



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ

ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ ΚΑΙ ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ

ΜΕΛΕΤΗ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ ΨΗΦΙΑΚΟΥ
ΑΠΟΜΑΚΡΥΣΜΕΝΟΥ ΕΛΕΓΧΟΥ ΣΕ
ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΩΝ ΠΗΓΩΝ
ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

ΘΕΟΔΩΡΟΣ ΑΚΡΙΒΟΥΛΗΣ

ΧΡΙΣΤΙΝΑ ΣΑΒΒΙΔΗ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΥΠΕΥΘΥΝΟΣ

ΔΡ. ΘΕΟΦΙΛΟΣ ΧΡΥΣΙΚΟΣ

ΔΙΔΑΣΚΩΝ – ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΟΣ ΣΥΝΕΡΓΑΤΗΣ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟΥ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ

Λαμία 2023



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ

ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ ΚΑΙ ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ

ΜΕΛΕΤΗ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ ΨΗΦΙΑΚΟΥ
ΑΠΟΜΑΚΡΥΣΜΕΝΟΥ ΕΛΕΓΧΟΥ ΣΕ
ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΩΝ ΠΗΓΩΝ
ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

ΘΕΟΔΩΡΟΣ ΑΚΡΙΒΟΥΛΗΣ

ΧΡΙΣΤΙΝΑ ΣΑΒΒΙΔΗ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΥΠΕΥΘΥΝΟΣ

ΔΡ. ΘΕΟΦΙΛΟΣ ΧΡΥΣΙΚΟΣ

ΔΙΔΑΣΚΩΝ – ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΟΣ ΣΥΝΕΡΓΑΤΗΣ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟΥ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ

Λαμία 2023



UNIVERSITY OF
THESSALY

SCHOOL OF SCIENCE

DEPARTMENT OF COMPUTER SCIENCE & TELECOMMUNICATIONS

SIMULATION STUDY OF DIGITAL REMOTE
CONTROL IN RENEWABLE ENERGY
SYSTEMS

THEODOROS AKRIVOULIS

CHRISTINA SAVVIDI

FINAL THESIS

ADVISOR

DR. THEOFILOS CHRYSIKOS

TUTOR – ASSOCIATE UNIVERSITY OF THESSALY

Lamia 2023

«Με ατομική μου ευθύνη και γνωρίζοντας τις κυρώσεις ⁽¹⁾, που προβλέπονται από τις διατάξεις της παρ. 6 του άρθρου 22 του Ν. 1599/1986, δηλώνω ότι:

1. Δεν παραθέτω κομμάτια βιβλίων ή άρθρων ή εργασιών άλλων αυτολεξεί **χωρίς να τα περικλείω σε εισαγωγικά** και χωρίς να αναφέρω το συγγραφέα, τη χρονολογία, τη σελίδα. Η αυτολεξεί παράθεση χωρίς εισαγωγικά χωρίς αναφορά στην πηγή, είναι λογοκλοπή. Πέραν της αυτολεξεί παράθεσης, λογοκλοπή θεωρείται και η παράφραση εδαφίων από έργα άλλων, συμπεριλαμβανομένων και έργων συμφοιτητών μου, καθώς και η παράθεση στοιχείων που άλλοι συνέλεξαν ή επεξεργάστηκαν, χωρίς αναφορά στην πηγή. Αναφέρω πάντοτε με πληρότητα την πηγή κάτω από τον πίνακα ή σχέδιο, όπως στα παραθέματα.
2. Δέχομαι ότι η αυτολεξεί **παράθεση χωρίς εισαγωγικά**, ακόμα κι αν συνοδεύεται από αναφορά στην πηγή σε κάποιο άλλο σημείο του κειμένου ή στο τέλος του, είναι αντιγραφική. Η αναφορά στην πηγή στο τέλος π.χ. μιας παραγράφου ή μιας σελίδας, δεν δικαιολογεί συρραφή εδαφίων έργου άλλου συγγραφέα, έστω και παραφρασμένων, και παρουσίασή τους ως δική μου εργασία.
3. Δέχομαι ότι υπάρχει επίσης περιορισμός στο μέγεθος και στη συχνότητα των παραθεμάτων που μπορώ να εντάξω στην εργασία μου εντός εισαγωγικών. Κάθε μεγάλο παράθεμα (π.χ. σε πίνακα ή πλαίσιο, κλπ), προϋποθέτει ειδικές ρυθμίσεις, και όταν δημοσιεύεται προϋποθέτει την άδεια του συγγραφέα ή του εκδότη. Το ίδιο και οι πίνακες και τα σχέδια
4. Δέχομαι όλες τις συνέπειες σε περίπτωση λογοκλοπής ή αντιγραφής.

Ημερομηνία:/...../20.....

Ο Δηλών
Ακριβούλης Θεόδωρος

Η Δηλούσα
Σαββίδη Χριστίνα

(1) «Όποιος εν γνώσει του δηλώνει ψευδή γεγονότα ή αρνείται ή αποκρύπτει τα αληθινά με έγγραφη υπεύθυνη δήλωση του άρθρου 8 παρ. 4 Ν. 1599/1986 τιμωρείται με φυλάκιση τουλάχιστον τριών μηνών. Εάν ο υπαίτιος αυτών των πράξεων σκόπευε να προσπορίσει στον εαυτόν του ή σε άλλον περιουσιακό όφελος βλάπτοντας τρίτον ή σκόπευε να βλάψει άλλον, τιμωρείται με κάθειρξη μέχρι 10 ετών.»

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στο άμεσο μέλλον, ο ψηφιακός έλεγχος για τα συστήματα ανανεώσιμων πηγών ενέργειας πρόκειται να διαδραματίσει κρίσιμο ρόλο στην βελτιστοποίηση της παραγωγής ενέργειας, στην βελτίωση της αποδοτικότητας του συστήματος και στην ενίσχυση της συνολικής ενσωμάτωσης στο δίκτυο. Παραθέτουμε ορισμένες πιθανές εξελίξεις και τάσεις που θα μπορούσαν να αποτελέσουν μέρος του μελλοντικού οράματος για τον ψηφιακό έλεγχο στα συστήματα ανανεώσιμων πηγών ενέργειας:

1. Προηγμένη ανάλυση δεδομένων
2. Ευφυής διαχείριση ενέργειας
3. Εικονικοί σταθμοί παραγωγής ενέργειας (VPP)
4. Κτίρια που αλληλεπιδρούν με το δίκτυο
5. Blockchain και ομότιμες ενεργειακές συναλλαγές
6. Κυβερνοασφάλεια και ανθεκτικότητα
7. Ενσωμάτωση με τα έξυπνα δίκτυα
8. Αποκεντρωμένοι αυτόνομοι οργανισμοί (DAO)

Αυτές είναι μερικές μόνο πιθανές πτυχές του μελλοντικού οράματος για τον ψηφιακό έλεγχο στα συστήματα ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Καθώς η τεχνολογία εξελίσσεται, τα συστήματα αυτά θα γίνουν πιο εξελιγμένα, διασυνδεδεμένα και ευφυή, υποστηρίζοντας την ευρεία υιοθέτηση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και προωθώντας τη μετάβαση σε ένα βιώσιμο ενεργειακό μέλλον.

Στα πλαίσια της πτυχιακής εργασίας, παραθέτουμε τις βασικές έννοιες των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, την ένταξή τους στο οικοσύστημα του Διαδικτύου των Πραγμάτων με την εισαγωγή του ψηφιακού, ασύρματου, απομακρυσμένου ελέγχου, περιγράφουμε την έννοια του smart grid και την ενοποίηση συστημάτων ενέργειας και τηλεπικοινωνιών για ασύρματη βελτιστοποίηση και ανίχνευση-διόρθωση σφαλμάτων σε ένα δίκτυο διανομής ενέργειας που συνδέεται με ανανεώσιμη πηγή. Εξετάζουμε σε περιβάλλον υλοποίησης MATLAB ένα υπόδειγμα αολικού πάρκου με τεχνητή εισαγωγή σφάλματος φάσης-προς-φάση και μελετούμε την παράμετρο ελέγχου και την επίδρασή της στην ευστάθεια και εν τέλει στην αξιοπιστία του συστήματος.

Τέλος, παραθέτουμε τα συμπεράσματα και την βιβλιογραφία που χρησιμοποιήσαμε.

ABSTRACT

In the near future, digital control for renewable energy systems is set to play a critical role in optimizing energy production, improving system efficiency and enhancing overall grid integration. Here are some possible developments and trends that could be part of the future vision for digital control in renewable energy systems:

1. Advanced data analysis
2. Advanced energy technologies
3. Virtual Power Plants (VPP)
4. Buildings interacting with the grid
5. Blockchain and peer-to-peer energy transactions
6. Cybersecurity and resilience
7. Integration with smart grids
8. Decentralized Autonomous Organizations (DAOs)

These are just a few possible aspects of the future vision for digital control in renewable energy systems. As technology evolves, these systems will become more sophisticated, interconnected and intelligent, supporting the widespread adoption of renewable energy and driving the transition to a sustainable energy future.

In the context of this thesis, we list the basic concepts of renewable energy, its integration into the Internet of Things ecosystem with the introduction of digital, wireless, remote control, describe the concept of smart grid and the integration of energy and telecommunication systems for wireless optimization and fault detection-correction in a renewable energy distribution grid. We consider in a MATLAB implementation environment a wind farm model with artificial phase-to-phase error introduction and study the control parameter and its impact on the stability and ultimately the reliability of the system.

Finally, we present the conclusions and the literature we used.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ	3
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας	11
Υποκεφάλαιο 1.1: Ενέργεια - Ιστορική Αναδρομή	11
Υποκεφάλαιο 1.2: Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας	13
1.2.1: Ορισμός	13
1.2.2: Χρήση των ΑΠΕ	14
Υποκεφάλαιο 1.3: Ηλιακή Ενέργεια	17
1.3.1: Φωτοβολταϊκά/ Ηλιακά Πάνελ	18
Υποκεφάλαιο 1.4: Αιολική Ενέργεια	19
1.4.1: Ανεμογεννήτριες	20
Υποκεφάλαιο 1.5: Υδροηλεκτρική Ενέργεια	21
1.5.1: Ιστορική Αναδρομή	22
1.5.2: Πώς Λειτουργεί η Υδροηλεκτρική Ενέργεια;	22
1.5.3: Τύποι Υδροηλεκτρικών Συστημάτων	23
1.5.3.a: Υδροηλεκτρικά Συστήματα Κατακράτησης (Impoundment)	23
1.5.3.b: Υδροηλεκτρικά Συστήματα Εκτροπής (Diversion)	24
1.5.3.c: Υδροηλεκτρικά Συστήματα με Αντλία Αποθήκευσης (Pumped Storage)	25
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: IoT και Απομακρυσμένος Έλεγχος	27
Υποκεφάλαιο 2.1: Διαδίκτυο των Πραγμάτων	27
2.1.1: Χρήση IoT σε ΑΠΕ	30
Υποκεφάλαιο 2.2: Συστήματα Απομακρυσμένου Ελέγχου	32
2.2.1: Παραδείγματα Συστημάτων Απομακρυσμένου Ελέγχου σε ΑΠΕ	33
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: Έξυπνο Δίκτυο - Το Δίκτυο του Μέλλοντος	37
Υποκεφάλαιο 3.1: Ορισμός Smart Grid	37
Υποκεφάλαιο 3.2: Δομή Smart Grid	38

3.2.1: Τα βασικά μέρη του Έξυπνου Δικτύου	39
Υποκεφάλαιο 3.3: Traditional Grid vs Smart Grid	39
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: Συστήματα Επικοινωνίας με Ενσωμάτωση Δικτύου σε Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας.....	41
Υποκεφάλαιο 4.1: Εισαγωγή	41
Υποκεφάλαιο 4.2: Τα συστήματα Εποπτικού Ελέγχου και Απόκτησης Δεδομένων (SCADA)	41
4.1.1: Πώς λειτουργούν;	42
4.1.2: Από τι αποτελούνται;	43
4.1.3: Επίπεδα Πελάτη-Διακομιστή	45
Υποκεφάλαιο 4.3: Τεχνολογία Επικοινωνίας Γραμμής Ρεύματος (PLC)	46
4.3.1: Τι είναι PLC;	46
4.3.2: Πού χρησιμοποιούνται;	46
4.3.3: Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα	47
Υποκεφάλαιο 4.4: ZigBee	48
4.4.1: Πώς λειτουργεί;	48
Υποκεφάλαιο 4.5: Ασύρματα Τοπικά Δίκτυα (WLAN)	48
4.5.1: WLAN και ΑΠΕ	49
Υποκεφάλαιο 4.6: Ασύρματα Ευρεία Δίκτυα (WWAN)	49
Υποκεφάλαιο 4.7: Διαλειτουργικά Συστήματα Επικοινωνίας.....	40
Υποκεφάλαιο 4.8: Προσομοίωση MATLAB.....	52
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	59
ΕΙΚΟΝΕΣ	46

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας

Υποκεφάλαιο 1.1: Ενέργεια - Ιστορική Αναδρομή

Η ενέργεια υπάρχει γύρω μας με διάφορες μορφές και είναι ζωτικής σημασίας για την οικονομική, κοινωνική και πολιτική ανάπτυξη μιας χώρας. Είναι το φυσικό μέγεθος που προκαλεί διάφορες αλλαγές στον υλικό κόσμο, που εμφανίζονται με διάφορες μορφές.

Η ενέργεια δεν χάνεται ούτε παράγεται από το μηδέν, αλλά μετατρέπεται από τη μια μορφή στην άλλη. Στο παρελθόν, θεωρούνταν αποτέλεσμα οικονομικής ανάπτυξης, αλλά η ενέργεια είναι στην πραγματικότητα ο καθοριστικός παράγοντας για αυτήν. Είναι απαραίτητο στοιχείο της ζωής και της τεχνολογικής εξέλιξης. Τα εργοστάσια, οι βιομηχανίες, οι μονάδες παραγωγής και όλα τα τεχνικά συστήματα που παράγουν τεχνολογία απαιτούν πολλή ενέργεια για να λειτουργήσουν.

Όλη η ανθρώπινη εξέλιξη βασίζεται στη χρήση της ενέργειας. Στην πραγματικότητα, πολλές ονομασίες που δόθηκαν σε περιόδους της ανθρώπινης ιστορίας προέρχονται από την ικανότητα των ανθρώπων να διαχειρίζονται διαφορετικές μορφές ενέργειας. Σε όλη τη διάρκεια ύπαρξής του στη Γη, ο άνθρωπος έμαθε να αξιοποιεί τους διαφορετικούς πόρους, όπως η φωτιά, ο άνεμος και το νερό για να ικανοποιεί τις ανάγκες του και να βελτιώνει τις συνθήκες διαβίωσής του.

Κυρίαρχη παρατηρείται η χρήση ορυκτών καυσίμων, όπως ο άνθρακας, το πετρέλαιο και το φυσικό αέριο, με τη μεγαλύτερη χρήση του άνθρακα να λαμβάνει χώρα κατά την Βιομηχανική Επανάσταση και του πετρελαίου μετά τον Δεύτερο Παγκόσμιο Πόλεμο. Και οι τρεις πηγές ενέργειας συνεχίζουν να έχουν αυξημένη χρήση μέχρι και σήμερα.

Λόγω της σπάταλης εκμετάλλευσης τους, η στροφή προς τη χρήση περισσότερων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας κρίνεται πλέον απαραίτητη, για τους εξής λόγους:

- **Κλιματική αλλαγή:** Η καύση ορυκτών καυσίμων, όπως ο άνθρακας, το πετρέλαιο και το φυσικό αέριο, απελευθερώνει αέρια του θερμοκηπίου στην ατμόσφαιρα, τα οποία συμβάλλουν στην κλιματική αλλαγή. Για την αντιμετώπιση αυτού του προβλήματος, πολλές χώρες έχουν αρχίσει να μεταβαίνουν σε ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, οι οποίες παράγουν ελάχιστες ή καθόλου εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου.
- **Ενεργειακή ασφάλεια:** Τα ορυκτά καύσιμα είναι ένας πεπερασμένος πόρος και η διαθεσιμότητα και η τιμή τους μπορεί να επηρεαστούν από γεωπολιτικά γεγονότα και διακυμάνσεις της αγοράς. Αντίθετα, οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, όπως η ηλιακή, η αιολική και η υδροηλεκτρική ενέργεια, είναι άφθονες και μπορούν να παρέχουν πιο σταθερό και ασφαλή ενεργειακό εφοδιασμό.
- **Κόστος:** Το κόστος των τεχνολογιών ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, όπως η ηλιακή και η αιολική ενέργεια, έχει μειωθεί δραματικά τα τελευταία χρόνια, καθιστώντας τις όλο και πιο ανταγωνιστικές σε σχέση με τα ορυκτά καύσιμα. Ως αποτέλεσμα, πολλές χώρες επενδύουν πλέον στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας ως οικονομικά αποδοτικό τρόπο κάλυψης των ενεργειακών τους αναγκών.
- **Δημόσια υγεία:** Η χρήση ορυκτών καυσίμων για την παραγωγή ενέργειας μπορεί να οδηγήσει σε ατμοσφαιρική ρύπανση, η οποία έχει αρνητικές επιπτώσεις στη δημόσια υγεία. Η μετάβαση σε ανανεώσιμες πηγές ενέργειας μπορεί να συμβάλλει στη βελτίωση της ποιότητας του αέρα και στη μείωση των κινδύνων για την υγεία που συνδέονται με τη χρήση ορυκτών καυσίμων.

Συνολικά, η στροφή προς τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας οφείλεται σε έναν συνδυασμό περιβαλλοντικών, οικονομικών και κοινωνικών παραγόντων. Καθώς συνεχίζουμε να αντιμετωπίζουμε τις προκλήσεις που σχετίζονται με την κλιματική αλλαγή και να προσπαθούμε να

δημιουργήσουμε ένα πιο βιώσιμο ενεργειακό σύστημα, οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας θα διαδραματίζουν πιθανότατα ολοένα και πιο σημαντικό ρόλο στην κάλυψη των ενεργειακών μας αναγκών [1.1],[1.2].

Υποκεφάλαιο 1.2: Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας

1.2.1: Ορισμός

Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, γνωστές και ως ήπιες μορφές ενέργειας ή πράσινη ενέργεια, αναφέρονται στις ενεργειακές πηγές, οι οποίες υπάρχουν σε αφθονία στο φυσικό περιβάλλον. Πρόκειται για τις εκμεταλλεύσιμες μορφές ενέργειας που προέρχονται από διάφορες φυσικές διαδικασίες όπως ο άνεμος, ο ήλιος, η γεωθερμία, η κυκλοφορία του νερού και άλλες.



Εικόνα 1.1: Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας

Τα δύο κύρια χαρακτηριστικά τους είναι, πρώτον, ότι η εξόρυξή τους δεν απαιτεί καμία ενεργή παρέμβαση, όπως εξόρυξη, άντληση ή καύση, όπως οι πηγές ενέργειας που χρησιμοποιούνται μέχρι τώρα, αλλά απλώς η εκμετάλλευση της ήδη υπάρχουσας ροής ενέργειας στη φύση και δεύτερον, πρόκειται για «καθαρές» μορφές ενέργειας, πολύ «φιλικές» στο περιβάλλον, που δεν αποδεσμεύουν υδρογονάνθρακες, διοξείδιο του άνθρακα ή τοξικά και ραδιενεργά απόβλητα [1.3].

Οι βασικότερες μορφές ανανεώσιμων πηγών ενέργειας είναι οι:

- ❖ Αιολική
- ❖ Ηλιακή
- ❖ Αεροθερμική
- ❖ Γεωθερμική
- ❖ Υδροθερμική
- ❖ Υδροηλεκτρική

Καθώς και η ενέργεια που προέρχεται από:

- ❖ Βιομάζα
- ❖ Εκλυόμενα στους χώρους υγειονομικής ταφής αέρια
- ❖ Αέρια μονάδων επεξεργασίας λυμάτων και
- ❖ Βιοαέρια

1.2.2: Χρήση των ΑΠΕ

Η χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας έχει μακρά ιστορία, που αρχίζει από την Αίγυπτο, στα ιστιά (πανιά) των πρώτων ιστιοφόρων πριν από περίπου 5000 χρόνια και τη χρήση ανεμόμυλων για την άλεση των σιτηρών ή ακόμα και την άντληση νερού πριν από περίπου 4000 χρόνια.



Εικόνα 1.2: Ανεμόμυλοι στο Kinderdijk της Ολλανδίας

Η σύγχρονη χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας ξεκίνησε στα τέλη της δεκαετίας του 1800, όταν ο Ισπανός εφευρέτης Ραμόν Ινσόλα έκανε το πρώτο πείραμα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από τον ήλιο. Το ενδιαφέρον για την ανάπτυξη των τεχνολογιών εκμετάλλευσης των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας εμφανίστηκε αρχικά μετά την πρώτη πετρελαϊκή κρίση του 1974 και παγιώθηκε μετά τη συνειδητοποίηση των παγκόσμιων σοβαρών περιβαλλοντικών προβλημάτων την τελευταία δεκαετία. Οι αναπτυσσόμενες τεχνολογίες στην ανανεώσιμη ενέργεια, όπως οι αιολικές και ηλιακές εγκαταστάσεις, άρχισαν να εμφανίζονται στη δεκαετία του 1970. Από τότε, η τεχνολογία έχει βελτιωθεί σημαντικά, και η χρήση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας έχει αυξηθεί δραματικά σε όλο τον κόσμο.

Η χρήση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας αυξάνεται σε παγκόσμιο επίπεδο και αναμένεται να συνεχίσει να αυξάνεται, καθώς οι περισσότερες χώρες δεσμεύονται να μειώσουν τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου και να αυξήσουν το μερίδιο των ανανεώσιμων πηγών στον ενεργειακό τους μίγμα. Η τεχνολογική πρόοδος στους τομείς των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και των αποθηκευτικών τεχνολογιών μπαταριών έχει οδηγήσει σε πτώση του

κόστους παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές, καθιστώντας την πιο ανταγωνιστική με τις παραδοσιακές πηγές ενέργειας.

Η σημαντικότερη πρόκληση που αντιμετωπίζει μέχρι και σήμερα η ανθρωπότητα είναι η οριστική λύση του σύγχρονου ενεργειακού προβλήματος: της ανεπάρκειας των ενεργειακών πόρων, η οποία προκαλείται λόγω της έλλειψης ορυκτών καυσίμων σε συνδυασμό με την ελλιπή αξιοποίηση των ήδη υπαρχόντων, καθώς και της ασφάλειας εφοδιασμού, ώστε να μειωθεί η εξάρτηση της Ευρωπαϊκής Ένωσης και των κρατών-μελών της από τρίτες χώρες. Η συνέχιση της ανάπτυξης των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, η ενίσχυση της ενεργειακής απόδοσης και εξοικονόμησης ενέργειας στο εσωτερικό των κρατών, καθώς και η επιταγμένη προσπάθεια αντιμετώπισης της κλιματικής αλλαγής, συνιστούν με την σειρά τους πτυχές του υφιστάμενου ενεργειακού προβλήματος. Η στροφή λοιπόν προς τον τομέα των ΑΠΕ, δεν αποτελεί επιλογή, αλλά μια επιβεβλημένη ανάγκη για την κάλυψη των ολοένα αυξανόμενων ενεργειακών αναγκών μας.

Υποκεφάλαιο 1.3: Ηλιακή Ενέργεια

Ο ήλιος είναι η κύρια πηγή ενέργειας του πλανήτη μας. Ο Ήλιος ευθύνεται σε μεγάλο βαθμό για τη δυνατότητα ύπαρξης ζωής στη Γη. Η ηλιακή ενέργεια προέρχεται από την εκμετάλλευση της ακτινοβολίας του Ήλιου και η μετατροπή της σε ηλεκτρική ή θερμική, με τη χρήση ηλιακών και φωτοβολταϊκών πάνελ. Η πρώτη εφαρμογή της φωτοβολταϊκής ενέργειας ήταν ως πηγή ενέργειας για διαστημικούς δορυφόρους το 1958 [1.4].

Σήμερα, η πλειονότητα των φωτοβολταϊκών μονάδων χρησιμοποιείται για την αλληλεπιδραστική παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Συχνότερη, χρήση παρατηρείται στους εξής τομείς:

- ❖ Για τον οικονομικό φωτισμό των δρόμων και πεζοδρομίων, πλατειών και δημοσίων χώρων πολλών πόλεων.
- ❖ Τη σηματοδότηση στο δρόμο.
- ❖ Με τη βοήθεια ενός κεντρικού συστήματος, ακόμα και οι πιο απομακρυσμένες μικρές πόλεις μπορούν να χρησιμοποιούν ηλεκτρική ενέργεια παραγόμενη από την ηλιακή.
- ❖ Για φωτισμό, αντλίες νερού και άρδευσης, καθώς και άλλων ενεργειακών αναγκών των αγροτικών περιοχών, μέσω φωτοβολταϊκών συστημάτων.

Το ηλιακό φως υπάρχει σε αφθονία και συνεπώς είναι μια ανεξάντλητη πηγή ενέργειας. Η ηλιακή ενέργεια είναι επιπλέον απολύτως καθαρή, μειώνει την ανάγκη για ορυκτά καύσιμα, βοηθά στη διατήρηση των φυσικών πόρων και συντελεί στη μείωση της περιβαλλοντικής ρύπανσης και της παραγωγής αερίων που προκαλούν το φαινόμενο του θερμοκηπίου. Έτσι δεν ρυπαίνεται το περιβάλλον κατά την παραγωγή ή τη χρήση της. Συμβάλλει λοιπόν σημαντικά στη μείωση του αποτυπώματος άνθρακα. Τέλος, είναι πολύ οικονομική, γιατί, σε σύγκριση με άλλων ειδών ενέργειας, δεν απαιτείται κάποια επεξεργασία υλικών για να λειτουργήσει, όπως συμβαίνει με το πετρέλαιο, το οποίο πρέπει να υποστεί επεξεργασία, ώστε να μπορεί να χρησιμοποιηθεί [1.4].

1.3.1: Φωτοβολταϊκά/ Ηλιακά Πάνελ

Τα ηλιακά πάνελ, γνωστά και ως φωτοβολταϊκά, είναι το σημαντικότερο παράδειγμα χρήσης των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στη χώρα μας. Αποτελούνται από φωτοβολταϊκά κελιά, τα οποία είναι φτιαγμένα από σιλικόνη και άλλα υλικά. Όταν το φως του ήλιου χτυπάει τα κελιά αυτά, δημιουργείται ένα ηλεκτρικό πεδίο το οποίο μετατρέπει την ηλιακή ενέργεια σε ηλεκτρική ή θερμική ενέργεια.



Εικόνα 1.3: Ηλιακά Πάνελ

Ένα ηλιακό πάνελ μπορεί να έχει μέγιστη ωφέλιμη διάρκεια ζωής περίπου 40 χρόνια. Αυτό, το καθιστά μια ιδανική επιλογή για οικιακή χρήση, έχοντας εύκολη εγκατάσταση και χρήση στη καθημερινή ζωή.

Τα ηλιακά συστήματα που συνδέονται με το δίκτυο ταξινομούνται συνήθως σε τρεις κατηγορίες κλίμακας:

1. Οικιακή: ο μικρότερος τύπος εγκατάστασης, που αναφέρεται σε όλες τις εγκαταστάσεις μικρότερες από 10 kW που βρίσκονται συνήθως σε ιδιωτικά ακίνητα.
2. Εμπορική: έχει ισχύ που κυμαίνεται από 10kW έως 100kW, τα οποία βρίσκονται συνήθως στην οροφή ενός εμπορικού κτιρίου.
3. Κοινής ωφέλειας: κλίμακα που έχει σχεδιαστεί για εγκαταστάσεις άνω των 100 kW, οι οποίες είναι παραδοσιακά επίγειες εγκαταστάσεις σε χωράφια, γνωστές και ως ηλιακά πάρκα ή εγκαταστάσεις [1.5].

Υποκεφάλαιο 1.4: Αιολική Ενέργεια

Αιολική ονομάζεται η ενέργεια που παράγεται από την εκμετάλλευση του ανέμου. Η ονομασία της προέρχεται από τον Αίολο, ο οποίος ήταν ο θεός του ανέμου, σύμφωνα με την αρχαία ελληνική μυθολογία [1.6].

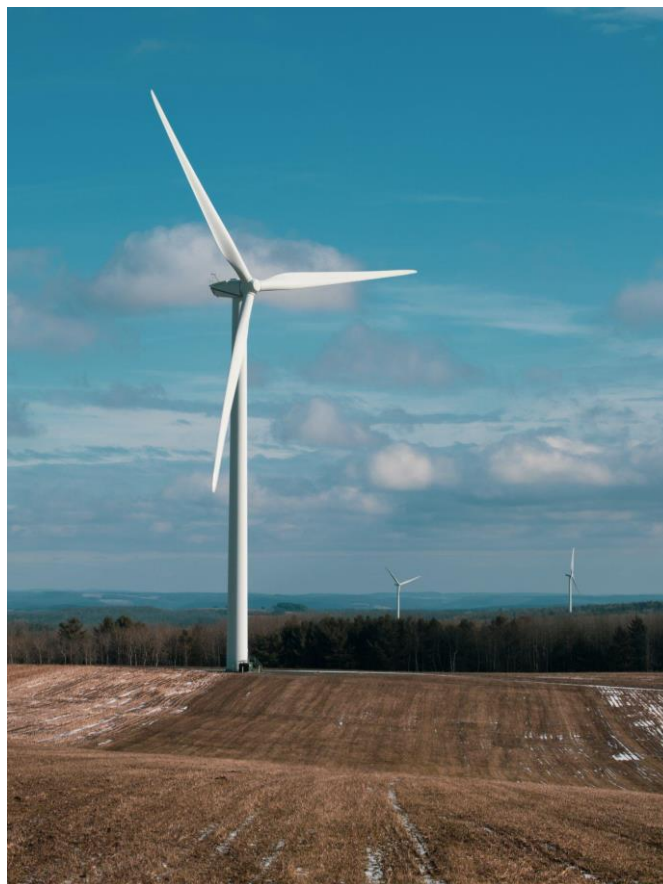
Η αιολική ενέργεια δημιουργείται έμμεσα από την ηλιακή ακτινοβολία, γιατί η ανομοιόμορφη θέρμανση της επιφάνειας της γης προκαλεί τη μετακίνηση μεγάλων μαζών αέρα από τη μια περιοχή στην άλλη, δημιουργώντας με τον τρόπο αυτό τους ανέμους. Επιπλέον, είναι μια απαλή μορφή ενέργειας που δεν βλάπτει το περιβάλλον και θεωρείται πρακτικά ανεξάντλητη. Υποθέτοντας ότι θα μπορούσαμε να εκμεταλλευτούμε όλο το δυναμικό των ανέμων στη Γη με τη σημερινή τεχνολογία, υπολογίζεται ότι η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας θα ήταν περισσότερη από διπλάσια των αναγκών της ανθρωπότητας σε ένα χρόνο.

Η αιολική ενέργεια έχει γίνει ένα ολοένα και πιο σημαντικό μέρος της παραγωγής ενέργειας με αιολικά πάρκα σε πάνω από 90 χώρες. Τα αιολικά πάρκα μεγάλης κλίμακας είναι συνήθως ενσωματωμένα σε δίκτυα μεταφοράς ενέργειας, έτσι ώστε η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια να μπορεί να παραδοθεί σε κέντρα φόρτωσης σε απομακρυσμένες περιοχές. Τα αιολικά πάρκα μικρής κλίμακας μπορούν να ενσωματωθούν σε δίκτυα διανομής ηλεκτρικής ενέργειας για να καλύψουν τις τοπικές απαιτήσεις.

Λόγω της υψηλής μεταβλητότητας και των διαλείψεων, η λειτουργία των αιολικών πάρκων αποτελεί μεγάλη πρόκληση για τα συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας. Τα συστήματα επικοινωνίας αποτελούν μια θεμελιώδες υποδομή που μεταδίδει τις μετρήσεις και τα σήματα ελέγχου μεταξύ των αιολικών πάρκων και των συστημάτων ισχύος. Ένα καλοσχεδιασμένο σύστημα επικοινωνίας μπορεί να διερευνήσει καλύτερα το αιολικό δυναμικό και να διευκολύνει τον έλεγχο των πάρκων, βοηθώντας στην εξοικονόμηση φορτίου σε ώρες αιχμής και παρέχοντας έξτρα τάση στα συστήματα ισχύος.

1.4.1: Ανεμογεννήτριες

Η ανεμογεννήτρια είναι μια αιολική μηχανή που μετατρέπει τον άνεμο από κινητική σε ηλεκτρική ενέργεια. Η κατασκευή της αποτελείται από μία στήλη κάθετη προς το έδαφος και από μία τουρμπίνα στην κορυφή της. Οι ανεμογεννήτριες έχουν διάφορες εφαρμογές, που μπορεί να είναι μικρές όπως η φόρτιση μπαταριών, η συμπληρωματική ενέργεια σε σκάφη και τροχόσπιτα ή η τροφοδοσία ρεύματος σε πινακίδες, ή ακόμα και μεγαλύτερες, όπως η παροχή ρεύματος σε σπίτια.



Εικόνα 1.4: Ανεμογεννήτριες

Πολλές χώρες έχουν κατασκευάσει αιολικά πάρκα, με σκοπό τη μείωση εκπομπής ρυπογόνων ουσιών και την ανεξαρτητοποίηση τους. Για να κατασκευαστεί μια ανεμογεννήτρια απαιτούνται διάφορα συστήματα, που επιτρέπουν την μετατροπή της κινητικής ενέργειας του ανέμου σε ηλεκτρική ενέργεια καθώς και τα συστήματα εκκίνησης, διακοπής και ελέγχου του στροβίλου.

Υποκεφάλαιο 1.5: Υδροηλεκτρική Ενέργεια

Η υδροηλεκτρική ενέργεια είναι μια από τις παλαιότερες και μεγαλύτερες πηγές ανανεώσιμης ενέργειας, η οποία χρησιμοποιεί τη φυσική ροή του κινούμενου νερού για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Οι άνθρωποι έχουν μακρά ιστορία στη χρήση της δύναμης του νερού που ρέει σε ρυάκια και ποτάμια για την παραγωγή μηχανικής ενέργειας.



Εικόνα 1.5: Το φράγμα Água Vermelha στον ποταμό Grande κοντά στο Iturama στο Minas Gerais/São Paulo, Βραζιλία

Επειδή η πηγή της υδροηλεκτρικής ενέργειας είναι το νερό, οι υδροηλεκτρικοί σταθμοί βρίσκονται συνήθως πάνω ή κοντά σε μια πηγή νερού. Η ενέργεια παράγεται με την εκμετάλλευση της υψομετρικής διαφοράς, που δημιουργείται από ένα φράγμα ή μια κατασκευή εκτροπής, του νερού που εισρέει από τη μια πλευρά και εξέρχεται, πολύ χαμηλότερα, από την άλλη [1.7],[1.8].

1.5.1: Ιστορική Αναδρομή

Η ιστορία της υδροηλεκτρικής ενέργειας χρονολογείται χιλιάδες χρόνια πίσω. Για παράδειγμα, οι Έλληνες χρησιμοποιούσαν νερόμυλους για να αλέσουν το σιτάρι σε αλεύρι πριν από περισσότερα από 2.000 χρόνια. Η εξέλιξη του σύγχρονου υδροστροβίλου ξεκίνησε στα μέσα του 1700, όταν ένας Γάλλος υδραυλικός και στρατιωτικός μηχανικός, ο Bernard Forest de Bélidor, έγραψε το *Architecture Hydraulique*. Πολλές βασικές εξελίξεις στην τεχνολογία της υδροηλεκτρικής ενέργειας σημειώθηκαν κατά το πρώτο μισό του 19ου αιώνα, με το πρώτο υδροηλεκτρικό εργοστάσιο να δημιουργείται το 1987 στο Wisconsin της Αμερικής.

Τον περασμένο αιώνα, σημειώθηκε μια σειρά από υδροηλεκτρικές εξελίξεις που βοήθησαν την υδροηλεκτρική ενέργεια να γίνει αναπόσπαστο μέρος του μίγματος ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στις Ηνωμένες Πολιτείες. Η υδροηλεκτρική ενέργεια αντιπροσωπεύει περίπου το 17% της παγκόσμιας παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και χρησιμοποιείται για την τροφοδοσία κατοικιών, επιχειρήσεων και βιομηχανιών [1.7],[1.8].

1.5.2: Πώς λειτουργεί η Υδροηλεκτρική Ενέργεια;

Η κατανόηση του κύκλου του νερού είναι σημαντική για την κατανόηση της υδροηλεκτρικής ενέργειας. Ο κύκλος του νερού έχει τρία στάδια:

1. Η ηλιακή ενέργεια θερμαίνει το νερό στην επιφάνεια των ποταμών, των λιμνών και των ωκεανών, γεγονός που προκαλεί την εξάτμιση του νερού.
2. Οι υδρατμοί συμπυκνώνονται σε σύννεφα και πέφτουν ως κατακρημνίσματα - βροχή και χιόνι.
3. Τα κατακρημνίσματα συγκεντρώνονται σε ρυάκια και ποτάμια, τα οποία εκβάλλουν σε ωκεανούς και λίμνες, όπου εξατμίζονται και αρχίζει ξανά ο κύκλος.

Η ποσότητα των κατακρημνισμάτων που απορρέουν σε ποτάμια και ρυάκια σε μια γεωγραφική περιοχή καθορίζει την ποσότητα νερού που είναι διαθέσιμη για την παραγωγή υδροηλεκτρικής ενέργειας. Οι εποχιακές διακυμάνσεις της βροχόπτωσης και οι μακροπρόθεσμες αλλαγές στα πρότυπα βροχόπτωσης, όπως οι ξηρασίες, μπορούν να έχουν σημαντικές επιπτώσεις στη διαθεσιμότητα παραγωγής υδροηλεκτρικής ενέργειας [1.7],[1.8].

1.5.3: Τύποι Υδροηλεκτρικών Συστημάτων

1.5.3.a: Υδροηλεκτρικά Συστήματα Κατακράτησης (Impoundment)

Γνωστά και ως Συμβατική Υδροηλεκτρική Ενέργεια (Conventional), χρησιμοποιούν φράγματα για να δημιουργήσουν μια δεξαμενή νερού. Το νερό αποθηκεύεται σε μεγάλο υψόμετρο, δημιουργώντας μεγάλη ποσότητα δυνητικής ενέργειας. Όταν το νερό απελευθερώνεται μέσω της τουρμπίνας, ρέει κατηφορικά, με αποτέλεσμα τα πτερύγια της να περιστρέφονται και να παράγουν ηλεκτρική ενέργεια. Στην συνέχεια, το νερό επιστρέφεται στον ποταμό κατάντη του φράγματος.



Εικόνα 1.6: Η τεχνητή λίμνη Λάδωνα στο Νομό Αρκαδίας, Ελλάδα.

Τα συστήματα κατακράτησης είναι συνήθως έργα μεγάλης κλίμακας που απαιτούν σημαντική υποδομή, συμπεριλαμβανομένων φραγμάτων και δεξαμενών. Μπορούν να παράγουν σημαντική ποσότητα ηλεκτρικής ενέργειας και συχνά χρησιμοποιούνται για την παραγωγή ενέργειας βασικού φορτίου.

1.5.3.b: Υδροηλεκτρικά Συστήματα Εκτροπής (Diversion)

Γνωστά και ως Υδροηλεκτρικά Συστήματα Ροής-του-Ποταμού (Run-of-River), δεν απαιτούν χρήση φράγματος ή δεξαμενής. Αντίθετα, εκτρέπουν ένα τμήμα ενός ποταμού ή ρέματος μέσω ενός καναλιού ή ενός υδατοφράκτη σε ένα εργοστάσιο παραγωγής ενέργειας, όπου το νερό ρέει μέσω μιας τουρμπίνας για να παράγει ηλεκτρική ενέργεια. Το νερό που εκτρέπεται, επιστρέφεται στη συνέχεια στον ποταμό κατάντη του εργοστασίου παραγωγής ενέργειας.



Εικόνα 1.7: Το υδροηλεκτρικό φράγμα Chief Joseph κοντά στο Bridgeport, Washington, ΗΠΑ

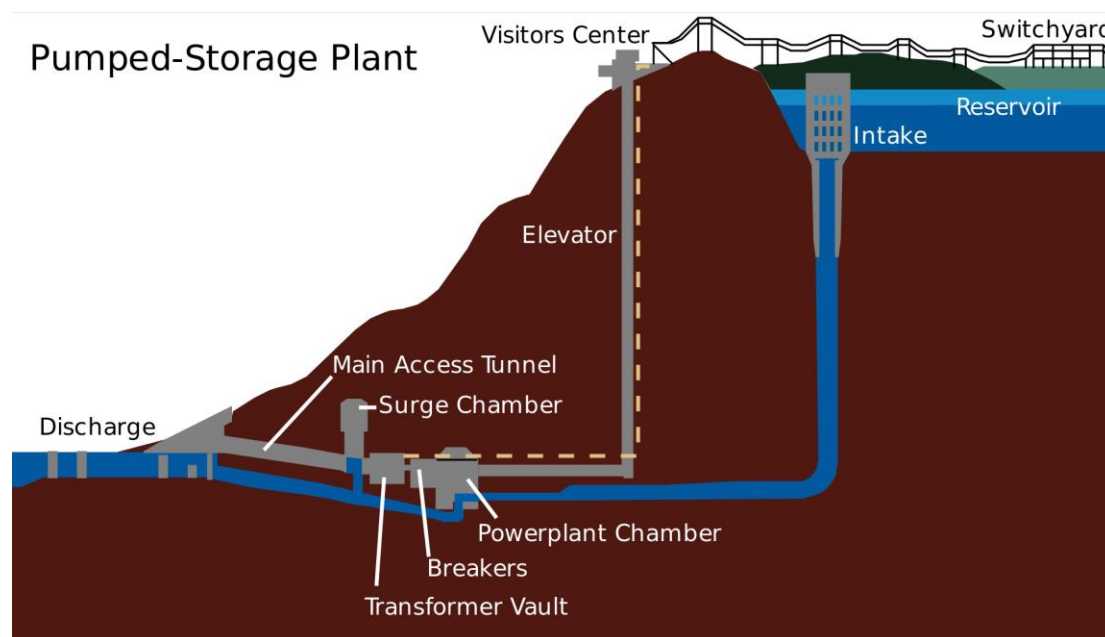
Τα συστήματα εκτροπής είναι συνήθως μικρότερα από τα συστήματα κατακράτησης και έχουν μικρότερο αντίκτυπο στο περιβάλλον. Συχνά

χρησιμοποιούνται για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από μικρού έως μεσαίου μεγέθους ποταμούς και ρέματα.

1.5.3.c: Υδροηλεκτρικά Συστήματα με Αντλία Αποθήκευσης (Pumped Storage)

Όταν η ζήτηση για ηλεκτρική ενέργεια είναι χαμηλή, χρησιμοποιούν περίσσεια ηλεκτρική ενέργειας για την άντληση νερού από μια χαμηλότερη δεξαμενή σε μια υψηλότερη δεξαμενή. Αυτό το νερό μπορεί στη συνέχεια να απελευθερωθεί μέσω μιας τουρμπίνας για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας κατά τις περιόδους μεγάλης ζήτησης.

Τα συστήματα με αντλία αποθήκευσης μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την εξισορρόπηση του δικτύου, παρέχοντας επιπλέον ηλεκτρική ενέργεια κατά τις περιόδους αιχμής. Ωστόσο, απαιτούν σημαντική υποδομή, συμπεριλαμβανομένων δύο δεξαμενών και ενός αντλιοστασίου.



Εικόνα 1.8: Η τομή ενός υδροηλεκτρικού συστήματος με αντλία αποθήκευσης

Η υδροηλεκτρική ενέργεια είναι μια ευέλικτη και αξιόπιστη πηγή ανανεώσιμης ενέργειας, που μπορεί να παραχθεί χρησιμοποιώντας μια ποικιλία συστημάτων. Κάθε τύπος υδροηλεκτρικού συστήματος έχει τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματά του και η επιλογή του συστήματος εξαρτάται από διάφορες μεταβλητές, συμπεριλαμβανομένης της τοπικής

γεωγραφίας και των περιβαλλοντικών παραγόντων. Τα συστήματα αυτά μπορούν να παρέχουν συνεχόμενη παραγωγή ενέργειας και να εμποδίζουν πιθανές πλημμύρες με τα φράγματα. Παράλληλα όμως απαιτούν μεγάλα προκαταβολικά έξοδα για τη δημιουργία τους αλλά και για την τακτική συντήρηση, με αποτέλεσμα αρκετές χώρες να μην προβαίνουν στην κατασκευή τους. Επίσης διαταράσσουν το τοπικό οικοσύστημα αλλάζοντας τις φυσικές ροές του νερού και προκαλούν περιβαλλοντική υποβάθμιση.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

IoT και Απομακρυσμένος Έλεγχος

Υποκεφάλαιο 2.1: Διαδίκτυο των Πραγμάτων

Το Διαδίκτυο των πραγμάτων (IoT) αναφέρεται σε ένα δίκτυο διασυνδεδεμένων συσκευών και συστημάτων που μπορούν να επικοινωνούν και να ανταλλάσσουν δεδομένα μεταξύ τους μέσω του Διαδικτύου. Το IoT επιτρέπει τον απομακρυσμένο ψηφιακό έλεγχο συνδέοντας διάφορα φυσικά αντικείμενα, όπως συσκευές, αισθητήρες και ενεργοποιητές, στο διαδίκτυο, επιτρέποντας την απομακρυσμένη παρακολούθηση, τον έλεγχο και την αυτοματοποίηση. Ακολουθούν ορισμένες βασικές πτυχές του IoT και του απομακρυσμένου ψηφιακού ελέγχου [2.1]:

Συνδεσιμότητα: Οι συσκευές IoT είναι εξοπλισμένες με αισθητήρες, επεξεργαστές και τεχνολογίες επικοινωνίας (π.χ. Wi-Fi, Bluetooth, κινητή τηλεφωνία) που τους επιτρέπουν να συνδέονται στο διαδίκτυο και να ανταλλάσσουν δεδομένα. Αυτή η συνδεσιμότητα επιτρέπει την απομακρυσμένη πρόσβαση και τον έλεγχο των συσκευών IoT από οπουδήποτε υπάρχει σύνδεση στο διαδίκτυο.

Απομακρυσμένη παρακολούθηση: Οι συσκευές IoT μπορούν να συλλέγουν δεδομένα από το περιβάλλον τους μέσω αισθητήρων και να τα μεταδίδουν σε ένα κεντρικό σύστημα ή σε μια πλατφόρμα cloud. Αυτό επιτρέπει την απομακρυσμένη παρακολούθηση διαφόρων παραμέτρων, όπως η θερμοκρασία, η υγρασία, η ποιότητα του αέρα, η κατανάλωση ενέργειας και άλλα. Η απομακρυσμένη παρακολούθηση παρέχει πληροφορίες και ειδοποιήσεις σε πραγματικό χρόνο, διευκολύνοντας την προληπτική διαχείριση και συντήρηση.

Απομακρυσμένος έλεγχος και αυτοματισμός: Οι συσκευές IoT μπορούν να ελέγχονται και να αυτοματοποιούνται εξ αποστάσεως μέσω εφαρμογών λογισμικού ή διεπαφών web. Οι χρήστες μπορούν να παρακολουθούν και να ελέγχουν τις συσκευές IoT από απόσταση, προσαρμόζοντας τις ρυθμίσεις, ξεκινώντας ενέργειες ή ενεργοποιώντας συγκεκριμένες συμπεριφορές. Για παράδειγμα, τα έξυπνα οικιακά συστήματα επιτρέπουν στους χρήστες να ελέγχουν εξ αποστάσεως τα φώτα, τους θερμοστάτες, τα συστήματα ασφαλείας και άλλες συνδεδεμένες συσκευές.

Ανάλυση δεδομένων και διορατικότητα: Το IoT παράγει τεράστιες ποσότητες δεδομένων από τις συνδεδεμένες συσκευές, τα οποία μπορούν να αναλυθούν για την εξαγωγή πολύτιμων πληροφοριών. Τεχνικές ανάλυσης δεδομένων, όπως η μηχανική μάθηση και η τεχνητή νοημοσύνη, μπορούν να εφαρμοστούν σε δεδομένα IoT για τον εντοπισμό μοτίβων, την πρόβλεψη αποτελεσμάτων και τη βελτιστοποίηση της απόδοσης. Αυτές οι γνώσεις μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την ενίσχυση της επιχειρησιακής απόδοσης, τη βελτίωση της λήψης αποφάσεων και την προώθηση βελτιώσεων των διαδικασιών.

Ενισχυμένη αποδοτικότητα και διαχείριση πόρων: Το IoT και ο απομακρυσμένος ψηφιακός έλεγχος επιτρέπουν τη βελτίωση της αποδοτικότητας και της διαχείρισης των πόρων σε διάφορους τομείς. Για παράδειγμα, στα έξυπνα κτίρια, οι συσκευές IoT μπορούν να βελτιστοποιήσουν τη χρήση ενέργειας ρυθμίζοντας αυτόματα τα συστήματα φωτισμού και HVAC με βάση την πληρότητα ή τις περιβαλλοντικές συνθήκες. Σε βιομηχανικές εγκαταστάσεις, το IoT μπορεί να επιτρέψει την απομακρυσμένη παρακολούθηση και τον έλεγχο του εξοπλισμού, βελτιστοποιώντας τα χρονοδιαγράμματα συντήρησης και μειώνοντας τον χρόνο διακοπής λειτουργίας.

Υγειονομική περίθαλψη και τηλεϊατρική: Το IoT διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στην υγειονομική περίθαλψη, επιτρέποντας την απομακρυσμένη παρακολούθηση ασθενών, την τηλεϊατρική και τις

συνδεδεμένες συσκευές υγειονομικής περίθαλψης. Οι συσκευές IoT, όπως τα wearables και τα συστήματα απομακρυσμένης παρακολούθησης της υγείας, επιτρέπουν στους παρόχους υγειονομικής περίθαλψης να παρακολουθούν τα ζωτικά σημεία των ασθενών από απόσταση, να παρέχουν εικονικές διαβουλεύσεις και να παρέχουν εξατομικευμένη φροντίδα. Αυτό βελτιώνει την πρόσβαση στην υγειονομική περίθαλψη, διευκολύνει την έγκαιρη ανίχνευση προβλημάτων υγείας και βελτιώνει τα αποτελέσματα των ασθενών.

Έξυπνες πόλεις και υποδομές: Το IoT συμβάλλει στην ανάπτυξη έξυπνων πόλεων συνδέοντας διάφορα στοιχεία της αστικής υποδομής, συμπεριλαμβανομένων των μεταφορών, των υπηρεσιών κοινής ωφέλειας, της διαχείρισης αποβλήτων και των συστημάτων δημόσιας ασφάλειας. Ο απομακρυσμένος ψηφιακός έλεγχος επιτρέπει την αποτελεσματική διαχείριση και παρακολούθηση των πόρων της πόλης, βελτιώνει τη ροή της κυκλοφορίας, βελτιστοποιεί την κατανάλωση ενέργειας και βελτιώνει τις δημόσιες υπηρεσίες.

Θέματα ασφάλειας και προστασίας προσωπικών δεδομένων: Με την αυξημένη συνδεσιμότητα και την ανταλλαγή δεδομένων, το IoT και ο απομακρυσμένος ψηφιακός έλεγχος εγείρουν ανησυχίες σχετικά με την ασφάλεια και την προστασία της ιδιωτικής ζωής. Είναι ζωτικής σημασίας η εφαρμογή ισχυρών μέτρων ασφαλείας, όπως η κρυπτογράφηση, ο έλεγχος ταυτότητας και οι έλεγχοι πρόσβασης, για την προστασία των συσκευών και των δεδομένων IoT από μη εξουσιοδοτημένη πρόσβαση και απειλές στον κυβερνοχώρο. Πρέπει επίσης να τηρούνται οι κανονισμοί και οι κατευθυντήριες γραμμές για την προστασία της ιδιωτικής ζωής, ώστε να διασφαλίζεται η υπεύθυνη και ηθική χρήση των τεχνολογιών IoT.

Το IoT και ο απομακρυσμένος ψηφιακός έλεγχος έχουν τη δυνατότητα να φέρουν επανάσταση σε διάφορους κλάδους και να βελτιώσουν τον τρόπο με τον οποίο αλληλεπιδρούμε με το περιβάλλον μας. Από τον οικιακό αυτοματισμό έως τη βιομηχανική βελτιστοποίηση και τις εξελίξεις στην υγειονομική περίθαλψη, η δυνατότητα απομακρυσμένης παρακολούθησης,

ελέγχου και αυτοματοποίησης συσκευών προσφέρει ευκολία, αποτελεσματικότητα και νέες δυνατότητες για καινοτομία.

2.1.1: Χρήση IoT σε ΑΠΕ

Οι συσκευές IoT μπορούν να κυμαίνονται από απλά καθημερινά αντικείμενα, όπως θερμοστάτες, ψυγεία και ρολόγια γυμναστικής, έως πιο πολύπλοκα συστήματα όπως βιομηχανικά μηχανήματα, υποδομές έξυπνων πόλεων και αισθητήρες φροντίδας υγείας και περιβαλλοντικής παρακολούθησης. Οι συσκευές αυτές συλλέγουν δεδομένα μέσω διαφόρων αισθητήρων, όπως η θερμοκρασία, η υγρασία, η κίνηση ή το GPS. Έπειτα τα δεδομένα που συλλέγονται υποβάλλονται σε επεξεργασία και αναλύονται είτε τοπικά στη συσκευή είτε στο cloud, εξάγοντας πολύτιμες πληροφορίες και τις μεταδίδουν σε άλλες συσκευές ή κεντρικά συστήματα για ανάλυση και λήψη αποφάσεων. Όσον αφορά τις ΑΠΕ, τα δεδομένα που συλλέγουν σε πραγματικό χρόνο, εξάγουν πληροφορίες σχετικά με τις μετρήσεις απόδοσης, τις περιβαλλοντικές συνθήκες και την κατάσταση υγείας του εξοπλισμού [2.1].

Οι εταιρείες μπορούν να χρησιμοποιούν το IoT για να αυτοματοποιήσουν τις καθημερινές εργασίες και να αυξήσουν τη συνολική απόδοση. Τα ηλιακά πάνελ που είναι εξοπλισμένα με αισθητήρες IoT, για παράδειγμα, ενδέχεται να ανιχνεύουν αυτόματα ευνοϊκά χαρακτηριστικά όπως το ύψος, την κατεύθυνση και τη θέση. Ως αποτέλεσμα, οι άνθρωποι δεν απαιτείται πλέον να αλλάζουν χειροκίνητα την κατεύθυνσή τους προκειμένου να παράγουν τη μέγιστη ποσότητα ηλιακής ηλεκτρικής ενέργειας [2.2].

Ένα από τα σημαντικότερα εμπόδια για τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας είναι η αποδοτικότητα, καθώς η παραγωγή ενέργειας είναι συχνά αναξιόπιστη και απρόβλεπτη. Ωστόσο, με το συνδυασμό του IoT και της Μηχανικής Εκμάθησης (Machine Learning), είναι δυνατό να βελτιωθεί η συνολική απόδοση του συστήματος. Οι μηχανικοί θα είναι σε θέση να προσαρμόσουν τον ρυθμό ροής, την απόδοση και την αποθήκευση σε ένα

τέτοιο σύστημα, επιτρέποντας στις επιχειρήσεις να διαχειρίζονται την παραγωγή ενέργειας τους. Παράλληλα μπορούν να ανιχνεύσουν μοτίβα και ανωμαλίες που υποδεικνύουν πιθανές αστοχίες εξοπλισμού ή υποβάθμιση της απόδοσης. Αυτό επιτρέπει στους χειριστές να προγραμματίζουν τις δραστηριότητες συντήρησης προληπτικά, μειώνοντας τον απρογραμμάτιστο χρόνο διακοπής λειτουργίας και ελαχιστοποιώντας το κόστος επισκευής.

Τα συστήματα ΑΠΕ μπορούν να ελέγχονται εξ αποστάσεως με την χρήση IoT συσκευών, εξαλείφοντας την ανάγκη για ανθρώπινη παρεμβολή. Καθώς οι εγκαταστάσεις βρίσκονται συχνά σε επικίνδυνες περιοχές, η ανάπτυξη του IoT μειώνει την ανάγκη χειροκίνητης εξέτασης αυτού του εξοπλισμού, κατά συνέπεια να μειώνεται και το κόστος συντήρησης [2.3].

Ο στόχος του IoT είναι να ενισχύσει την αποτελεσματικότητα, την παραγωγικότητα και την ευκολία ενσωματώνοντας απρόσκοπτα τον φυσικό με το ψηφιακό κόσμο, επιτρέποντας την πιο έξυπνη λήψη αποφάσεων και τον αυτοματισμό σε διάφορους κλάδους και τομείς [2.4].

Υποκεφάλαιο 2.2: Συστήματα Απομακρυσμένου Ελέγχου

Ο απομακρυσμένος ψηφιακός έλεγχος αναφέρεται σε μια διαδικασία έλεγχου μέσω διαδικτύου, όπου ένας αναλυτής πραγματοποιεί έναν έλεγχο σε ένα συγκεκριμένο σύστημα, συσκευή ή δίκτυο εξ' αποστάσεως. Αυτός ο έλεγχος μπορεί να περιλαμβάνει τη διάγνωση προβλημάτων, την αναζήτηση αδυναμιών στην ασφάλεια και τη διαχείριση ρυθμίσεων. Ο απομακρυσμένος ψηφιακός έλεγχος μπορεί να εκτελεστεί από οποιαδήποτε τοποθεσία και χρησιμοποιείται συχνά για την υποστήριξη τηλεργασίας και τηλεσυνεργασίας σε διαφορετικές επιχειρήσεις και οργανισμούς.

Τα συστήματα απομακρυσμένου ελέγχου αναφέρονται στην τεχνολογία που χρησιμοποιείται για αυτόν τον έλεγχο συστημάτων από απομακρυσμένη τοποθεσία. Ίσως να είναι γνωστά για τη χρήση τους σε “έξυπνα” σπίτια και στον κλάδο της τεχνολογίας αλλά μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τον έλεγχο ανεμογεννητριών, φωτοβολταϊκών, υδροηλεκτρικών σταθμών και άλλων συστημάτων παραγωγής ενέργειας από πηγές [2.3].

Συνήθως, περιλαμβάνουν αισθητήρες που μπορούν να παρέχουν δεδομένα σε πραγματικό χρόνο για παράγοντες όπως η ταχύτητα του ανέμου, η ηλιακή ακτινοβολία, η ροή του νερού και η ενέργεια που παράγουν. Στη συνέχεια να χρησιμοποιήσουν αυτά τα δεδομένα για να προσαρμόσουν και να βελτιστοποιήσουν την απόδοση του συστήματος και να διασφαλίσουν ότι λειτουργεί με ασφάλεια.

Η αυξημένη χρήση μεγάλων και πολύπλοκων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, καθιστά τα συστήματα απομακρυσμένου ελέγχου (τηλεχειρισμού) πολύ σημαντικά, καθώς αυτά παρέχουν έναν πιο βολικό και αποτελεσματικό τρόπο διαχείρισης και συντήρησης με την πάροδο του χρόνου. Οι τεχνικοί πλέον θα μπορούν να εντοπίζουν και να αντιμετωπίζουν τα προβλήματα που προκύπτουν με μεγαλύτερη ταχύτητα και ευκολία, γνωρίζοντας τις επιδιορθώσεις που θα χρειαστεί να εκτελέσουν, προτού φτάσουν στις

εγκαταστάσεις, μειώνοντας με αποτέλεσμα το κόστος συντήρησης και πιθανά ενδεχόμενα τραυματισμού [2.4].

2.2.1: Παραδείγματα Συστημάτων Απομακρυσμένου Ελέγχου σε Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας

Ο ψηφιακός τηλεχειρισμός διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στη διαχείριση και τη βελτιστοποίηση των συστημάτων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Επιτρέπει την εξ αποστάσεως παρακολούθηση, τον έλεγχο και την αυτοματοποίηση διαφόρων εξαρτημάτων και διεργασιών εντός των συστημάτων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, επιτρέποντας την αποτελεσματική λειτουργία, συντήρηση και βελτιστοποίηση της απόδοσης. Εν συνεχεία παραθέτουμε περιπτώσεις χρήσης με τον οποίο εφαρμόζεται ο ψηφιακός απομακρυσμένος έλεγχος στα συστήματα ανανεώσιμων πηγών ενέργειας [2.1]:

Απομακρυσμένη παρακολούθηση: Ο ψηφιακός τηλεχειρισμός επιτρέπει την παρακολούθηση σε πραγματικό χρόνο των συστημάτων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, συμπεριλαμβανομένων των ηλιακών συλλεκτών, των ανεμογεννητριών και των συστημάτων αποθήκευσης ενέργειας. Οι αισθητήρες και οι καταγραφείς δεδομένων συλλέγουν δεδομένα σχετικά με την παραγωγή ενέργειας, τις περιβαλλοντικές συνθήκες, την κατάσταση του εξοπλισμού και άλλες σχετικές παραμέτρους. Τα δεδομένα αυτά μεταδίδονται σε ένα κεντρικό σύστημα παρακολούθησης ή σε μια πλατφόρμα cloud, επιτρέποντας στους χειριστές να παρακολουθούν εξ αποστάσεως την απόδοση του συστήματος, να εντοπίζουν προβλήματα και να λαμβάνουν έγκαιρα μέτρα.

Ανίχνευση και διάγνωση σφαλμάτων: Μέσω της απομακρυσμένης παρακολούθησης, τα ψηφιακά συστήματα ελέγχου μπορούν να ανιχνεύουν σφάλματα ή ανωμαλίες σε συστήματα ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Τα εργαλεία ανάλυσης και οι αλγόριθμοι μπορούν να αναλύσουν τα συλλεχθέντα δεδομένα για τον εντοπισμό μοτίβων, την πρόβλεψη πιθανών βλαβών και τη

διάγνωση δυσλειτουργιών του συστήματος. Αυτή η προληπτική προσέγγιση βοηθά τους χειριστές να εντοπίζουν και να αντιμετωπίζουν τα προβλήματα εξ αποστάσεως, ελαχιστοποιώντας τον χρόνο διακοπής λειτουργίας και μεγιστοποιώντας τη διαθεσιμότητα του συστήματος.

Απομακρυσμένος έλεγχος και βελτιστοποίηση: Ο ψηφιακός τηλεχειρισμός επιτρέπει στους χειριστές να ελέγχουν και να ρυθμίζουν εξ αποστάσεως τα συστήματα ανανεώσιμων πηγών ενέργειας για βέλτιστη απόδοση. Μπορούν να αλλάζουν από απόσταση τις παραμέτρους λειτουργίας, να ρυθμίζουν τα επίπεδα εξόδου ισχύος, να ελέγχουν τα συστήματα αποθήκευσης ενέργειας και να προσαρμόζουν την κατανομή ενέργειας με βάση τη ζήτηση ή τις απαιτήσεις του δικτύου. Αυτή η ευελιξία επιτρέπει την αποτελεσματική λειτουργία του συστήματος, την εξισορρόπηση φορτίου και την ενσωμάτωση στο ηλεκτρικό δίκτυο.

Προληπτική συντήρηση: Τα ψηφιακά συστήματα τηλεχειρισμού, σε συνδυασμό με την ανάλυση δεδομένων, επιτρέπουν την προληπτική συντήρηση σε συστήματα ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Με τη συνεχή παρακολούθηση της απόδοσης του συστήματος, τον εντοπισμό τάσεων υποβάθμισης και την ανάλυση των δεδομένων συντήρησης, οι φορείς εκμετάλλευσης μπορούν να προγραμματίζουν προληπτικά τις δραστηριότητες συντήρησης. Η προγνωστική συντήρηση συμβάλλει στη βελτιστοποίηση των χρονοδιαγραμμάτων συντήρησης, στη μείωση του χρόνου διακοπής λειτουργίας και στην παράταση της διάρκειας ζωής των περιουσιακών στοιχείων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.

Ενσωμάτωση στο δίκτυο και διαχείριση ενέργειας: Ο ψηφιακός τηλεχειρισμός διευκολύνει την ενσωμάτωση των συστημάτων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στο ηλεκτρικό δίκτυο. Επιτρέπει στους φορείς εκμετάλλευσης να διαχειρίζονται τη ροή ενέργειας, να παρακολουθούν τις συνθήκες του δικτύου και να ανταποκρίνονται στις απαιτήσεις του δικτύου από απόσταση. Τα συστήματα ανανεώσιμων πηγών ενέργειας μπορούν να ρυθμίζουν την παραγωγή ισχύος, να συμμετέχουν σε υπηρεσίες

σταθεροποίησης του δικτύου και να υποστηρίζουν την αξιοπιστία του δικτύου μέσω του τηλεχειρισμού και της επικοινωνίας.

Απομακρυσμένες ενημερώσεις και διαμόρφωση υλικο-λογισμικού: Ο ψηφιακός τηλεχειρισμός επιτρέπει την απομακρυσμένη ενημέρωση υλικο-λογισμικού και τις αλλαγές διαμόρφωσης στα συστήματα ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Οι χειριστές μπορούν να αναβαθμίζουν εξ αποστάσεως το υλικο-λογισμικό του συστήματος, να εφαρμόζουν διορθώσεις λογισμικού και να εφαρμόζουν νέα χαρακτηριστικά χωρίς φυσική πρόσβαση στον εξοπλισμό. Αυτό βελτιώνει τη λειτουργικότητα, την ασφάλεια και την απόδοση του συστήματος χωρίς την ανάγκη επιτόπιων επεμβάσεων.

Ανάλυση δεδομένων και βελτιστοποίηση επιδόσεων: Τα ψηφιακά συστήματα τηλεχειρισμού αξιοποιούν την ανάλυση δεδομένων για τη βελτιστοποίηση της απόδοσης του συστήματος ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Οι προηγμένοι αλγόριθμοι και οι τεχνικές μηχανικής μάθησης μπορούν να αναλύουν τα λειτουργικά δεδομένα, τις προβλέψεις καιρού και τις συνθήκες του δικτύου για τη βελτιστοποίηση της παραγωγής ενέργειας, της χρήσης της αποθήκευσης ενέργειας και της συνολικής απόδοσης του συστήματος. Αυτές οι γνώσεις επιτρέπουν στους χειριστές να ρυθμίζουν λεπτομερώς τις παραμέτρους του συστήματος και να βελτιώνουν την ενεργειακή απόδοση.

Ως πιο εξειδικευμένα παραδείγματα, καταγράφουμε ότι με τα συστήματα ελέγχου εποπτείας και απόκτησης δεδομένων, μπορούμε να παρακολουθούμε και ελέγχουμε τα συστήματα εκμετάλλευσης των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας σε πραγματικό χρόνο, με τη χρήση αισθητήρων και λοιπό εξοπλισμό παρακολούθησης. Ακόμα, με συστήματα τηλεμετρίας, τα οποία χρησιμοποιούν ασύρματη επικοινωνία, μπορούμε να διαβιβάσουμε δεδομένα από τα συστήματα ΑΠΕ στο κεντρικό σύστημα ελέγχου. Τέλος, με λογισμικό απομακρυσμένης παρακολούθησης και ελέγχου, οι παραγωγοί ενέργειας θα μπορούν να παρακολουθούν την απόδοση των συστημάτων από απομακρυσμένη τοποθεσία, χρησιμοποιώντας υπολογιστή ή φορητή συσκευή.

Πιο συγκεκριμένα, στις ανεμογεννήτριες, μπορεί να επιβλέπεται η ταχύτητα και η φορά του ανέμου, να ελέγχεται και να ρυθμίζεται η κλίση των λεπίδων και η γωνία εκτροπής. Στα φωτοβολταϊκά, μπορούμε να λάβουμε πληροφορίες για την αποδοτικότητα των πάνελ, να παρακολουθήσουμε τις αλλαγές στην ηλιακή ακτινοβολία και να προσαρμόσουμε τη κλίση των πάνελ.

Το σύστημα ελέγχου των ανεμογεννητριών προσφέρει αρκετά οφέλη, συμπεριλαμβανομένης της διαχείρισης συναγερμών και γεγονότων που επιτρέπει στους χειριστές να ανιχνεύουν και να λαμβάνουν ειδοποιήσεις για δυσλειτουργίες ή αποτυχίες στα εξαρτήματα. Επιπλέον, το σύστημα μπορεί να συλλέγει και να αποθηκεύει δεδομένα, επιτρέποντας στους χειριστές να πραγματοποιούν ανάλυση δεδομένων και αναφορές για την αναγνώριση θεμάτων, την ανάλυση των τάσεων απόδοσης και τη βελτίωση της συνολικής αποδοτικότητας. Με τις δυνατότητες απομακρυσμένου ελέγχου και ρύθμισης, οι χειριστές μπορούν να πραγματοποιούν ρυθμίσεις, όπως η αλλαγή της γωνίας κλίσης των λεπίδων, από το κέντρο ελέγχου ή οι απομακρυσμένες ενημερώσεις λογισμικού, μειώνοντας έτσι την ανάγκη για επισκέψεις και συντήρηση στον τόπο εγκατάστασης.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

Έξυπνο Δίκτυο - Το Δίκτυο του Μέλλοντος

Υποκεφάλαιο 3.1: Ορισμός Smart Grid

Ένα δίκτυο είναι ένα ηλεκτρικό σύστημα το οποίο παράγει, μεταφέρει, διανέμει και βοηθά στον έλεγχο της ενέργειας. Η εξέλιξη των δικτύων ηλεκτρικής ενέργειας, σε συνδυασμό με τα δίκτυα και τις υποδομές τεχνολογίας πληροφοριών και επικοινωνιών, οδήγησε στη δημιουργία μιας νέας γενιάς δικτύων, που ονομάζονται Smart Grids. Αυτή η γενιά δικτύων έχει εξειδικευμένες απαιτήσεις για αρχιτεκτονικές επικοινωνιών και υπηρεσιών, καθώς και την εφαρμογή των υπηρεσιών για την παρακολούθηση και την εποπτεία τους. Σε όλο τον κόσμο, οι σχεδιαστές και οι ειδικοί φθάνουν στην ανάπτυξη ηλεκτρικών δικτύων με την ανάπτυξη τεχνολογιών Smart Grid και όχι με την αντικατάσταση και τη μαζική ενίσχυση του δικτύου. Η ενσωμάτωση νέων τεχνολογιών πληροφοριών και επικοινωνιών στο δίκτυο θα το καταστήσει επικοινωνιακό και θα επιτρέψει τη συμμετοχή διαφόρων παραγόντων στο σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας [3.1].

Η Ευρωπαϊκή Πλατφόρμα Τεχνολογίας και Καινοτομίας Έξυπνων Δικτύων (ETIP) έδωσε έναν ορισμό για το Έξυπνο Δίκτυο (Smart Grid) ως «ένα δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας, που μπορεί να ενσωματώσει έξυπνα τις ενέργειες όλων των χρηστών που είναι συνδεδεμένοι με αυτό – παραγωγών, καταναλωτών και εκκείνων που κάνουν και τα δύο – προκειμένου να προσφέρει αποτελεσματικά βιώσιμη, οικονομική και ασφαλή παροχή ηλεκτρισμού». Με την εμφάνιση των έξυπνων μετρητών, καθίσταται δυνατή η επικοινωνία των σπιτιών με ένα κέντρο ελέγχου και παρακολούθησης, το οποίο επιτρέπει την απομακρυσμένη διαχείριση και έλεγχο των συσκευών στο σπίτι. Τα έξυπνα δίκτυα προσφέρουν επίσης τη δυνατότητα ενσωμάτωσης εναλλακτικών και ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, όπως η ηλιακή ή η αιολική ενέργεια. Κάθε νοικοκυριό που είναι συνδεδεμένο στο δίκτυο μπορεί, όχι μόνο να καταναλώνει ενέργεια από ένα ηλεκτρικό δίκτυο όπως αυτό της ΔΕΗ,

αλλά και να παράγει ενέργεια και να την κάνει διαθέσιμη σε άλλα νοικοκυριά [3.2].

Υποκεφάλαιο 3.2: Δομή Smart Grid

Η δομή του έξυπνου δικτύου αποτελείται από μια κεντρική μονάδα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας που συχνά βρίσκεται μακριά από τα κέντρα κατανάλωσης, και τη μεταδίδει μέσω γραμμών μεταφοράς υψηλής τάσης στους υποσταθμούς διανομής. Από τους υποσταθμούς, η ηλεκτρική ενέργεια διανέμεται περαιτέρω στους καταναλωτές μέσω γραμμών διανομής χαμηλής τάσης [3.3].

Η ηλεκτρική ενέργεια ρέει προς μία κατεύθυνση, από το εργοστάσιο στους καταναλωτές, με περιορισμένη δυνατότητα για τους καταναλωτές να παράγουν και να συνεισφέρουν την πλεονάζουσα ισχύ τους. Έχει περιορισμένες δυνατότητες επικοινωνίας και ελέγχου σε πραγματικό χρόνο, γεγονός που καθιστά δύσκολη την παρακολούθηση και τη βελτιστοποίηση της διανομής ηλεκτρικής ενέργειας [3.4].

Από την άλλη πλευρά, το Smart Grid ενσωματώνει σύγχρονες τεχνολογίες και δυνατότητες επικοινωνίας για τη βελτίωση της απόδοσης, της αξιοπιστίας και της βιωσιμότητας. Αξιοποιεί συστήματα ψηφιακής επικοινωνίας και ελέγχου για την παρακολούθηση και τη διαχείριση της προσφοράς και της ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας σε πραγματικό χρόνο. Διευκολύνουν έτσι την ενσωμάτωση κατανεμημένων ενεργειακών πόρων (Distributed Energy Resources - DER), όπως ηλιακά πάνελ και ανεμογεννήτριες, επιτρέποντας την τοπική παραγωγή ενέργειας και μειώνοντας την εξάρτηση από κεντρικούς σταθμούς ηλεκτρικής παραγωγής. Επίσης επιτρέπουν αμφίδρομη ροή ισχύος, πράγμα που σημαίνει ότι οι καταναλωτές μπορούν να καταναλώνουν ηλεκτρική ενέργεια από το δίκτυο και να τροφοδοτούν την περίσσεια ηλεκτρική ενέργεια πίσω στο δίκτυο [3.5].

3.2.1: Τα βασικά μέρη ενός Έξυπνου Δικτύου

Αρχικά, έχουμε τις μονάδες παραγωγής ενέργειας (Bulk Generation), οι οποίες είναι εγκαταστάσεις που παράγουν ηλεκτρική ενέργεια, συμπεριλαμβανομένων των σταθμών παραγωγής ενέργειας, των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και των συστημάτων αποθήκευσης ενέργειας [3.6].

Δεύτερη, είναι η αγορά ενέργειας (Markets), Αποτελείται από μηχανισμούς που διασφαλίζουν την αποτελεσματική λειτουργία της αγοράς ενέργειας, όπως οι έμποροι ενέργειας και οι φορείς εκμετάλλευσης της αγοράς ενέργειας.

Τρίτον, ο πάροχος δικτύου (Service Provider), οι εταιρείες δηλαδή, που παρέχουν ενεργειακές υπηρεσίες στους καταναλωτές, όπως παροχή ηλεκτρικής ενέργειας, διαχείριση φορτίου και υπηρεσίες συντήρησης.

Έπειτα, οι λειτουργίες εποπτείας και παρακολούθησης δικτύου (Operations). Χειριστές που επιβλέπουν και ελέγχουν τις καθημερινές λειτουργίες του ηλεκτρικού δικτύου, συμπεριλαμβανομένης της μεταφοράς και διανομής ηλεκτρικής ενέργειας.

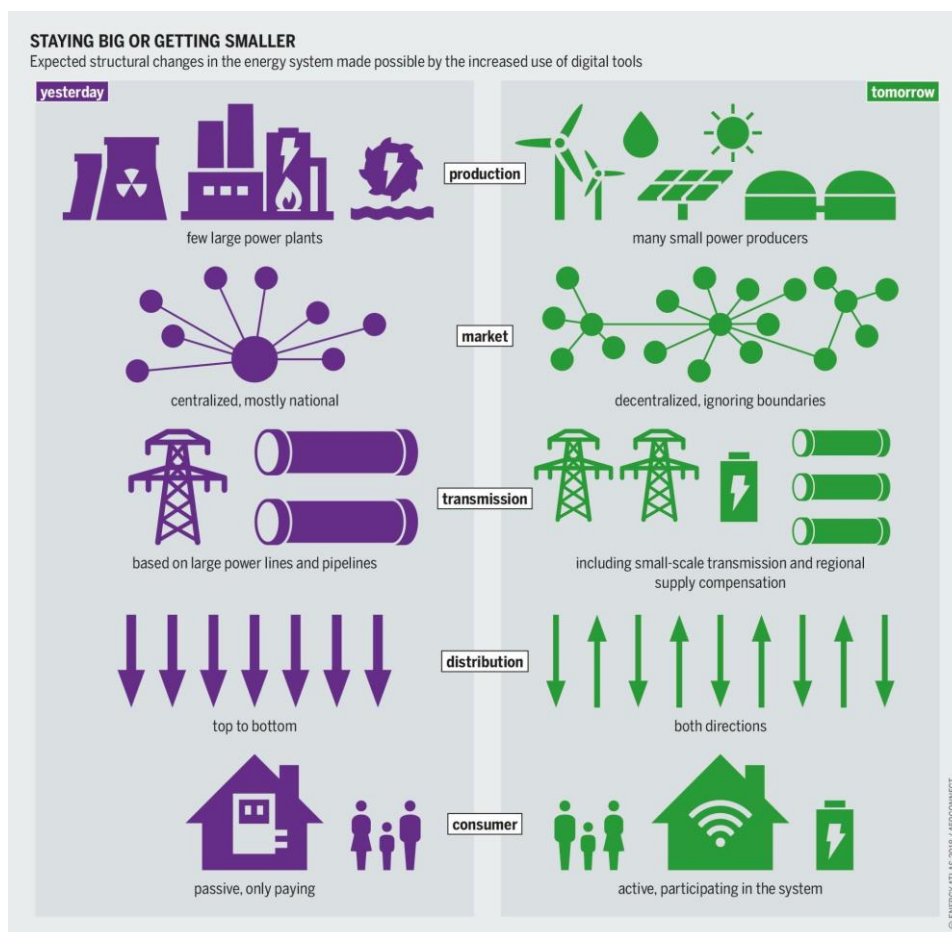
Τέλος, έχουμε τον τελικό χρήστη - καταναλωτή και παραγωγό (Customer, End-users). Οι τελικοί δηλαδή χρήστες ηλεκτρικής ενέργειας, που καταναλώνουν την ενέργεια και χρησιμοποιούν διάφορες ενεργειακές υπηρεσίες που παρέχονται από παρόχους υπηρεσιών.

Υποκεφάλαιο 3.3: Smart Grid vs Traditional Grid

Στα τέλη του 19ου αιώνα, ξεκίνησε να αναπτύσσεται το παραδοσιακό δίκτυο (Traditional Grid). Έχοντας τους πρώτους κεντρικούς σταθμούς ηλεκτρικής παραγωγής να κατασκευάζονται κατά εκείνη την περίοδο και η υποδομή μεταφοράς και διανομής σταδιακά να επεκτείνεται για να παρέχει ηλεκτρική ενέργεια στους καταναλωτές [3.7]. Η έννοια του Smart Grid αναδύθηκε στα τέλη του 20ού αιώνα, όταν οι κυβερνήσεις και οι ερευνητές αναγνώρισαν την ανάγκη εκσυγχρονισμού της ηλεκτρικής υποδομής. Έκτοτε, διάφορα πιλοτικά έργα, ερευνητικές πρωτοβουλίες και μεγάλης

κλίμακας αναπτύξεις τεχνολογιών έξυπνων δικτύων έχουν πραγματοποιηθεί σε όλο τον κόσμο [3.8].

Το έξυπνο δίκτυο μπορεί να προσφέρει μια πληθώρα από οφέλη, τόσο σε μεγάλες πόλεις, όσο και στις πιο απομακρυσμένες αγροτικές περιοχές. Θα γίνεται χρήση περισσότερων, μικρότερων σε μέγεθος παραγωγών ενέργειας, που είναι καταναλωμένες σε όλη την έκταση που θα χρησιμοποιηθούν και όχι συγκεντρωμένες σε ένα σημείο από το οποίο θα μεταφέρεται η ενέργεια στα σπίτια και στις επιχειρήσεις [3.9]. Επιπλέον, το έξυπνο δίκτυο είναι σε μεγάλο βαθμό αυτόνομο και αυτοσυντήρητο, κάθε καταναλωτής θα είναι ταυτόχρονα και παραγωγός ενέργειας προσφέροντας έτσι στο δίκτυο, το οποίο θα είναι αμφίδρομο. Παράλληλα, επιτρέπει τη σταθερή και αποδοτική διανομή της ενέργειας, ακόμα και σε ώρες αιχμής, όταν προκαλείται η μεγαλύτερη συμφόρηση για το παρόν δίκτυο [3.10].



Εικόνα 3.1: Σύγκριση Smart Grid και Traditional Grid [3.1]

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

Συστήματα Επικοινωνίας με Ενσωμάτωση Δικτύου σε Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας

Υποκεφάλαιο 4.1: Εισαγωγή

Τα Συστήματα Επικοινωνίας με Ενσωμάτωση Δικτύου σε ΑΠΕ αναφέρονται στην υποδομή και τις τεχνολογίες που επιτρέπουν την επικοινωνία και τη συνδεσιμότητα μεταξύ διαφόρων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας σε ένα δικτυωμένο σύστημα. Περιλαμβάνουν την ενσωμάτωση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, όπως ηλιακή, αιολική, υδροηλεκτρική ή γεωθερμική ενέργεια, σε ένα ενοποιημένο δίκτυο όπου μπορούν να επικοινωνούν, να μοιράζονται δεδομένα και να συντονίζουν τη λειτουργία τους. Σε ένα σύστημα σαν και αυτό, η επικοινωνία διαδραματίζει κρίσιμο ρόλο στη διευκόλυνση της ανταλλαγής πληροφοριών, σημάτων ελέγχου και δεδομένων μεταξύ των διαφορετικών ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και της κεντρικής υποδομής διαχείρισης. Επιτρέποντας την αποτελεσματική παρακολούθηση, τον έλεγχο και τη βελτιστοποίηση της παραγωγής ενέργειας, καθώς και το συντονισμό με άλλα στοιχεία του ενεργειακού συστήματος [4.1].

Υποκεφάλαιο 4.2: Συστήματα Εποπτικού Ελέγχου και Απόκτησης Δεδομένων (SCADA Systems)

Το σύστημα Εποπτικού Ελέγχου και Απόκτησης Δεδομένων (Supervisory Control and Data Acquisition - SCADA) χρησιμοποιείται για την παρακολούθηση μικροδικτύων και τη διαχείριση ενέργειας σε κτίρια μικρής και μεγάλης κλίμακας (οικιστικά, εμπορικά και βιομηχανικά). Ένα σύστημα SCADA περιλαμβάνει δύο στοιχεία: ένα σύστημα υλικού για συλλογή δεδομένων, επικοινωνία, έλεγχο και λειτουργία και ένα σύστημα λογισμικού για αποθήκευση, επεξεργασία, οπτικοποίηση, βελτιστοποίηση

και προσεκτική διαχείριση δεδομένων. Το σύστημα SCADA χρησιμοποιείται κυρίως για την ανάγνωση δεδομένων ομαδοποιημένων μικροδικτύων και έχει πρόσβαση στα δεδομένα του μικροδικτύου πριν τα αποθηκεύσει στη βάση δεδομένων MySQL [4.1].

4.2.1: Πώς λειτουργούν;

Ο σχεδιασμός των συστημάτων SCADA παρέχει πρόσβαση στη συλλογή και ανάλυση δεδομένων από μια ποικιλία αισθητήρων και άλλων συσκευών, όπως προγραμματιζόμενους λογικούς ελεγκτές (Programmable Logic Controllers - PLC), που θα αναλυθούν παρακάτω. Οι αισθητήρες και οι συσκευές συνδέονται με ένα κεντρικό σύστημα υπολογιστή, το οποίο είναι υπεύθυνο για την παρακολούθηση και τον έλεγχο των διαδικασιών σε πραγματικό χρόνο. Διαμορφώνοντας το σύστημα ώστε να παρέχει ειδοποιήσεις και συναγερμούς όταν πληρούνται ορισμένες προϋποθέσεις, επιτρέπει στους χειριστές να λαμβάνουν διορθωτικά μέτρα, σε σύντομο χρονικό διάστημα.

Με την ευελιξία και την επεκτασιμότητα τους, μπορούν να προσαρμόζονται για να ανταποκρίνονται στις συγκεκριμένες ανάγκες διαφορετικών βιομηχανιών. Παρακολουθούν και ελέγχουν ένα ευρύ φάσμα διαδικασιών, από απλές έως πολύπλοκες, όπως ο έλεγχος θερμοκρασίας, πίεσης, ροής και ποιότητας.

Η κύρια μονάδα ενός συστήματος SCADA είναι η CPU όπου συλλέγει όλα τα σήματα και τα αποθηκεύει τοπικά για ελάχιστο χρόνο ανάλογα με το buffer και το μέγεθος της μνήμης RAM της CPU. Η CPU μερικές φορές μπορεί να λειτουργήσει ως αρχιτεκτονική διακομιστή σε πελάτη και να στείλει σήματα σε άλλες CPU τρίτων κατασκευαστών. Εκτός από την CPU, υπάρχουν περιφερειακές μονάδες I/O που μπορούν να χειριστούν όλα τα ενσύρματα σήματα SCADA. Αυτές οι μονάδες I/O είναι πολύ σημαντικές και συνήθως μπορούν να συνδεθούν με το SCADA με σειριακή σύνδεση, σύνδεση

δικτύου TCP/IP ή απευθείας στον ίδιο ηλεκτρικό δίαυλο δεδομένων της CPU, όπως ένα τυπικό παλιό PLC [4.2].

Μερικές φορές, εκτός από το τυπικό υλικό δικτύου, χρησιμοποιούνται οπτικές ίνες για τη μεταφορά δεδομένων στο SCADA από μεγάλες αποστάσεις. Τα δεδομένα που συλλέγονται από τις CPU μπορούν να αποθηκευτούν σε έναν τοπικό διακομιστή εγκαταστάσεων (LPS) και παράλληλα να στείλουν τα δεδομένα σε έναν διακομιστή που βασίζεται στο cloud, όπως το Amazon ή το Google. Επιπλέον, το σύστημα είναι ρυθμισμένο είτε να λειτουργεί σε τοπική λειτουργία μέσω HMI είτε απομακρυσμένο από φορητό υπολογιστή ή tablet. [4.2]

Ένα άλλο κομμάτι SCADA είναι η συσκευή συγχρονισμού ρολογιού GPS, η οποία χρησιμοποιείται για να διατηρεί όλες τις συσκευές του συστήματος ευθυγραμμισμένες ως προς το συγχρονισμό του χρόνου για την καταγραφή δεδομένων και συμβάντων. Το σύστημα συνήθως τροφοδοτείται μέσω ενός UPS (Αδιάκοπη Ροή Ρεύματος) για να κάνει το SCADA ευέλικτο στις διακοπές ρεύματος, καθώς βασίζεται σε μια συνεχή και αξιόπιστη παροχή ρεύματος για να λειτουργεί σωστά και να διασφαλίζει την ομαλή λειτουργία των παρακολουθούμενων διαδικασιών. Ένα UPS λειτουργεί ως buffer παρέχοντας άμεση εφεδρική ισχύ όταν διακόπτεται η κύρια πηγή τροφοδοσίας. Συχνά ενσωματώνει και χαρακτηριστικά ρύθμισης ισχύος που ρυθμίζουν τα επίπεδα τάσης και φιλτράρουν τις διαταραχές, προστατεύοντας το σύστημα SCADA από πιθανή ζημιά.

4.2.2: Από τι αποτελούνται;

Η αρχιτεκτονική ενός τυπικού συστήματος SCADA αποτελείται από τα εξής κύρια στοιχεία [4.2]:

1. Υπολογιστής Εποπτείας (Supervisory Computer): Είναι οι κεντρικές μονάδες ελέγχου του συστήματος SCADA, όπου εκτελούν εξειδικευμένες εφαρμογές λογισμικού SCADA που συλλέγουν και επεξεργάζονται δεδομένα από συσκευές πεδίου, παρέχουν λειτουργίες

παρακολούθησης και ελέγχου σε πραγματικό χρόνο και παρουσιάζουν τις πληροφορίες σε χειριστές και μηχανικούς μέσω του HMI. Λειτουργούν ως ο εγκέφαλος του συστήματος, συντονίζοντας τις λειτουργίες απόκτησης, επεξεργασίας και ελέγχου δεδομένων.

2. Διεπαφή Ανθρώπου-Μηχανής (Human Machine Interface - HMI): Πρόκειται για τη διεπαφή χρήστη που επιτρέπει στους χειριστές να παρακολουθούν και να ελέγχουν τις διαδικασίες. Είναι συνήθως μια οθόνη υπολογιστή που εμφανίζει δεδομένα σε πραγματικό χρόνο από το πεδίο και επιτρέπει στους χειριστές να στέλνουν εντολές στις συσκευές.
3. Κεντρικό Σύστημα Υπολογιστών (Central Computer System): Αυτό είναι το σύστημα υπολογιστή που είναι υπεύθυνο για τη συλλογή δεδομένων από τις RTU και τα PLC, την ανάλυση των δεδομένων και την αποστολή εντολών στις συσκευές πεδίου. Είναι επίσης υπεύθυνο για την παροχή ειδοποιήσεων και συναγερμών στους χειριστές όταν πληρούνται ορισμένες προϋποθέσεις.
4. Απομακρυσμένη Τερματική Μονάδα (Remote Terminal Unit - RTU): Πρόκειται για συσκευές που εγκαθίστανται στο πεδίο για την παρακολούθηση και τον έλεγχο των διεργασιών και ευθύνονται για τη συλλογή δεδομένων από αισθητήρες και άλλες συσκευές και τη μετάδοσή τους στο κεντρικό σύστημα του υπολογιστή.
5. Προγραμματιζόμενοι λογικοί ελεγκτές (PLC): Πρόκειται για συσκευές που χρησιμοποιούνται για τον έλεγχο των διεργασιών στο πεδίο. Είναι συνδεδεμένα με τα RTU και είναι υπεύθυνα για την αποστολή εντολών στις συσκευές στο πεδίο.
6. Υποδομή επικοινωνίας (Communication Infrastructure): Η υποδομή επικοινωνίας επιτρέπει τη μεταφορά δεδομένων μεταξύ διαφορετικών στοιχείων του συστήματος SCADA. Περιλαμβάνει διάφορες τεχνολογίες επικοινωνίας όπως ενσύρματα δίκτυα (Ethernet, σειριακά πρωτόκολλα επικοινωνίας όπως RS-232, RS-485), ασύρματη επικοινωνία (ραδιόφωνο, κυψελοειδές) και λοιπά πρωτόκολλα. Η υποδομή επικοινωνίας διευκολύνει την ανταλλαγή δεδομένων μεταξύ

εποπτικών υπολογιστών, RTU/PLC και άλλων συσκευών στο σύστημα SCADA.

4.2.3: Επίπεδα Πελάτη-Διακομιστή

Σε ένα σύστημα SCADA διακρίνονται δύο βασικά επίπεδα: το "επίπεδο πελάτη" (client layer), που εξυπηρετεί το HMI και το "επίπεδο διακομιστή δεδομένων" (data server layer) που χειρίζεται τις περισσότερες από τις δραστηριότητες ελέγχου δεδομένων διεργασίας.

Το επίπεδο πελάτη αναφέρεται στο επίπεδο που αποτελείται από εφαρμογές λογισμικού ή διεπαφές-χρήστη μέσω των οποίων οι χειριστές και οι μηχανικοί αλληλεπιδρούν με το σύστημα. Περιλαμβάνει το λογισμικό Human-Machine Interface (HMI) ή εφαρμογές πελάτη SCADA που εκτελούνται σε υπολογιστές ή άλλες συσκευές. Επιτρέπει στους χρήστες να βλέπουν και να αλληλεπιδρούν με τα δεδομένα και τη λειτουργικότητα του συστήματος SCADA, παρέχοντας μια φιλική προς το χρήστη διεπαφή για παρακολούθηση δεδομένων σε πραγματικό χρόνο, έλεγχο βιομηχανικών διαδικασιών, ρύθμιση παραμέτρων και πρόσβαση σε ιστορικά δεδομένα και αναφορές.

Το επίπεδο διακομιστή δεδομένων λειτουργεί ως η ραχοκοκαλιά του συστήματος SCADA, περιλαμβάνοντας τους διακομιστές που είναι υπεύθυνοι για την απόκτηση, την επεξεργασία, την αποθήκευση και τη διανομή δεδομένων. Το επίπεδο αυτό λαμβάνει δεδομένα από συσκευές πεδίου (μέσω RTU ή PLC), εκτελεί την επεξεργασία και την ανάλυση δεδομένων και τα αποθηκεύει σε μια βάση ή ιστορικό δεδομένων. Οι διακομιστές σε αυτό το επίπεδο διαχειρίζονται την επικοινωνία με τις συσκευές πεδίου, τη μετάδοση δεδομένων στο επίπεδο πελάτη και διασφαλίζουν την ακεραιότητα και τη διαθεσιμότητα των δεδομένων. Οι διακομιστές δεδομένων επικοινωνούν με συσκευές στο χώρο μέσω ελεγκτών διεργασίας.

Οι ελεγκτές διεργασιών (process controllers), π.χ. Τα PLC, τα οποία θα εξηγήσουμε παρακάτω, συνδέονται με τους διακομιστές δεδομένων είτε απευθείας είτε μέσω δικτύων ή διαύλων πεδίου (fieldbuses) που είναι ιδιόκτητα (π.χ. Siemens H1) ή μη ιδιόκτητα (π.χ. Profibus). Οι διακομιστές δεδομένων συνδέονται μεταξύ τους και με σταθμούς-πελάτες μέσω ενός LAN Ethernet [4.3].

Υποκεφάλαιο 4.3: Τεχνολογία Επικοινωνίας Γραμμής Ρεύματος (PLC)

4.3.1: Τι είναι PLC;

Η τεχνολογία Επικοινωνίας Γραμμής Ρεύματος (Powerline Communication - PLC) επιτρέπει τη μετάδοση δεδομένων και την επικοινωνία μέσω υφιστάμενων γραμμών ηλεκτρικής ενέργειας, αξιοποιώντας την υποδομή του ηλεκτρικού δικτύου για επικοινωνιακούς σκοπούς. Οι νέες τεχνολογίες PLC που διατίθενται, επιτρέπουν υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης έως και 200 Mb/s και μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε διάφορες σημαντικές εφαρμογές όπως: ευρυζωνική πρόσβαση στο Διαδίκτυο, εσωτερικά ενσύρματα τοπικά δίκτυα, τιμολόγηση σε πραγματικό χρόνο, καταναεμημένη παραγωγή ενέργειας κ.λπ. Στο πλαίσιο των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, τα PLC μπορούν να εξυπηρετήσουν πολλαπλούς σκοπούς.

4.3.2: Πού χρησιμοποιούνται;

Οι συνδέσεις PLC μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη μετάδοση δεδομένων από τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας σε ένα κεντρικό σύστημα παρακολούθησης και ελέγχου. Αυτό επιτρέπει στους χειριστές να παρακολουθούν την παραγωγή ενέργειας σε πραγματικό χρόνο, την απόδοση του συστήματος και τις περιβαλλοντικές συνθήκες χωρίς την ανάγκη χωριστής υποδομής επικοινωνίας. Επίσης, επιτρέπει στους χειριστές να ρυθμίζουν τη ροή ισχύος, να διαχειρίζονται τη σταθερότητα του δικτύου και να συντονίζουν τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας με άλλες μονάδες παραγωγής ενέργειας. Επιπλέον, υποστηρίζουν διάφορες εφαρμογές Smart

Grid, όπως προηγμένη μέτρηση, αυτοματοποίηση διανομής και ανίχνευση σφαλμάτων, όπου ενσωματώνονται οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, επιτρέποντας την αποτελεσματική διαχείριση, παρακολούθηση και έλεγχο της παραγωγής ενέργειας.

4.3.3: Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα

Το πρωταρχικό πλεονέκτημα ενός PLC προκύπτει από το γεγονός ότι επιτρέπει την επικοινωνία των σημάτων να ταξιδεύουν στα ίδια καλώδια που μεταφέρουν ηλεκτρική ενέργεια, εξαιρίζοντας την ανάγκη για ξεχωριστά καλώδια επικοινωνίας ή αποκλειστική υποδομή.

Ωστόσο, τα καλώδια των ηλεκτρικών γραμμών είναι συχνά μη θωρακισμένα και έτσι γίνονται τόσο πηγή όσο και θύμα ηλεκτρομαγνητικών παρεμβολών (EMI). Αυτό, έχει ως αποτέλεσμα να επηρεαστεί η ποιότητα και η αξιοπιστία των σημάτων επικοινωνίας που μεταδίδονται μέσω των γραμμών ηλεκτρικής ενέργειας.

Ένα άλλο ζήτημα είναι η τιμή, μία μονάδα PLC είναι συνήθως πιο ακριβή από μία ασύρματη μονάδα, όπως το ZigBee, καθώς απαιτεί πρόσθετο υλικό, όπως μόντεμ ή ζεύκτες, για να επιτρέψει την επικοινωνία μέσω καλωδίων. Αυτά τα εξαρτήματα προσθέτουν στο κόστος εγκατάστασης, καθώς πρέπει να ενσωματωθούν στην υπάρχουσα υποδομή ηλεκτρικής ενέργειας. Αντίθετα, οι ασύρματες τεχνολογίες όπως το ZigBee συχνά περιλαμβάνουν απλούστερες διαδικασίες εγκατάστασης που απαιτούν ελάχιστο πρόσθετο εξοπλισμό [4.3]

Υποκεφάλαιο 4.4: ZigBee

Ένα κορυφαίο πρότυπο για τις ασύρματες επικοινωνίες οικιακού δικτύου είναι το Zigbee. Πρόκειται για ένα ασύρματο πρωτόκολλο χαμηλής κατανάλωσης και ταχύτητας δεδομένων, σχεδιασμένο για επικοινωνία μικρής εμβέλειας μεταξύ συσκευών σε διάφορες εφαρμογές, όπως οικιακούς αυτοματισμούς, βιομηχανική παρακολούθηση και δίκτυα αισθητήρων.

Λειτουργεί βάσει του προτύπου IEEE 802.15.4, το οποίο καθορίζει τα Physical (PHY) και Media Access Control (MAC) επίπεδα για χαμηλής συχνότητας ασύρματα δίκτυα (LR-WPAN) και χρησιμοποιεί τη ζώνη των 2,4GHz ISM (Industrial, Scientific, and Medical) για επικοινωνία. Χρησιμοποιεί έναν έτοιμο μηχανισμό πρόληψης σύγκρουσης μαζί με το επίπεδο MAC για να αποφύγει τις συγκρούσεις δεδομένων.

4.4.1: Πώς λειτουργεί;

Το Zigbee αποτελείται από συσκευές όπως αισθητήρες, ενεργοποιητές και ελεγκτές που επικοινωνούν μεταξύ τους σε ένα πλέγμα δικτύου. Το πλέγμα δικτύου επιτρέπει στις συσκευές να αναμεταδίδουν δεδομένα μέσω πολλαπλών αναπηδήσεων, επεκτείνοντας την κάλυψη και επιτρέποντας αξιόπιστη επικοινωνία. Επιπλέον, ως ασύρματη μονάδα είναι επίσης πιο πρακτική σε ορισμένες εφαρμογές, όπως οι μετρητές νερού/αερίου που τροφοδοτούνται από μπαταρίες χωρίς γραμμές ρεύματος, καθώς είναι πιο εύκολα προσβάσιμες σε απόμακρες τοποθεσίες [4.4].

Υποκεφάλαιο 4.5: Ασύρματα Τοπικά Δίκτυα (WLAN)

Το WLAN είναι μια τεχνολογία ασύρματης επικοινωνίας που επιτρέπει στις συσκευές να συνδέονται και να επικοινωνούν μεταξύ τους σε περιορισμένη περιοχή, χωρίς την ανάγκη φυσικών ενσύρματων συνδέσεων. Κοινώς γνωστό και ως Wi-Fi, βασίζεται στο πρότυπο IEEE 802.11 και χρησιμοποιείται ευρέως για ασύρματα δικτύωση και πρόσβαση στο Διαδίκτυο,

καθώς βρίσκεται και σε όλους τους φορητούς υπολογιστές και στα κινητά τηλέφωνα λόγω του υψηλού ρυθμού δεδομένων του.

Λειτουργεί σε πολλαπλές ζώνες συχνοτήτων, συμπεριλαμβανομένων των 2,4GHz που είναι η πιο συχνά χρησιμοποιούμενη, όπως και στο ZigBee πράγμα που μπορεί να οδηγήσει σε πιθανές παρεμβολές, και η ζώνη των 5GHz που παρέχει πρόσθετο εύρος ζώνης αλλά και λιγότερες παρεμβολές.

4.5.1: WLAN και ΑΠΕ

Το WLAN μπορεί να επιτρέψει την παρακολούθηση και τον έλεγχο των συστημάτων σε πραγματικό χρόνο. Με τα ηλιακά εργοστάσια παραγωγής ενέργειας να μπορούν να χρησιμοποιούν συστήματα WLAN για να συνδέσουν τα ηλιακά πάνελ, τους μετατροπείς και άλλο εξοπλισμό σε ένα κεντρικό σύστημα παρακολούθησης. Επιτρέποντας, με αυτόν τον τρόπο, στους χειριστές να συλλέγουν εύκολα μεγάλο όγκο δεδομένων για την παραγωγή ενέργειας, την απόδοση του συστήματος και τις περιβαλλοντικές συνθήκες, διευκολύνοντας την αποτελεσματική διαχείριση και την αντιμετώπιση προβλημάτων. Με τη συνδεσιμότητα WLAN καθίσταται απρόσκοπτη η μεταφορά δεδομένων σε πλατφόρμες που βασίζονται στο cloud ή σε τοπικούς διακομιστές, όπου μπορούν να εφαρμοστούν προηγμένα αναλυτικά στοιχεία για την εξαγωγή πληροφοριών και τη βελτιστοποίηση των ενεργειακών συστημάτων.

Υποκεφάλαιο 4.6: Ασύρματα Ευρεία Δίκτυα (WWAN)

Το WWAN είναι μια τεχνολογία ασύρματης επικοινωνίας παρόμοια με το WLAN, αλλά χρησιμοποιεί κυψελωτά δίκτυα/δίκτυα κινητής τηλεφωνίας για να παρέχει συνδεσιμότητα σε μεγαλύτερες αποστάσεις. Η ευρεία κάλυψή του επιτρέπει στους χρήστες να συνδέονται στο διαδίκτυο και να έχουν πρόσβαση σε υπηρεσίες δεδομένων όπου η ενσύρματη συνδεσιμότητα ενδέχεται να μην είναι διαθέσιμη και εκτείνεται σε πολλές πόλεις ή ακόμη και χώρες. Καθίσταται ιδιαίτερα χρήσιμο σε σενάρια όπου οι ανανεώσιμες

πηγές ενέργειας βρίσκονται σε απομακρυσμένες ή δυσπρόσιτες περιοχές, όπως υπεράκτια αιολικά πάρκα, απομακρυσμένες ηλιακές εγκαταστάσεις ή καταναμημένα συστήματα ανανεώσιμων πηγών ενέργειας σε αγροτικές τοποθεσίες. Παράλληλα, επιτρέπει στους χρήστες να παραμένουν συνδεδεμένοι ενώ βρίσκονται σε κίνηση, καθώς βασίζεται σε πύργους κινητής τηλεφωνίας και υποδομές για την παροχή κάλυψης. Το WWAN λειτουργεί σε διάφορες γενιές τεχνολογιών κινητής τηλεφωνίας, συμπεριλαμβανομένων των 2G, 3G, 4G LTE και 5G, καθεμία από τις τεχνολογίες αυτές προσφέρουν διαφορετικές ταχύτητες δεδομένων, καθυστέρησης και χωρητικότητα δικτύου.

Υποκεφάλαιο 4.7: Διαλειτουργικά Συστήματα Επικοινωνίας

Τα Διαλειτουργικά Συστήματα Επικοινωνίας (Interoperable Communication Systems - ICS) αναφέρονται στην ικανότητα διαφόρων συστημάτων, τεχνολογιών και πρωτοκόλλων να ανταλλάσσουν απρόσκοπτα δεδομένα και να συνεργάζονται αποτελεσματικά. Επιτρέπει σε διαφορετικά συστήματα επικοινωνίας να κατανοούν, να ερμηνεύουν και να χρησιμοποιούν πληροφορίες το ένα από το άλλο, ανεξάρτητα από τις συγκεκριμένες τεχνολογίες ή τους προμηθευτές τους. Παράλληλα, διαδραματίζει κρίσιμο ρόλο σε βιομηχανίες όπως οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, όπου πολλαπλά συστήματα και συσκευές πρέπει να επικοινωνούν και να αλληλεπιδρούν για τη βελτιστοποίηση της απόδοσης, την παρακολούθηση των περιουσιακών στοιχείων και τη λήψη τεκμηριωμένων αποφάσεων.

Η εφαρμογή των Διαλειτουργικών Συστημάτων Επικοινωνίας σε συστήματα ανανεώσιμων πηγών ενέργειας απαιτεί προσεκτικό σχεδιασμό και ολοκλήρωση. Αρχικά, υιοθετούνται τυποποιημένα πρωτόκολλα και διεπαφές επικοινωνίας για τη διασφάλιση της συμβατότητας μεταξύ των διαφόρων στοιχείων. Πρωτόκολλα όπως Modbus, DNP3 ή OPC χρησιμοποιούνται συνήθως για τη δημιουργία μιας κοινής γλώσσας για την ανταλλαγή δεδομένων. Οι πύλες και οι διεπαφές λειτουργούν ως διαμεσολαβητές,

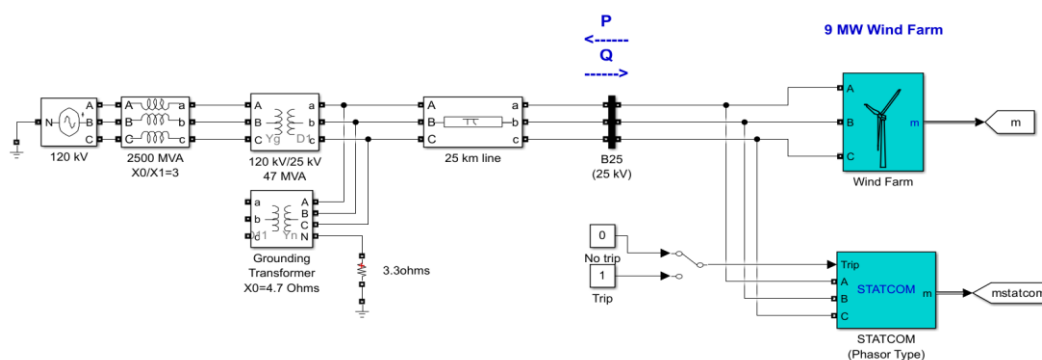
μεταφράζοντας δεδομένα μεταξύ των συστημάτων που χρησιμοποιούν διαφορετικά πρωτόκολλα ή μορφές. Οι πύλες αυτές επιτρέπουν την αδιάκοπη επικοινωνία μετατρέποντας και χαρτογραφώντας δεδομένα σε μια κοινή μορφή κατανοητή από όλα τα εμπλεκόμενα συστήματα.

Επιπλέον, η χρήση των API διευκολύνει τη διαλειτουργικότητα παρέχοντας τυποποιημένες διεπαφές για την ανταλλαγή δεδομένων και τον έλεγχο του συστήματος. Επιτρέπουν σε διαφορετικά συστήματα να αλληλεπιδρούν και να μοιράζονται δεδομένα με δομημένο τρόπο. Μέσω των API, τα συστήματα των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας μπορούν να έχουν πρόσβαση σε δεδομένα σε πραγματικό χρόνο από αισθητήρες, να ελέγχουν τις παραμέτρους του συστήματος και να ενσωματώνονται με πλατφόρμες παρακολούθησης ή συστήματα διαχείρισης ενέργειας. Επίσης, είναι απαραίτητη η συμμόρφωση με τα πρότυπα και τους κανονισμούς του κλάδου, καθώς και η τήρηση καθιερωμένων προγραμμάτων πιστοποίησης, για τη διασφάλιση της διαλειτουργικότητας.

Η διαλειτουργικότητα στα συστήματα ανανεώσιμων πηγών ενέργειας επιτυγχάνεται με την υιοθέτηση τυποποιημένων πρωτοκόλλων, τη χρήση πυλών και διεπαφών για μετάφραση δεδομένων, την εφαρμογή API για την ενοποίηση συστημάτων και τη συμμόρφωση με τα βιομηχανικά πρότυπα. Αυτό επιτρέπει σε διαφορετικά συστήματα επικοινωνίας να συνεργάζονται αρμονικά, διευκολύνοντας την συνεχή ανταλλαγή δεδομένων, τον έλεγχο και τη συνεργασία. Με τη διασφάλιση της διαλειτουργικότητας, τα συστήματα μπορούν να βελτιστοποιήσουν την απόδοσή τους και να προωθήσουν την αποτελεσματική ενσωμάτωση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στη μεγαλύτερη ενεργειακή υποδομή.

Υποκεφάλαιο 4.8: Προσομοίωση Matlab

Το αιολικό πάρκο ισχύος 9 MW προσομοιώνεται από τρία ζεύγη ανεμογεννητριών των 1,5 MW, όπου συνδέονται με ένα σύστημα διανομής 25 kV και εξάγουν ισχύ σε δίκτυο 120kV μέσω τροφοδότη 25kV των 25km. Οι ανεμογεννήτριες χρησιμοποιούν squirrel-cage γεννήτριες επαγωγής (Induction Generators - IG). Η περιέλιξη του στάτορα συνδέεται απευθείας με το δίκτυο 60 Hz και ο ρότορας κινείται από μια ανεμογεννήτρια μεταβλητού βήματος. Η γωνία βήματος ελέγχεται προκειμένου να περιοριστεί η ισχύς εξόδου της γεννήτριας στην ονομαστική της τιμή για ανέμους που υπερβαίνουν την ονομαστική ταχύτητα (9 m/s). Για να παραχθεί ισχύς, η ταχύτητα των IG πρέπει να είναι ελαφρώς πάνω από τη σύγχρονη ταχύτητα. Η ταχύτητα ποικίλλει περίπου μεταξύ 1 pu χωρίς φορτίο και 1.005 pu με πλήρες φορτίο. Κάθε ανεμογεννήτρια διαθέτει σύστημα προστασίας που παρακολουθεί την τάση, το ρεύμα και την ταχύτητα της μηχανής [4.5].

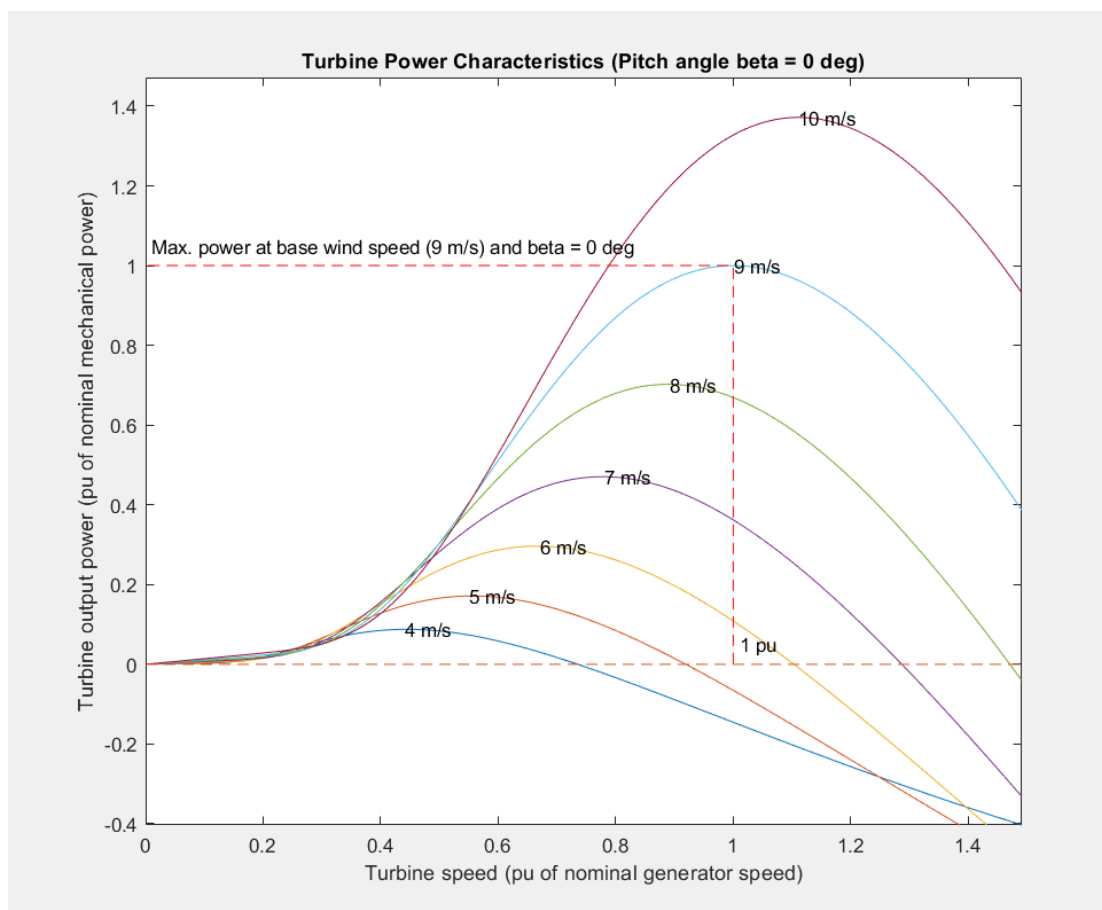


Εικόνα 4.1: Power Wind Block Diagram

Η δύναμη αντίδρασης που απορροφάται από τα IG αντισταθμίζεται εν μέρει από συστοιχίες πυκνωτών που συνδέονται σε κάθε διαυλο χαμηλής τάσης ανεμογεννητριών (400 kvar για κάθε ζεύγος τουρμπίνας 1,5 MW). Η υπόλοιπη αντιδραστική δύναμη που απαιτείται για τη διατήρηση της τάσης 25kV στο διαυλο B25 κοντά στο 1 pu παρέχεται από ένα STATCOM των 3Mvar με ρύθμιση πτώσης 3%.

Η μηχανική ισχύς της τουρμπίνας ως συνάρτηση της ταχύτητας της τουρμπίνας εμφανίζεται για ταχύτητες ανέμου που κυμαίνονται από 4 m/s

έως 10 m/s. Η ονομαστική ταχύτητα ανέμου που αποδίδει την ονομαστική μηχανική ισχύ ($1\text{pu}=3\text{ MW}$) είναι 9 m/s. Το μοντέλο της ανεμογεννήτριας και του statcom, είναι μοντέλα φάσης που επιτρέπουν μελέτες τύπου μεταβατικής ευστάθειας με μεγάλους χρόνους προσομοίωσης. Σε αυτό το παράδειγμα, το σύστημα παρατηρείται για 20 δευτερόλεπτα.



Εικόνα 4.2: Αποτελέσματα προσομοίωσης στο MATLAB

Προσομοίωση

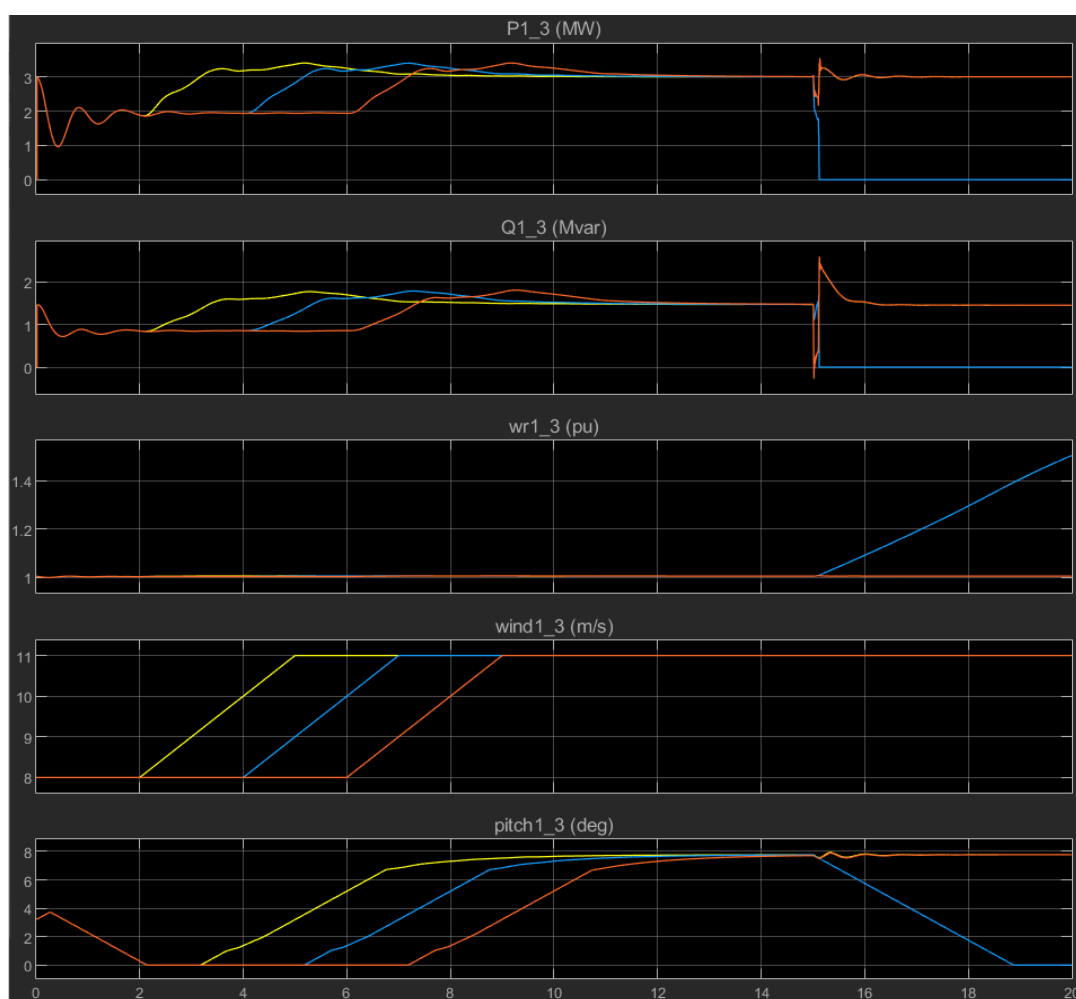
Ανταπόκριση τουρμπινών στη μεταβολή της ταχύτητας του ανέμου

Για τις ανεμογεννήτριες "Wind 1" έως "Wind 3" η ταχύτητα του ανέμου αρχικοποιείται στα 8m/s, με την πρώτη ανεμογεννήτρια "Wind Turbine 1" να φτάνει στο μέγιστο 11m/s μέσα σε 3s. Παρόμοια μεταβολή και στις "Wind Turbine 2" και "Wind Turbine 3" έχοντας 2s και 4s καθυστέρηση αντίστοιχα. Στα 15 δευτερόλεπτα μια προσωρινή βλάβη στους ακροδέκτες χαμηλής τάσης 575V της "Wind Turbine 2".

Για κάθε ζεύγος ανεμογεννητών η παραγόμενη ενεργή ισχύς ξεκινάει των πολλών ομαλά και δεν φτάνει την ονομαστική τιμή 3MW μέσα σε 1s, και οι 3 ανεμογεννήτριες έχουν φτάσει στα 3MW σε συνολικό χρόνο περίπου 8s. Κατά τη διάρκεια αυτή η ταχύτητα των τουρμπινών από 1.0028pu στα 1.0047pu. Αρχικά η γωνία κλίσης των τουρμπινών είναι στις 0°. Όταν η ισχύς εξόδου ξεπερνάει τα 3MW η γωνία κλίσης έχει στις 8°, με σκοπό η εξόδου να παραμείνει σταθερή στα αρχικά 3 MW

Λειτουργία Συστήματος Προστασίας

Στο $t=15s$ ένα σφάλμα φάσης-προς-φάσης στην ανεμογεννήτρια 2, προκαλώντας την να πέσει στις 15.11s. Το σφάλμα ενεργοποιείται από την προστασία του AC Undervoltage. Κατά την διάρκεια του σφάλματος οι ανεμογεννήτριες 1 και 3 συνεχίζουν να παράγουν 3MW και οι 2.



Εικόνα 4.3: Εποπτεία σφάλματος φάσης-προς-φάση σε πραγματικό χρόνο

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

Συμπεράσματα

Η ενσωμάτωση του ψηφιακού ελέγχου με τα έξυπνα δίκτυα θα διαδραματίσει καθοριστικό ρόλο στη μεταμόρφωση του τρόπου με τον οποίο παράγουμε, διανέμουμε και καταναλώνουμε ηλεκτρική ενέργεια, καθώς συγκροτούν ένα ολιστικό όραμα για τον τρόπο με τον οποίο ο ψηφιακός έλεγχος θα ενσωματωθεί στα έξυπνα δίκτυα:

1. Παρακολούθηση και έλεγχος σε πραγματικό χρόνο: Τα ψηφιακά συστήματα ελέγχου θα παρέχουν δυνατότητες παρακολούθησης και ελέγχου σε πραγματικό χρόνο για τα έξυπνα δίκτυα. Τα συστήματα αυτά θα συλλέγουν και θα αναλύουν δεδομένα από διάφορα στοιχεία του δικτύου, όπως σταθμούς παραγωγής ενέργειας, υποσταθμούς, ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και συσκευές καταναλωτών. Οι διαχειριστές θα έχουν ολοκληρωμένη ορατότητα στις λειτουργίες του δικτύου, επιτρέποντάς τους να παρακολουθούν την απόδοση του δικτύου, να εντοπίζουν ανωμαλίες και να λαμβάνουν προληπτικά μέτρα για τη διασφάλιση της σταθερότητας και της αξιοπιστίας.
2. Απόκριση ζήτησης και διαχείριση φορτίου: Η ενσωμάτωση ψηφιακού ελέγχου θα επιτρέψει προηγμένες δυνατότητες απόκρισης στη ζήτηση και διαχείρισης φορτίου. Οι έξυπνοι μετρητές και τα οικιακά συστήματα διαχείρισης ενέργειας θα επικοινωνούν με το δίκτυο σε πραγματικό χρόνο, επιτρέποντας στους καταναλωτές να προσαρμόζουν τη χρήση της ηλεκτρικής ενέργειας με βάση τη δυναμική τιμολόγηση ή τις συνθήκες του δικτύου. Τα ψηφιακά συστήματα ελέγχου θα διευκολύνουν τον συντονισμό των προγραμμάτων απόκρισης στη ζήτηση, βελτιστοποιώντας τη χρήση των κατανεμημένων ενεργειακών πόρων και βελτιώνοντας την αποδοτικότητα του δικτύου.

3. Διαχείριση κατανεμημένων ενεργειακών πόρων: Η ενσωμάτωση του ψηφιακού ελέγχου με τα έξυπνα δίκτυα θα επιτρέψει την αποτελεσματική διαχείριση των κατανεμημένων ενεργειακών πόρων (DERs), όπως τα ηλιακά πάνελ, οι ανεμογεννήτριες και τα συστήματα αποθήκευσης ενέργειας. Τα ψηφιακά συστήματα ελέγχου θα παρακολουθούν τη διαθεσιμότητα και την απόδοση των DERs, θα βελτιστοποιούν τη διανομή και τη λειτουργία τους και θα διευκολύνουν την ενσωμάτωσή τους στο δίκτυο. Αυτό θα ενισχύσει τη σταθερότητα του δικτύου, θα μεγιστοποιήσει τη χρήση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και θα υποστηρίξει τη μετάβαση σε ένα αποκεντρωμένο ενεργειακό σύστημα.
4. Ευελιξία του δικτύου και επικουρικές υπηρεσίες: Η ενσωμάτωση του ψηφιακού ελέγχου θα ενισχύσει την ευελιξία του δικτύου, επιτρέποντας τη συμμετοχή των DERs στην παροχή επικουρικών υπηρεσιών. Οι υπηρεσίες αυτές περιλαμβάνουν τη ρύθμιση της συχνότητας, την υποστήριξη της τάσης και τον έλεγχο της άεργου ισχύος. Μέσω των ψηφιακών συστημάτων ελέγχου, οι DER μπορούν να συντονίζονται δυναμικά για την παροχή υπηρεσιών υποστήριξης του δικτύου, συμβάλλοντας στη διατήρηση της σταθερότητας και της αξιοπιστίας του δικτύου ακόμη και με την παρουσία διαλείπουσας ανανεώσιμης ενέργειας.
5. Ευφυής σχεδιασμός και λειτουργία του δικτύου: Τα ψηφιακά συστήματα ελέγχου θα υποστηρίξουν τον ευφυή σχεδιασμό και λειτουργία του δικτύου με τη χρήση προηγμένων αναλυτικών μεθόδων και αλγορίθμων μηχανικής μάθησης. Τα συστήματα αυτά θα αναλύουν ιστορικά δεδομένα και δεδομένα πραγματικού χρόνου για τη βελτιστοποίηση των επενδύσεων σε υποδομές δικτύου, την πρόβλεψη της ζήτησης, τον εντοπισμό πιθανών σημείων συμφόρησης και τη βελτίωση της αποδοτικότητας του συστήματος. Αυτή η προσέγγιση με βάση τα δεδομένα θα επιτρέψει στους διαχειριστές του δικτύου να λαμβάνουν τεκμηριωμένες αποφάσεις και να διασφαλίζουν τη βέλτιστη αξιοποίηση των περιουσιακών στοιχείων του δικτύου.

6. Μικροδίκτυα και λειτουργίες νησιδοποίησης: Η ενσωμάτωση του ψηφιακού ελέγχου θα επιτρέψει την αποτελεσματική λειτουργία και τον έλεγχο των μικροδικτύων. Τα μικροδίκτυα είναι τοπικά ενεργειακά συστήματα που μπορούν να λειτουργούν αυτόνομα ή σε σύνδεση με το κύριο δίκτυο. Τα ψηφιακά συστήματα ελέγχου θα παρακολουθούν και θα ελέγχουν την παραγωγή, την αποθήκευση και την κατανάλωση εντός των μικροδικτύων, διευκολύνοντας την απρόσκοπτη μετάβαση μεταξύ των λειτουργιών σύνδεσης με το δίκτυο και της νησιωτικής λειτουργίας. Η ικανότητα αυτή θα ενισχύσει την ανθεκτικότητα του δικτύου, ιδίως σε περιοχές που είναι επιρρεπείς σε διακοπές ρεύματος ή σε απομακρυσμένες τοποθεσίες.
7. Κυβερνοασφάλεια και ανθεκτικότητα: Καθώς ο ψηφιακός έλεγχος γίνεται όλο και πιο διαδεδομένος στα έξυπνα δίκτυα, η ασφάλεια στον κυβερνοχώρο και η ανθεκτικότητα θα είναι υψίστης σημασίας. Τα μελλοντικά ψηφιακά συστήματα ελέγχου θα ενσωματώνουν ισχυρά μέτρα ασφαλείας, συμπεριλαμβανομένης της κρυπτογράφησης, της αυθεντικοποίησης και της ανίχνευσης ανωμαλιών, για την προστασία από απειλές στον κυβερνοχώρο. Επιπλέον, τα συστήματα αυτά θα σχεδιάζονται με πλεονασμό και δυνατότητες αυτοθεραπείας, ώστε να διασφαλίζεται η ανθεκτικότητα του δικτύου σε περιπτώσεις διαταραχών.

Η ενσωμάτωση του ψηφιακού ελέγχου με τα έξυπνα δίκτυα θα επιτρέψει ένα πιο αποδοτικό, αξιόπιστο και βιώσιμο σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας. Θα δώσει τη δυνατότητα στους διαχειριστές του δικτύου, στους καταναλωτές και στους παρόχους κατανεμημένων ενεργειακών πόρων να συμμετέχουν ενεργά στις λειτουργίες του δικτύου, να βελτιστοποιούν τη χρήση ενέργειας και να υποστηρίζουν την ενσωμάτωση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.

Το σενάριο εργασίας που υλοποιήσαμε σε περιβάλλον προσομοίωσης MATLAB επιβεβαιώνει τα συνολικά συμπεράσματα προς την κατεύθυνση της ποσοτικής και ποιοτικής ανάλυσης και μεθοδολογίας προκειμένου ο

ασύρματος, ψηφιακός, απομακρυσμένος έλεγχος και οι τηλεπικοινωνιακές υποδομές που τον πραγματώνουν να αναβαθμίσουν πράγματι τα δίκτυα ενέργειας και ιδίως εκείνα που βασίζονται σε ανανεώσιμες πηγές.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Κεφάλαιο 1:

- [1.1] [ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ - Καίσαρης Αλέξανδρος](#)
- [1.2] [Τεχνολογία ενέργειας Τεχνολογία Α' Γυμνασίου - Θεοδοσίου Θεόδωρος](#)
- [1.3] [Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας](#)
- [1.4] [Τι είναι ηλιακή ενέργεια](#)
- [1.5] Communication Systems for Grid Integration of Renewable Energy Resources - F. Richard Yu, peng Zhang, Weidong Xiao, and Paul Choudhury
- [1.6] [Αιολική ενέργεια](#)
- [1.7] [Hydropower Basics](#)
- [1.8] [Hydropower explained](#)

Κεφάλαιο 2:

- [2.1] REVIEW ON SOLAR POWER REMOTE MONITORING AND CONTROLLING USING IoT - Dr.J.Geetha Ramani, S.Mohana Sowmiya, S.Mirunalinii, U. Nandha Kumar
- [2.2] M K. A. Elamvazuthi, Ahamed Khan, Syajiq Basri, Bin Shaari, Rajendran Sinnadurai and M Amudha, "Electrical Power Consumption Monitoring using a Real-time System", *2012 IEEE Conference on Sustainable Utilization and Development in Engineering and Technology (STUDENT) Universiti Tunku Abdul Rahman*, pp. 6-9, October 2012.
- [2.3] M. Zolkapli, I Junid, S. Othman, Z. Manut and A. Mohd Zulkifii, "High-Efficiency Dual-Axis Solar Tracking Developement using Arduino", *2013 International Conference on Technology Informatics Management Engineering Environment (TIME-E 2013) Bandung*, June 23-26, 2013.
- [2.4] BAYRAK Gkay and CEBEC Mehmet, "Monitoring a grid connected PV power generation system with labview", *Renewable Energy Research and Applications (ICRERA)*, vol. 562, no. 567, pp. 20-23, Oct 2013.

Κεφάλαιο 3:

[3.1] Exploring Renewable Energy Resources Using Remote Sensing and GIS - A Review by Ram Avtar, Netrananda Sahu, Ashwani Kumar Aggarwal, Shamik Chakraborty, Ali Kharrazi, Ali P. Yunus, Jie Dou and Tonni Agustiono Kurniawan

[3.2] Microgrid energy management and monitoring systems: A comprehensive review - Aiman J. Albarakati, Younes Boujoudar, Mohamed Azeroual, Lahcen Eliy

[3.3] Fang, X., Misra, S., Xue, G., & Yang, D. (2011). Smart grid—The new and improved power grid: A survey. *IEEE communications surveys & tutorials*, 14(4), 944-980.

[3.4] Tuballa, M. L., & Abundo, M. L. (2016). A review of the development of Smart Grid technologies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 59, 710-725.

[3.5] Ma, R., Chen, H. H., Huang, Y. R., & Meng, W. (2013). Smart grid communication: Its challenges and opportunities. *IEEE transactions on Smart Grid*, 4(1), 36-46.

[3.6] Farhangi, H. (2009). The path of the smart grid. *IEEE power and energy magazine*, 8(1), 18-28.

[3.7] Ekanayake, J. B., Jenkins, N., Liyanage, K. M., Wu, J., & Yokoyama, A. (2012). *Smart grid: technology and applications*. John Wiley & Sons.

[3.8] Moslehi, K., & Kumar, R. (2010). A reliability perspective of the smart grid. *IEEE transactions on smart grid*, 1(1), 57-64.

[3.9] Dileep, G. J. R. E. (2020). A survey on smart grid technologies and applications. *Renewable energy*, 146, 2589-2625.

[3.10] Lamnatou, C., Chemisana, D., & Cristofari, C. (2022). Smart grids and smart technologies in relation to photovoltaics, storage systems, buildings and the environment. *Renewable Energy*, 185, 1376-1391.

Κεφάλαιο 4:

[4.1] Microgrid energy management and monitoring systems: A comprehensive review - Aiman J. Albarakati, Younes Boujoudar, Mohamed

Azeroual, Lahcen Eliysaouy, Hossam Kotb, Ayman Aljarbough, Hend Khalid Alkahtani, Samih M. Mostafa, Asifa Tassaddiq and Alexander Pupkov

[4.2] SCADA Based Smart Grids - Lambros S. Tsintzouras

[4.3] WHAT IS SCADA? - A. Daneels, CERN, Geneva, Switzerland
W.Salter, CERN, Geneva, Switzerland.

[4.4] A Review of Monitoring Technologies for Solar PV Systems Using Data Processing Modules and Transmission Protocols: Progress, Challenges and Prospects - Shaheer Ansari , Afida Ayob, Molla S. Hossain Lipu, Mohamad Hanif Md Saad, Aini Hussain

[4.5]https://www.mathworks.com/help/sps/examples.html?category=renewable-energy-relib&s_tid=CRUX_topnav

ΕΙΚΟΝΕΣ

Κεφάλαιο 1:

Εικόνα 1.1: [Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας](#)

Εικόνα 1.2: [Ανεμόμυλοι στο Kinderdijk της Ολλανδίας](#)

Εικόνα 1.3: [Ηλιακά Πάνελ](#)

Εικόνα 1.4: [Ανεμογεννήτριες](#)

Εικόνα 1.5: [Το φράγμα Água Vermelha στον ποταμό Grande κοντά στο Iturama στο Minas Gerais/São Paulo, Βραζιλία.](#)

Εικόνα 1.6: [Η τεχνητή λίμνη Λάδωνα στο Νομό Αρκαδίας, Ελλάδα.](#)

Εικόνα 1.8: [Η τομή ενός υδροηλεκτρικού συστήματος με αντλία αποθήκευσης](#)