καύσιμη ύλη στις λιγνιτικές μονάδες ηλεκτροπαραγωγής που δημιουργούσε η ΔΕΗ. Παράλληλα, η Επιχείρηση ξεκίνησε την αξιοποίηση της δύναμης των υδάτων με την κατασκευή υδροηλεκτρικών σταθμών στα μεγάλα ποτάμια της χώρας. Από 1.1.2001 η ΔΕΗ Α.Ε. λειτουργεί ως ανώνυμη εταιρεία ενώ από 12.12.2001 έχει εισαχθεί στα Χρηματιστήρια Αξιών Αθηνών και Λονδίνου.

Το 2011, σύμφωνα με την ελληνική νομοθεσία (ν. 4001/2011), παραμένει στην ιδιοκτησία της το δίκτυο διανομής συνολικού μήκους 217.000 χλμ. , ενώ η κυριότητα του εθνικού συστήματος μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας μήκους 11.650 χλμ. μεταβιβάζεται στον ΑΔΜΗΕ Α.Ε.. Μετά την απόσχιση από τη ΔΕΗ Α.Ε. των κλάδων Μεταφοράς και Διανομής, δημιουργήθηκαν δύο 100% θυγατρικές εταιρείες της ΔΕΗ Α.Ε., ο ΑΔΜΗΕ Α.Ε. (Ανεξάρτητος Διαχειριστής Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας Α.Ε.) και ο ΔΕΔΔΗΕ Α.Ε. (Διαχειριστής Ελληνικού Δικτύου Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας Α.Ε.). Ο ΑΔΜΗΕ Α.Ε. έχει την ευθύνη της διαχείρισης, της λειτουργίας, της ανάπτυξης και της συντήρησης του Ελληνικού Συστήματος Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας και των διασυνδέσεών του, ενώ ο ΔΕΔΔΗΕ Α.Ε. έχει την ευθύνη για τη διαχείριση, ανάπτυξη, λειτουργία και συντήρηση του Ελληνικού Δικτύου Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας. Η ΔΕΗ Ανανεώσιμες Α.Ε. ως 100% θυγατρική εταιρεία της ΔΕΗ Α.Ε. έχει παραλάβει τη σκυτάλη της διαχείρισης των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (Α.Π.Ε.) από τη μητρική εταιρεία, με στόχο την ανάπτυξη του κλάδου.

1.5 Γενική περιγραφή ενός ηλεκτρικού δικτύου

Ένα ηλεκτρικό δίκτυο (Σχήμα 1.3) αποτελείται από τέσσερα μέρη: την παραγωγή, τη μεταφορά, τη διανομή και τους καταναλωτές. Η ηλεκτρική ισχύς ξεκινάει από τη μονάδα παραγωγής ενέργειας. Σε όλες σχεδόν τις περιπτώσεις, η μονάδα παραγωγής ενέργειας αποτελείται από μια περιστρεφόμενη ηλεκτρική γεννήτρια. Η ηλεκτρογεννήτρια (generator) είναι η μηχανή που βασίζεται στους νόμους της φυσικής και

συγκεκριμένα στο φαινόμενο της ηλεκτρομαγνητικής επαγωγής για να μετατρέψει τη μηχανική ενέργεια σε ηλεκτρική. Η μονάδα παραγωγής ισχύος παράγει τρεις φάσεις εναλλασσόμενου ρεύματος, μετατοπισμένες κατά 120 μοίρες η μια από την άλλη.



Σχήμα 1.3: Γενική μορφή ενός ηλεκτρικού δικτύου.

Μετά το στάδιο της παραγωγής υπάρχουν δύο τύποι δικτύου, ανάλογα με την τάση της ηλεκτρικής ισχύος που διακινείται: το δίκτυο Μεταφοράς και το δίκτυο Διανομής. Το δίκτυο Μεταφοράς, μεταφέρει την ηλεκτρική ισχύ από τους σταθμούς παραγωγής στους υποσταθμούς μεταφοράς. Η μεταφορά γίνεται σε υψηλή τάση, μέσω του δικτύου υψηλής τάσης (150 kV) και υπερυψηλής τάσης (400 kV), ώστε να ελαχιστοποιηθούν οι απώλειες (κυρίως λόγω της αντίστασης του υλικού) στις γραμμές. Οι γραμμές κρέμονται από χαλύβδινους πυλώνες που εκτείνονται σε όλο το μήκος του δικτύου. Οι βιομηχανικοί καταναλωτές που χρησιμοποιούν Υψηλή Τάση συνδέονται μέσω υποσταθμών που μετατρέπουν τα 400 kV σε 66 kV ή 150 kV. Οι γραμμές Μεταφοράς δεν μπορούν να τροφοδοτήσουν άμεσα τους καταναλωτές που χρησιμοποιούν χαμηλή τάση (220/380 V), αλλά φθάνουν μέχρι τους υποσταθμούς μεταφοράς, όπου γίνεται υποβιβασμός της τάσης στη μέση τάση (συνήθως 20 kV). Οι υποσταθμοί αποτελούν κόμβους στο δίκτυο του ηλεκτρισμού. Από τα σημεία όπου βρίσκονται οι υποσταθμοί μεταφοράς, αρχίζουν οι γραμμές διανομής, που καταλήγουν στους υποσταθμούς διανομής, όπου γίνεται υποβιβασμός της μέσης τάσης στη χαμηλή τάση που χρησιμοποιούν οι περισσότεροι καταναλωτές.

1.6 Δομή του ελληνικού ηλεκτρικού δικτύου

Ακόμη και σήμερα, η ΔΕΗ Α.Ε. αποτελεί τον βασικό παραγωγό ηλεκτρικής ενέργειας της χώρας. Σύμφωνα με πρόσφατα στοιχεία [4] που έδωσε στη δημοσιότητα η εταιρεία, η εγκατεστημένη ισχύς των σταθμών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας που διαθέτει ανέρχεται σε 11,3 GW και αντιπροσωπεύει περίπου το 54,3% της εγκατεστημένης ισχύος των σταθμών ηλεκτροπαραγωγής στην Ελλάδα (εξαιρουμένων των 930 MW των δύο προς αποεπένδυση θυγατρικών της εταιρειών Λιγνιτική Μελίτης Α.Ε. και Λιγνιτική Μεγαλόπολης Α.Ε.).

Το ενεργειακό μείγμα περιλαμβάνει λιγνιτικούς, υδροηλεκτρικούς και πετρελαϊκούς σταθμούς, καθώς και σταθμούς φυσικού αερίου, αλλά και εγκαταστάσεις ΑΠΕ. Οι μονάδες αυτές καλύπτουν και το μεγαλύτερο μέρος της ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας (53,5% για το 2016). Από το σύνολο της εγκατεστημένης ισχύος, οι θερμικές μονάδες παραγωγής καλύπτουν το μεγαλύτερο μέρος της παραγωγής με ποσοστό 52,8%, οι υδροηλεκτρικές μονάδες με ταμειυτήρα το 18,1%, ενώ οι ΑΠΕ και ΣΗΘΥΑ το 29,2% (Πίνακας 1.1). Οι κύριοι λιγνιτικοί σταθμοί βρίσκονται στην περιοχή της Πτολεμαΐδας, στη βόρεια Ελλάδα και στην περιοχή της Μεγαλόπολης, στην Πελοπόννησο. Οι μονάδες φυσικού αερίου βρίσκονται κυρίως κοντά στην περιοχή της πρωτεύουσας, όπου συγκεντρώνεται περίπου το 30% της συνολικής κατανάλωσης του Συστήματος. Ο στόλος των θερμικών μονάδων μπορεί να χαρακτηριστεί πεπαιλωμένος, αφού σχεδόν οι μισές μονάδες έχουν συμπληρώσει πάνω από είκοσι χρόνια λειτουργίας, αν και την τελευταία δεκαετία τέθηκαν σε εμπορική λειτουργία πέντε νέες μονάδες συνδυασμένου κύκλου συνολικής καθαρής ισχύος 2115 MW και μία κατανεμόμενη μονάδα ΣΗΘΥΑ καθαρής ισχύος 334 MW.

Η ΔΕΗ Α.Ε. είναι κάτοχος Δικτύου Διανομής ηλεκτρικής ενέργειας (ΜΤ και ΧΤ μήκους περίπου 240.000 χιλιομέτρων και ΥΤ περίπου 1.000 χιλιομέτρων) του οποίου Διαχειριστής είναι η θυγατρική της εταιρεία ΔΕΔΔΗΕ Α.Ε. Ειδικότερα στον τομέα των ΑΠΕ, η ΔΕΗ, η πρώτη εταιρεία στην Ελλάδα που εγκατέστησε ΑΠΕ (το 1982), δραστηριοποιείται σήμερα μέσω της θυγατρικής της ΔΕΗ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ Α.Ε., έχοντας στο χαρτοφυλάκιό της αιολικά πάρκα, μικρούς υδροηλεκτρικούς σταθμούς και φωτοβολταϊκά.

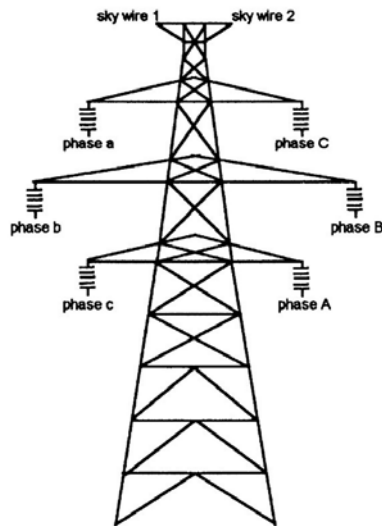
Πίνακας 1.1: Υφιστάμενη Κατάσταση του Συστήματος Ηλεκτροπαραγωγής ανά τεχνολογία (1/1/2017) [5]

	Εγκατεστημένη Ισχύς (MW)	(%)
Θερμικές Μονάδες	8.819,3	52,8
Υδροηλεκτρικές Μονάδες με ταμιευτήρα	3.017,7	18,1
ΑΠΕ και ΣΗΘΥΑ	4.872,4	29,2
ΣΥΝΟΛΟ	17.528,3	100,0

Στο Σύστημα Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας της ηπειρωτικής Ελλάδας είναι συνδεδεμένα τα νησιά του Ιονίου καθώς και ορισμένα νησιά του Αιγαίου και μαζί με το Σύστημα αυτό αποτελούν το «Διασυνδεδεμένο Σύστημα» (Σχήμα 1.5). Στο Διασυνδεδεμένο Σύστημα, περίπου το ένα τρίτο της παραγωγικής ισχύος της ΔΕΗ είναι συγκεντρωμένο στο βορειοδυτικό τμήμα της χώρας, κοντά στα μεγάλα λιγνιτωρυχεία, τα οποία αποτελούν την κύρια πηγή καυσίμου. Τα τελευταία χρόνια κατασκευάστηκαν δύο νέες, υπερσύγχρονες, μονάδες φυσικού αερίου, Αλιβέρι V και Μεγαλόπολη V, στο νότιο μέρος του Διασυνδεδεμένου Συστήματος, καθώς και ο υδροηλεκτρικός σταθμός του Ιλαρίωνα. Τα υπόλοιπα νησιά, τα οποία αναφέρονται ως «Μη Διασυνδεδεμένα Νησιά», εξυπηρετούνται από αυτόνομους σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, οι οποίοι λειτουργούν με πετρέλαιο. Συμπληρωματικά στα περισσότερα από αυτά τα νησιά η ζήτηση καλύπτεται πλέον και από ΑΠΕ. Οι μεγαλύτεροι σταθμοί παραγωγής στα Μη Διασυνδεδεμένα Νησιά βρίσκονται στην Κρήτη και τη Ρόδο (με συνολική ισχύ θερμικών σταθμών μεγαλύτερη των 1.150 MW). Το 2018, η ΔΕΗ παρήγαγε 27,4 TWh οι οποίες μαζί με τις 2,4 TWh που εισήγαγε, κάλυψαν το 47,9% της συνολικής ζήτησης. Η παραχθείσα ηλεκτρική ενέργεια προήλθε από λιγνίτη (40,6%), πετρέλαιο (16,8%), φυσικό αέριο (23,2%), υδατικούς πόρους (18,5%) και ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (0,9%). Οι περίπου 6,9 εκατομμύρια πελάτες της ΔΕΗ κατανάλωσαν κατά το 2018 το 81,9% της συνολικής ηλεκτρικής ενέργειας που δόθηκε προς τελικούς πελάτες στην Ελλάδα.

Τη σπονδυλική στήλη του ελληνικού Διασυνδεδεμένου Συστήματος Μεταφοράς αποτελούν οι τρεις γραμμές διπλού κυκλώματος (Σχήμα 1.4) των 400 kV, που μεταφέ-

ρουν ηλεκτρισμό, κυρίως από το σπουδαιότερο για την χώρα μας ενεργειακό κέντρο παραγωγής, τη Δυτική Μακεδονία. Στην περιοχή αυτή, παράγεται περίπου το 70% της συνολικής ηλεκτροπαραγωγής της χώρας που στη συνέχεια μεταφέρεται στα μεγάλα κέντρα κατανάλωσης της Κεντρικής και Νότιας Ελλάδας, όπου καταναλώνεται περίπου το 65% της ηλεκτρικής ενέργειας.



Σχήμα 1.4: Πυλώνας τριών φάσεων διπλού κυκλώματος

Το Διασυνδεδεμένο Σύστημα Μεταφοράς διαθέτει επιπλέον γραμμές των 400 kV, καθώς επίσης εναέριες, υπόγειες γραμμές και υποβρύχια καλώδια των 150 kV που συνδέουν την Άνδρο και τα νησιά της Δυτικής Ελλάδας, Κέρκυρα, Λευκάδα, Κεφαλονιά και Ζάκυνθο με το διασυνδεδεμένο σύστημα μεταφοράς, αλλά και μία υποβρύχια διασύνδεση της Κέρκυρας με την Ηγουμενίτσα στα 66 kV.

1.6.1 Μεγέθη του δικτύου Διανομής

Ποσοτικά μεγέθη του δικτύου Διανομής [6]:

- 112.295 χλμ. Δίκτυο Μέσης Τάσης (Μ.Τ.).
- 126.941 χλμ. Δίκτυο Χαμηλής Τάσης (Χ.Τ.).

Συνολικά 239.236 χλμ. Δικτύου.

- 163.220 Υποσταθμοί Μέσης Τάσης προς Χαμηλή Τάση (Υ/Σ ΜΤ/ΧΤ).
- 989 χλμ. Δίκτυο Υψηλής Τάσης (Υ.Τ.) εκ των οποίων 218 χλμ στην Αττική και 771 χλμ στα μη διασυνδεδεμένα νησιά.
- 240 Υποσταθμοί Υψηλής Τάσης προς Μέση Τάση (Υ/Σ ΥΤ/ΜΤ)
- 7.543.107 Πελάτες ((11.660 ΜΤ & 7.531.447 ΧΤ).
- 43.194 GWh Καταναλώσεις Πελατών (11.755 στη ΜΤ & 31.439 στη ΧΤ).

Κύρια οικονομικά μεγέθη του δικτύου Διανομής:

- Επενδύσεις (Ετήσιες δαπάνες επενδύσεων) 149 εκ. €.
- Εκμετάλλευση (Ετήσιες λειτουργικές δαπάνες) 421 εκ. €.
- Ετήσια έσοδα από χρήση δικτύου 711 εκ. €.
- Πάγια Δικτύων Διανομής με αναπόσβεστη αξία 3,6 δις €.

Προσωπικό & Οργάνωση του δικτύου Διανομής:

- 6.445 μισθωτοί.
- 3 Γενικές Διευθύνσεις, 12 Κεντρικές Διευθύνσεις, 5 Περιφερειακές Διευθύνσεις, 2 Κεντρικά Κλιμάκια, 58 Περιοχές, 70 Πρακτορεία, 81 Υποπρακτορεία.



Σχήμα 1.5: Ελληνικό Διασυνδεδεμένο Σύστημα Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας (2017) [7].

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

2.1 Εισαγωγή

Οι σύγχρονες κοινωνίες καταναλώνουν τεράστια ποσά ενέργειας για θέρμανση, μεταφορές, παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και βιομηχανική χρήση. Λόγω της οικονομικής προόδου και του αυξανόμενου βιοτικού επιπέδου, η ζήτηση για ενέργεια συνεχώς αυξάνεται. Επί του παρόντος, η μεγαλύτερη ποσότητα ενέργειας που χρησιμοποιούμε προέρχεται από συμβατικές πηγές ενέργειας όπως είναι το πετρέλαιο, η βενζίνη και ο άνθρακας [8]. Πρόκειται για πηγές ενέργειας που θα εξαντληθούν. Η παραγωγή και η χρήση ενέργειας που προέρχεται από αυτές τις πηγές δημιουργεί μια σειρά περιβαλλοντικών προβλημάτων, το πιο σοβαρό από τα οποία είναι το φαινόμενο του θερμοκηπίου.

Από την άλλη πλευρά, οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (ΑΠΕ) αποτελούν μορφές ενέργειας που ανανεώνονται συνεχώς μέσω φυσικών διεργασιών χωρίς να επιβαρύνουν το περιβάλλον. Ο άνεμος, τα ποτάμια, τα οργανικά υλικά όπως το ξύλο, ακόμη και τα οικιακά και γεωργικά απόβλητα είναι πηγές ενέργειας που είναι πάντοτε διαθέσιμες και δεν εξαντλούνται ποτέ. Βρίσκονται σε αφθονία στο φυσικό μας περιβάλλον και είναι οι πρώτες πηγές ενέργειας που χρησιμοποίησε ο άνθρωπος, σχεδόν αποκλειστικά, μέχρι τις αρχές του 20ου αιώνα, όταν η ανθρωπότητα στράφηκε στην εντατική εκμετάλλευση του άνθρακα και των υδρογονανθράκων. Το ενδιαφέρον για την ευρύτερη εκμετάλλευση των ΑΠΕ, καθώς και για την ανάπτυξη αξιόπιστων και οικονομικά κερδοφόρων τεχνολογιών για τη χρήση αυτών εμφανίστηκε μετά την πρώτη πετρελαϊκή κρίση το 1979 και έγινε μόνιμο κατά την επόμενη δεκαετία, μετά την ευαισθητοποίηση του κοινού για τα παγκόσμια περιβαλλοντικά προβλήματα.

Στη συνέχεια παρουσιάζονται οι πιο συνηθισμένες μορφές ΑΠΕ, καθώς και μέθοδοι αξιοποίησής τους.

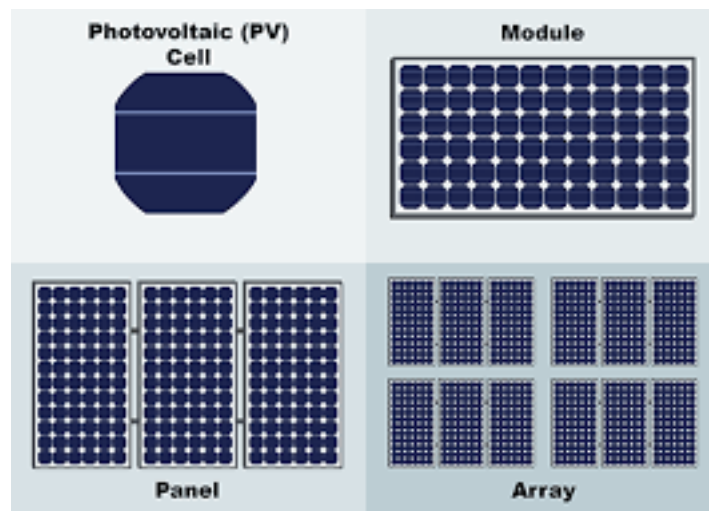
2.2 Ηλιακή Ενέργεια

Στο πλαίσιο της παραγωγής ενέργειας μέσω ΑΠΕ, η ηλιακή ενέργεια είναι η ενέργεια που προέρχεται από τον ήλιο και μετατρέπεται σε θερμική ή ηλεκτρική ενέργεια. Η ηλιακή ενέργεια είναι η πιο άφθονη διαθέσιμη ανανεώσιμη πηγή ενέργειας. Η συνολική ποσότητα ηλιακής ενέργειας που επέρχεται στη Γη υπερβαίνει κατά πολύ τις σημερινές και τις αναμενόμενες ενεργειακές απαιτήσεις του πλανήτη. Υπολογίζεται ότι η ποσότητα του φωτός του ήλιου που χτυπά την επιφάνεια της γης μέσα σε μιάμιση ώρα, είναι αρκετή για να καλύψει την κατανάλωση ενέργειας ολόκληρου του πλανήτη για ένα πλήρες έτος. Κατά τη διάρκεια του 21ου αιώνα η ηλιακή ενέργεια αναμένεται να γίνει όλο και πιο ελκυστική ως ανανεώσιμη πηγή ενέργειας λόγω της ανεξάντλητης προσφοράς και του μη απορροφητικού χαρακτήρα της, σε πλήρη αντίθεση με τα πεπερασμένα ορυκτά καύσιμα άνθρακα, πετρελαίου και φυσικού αερίου. Η ηλιακή ενέργεια είναι επίσης επεκτάσιμη. Αυτό σημαίνει ότι μπορεί να αναπτυχθεί σε βιομηχανική κλίμακα ή μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την τροφοδότηση ενός μόνο νοικοκυριού. Όταν χρησιμοποιείται σε μικρή κλίμακα, η επιπλέον ηλεκτρική ενέργεια μπορεί να αποθηκευτεί ή να τροφοδοτηθεί πίσω στο ηλεκτρικό δίκτυο. Υπάρχουν δύο βασικοί τρόποι αξιοποίησης της ηλιακής ενέργειας η φωτοβολταϊκή τεχνολογία, και η συγκέντρωση ηλιακής ενέργειας (CSP).

2.2.1 Φωτοβολταϊκή Τεχνολογία (PV)

Η φωτοβολταϊκή τεχνολογία αποτελείται από τα φωτοβολταϊκά υλικά και συσκευές τα οποία μετατρέπουν το φως του ήλιου σε ηλεκτρική ενέργεια. Μια ενιαία φωτοβολταϊκή συσκευή είναι γνωστή και ως φωτοβολταϊκό κύτταρο/στοιχείο (PV Cell). Όταν το φως του ήλιου φτάνει στην επιφάνεια ενός φωτοβολταϊκού στοιχείου, το ηλεκτρικό πεδίο παρέχει ορμή και κατεύθυνση στα ηλεκτρόνια που διεγείρονται από το φως, με αποτέλεσμα τη δημιουργία ροής ρεύματος. Το στοιχείο είναι μικρό και συνήθως παράγει 1-2 Watts ισχύ. Για να ενισχυθεί η ισχύς εξόδου των φωτοβολταϊκών κυττάρων, συνδέονται μεταξύ τους σε αλυσίδες για να σχηματίσουν μεγαλύτερες μονάδες/πλαίσια (Modules). Οι μονάδες αυτές μπορούν να συνδεθούν σε

σειρά έτσι ώστε να αυξηθεί το ρεύμα, ή και παράλληλα για να αυξηθεί η τάση, το γινόμενο των οποίων είναι η ισχύς. Αυτός ο συνδυασμός των πλαισίων ονομάζεται συστοιχία (Panel). Τέλος, οι συστοιχίες μπορούν να χρησιμοποιηθούν μεμονωμένα ή να συνδεθούν μεταξύ τους για να δημιουργήσουν πίνακες (Arrays) (Σχήμα 2.1). Μία ή περισσότερες συστοιχίες μπορούν να συνδεθούν με το ηλεκτρικό δίκτυο ως μέρος ενός πλήρους φωτοβολταϊκού συστήματος. Τα φωτοβολταϊκά μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την τροφοδοσία τόσο μικρών ηλεκτρονικών συσκευών όπως αριθμομηχανές, οδικά σήματα κ.α., όσο κατοικιών, ακόμη και μεγάλων εμπορικών επιχειρήσεων.

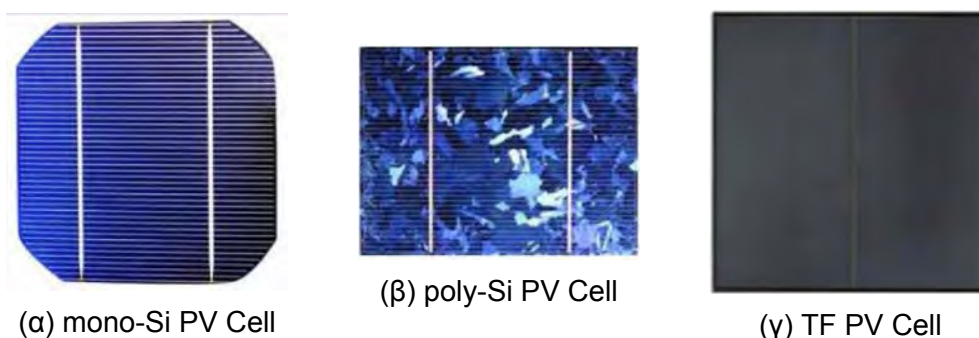


Σχήμα 2.1: Φωτοβολταϊκές διατάξεις.

2.2.2 Τρόπος κατασκευής και βαθμός απόδοσης

Τα περισσότερα σύγχρονα ηλιακά κύτταρα κατασκευάζονται είτε από κρυσταλλικό πυρίτιο είτε από ημιαγώγιμο υλικό λεπτού υμενίου (ή λεπτής μεμβράνης) (TF). Τα κύτταρα πυριτίου είναι πιο αποδοτικά στη μετατροπή του ηλιακού φωτός σε ηλεκτρική ενέργεια, αλλά γενικά έχουν υψηλότερο κόστος κατασκευής. Επίσης, τα κύτταρα πυριτίου χωρίζονται σε μονοκρυσταλλικού πυριτίου (mono-Si) και σε πολυκρυσταλλικού πυριτίου (poly-Si) (Σχήματα 2.2α και 2.2β). Τα πρώτα επιτυγχάνουν βαθμό απόδοσης 20% - 21%, αλλά η διαδικασία παραγωγής τους είναι ακριβότερη και δυσκολότερη, καθώς το πυρίτιο κρυσταλλώνεται στο ίδιο πλέγμα. Λόγω της διαδικασίας

κατασκευής τους, παράγουν σημαντική ποσότητα αποβλήτων. Έχουν ομοιόμορφο μπλε σκούρο ή μαύρο χρώμα και σχήμα τετραγωνικής κυψέλης. Στον αντίποδα, τα κύτταρα πολυκρυσταλλικού πυριτίου (poly-Si) είναι τα συνηθέστερα φωτοβολταϊκά στην αγορά αλλά έχουν μικρότερο βαθμό απόδοσης, φθάνοντας έως 18%. Η διαδικασία κατασκευής τους είναι απλή και δεν παράγεται μεγάλος αριθμός αποβλήτων. Έχουν μπλε χρώμα, το οποίο δεν είναι ομοιόμορφο σε όλη την επιφάνεια του κελιού, ενώ το σχήμα τους είναι τετραγωνικό ή τετραγωνικής κυψέλης.



Σχήμα 2.2: Είδη φωτοβολταϊκών κυττάρων.

Τα φωτοβολταϊκά κύτταρα λεπτού υμενίου (Σχήμα 2.2γ) έχουν συνήθως χαμηλότερες αποδόσεις, αλλά μπορούν να είναι απλούστερα και λιγότερο δαπανηρά στην κατασκευή. Οι ημιαγωγοί που χρησιμοποιούνται συνήθως είναι άμορφου – πυριτίου (a-Si) με βαθμό απόδοσης έως 9%, καδμίου - τελούριου (Cd Te) και χαλκού - ινδίου - γαλλίου (CIS). Το χρώμα τους ανάλογα με τον τύπο είναι μαύρο, μπλε ή σκούρο μοβ, ενώ έχουν τετράγωνο σχήμα.

2.2.3 Φωτοβολταϊκά στην Ελλάδα

Η χρήση των φωτοβολταϊκών έχει αρκετά οφέλη για τα ηλεκτρικά δίκτυα, καθώς τόσο η κατανάλωση όσο και η παραγωγή είναι διάσπαρτη. Επιπλέον τα φωτοβολταϊκά συνεισφέρουν στην αξιοπιστία του δικτύου, ιδίως όταν συνδυαστούν με αποθήκευση. Μπορούν να προσφέρουν πολλά οφέλη στα νησιά, ιδιαίτερα όταν η κορύφωση της ζήτησης το καλοκαίρι, λόγω τουρισμού, συμπίπτει με την κορύφωση παραγωγής των φωτοβολταϊκών συστημάτων. Σήμερα στην Ελλάδα είναι εγκατεστημένα 2.611

μεγαβάτ (MWp) φωτοβολταϊκών, εκ των οποίων τα 2.066 MWp είναι επί εδάφους και τα υπόλοιπα σε στέγες κτιρίων. Το 2016 τα φωτοβολταϊκά κάλυψαν το 7,05% των αναγκών της Ελλάδας σε ηλεκτρική ενέργεια, φέρνοντας την χώρα μας στην τρίτη θέση διεθνώς σε ότι αφορά στη συμβολή των φωτοβολταϊκών στη συνολική ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας.

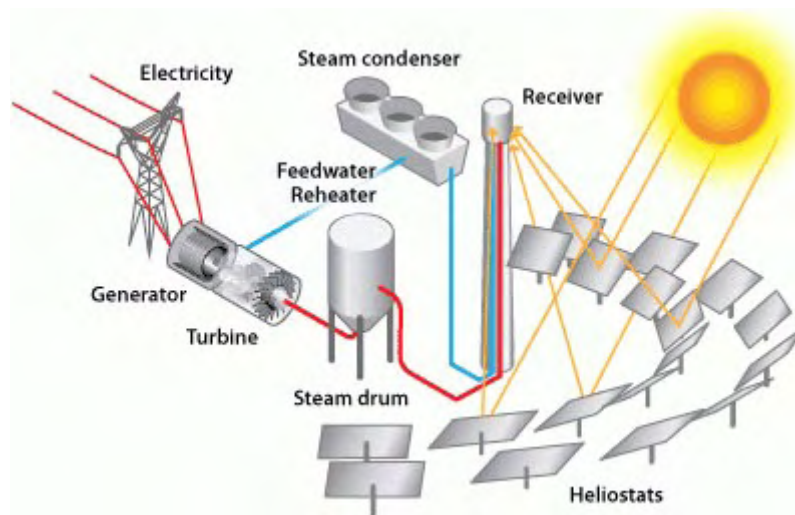
2.2.4 Τεχνολογία Συγκεντρωτικής Ηλιακής Ενέργειας (CSP)

Οι τεχνολογίες συγκέντρωσης της ηλιακής ενέργειας (CSP) χρησιμοποιούν καθρέφτες για να συγκεντρώσουν την ενέργεια του ήλιου και να θέσουν σε λειτουργία τους παραδοσιακούς ατμοστρόβιλους ή τους κινητήρες που παράγουν ηλεκτρική ενέργεια. Η θερμική ενέργεια που συγκεντρώνεται σε μια μονάδα CSP μπορεί να αποθηκευτεί και να χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας όταν χρειαστεί, ημέρα ή νύχτα. Τα συστήματα συγκεντρωτικής ηλιακής ενέργειας διακρίνονται σε συστήματα γραμμικής συμπύκνωσης, συστήματα πύργων ισχύος και συστήματα πιάτων.

Τα συστήματα γραμμικής συμπύκνωσης αποτελούνται από επίπεδα καθρεφτών, οι οποίοι περιστρέφονται έτσι ώστε να είναι στραμμένοι προς τον ήλιο για όλη την διάρκεια της ημέρας. Λαμβάνουν την ενέργεια του ήλιου με μεγάλους καθρέφτες που αντανακλούν, ώστε το φως του ήλιου να συγκεντρωθεί πάνω σε έναν γραμμικό σωληνοειδή δέκτη. Ο δέκτης αποτελείται από ένα σύστημα σωλήνων μέσω του οποίου ρέει το νερό. Το συμπυκνωμένο ηλιακό φως προκαλεί βρασμό, δημιουργώντας ατμό υψηλής πίεσης για άμεση χρήση στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας ή σε βιομηχανικές εφαρμογές ατμού. Μια γραμμική ηλιακή εγκατάσταση μπορεί να μετατραπεί σε υβριδική με εφεδρικά ορυκτά καύσιμα για να χρησιμοποιηθεί για ηλεκτρική παραγωγή όταν οι συνθήκες δεν επιτρέπουν τη συγκέντρωση του ηλιακού φωτός.

Τα συστήματα πύργων ισχύος (Σχήμα 2.3) χρησιμοποιούν ένα κεντρικό σύστημα δέκτη, το οποίο επιτρέπει υψηλότερες θερμοκρασίες λειτουργίας και συνεπώς μεγαλύτερη απόδοση. Τα κάτοπτρα παρακολουθούν τον ήλιο κατά μήκος δύο αξόνων και εστιάζουν την ηλιακή ενέργεια στον δέκτη στην κορυφή ενός ψηλού πύργου.

Η εστιασμένη ενέργεια χρησιμοποιείται για τη θέρμανση ενός ρευστού μεταφοράς (πάνω από 1.000 °F) για την παραγωγή ατμού και τη λειτουργία μιας κεντρικής γεννήτριας ισχύος. Η αποθήκευση ενέργειας μπορεί εύκολα και αποτελεσματικά να ενσωματωθεί σε αυτά τα έργα, επιτρέποντας την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας σε όλη διάρκεια της ημέρας.

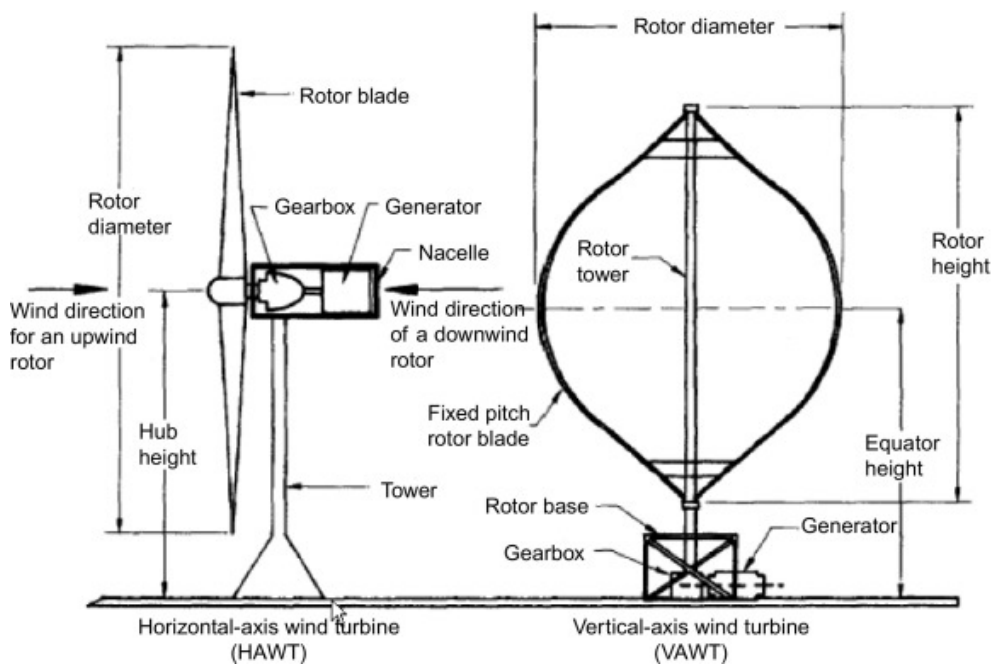


Σχήμα 2.3: Σύστημα πύργου ισχύος.

Τα συστήματα πιάτων - κινητήρων χρησιμοποιούν ένα παραβολικό πιάτο με καθρέφτες για να κατευθύνουν και να συγκεντρώνουν το ηλιακό φως σε έναν κεντρικό κινητήρα που παράγει ηλεκτρική ενέργεια. Το σύστημα πιάτων - κινητήρων είναι μια τεχνολογία συμπυκνωμένης ηλιακής ενέργειας (CSP) που παράγει μικρότερες ποσότητες ηλεκτρικής ενέργειας από άλλες τεχνολογίες αλλά είναι επωφελής για αρθρωτή χρήση. Τα δύο κύρια μέρη του συστήματος είναι ο ηλιακός συγκεντρωτής (Solar Concentrator) και η μονάδα μετατροπής ισχύος (Power Conversion Unit). Το πιάτο είναι τοποθετημένο σε μια δομή που παρακολουθεί συνεχώς τον ήλιο όλη την ημέρα για να αντικατοπτρίζει το υψηλότερο δυνατό ποσοστό ηλιακού φωτός στον θερμικό δέκτη. Η μονάδα μετατροπής ισχύος περιλαμβάνει τον θερμικό δέκτη και τον κινητήρα - γεννήτρια. Ο θερμικός δέκτης είναι η διεπαφή μεταξύ του δίσκου και του κινητήρα - γεννήτριας. Η ηλιακή ενέργεια απορροφάται, μετατρέπεται σε θερμική και μεταφέρεται στον κινητήρα - γεννήτρια για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

2.3 Αιολική Ενέργεια

Ο άνεμος είναι μια καθαρή, ελεύθερη και άμεσα διαθέσιμη ανανεώσιμη πηγή ενέργειας. Τα σύγχρονα συστήματα για τη χρήση της αιολικής ενέργειας είναι κυρίως μηχανές που μετατρέπουν την αιολική ενέργεια σε ηλεκτρική ενέργεια, οι ανεμογεννήτριες. Εμφανίστηκαν για πρώτη φορά πριν από περίπου ένα αιώνα. Ο τρόπος λειτουργίας τους είναι ο εξής: ο αέρας περιστρέφει τα πτερύγια τα οποία είναι συνδεδεμένα με έναν περιστρεφόμενο άξονα. Αυτός περνάει σε ένα κιβώτιο μετάδοσης κίνησης που συνδέεται με έναν άλλον άξονα, μέσω του οποίου κινείται μια γεννήτρια για την παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος. Τα σύρματα μεταφοράς ρεύματος καταλήγουν σε ένα υποσταθμό όπου οι μετασχηματιστές του μετατρέπουν την υψηλή τάση σε χαμηλή για να μπορέσουν να λειτουργήσουν ηλεκτρικές συσκευές. Οι σημερινές ανεμογεννήτριες μπορούν να παράγουν από μερικές δεκάδες ή εκατοντάδες W μέχρι μερικά MW. Ανάλογα με την θέση του άξονα περιστροφής ως προς τη Γη διακρίνονται σε ανεμογεννήτριες οριζόντιου άξονα (AOA - HAWT-horizontal axis wind turbine) και κατακόρυφου άξονα (AKA - VAWT-vertical axis wind turbine) (Σχήμα 2.4).



Σχήμα 2.4: Διαγράμματα ανεμογεννητριών οριζόντιου και κατακόρυφου άξονα.

2.3.1 Ανεμογεννήτριες Οριζόντιου Άξονα

Οι ανεμογεννήτριες οριζόντιου άξονα έχουν τον άξονά τους παράλληλο προς την επιφάνεια της Γης και συνήθως παράλληλα και με την διεύθυνση του ανέμου. Αυτού του τύπου οι ανεμογεννήτριες έχουν συνήθως δύο ή τρία πτερύγια. Ένα χαρακτηριστικό των πτερυγίων αυτών είναι ότι έχουν μεγάλο αεροδυναμικό βαθμό απόδοσης. Επιπλέον, απαιτούν υψηλότερη κατασκευή πύργου από τις ΑΚΑ, αλλά λόγω του ύψους της ανεμογεννήτριας εκμεταλλεύονται και άνεμο μεγαλύτερης ταχύτητας, με αποτέλεσμα να έχουν υψηλότερη αποδοτικότητα σε σχέση με τις ανεμογεννήτριες κατακόρυφου άξονα. Ένα αρνητικό τους είναι ότι κατά τη λειτουργία τους παράγεται αξιοσημείωτος θόρυβος, ενώ λόγω του μεγέθους τους, το κόστος κατασκευής και μεταφοράς του είναι υψηλό.

2.3.2 Ανεμογεννήτριες Κατακόρυφου Άξονα

Οι ανεμογεννήτριες αυτές περιστρέφονται γύρω από έναν κάθετο προς την κατεύθυνση του ανέμου άξονα. Το παραγόμενο μηχανικό έργο μεταφέρεται μέσω του κατακόρυφου άξονα στο έδαφος όπου εγκαθίσταται η γεννήτρια παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Ένα ακόμα χαρακτηριστικό τους είναι ότι εκμεταλλεύονται τον άνεμο από όλες τις διευθύνσεις καθώς και ότι παράγουν λιγότερο θόρυβο. Επιπλέον, το σύστημα μετάδοσης, η γεννήτρια και το σύστημα ελέγχου τους βρίσκονται κοντά στο έδαφος και έτσι είναι πιο εύκολη η τοποθέτηση και η συντήρησή τους.

2.3.3 Υιοθέτηση της αιολικής ενέργειας

Η αιολική ενέργεια διαδραματίζει όλο και πιο σημαντικό ρόλο στην κάλυψη των ενεργειακών αναγκών σε όλο τον κόσμο. Είναι μια από τις ταχύτερα αναπτυσσόμενες τεχνολογίες ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Η παγκόσμια εγκατεστημένη δυναμικότητα παραγωγής αιολικής ενέργειας στην ξηρά και στην ανοικτή θάλασσα έχει αυξηθεί κατά 75 περίπου φορές τις τελευταίες δύο δεκαετίες από 7,5 GW το 1997 σε περίπου 564 GW έως το 2018 [9]. Η παραγωγή μέσω αιολικής ενέργειας διπλα-

σιάστηκε μεταξύ 2009 και 2013 και το 2016 αντιπροσώπευε το 16% της ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας.

2.4 Υδροηλεκτρική Ενέργεια

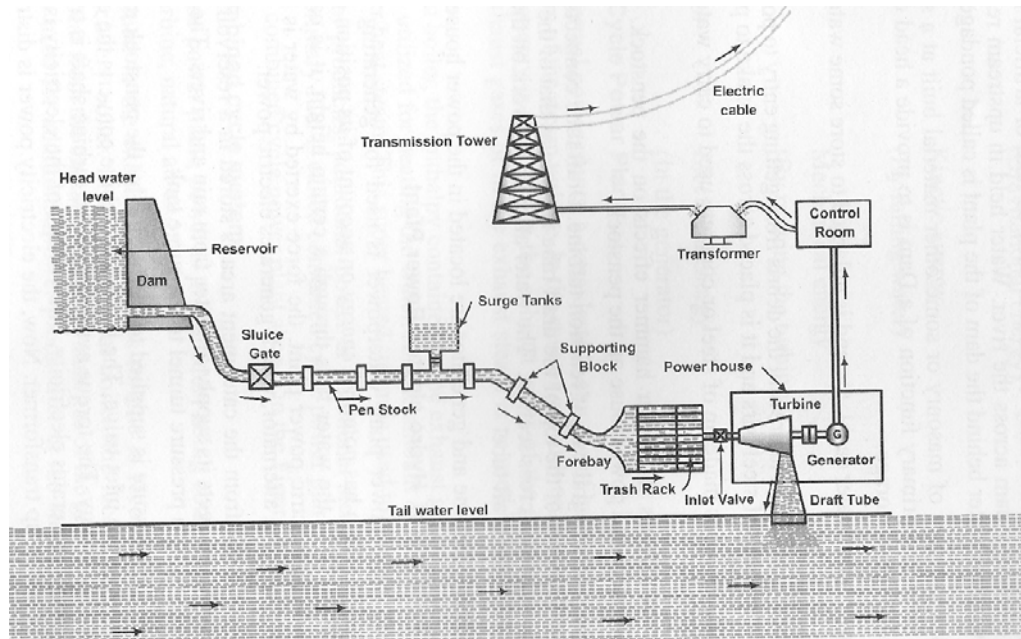
Η Υδροηλεκτρική Ενέργεια είναι η ενέργεια η οποία στηρίζεται στην εκμετάλλευση και τη μετατροπή της δυναμικής ενέργειας του νερού των λιμνών και της κινητικής ενέργειας του νερού των ποταμών σε ηλεκτρική. Θεωρείται ανανεώσιμη πηγή ενέργειας επειδή ο κύκλος του νερού ανανεώνεται συνεχώς από τον ήλιο. Ιστορικά η πρώτη χρήση της υδροηλεκτρικής ενέργειας αναφέρεται πριν από τουλάχιστον 2000 χρόνια, όπου οι αρχαίοι Έλληνες χρησιμοποιούσαν το νερό για την κίνηση τροχών με σκοπό την άλεση σιτηρών.

Σήμερα, οι σύγχρονοι υδροηλεκτρικοί σταθμοί παράγουν ηλεκτρική ενέργεια χρησιμοποιώντας στρόβιλους και γεννήτριες. Η υδροηλεκτρική ενέργεια αποτελεί ένα από τα πιο οικονομικά αποδοτικά μέσα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και είναι συχνά η προτιμώμενη μέθοδος, όταν είναι διαθέσιμη. Στη Νορβηγία, για παράδειγμα, το 99% του ηλεκτρικού ρεύματος προέρχεται από υδροηλεκτρική ενέργεια. Η μεγαλύτερη υδροηλεκτρική μονάδα στον κόσμο είναι το φράγμα των 22,5 GW στην Κίνα, το οποίο παράγει 80 έως 100 TW ετησίως. Συμπερασματικά η υδροηλεκτρική ενέργεια είναι μια άφθονη, χαμηλού κόστους πηγή ενέργειας. Είναι μια ευέλικτη και αξιόπιστη πηγή ηλεκτρικής ενέργειας, καθώς έχει τη δυνατότητα να αποθηκευτεί για χρήση αργότερα.

2.4.1 Τρόπος λειτουργίας

Οι μονάδες υδροηλεκτρικής ενέργειας (Σχήμα 2.5) αξιοποιούν την ενέργεια της πτώσης του νερού για την παραγωγή ηλεκτρισμού. Ένας στρόβιλος μετατρέπει την κινητική ενέργεια του νερού σε μηχανική ενέργεια. Στη συνέχεια, μια γεννήτρια μετατρέπει τη μηχανική ενέργεια από τον στρόβιλο σε ηλεκτρική ενέργεια. Μια τυπική υδροηλεκτρική μονάδα είναι ένα σύστημα με τρία μέρη: μια μονάδα παραγωγής ενέργειας όπου παράγεται ηλεκτρισμός, ένα φράγμα που μπορεί να ανοίξει ή να κλεί-

σει για να ελέγξει τη ροή του νερού και μια δεξαμενή όπου αποθηκεύεται το νερό. Το νερό πίσω από το φράγμα ρέει μέσα από μια εισαγωγή προς τα πτερύγια του στρόβιλου, προκαλώντας τα να περιστραφούν. Η γεννήτρια συνδέεται με τον στρόβιλο μέσω ενός άξονα. Επομένως, με την περιστροφή του άξονα προκαλείται περιστροφή της γεννήτριας, με αποτέλεσμα την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.



Σχήμα 2.5: Σύστημα υδροηλεκτρικής ενέργειας.

Η ηλεκτρική ενέργεια μπορεί να μεταφερθεί μέσω ηλεκτρικών γραμμών μεγάλων αποστάσεων σε σπίτια, εργοστάσια και επιχειρήσεις. Άλλοι τύποι υδροηλεκτρικών σταθμών χρησιμοποιούν τη ροή μέσω μιας οδού χωρίς φράγμα.

Τα φράγματα με ταμιευτήρες έχουν τη δυνατότητα να αποθηκεύουν νερό για μικρές ή μεγάλες περιόδους για την κάλυψη αιχμών ζήτησης. Ακόμη, ορισμένα φράγματα μπορούν να χωριστούν σε μικρότερα για διαφορετικούς σκοπούς, όπως νυκτερινή ή πρωινή χρήση. Τέλος, είναι δυνατή η αξιοποίηση της ροής των ποταμών χωρίς φράγματα, εγκαταστάσεις δηλαδή που δεν παρεμβαίνουν στη φυσική ροή, αν και η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας είναι περιορισμένη.

2.5 Βιομάζα

Η βιομάζα αποτελεί τη μεγαλύτερη πηγή ανανεώσιμης ενέργειας. Ως βιομάζα μπορεί να θεωρηθεί οτιδήποτε φυτρώνει, δεν βρίσκεται σε ορυκτή μορφή και μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως καύσιμο για την παραγωγή ενέργειας. Για παράδειγμα, καλλιεργήσιμα φυτά, θάμνοι, δέντρα, ζώα, ανθρώπινα και ζωικά απόβλητα, καθώς και υπολείμματα τροφίμων και όποιο άλλο απόβλητο που σήπεται γρήγορα μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως βιομάζα.

2.5.1 Βιοκαύσιμα

Τα καύσιμα κίνησης, υγρά ή αέρια, που παράγονται από βιομάζα ονομάζονται βιοκαύσιμα. Παρακάτω αναφέρονται συνοπτικά κάποια από τα πιο ευρέως χρησιμοποιούμενα βιοκαύσιμα.

- Πέλλετ: μηχανικά συμπιεσμένη βιομάζα ή οργανική ύλη, συνήθως από πριονίδι.
- Βιοντίζελ (πετρέλαιο βιολογικής προέλευσης): μεθυλεστέρες λιπαρών οξέων (ΜΛΟ – FAME) που παράγονται από φυτικά ή ζωικά έλαια και λίπη και είναι ποιότητας πετρελαίου ντίζελ, για χρήση ως βιοκαύσιμο.
- Βιοαιθανόλη: η αιθανόλη που παράγεται από Βιομάζα ή από βιοαποικοδομήσιμο κλάσμα αποβλήτων, για χρήση ως βιοκαύσιμο.
- Βιοαέριο: το καύσιμο αέριο που παράγεται από βιομάζα ή βιοαποικοδομήσιμο κλάσμα βιομηχανικών και αστικών αποβλήτων, το οποίο μπορεί να καθαριστεί και να αναβαθμιστεί σε ποιότητα φυσικού αερίου, για χρήση ως βιοκαύσιμο, ή το ξυλαέριο.
- Βιομεθανόλη: η μεθανόλη που παράγεται από βιομάζα, για χρήση ως βιοκαύσιμο.

- Βιο-ETBE: ο αιθυλο-τριτοταγής-βουτυλαιθέρας (ETBE) που παράγεται από βιο-αιθανόλη, για χρήση ως βιοκαύσιμο. Το κατ' όγκο ποσοστό Βιο-ETBE που υπολογίζεται ως Βιοκαύσιμο είναι 47% επί του συνόλου του.
- Βιο-MTBE: ο μεθυλο-τριτοταγής-βουτυλαιθέρας (MTBE) που παράγεται από μεθανόλη, για χρήση ως βιοκαύσιμο. Το κατ' όγκο ποσοστό Βιο-MTBE που υπολογίζεται ως βιοκαύσιμο είναι 36% επί του συνόλου του.

2.5.2 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα

Τα μεγαλύτερα πλεονεκτήματα της βιομάζας ως πηγή ενέργειας είναι τα υπέρογκα αποθέματα φυσικών πόρων που μπορούν να αξιοποιηθούν, η ικανότητά της να μετατραπεί μέσω της καύσης σε άλλες μορφές ενέργειας, όπως την ηλεκτρική, τη θερμική, αλλά και την κινητική (καύσιμα μεταφοράς). Παρά το γεγονός ότι η καύση βιομάζας απελευθερώνει διοξείδιο του άνθρακα στο περιβάλλον, το μεγαλύτερο ποσοστό του δεσμεύεται και πάλι από τα φυτά για τη δημιουργία νέας βιομάζας.

Τα κυριότερα μειονεκτήματά της αποτελούν η χρήση μεγάλων αποθεμάτων αξιοποιήσιμων υλικών για την ικανοποίηση των διατροφικών αναγκών του ανθρώπου είτε άμεσα (τροφή), είτε έμμεσα (εκτροφή ζώων) και η εκπομπή επικίνδυνων για το περιβάλλον ρύπων. Τέλος, λόγω υψηλής περιεκτικότητας σε υγρασία αλλά και δυσκολίας στη συγκέντρωση και μεταφορά της βιομάζας το ενεργειακό κόστος είναι αυξημένο.

2.5.3 Αξιοποίηση

Σήμερα, στην Ελλάδα, πρακτικά το σύνολο της παραγωγής ηλεκτρισμού από Βιομάζα και Βιοκαύσιμα προέρχεται από ΧΥΤΑ και εγκαταστάσεις βιολογικού καθαρισμού αστικών λυμάτων, όπου παράγεται Βιοαέριο από την αναερόβια χώνευση του βιοαποικοδομήσιμου κλάσματος των αποβλήτων. Εκεί, η μετατροπή της χημικής ενέργειας σε ηλεκτρική γίνεται ως τώρα αποκλειστικά από εμβολοφόρες μηχανές εσωτερικής καύσης. Γενικότερα ωστόσο, οι τεχνολογίες ηλεκτροπαραγωγής από ρευστά Βιοκαύσιμα συμπεριλαμβάνουν αεριοστρόβιλους και συστοιχίες μικροτουρ-

μπινών σε απλούς και συνδυασμένους κύκλους ή σε εφαρμογές συμπαραγωγής ηλεκτρισμού και θερμότητας (ΣΗΘ).

2.6 Γεωθερμία

Γεωθερμική ενέργεια ονομάζεται η θερμική ενέργεια που παράγεται κάτω από την επιφάνεια της γης. Η ενέργεια αυτή μεταφέρεται προς την επιφάνεια με τη μορφή νερού ή ατμού. Ανάλογα με τα χαρακτηριστικά της, η γεωθερμική ενέργεια μπορεί να χρησιμοποιηθεί για θέρμανση και ψύξη ή για παραγωγή καθαρής ηλεκτρικής ενέργειας.

2.6.1 Γεωθερμία για ψύξη ή θέρμανση

Σε αυτήν την περίπτωση γίνεται εκμετάλλευση της σχετικά σταθερής θερμοκρασίας στο εσωτερικό της Γης μέσω γεωθερμικών αντλιών (GHP) για την ψύξη και θέρμανση κατοικιών και εμπορικών κτιρίων και την παροχή ζεστού νερού. Συνήθως χρειάζονται μικρή παροχή ηλεκτρικής ισχύος. Ωστόσο, η αποδιδόμενη ισχύς μπορεί να φτάσει μέχρι και τέσσερις φορές της δαπανώμενης. Η βασική αρχή λειτουργίας τους είναι η ανταλλαγή θερμότητας από μία περιοχή χαμηλότερης θερμοκρασίας σε μία υψηλότερης. Κατά τους θερινούς μήνες, θερμότητα μεταφέρεται από την επιφάνεια (ή εσωτερικό χώρο) στο υπέδαφος, ενώ κατά τους χειμερινούς μήνες η διαδικασία αντιστρέφεται.

Υπάρχουν δύο βασικοί τύποι συστημάτων GHP: συστήματα ανοικτού τύπου και συστήματα κλειστού τύπου, τα οποία μπορούν να εγκατασταθούν είτε οριζόντια, είτε κατακόρυφα. Η επιλογή του τύπου αντλίας εξαρτάται από τον τύπο εδάφους και υπεδάφους της περιοχής, τις διαστάσεις της περιοχής εγκατάστασης και τη δυνατότητα δημιουργίας υδάτινων πηγαδιών.

Στα συστήματα κλειστού τύπου, ένα κλειστό σύστημα αγωγών τοποθετείται μέσα στο έδαφος, σε οριζόντια θέση σε βάθος ενός ή δύο μέτρων ή σε κατακόρυφη σε βάθος πενήντα έως εκατό μέτρων. Οι αγωγοί διαρρέονται από ένα διάλυμα αντιψυκτικού -

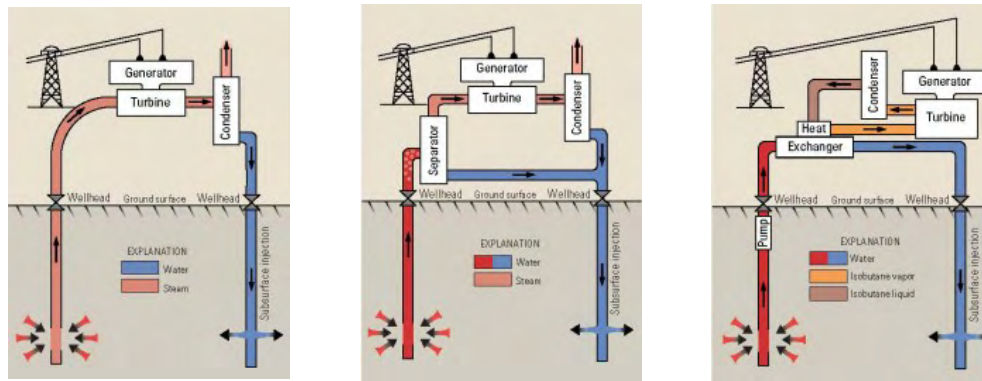
νερού για τη μεταφορά θερμότητας από το έδαφος προς την επιφάνεια το καλοκαίρι και από την επιφάνεια προς το έδαφος τον χειμώνα.

Το σύστημα ανοιχτού τύπου χρησιμοποιεί ρευστό από κάποιον υπόγειο ταμιευτήρα, το οποίο αφού περάσει από εναλλάκτη και γίνει η ανταλλαγή θερμότητας, εναποτίθεται σε έναν δεύτερο ταμιευτήρα ή ακόμη και κάποιο αρδευτικό κανάλι.

Η αποτελεσματικότητα των μονάδων GHP περιγράφεται από τον συντελεστή απόδοσης, COP_h όταν λειτουργεί για θέρμανση και COP_c όταν λειτουργεί για ψύξη. Εκφράζεται ως ο λόγος της παραγωγής ενέργειας διαιρούμενη με την ενέργεια εισόδου (ηλεκτρική ενέργεια για τον συμπιεστή) και κυμαίνεται από 3 έως 6 με τον τρέχοντα εξοπλισμό. Μεγαλύτερες τιμές COP σημαίνουν καλύτερη απόδοση της αντλίας. Οι γεωθερμικές αντλίες θεωρούνται από τα πλέον αποδοτικά μέσα θέρμανσης - ψύξης, γεγονός που είναι εμφανές αν αναλογιστεί κανείς πως μία μέση αντλία θερμότητας που χρησιμοποιεί ως μέσο τον αέρα έχει συντελεστή απόδοσης περίπου 2.

2.6.2 Γεωθερμία για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας

Όπως και οι συμβατικοί σταθμοί, έτσι κι αυτοί που βασίζονται στη γεωθερμία χρησιμοποιούν ατμοστρόβιλους για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Νερό ή άλλο ρευστό λαμβάνεται από γεωθερμικό ταμιευτήρα, θερμαίνεται (ή χρησιμοποιείται όπως είναι), εισέρχεται μέσω του φρεατίου παραγωγής και οδηγείται σε έναν στρόβιλο. Εκεί, η θερμική ενέργεια (θερμότητα) μετατρέπεται σε ηλεκτρισμό μέσω του φαινομένου της ηλεκτρομαγνητικής επαγωγής. Στη συνέχεια, το υγρό περνά από συμπιεστή, ψύχεται και διοχετεύεται πίσω στον γεωθερμικό ταμιευτήρα μέσω του φρεατίου επανεισαγωγής για να ολοκληρωθεί ο κύκλος. Καθώς το ρευστό που εισάγεται στο σύστημα έχει ήδη αυξημένη θερμοκρασία, δεν απαιτείται η χρήση μπόιλερ για τη θέρμανση του. Ανάλογα με τη φάση του ρευστού (υγρή ή αέρια) και τη θερμοκρασία του, οι σταθμοί παραγωγής διακρίνονται σε τρεις κατηγορίες: ξηρού ατμού (dry steam), στιγμιαίας ατμοποίησης (flash steam) και εργαζόμενου μέσου (binary fluid).



(α) Ξηρού ατμού (β) Στιγμαϊάς ατμοποίησης (γ) Εργαζόμενου μέσου

Σχήμα 2.6: Είδη γεωθερμικών σταθμών.

Η πρώτη κατηγορία σταθμού ονομάζεται ξηρού ατμού (Σχήμα 2.6α) καθώς το νερό που εξάγεται από τους υπόγειους ταμιευτήρες πρέπει να βρίσκεται σε αέρια μορφή. Ο γεωθερμικός ατμός θερμοκρασία 150 °C εξάγεται από τις δεξαμενές μέσω των φρεατίων παραγωγής και αποστέλλεται κατευθείαν στον στρόβιλο. Αυτός είναι και ο παλαιότερος τύπος γεωθερμικού σταθμού.

Οι σταθμοί στιγμιαίας ατμοποίησης (Σχήμα 2.6β) χρησιμοποιούν νερό σε θερμοκρασίες τουλάχιστον 182 °C. Ο όρος στιγμιαίας ατμοποίησης αναφέρεται στη διαδικασία όπου το ζεστό νερό υψηλής πίεσης μεταβαίνει σε αέρια φάση μέσα σε μια δεξαμενή μέσω μείωσης της πίεσης. Αυτός ο ατμός χρησιμοποιείται στη συνέχεια για την περιστροφή του στρόβιλου. Είναι ο πιο συνηθισμένος τύπος ηλεκτροπαραγωγής με βάση τη γεωθερμία.

Σε αντίθεση με τους παραπάνω τύπους γεωθερμικών σταθμών, οι σταθμοί εργαζόμενου μέσου (Σχήμα 2.6γ) χρησιμοποιούν νερό χαμηλής θερμοκρασίας, έως και 57 °C.). Χρησιμοποιώντας ένα εργαζόμενο μέσο με πολύ χαμηλότερη θερμοκρασία βρασμού από το νερό, η θερμική ενέργεια στο νερό της δεξαμενής μετατρέπεται το υγρό σε ατμό. Το νερό που προέρχεται από τις γεωθερμικές δεξαμενές μέσω των φρεατίων παραγωγής δεν είναι ποτέ σε άμεση επαφή με το υγρό εργασίας. Αφού μεταφερθεί η θερμική ενέργεια στο λειτουργικό υγρό με εναλλάκτη θερμότητας, το νερό επιστρέφεται στη δεξαμενή μέσω των φρεατίων επανεισαγωγής, όπου ανακτά τη θερμική του ενέργεια. Το μειονέκτημα αυτών των σταθμών είναι ότι έχουν ποσοστό θερμικής απόδοσης μόνο 10-13%. Ωστόσο, μας επιτρέπουν, μέσω της μείωσης

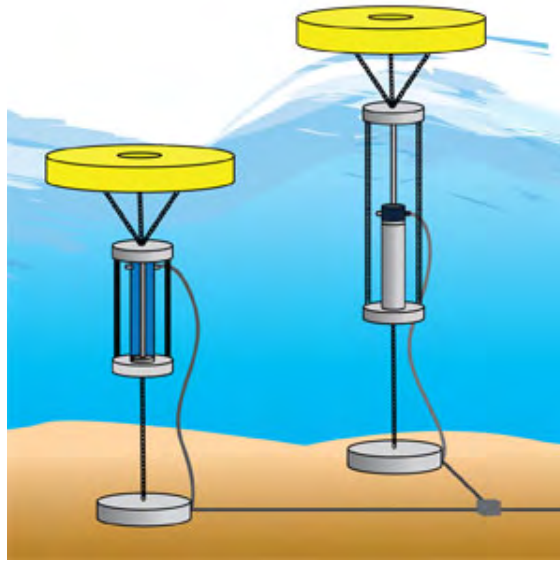
των απαιτήσεων θερμοκρασίας, να αξιοποιήσουμε τη γεωθερμική ενέργεια από τις δεξαμενές, οι οποίες δεν θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν από τους άλλους δύο τύπους.

2.7 Ενέργεια από τη θάλασσα

Η πιο συνηθισμένη τεχνολογία αξιοποίησης της ενέργειας της θάλασσας χρησιμοποιεί σημαντήρες ή συστήματα επίπλευσης (Σχήμα 2.7) που βασίζονται στην άνοδο και πτώση των διογκώσεων των κυμάτων για την κίνηση υδραυλικών αντλιών. Καθώς τα κύματα προκαλούν την κίνηση του στροβίλου η κινητική ενέργεια μετατρέπεται σε ηλεκτρική. Ένας άλλος τρόπος παραγωγής ενέργειας από τα κύματα είναι με την χρήση ταλαντευόμενων διατάξεων υδάτινων στηλών, οι οποίες είναι εξοπλισμένες με κατακόρυφα έμβολα που παράγουν ενέργεια με τη βοήθεια της άνωσης και της βαρύτητας. Μια ακόμη τεχνολογία είναι η χρήση κωνικών διαύλων, μηχανισμών δηλαδή οι οποίοι διοχετεύουν και συμπυκνώνουν σε μια ανυψωμένη δεξαμενή τα κύματα και στη συνέχεια μία υδροηλεκτρική συσκευή μετατρέπει την πίεση αυτών σε ηλεκτρική ενέργεια.

Όσον αφορά τους παλιρροϊκούς σταθμούς, η άφιξη των κυμάτων προκαλεί άνοδο και πτώση του νερού εντός του θαλάμου του σταθμού. Έτσι, κινείται αέρας μέσα και έξω από μια τρύπα στην κορυφή του θαλάμου. Σε αυτή την τρύπα τοποθετείται μία τουρμπίνα, η οποία περιστρέφεται με την κίνηση του αέρα, με αποτέλεσμα να λειτουργεί ως γεννήτρια. Το σύστημα εκμεταλλεύεται την κινητική ενέργεια των κυμάτων για την παραγωγή ηλεκτρικής.

Ένα από τα μεγαλύτερα πλεονεκτήματα της παραγωγής ενέργειας μέσω της εκμετάλλευσης των κυμάτων είναι ότι ποτέ δεν θα εξαντληθεί. Σε αντίθεση με τα ορυκτά καύσιμα, η παραγωγή ενέργειας από τα κύματα δεν παράγει επιβλαβή υποπροϊόντα, όπως για παράδειγμα καυσαέρια και απόβλητα. Επιπροσθέτως, η ενέργεια από τα κύματα μπορεί να ληφθεί απευθείας και να αξιοποιηθεί από μηχανές παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Τέλος, ιδιαίτερα σημαντική είναι η δυνατότητα τοποθέτησης μέσων αξιοποίησής της κοντά στους καταναλωτές, καθώς πολλές μεγάλες πόλεις και λιμάνια βρίσκονται δίπλα στον ωκεανό.



Σχήμα 2.7: Πλωτό σύστημα εκμετάλλευσης της κυματικής ενέργειας.

2.8 Κύρια πλεονεκτήματα των ΑΠΕ

Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας είναι πρακτικά ανεξάντλητες και συμβάλλουν στη μείωση της εξάρτησης από τους συμβατικούς ενεργειακούς πόρους. Αποτελούν απάντηση στο ενεργειακό πρόβλημα για τη σταθεροποίηση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα και άλλων αερίων του θερμοκηπίου. Επιπλέον, αντικαθιστώντας μονάδες παραγωγής ενέργειας που χρησιμοποιούν υδρογονάνθρακες, οδηγούν σε μείωση των εκπομπών άλλων ρύπων, όπως τα οξείδια του θείου και του αζώτου, κύρια αίτια της όξινης βροχής.

Οι γεωπολιτικοί περιορισμοί βαρύνουν σε τεράστιο βαθμό τον τομέα της ενέργειας. Η Ευρώπη εξαρτάται κατά 50% από τις εισαγωγές της. Το ποσοστό αυτό θα ανέλθει σε 70% γύρω στο 2030. Οι εισαγωγές αυτές μάλιστα συνδέονται σχεδόν αποκλειστικά με τα ορυκτά καύσιμα. Ένα ακόμα σημαντικό πλεονέκτημα των ΑΠΕ είναι ότι αποτελούν εγχώριες πηγές ενέργειας και συμβάλλουν στην αύξηση της ενεργειακής ανεξαρτησίας και της ασφάλειας του ενεργειακού εφοδιασμού σε εθνικό επίπεδο. Η Ελλάδα διαθέτει σημαντικό δυναμικό ποσοστό ΑΠΕ που μπορεί να προσφέρει πρακτική εναλλακτική λύση για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών της.

Επιπρόσθετα, η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας βασισμένη σε ΑΠΕ είναι γεωγραφικά διασκορπισμένη, οδηγώντας στην αποκέντρωση του ενεργειακού συστήματος.

Καθίσταται έτσι δυνατή η κάλυψη των ενεργειακών αναγκών σε τοπικό και περιφερειακό επίπεδο, ανακουφίζοντας τα συστήματα υποδομής και μειώνοντας τις απώλειες από τη μετάδοση ενέργειας.

Οι ΑΠΕ παρέχουν ευκαιρίες για ορθολογική χρήση ενεργειακών πηγών, αφού καλύπτουν ένα ευρύ φάσμα ενεργειακών αναγκών των χρηστών, όπως για παράδειγμα η ηλιακή ενέργεια για θερμότητα χαμηλής θερμοκρασίας ή η αιολική ενέργεια για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Συνήθως έχουν χαμηλό λειτουργικό κόστος, το οποίο δεν επηρεάζεται από τις διακυμάνσεις της διεθνούς οικονομίας και ιδιαίτερα από τις τιμές των συμβατικών καυσίμων. Τέλος, σε πολλές περιπτώσεις, μπορούν να αποτελέσουν καταλύτη για την ανανέωση των οικονομικά και κοινωνικά υποβαθμισμένων περιοχών προωθώντας την τοπική ανάπτυξη. Συμβάλλουν στην προσέλκυση επενδύσεων και ανοίγουν τον δρόμο για δημιουργία νέων θέσεων εργασίας.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΕΥΦΥΗ ΔΙΚΤΥΑ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

3.1 Εισαγωγή

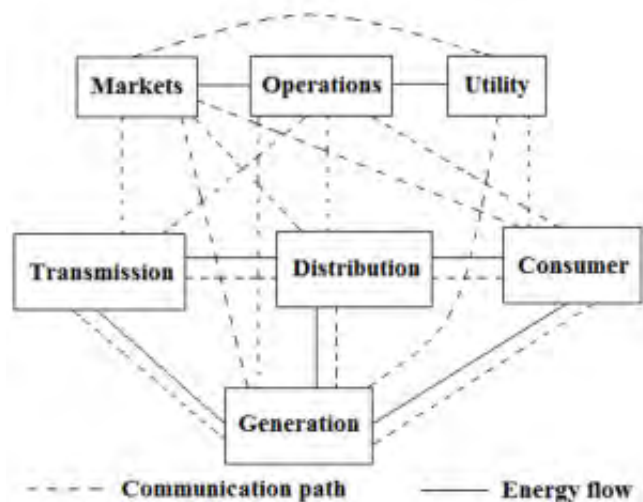
Με την πάροδο του χρόνου, η κοινωνία προοδεύει. Η τεχνολογία εξελίσσεται, το βιωτικό επίπεδο των ανθρώπων αυξάνει κι αυτοί προσαρμόζονται στα νέα δεδομένα. Τα συστήματα ισχύος, μετά από αρκετές δεκαετίες βραδείας ανάπτυξης, βιώνουν τεράστιες αλλαγές λόγω πολλών παραγόντων, όπως η ανάγκη κλιμάκωσης, η ενσωμάτωση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, τα προβλήματα των παλαιών υποδομών, οι ανάγκες ενεργειακής απόδοσης και οι αυξανόμενες ανησυχίες σχετικά με την ευπάθεια του συστήματος σε ένα πλαίσιο απελευθερωμένης αγοράς της ενέργειας. Η πολυπλοκότητα λειτουργίας του δικτύου αυξάνεται, με αποτέλεσμα να καθίσταται απαραίτητη η εισαγωγή “έξυπνων” στοιχείων, ώστε να βελτιώνεται η ασφάλεια, η οικονομική λειτουργία και η απόδοση του συστήματος. Έτσι, άρχισε να εμφανίζεται ο όρος ευφυές δίκτυο (smart grid).

Ο όρος αυτός αναφέρεται σε ένα σύνολο μεμονωμένων τεχνολογιών. Είναι ένας όρος ομπρέλα κάτω από τον οποίο βρίσκονται πολλές διαφορετικές τεχνολογίες ηλεκτρικών συστημάτων, τόσο υλικού όσο και λογισμικού, που συνεχώς αναπτύσσονται. Υπάρχουν διάφοροι ορισμοί για το ευφυές δίκτυο. Για κάποιους αυτό χαρακτηρίζεται κυρίως ως η προσθήκη ενός επιπέδου τεχνολογίας πληροφοριών και επικοινωνίας (ΤΠΕ) στην υπάρχουσα υποδομή. Για άλλους, το ευφυές δίκτυο αντιπροσωπεύει την εγκατάσταση νέων γραμμών μεταφοράς, έξυπνων μετρητών και μονάδων παραγωγής που βασίζονται σε ΑΠΕ.

3.2 Αρχιτεκτονική Ευφυούς Δικτύου

Όπως αναφέραμε στο Κεφάλαιο 1, το συμβατικό δίκτυο διακρίνεται σε τέσσερις τομείς: την παραγωγή, τη μεταφορά, τη διανομή και τους καταναλωτές. Αντίθετα, το ευφυές δίκτυο, στοχεύοντας στη βελτίωση των υπηρεσιών που διατίθενται στον τελικό χρήστη αλλά και στην εύρυθμη κι αξιόπιστη λειτουργία του δικτύου, έχει πιο

πολύπλοκη δομή. Έτσι λοιπόν, πέρα από τους παραπάνω τομείς, διακρίνουμε τον τομέα της αγοράς, της παροχής υπηρεσιών και του κέντρου ενεργειών (Σχήμα 3.1).



Σχήμα 3.1: Το μοντέλο ενός ευφυούς δικτύου [10].

3.2.1 Τομέας Καταναλωτών

Το ευφυές δίκτυο σχεδιάζεται με επίκεντρο τον καταναλωτή. Αυτός, έχει στη διάθεσή του εργαλεία που του επιτρέπουν να ελέγχει την παραγωγή και την κατανάλωσή του. Τα συνηθέστερα είναι μετρητές που πέρα από τον έλεγχο, προσφέρουν επιπλέον ροή πληροφορίας ανάμεσα σε αυτόν και σε άλλους τομείς όπως η παραγωγή και η αγορά. Ο καταναλωτικός τομέας διακρίνεται σε μικρότερα τμήματα με βάση τις ενεργειακές ανάγκες. Οικιακοί καταναλωτές χαρακτηρίζονται αυτοί με κατανάλωση μικρότερη των 20 KW, εμπορικοί αυτοί με κατανάλωση από 20 έως 200 KW και βιομηχανικοί αυτοί με μεγαλύτερη των 200 KW.

Τα όρια του καταναλωτικού τομέα συνήθως θεωρούνται οι μετρητές του παρόχου και η διεπαφή υπηρεσιών ενέργειας (ESI). Αυτή, παρέχει έναν ασφαλή δίαυλο επικοινωνίας μεταξύ καταναλωτή και διαχειριστή και αποτελεί την κύρια διεπαφή παροχής υπηρεσιών στον τομέα των καταναλωτών. Η επικοινωνία με άλλους τομείς γίνεται μέσω εξελιγμένων υποδομών μέτρησης (AMI) ή μέσω του διαδικτύου. Στον χώρο

του καταναλωτή για την επικοινωνία χρησιμοποιείται το τοπικό δίκτυο (LAN) ή το οικιακό δίκτυο (HAN). Η ύπαρξη πολλών διεπαφών διαχείρισης συστημάτων ενέργειας (EMS) δίνει τη δυνατότητα για περισσότερα μονοπάτια επικοινωνίας για τον καταναλωτή. Τέτοιες διεπαφές δίνουν την ευκαιρία για έλεγχο και παρακολούθηση της διανεμημένης παραγωγής, απομακρυσμένο έλεγχο φορτίου, ενσωμάτωση συστημάτων αυτοματισμού και καταγραφής στοιχείων για λόγους ασφάλειας. Ο καταναλωτικός τομέας είναι άμεσα συνδεδεμένος με τον τομέα της διανομής κι επικοινωνεί με όλους τους άλλους.

3.2.2 Τομέας Αγοράς

Στον τομέα της αγοράς συμπεριλαμβάνονται αγοραπωλησίες αγαθών του δικτύου. Οι συμμετέχοντες διαχειρίζονται τις τιμές κι εξισορροπούν προσφορά και ζήτηση. Η επικοινωνία ανάμεσα στον τομέα αγοράς και τον τομέα παραγωγής ενέργειας είναι ζωτικής σημασίας, αφού ο συντονισμός της κατανάλωσης με την παραγωγή γίνεται μέσω των αγορών. Η παραγωγή της ενέργειας γίνεται και από διανεμημένες μονάδες παραγωγής. Οι μονάδες αυτές ανήκουν στους τομείς του δικτύου μεταφοράς, του δικτύου διανομής και των καταναλωτών.

Πέρα από τις ΜΔΠ, βασικός συντελεστής αυτού του τομέα είναι ο Ανεξάρτητος Διαχειριστής Συστήματος (ISO), ο οποίος είναι υπεύθυνος για τη διαχείριση των χρεώσεων του δικτύου, τη διατήρηση της ασφάλειας του συστήματος, τον προγραμματισμό των εργασιών συντήρησης και τον μακροπρόθεσμο προγραμματισμό του συστήματος. Δρα αμερόληπτα και παρχει τις απαραίτητες πληροφορίες σε άλλες οντότητες της αγοράς. Τέλος, η Ρυθμιστική Αρχή (RA) επιτηρεί την αγορά, προάγει τον υγιή ανταγωνισμό, εισηγείται και εκδίδει οδηγίες για την εύρωστη λειτουργία της αγοράς.

3.2.3 Τομέας Παροχής Υπηρεσιών

Ο τομέας της παροχής υπηρεσιών είναι ιδιαίτερα σημαντικός για την σταθερότητα, την αξιοπιστία και τη γενικότερη ασφάλεια του δικτύου. Αποτελείται από οντότητες

που έχουν ως στόχο την παροχή υπηρεσιών που θα υποστηρίζουν τους τομείς παραγωγής, μεταφοράς, διανομής και κατανάλωσης. Ο τομέας αυτός είναι συνδεδεμένος με τους τομείς κέντρου ενεργειών, αγοράς και καταναλωτών μέσω διεπαφών. Έτσι, έχει τη δυνατότητα να παρέχει προϊόντα και υπηρεσίες που προσαρμόζονται ακριβώς στη μορφή του δικτύου καθώς αυτό εξελίσσεται. Επιπλέον, μέσω της επικοινωνίας με τους τομείς παραγωγής, μεταφοράς και διανομής είναι δυνατός ο καλύτερος έλεγχος του δικτύου, ενώ η επικοινωνία με τον τομέα της αγοράς και των καταναλωτών συμβάλλει τόσο στην οικονομική ανάπτυξη και τον ανταγωνισμό, όσο και στην καλύτερη εξυπηρέτηση του καταναλωτή. Οι υπηρεσίες που παρέχει κυμαίνονται από τον έλεγχο του οικιακού φορτίου, μέχρι και τον καθορισμό των τιμών λογαριασμών των καταναλωτών.

3.2.4 Τομέας Κέντρου Ενεργειών

Ο τομέας κέντρου ενεργειών είναι υπεύθυνος για την ομαλή λειτουργία του δικτύου. Σε αντίθεση με το συμβατικό δίκτυο, όπου τις ενέργειες αυτού του τομέα τις αναλαμβάνει η εταιρεία κοινής ωφέλειας, σε ένα ευφυές δίκτυο, οι ενέργειες μπορούν να κατανέμονται σε διάφορους φορείς. Τέτοιες ενέργειες είναι ο απομακρυσμένος έλεγχος διακοπών, η παρακολούθηση και ανάλυση της λειτουργίας του δικτύου, ο προγραμματισμός εργασιών συντήρησης, η διατήρηση στατιστικών στοιχείων και ο προγραμματισμός επέκτασής του. Η επικοινωνία με τους άλλους τομείς είναι ιδιαίτερα σημαντική για τη διακίνηση αυτών των πληροφοριών.

3.2.5 Τομέας Παραγωγής

Ο τομέας παραγωγής είναι υπεύθυνος για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας για την εξυπηρέτηση του καταναλωτή. Πέρα όμως από την παραγωγή είναι υπεύθυνος και για την ένταξη ΑΠΕ στο δίκτυο, αλλά και τη διαχείρισή της παραγωγής αυτών για την κάλυψη της μεταβλητής ζήτησης. Όριο του θεωρείται ο τομέας μεταφοράς. Επι-

κοινωνεί άμεσα με αυτόν και του παρέχει πληροφορίες σχετικά με τη λειτουργία του και την ποιότητα των υπηρεσιών που προσφέρει στους τομείς αγοράς και κέντρου ενεργειών.

Η αξιοποίηση αυτών των πληροφοριών μπορεί να συμβάλλει ιδιαίτερα στην καλύτερη αξιοπιστία του δικτύου. Πιθανές διακοπές ρεύματος μπορούν να αντιμετωπισθούν με την αλλαγή της ροής ενέργειας από το κέντρο ενεργειών, ενώ σε περίπτωση μειωμένης παραγωγής, η ζήτηση μπορεί να καλυφθεί μέσω της επικοινωνίας με τον τομέα αγοράς. Συσκευές που ανήκουν στον τομέα παραγωγής είναι προστατευτικά ρελέ, καταγραφείς σφαλμάτων, απομακρυσμένα τερματικά (RTU) και συστήματα αυτοματισμών, όπως προγραμματιζόμενοι λογικοί ελεγκτές (PLC).

3.2.6 Τομέας Μεταφοράς

Ο Τομέας Μεταφοράς είναι ο συνδετικός κρίκος ανάμεσα στον τομέα παραγωγής και τον τομέα διανομής. Είναι υπεύθυνος για τη μεταφορά ηλεκτρικής ενέργειας από τον σταθμό παραγωγής στο σύστημα διανομής μέσω πολλαπλών υποσταθμών. Περιλαμβάνει συσκευές μέτρησης, καταγραφής σφαλμάτων, διεπαφές υποσταθμών, ακόμη και διανεμημένες μονάδες παραγωγής και αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας (DER). Μέσω συστημάτων SCADA καθίσταται δυνατός ο έλεγχος του δικτύου μεταφοράς και η επικοινωνία πληροφοριών που σχετίζονται με τη λειτουργία του. Η σύνδεση με τους τομείς αγοράς και κέντρου υπηρεσιών επιτρέπει την παροχή επιπλέον υπηρεσιών στον τομέα των καταναλωτών.

Διαχειριστής του δικτύου μεταφοράς είναι συνήθως κάποιος RTO ή ISO, ο οποίος φροντίζει για τη σταθερότητα του δικτύου, εξισορροπώντας παραγωγή και ζήτηση.

3.2.7 Τομέας Διανομής

Ο τομέας διανομής αποτελείται από τα στοιχεία εκείνα που συνδέουν τον τομέα παραγωγής με τους τομείς μεταφοράς και καταναλωτών και τα σημεία μέτρησης καταναλώσεως, διανεμημένης παραγωγής και αποθήκευσης. Η συνηθέστερη μορφή του

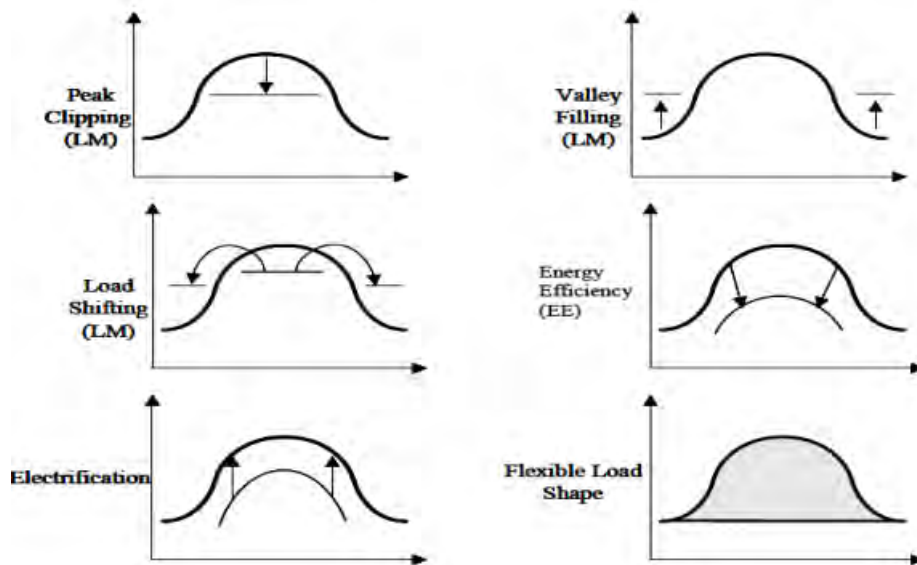
δικτύου διανομής είναι η ακτινική, όπου η επικοινωνία και η ενέργεια συνήθως ρέουν από την παραγωγή προς την κατανάλωση. Ωστόσο, σε ένα ευφυές δίκτυο, το δίκτυο διανομής μπορεί να πάρει κι άλλες μορφές, ενώ η επικοινωνία είναι αμφίδρομη. Χάρη στα ρελέ προστασίας, τα μέσα αποθήκευσης ενέργειας και τις μονάδες διανεμημένης παραγωγής η αξιοπιστία και ευελιξία του δικτύου βελτιώνονται. Παράλληλα, η επικοινωνία με τους τομείς κέντρου υπηρεσιών, καταναλωτών και αγοράς συμβάλλει στον καλύτερο έλεγχο του δικτύου και την παροχή καλύτερων υπηρεσιών στον τελικό χρήστη.

3.3 Διαχείριση Πλευράς Ζήτησης

Ένα από τα πιο σημαντικά συστατικά μέρη του ευφυούς δικτύου που αποσκοπεί στη βελτίωση της αποδοτικότητας του δικτύου είναι η διαχείριση πλευράς ζήτησης (DSM). Στόχος της είναι η λήψη μέτρων για τον καλύτερο έλεγχο, την επιρροή και τη μείωση της ζήτησης της ηλεκτρικής ενέργειας. Οι κύριες μέθοδοι (Σχήμα 3.2) εφαρμογής DSM είναι οι εξής:

- **Peak clipping:** Στοχεύει στη μείωση της ζήτησης σε περιόδους αιχμής.
- **Valley filling:** Στοχεύει στην αύξηση του φορτίου σε περιόδους χαμηλής ζήτησης.
- **Load shifting:** Στοχεύει στη μετατόπιση ζήτησης για την εξομάλυνση της καμπύλης φορτίου.
- **Energy efficiency:** Στοχεύει στη γενικότερη μείωση της ζήτησης.
- **Electrification:** Στοχεύει στη γενικότερη αύξηση της ζήτησης.
- **Flexible load shape:** Στοχεύει στην ευέλικτη διαχείριση φορτίων, τα οποία θα μπορούν να ανταποκρίνονται σε επείγουσες καταστάσεις.

Το DSM περιλαμβάνει προγράμματα συντήρησης, ενεργειακής απόδοσης, υποκατάστασης καυσίμων, απόκρισης ζήτησης και οικιακά ή εμπορικά προγράμματα διαχείρισης φορτίου. Αυτά συνήθως στοχεύουν στη μείωση ή και τη μετατόπιση της κατανάλωσης. Το πρώτο μπορεί να επιτευχθεί με την προώθηση μοτίβων ενεργειακής



Σχήμα 3.2: Μέθοδοι εφαρμογής DSM.

κατανάλωσης και την κατασκευή περισσότερων ενεργειακά αποδοτικών κτιρίων. Ωστόσο, υπάρχει επίσης ανάγκη για μετατόπιση των οικιακών συσκευών υψηλής κατανάλωσης σε ώρες εκτός αιχμής, ώστε να μειωθεί ο λόγος μέγιστης τιμής προς τον μέσο όρο (PAR) (3.1) στην καμπύλη ζήτησης φορτίου.

$$PAR = \frac{L_{peak}}{L_{avg}} \quad (3.1)$$

Προβλέπεται πως η κατάλληλη μετατόπιση φορτίου θα είναι κρίσιμη, καθώς τα ηλεκτροκίνητα υβριδικά οχήματα (PHEVs) γίνονται όλο και πιο δημοφιλή. Τα περισσότερα χρειάζονται φόρτιση ισχύος 0,2 - 0,3 KWh για ένα μίλι οδήγησης [11]. Αυτό θα αποτελέσει ένα σημαντικό φορτίο στο δίκτυο διανομής. Συγκεκριμένα, κατά τη διάρκεια του χρόνου φόρτισης, τα PHEV μπορούν σχεδόν να διπλασιάσουν το μέσο φορτίο ενός νοικοκυριού και να αυξήσουν δραστικά τον ήδη υψηλό δείκτη PAR. Επίσης, ο αυξανόμενος αριθμός PHEV, λόγω της ανισορροπίας που προκύπτει, μπορεί να οδηγήσει σε περαιτέρω υποβάθμιση της ποιότητας της ηλεκτρικής ενέργειας, προβλήματα τάσης ή ακόμη και πιθανές ζημιές σε βοηθητικό και καταναλωτικό εξοπλισμό, εάν το σύστημα δεν είναι κατάλληλα ενισχυμένο.

3.3.1 Άμεσος έλεγχος φορτίου

Μια προσέγγιση της διαχείρισης φορτίου κατοικιών είναι ο άμεσος έλεγχος φορτίου (DLC). Σε προγράμματα DLC, με βάση μία συμφωνία μεταξύ της εταιρείας κοινής ωφέλειας και των πελατών, η εταιρεία ή ένας φορέας σωρευτικής εκπροσώπησης (aggregator) μπορεί να ελέγχει εξ' αποστάσεως τη λειτουργία και την κατανάλωση ενέργειας ορισμένων οικιακών συσκευών. Για παράδειγμα, μπορεί να ελέγχει τον φωτισμό, τον εξοπλισμό θερμικής άνεσης (δηλ. συσκευές θέρμανσης, αερισμού και κλιματισμού), ψυγεία και αντλίες. Ωστόσο, ο απομακρυσμένος έλεγχος οικιακού φορτίου και αυτοματισμού μπορεί να αποτελέσει μείζον εμπόδιο υλοποίησης προγραμμάτων DLC για λόγους ιδιωτικότητας.

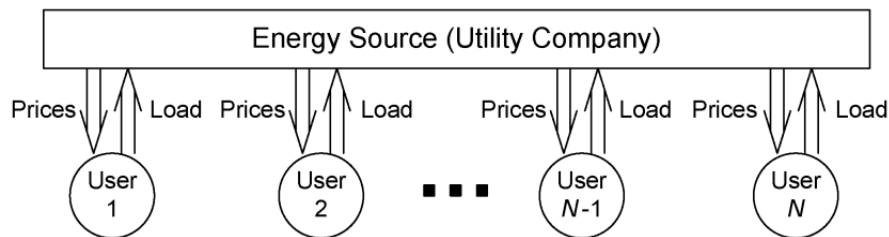
3.3.2 Τιμολογιακά κίνητρα

Μια εναλλακτική λύση για το DLC είναι η έξυπνη τιμολόγηση, όπου οι χρήστες ενθαρρύνονται να διαχειρίζονται οι ίδιοι τα φορτία τους, μειώνοντας π.χ. την κατανάλωσή τους σε ώρες αιχμής. Στην περίπτωση αυτή, η τιμολόγηση κρίσιμης αιχμής (CPP), η τιμολόγηση του χρόνου χρήσης (ToUP) και η τιμολόγηση σε πραγματικό χρόνο (RTP) είναι από τις δημοφιλείς επιλογές. Για παράδειγμα, στα τιμολόγια RTP, η τιμή του ηλεκτρικού ρεύματος ποικίλλει σε διαφορετικές ώρες της ημέρας. Οι τιμές είναι συνήθως υψηλότερες κατά τη διάρκεια του απογεύματος, τις πολύ θερμές ημέρες του καλοκαιριού και τις πολύ ψυχρές ημέρες του χειμώνα.

Τα προγράμματα RTP έχουν υιοθετηθεί σε ορισμένα μέρη στη Βόρεια Αμερική [12]. Ωστόσο, είναι συνήθως δύσκολο για τους χρήστες να αντιδρούν χειροκίνητα στις τιμές που μεταβάλλονται ωριαία, ενώ ένα άλλο πρόβλημα που μπορεί να εμφανιστεί είναι ο συγχρονισμός φορτίου, όπου ένα μεγάλο μέρος του φορτίου μετατοπίζεται από μια τυπική ώρα αιχμής σε μία εκτός αιχμής, χωρίς όμως να μειώνεται σημαντικά ο δείκτης PAR.

Στα περισσότερα από τα προγράμματα DSM που έχουν αναπτυχθεί τις τελευταίες δεκαετίες, επίκεντρο ήταν η αλληλεπίδραση μεταξύ της εταιρείας κοινής ωφέλειας

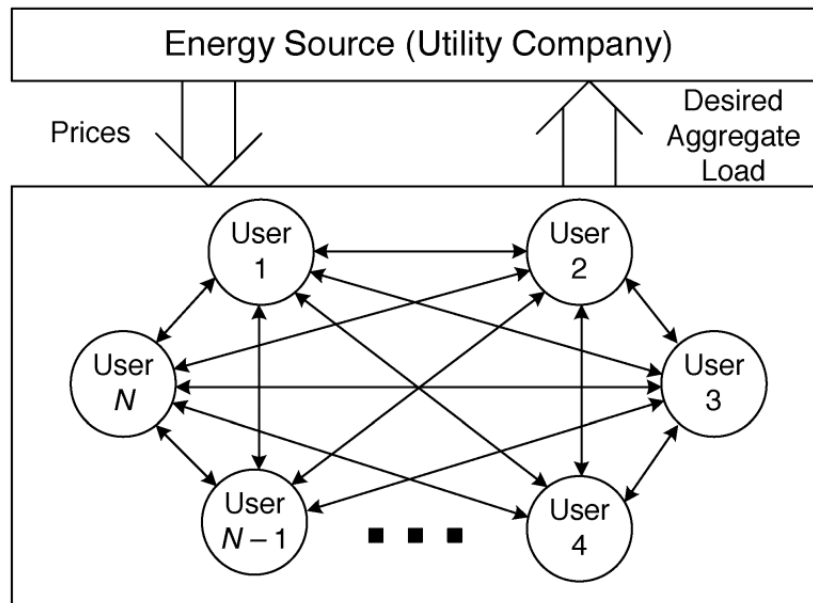
και του τελικού χρήστη. Στα προγράμματα RTP, κάθε χρήστης αναμένεται να ανταποκριθεί μεμονωμένα στις χρονικά μεταβαλλόμενες τιμές, μεταθέτοντας το δικό του φορτίο από τις ώρες υψηλών τιμών στις ώρες χαμηλών τιμών. Κάθε πελάτης επικοινωνεί με την μονάδα παραγωγής ξεχωριστά (Σχήμα 3.3).



Σχήμα 3.3: Λειτουργία DSM όπου κάθε χρήστης επικοινωνεί μεμονωμένα με την παραγωγή.

Μια τέτοια προσέγγιση στον έλεγχο οικιακών φορτίων μπορεί να μην επιτυγχάνει πάντα την καλύτερη λύση στο πρόβλημα ενεργειακής κατανάλωσης. Αντί να εστιάζει στη συμπεριφορά του κάθε χρήστη μεμονωμένα, ένα καλό πρόγραμμα DSM πρέπει να εξασφαλίζει ότι το συνολικό φορτίο θα ικανοποιεί ορισμένες επιθυμητές συνθήκες. Για παράδειγμα, μόνο το συνολικό φορτίο κάθε ώρα είναι σημαντικό όταν πρόκειται για την επίλυση της οικονομικής κατανομής. Επίσης, το PAR εξαρτάται μόνο από τη συνολική ζήτηση φορτίου. Επομένως, ενώ είναι χρήσιμο να χρησιμοποιούνται aggregators για τη διαμόρφωση φορτίου, είναι επίσης σημαντικό να σχεδιαστούν αποτελεσματικότερες στρατηγικές διαχείρισης οικιακών φορτίων, οι οποίες να επιτρέπουν την αλληλεπίδραση μεταξύ χρηστών μέσω ανταλλαγής μηνυμάτων (Σχήμα 3.4).

Εάν οι χρήστες έχουν επαρκή κίνητρα, μπορούν να συντονίσουν τη χρήση τους για τη μείωση του PAR ή την ελαχιστοποίηση του κόστους ενέργειας. Λόγω των εξελίξεων στις τεχνολογίες ευφυούς δικτύου, οι αλληλεπιδράσεις μεταξύ των χρηστών δεν απαιτείται να είναι χειροκίνητες, αλλά μπορεί να είναι αυτόματες μέσω αμφίδρομης ψηφιακής επικοινωνίας.



Σχήμα 3.4: Λειτουργία DSM όπου οι χρήστες επικοινωνούν μεταξύ τους και με την παραγωγή.

3.4 FACTS

Με την εξέλιξη του δικτύου τα τελευταία χρόνια και την ένταξη των ΑΠΕ στο ηλεκτρικό δίκτυο άρχισαν να χρησιμοποιούνται υβριδικά συστήματα διασύνδεσης AC-DC και διανεμημένης παραγωγής (DG). Ως αποτέλεσμα, η ασφάλεια και η αποδοτικότητα του δικτύου αυξήθηκαν σημαντικά. Ωστόσο, καθώς οι ΑΠΕ συνδέονται τόσο στο δίκτυο μεταφοράς όσο και στο δίκτυο διανομής μέσω ηλεκτρονικών ισχύος, εμφανίζονται προβλήματα στην ποιότητα του ρεύματος, όπως αρμονικές και διαταραχές τάσης.

Για την αντιμετώπιση των παραπάνω προβλημάτων, αναπτύχθηκε κατά τη δεκαετία του 1980 [13] η έννοια των ευέλικτων συστημάτων μετάδοσης AC (FACTS). Βασική ιδέα των συσκευών FACTS είναι ο έλεγχος ενεργού και άεργου ισχύος στο δίκτυο μεταφοράς με τη χρήση ηλεκτρονικών ισχύος. Κύριες μέθοδοι των συσκευών αυτών για τη βελτίωση της ποιότητας του ρεύματος είναι οι εξής:

- Η διαμόρφωση του φανταστικού μέρους της σύνθετης αγωγιμότητας και της σύνθετης αντίστασης στο σημείο ζεύξης με τον ζυγό εναλλασσόμενου ρεύματος.

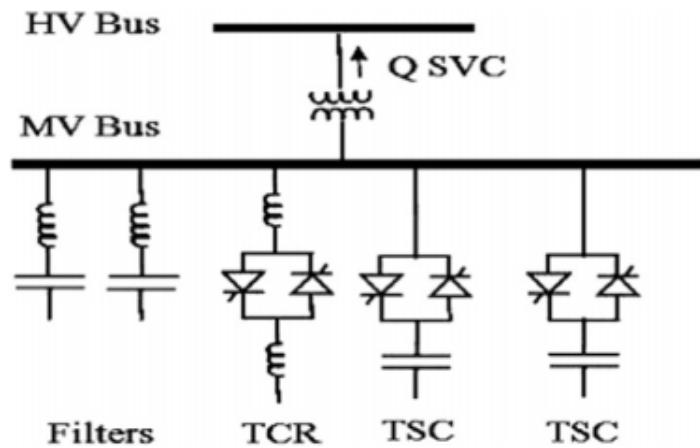
- Η σύνδεση στοιχείων σε σειρά ή παράλληλα για την πρόκληση ροής ρεύματος ή την εφαρμογή τάσης.
- Η παροχή τοπικών επαγωγικών ή χωρητικών ρευμάτων στον ζυγό για τον έλεγχο της ροής ισχύος.
- Η διαμόρφωση ή η εναλλαγή της ισοδύναμης αντίστασης στον ζυγό αναφοράς.

Οι συσκευές FACTS κατά την εξέλιξή τους πέρασαν από ορισμένα στάδια. Η πρώτη γενιά αποτελούνταν από μηχανικά ελεγχόμενους πυκνωτές και πηνία. Στη δεύτερη γενιά, οι μηχανικοί διακόπτες αντικαταστάθηκαν από θυρίστορ, ενώ στην τρίτη βασίστηκαν σε μετατροπείς. Ανάλογα με τον τρόπο με τον οποίο συνδέονται οι συσκευές FACTS, διακρίνονται σε ελεγκτές συνδεδεμένους παράλληλα, σε σειρά ή συνδυασμό και των δύο.

3.4.1 Στατικός αντισταθμιστής VAR

Η συνηθέστερη μορφή ενός στατικού αντισταθμιστή VAR (SVC) (Σχήμα 3.5) είναι ο παράλληλος συνδυασμός σταθερών ή διακοπτόμενων κλάδων, από τους οποίους τουλάχιστον ένας ελέγχεται από θυρίστορ. Οι περισσότεροι SVC περιέχουν συνδυασμό δύο ή περισσότερων στοιχείων όπως πηνίο ελεγχόμενο από θυρίστορ (TCR), πυκνωτή ελεγχόμενο από θυρίστορ (TSC), φίλτρα αρμονικών (FC) και μηχανικά διακοπτόμενες συστοιχίες πυκνωτών (MSC) ή πηνίων (MSR).

Η κύρια λειτουργία ενός SVC είναι η ρύθμιση τάσης σε κάποιον ζυγό παράγοντας ή καταναλώνοντας άεργο ισχύ στη συγκεκριμένη περιοχή του δικτύου. Οι κλάδοι που ελέγχονται από θυρίστορ (TSR ή TSC) αποτελούνται από αντιπαράλληλα συνδεδεμένα θυρίστορ (thyristor valve) σε σειρά με το πηνίο ή τον πυκνωτή και δεν επιτρέπουν τη ροή ρεύματος μέχρι να δοθεί παλμός ενεργοποίησης. Έτσι, είναι δυνατή η σχεδόν άμεση απόκριση στις μεταβολές τάσης. Επομένως, αποφεύγονται προβλήματα υπέρτασης και υπότασης που προκαλούν βλάβες στον ηλεκτρικό εξοπλισμό, αποσβένονται ταχύτερα οι ταλαντώσεις, αυξάνεται η μεταβατική σταθερότητα του



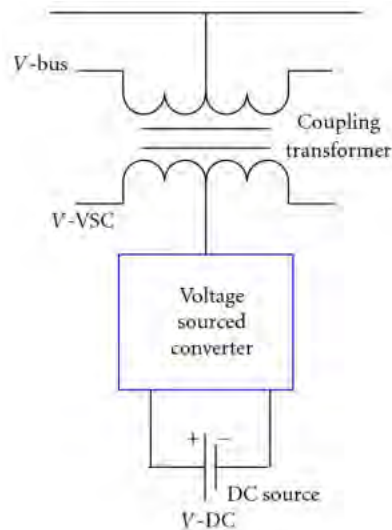
Σχήμα 3.5: Στατικός αντισταθμιστής VAR.

δικτύου και η γενικότερη ποιότητα ενέργειας. Οι SVC δεν συνδέονται απευθείας σε γραμμές ΥΤ, αλλά μετά από υποβιβασμό, σε αντίθεση με αυτομετασχηματιστές και βιομηχανικές εγκαταστάσεις όπου η σύνδεση μπορεί να γίνει απευθείας για την εξοικονόμηση κόστους.

3.4.2 Στατικός σύγχρονος αντισταθμιστής

Ο στατικός σύγχρονος αντισταθμιστής (STATCOM) είναι ένας ελεγκτής που βασίζεται σε VSC. Αποτελείται συνήθως από έναν μετασχηματιστή, έναν μετατροπέα πηγής τάσης και μία πηγή DC (Σχήμα 3.6). Ελέγχει την τάση της γραμμής παράγοντας ή καταναλώνοντας άεργο ισχύ προς ή από το σύστημα. Συγκεκριμένα, στην περίπτωση όπου η παραγόμενη από τον STATCOM τάση είναι μεγαλύτερη από αυτή του ζυγού στον οποίο είναι συνδεδεμένος, τότε ο ελεγκτής λειτουργεί σαν πυκνωτής και παρέχει άεργο ισχύ στο σύστημα. Αντίθετα, όταν η παραγόμενη τάση είναι μικρότερη από αυτή του ζυγού, συμπεριφέρεται σαν επαγωγικό φορτίο και καταναλώνει άεργο ισχύ. Καθώς οι τάσεις εξόδου του μετατροπέα έπονται αυτές του δικτύου κατά μικρή γωνία, ο μετατροπέας απορροφά ένα ποσό ενέργειας για να διατηρεί τον πυκνωτή φορτισμένο στην επιθυμητή τάση και να καλύπτονται οι απώλειες.

Οι ελεγκτές STATCOM, σε αντίθεση με τους SVC, δεν χρειάζονται πυκνωτές και πηγία μεγάλου μεγέθους, ενώ μπορούν να παρέχουν μεγαλύτερη ισχύ ακόμη και σε

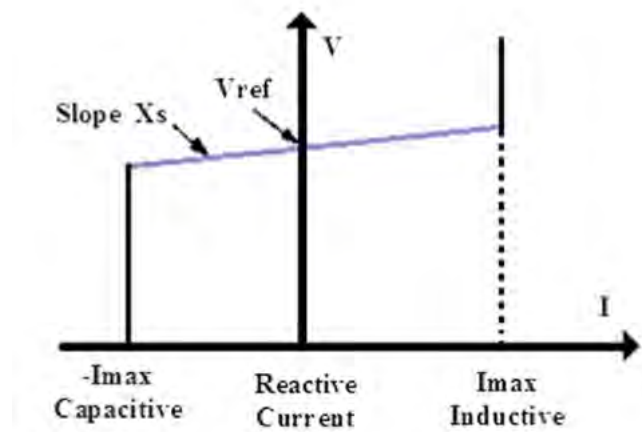


Σχήμα 3.6: Στατικός σύγχρονος αντισταθμιστής.

περίπτωση που η τάση είναι χαμηλή. Προσφέρουν ταχύτερη απόσβεση σε μεταβατικά φαινόμενα, καθώς μπορούν μεταβατικά να ανταλλάζουν ενέργεια με το σύστημα. Στο Σχήμα 3.7 φαίνεται η χαρακτηριστική $V-I$ ενός ελεγκτή STATCOM. Στην επαγωγική και χωρητική περιοχή, ο STATCOM λειτουργεί σαν πηγή ρεύματος. Στην μπλε περιοχή, όπου το ρεύμα κυμαίνεται από $-I_{max}$ έως I_{max} γίνεται η ρύθμιση της τάσης στην επιθυμητή τάση εξόδου V_{ref} . Η χαρακτηριστική δίνεται από τη σχέση:

$$V = V_{ref} + X_s I \quad (3.2)$$

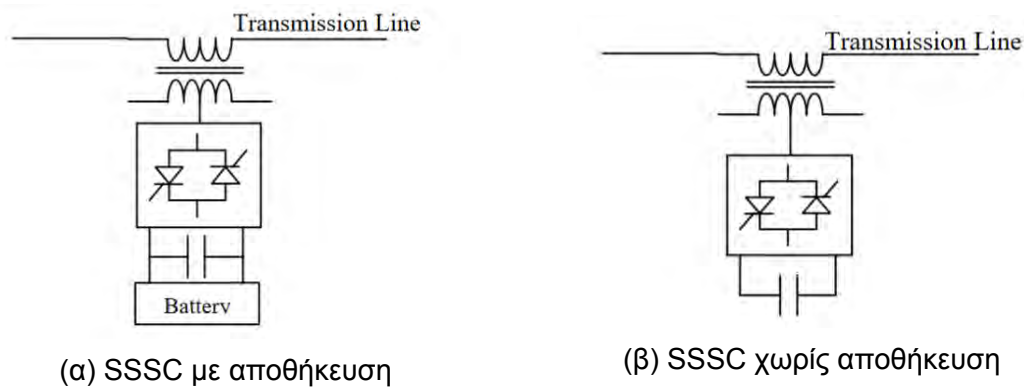
όπου V είναι η ανά μονάδα (pu) τάση θετικής ακολουθίας, I το άεργο ρεύμα (pu/P_{nom}), P_{nom} η ονομαστική ισχύς του μετατροπέα και X_s η κλίση.



Σχήμα 3.7: Χαρακτηριστική $V - I$ STATCOM.

3.4.3 Στατικός σύγχρονος σε σειρά αντισταθμιστής

Ο Στατικός σύγχρονος σε σειρά αντισταθμιστής (SSSC) είναι ένας ελεγκτής FACTS που βασίζεται σε μετατροπέα πηγής τάσης (VSC). Παρέχει τάση με ελεγχόμενο πλάτος και γωνία ισχύος στη συχνότητα της γραμμής, ελέγχοντας έτσι τη ροή φορτίου και βελτιώνοντας τη σταθερότητα της γραμμής. Αποτελείται από έναν VSC και έναν μετασχηματιστή για τη σύνδεση με τη γραμμή μεταφοράς. Επιπλέον, μπορεί να περιλαμβάνει αποθήκευση (SSSC with storage) (Σχήμα 3.8α), όπου η τάση που παρέχεται σε σειρά με τη γραμμή έχει μεταβλητή γωνία ισχύος. Στην περίπτωση όπου δεν γίνεται αποθήκευση (SSSC without storage) (Σχήμα 3.8β), η τάση εξόδου της συσκευής ελέγχεται ανεξάρτητα και έχει διαφορά φάσης 90° με το ρεύμα γραμμής, μεταβάλλοντας έτσι την άεργη πτώση τάσης στη γραμμή.

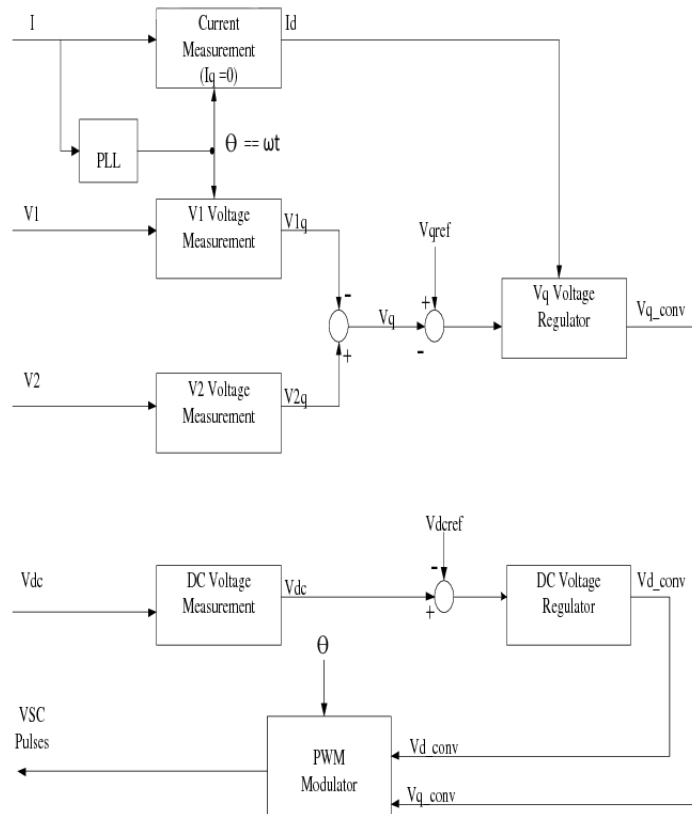


Σχήμα 3.8: Διατάξεις SSSC.

Στο Σχήμα 3.9 φαίνεται το διάγραμμα βαθμίδος του ελεγκτή SSC, ο οποίος αποτελείται από:

- Έναν PLL που συγχρονίζεται στη συνιστώσα θετικής ακολουθίας του ρεύματος I . Η έξοδος του PLL (ωt) χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό των συνιστωσών των εναλλασσόμενων τριφασικών τάσεων και ρευμάτων που αναγράφονται ως V_d, V_q και I_d, I_q αντίστοιχα στο διάγραμμα.
- Το σύστημα μέτρησης των εναλλασσόμενων τάσεων, για τον υπολογισμό της συνιστώσας q των εναλλασσόμενων θετικής ακολουθίας τάσεων V_1 και V_2 (V_{1q} και V_{2q}), καθώς και της DC τάσης (V_{dc}).

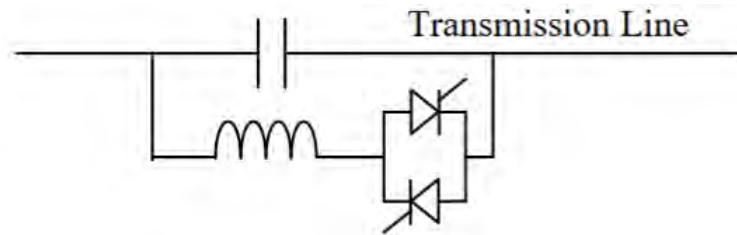
- Ρυθμιστές AC και DC τάσης που υπολογίζουν τις δύο συνιστώσες του μετατροπέα τάσης ($V_{d_{conv}}$ και $V_{q_{conv}}$) που απαιτούνται για να πάρουμε την επιθυμητή DC τάση ($V_{d_{ref}}$) και την παρεχόμενη τάση ($V_{q_{ref}}$).



Σχήμα 3.9: Διάγραμμα βαθμίδος ελεγκτή SSSC.

3.4.4 Σε σειρά αντισταθμιστής ελεγχόμενος από θυρίστορ

Ο σε σειρά αντισταθμιστής ελεγχόμενος από θυρίστορ (TCSC) αποτελείται από μία σε σειρά συνδεδεμένη συστοιχία πυκνωτών παράλληλα με πηνίο ελεγχόμενο από θυρίστορ (TCR) (Σχήμα 3.10). Υπάρχει και η αντίστοιχη διάταξη όπου πηνία συνδέονται παράλληλα σε πυκνωτή ελεγχόμενο από θυρίστορ. Ωστόσο, καθώς η πρώτη διάταξη είναι η πιο ευρέως διαδεδομένη θα αναφερθούμε σε αυτήν. Τα βασικά προτερήματα των ελεγκτών TCSC είναι η αύξηση της μεταφερόμενης ενεργού ισχύος και η ταχύτερη απόσβεση ταλαντώσεων.

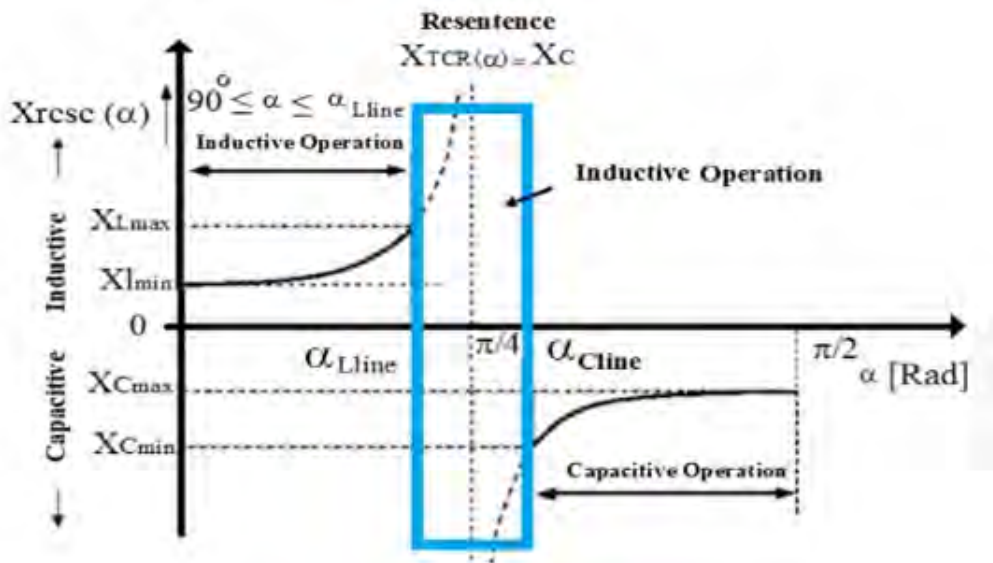


Σχήμα 3.10: Ελεγκτής TCSC.

Ο TCSC ελεγκτής έχει τρία στάδια λειτουργίας. Όταν τα θυρίστορ δεν επιτρέπουν την αγωγή ρεύματος, η σύνθετη αντίσταση του ελεγκτή είναι η χωρητική αντίδραση. Κατά την ενεργοποίηση των θυρίστορ, όπου υπάρχει αγωγή ρεύματος, το μεγαλύτερο μέρος του ρεύματος ρέει στον κλάδο του πηνίου και η σύνθετη αντίσταση είναι επαγωγική. Τέλος κατά τη λειτουργία Vernier, τα σήματα ενεργοποίησης των θυρίστορ ελέγχονται με τέτοιο τρόπο ώστε ένα μέρος του ρεύματος να διαρρέει τον κλάδο της συστοιχίας πυκνωτών με αποτέλεσμα να μεταβάλλεται η χωρητική και επαγωγική αντίδραση του ελεγκτή. Στο Σχήμα 3.11 παρουσιάζεται η σύνθετη αντίσταση του TCSC για διάφορες τιμές της γωνίας καθυστέρησης (α). Όταν η γωνία καθυστέρησης είναι 180° , το πηνίο δεν διαρρέεται από ρεύμα και η σύνθετη αντίσταση είναι αυτή των πυκνωτών. Καθώς η γωνία καθυστέρησης του TCR μειώνεται κάτω από τις 180° , η χωρητική αντίδραση αυξάνεται. Όταν η γωνία καθυστέρησης είναι 90° , το πηνίο γίνεται πλήρως αγώγιμο και η συνολική σύνθετη αγωγιμότητα γίνεται επαγωγική.

3.5 Τα πλεονεκτήματα ενός Ευφυούς Δικτύου

Τα ευφυή δίκτυα υπόσχονται μια πληθώρα πλεονεκτημάτων και βελτιώσεων, οι οποίες αφορούν πολλαπλούς τομείς, όπως για παράδειγμα την αξιοπιστία και την ασφάλεια του δικτύου, την οικονομία, την περιβαλλοντική επίδραση και την αναβάθμιση του ρόλου του καταναλωτή. Στη συνέχεια θα περιγράψουμε τα κυριότερα πλεονεκτήματα ενός ευφυούς δικτύου ενέργειας.



Σχήμα 3.11: Μεταβολή αντίδρασης του TSCS για διάφορες τιμές της γωνίας καθυστέρησης α .

3.5.1 Αξιοπιστία

Το δίκτυο έχει τη δυνατότητα να εντοπίζει προβλήματα και αυτόματα να κατευθύνει τη ροή της ενέργειας ή να απομονώνει μια περιοχή, ώστε να ελαχιστοποιεί τις διακοπές παροχής ηλεκτρισμού. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί με την χρήση ψηφιακών μετρητών. Οι ψηφιακοί μετρητές παρέχουν εξ' αποστάσεως πιο ακριβείς μετρήσεις, οδηγώντας σε καλύτερο έλεγχο της κατανάλωσης, ενώ μπορούν ταυτόχρονα να αναφέρουν τυχόν βλάβες στο δίκτυο, βοηθώντας έτσι στην άμεση αντιμετώπισή τους.

3.5.2 Αποδοτικότητα

Το ευφυές δίκτυο διαχειρίζεται αποδοτικά τους πόρους που έχει, έχοντας έτσι την ικανότητα να αντιμετωπίζει την αυξημένη ζήτηση ενέργειας κατευθύνοντας αποτελεσματικά τη ροή ενέργειας χωρίς να απαιτούνται πρόσθετες υποδομές. Επιπλέον, μπορεί να αντιδράσει σε σφάλματα ή διακοπές λειτουργίας άμεσα χρησιμοποιώντας αισθητήρες πραγματικού χρόνου όπως είναι οι PMU και το αυτόματο κέντρο ελέγχου. Χρησιμοποιεί επίσης ευαίσθητους αισθητήρες οι οποίοι μπορούν να εκκινήσουν, να σταματήσουν ή να μετακινήσουν εκ νέου τη ροή ισχύος. Επιπροσθέτως, η

χρήση Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (GIS) μας βοηθάει να σχεδιάσουμε αποτελεσματικά το δίκτυο ενέργειας, το οποίο θα διασφαλίσει τη βελτιστοποίηση του. Πιο συγκεκριμένα, το GIS χρησιμοποιείται ευρέως για τη βελτιστοποίηση των χρονοδιαγραμμάτων συντήρησης και των καθημερινών κινήσεων του στόλου μια εταιρίας προμήθειας ηλεκτρικής ενέργειας. Οι τυπικές αυτές υλοποιήσεις μπορούν να έχουν ως αποτέλεσμα εξοικονόμηση από 10 έως 30% στα λειτουργικά έξοδα μέσω της μείωσης της χρήσης καυσίμων, την καλύτερη αξιοποίηση του χρόνου του προσωπικού, της βελτιωμένης εξυπηρέτησης των πελατών και του αποτελεσματικότερου προγραμματισμού.

3.5.3 Ευελιξία

Το ευφυές δίκτυο διευκολύνει τη σύνδεση και τη λειτουργία όχι μόνο των κεντρικών σταθμών παραγωγής, αλλά και των πηγών ενέργειας όλων των μεγεθών και τεχνολογιών, όπως ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, μέσων αποθήκευσης ενέργειας, μικρής κλίμακας συστημάτων συμπαραγωγής θερμικής και ηλεκτρικής ενέργειας και μονάδων διανεμημένης παραγωγής.

3.5.4 Ενδυνάμωση του καταναλωτή

Ένα από τα σημαντικότερα στοιχεία του ευφυούς δικτύου είναι η αναβάθμιση και οι δυνατότητες που προσφέρει στον καταναλωτή. Το ευφυές δίκτυο δίνει τη δυνατότητα παρακολούθησης και προσαρμογής της κατανάλωσης ενέργειας μέσω έξυπνων μετρητών και συστημάτων διαχείρισης ενέργειας οικιακής χρήσης. Για παράδειγμα, η ψηφιακή μέτρηση επιτρέπει στους καταναλωτές να τροποποιήσουν τη χρήση της οικιακής τους ενέργειας και να μειώσουν τη ζήτηση. Παρέχει πρόσβαση στα δεδομένα ηλεκτρικής κατανάλωσης, ειδικά κατά τη διάρκεια περιόδων αιχμής, τα οποία τους βοηθούν να κάνουν πιο ενημερωμένες ενεργειακές επιλογές. Πρόσφατες μελέτες έχουν δείξει ότι τα ευρωπαϊκά νοικοκυριά κατάφεραν να μειώσουν την ενεργειακή τους κατανάλωση κατά 10% χρησιμοποιώντας έξυπνους μετρητές.

3.5.5 Φιλικό προς το περιβάλλον

Ο πιο επιτακτικός λόγος για επενδύσεις σε ευφυή δίκτυα είναι η δυνατότητα μείωσης των αρνητικών περιβαλλοντικών επιπτώσεων του ενεργειακού τομέα. Τα τυπικά ορυκτά καύσιμα προκαλούν εκπομπές αερίων όπως το CO₂, το SO₂ και άλλους ρύπους που προκαλούν σοβαρές περιβαλλοντικές βλάβες. Γι' αυτό, χρειαζόμαστε πράσινα καύσιμα και τεχνολογίες φιλικές προς το περιβάλλον. Απαιτούνται εξελιγμένα συστήματα ευφυών δικτύων προκειμένου να διαχειρίζονται τις ποικίλες και γεωγραφικά διασκορπισμένες πηγές ανανεώσιμης ενέργειας όπως αιολικά πάρκα, ηλιακές εγκαταστάσεις και υδροηλεκτρικούς σταθμούς. Το ευφύες δίκτυο θα διασφαλίσει ότι αυτή η ενέργεια μπορεί να αποθηκευτεί με ασφάλεια και να διανεμηθεί όπου και όποτε χρειάζεται. Μία από τις μεγάλες υποσχέσεις του ευφυούς δικτύου είναι η δυνατότητα για ηλεκτροδότηση του τομέα των μεταφορών. Τα ηλεκτρικά οχήματα θα γίνουν όλο και πιο συνηθισμένα τις επόμενες δεκαετίες και θα μειώσουν περαιτέρω τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου και τη ρύπανση. Οι τεχνολογίες ευφυούς δικτύου παρέχουν την υποδομή για τη χρήση ηλεκτρονικών οχημάτων διατηρώντας παράλληλα σταθερό το ηλεκτρικό σύστημα. Οι έξυπνοι μετρητές που είναι εγκατεστημένοι σε δημόσιους σταθμούς φόρτισης συμβάλλουν στη διασφάλιση ακριβούς τιμολόγησης κατά τη χρήση τους. Μπορούμε επομένως να πούμε ότι τα ευφυή δίκτυα οδηγούν σε ένα πιο βιώσιμο μέλλον.

3.5.6 Ποιότητα της ενέργειας

Το σημερινό ηλεκτρικό σύστημα είναι ηλικίας δεκαετιών και εξαρτάται από εξοπλισμό που πλησιάζει στο τέλος της χρησιμοποίησιμης ζωής του. Οι νέες έξυπνες τεχνολογίες μας επιτρέπουν να εκσυγχρονίσουμε το υπάρχον ηλεκτρικό δίκτυο χωρίς την ανάγκη φυσικής επέκτασής του, εξασφαλίζοντας ότι εξακολουθούν να πληρούνται τα πρότυπα ασφαλείας, ότι η ισχύς παράγεται και ότι το σύστημα την διαχειρίζεται αποτελεσματικά, με αποτέλεσμα την καλύτερη ποιότητα ενέργειας. Το ευφύες δίκτυο παρέχει την απαραίτητη ποιότητα ενέργειας για να εξυπηρετήσει ένα μεγάλο εύρος πελατών με διαφορετικές ανάγκες. Για παράδειγμα, ευαίσθητος εξοπλισμός όπως

υπολογιστικά συστήματα χρειάζεται σταθερή παροχή ηλεκτρισμού απαλλαγμένη από διαταραχές ή διακοπές. Η εγγύηση της ποιότητας αυτής πιθανότατα θα έχει και αντίστοιχο κόστος και θα μπορεί να πραγματοποιηθεί με τη χρήση εξελιγμένων μεθόδων και εξοπλισμού παρακολούθησης του δικτύου, ο οποίος θα μπορεί έγκαιρα να διαγνώσει και να διορθώσει αιτίες αλλοίωσης της ποιότητας του ηλεκτρισμού όπως για παράδειγμα κεραυνούς, σφάλματα των γραμμών μεταφοράς και υπερτάσεις.

3.5.7 Ασφάλεια

Η υπόσχεση του ευφυούς δικτύου για βελτίωση της αξιοπιστίας συνδέεται με πολλές υποσχέσεις που σχετίζονται με τη βελτίωση της ασφάλειας και ιδιαίτερα της κυβερνοασφάλειας. Το ευφύες δίκτυο μπορεί να ειδοποιεί άμεσα τους καταναλωτές σε περίπτωση παραβίασης και τους επιτρέπει να εντοπίζουν την αιτία της. Τα υφιστάμενα συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας δεν περιλαμβάνουν απαραίτητως έξυπνες τεχνολογίες, όπως αισθητήρες επικοινωνίας που θα μπορούσαν να βελτιώσουν την ασφάλεια και να ενισχύσουν την αξιοπιστία του δικτύου. Αυτό σημαίνει ότι το τρέχον σύστημα είναι ήδη ευάλωτο σε κυβερνοεπιθέσεις (cyberattack). Τέλος, το ευφύες δίκτυο μπορεί να προσφέρει επιπλέον προστασία αναγνωρίζοντας αν ένα πρόβλημα οφείλεται σε πραγματική βλάβη ή κάποια κακόβουλη επίθεση.

3.5.8 Οικονομία

Το ευφύες δίκτυο υπόσχεται επίσης να ενισχύσει την οικονομία παρέχοντας πολλά οικονομικά οφέλη σε πολλούς ενδιαφερόμενους, από μεμονωμένους καταναλωτές σε επίπεδο νοικοκυριού έως μεγάλους βιομηχανικούς πελάτες, επιχειρήσεις κοινής ωφέλειας και άλλους παρόχους ηλεκτρικής ενέργειας. Όσον αφορά τους καταναλωτές, το ευφύες δίκτυο μπορεί να τους παρέχει χαμηλότερο κόστος ηλεκτρικής ενέργειας μέσω μηχανισμών που τους επιτρέπουν να μειώσουν τη χρήση της, καθώς και να την ταιριάζουν καλύτερα με τα δυναμικά σήματα τιμών. Οι έξυπνοι μετρητές, οι πληροφορίες σχετικά με την κατανάλωση ενέργειας σε πραγματικό χρόνο και η λεπτομερέστερη τιμολόγηση προσφέρουν τη δυνατότητα επέκτασης του DSM

(Demand Side Management), ώστε να προσφέρει δυναμική τιμολόγηση σε περισσότερους πελάτες. Η δυναμική τιμολόγηση προσφέρει σήματα τιμών στους καταναλωτές, ώστε να μπορούν να ανταποκριθούν ενεργά στις μεταβαλλόμενες συνθήκες, για παράδειγμα, μειώνοντας την κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας όταν αυξάνονται οι τιμές. Μέσω της καλύτερης διαχείρισης του συστήματος και των εξωτερικών του επιπτώσεων, οι καταναλωτές μπορούν να πληρώνουν λιγότερα χρήματα για την ηλεκτρική ενέργεια, οι κοινότητες να μειώσουν τις ενεργειακές δαπάνες των δήμων και τη σχετική ρύπανση και τα κράτη και οι χώρες να επωφεληθούν από την οικονομική ανάπτυξη που έχει ως αποτέλεσμα η αξιοποίηση φιλικών προς το περιβάλλον και χαμηλού κόστους συστημάτων ενέργειας. Ακόμα, το ευφυές δίκτυο παρέχει οικονομικές ευκαιρίες σε νεοεισερχόμενους στον τομέα της ηλεκτρικής ενέργειας, καθώς αναπτύσσονται νέες συσκευές, τεχνολογίες και λογισμικό, ενώ ταυτόχρονα δαπανούνται αρκετά χρήματα στην έρευνα για την ανάπτυξη και την εξέλιξή του.

3.6 Οι προκλήσεις του ευφυούς δικτύου

Αν και ένα ευφυές δίκτυο έχει πολλά οφέλη για τους καταναλωτές και τους παραγωγούς ενέργειας, όπως συμβαίνει και με όλες τις μεγάλες και δραστικές αλλαγές σε οποιονδήποτε τομέα, αυτή η μετάβαση του συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας σε μια πιο εξελιγμένη μορφή εγείρει κάποια ζητήματα και προκλήσεις.

3.6.1 Μειωμένη αξιοπιστία και ασφάλεια

Μια κυρίαρχη πρόκληση του ευφυούς δικτύου είναι η πιθανότητα ότι αντί να καταστεί το δίκτυο πιο ανθεκτικό και αξιόπιστο να συμβεί το ακριβώς αντίθετο, ως έμμεσο αποτέλεσμα της αυξημένης ευπάθειας της ενσωμάτωσης στο δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας στενά δικτυωμένων ηλεκτρονικών συστημάτων ελέγχου. Η βελτιωμένη επικοινωνία μεταξύ παρόχων ηλεκτρικής ενέργειας και μετρητών σε μεμονωμένα σπίτια και επιχειρήσεις ανοίγει την πόρτα σε κακόβουλους χρήστες που θα μπορούσαν να αποκτήσουν τον έλεγχο της ηλεκτρικής ενέργειας στο νοικοκυριό, τη γειτονιά ή ακόμα και σε περιφερειακό επίπεδο. Είναι πιθανό ότι το ευφυές δίκτυο θα μπορούσε να καταστήσει τα συστήματα ηλεκτρισμού πιο ευάλωτα στους πιο συχνά συναντού-

μενους κινδύνους από κακόβουλο λογισμικό ή λογισμικό που χρησιμοποιείται για να διακόψει τη λειτουργία του υπολογιστή, να συλλέξει ευαίσθητες πληροφορίες και να αποκτήσει παράνομη πρόσβαση σε συστήματα υπολογιστών. Παρόλο που ορισμένες κυβερνοεπιθέσεις ενδέχεται να επικεντρωθούν στη διακοπή του ηλεκτρικού συστήματος, άλλες επικεντρώνονται στην κλοπή εμπιστευτικών πληροφοριών και εμπορικών μυστικών. Πιο πρόσφατες επιθέσεις περιλαμβάνουν επίσης προσπάθειες καταστροφής δεδομένων, ελέγχου μηχανών και ελέγχου ή απενεργοποίησης ενεργειακών δικτύων. Μολονότι οι κίνδυνοι στον κυβερνοχώρο είναι μόνο μία από τις πολλές κατηγορίες προκλήσεων που στοιχειώνουν τη σύγχρονη κοινωνία, αυτοί οι κίνδυνοι είναι ιδιαίτερα σημαντικοί στον ενεργειακό τομέα λόγω της κεντρικής σημασίας των ενεργειακών συστημάτων σε όλες τις πτυχές της δημόσιας ζωής.

3.6.2 Ιδιωτικότητα

Μια ακόμα κατηγορία προκλήσεων των ευφυών δικτύων είναι η δυνατότητα αποδυνάμωσης των πολιτών με την υπονόμευση της ιδιωτικής τους ζωής. Για κάποιους, το ευφυές δίκτυο δεν συνδέεται μόνο με τον εκσυγχρονισμό του ηλεκτρικού συστήματος. Οι σύγχρονοι κοινωνικοί κριτικοί ισχυρίζονται ότι το ευφυές δίκτυο επιτρέπει την ανάπτυξη πανοπτικών δομών σε ολόκληρη την κοινωνία. Συγκεκριμένα, με τη χρήση τεχνολογιών ευφυών δικτύων, όπως οι έξυπνοι μετρητές και οι αισθητήρες, που καταστούν δυνατή την αμφίδρομη επικοινωνία καταναλωτή - παραγωγού, οι επιχειρήσεις κοινής ωφέλειας μπορούν να παρακολουθούν τις δραστηριότητες των χρηστών καταγράφοντας λεπτομερείς πληροφορίες για τη χρήση ηλεκτρισμού κάθε πελάτη. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα να μπορούν να αποκαλύψουν με μεγάλη ακρίβεια τις συνήθειες και τις συμπεριφορές του καταναλωτή ή ακόμα και να δημιουργήσουν ένα προφίλ των συσκευών που χρησιμοποιεί. Ακόμα κι αν η συλλογή αυτού του όγκου των δεδομένων δεν είναι τίποτα περισσότερο από ένα εργαλείο μάρκετινγκ που χρησιμοποιείται από παρόχους με την ελπίδα καλύτερου διαχωρισμού των αγορών τους ή της καλύτερης γνώσης των πελατών τους, εξακολουθεί να αποτελεί παραβίαση της ιδιωτικής ζωής. Οι μεν βιομηχανικοί πελάτες, ενδέχεται να φοβούνται ότι οι πληροφορίες σχετικά με τη χρήση ηλεκτρικής ενέργειας θα παρέχουν στους

ανταγωνιστές πληροφορίες σχετικά με τις επιχειρηματικές δραστηριότητες. Οι δε οικιακοί πελάτες, ενδέχεται να πιστεύουν ότι τα δεδομένα της χρήσης ενέργειας από το σπίτι παρέχουν ένα λεπτομερές αλλά ανεπιθύμητο παράθυρο στη ζωή τους. Η δυνατότητα να παρατηρούν ό,τι κάνει κάποιος στον ιδιωτικό του χώρο είναι επιζήμια για τις δημοκρατικές αξίες και θέτει ζητήματα προσωπικής ιδιωτικότητας και ελευθερίας. Είναι λοιπόν μείζον ζήτημα οι καταναλωτές να είναι πλήρως ενημερωμένοι και να έχουν δώσει ρητή άδεια για τον τρόπο που θα χρησιμοποιηθούν τα προσωπικά τους δεδομένα οι πάροχοι, καθώς επίσης οι τελευταίοι να μεριμνούν για την ασφαλή και αξιόπιστη μετάδοση των ευαίσθητων πληροφοριών με σεβασμό προς τον καταναλωτή.

3.6.3 Υποβαθμισμένη περιβαλλοντική ποιότητα

Μια επιπλέον πρόκληση για το ευφυές δίκτυο είναι η πιθανότητα να επιδεινώσει και όχι να βελτιώσει την ποιότητα του περιβάλλοντος. Ορισμένοι ανησυχούν για την ανθρώπινη υγεία και τις περιβαλλοντικές ζημιές που προκαλούνται από τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα. Η ανησυχία αυτή αφορά επίσης τα κινητά τηλέφωνα, τα δίκτυα Wi-Fi και άλλες τεχνολογίες που εκπέμπουν EMF, πράγμα που κάνουν και οι έξυπνοι μετρητές. Μια άλλη περιβαλλοντική ανησυχία σχετίζεται με τις δυνατότητες διείσδυσης των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας που μπορούν να οδηγήσουν στην αποσταθεροποίηση του ηλεκτρικού συστήματος, το οποίο σε ορισμένες περιοχές και ορισμένα χρονικά πλαίσια μπορεί να έχει αρνητικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Οι μεταβλητοί ανανεώσιμοι πόροι απαιτούν νέα λειτουργικά πρωτόκολλα και οδηγούν σε απρόβλεπτες περιβαλλοντικές εκπομπές, καθώς οι συμβατικές γεννήτριες αναγκάζονται να προσαρμόζονται στα επίπεδα της ζήτησης. Τέλος η ηλεκτροδότηση των μεταφορών μέσω του ευφυούς δικτύου μπορεί επίσης να έχει αρνητικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις εάν το σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας συνεχίσει να βασίζεται σε άνθρακα. Δηλαδή, αν τα ηλεκτρικά οχήματα φορτίζονται με ενέργεια που παράγεται από άνθρακα, τότε η χρήση τους οδηγεί σε περισσότερα αέρια του θερμοκηπίου σε σύγκριση με τα συμβατικά οχήματα.

3.6.4 Οικονομικά

Η τεχνολογία των ευφυών δικτύων μπορεί να προσφέρει συνολικά αρκετά οικονομικά οφέλη, αλλά το ποιος θα επωμιστεί το οικονομικό βάρος της αναβάθμισης του συστήματος και το ποιος θα απολαμβάνει τα οφέλη των αλλαγών, θα εξαρτηθεί από τον τρόπο σχεδιασμού και εφαρμογής των πολιτικών, των κανονισμών και των κινήτρων. Η διανομή του κόστους των επενδύσεων ευφυών δικτύων σε ολόκληρο τον ενεργειακό τομέα, συμπεριλαμβανομένου τόσο του χονδρεμπορίου ηλεκτρικής ενέργειας όσο και των καταναλωτών λιανικής, εξακολουθεί να αποτελεί σημαντικό ζήτημα. Αν και η αποτελεσματικότερη χρήση των περιουσιακών στοιχείων του συστήματος θα πρέπει να μειώσει το κόστος του ηλεκτρισμού, ορισμένες μελέτες δείχνουν ότι οι καταναλωτές πληρώνουν περισσότερα για την ηλεκτρική ενέργεια με το ευφύες δίκτυο, παρόλο που μπορούν να την διαχειριστούν καλύτερα [14]. Η δυναμική τιμολόγηση, η οποία υπόσχεται να ευθυγραμμίσει το κόστος των πελατών και του συστήματος, θα μπορούσε να μειώσει το συνολικό κόστος του συστήματος, αλλά ταυτόχρονα να αυξήσει το κόστος για ορισμένους πελάτες. Οι ηλεκτρικές επιχειρήσεις κοινής ωφέλειας εκτίθενται επίσης σε οικονομικούς κινδύνους με το ευφύες δίκτυο. Τα βοηθητικά προγράμματα πρέπει να είναι αξιόπιστα και οικονομικά προσιτά για την κάλυψη της ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας των πελατών τους ανά πάσα στιγμή. Στα περισσότερα κράτη, οι ρυθμιστικές αρχές δεν έχουν προσφέρει πολλά κίνητρα στις επιχειρήσεις κοινής ωφέλειας για να επενδύσουν σε καινοτόμες τεχνολογίες. Για παράδειγμα, το σημερινό κανονιστικό περιβάλλον σε πολλά κράτη μπορεί να μην επιτρέψει την ανάκτηση του κόστους επενδύσεων ευφυούς δικτύου.

Είναι σημαντικό να σημειώσουμε ότι κάποια πλεονεκτήματα που παρουσιάζονται από τους υποστηρικτές της ιδέας του ευφυούς δικτύου αφορούν ακριβώς τους ίδιους τομείς, στους οποίους οι επικριτές του βρίσκουν ελαττώματα και το αντίστροφο. Οι διαφορές μεταξύ των πλεονεκτημάτων του ευφυούς δικτύου και των προκλήσεων του επηρεάζουν τους υφιστάμενους και τους νεοεισερχόμενους επενδυτές και καταναλωτές με διάφορους τρόπους, κάτι που μπορεί να εξηγηθεί και λόγω της δυσκολίας κατανόησης της δικαιδοτικής, χρονικής, χωρικής και κοινωνικής πολυπλοκότητας των συστημάτων ηλεκτρικής ενέργειας. Η επιτυχής μετάβαση στα ευφυή δίκτυα βα-

σίζεται κατά ένα μεγάλο ποσοστό στη σωστή και λεπτομερή ενημέρωση όλων των εμπλεκόμενων φορέων, η οποία θα εξαλείψει φόβους και αρνητικές αντιλήψεις, αλλά και τη σωστή αντιμετώπιση και διευθέτηση των λογικών αμφιβολιών για υπαρκτά ζητήματα της μετάβασης σε αυτή τη νέα γενιά συστημάτων ηλεκτρικής ενέργειας.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΜΙΚΡΟΔΙΚΤΥΟ

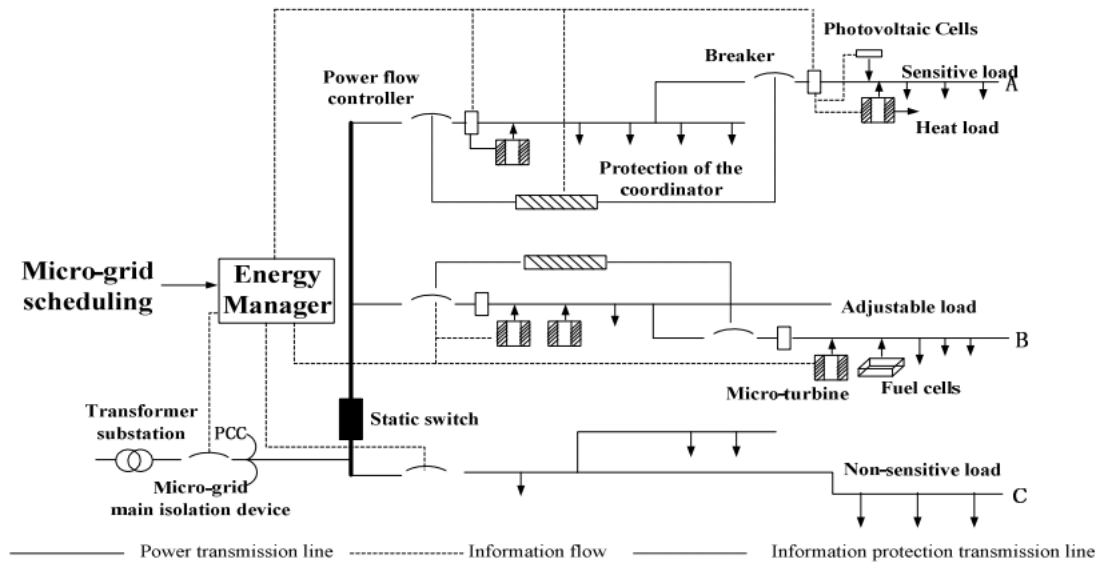
4.1 Εισαγωγή

Η αυξανόμενη διείσδυση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας μπορεί να οδηγήσει σε παραγωγή ενέργειας πολύ μεγαλύτερης της ζήτησης. Σε αυτήν την περίπτωση η περίσσεια ενέργειας πρέπει να μεταφερθεί από το Δίκτυο Διανομής στο Δίκτυο Μεταφοράς για την κατάλληλη αξιοποίησή της. Για να επιτευχθεί όμως αυτό, υπάρχει ανάγκη για κατάλληλες υποδομές για τον έλεγχο και την επικοινωνία μεταξύ των διάφορων επιπέδων του όλου συστήματος. Την ανάγκη αυτή έρχεται να καλύψει η έννοια του μικροδικτύου. Πιο συγκεκριμένα, το μικροδίκτυο μας επιτρέπει να αντιμετωπίσουμε τις ΑΠΕ και τις μονάδες διανεμημένης παραγωγής ως μικρογραφία του κυρίως δικτύου, λύνοντας έτσι πολλά προβλήματα στον σχεδιασμό και την οργάνωσή του. Τα μικροδίκτυα είναι συστάδες φορτίων, συστημάτων αποθήκευσης ενέργειας και μονάδων κατανεμημένης παραγωγής ενέργειας σε ένα τοπικό δίκτυο διανομής [15].

4.2 Δομή του Μικροδικτύου

Η δομή ενός μικροδικτύου φαίνεται στο Σχήμα 4.1. Περιλαμβάνει μονάδες διανεμημένης παραγωγής και συσκευές αποθήκευσης ενέργειας, οι οποίες είναι υπεύθυνες για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών των φορτίων. Μπορεί επιπλέον να παρέχει θερμότητα ή ψύξη αξιοποιώντας μορφές συμπαραγωγής ηλεκτρισμού και θερμότητας. Ηλεκτρονικά ισχύος φροντίζουν για την παρακολούθηση και τον έλεγχο των πηγών, ενώ η σύνδεσή τους στο δίκτυο γίνεται μέσω κατάλληλων μετατροπέων AC/DC. Το μικροδίκτυο συνδέεται με το δίκτυο μεταφοράς μέσω του σημείου κοινής σύνδεσης (PCC). Ελέγχοντας τη ροή ενεργού και άεργου ισχύος, μπορεί να παρέχει ενέργεια στο κυρίως δίκτυο ή αντίστοιχα να προμηθεύεται από αυτό για να καλύψει τις ανάγκες του.

Στο συγκεκριμένο παράδειγμα, βλέπουμε ένα ακτινικό δίκτυο που αποτελείται από τρεις ζυγούς (A, B, C), όπου είναι συνδεδεμένα τα φορτία. Μέσω ενός κεντρικού



Σχήμα 4.1: Δομή ενός μικροδικτύου.

στατικού διακόπτη είναι δυνατή η μετάβαση ανάμεσα σε συνδεδεμένη και απομονωμένη λειτουργία. Στους ζυγούς A και B είναι συνδεδεμένα φορτία προτεραιότητας, τα οποία χρειάζονται αδιάλειπτη παροχή, ενώ στον ζυγό C δευτερεύοντα φορτία.

Κατά την συνδεδεμένη λειτουργία, το μικροδίκτυο είτε τροφοδοτείται από το δίκτυο, είτε παρέχει σε αυτό ηλεκτρική ισχύ. Σε περιπτώσεις σφάλματος στο κυρίως δίκτυο, αδυναμίας κάλυψης των φορτίων από αυτό ή κακής ποιότητας ισχύος, ανοίγει ο κεντρικός διακόπτης, το μικροδίκτυο αποσυνδέεται από το σημείο κοινής σύνδεσης και λειτουργεί αυτόνομα. Κατά την απομονωμένη λειτουργία κι εφόσον η ζήτηση είναι υψηλή, ζυγοί δευτερευόντων φορτίων αποκόπτονται από το μικροδίκτυο μέσω τοπικών διακοπών και τα φορτία προτεραιότητας καλύπτονται από τη διανεμημένη παραγωγή. Το σύστημα διαχείρισης ενέργειας (EMS) είναι υπεύθυνο για την ομαλή λειτουργία των ελεγκτών, των μέσων προστασίας και των διακοπτικών στοιχείων, ανταλλάσσοντας συνεχώς πληροφορίες με αυτά.

4.3 Διανεμημένη παραγωγή

Η παραγωγή ενέργειας στα μικροδίκτυα βασίζεται σε μικρού μεγέθους μονάδες παραγωγής που κυμαίνονται συνήθως από λιγότερο από ένα kW έως μερικά MW και συνδέονται στο δίκτυο διανομής επιτόπου ή κοντά στη ζήτηση φορτίου. Αυτό το είδος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας είναι γνωστό ως διανεμημένη παραγωγή (ΔΠ

ή DG) και οι μονάδες ως μονάδες διανεμημένης παραγωγής (ΜΔΠ). Οι τεχνολογίες που αναπτύχθηκαν για τη ΔΠ χωρίζονται σε ανανεώσιμους και μη ανανεώσιμους πόρους, ανάλογα με την πρωτογενή ενέργεια που μετατράπηκε σε ηλεκτρική σε κάθε περίπτωση. Η μη ανανεώσιμη ΔΠ ενσωματώνει τεχνολογίες όπως οι παλινδρομικές μηχανές (μηχανές εσωτερικής καύσης, ατμομηχανές, κινητήρες Stirling), μικροτουρμπίνες και μικρής κλίμακας μονάδες ΣΗΘ. Οι περισσότερες μη ανανεώσιμες πηγές ηλεκτροπαραγωγής καίνε ορυκτά καύσιμα (άνθρακα, πετρέλαιο και φυσικό αέριο) για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Οι τεχνολογίες ανανεώσιμων πηγών ενέργειας εκμεταλλεύονται βιώσιμες μορφές ενέργειας όπως η αιολική ενέργεια, η ηλιακή ενέργεια (κυρίως φωτοβολταϊκά), η ενέργεια των κυμάτων, η βιοενέργεια και η γεωθερμική ενέργεια.

Μονάδες ΔΠ όπως τα φωτοβολταϊκά πάνελ, οι κυψέλες καυσίμου και οι συστοιχίες μπαταριών είναι μονάδες DC και βρίσκονται κοντά στα φορτία. Στην περίπτωση όπου το δίκτυο είναι AC, η σύνδεση τους γίνεται μέσω μετατροπών DC/AC, ενώ οι AC ΜΔΠ συνδέονται μέσω ηλεκτρονικών ισχύος. Αντίστοιχα, στα DC δίκτυα, AC ΜΔΠ (όπως οι ανεμογεννήτριες) συνδέονται μέσω μετατροπών AC/DC. Ωστόσο, η χρήση μετατροπών, και ειδικότερα των DC/AC, αυξάνει τις απώλειες του δικτύου [16].

Όπως αναφέραμε παραπάνω η ΔΠ παρέχει ηλεκτρική ενέργεια σε κοντινά φορτία και για να συμβεί αυτό, οι μονάδες εγκαθίστανται στο σύστημα διανομής. Η σωστή τοποθέτηση ΜΔΠ οδηγεί σε ενίσχυση ηλεκτρικής ισχύος, αναδιαμορφώνοντας το προφίλ ζήτησης, μειώνοντας τις απώλειες και το κόστος λειτουργίας. Επιπλέον, το κεφάλαιο που απαιτείται για την κατασκευή τέτοιων μονάδων παραγωγής μικρού μεγέθους είναι μικρό, αν και το επενδυτικό κόστος ανά kVA μπορεί να είναι πολύ υψηλότερο απ' ό,τι σε μια μεγάλη μονάδα παραγωγής ενέργειας.

4.4 Αποθήκευση ενέργειας

Η αποθήκευση της ενέργειας έχει τη δυνατότητα να βελτιώσει τα ηλεκτρικά δίκτυα και να συμβάλει στην ανάπτυξη της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές, παρέχοντας εναλλακτικές λύσεις στα ορυκτά καύσιμα. Στο σύστημα

ηλεκτρικής ενέργειας, η υπόσχεση αυτής της τεχνολογίας έγκειται στην αύξηση της αποδοτικότητας και της αξιοπιστίας του δικτύου, με τη βελτιστοποίηση της ροής ισχύος και την εξομάλυνση της μεταβλητής παραγωγής που παρουσιάζουν οι ΜΔΠ. Τα συστήματα αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας (ΣΑΗΕ) συνιστούν βασικό στοιχείο των μικροδικτύων και εγκαθίστανται όπως και οι ΜΔΠ κοντά στον καταναλωτή.

Διακρίνονται σε τρεις κατηγορίες: μηχανικά, χημικά και ηλεκτρομαγνητικά. Η αντλησιοταμίευση (Pumped Hydro System), ο σφόνδυλος (flywheel) και η αποθήκευση ενέργειας πεπιεσμένου αέρα είναι μηχανικά συστήματα. Οι μπαταρίες αποθηκεύουν ενέργεια με αναστρέψιμες χημικές αντιδράσεις, ενώ η αποθήκευση ηλεκτρικής ενέργειας σε μορφή μαγνητικού πεδίου (SMES) και οι υπερπυκνωτές ανήκουν στα ηλεκτρομαγνητικά ΣΑΗΕ.

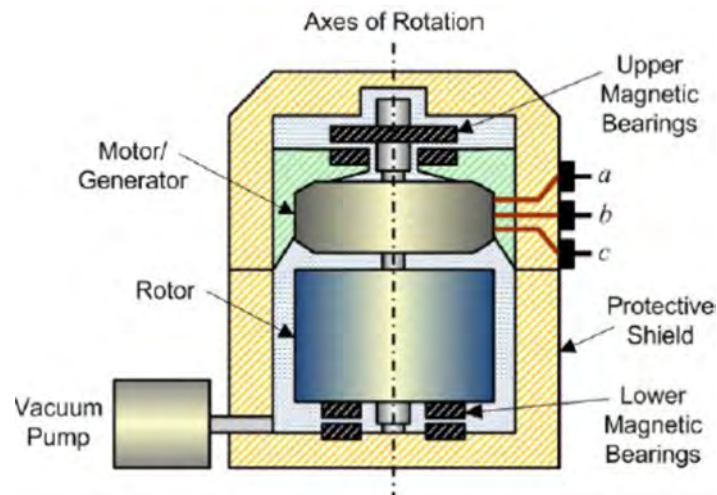
4.4.1 Αντλησιοταμίευση

Η αποθήκευση ενέργειας με αντλησιοταμίευση πραγματοποιείται κυρίως σε υδροηλεκτρικά εργοστάσια. Σε περιόδους εκτός αιχμής καταναλώνεται περίσσεια ηλεκτρική ενέργεια για να αντληθεί νερό από ταμιευτήρα χαμηλότερου υψομέτρου σε έναν άλλο μεγαλύτερου υψομέτρου. Σε περίοδο αιχμής μπορεί να αξιοποιηθεί η αποθηκευμένη ενέργεια οδηγώντας το νερό στους στροβίλους για να ξεκινήσει η παραγωγή. Η αποτελεσματικότητά αυτής της μεθόδου εξαρτάται από τον τύπο του στροβίλου, τη διάμετρο των σωληνώσεων, την υψομετρική διαφορά των ταμιευτήρων και το μέγεθος της εγκατάστασης. Η αντλησιοταμίευση χρησιμοποιείται συνήθως για μεγάλες εφαρμογές.

4.4.2 Σφόνδυλοι

Το σύστημα αποθήκευσης ενέργειας του κινητήρα ή αλλιώς σφόνδυλος (flywheel) (Σχήμα 4.2), αποθηκεύει ηλεκτρική ενέργεια με τη μορφή κινητικής ενέργειας. Περιλαμβάνει έναν ρότορα και μία ηλεκτρική μηχανή. Για την αποθήκευση ενέργειας, εισέρχεται ηλεκτρική ενέργεια στον σφόνδυλο, ο δρομέας επιταχύνεται και ο κινητή-

ρας αναπτύσσει περιστροφική ταχύτητα. Για την τροφοδότηση κάποιου φορτίου η μηχανή λειτουργεί ως γεννήτρια μετατρέποντας την αποθηκευμένη κινητική ενέργεια σε ηλεκτρική. Τα συστήματα αποθήκευσης με σφονδύλους είναι ιδανικά για την αποθήκευση ηλεκτρικής ενέργειας και την τροφοδότηση φορτίου για σύντομα χρονικά διαστήματα.

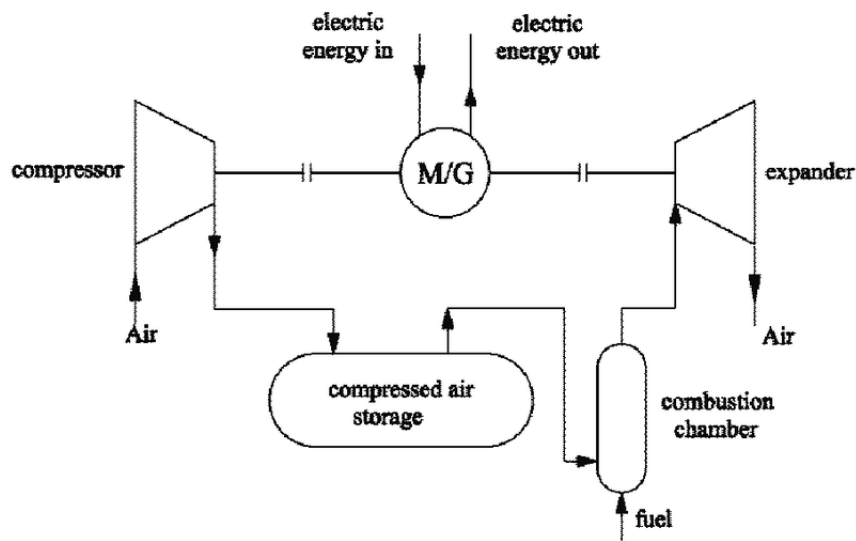


Σχήμα 4.2: Διάγραμμα ενός flywheel.

4.4.3 Πεπιεσμένος αέρας

Η αποθήκευση ενέργειας με πεπιεσμένο αέρα (CAES) (Σχήμα 4.3) πραγματοποιείται με τον παρακάτω τρόπο. Σε περιόδους εκτός αιχμής δαπανάται ενέργεια για την ψύξη και συμπίεση αέρα σε δεξαμενές αποθήκευσης. Όταν χρειαστεί το σύστημα να τροφοδοτήσει κάποιο φορτίο, ο αέρας θερμαίνεται (με κάποιο καύσιμο) και στη συνέχεια οδηγείται σε έναν στρόβιλο. Ο στρόβιλος περιστρέφεται και παράγει ηλεκτρική ενέργεια.

Η ικανότητα αποθήκευσης ενέργειας εξαρτάται από το μέγεθος της δεξαμενής αποθήκευσης, την πίεση του αποθηκευμένου αέρα και το είδος του καυσίμου. Αυτή η μέθοδος αποθήκευσης ενέργειας χρησιμοποιείται σε συστήματα μεσαίας έως μεγάλης κλίμακας. Θεωρείται υβριδική μορφή λόγω της ύπαρξης καυσίμου. Επειδή όμως ο συμπιεστής βρίσκεται σε ξεχωριστό στάδιο από τον στρόβιλο, το κόστος καυσίμου μπορεί να είναι έως και τρεις φορές χαμηλότερο σε σχέση με έναν συμβατικό στροβιλοσυμπιεστή.



Σχήμα 4.3: Σύστημα CAES.

4.4.4 Μπαταρίες

Οι μπαταρίες αποτελούν μέσο αποθήκευσης που έχει γνωρίσει ραγδαία εξέλιξη τα τελευταία χρόνια και αποτελούν μία από τις πιο οικονομικά αποδοτικές διαθέσιμες τεχνολογίες αποθήκευσης ενέργειας. Αποθηκεύουν ενέργεια ηλεκτροχημικά. Ανάλογα με το σύστημα μπαταριών, όταν εφαρμοστεί διαφορά δυναμικού ανάμεσα στους δύο ακροδέκτες συμβαίνει η ηλεκτροχημική αντίδραση και η μπαταρία φορτίζεται. Κατά τη σύνδεση ενός φορτίου στους ακροδέκτες της μπαταρίας, η ίδια αντίδραση συμβαίνει αντίστροφα και η μπαταρία εκφορτίζεται. Έχουν γρήγορη δυναμική απόκριση και απόδοση μεταξύ 60% και 80%, ανάλογα με την τεχνολογία (Li-ion, NaS, NiCd). Η διάρκεια ζωής των μπαταριών εξαρτάται από το πόσο γρήγορα και πόσο βαθιά έχουν αποφορτιστεί.

4.4.5 Υπεραγώγιμη αποθήκευση

Το σύστημα SMES βασίζεται στην αποθήκευση ηλεκτρικής ενέργειας σε μορφή μαγνητικού πεδίου, το οποίο δημιουργείται από τη ροή DC ρεύματος μέσω ενός πηνίου κατασκευασμένου από υπεραγώγιμο υλικό διατηρούμενο σε κρυογονικές θερμοκρασίες. Οι χρόνοι φόρτισης και εκφόρτισης είναι πολύ χαμηλοί, επιτρέποντας στο σύ-

στημα να παρέχει μεγάλες ποσότητες ενέργειας σε χιλιοστά του δευτερολέπτου με αμελητέες απώλειες. Επιπλέον, η αποδοτικότητά του είναι πολύ υψηλή, συνήθως μεταξύ 95% και 98%. Το κύριο μειονέκτημα είναι η ανάγκη ενός κρυογονικού συστήματος για την αύξηση της χαμηλής ενεργειακής πυκνότητάς του. Οι εφαρμογές του SMES περιλαμβάνουν εξισορρόπηση φορτίου, στρεφόμενη εφεδρεία, βελτίωση της μεταβατικής ευστάθειας του δικτύου και της ποιότητας ενέργειας.

4.4.6 Υπερπυκνωτές

Οι υπερπυκνωτές είναι συστήματα αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας με υψηλή πυκνότητα ενέργειας, πολύ μεγαλύτερη από αυτή των κλασικών πυκνωτών. Χάρη στο πορώδες μονωτικό υλικό του ηλεκτρολύτη που βρίσκεται ανάμεσα στα δύο ηλεκτρόδια, επιτυγχάνονται μεγαλύτερη ικανότητα αποθήκευσης ενέργειας και μεγαλύτερος χρόνος εκφόρτισης με μεγαλύτερη ισχύ. Οι υπερπυκνωτές φτάνουν έως και 1000 φορές περισσότερους κύκλους φόρτισης - αποφόρτισης σε σχέση με τις μπαταρίες. Ωστόσο, σε κατάσταση αναμονής έχουν μεγάλους ρυθμούς αποφόρτισης, ενώ κατά την αποφόρτιση, η τάση λειτουργίας μειώνεται πολύ γρήγορα.

Συνήθως χρησιμοποιούνται σε συνδυασμό με μπαταρίες. Οι υπερπυκνωτές χάρη στους γρήγορους χρόνους φόρτισης - αποφόρτισης μπορούν να ανταποκρίνονται στις ξαφνικές αιχμές ζήτησης, ενώ οι μπαταρίες καλύπτουν τα μεγάλα ποσά ενέργειας. Έτσι οι μπαταρίες μπορούν να φτάσουν έως και 50% μεγαλύτερη διάρκεια ζωής απ' ό,τι θα είχαν χωρίς τους υπερπυκνωτές. Η απόδοση των υπερπυκνωτών μπορεί να φτάσει και το 95% και η διάρκεια ζωής τους τα 40 χρόνια. Η παραπάνω μέθοδος βρίσκει εφαρμογή σε μεγάλα διασυνδεδεμένα φωτοβολταϊκά πάρκα για την κάλυψη μικρών διαστημάτων αυξομειώσεων της τάσης.

4.4.7 Σύγκριση των συστημάτων αποθήκευσης ενέργειας

Η σύγκριση μεταξύ των συστημάτων αποθήκευσης ενέργειας παρουσιάζεται στον Πίνακα 4.1.

Πίνακας 4.1: Σύγκριση των μέσων αποθήκευσης [17].

Τεχνολογία αποθήκευσης	Ενεργειακή χωρητικότητα	Διάρκεια αποφόρτισης	Επίπεδο ισχύος	Χρόνος απόκρισης	Αποδοτικότητα AC-AC	Διάρκεια ζωής
Αντλησιοταμίευση	<24 GWh	12 ώρες	<2 GW	30 ms	70-80%	40 χρόνια
Πεπιεσμένος αέρας	400-7200 MWh	4-24 ώρες	100-300 MW	3-15 λεπτά	85%	30 χρόνια
Σφόνδυλος	<100 kWh	0-1 ώρα	<100 kW	5 ms	80-85%	20 χρόνια
Μπαταρίες	<200 MWh	1-8 ώρες	<30 MW	30 ms	60-80%	2-10 χρόνια
SMES	0.6 kWh	10 δευτερόλεπτα	200 kW	5 ms	95-98%	40 χρόνια
Υπερπυκνωτές	0.3 kWh	10 δευτερόλεπτα	100 kW	5 ms	95%	40 χρόνια

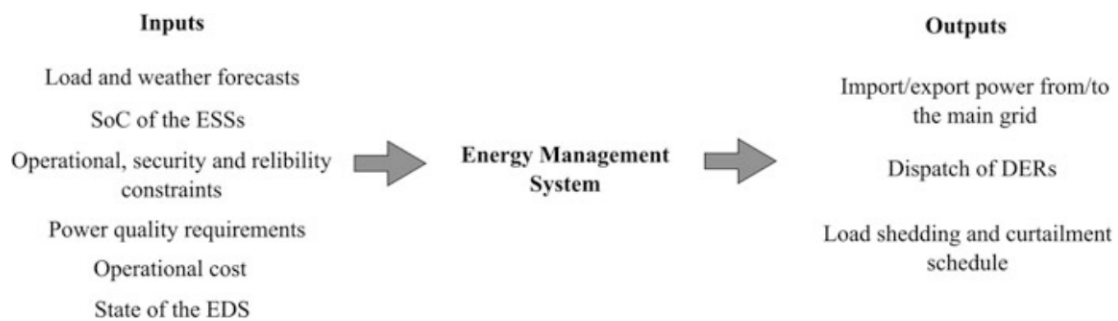
Μελετώντας τον πίνακα, μπορούμε να συνειδητοποιήσουμε ότι οι διάφορες τεχνολογίες αποθήκευσης ενέργειας εξυπηρετούν εφαρμογές ανάλογα με τις εκάστοτε απαιτήσεις. Για εφαρμογές όπου είναι σημαντική η γρήγορη απόκριση του συστήματος και η ταχεία τροφοδότηση του φορτίου, επιλέγονται υπερπυκνωτές και SMES, ενώ όταν απαιτείται κάλυψη φορτίου για μεγάλο χρονικό διάστημα, επιλέγονται συστήματα αντλησιοταμίευσης και CAES.

4.5 Έλεγχος και διαχείριση του μικροδικτύου

Λόγω της πολυπλοκότητας των μικροδικτύων, καθίσταται επιτακτική η ανάγκη για ένα σύστημα επίβλεψης, ελέγχου και συντονισμού της λειτουργίας των στοιχείων που το συνιστούν (μονάδες παραγωγής, μέσα αποθήκευσης, φορτία κ.τ.λ.), για την αξιόπιστη, οικονομική και αποδοτική παροχή ενέργειας στους καταναλωτές.

Καθώς η διαχείριση του μικροδικτύου απαιτεί τη συλλογή δεδομένων που αφορούν πολλούς τεχνικούς τομείς (στατιστικά δεδομένα, δεδομένα πρόβλεψης, στοιχεία λειτουργίας), έχει καθιερωθεί ένα ιεραρχικό μοντέλο επιπέδων για την περιγραφή του [18]. Κάθε επίπεδο διαφέρει από τα άλλα ως προς τον χρόνο επεξεργασίας των δεδομένων, τα δεδομένα εισόδου και εξόδου και τις υλικοτεχνικές ανάγκες. Το μοντέλο συνήθως αποτελείται από τρία επίπεδα. Το πρώτο επίπεδο είναι υπεύθυνο για

τον τοπικό έλεγχο των μονάδων διανεμημένης παραγωγής και αποθήκευσης, ενώ το δεύτερο για τις μεταβολές στα βασικά στοιχεία λειτουργίας του δικτύου, όπως η τάση και η συχνότητα. Το τρίτο επίπεδο, που είναι γνωστό και ως σύστημα ενεργειακής διαχείρισης (EMS) του δικτύου, ενσωματώνει στο μικροδίκτυο έξυπνες υπηρεσίες που συμβάλλουν στην επίτευξη βέλτιστης ροής ισχύος. Αποτελεί ένα αυτοματοποιημένο σύστημα πραγματικού χρόνου που επιτρέπει τη διαχείριση πληροφοριών, την επίβλεψη και τον έλεγχο των μονάδων διανεμημένης παραγωγής, των συστημάτων αποθήκευσης ενέργειας και των ελεγχόμενων φορτίων μέσα στο μικροδίκτυο.

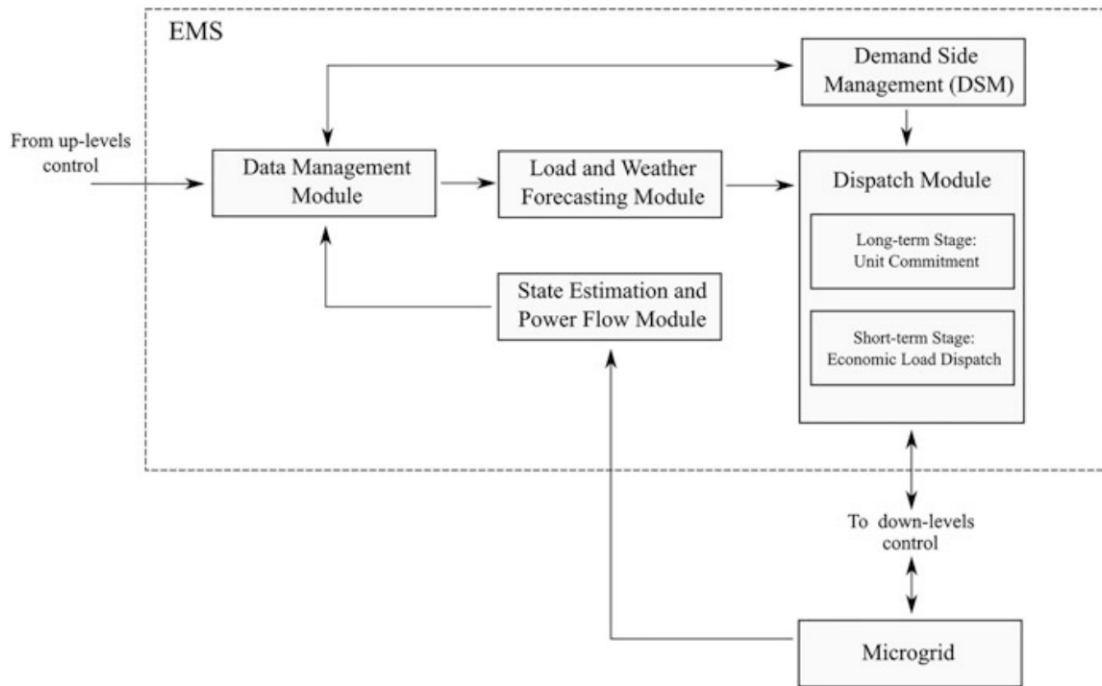


Σχήμα 4.4: Δεδομένα εισόδου - εξόδου του EMS.

Για τη λειτουργία του EMS χρειάζονται στοιχεία εισόδου όπως προγνωστικά καιρού, θερμικής και ηλεκτρικής ζήτησης, διαθεσιμότητας μονάδων παραγωγής, στοιχεία κόστους ενέργειας, κατάστασης φόρτισης (SOC) των μέσων αποθήκευσης, καθώς και στοιχεία λειτουργίας του κεντρικού δικτύου. Αφού συλλεχθούν τα στοιχεία, το EMS τα επεξεργάζεται και εξάγει πληροφορίες (Σχήμα 4.4) με στόχο τη μείωση του κόστους λειτουργίας και της οικονομικής επιβάρυνσης του καταναλωτή, των απωλειών και των ρύπων [19]. Οι πληροφορίες αυτές αφορούν την εισαγωγή ή εξαγωγή ενέργειας από και προς το κεντρικό δίκτυο, τον προγραμματισμό σύνδεσης - αποσύνδεσης μονάδων διανεμημένης παραγωγής και αποθήκευσης και την αποκοπή φορτίων.

4.5.1 Δομή του EMS

Η γενικευμένη δομή ενός EMS φαίνεται στο Σχήμα 4.5. Αποτελείται από μονάδες όπου κάθε μία έχει διακριτές λειτουργίες και κανάλια επικοινωνίας με τις άλλες. Στη συνέχεια περιγράφονται οι μονάδες που συνιστούν το EMS.



Σχήμα 4.5: Γενικευμένη δομή EMS.

4.5.2 Μονάδα προγνωστικών καιρού και ζήτησης

Οι πληροφορίες σχετικά με την εξέλιξη των καιρικών συνθηκών και της ζήτησης έχουν ιδιαίτερη σημασία για τη λειτουργία του EMS. Τα καιρικά στοιχεία χρησιμοποιούνται για την εκτίμηση της παραγωγής των διανεμημένων μονάδων, ενώ τα στοιχεία ζήτησης συμβάλλουν στον προγραμματισμό των μονάδων και των συστημάτων αποθήκευσης. Υπερεκτίμηση των στοιχείων μπορεί να οδηγήσει σε ζητήματα ευστάθειας του δικτύου και μείωσης της αξιοπιστίας, ενώ υποτίμησή τους μπορεί να οδηγήσει σε αύξηση του λειτουργικού κόστους λόγω περιττής λειτουργίας επιπρόσθετων μονάδων. Συνήθως τα στοιχεία πρόγνωσης σύγχρονων μεθόδων περιέχουν σφάλμα τάξης 5 - 15% [20].

4.5.3 Μονάδα διαχείρισης ιστορικών στοιχείων

Η κύρια λειτουργία της μονάδας αυτής είναι η έξυπνη διαχείριση των δεδομένων που συλλέγονται κατά τη λειτουργία του EMS. Πιο συγκεκριμένα, αναλαμβάνει την ανάλυση και κατηγοριοποίηση των δεδομένων, καθώς και την αναζήτηση νέων στρατηγικών για την καλύτερη λειτουργία του μικροδικτύου, αξιοποιώντας μοτίβα καιρικών συνθηκών ή ενεργειακής ζήτησης. Συνοψίζοντας, η μονάδα αυτή έχει ως στόχο τη βελτίωση της απόδοσης του EMS εφαρμόζοντας τεχνικές εξόρυξης δεδομένων ή άλλων στρατηγικών διαχείρισης δεδομένων, κάνοντας έτσι πιο ευφύες το μικροδίκτυο. Ωστόσο, η ανάλυση και επεξεργασία τέτοιου όγκου δεδομένων εισάγει μεγάλο υπολογιστικό κόστος στο σύστημα.

4.5.4 Μονάδα διαχείρισης πλευράς ζήτησης

Η μονάδα DSM παίζει τον ρόλο της διεπαφής ανάμεσα στο μικροδίκτυο και τους τελικούς χρήστες. Κύριος ρόλος της είναι η αλληλεπίδραση με τους καταναλωτές για τον καθορισμό ενός προγράμματος για τα διαχειριζόμενα φορτία. Τα φορτία αυτά χωρίζονται σε δύο κατηγορίες: τα περικοπτόμενα και τα απορριπτόμενα. Περικοπτόμενα ονομάζονται τα φορτία που μπορούν να αποσυνδεθούν με κάποιο κόστος οποιαδήποτε στιγμή από το μικροδίκτυο. Από την άλλη μεριά, απορριπτόμενα ονομάζονται τα φορτία των οποίων η κατανάλωση μπορεί να επαναπρογραμματιστεί για κάποια άλλη στιγμή. Η μονάδα DSM μπορεί λοιπόν να διευκολύνει την ανάπτυξη στρατηγικών απόκρισης ζήτησης μέσω της εύκολης διαχείρισης των απορριπτόμενων και περικοπτόμενων φορτίων σε περιόδους αιχμής, αποφεύγοντας έτσι την υπερφόρτωση του δικτύου. Επομένως, είναι φανερό ότι η μονάδα αυτή είναι πολύ σημαντική, αφού προσθέτει ευελιξία, τόσο στη λειτουργία του EMS, όσο και του ίδιου του μικροδικτύου.

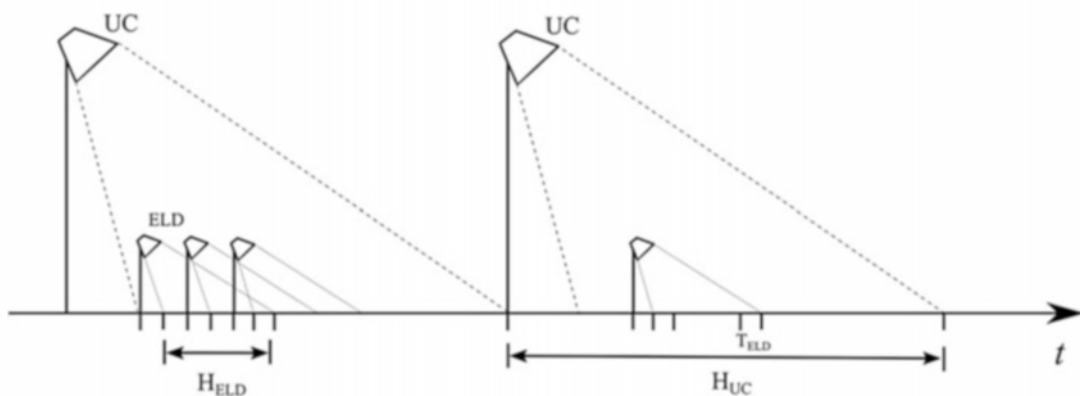
4.5.5 Μονάδα εκτίμησης κατάστασης και ροής ενέργειας

Αυτή η μονάδα λαμβάνει μετρήσεις πραγματικού χρόνου των στοιχείων λειτουργίας, όπως η τάση και η ένταση ρεύματος, και σε συνδυασμό με τα στοιχεία ροής φορτίου παράγει μία εικόνα της κατάστασης του μικροδικτύου. Έτσι, είναι δυνατή η τροποποίηση ενεργειών ελέγχου άλλων μονάδων και ο καλύτερος βραχυπρόθεσμος προγραμματισμός των συστημάτων αποθήκευσης ενέργειας.

4.5.6 Μονάδα κατανομής

Η μονάδα κατανομής συλλέγει πληροφορίες από όλες τις άλλες μονάδες και προγραμματίζει την κατανομή των διανεμημένων μονάδων παραγωγής και συστημάτων αποθήκευσης. Η λήψη των αποφάσεων για την κατανομή βασίζεται στην επίλυση των προβλημάτων της ένταξης μονάδων παραγωγής (Unit Commitment) και της οικονομικής κατανομής φορτίου (Economic Load Dispatch).

Για την αναπαράσταση του μοντέλου κατανομής συνήθως χρησιμοποιείται η μέθοδος της αποσύνθεσης, όπου τα προβλήματα επιλύονται σε προκαθορισμένο χρονικό περιθώριο. Το χρονικό περιθώριο για το πρόβλημα του UC ονομάζεται H_{UC} , ενώ του ELD H_{ELD} και χωρίζεται σε χρονικά διαστήματα μήκους T_{ELD} (Σχήμα 4.6).



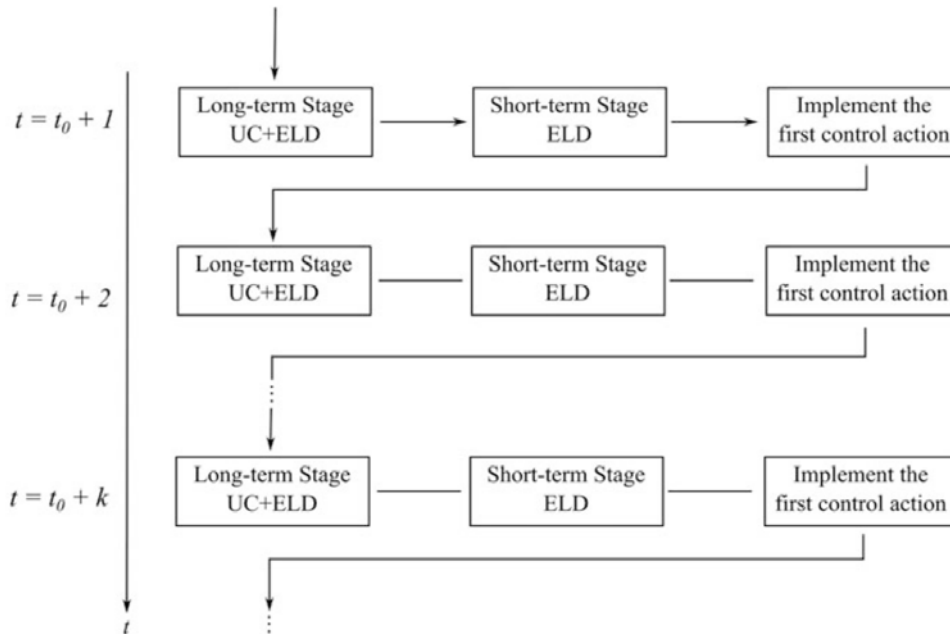
Σχήμα 4.6: Αποσύνθεση του προβλήματος διαχείρισης σε UC και ELD.

Η επίλυση του προβλήματος χωρίζεται σε δύο στάδια, ένα μεγάλης διάρκειας και ένα μικρότερης. Στο πρώτο στάδιο, τα δύο προβλήματα (UC και ELD) επιλύονται ταυτόχρονα για ένα μελλοντικό χρονικό πλαίσιο (π.χ. για την επόμενη ημέρα σε διακριτά διαστήματα της μίας ώρας). Για την επίλυση λαμβάνονται υπόψη παράγοντες του προβλήματος UC που σχετίζονται με τη διαθεσιμότητα των μονάδων διανεμημένης παραγωγής και των μέσων αποθήκευσης, όπως η διαθεσιμότητα, οι κύκλοι φόρτισης - αποφόρτισης, καθώς και το γεγονός ότι η λειτουργία των μονάδων αποθήκευσης σε ένα διακριτό χρονικό διάστημα εξαρτάται από προηγούμενα και επόμενα χρονικά διαστήματα.

Με το πέρας του πρώτου σταδίου, ξεκινά η εκτέλεση του βραχυπρόθεσμου σταδίου για τον καθορισμό της λειτουργίας των ενεργών μονάδων σε κάθε χρονικό διάστημα. Διαμορφώνεται το πρόβλημα ELD και επιλύεται για περιόδους μίας ώρας και διαστημάτων δεκαπέντε λεπτών. Κύρια μέριμνα του δεύτερου σταδίου είναι η διαχείριση των μεταβολών σε ενεργό και άεργο ισχύ λόγω ξαφνικών αλλαγών ζήτησης και παραγωγής.

Τα δύο στάδια συνήθως συνδέονται με ένα σύστημα προβλεπτικού ελέγχου (Model Predictive Control - MPC) (Σχήμα 4.7), όπου το EMS εκτελεί λειτουργίες που έχουν αποφασιστεί κατά το πρώτο διακριτό χρονικό διάστημα του πρώτου σταδίου. Στη συνέχεια, ενημερώνονται όλες οι προγραμματισμένες αποφάσεις σύμφωνα με την νέα λειτουργική κατάσταση του συστήματος διανομής λαμβάνοντας στοιχεία και από τις άλλες μονάδες του EMS. Η νέα κατάσταση καθορίζεται ως η νέα αρχική κατάσταση και η διαδικασία επαναλαμβάνεται για κάθε χρονικό διάστημα.

Ο καθορισμός της χρονικής διάρκειας των δύο σταδίων και του αριθμού των χρονικών διαστημάτων αυτών παίζει σημαντικό ρόλο στη λειτουργία του EMS. Αυξάνοντας τη διάρκεια των δύο σταδίων και τον αριθμό των διακριτών διαστημάτων, αυξάνονται και οι μεταβλητές του προβλήματος. Αυτό καθιστά το EMS ακατάλληλο για εφαρμογές πραγματικού χρόνου. Αντίθετα, με τη μείωσή τους, θα μειωθεί η ακρίβεια των προβλέψεων κι επομένως η διαχείριση των μονάδων παραγωγής και αποθήκευσης δεν θα είναι ιδανική, με πιθανά προβλήματα αξιοπιστίας του δικτύου.

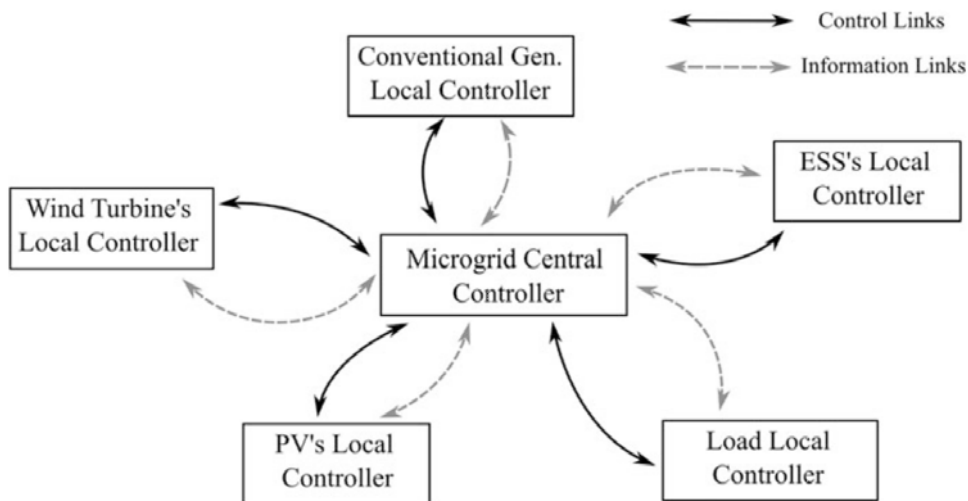


Σχήμα 4.7: Σύστημα προβλεπτικού ελέγχου EMS.

4.5.7 Κεντρικό και αποκεντρωμένο EMS

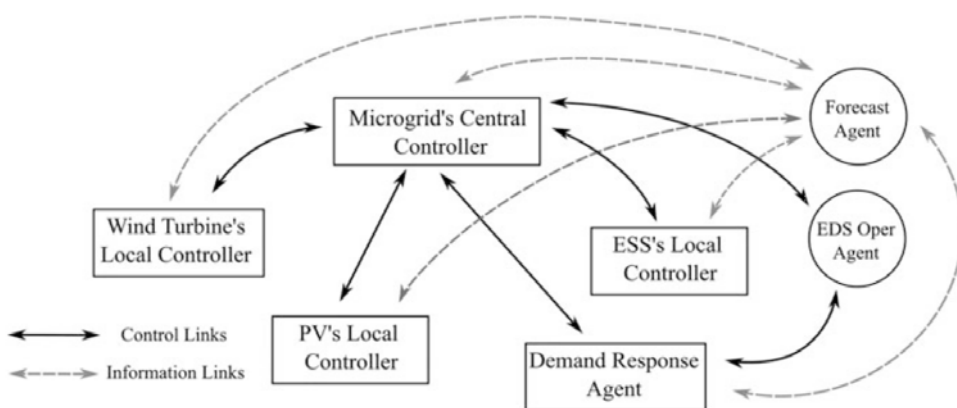
Γενικά υπάρχουν δύο μορφές του EMS: η κεντρική και η αποκεντρωμένη. Η διαφορά τους έγκειται στον τρόπο που λαμβάνουν και διαχειρίζονται τις πληροφορίες από τις υπόλοιπες μονάδες που υπάγονται στο EMS. Συγκεκριμένα, στην κεντρική μορφή (Σχήμα 4.8), ο κεντρικός ελεγκτής συλλέγει όλες τις σχετικές πληροφορίες που παράγουν οι μονάδες διανεμημένης παραγωγής και αποθήκευσης, τα ελεγχόμενα φορτία, καθώς και τις πληροφορίες που σχετίζονται με τη λειτουργία του δικτύου διανομής. Οι πληροφορίες αυτές χρησιμοποιούνται σε συνδυασμό με την καταναλισκόμενη ενέργεια και την πρόβλεψη παραγωγής ενέργειας των ΑΠΕ για τον προγραμματισμό λειτουργίας των μονάδων.

Καθώς η συγκέντρωση των πληροφοριών γίνεται σε ένα σημείο, διευκολύνεται η ευρεία επίβλεψη και διαχείριση του συστήματος, αλλά μειώνεται η ευελιξία του. Η μορφή αυτή είναι κατάλληλη για μικρής έκτασης μικροδίκτυα ή συστήματα που απαιτούν υψηλή εμπιστευτικότητα και κεντρική διαχείριση.



Σχήμα 4.8: Κεντρικό EMS.

Από την άλλη πλευρά, στην αποκεντρωμένη μορφή (Σχήμα 4.9) η συλλογή των πληροφοριών και η λήψη αποφάσεων γίνεται ξεχωριστά στα επιμέρους μέσα παραγωγής και αποθήκευσης και τα διαχειριζόμενα φορτία, και στη συνέχεια αποφασίζουν από κοινού για τον τρόπο λειτουργίας του μικροδικτύου. Τα πλεονεκτήματα αυτής της μορφής είναι η αυτοματοποιημένη λειτουργία και η γενικότερη ευελιξία του συστήματος, εις βάρος όμως της πολυπλοκότητας και της δυσκολίας υλοποίησής του. Επιπλέον αυξάνεται σημαντικά η δυσκολία προγραμματισμού της λειτουργίας του, αφού οι πληροφορίες που απαιτούνται δεν είναι ταυτόχρονα διαθέσιμες στις οντότητες που συμμετέχουν.



Σχήμα 4.9: Αποκεντρωμένο EMS.

4.6 Προκλήσεις των μικροδικτύων

Όντας μία νέα και αναπτυσσόμενη τεχνολογία στον τομέα της ενέργειας, το μικροδίκτυο επιφέρει δραστικές αλλαγές στον τρόπο λειτουργίας του ηλεκτρικού δικτύου. Ωστόσο, συναντώνται διάφορες προκλήσεις κατά την υλοποίησή τους.

Κατά τη συνδεδεμένη λειτουργία, η συχνότητα του μικροδικτύου διατηρείται σταθερή. Ωστόσο, στην απομονωμένη λειτουργία, η έλλειψη ζυγού αναφοράς (slack bus) καθιστά απαραίτητο τον έλεγχο της συχνότητας, ιδιαίτερα σε δίκτυα με μεγάλο αριθμό ΜΔΠ. Επίσης, η ομαλή μετάβαση ανάμεσα στους δύο τύπους λειτουργίας αποτελεί σημαντικό παράγοντα ευστάθειας.

Η εύρυθμη λειτουργία του μικροδικτύου εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την τοπολογία του. Η τοποθεσία και ο αριθμός των διανεμημένων μονάδων παραγωγής και αποθήκευσης, καθώς και η απόστασή τους από το φορτίο δύναται να μειώσουν την αποδοτικότητά του.

Η αμφίδρομη ροή ισχύος καθιστά τις μεθόδους προστασίας του συμβατικού ηλεκτρικού δικτύου ανεπαρκείς. Λόγω της δυνατότητας του μικροδικτύου να λειτουργεί απομονωμένα, απαιτούνται μέσα προστασίας τόσο εντός αυτού όσο και στην πλευρά του κεντρικού δικτύου. Ακόμη, τα ηλεκτρονικά ισχύος που είναι υπεύθυνα για τον έλεγχο των μονάδων παραγωγής δεν είναι σχεδιασμένα να αντέχουν στα υψηλά ρεύματα που προκύπτουν σε περίπτωση σφάλματος.

Η επικοινωνία και οι πληροφορίες διαδραματίζουν καίριο ρόλο εντός του μικροδικτύου. Ελλείψεις σε υλικοτεχνικές υποδομές τηλεπικοινωνιών και πληροφοριακών συστημάτων αποτελούν σημαντικά προβλήματα για την ανάπτυξη σύγχρονων δικτύων, ιδιαίτερα σε αγροτικές περιοχές. Επιπλέον, οι εκτεταμένες μελέτες και η έλλειψη κατάλληλου νομοθετικού πλαισίου και τεχνικά έμπειρου προσωπικού προκαλούν σημαντικές καθυστερήσεις στην υλοποίηση τέτοιων έργων.

Το αρχικό κόστος των διανεμημένων μονάδων παραγωγής είναι ιδιαίτερα υψηλό. Η συμβολή των κυβερνητικών φορέων με τη μορφή επιδοτήσεων μπορεί να οδηγήσει στην ταχύτερη ανάπτυξη των μικροδικτύων. Τέλος, κατά την απομονωμένη λειτουργία

γία, καθώς προμηθευτής της ενέργειας είναι το μικροδίκτυο, καθίσταται επιτακτική η ανάγκη διορισμού ανεξάρτητης αρχής, η οποία θα προστατεύει τα οικονομικά συμφέροντα του καταναλωτή.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

ΕΠΙΛΟΓΟΣ

Τα αποτελέσματα της κλιματικής αλλαγής έχουν αρχίσει να γίνονται ορατά σε ολόκληρο τον κόσμο. Τα έντονα καιρικά φαινόμενα είναι ολοένα και πιο συχνά. Είναι πλέον φανερό πως η μετάβαση από τα ορυκτά καύσιμα στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας αποτελεί μονόδρομο για την αντιμετώπιση της κατάστασης.

Ιδιαίτερα στη χώρα μας, η οποία απολαμβάνει αφθονία καθαρής και ανεξάντλητης ενέργειας, όπως η αιολική και η ηλιακή, είναι ανάγκη να δοθούν κίνητρα για την ανάπτυξη διανεμημένων μονάδων παραγωγής που θα βασίζονται στις ΑΠΕ.

Ακόμη, χρειάζεται οι κυβερνητικοί φορείς να φροντίσουν για την αναδιάρθρωση του νομοθετικού πλαισίου, ώστε να διευκολύνουν έργα ενεργειακής αναβάθμισης και αύξησης της διείσδυσης των ΑΠΕ.

Η ανάπτυξη μικροδικτύων για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών μικρών κοινοτήτων (π.χ. αγροτικές περιοχές), η υιοθέτηση προγραμμάτων διαχείρισης της πλευράς ζήτησης και η ενσωμάτωση ευφυών πληροφοριακών συστημάτων και διακοπτικών μέσων θα οδηγήσει σε ένα πιο αξιόπιστο ηλεκτρικό δίκτυο, όπου κεντρικό πρόσωπο θα είναι ο καταναλωτής.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Richard Moran. Executioner's Current: Thomas Edison, George Westinghouse, and the Invention of the Electric Chair. Knopf Doubleday Publishing Group, 2007.
- [2] W. Bernard Carlson. Tesla: Inventor of the Electrical Age. Princeton University Press, 2013.
- [3] National Trust. Lighting by electricity. 2011. URL: http://www.nationaltrust.org.uk/main/w-chl/w-places_collections/w-collections-main/w-collections-highlights/w-collections-lighting-electricity.html.
- [4] Ετήσιος Απολογισμός ΔΕΗ. 2018. URL: <https://www.dei.gr/el/i-dei/enimerwsi-ependutwn/etisia-deltia/etisios-apologismos-2018>.
- [5] Μελέτη Επάρκειας Ισχύος 2017-2027 ΑΔΜΗΕ. URL: http://www.admie.gr/fileadmin/groups/EDAS_DSS/AnaptixiSistimatos/Meleti_eparkeias_2017_2027.pdf.
- [6] Βασικά μεγέθη του δικτύου διανομής ηλεκτρισμού, ΔΕΔΔΗΕ. 2018. URL: <https://www.deddie.gr/el/deddie/to-diktuo-ilektrismou/vasika-megethi-tou-diktuou-ilektrismou/>.
- [7] Ελληνικό Διασυνδεδεμένο Σύστημα Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας ΑΔΜΗΕ. 2017. URL: http://www.admie.gr/fileadmin/groups/EDAS_DSES/XARTIS/GREECE_MAP_2017_01n.pdf.
- [8] BP Statistical Review of World Energy. 2019. URL: <https://www.bp.com/content/dam/bp/business-sites/en/global/corporate/pdfs/energy-economics/statistical-review/bp-stats-review-2019-full-report.pdf#%5B%7B%22num%22%3A111%2C%22gen%22%3A0%7D%2C%7B%22name%22%3A%22FitH%22%7D%2C900%5D>.
- [9] IRENA: Renewable Energy and Jobs Annual Review 2018. 2018. URL: <https://www.irena.org/publications/2018/May/Renewable-Energy-and-Jobs-Annual-Review-2018>.
- [10] G. Dileep. «A survey on smart grid technologies and applications». Στο: *Renewable Energy* 146 (Φεβ. 2020), σσ. 2589–2625.
- [11] Ali Ipakchi και Farrokh Albuyeh. «Grid of the future». Στο: *IEEE Power and Energy Magazine* 7.2 (Μαρ. 2009), σσ. 52–62.
- [12] Hunt Allcott. Real Time Pricing and Electricity Markets. 2008.

- [13] Foad H. Gandoman κ.ά. «Review of FACTS technologies and applications for power quality in smart grids with renewable energy systems». Στο: *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 82 (Φεβ. 2018), σσ. 502–514.
- [14] Santiago Grijalva και Muhammad Umer Tariq. «Prosumer-based smart grid architecture enables a flat, sustainable electricity industry». Στο: *ISGT 2011*. IEEE, Ιαν. 2011.
- [15] R.H. Lasseter. «MicroGrids». Στο: *2002 IEEE Power Engineering Society Winter Meeting. Conference Proceedings (Cat. No.02CH37309)*. IEEE.
- [16] K. Shah κ.ά. «Smart efficient solar DC micro-grid». Στο: *2012 IEEE Energytech*. IEEE, Μάι. 2012.
- [17] Sandeep Yeleti και Yong Fu. «Impacts of energy storage on the future power system». Στο: *North American Power Symposium 2010*. IEEE, Σεπτ. 2010.
- [18] Josep M. Guerrero κ.ά. «Hierarchical Control of Droop-Controlled AC and DC Microgrids—A General Approach Toward Standardization». Στο: *IEEE Transactions on Industrial Electronics* 58.1 (Ιαν. 2011), σσ. 158–172.
- [19] Farid Katiraei κ.ά. «Microgrids management». Στο: *IEEE Power and Energy Magazine* 6.3 (Μάι. 2008), σσ. 54–65.
- [20] Petr Stluka, Datta Godbole και Tariq Samad. «Energy management for buildings and microgrids». Στο: *IEEE Conference on Decision and Control and European Control Conference*. IEEE, Δεκ. 2011.