



ΤΕΙ Κρήτης
Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Κρήτης

ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ Τ.Ε



ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΗΜΕΡΗΣΙΑΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ

ΕΝΟΣ ΣΗΕ ΕΠΙ ΜΑΚΕΤΑΣ

Υπεύθυνος Καθηγητής: Καραπιδάκης Εμμανουήλ

Προπτυχιακός Φοιτητής: Καμπουράκης Μύρων

Ηράκλειο, 2017

Ευχαριστίες

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον Καθηγητή Καραπιδάκη Εμμανουήλ με τη στήριξη, τις συμβουλές και την κατάρτιση που συνέβαλε αποφασιστικά στην υλοποίηση της πτυχιακής. Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένεια μου για την στήριξη τους όλα αυτά τα χρόνια και τέλος τους φίλους μου που ήταν δίπλα μου σε ότι χρειαστώ.

Περίληψη

Αντικείμενο της παρούσας εργασίας είναι ο προγραμματισμός μίας υφιστάμενης μακέτας ενός επαρχιακού μικροδικτύου (χωριού), έτσι ώστε να είναι δυνατή η προσομοίωση και η παρουσίαση μιας ημερήσιας λειτουργίας του. Ο προγραμματισμός έγινε στην πλακέτα arduino όπου με την σειρά του θα ελέγχει τον timer που θα δείχνει τις 24 ώρες μιας μέρας σε 24 λεπτά, τις LCD όπου ανά ώρα (α) η πρώτη θα δείχνει την παραγωγή από ΑΠΕ (ανεμογεννήτριες και φωτοβολταϊκά) την αντίστοιχη κατανάλωση του χωριού και (β) η δεύτερη την επιμέρους παραγωγή των ανεμογεννητριών, φωτοβολταϊκών, γεννητριών και της αντίστοιχης αλληλεπίδρασης με το δίκτυο. Επιπρόσθετα, η πλακέτα arduino θα ενεργοποιεί τα LEDs που έχουν προστεθεί στην μακέτα, τα οποία θα ανάβουν συγκεκριμένες ώρες προσομοιώνοντας τις ημερήσιες μεταβολές, καθώς και τις αντίστοιχες διατάξεις του εν λόγω μικροδικτύου.

Στο πρώτο κεφάλαιο γίνεται μια εισαγωγή στα μικροδίκτυα, στην έννοια των έξυπνων δικτύων και τον έλεγχο τους με τα συστήματα συλλογής δεδομένων και εποπτικού ελέγχου (SCADA), παρουσιάζονται μερικές εμπορικές εφαρμογές των συστημάτων αυτών στην βιομηχανία αλλά και ειδικότερα στα μικροδίκτυα. Δίνεται ιδιαίτερη έμφαση στην αρχιτεκτονική των έξυπνων δικτύων και μια περιγραφή των χαρακτηριστικών τους.

Στο δεύτερο κεφάλαιο παρουσιάζονται το μονογραμμικό σχέδιο του εργαστηριακού μοντέλου και τα χαρακτηριστικά των Α.Π.Ε και γεννητριών με τα αντίστοιχα ημερήσια διαγράμμάτα λειτουργία τους.

Στο τρίτο κεφάλαιο αναλύεται ο μικροελεγκτής arduino με τον οποίο γίνεται ο έλεγχος του εργαστηριακού μοντέλου. Αναφέρονται τα πλεονεκτήματα του μικροελεγκτή και αρκετές σημαντικές εντολές για τη γλώσσα του προγραμματισμού του, καθώς και τα πιο σημαντικά υλικά που χρησιμοποιήθηκαν μαζί με την συνδεσμολογία τους.

Abstract

The purpose of this paper is to program an existing model of a provincial microgrid (village) so that it can simulate and present its daily operation. Programming was done on the arduino board, which in turn will control the timer who will show the 24 hours of a day in 24 minutes, the LCD where per hour (a) the first one will show the production from RES (wind turbines and photovoltaics) the corresponding Consumption of the village and (b) the second the individual production of wind turbines, photovoltaics, generators and the corresponding interaction with the grid. Additionally, the arduino board will trigger the added LEDs of the model, which will light up specific hours simulating daily changes, as well as the corresponding provisions of that microgrid.

The first chapter is made an introduction to microgrids, the concept of smart grids and their control over SCADA, some commercial applications of these systems are presented in industry and more specifically in microgrids. Special emphasis is placed on the architecture of smart grids and a description of their features.

In the second chapter we present the monolar design of the laboratory model and the characteristics of RES and generators with their respective daily diagrams.

The third chapter analyzes the arduino microcontroller with which the laboratory model is tested. The advantages of the microcontroller and several important commands for the programming language, as well as the most important materials used together with their connection, are mentioned.

1. Μικροδίκτυα και ο έλεγχός τους μέσω SCADA	9
1.1. Μικροδίκτυα.....	9
1.1.1. Τι είναι μικροδίκτυα	9
1.1.2. Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα ενός Μικροδικτύου	13
1.2. Έξυπνα δίκτυα	15
1.2.1. Ορίζοντας το έξυπνο δίκτυο.....	15
1.2.2. Η αρχιτεκτονική ενός έξυπνου δικτύου.....	17
1.2.3. Δίκτυο Μεταφοράς.....	19
1.2.4. Δίκτυο Διανομής.....	20
1.2.5. Χαρακτηριστικά των έξυπνων δικτύων.....	21
1.3. SCADA.....	27
1.3.1. Τι είναι SCADA	27
1.3.2. Βασικά χαρακτηριστικά των SCADA.....	28
1.3.3. Τι περιέχει ένα σύστημα ελέγχου SCADA	29
1.3.4. Περιγραφή συστημάτων SCADA.....	30
1.3.5. Συστήματα HMI.....	32
1.3.6. Εφαρμογές των συστημάτων SCADA στα μικροδίκτυα.....	33
2. Σχεδιασμός και ανάπτυξη του εργαστηριακού μοντέλου	40
2.1. Μονογραμμικό σχέδιο και τι περιέχει το εργ. μοντέλο	40
2.2. Τεχνικά χαρακτηριστικά καταναμημένων παραγωγών	42
2.2.1. Τεχνικά χαρακτηριστικά ανεμογεννητριών	42
2.2.2. Τεχνικά χαρακτηριστικά του Inverter	44
2.2.3. Τεχνικά χαρακτηριστικά Φωτοβολταϊκών	45
2.2.4. Τεχνικά χαρακτηριστικά γεννητριών.....	46
2.2.4.1. Τεχνικά στοιχεία κινητήρα.....	46
3. Έλεγχος εργαστηριακού μοντέλου με arduino.....	50
3.1. Arduino.....	50

3.1.1. Πλεονεκτήματα του arduino	50
3.1.2. Το Hardware του arduino	51
3.1.3. Ακροδέκτες του μικροελεγκτή Arduino	53
3.1.4. Γλώσσα προγραμματισμού.....	54
3.1.5. Shields	56
3.1.6. Δυνατότητα ελέγχου του συστήματος από smartphone ή tablet	57
3.1.7. LCD οθόνες για arduino	58
3.1.8. Οδηγός κινητήρα l239d	59

Εικόνα 1: Περιεχόμενα ενός μικροδικτύου.....	9
Εικόνα 2: Λειτουργίες ενός συστήματος SCADA	12
Εικόνα 3 : Παραδοσιακό ηλεκτρικό δίκτυο και το έξυπνο δίκτυο	16
Εικόνα 4 : Απεικόνιση ενός έξυπνου δικτύου ως ένα σύνολο οντοτήτων που αλληλεπιδρούν μεταξύ τους	18
Εικόνα 5 : Μελλοντικό έξυπνο δίκτυο μεταφοράς	20
Εικόνα 6: Χαρακτηριστικά και απαιτήσεις ενός Έξυπνου δικτύου.....	21
Εικόνα 7 : Παράδειγμα αρχιτεκτονικής SCADA.....	29
Εικόνα 8: Επικοινωνία των RTU με την κεντρική μονάδα MTU.....	30
Εικόνα 9: Λειτουργίες εισόδων και εξόδων των MTU και RTU.....	31
Εικόνα 10: HMI εφαρμογή χρησιμοποιώντας το LabView	32
Εικόνα 11: Λειτουργία κατανεμημένης παραγωγής του SMG.....	34
Εικόνα 12 : Συλλογή δεδομένων του SMG με το λογισμικό LabVIEW.....	34
Εικόνα 13 : Αρχιτεκτονική ενός μικροδικτύου της Local Grid	38
Εικόνα 14 : Μονογραμμικό σχέδιο του εργ. μοντέλου	40
Εικόνα 15 : Η ισχύς σε συνάρτηση με την ταχύτητα του ανέμου.....	42
Εικόνα 16: Ταχύτητα ανέμου επιλεγόμενης μέρας.....	43
Εικόνα 17 : Διάγραμμα παραγωγής Α/Γ με την επιλεγόμενη μέρα.....	43
Εικόνα 18: Διάγραμμα παραγωγής Φ/Β με την επιλεγόμενη μέρα	45
Εικόνα 19: Διάγραμμα παραγωγής γεννητριών με την επιλεγόμενη μέρα.....	47
Εικόνα 20: Διάγραμμα παραγωγής ΑΠΕ και κατανάλωσης χωριού με την επιλεγόμενη μέρα.....	48
Εικόνα 21: Διάγραμμα παραγωγής ΚΠ και κατανάλωσης χωριού με την επιλεγόμενη μέρα..	48
Εικόνα 22: Διάγραμμα ολικής παραγωγής - κατανάλωσης - εισροής και εκροής από το δίκτυο με την επιλεγόμενη μέρα.....	49
Εικόνα 23: Arduino MICRO , Arduino YUN, Arduino UNO και Arduino MEGA.....	52
Εικόνα 24: Shields.....	56
Εικόνα 25: α) HC - 05 Bluetooth Module β) Σχηματικό διάγραμμα HC-05 συνδεσμολογίας.	57
Εικόνα 26 : LCD οθόνη για Arduino	58
Εικόνα 27: α) Η-γέφυρα L239D β) διάγραμμα των 16pin της Η-γέφυρας.....	59

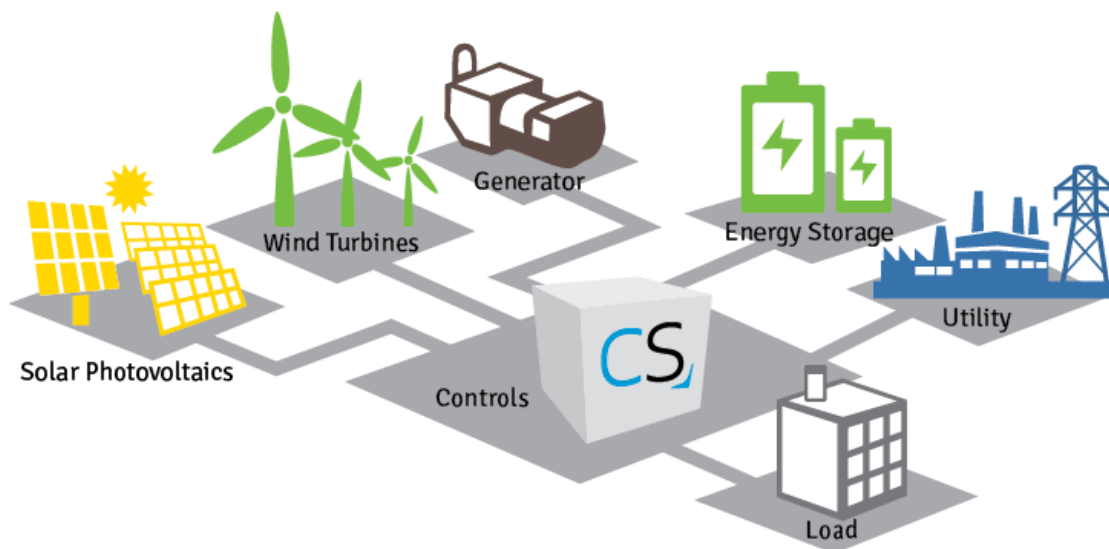
1. Μικροδίκτυα και ο έλεγχός τους μέσω SCADA

1.1. Μικροδίκτυα

1.1.1. Τι είναι μικροδίκτυα

Μικροδίκτυα είναι ηλεκτρικά συστήματα με τουλάχιστον μία κατακεντρωμένη παραγωγή και φορτία, που έχουν την ικανότητα να λειτουργούν αυτόνομα εντός του δικτύου διανομής αν χρειασθεί. Επειδή η παραγωγή ορισμένων κατακεντρωμένων παραγωγών είναι αβέβαιη απαιτείται η χρήση κατακεντρωμένης μονάδας αποθήκευσης ενέργειας.¹

Τα μικροδίκτυα απαιτούν εκτεταμένο έλεγχο για να επιτύχουν ασφάλεια του συστήματος, βέλτιστη λειτουργία, μειωμένες εκπομπές ρύπων και ομαλή μετάβαση από τη συνδεδεμένη με το δίκτυο κατάσταση λειτουργίας στην αποσυνδεδεμένη, χωρίς παραβίαση των προδιαγραφών και των απαιτήσεων του ρυθμιστή του συστήματος. Αυτός ο έλεγχος παρέχεται από τον κεντρικό ελεγκτή και τους εξειδικευμένους ελεγκτές των μικροπαραγωγών και των συσκευών αποθήκευσης ενέργειας.

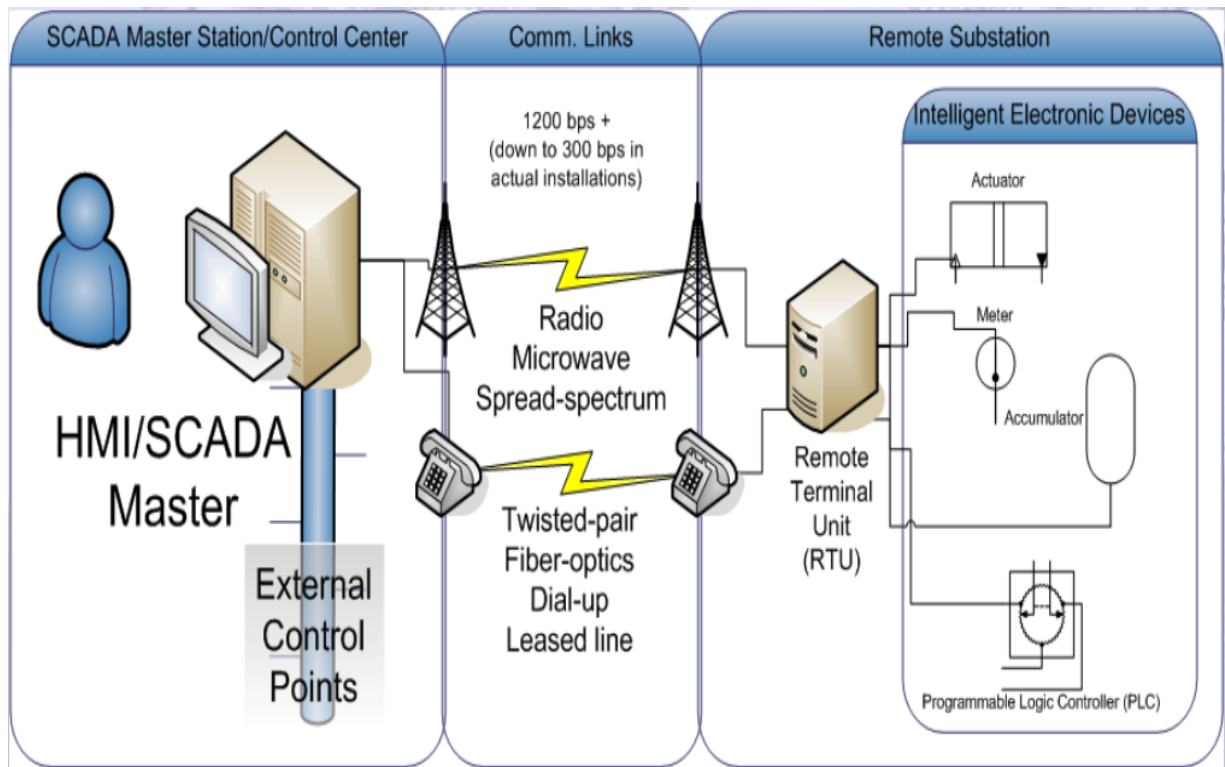


Εικόνα 1: Περιεχόμενα ενός μικροδικτύου²

Όπως δηλώνει και το όνομά τους, οι ελεγκτές των μικροπαραγωγών διεξάγουν τον τοπικό έλεγχο των λειτουργιών των μικροπαραγωγών. Ο κεντρικός ελεγκτής εκτελεί το συνολικό έλεγχο της λειτουργίας του μικροδίκτυου και της προστασίας μέσω των ελεγκτή μικροπαραγωγών. Η κύρια λειτουργία του κεντρικού ελεγκτή είναι να διατηρεί την αξιοπιστία και την ποιότητα ισχύος μέσω του ελέγχου ενεργού ισχύος-συχνότητας, του ελέγχου άεργου ισχύος-τάσης και του συντονισμού της προστασίας. Επίσης εκτελεί τον προγραμματισμό οικονομικής λειτουργίας των μικροπαραγωγών και βοηθάει στη διατήρηση της εισαγόμενης ισχύος από το κύριο δίκτυο εντός των συμφωνηθέντων τιμών. Έτσι, ο κεντρικός ελεγκτής όχι μόνο συντονίζει το σύστημα προστασίας για ολόκληρο το μικροδίκτυο, αλλά παρέχει και τα σημεία λειτουργίας τάσης και ισχύος για τους ελεγκτές μικροπαραγωγών, ώστε να ικανοποιούνται οι απαιτήσεις των καταναλωτών. Επομένως, ο κεντρικός ελεγκτής εξασφαλίζει την ενεργειακή βελτιστοποίηση του μικροδίκτυου και διατηρεί την ονομαστική συχνότητα και το προφίλ της τάσης για τα ηλεκτρικά φορτία. Αυτός ο ελεγκτής είναι σχεδιασμένος να λειτουργεί αυτόματα, αλλά να δέχεται και παρέμβαση από τον χειριστή όταν κρίνεται απαραίτητο. Παρακολουθεί συνεχώς τη λειτουργία των ελεγκτών μικροπαραγωγών μέσω δύο εφαρμογών, της εφαρμογής διαχείρισης ενέργειας και της εφαρμογής συντονισμού της προστασίας.³

Η μεταφορά της ηλεκτρικής ισχύος από την παραγωγή στο δίκτυο διανομής μέσω των υποσταθμών μεταφοράς είναι μια διαδικασία της οποίας τον έλεγχο αναλαμβάνει συνήθως ένας Διαχειριστής Συστήματος Μεταφοράς (Transmission System Operator – TSO). Βασικός στόχος του κάθε Διαχειριστή Συστήματος Μεταφοράς είναι μεταξύ άλλων, η εξασφάλιση της ομαλής και αποδοτικής λειτουργίας του ηλεκτρικού δικτύου. Ουσιαστικής σημασίας για την επίτευξή της, είναι η ύπαρξη των κατάλληλων συστημάτων και εξοπλισμού προκειμένου να επιτυγχάνεται η διαρκής παρακολούθηση του δικτύου για την όσο το δυνατό πιο άμεση αποκατάσταση παροχής ηλεκτρικής ενέργειας μετά από περιστατικά διακοπής και την όσο το δυνατό πιο ακριβή πρόβλεψη της ζήτησης για ισοζυγισμό της παραγωγής. Το βασικό σύστημα πίσω από αυτή τη διαδικασία σήμερα είναι γνωστό σαν Σύστημα Εποπτικού Ελέγχου και Συλλογής Πληροφοριών (Supervisory Control and Data Acquisition system – SCADA). Ένα τέτοιο σύστημα εκτελεί στην πραγματικότητα 4 βασικές λειτουργίες : συλλογή, επεξεργασία και παρουσίαση δεδομένων και έλεγχο του συστήματος. Η συλλογή δεδομένων από ολόκληρο το δίκτυο μεταφοράς καθίσταται δυνατή μέσω εξοπλισμού ο οποίος περιλαμβάνει αισθητήρες και τηλετελεματικό εξοπλισμό (Remote Terminal Units – RTUs) ο οποίος μετατρέπει τα σήματα των αισθητήρων σε ψηφιακή πληροφορία, την οποία μεταφέρει στο σύστημα επεξεργασίας δεδομένων μέσω τηλεπικοινωνιακών διασυνδέσεων. Η

επεξεργασία γίνεται από ένα σύνολο συστημάτων μεγάλης υπολογιστικής ισχύος τα οποία παρουσιάζουν την πληροφορία που προέκυψε από τα δεδομένα σε μια μορφή που αποκτά νόημα για τους τεχνικούς που είναι υπεύθυνοι για την παρακολούθηση του δικτύου μέσω της διεπαφής (Human Machine Interface – HMI) που διαθέτει κάθε σύστημα SCADA. Η διεπαφή αυτή, παρουσιάζει σε κατανοητή μορφή την πληροφορία που αφορά στην κατάσταση του δικτύου, δίνοντας ουσιαστικά τη δυνατότητα στον ελεγκτή της να έχει άμεση πληροφόρηση για ό,τι αφορά στο δίκτυο, τη θέση των διακοπών, τη φόρτιση των γραμμών, τα επίπεδα τάσης, τα επίπεδα παραγωγής από όλες τις μονάδες, την κατάσταση του εξοπλισμού, τη θερμοκρασία εντός των υποσταθμών κτλ. Μέσω αυτής καθίσταται δυνατός ο εντοπισμός προβληματικών καταστάσεων οι οποίες απειλούν την ομαλή λειτουργία του ηλεκτρικού δικτύου, και οι οποίες ταξινομούνται από το σύστημα βάσει της επικινδυνότητάς τους με τις πιο σοβαρές να αξιολογούνται ως ύψιστης προτεραιότητας, πράγμα το οποίο συμβάλλει στην όσο το δυνατό πιο άμεση ανταπόκριση. Τα συστήματα αυτά παρέχουν επιπρόσθετα και τη δυνατότητα ελέγχου και τηλεχειρισμού του εξοπλισμού που βρίσκεται στους υποσταθμούς, πράγμα το οποίο σε πολλές περιπτώσεις έχει ως αποτέλεσμα την αποκατάσταση μιας βλάβης χωρίς να χρειαστεί φυσική παρουσία τεχνικού στον υποσταθμό που αντιμετώπισε το πρόβλημα. Ένα ολοκληρωμένο σύστημα SCADA συνεργάζεται πάντα με ένα Σύστημα Διαχείρισης Ενέργειας (Energy Management System -EMS). Το Σύστημα Διαχείρισης Ενέργειας αποτελείται στην πραγματικότητα από ένα σύνολο εφαρμογών οι οποίες έχουν ως στόχο τους τη βελτιστοποίηση της διαδικασίας παραγωγής και μεταφοράς, ώστε να είναι όσο το δυνατό πιο αποδοτική, ασφαλής και οικονομική. Ένα τέτοιο σύστημα είναι υπεύθυνο για την πρόβλεψη διακύμανσης ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας για την επόμενη μέρα, πρόβλεψη η οποία γίνεται εφικτή βάσει ενός ιστορικού ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας σε μέρες συγκρίσιμες με την αυριανή (π.χ. μέρες με τις ίδιες καιρικές συνθήκες, την ίδια εποχή, στις ίδιες ώρες). Μετά την πρόβλεψη, το σύστημα οφείλει να προχωρήσει στην εισήγηση του καλύτερου τρόπου αξιοποίησης των μονάδων παραγωγής, βάσει της πρόβλεψης ζήτησης και βάσει της πιο συμφέρουσας οικονομικά λύσης. Παράλληλα, η δυνατότητα προσομοίωσης της κατάστασης του δικτύου σε περίπτωση αποσύνδεσης εξοπλισμού προκειμένου να λαμβάνονται μέτρα πριν από προγραμματισμένες ενέργειες, εμπίπτει επίσης στις δυνατότητες ενός Συστήματος Διαχείρισης Ενέργειας.⁴



Εικόνα 2: Λειτουργίες ενός συστήματος SCADA⁵

1.1.2. Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα ενός Μικροδικτύου

Πλεονεκτήματα Μικροδικτύου

Τα αρκετά πλεονεκτήματα ενός μικροδικτύου έχουν ως εξής:

- Απόδοση ενέργειας: Η συνολική απόδοση της ενέργειας αυξάνεται με τις εφαρμογές συμπαραγωγής, που αποτελούν βασικό χαρακτηριστικό των μικροδικτύων. Έτσι, ενώ μέχρι τη δημιουργία των μικροδικτύων είχαμε μεγάλη κεντρική παραγωγή ισχύος και τοπική παραγωγή θερμότητας, με την δημιουργία των μικροδικτύων τόσο η παραγωγή ισχύος όσο και θερμότητας γίνεται τοπικά. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα η κατανάλωση της ενέργειας που βασίζεται σε ορυκτά καύσιμα να μειώνεται κατά το 1/3.
- Ελαχιστοποίηση της συνολικής κατανάλωσης ενέργειας
- Αύξημένη αξιοπιστία και προσαρμοστικότητα του συστήματος ενέργειας
- Υψηλή μείωση των απωλειών από μεταφορά της ηλεκτρικής ενέργειας, αφού η παραγωγή γίνεται τοπικά
- Οφέλη για το δίκτυο όπως δυνατότητα τοπικής παραγωγής, ελέγχου τάσης και συχνότητας
- Σε περιόδους αιχμής φορτίου αποτρέπει την κατάρρευση μειώνοντας το φορτίο του δικτύου
- Το μικροδίκτυο μπορεί να ενεργήσει για να μετριάσει το κόστος της ηλεκτρικής ενέργειας για τους χρήστες της, δημιουργώντας το σύνολο ή μέρος του ζητούμενου φορτίου
- Δίνει τη δυνατότητα μετάβασης σε plug-in ηλεκτρικά οχήματα και νέων επιλογών αποθήκευσης της ενέργειας

Και τα θετικά προς το περιβάλλον:

- Σημαντική μείωση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα επιτρέποντας τη χρήση ηλεκτρικών οχημάτων και νέων πηγών ενέργειας
- Τα μικροδίκτυα ενισχύουν την χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (ΑΠΕ)
- Οι επιπτώσεις από την χρήση μεγάλων γεωγραφικών εκτάσεων (για εγκαταστάσεις κτλ) αποφεύγονται

Μειονεκτήματα Μικροδικτύου

Το μικροδίκτυο έχει και αυτό τα μειονεκτήματά του άλλα προφανώς είναι πιο λίγα από τα πλεονεκτήματα και ούτε τόσο σημαντικά ώστε να τα καλύψουν. Αυτά είναι:

- Η τάση, η συχνότητα και η ισχύς της ποιότητας είναι τρεις κύριες παράμετροι που πρέπει να εξεταστούν και να ελέγχονται σε αποδεκτά επίπεδα, ενώ παράλληλα διατηρείται το ισοζύγιο ενέργειας και ισχύος
- Η ηλεκτρική ενέργεια πρέπει να αποθηκεύεται σε συστοιχίες μπαταριών, με αποτέλεσμα να απαιτείται αρκετός χώρος αλλά και συντήρηση
- Ο επανασυγχρονισμός με το κεντρικό δίκτυο παρουσιάζει δυσκολία
- Η τοποθέτηση αξιόπιστων διατάξεων προστασίας αποτελεί μια εκ των σημαντικότερων προκλήσεων σε ότι αφορά την λειτουργία ενός μικροδικτύου
- Θέματα όπως η αναμονή φορτίου και η ακριβής μέτρηση της ενέργειας(παραγόμενης και λαμβανόμενης από το δίκτυο) ίσως σταθούν εμπόδια στην ανάπτυξη των μικροδικτύων αρχικά
- Πρότυπα διασύνδεσης πρέπει να αναπτυχθούν για να εξασφαλιστεί η συνοχή. (Ωστόσο το IEEE P1547, ένα πρότυπο που προτείνεται από το Ινστιτούτο Ηλεκτρολόγων και Ηλεκτρονικών Μηχανικών καταλήγει στην πλήρωση αυτού του κενού)⁶

1.2. Έξυπνα δίκτυα

1.2.1. Ορίζοντας το έξυπνο δίκτυο

Έξυπνα δίκτυα γίνανε λόγο του ότι σε κάθε συσκευή του δικτύου πρόσθεσαν ανεξάρτητους μικροεπεξεργαστές. Τα έξυπνα δίκτυα (smart grids) χρησιμοποιούν στιβαρές δυο κατευθύνσεων επικοινωνίες, εξελιγμένους αισθητήρες (sensors) και ενεργοποιητές (actuators) καθώς και κατανεμημένους υπολογιστές για να βελτιώνουν την απόδοση, την αξιοπιστία και την ασφάλεια τροφοδοσίας ηλεκτρικής ενέργειας στον καταναλωτή. Η αυτοδιόρθωση (self healing) είναι μία προοπτική για αυτά τα δίκτυα και μελετάται.

Στα έξυπνα δίκτυα κάθε μονάδα του δικτύου έχει το δικό της ανεξάρτητο επεξεργαστή, με στιβαρό λειτουργικό σύστημα, που μπορεί να επικοινωνεί και να συνεργάζεται με τους άλλους επεξεργαστές σχηματίζοντας μία μεγάλη κατανεμημένη υπολογιστική πλατφόρμα. Η μελλοντική φιλοσοφία της προστασίας των μικροδικτύων ή έξυπνων δικτύων θα είναι πολύ διαφορετική από τη σημερινή που στηρίζεται στις δυνατότητες των ηλεκτρομηχανικών ηλεκτρονόμων.⁷

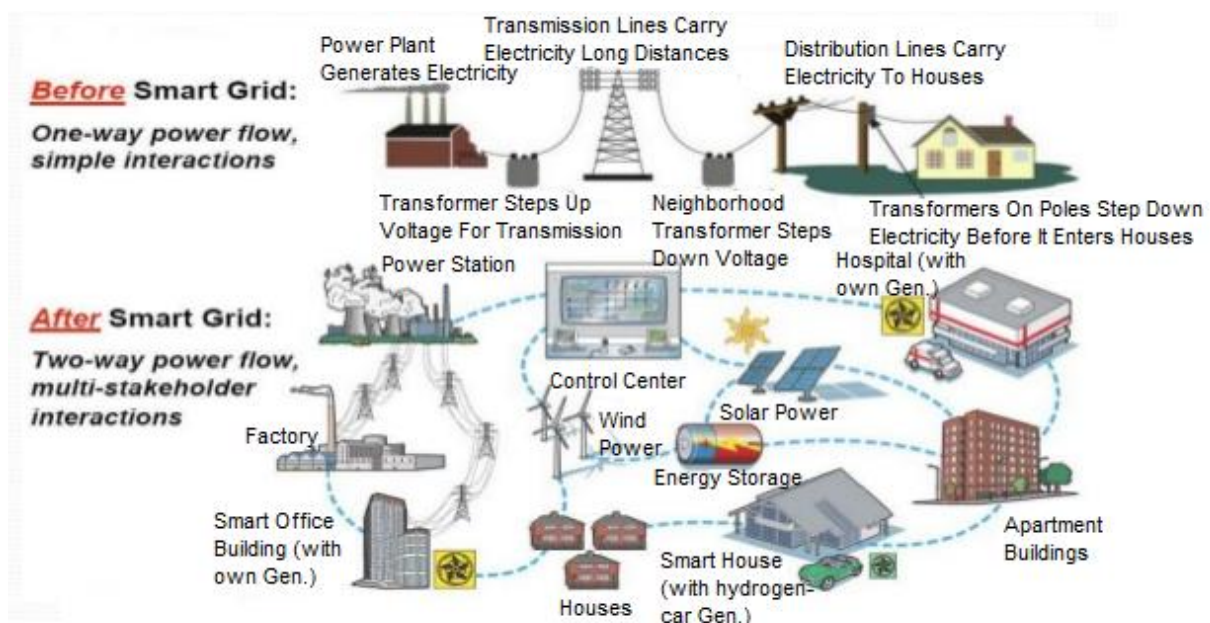
Παραδοσιακά ο όρος δίκτυο (grid) χρησιμοποιείται για ένα ηλεκτρικό σύστημα το οποίο μπορεί να υποστηρίξει όλες ή μερικές από τις παρακάτω λειτουργίες:

- παραγωγή ηλεκτρισμού
- μεταφορά ηλεκτρισμού
- διανομή ηλεκτρισμού
- έλεγχος του συστήματος

Τα παραδοσιακά δίκτυα ηλεκτρικής ενέργειας χρησιμοποιούνται για να μεταφέρουν ηλεκτρική ενέργεια από μερικούς μεγάλους παραγωγούς προς ένα μεγάλο αριθμό χρηστών - πελατών. Στον παρακάτω Πίνακα 1 και στην εικόνα 3 παρουσιάζεται μία σύντομη σύγκριση μεταξύ του υπάρχοντος ηλεκτρικού δικτύου και του Έξυπνου Δικτύου.⁸

Υπάρχον Ηλεκτρικό Δίκτυο	Έξυπνο Δίκτυο
Ηλεκτρομηχανολογικό	Ψηφιακό κατά το δυνατό
Επικοινωνία μονής κατεύθυνσης	Επικοινωνία διπλής κατεύθυνσης
Κεντριοκοιμημένη παραγωγή	Κατανεμημένη παραγωγή
Ελάχιστοι αισθητήρες	Πλήθος αισθητήρων
Χειροκίνητος έλεγχος	Αυτο έλεγχος
Χειροκίνητη επαναφορά	Αυτόματη επαναφορά
Λίγες επιλογές για τους πελάτες	Περισσότερες επιλογές για τους πελάτες

Πίνακας 1 : Σύντομη σύγκριση του υπάρχοντος ηλεκτρικού δικτύου με το έξυπνο δίκτυο⁹



Εικόνα 3 : Παραδοσιακό ηλεκτρικό δίκτυο και το έξυπνο δίκτυο

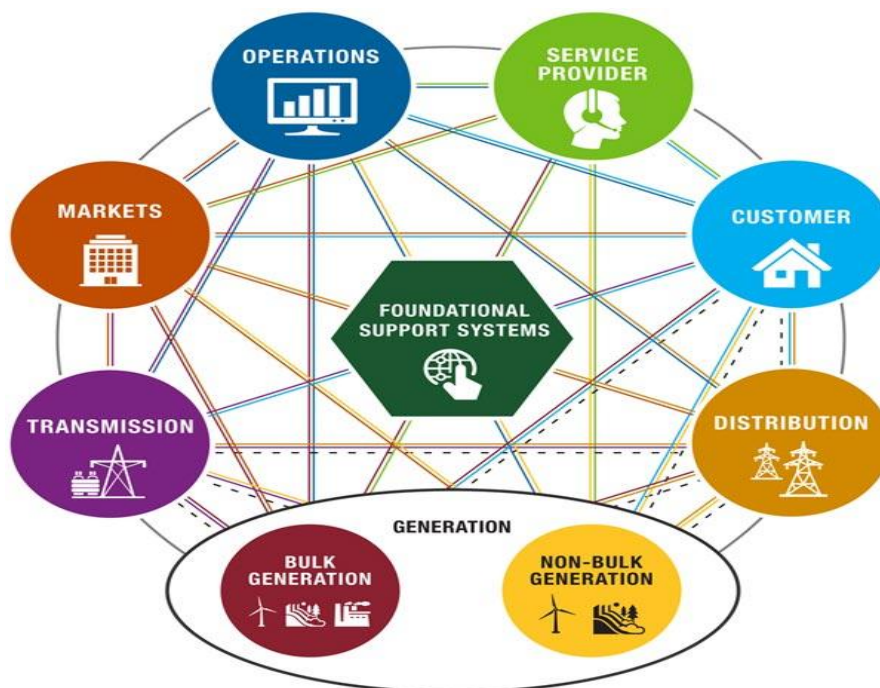
1.2.2. Η αρχιτεκτονική ενός έξυπνου δικτύου

Υπάρχουν αρκετοί τρόποι με τους οποίους μπορεί κανείς να περιγράψει ένα Έξυπνο Δίκτυο. Ένας τρόπος ο οποίος αξιοποιείται συχνά αφορά στην απεικόνιση του Έξυπνου Δικτύου ως ενός συνόλου από οντότητες οι οποίες επικοινωνούν μεταξύ τους. Ο τρόπος αυτός όπως προτάθηκε για πρώτη φορά από τον οργανισμό NIST, προσφέρει μια αφαιρετική απεικόνιση του Έξυπνου Δικτύου σε υψηλό επίπεδο, χωρίζοντάς το σε επτά συνεργαζόμενους τομείς-δίκτυα κάθε ένα από τα οποία περιλαμβάνει μια ή περισσότερες οντότητες - συσκευές, συστήματα ή προγράμματα (όπως π.χ. smart meters, συστήματα SCADA κτλ..) τα οποία ανταλλάσσουν πληροφορίες και λαμβάνουν αποφάσεις για την εξασφάλιση της εύρυθμης λειτουργίας του. Όπως φαίνεται και στην εικόνα 4 οι επτά τομείς στους οποίους μπορεί να χωριστεί ένα Έξυπνο Δίκτυο είναι οι Πελάτες, οι Αγορές, οι Πάροχοι Υπηρεσιών, οι Λειτουργίες, η Παραγωγή, η Μεταφορά και η Διανομή. Ακολουθεί μια περιγραφή των οντοτήτων τις οποίες περιλαμβάνει κάθε τομέας του μοντέλου.

1. **Πελάτες** : Τομέας που περιλαμβάνει τόσο τους καταναλωτές όσο και τις συσκευές που αυτοί διαθέτουν για να παράγουν, να αποθηκεύουν και να διαχειρίζονται την ενέργεια. Τυπικά αναφερόμαστε σε τρεις τύπους πελατών. Πελάτες του δικτύου με σκοπό την οικιακή χρήση ηλεκτρισμού, πελάτες με σκοπό την εμπορική χρήση και πελάτες με σκοπό τη βιομηχανική χρήση
2. **Αγορές** : Τομέας που περιλαμβάνει τους λειτουργούς και τους συμμετέχοντες στην αγορά ενέργειας
3. **Πάροχοι Υπηρεσιών** : Τομέας που αφορά στους οργανισμούς οι οποίοι προσφέρουν υπηρεσίες παροχής ηλεκτρικής ενέργειας σε πελάτες αλλά και παρόχους άλλων υπηρεσιών
4. **Λειτουργίες** : Τομέας που έχει να κάνει με τους διαχειριστές της διακίνησης ηλεκτρικής ενέργειας μεταξύ δικτύων
5. **Παραγωγή** : Τομέας που περιλαμβάνει το σύνολο των γεννητριών και ηλεκτροπαραγωγών σταθμών που παράγουν ενέργεια σε μεγάλες ποσότητες και τις μονάδες αποθήκευσης ενέργειας για διάθεση σε κατοπινό στάδιο

6. **Μεταφορά** : Τομέας που αναφέρεται στην υποδομή για μεταφορά ηλεκτρικής ενέργειας σε μακρινές αποστάσεις. Ενδεχομένως να περιλαμβάνει μέσα για την αποθήκευση ή παραγωγή ενέργειας κατά τόπους
7. **Διανομή** : Τομέας που έχει να κάνει με την υποδομή που υπάρχει για διανομή ηλεκτρικής ενέργειας από και προς πελάτες, ο οποίος ενδεχομένως να περιλαμβάνει και την αποθήκευση ενέργειας ή την παραγωγή της

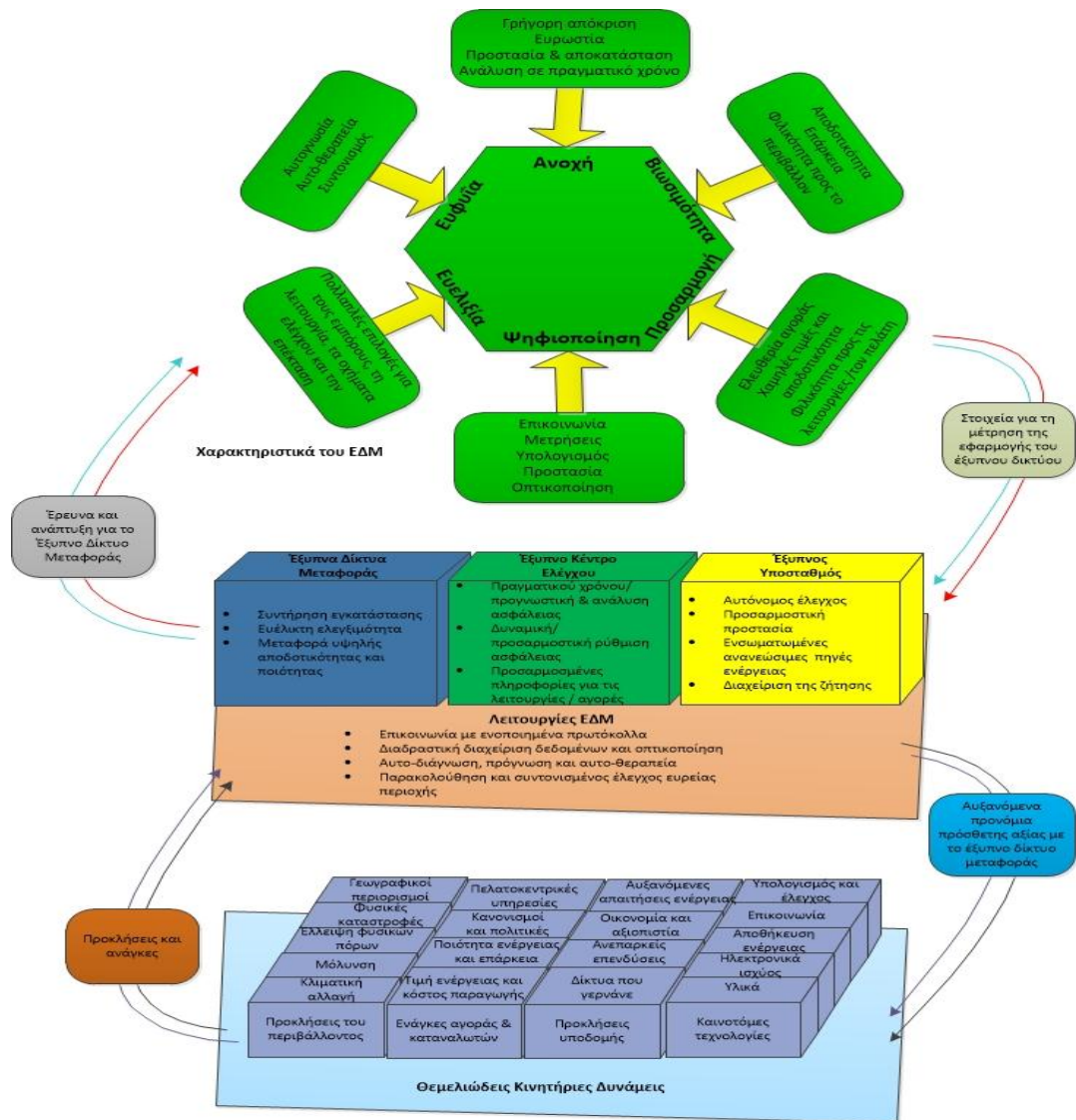
Γενικά οι οντότητες σε κάθε τομέα έχουν κοινούς στόχους και για να τους επιτύχουν πρέπει να συνεργαστούν τόσο μεταξύ τους όσο και με οντότητες άλλων τομέων. Στο σημείο αυτό σημειώνουμε ότι ο διαχωρισμός των οντοτήτων σε τομείς δεν είναι απόλυτος καθότι σε πολλές περιπτώσεις μια οντότητα μπορεί να επιτελεί λειτουργία βασισμένη σε πληροφορία από άλλους τομείς, π.χ. το δίκτυο διανομής αφορά και τον τομέα Διανομής αλλά και τον τομέα Λειτουργιών (αφού εκεί εμπίπτουν τα συστήματα διαχείρισης δικτύων διανομής).¹⁰



Εικόνα 4 : Απεικόνιση ενός έξυπνου δικτύου ως ένα σύνολο οντοτήτων που αλληλεπιδρούν μεταξύ τους¹¹

1.2.3. Δίκτυο Μεταφοράς

Στην πλευρά του δικτύου μεταφοράς, παράγοντες όπως τεχνολογικές προκλήσεις για την υλικοτεχνική υποδομή (αυξανόμενη ζήτηση φορτίου και γρήγορα φθειρόμενα από το χρόνο συστατικά) και πρωτοποριακές τεχνολογίες (νέα υλικά, εξελιγμένα ηλεκτρονικά ισχύος και τεχνολογίες επικοινωνίας) οδηγούν την ανάπτυξη των έξυπνων δικτύων μεταφοράς. Το έξυπνο δίκτυο μεταφοράς όπως φαίνεται και παρακάτω στην εικόνα 5 μπορεί να θεωρηθεί ως ένα ολοκληρωμένο σύστημα το οποίο λειτουργικά αποτελείται από τρία αλληλεπιδρώντα στοιχεία: έξυπνα κέντρα ελέγχου, έξυπνα δίκτυα μεταφοράς ενέργειας και έξυπνους υποσταθμούς. Τα μελλοντικά έξυπνα κέντρα ελέγχου επιτρέπουν καινούρια χαρακτηριστικά, όπως διεξοδικές ικανότητες για ανάλυση, παρακολούθηση και οπτικοποίηση - απεικόνιση. Τα έξυπνα δίκτυα μεταφοράς ενέργειας χτίζονται ιδεατά στην υπάρχουσα υποδομή μεταφοράς ενέργειας. Όμως, η εμφάνιση νέων τεχνολογιών (για παράδειγμα νέα υλικά, ηλεκτρονικά, αισθητήρες, επικοινωνία, υπολογισμός και επεξεργασία σημάτων) μπορεί να βοηθήσει στη βελτίωση της χρησιμοποίησης της ενέργειας, στη βελτίωση της ποιότητας της ενέργειας και στην ασφάλεια και την αξιοπιστία του συστήματος, οδηγώντας έτσι στην ανάπτυξη μίας νέας αρχιτεκτονικής για τα δίκτυα μεταφοράς. Τα μείζονα χαρακτηριστικά ενός έξυπνου υποσταθμού περιλαμβάνουν ψηφιοποίηση, αυτονομία και αυτοϊαση. Αν ένας έξυπνος υποσταθμός υποστηρίζει αυτά τα χαρακτηριστικά, μπορεί να ανταποκριθεί γρήγορα και να παρέχει αυξημένη λειτουργική ασφάλεια. Εν κατακλείδι, με μία ψηφιοποιημένη πλατφόρμα στο έξυπνο δίκτυο μεταφοράς είναι πιθανό να υπάρξει περισσότερη ευελιξία στον έλεγχο και τη λειτουργία και ενσωματωμένη νοημοσύνη.



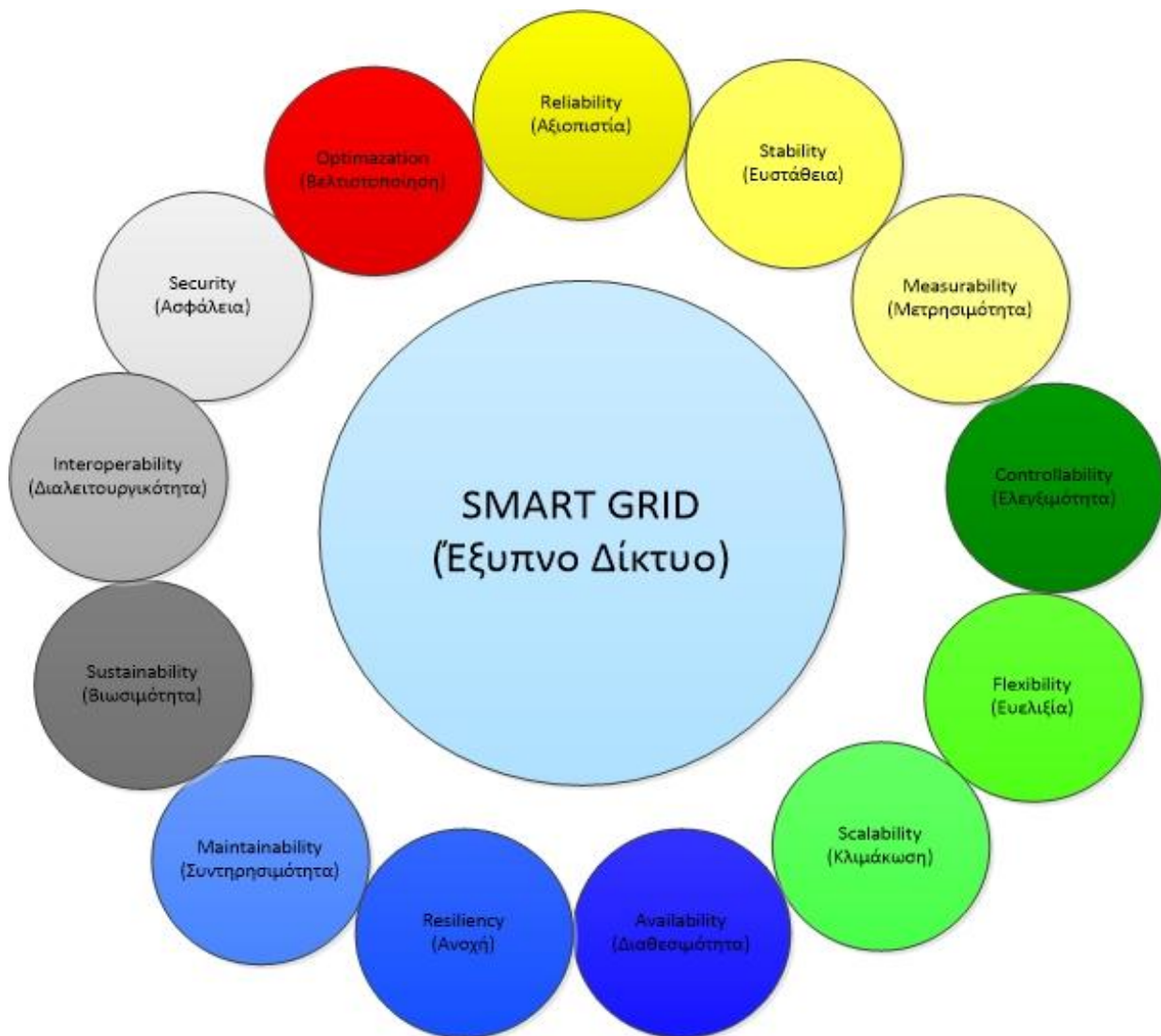
Εικόνα 5 : Μελλοντικό έξυπνο δίκτυο μεταφοράς

1.2.4. Δίκτυο Διανομής

Για το δίκτυο διανομής, το πιο σημαντικό πρόβλημα είναι το πώς θα διανεμηθεί η ενέργεια ώστε να καλυφθούν οι ανάγκες των τελικών χρηστών καλύτερα. Όμως, καθώς πολλές καταναλωμένες γεννήτριες θα ενσωματωθούν στο Έξυπνο Δίκτυο, από τη μία μεριά, θα αυξηθεί η ευελξία του συστήματος για παραγωγή ενέργειας και από την άλλη ο έλεγχος της ροής της ενέργειας θα γίνει περισσότερο πολύπλοκος, κάνοντας έτσι αναγκαία την αναζήτηση εξυπνότερων μηχανισμών διανομής ενέργειας.¹²

1.2.5. Χαρακτηριστικά των έξυπνων δικτύων

Στην εικόνα 6 παρουσιάζονται τα βασικά χαρακτηριστικά που πρέπει να έχει ένα έξυπνο δίκτυο, τα οποία αναλύονται παρακάτω. Όπως φαίνεται, διασυνδέονται με μια στενή σχέση αιτίου-αποτελέσματος το ένα με το άλλο και αποτελούν προκλήσεις που θα πρέπει να ληφθούν σοβαρά υπ' όψη κατά το σχεδιασμό ενός έξυπνου δικτύου.



Εικόνα 6: Χαρακτηριστικά και απαιτήσεις ενός Έξυπνου δικτύου

Αξιοπιστία και Ευστάθεια (Reliability and Stability)

Με τον όρο αξιοπιστία αναφερόμαστε στην ικανότητα ενός συστήματος ή και στοιχείων αυτού να εκτελούν τις απαιτούμενες λειτουργίες υπό δεδομένες συνθήκες για καθορισμένο χρονικό διάστημα. Η αξιοπιστία έχει ένα χαρακτηριστικό ανθεκτικότητας. Σε

γενικές γραμμές, ερμηνεύει τη λειτουργική υγεία και το βαθμό μεταβλητότητας όλου του συστήματος. Επιπλέον, παρουσιάζει την κατάσταση υψηλής συνοχής, επαναληψιμότητας και φερεγγυότητας που το έξυπνο δίκτυο θα διατηρήσει σύμφωνα με αποτελεσματικές μετρήσεις και εκτιμήσεις. Με την αξιοπιστία απαιτούμε οι βλάβες του συστήματος να συμβαίνουν με μικρή πιθανότητα, ενώ σε περίπτωση που κάτι πάει στραβά, η επίπτωσή του στο συνολικό σύστημα να είναι ελάχιστη και το δυσλειτουργικό στοιχείο να αντικατασταθεί ή να επιδιορθωθεί όσο το δυνατόν συντομότερα. Η αξιοπιστία εξαρτάται από την επίτευξη άλλων καθοριστικών παραγόντων, που περιγράφονται στις παρακάτω υποενότητες. Η ευστάθεια ενός συστήματος καθορίζει το επίπεδο αξιοπιστίας που το χαρακτηρίζει. Το έξυπνο δίκτυο πρέπει να εγγυάται σταθερότητα της τάσης και του ρεύματος, να περιορίζει τη ζήτηση αιχμής και τη μεταβλητότητα του φορτίου, με την εφαρμογή κατανεμημένης ηλεκτροπαραγωγής (Distributed Generation - DG) και αποθήκευση ενέργειας σε μεγάλες εκτάσεις, και να αποκλείει διάφορα ανεπιθύμητα περιστατικά.

Μετρησιμότητα και Ελεγχιμότητα (Measurability and Controllability)

Η διακοπή υπηρεσιών και οι βλάβες είναι περιστατικά σοβαρά και υπάρχει μεγάλη πιθανότητα να συμβούν. Είναι σημαντικό να είναι μετρήσιμα και ελέγξιμα με τρόπο ώστε να μπορούν να πραγματοποιηθούν σκόπιμες εκτιμήσεις και αξιολογήσεις. Το έξυπνο δίκτυο είναι σε θέση να εντοπίζει και να διορθώνει λειτουργικές διαταραχές μέσω δυναμικών μετρήσεων και παρακολούθηση πραγματικού χρόνου. Παράλληλα, θα πρέπει να υπάρχει κάποιος βαθμός παρατηρησιμότητας και διαφάνειας με στόχο την αποτελεσματική ανάλυση, διαχείριση, καθώς και την πρόβλεψη και αντίδραση στις μεταβαλλόμενες καταστάσεις του δικτύου. Ο πλούτος πληροφοριών των δεδομένων, που ουσιαστικά καθιστά το δίκτυο έξυπνο πρέπει επίσης να είναι μετρήσιμος, παρατηρήσιμος και διαχειρίσιμος.

Ευελιξία και Κλιμάκωση (Flexibility and Scalability)

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

Ζήτησης (Demand Side Management - DSM), το μοντέλο ποιότητας και αξιοπιστίας, τη διαχείριση προβλημάτων και τη διαχείριση ασφάλειας. Η ευελιξία επιτρέπει στο έξυπνο δίκτυο να παρέχει πολλαπλές εναλλακτικές διαδρομές για τη ροή της ενέργειας και των δεδομένων, ενώ επίσης παρέχει επιλογές για να είναι εφικτός ο έλεγχος και η λειτουργία όποτε χρειάζεται. Θα λέγαμε ότι παρουσιάζει τέσσερις πτυχές: α) επεκτασιμότητα για μελλοντική ανάπτυξη με τη διείσδυση καινοτόμων και διαφορετικών τεχνολογιών παραγωγής, β) προσαρμοστικότητα στις ποικίλες γεωγραφικές τοποθεσίες και τα κλίματα, γ) πολλαπλές στρατηγικές ελέγχου για το συντονισμό των αποκεντρωμένων συστημάτων ελέγχου ανάμεσα στους υποσταθμούς και τα κέντρα ελέγχου, δ) απρόσκοπτη συμβατότητα με τα διάφορα στύλ λειτουργίας της αγοράς και plug n' play ικανότητα να φιλοξενήσει σταδιακή αναβάθμιση, με συστατικά υλικού και λογισμικού, της τεχνολογίας. Η ευελιξία μπορεί ακόμη να εφαρμοστεί σε ένα σύνολο προτύπων (standards) που λειτουργούν στο δίκτυο, συμπεριλαμβανομένων των ANSI, IEC, PLC, wireless M-Bus και ZigBee, ούτως ώστε να είναι διαθέσιμα και αναβαθμίσιμα σε όλο τον κόσμο.

Διαθεσιμότητα (Availability)

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

Ανθεκτικότητα (Resiliency)

Ο βαθμός της ανθεκτικότητας καθορίζει πόσο πραγματικά αξιόπιστο είναι το έξυπνο δίκτυο όταν συμβαίνουν διάφορα περιστατικά. Γενικά, το δίκτυο θα πρέπει να είναι σε θέση να παρέχει ηλεκτρική ενέργεια στους πελάτες με ασφάλεια και αξιοπιστία παρά τους

οποιοσδήποτε εσωτερικούς ή εξωτερικούς κινδύνους. Ειδικά από τη σκοπιά της ασφάλειας, η ανθεκτικότητα αναπαριστά την ικανότητα ανάκτησης και αποκατάστασης μετά από τις οποιεσδήποτε διαταραχές ή δυσλειτουργίες, μέσω μιας εύρωστης διαδικασίας γρήγορης απόκρισης. Η ικανότητα αυτή της αυτό-θεραπείας καθιστά το δίκτυο ικανό να επαναπροσδιορίζεται δυναμικά ώστε να ανακάμψει από επιθέσεις, διακοπές ρεύματος, φυσικές καταστροφές, κακόβουλες δραστηριότητες και βλάβες των κατασκευαστικών στοιχείων του. Τα ευάλωτα ηλεκτρικά στοιχεία είναι πιθανότατα οι γραμμές μεταφοράς και οι σταθμοί, οι μεγάλες μονάδες παραγωγής ενέργειας, καθώς και οι πυρηνικοί σταθμοί με διαρροή. Σχέδια έκτακτης ανάγκης απαιτούνται για την αντιμετώπιση των παραπάνω δυσμενών περιπτώσεων.

Δυνατότητα Συντήρησης (Maintainability)

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

Βιωσιμότητα (Sustainability)

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

Διαλειτουργικότητα (Interoperability)

Η αποδοτικότητα και αποτελεσματικότητα της συνολικής επίδοσης του συστήματος θα εξαρτηθεί κατά κύριο λόγο από τη διαλειτουργικότητα που παρουσιάζει η υποδομή. Τα κατασκευαστικά στοιχεία του έξυπνου δικτύου προϋποθέτουν την ύπαρξη ενός συνόλου κοινών και διαλειτουργικών προτύπων για τη διασύνδεση τόσο της ενέργειας όσο και των επικοινωνιών. Αυτή η δυνατότητα απαιτείται κατά την ενσωμάτωση και σύγκλιση διαφόρων τεχνολογιών και πρωτοκόλλων επικοινωνιών, προκειμένου να γίνονται κατανοητά το ένα στο άλλο και να παρέχουν αδιάλειπτη μεταφορά ενέργειας και δεδομένων. Αδέξια αλληλεπίδραση και ενοποίηση μεταξύ των ποικιλόμορφων μερών θα επιβράδυνε το χρόνο απόκρισης και θα υποβάθμιζε τη λειτουργία του συνολικού συστήματος καθώς και την αποδοτικότητα.

Ασφάλεια (Security)

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

Βελτιστοποίηση (Optimization)

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

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

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

Ψηφιοποίηση (Digitalization)

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

Ευφυΐα (Intelligence)

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

Προσαρμογή (Customization)

Ο σχεδιασμός του έξυπνου δικτύου μεταφοράς θα είναι, για την ευκολία των φορέων εκμετάλλευσης, προσαρμοσμένος στον πελάτη, χωρίς να χάνει τις λειτουργίες του και τη διαλειτουργικότητά του. Επίσης, θα εξυπηρετεί τους πελάτες παρέχοντας περισσότερες επιλογές κατανάλωσης ενέργειας για έναν υψηλότερο λόγο ποιότητας/τιμής. Το έξυπνο δίκτυο θα απελευθερώσει περαιτέρω την αγορά ενέργειας με την αύξηση της διαφάνειας και τη βελτίωση του ανταγωνισμού για τους συμμετέχοντες στην αγορά.¹³

1.3. SCADA

1.3.1. Τι είναι SCADA

Ο όρος SCADA είναι ακρωνύμιο του όρου Supervisory Control And Data Acquisition, που σημαίνει Εποπτικός Έλεγχος και Συλλογή Δεδομένων. Ένα τέτοιο σύστημα επιτρέπει στον χειριστή να εποπτεύει και να ελέγχει διεργασίες οι οποίες βρίσκονται κατανεμημένες μεταξύ διαφόρων απομακρυσμένων σημείων. Όπως φαίνεται και από την ονομασία του, ένα σύστημα SCADA δεν είναι ένα πλήρες σύστημα ελέγχου, αλλά εστιάζει κυρίως στην εποπτεία. Ως τέτοιο, είναι καθαρά ένα πακέτο λογισμικού, το οποίο τοποθετείται πάνω στο υλικό με το οποίο αλληλεπιδρά. Η διαδικασία λειτουργίας ενός τέτοιου συστήματος είναι η συλλογή των πληροφοριών, η αποστολή τους σε ένα κεντρικό σημείο επεξεργασίας, η εκτέλεση της απαραίτητης ανάλυσης και ελέγχου και τέλος η παρουσίαση της πληροφορίας σε διάφορες οθόνες χειρισμού και εποπτείας, σε πραγματικό χρόνο ή κατ' απαίτησιν. Ο έλεγχος μπορεί να είναι αυτόματος, ή να ενεργοποιείται κατόπιν εντολής του χειριστή. Ένα σύστημα SCADA επιτρέπει στους χειριστές να ελέγχουν και να παρατηρούν διαδικασίες με μεγάλη τοπολογική διανομή, από μια κεντρική τοποθεσία. Τα πλεονεκτήματα ενός SCADA γίνονται περισσότερο ορατά όταν μια διαδικασία ή ένα σύστημα καλύπτει μια μεγάλη γεωγραφική έκταση. Αντί να αποστέλλεται προσωπικό σε διάφορα σημεία για μετρήσεις και ρυθμίσεις, η εποπτεία και ο έλεγχος όλου του συστήματος μπορούν να πραγματοποιηθούν από μια τοποθεσία, και κυρίως με μεγάλες ταχύτητες απόκρισης.

1.3.2. Βασικά χαρακτηριστικά των SCADA

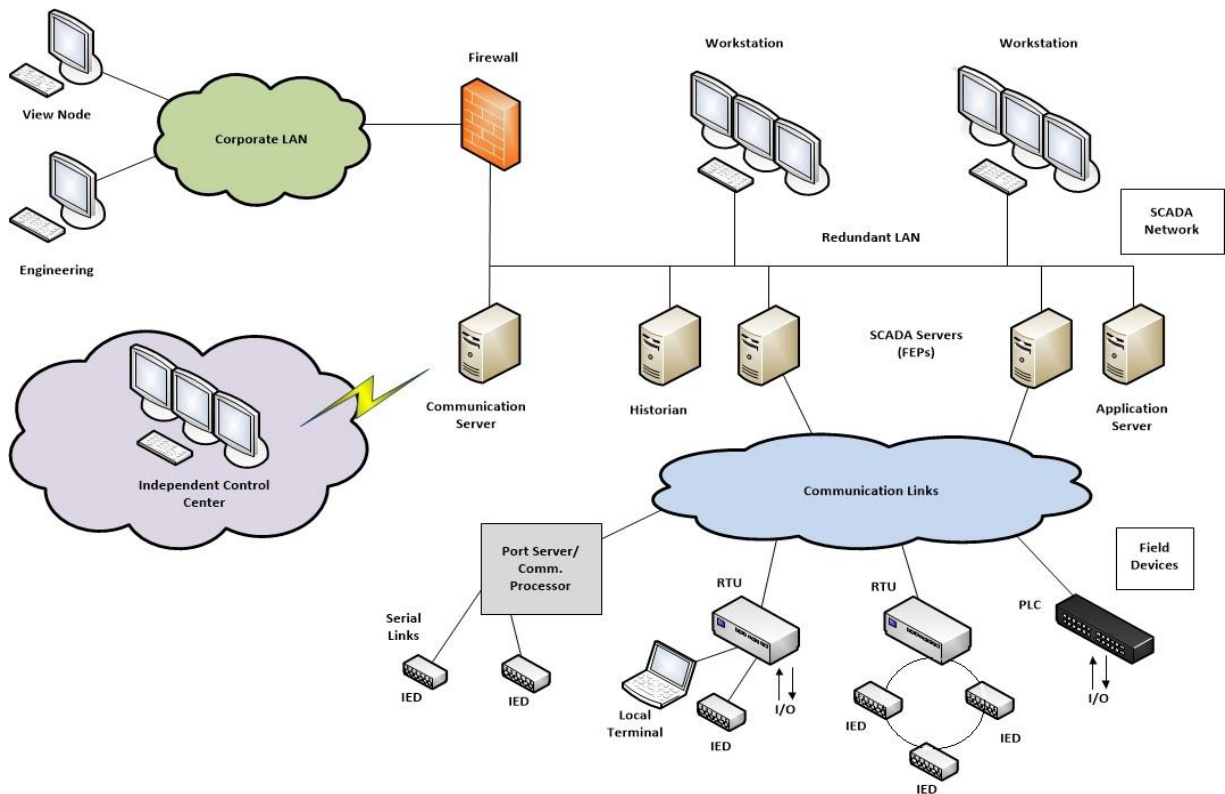
Εν συντομία τα βασικά χαρακτηριστικά των SCADA είναι:

- 1) Εξωτερική πρόσβαση. Η εξωτερική πρόσβαση παρέχει τη φυσική σύνδεση με το περιβάλλον. Μέσα διασύνδεσης συμπεριλαμβάνουν σειριακές επικοινωνίες (RS232,RS485), πρόσβαση με PC κάρτες (AB DH+,ARCNET, Modbus Plus) ή απευθείας αναλογική / ψηφιακή I/O (Input/Output - Είσοδο / Έξοδο). Πιο σύγχρονες συνδέσεις είναι τα fieldbuses, όπως τα DeviceNet, Profibus ή ακόμα τα δίκτυα Ethernet, ή ο Ενιαίος Σειριακός Δίαυλος (Universal Serial Bus – USB).
- 2) Ενημέρωση για κρίσιμες τιμές μεταβλητών και συμβάντα.
- 3) Καταγραφή και παρουσίαση δεδομένων.
- 4) Αποστολή σημάτων ελέγχου στον απομακρυσμένο εξοπλισμό.
- 5) Μηχανή υπολογισμών. Αυτό επιτρέπει στο σύστημα να υπολογίζει υπόλοιπα, μέσες τιμές, στατιστικά και ότι πληροφορίες μπορεί να πηγάζουν από τα δεδομένα που παρέχουν οι διεργασίες.
- 6) Δικτυακή πρόσβαση, δηλαδή δυνατότητα να γίνεται εποπτεία και έλεγχος από απομακρυσμένα σημεία.
- 7) Πρόσβαση σε Βάσεις Δεδομένων. Πολλά πακέτα SCADA προσφέρουν απευθείας καταχώρηση και ανάκτηση δεδομένων από κεντρικούς διακομιστές όπως Oracle, Sybase, Microsoft SQL Server και γενικά όλες τις συμβατές με ODBC ή ADO βάσεις δεδομένων
- 8) Κατά περίπτωση προγραμματισμός. Τα διάφορα πακέτα επιτρέπουν διάφορα επίπεδα διαμόρφωσης κατά περίπτωση. Μερικά προμηθεύουν βιβλιοθήκες C ή επιτρέπουν την προσθήκη modules, άλλα επιτρέπουν την εκτέλεση scripts σε VBA (Visual Basic for Applications) ή Java, ενώ άλλα επιτρέπουν στον χειριστή να θέτει triggers μέσω από το σύστημα SCADA που να καλούν και να εκτελούν άλλα προγράμματα.¹⁴

1.3.3. Τι περιέχει ένα σύστημα ελέγχου SCADA

Συστατικά Ελέγχου:

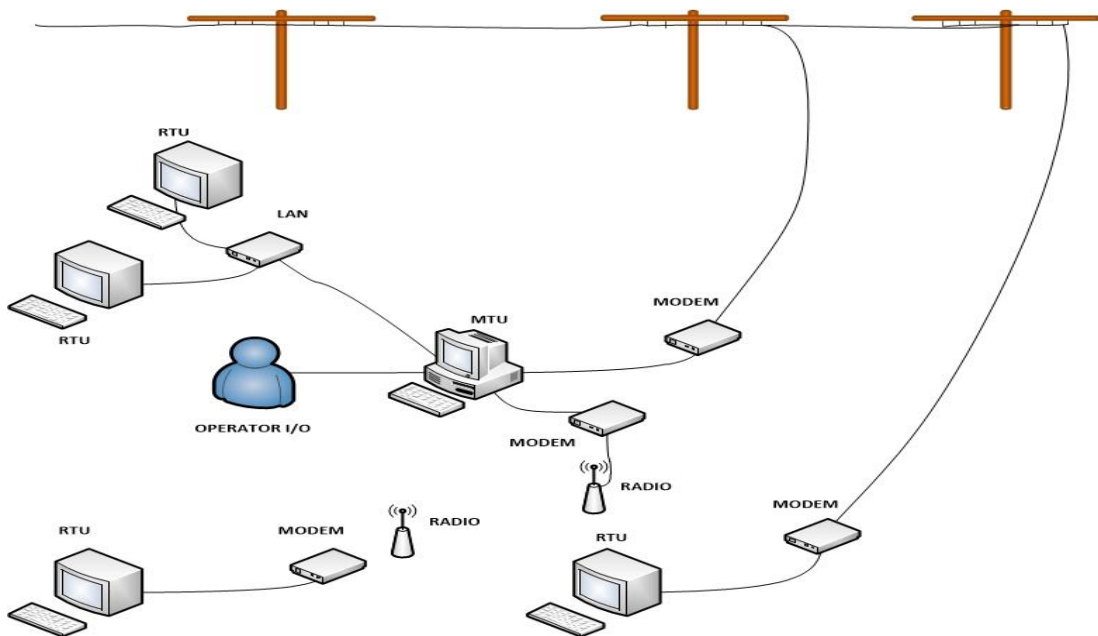
1. Διακομιστής Ελέγχου
2. Διακομιστής SCADA ή Κύρια Μονάδα Σταθμού (MTU)
3. Απομακρυσμένη Μονάδα Σταθμού(RTU)
4. Ελεγκτής Προγραμματιζόμενης Λογικής(PLC)
5. Ευφυείς Ηλεκτρονικές Συσκευές (IED)
6. Διεπαφή Ανθρώπου-Μηχανής(HMI)
7. Ιστορικό Δεδομένων
8. Διακομιστής Εισόδου / Εξόδου (IO)
9. Fieldbus Δίκτυο
10. Δίκτυο Ελέγχου
11. Δρομολογητές Επικοινωνίας
12. Τείχος Προστασίας
13. Μόντεμ
14. Σημεία Απομακρυσμένης Πρόσβασης¹⁵



Εικόνα 7 : Παράδειγμα αρχιτεκτονικής SCADA

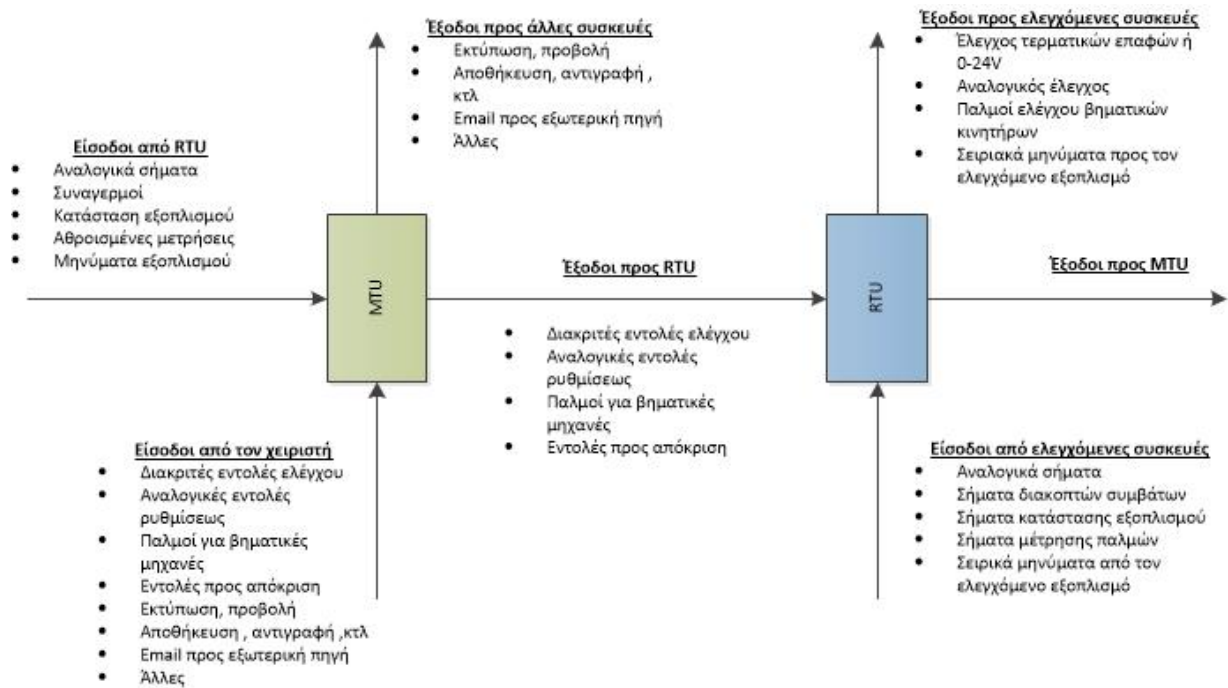
1.3.4. Περιγραφή συστημάτων SCADA

Εκτός από το λογισμικό εποπτείας και ελέγχου, από άποψη υλικοτεχνικής υποδομής, ένα σύστημα SCADA αποτελείται, και από μια συλλογή αισθητηρίων και διατάξεων μετατροπής, που είναι συνδεδεμένα στις απομακρυσμένες τερματικές μονάδες (Remote Terminal Units – RTUs). Τα RTUs με τη σειρά τους επικοινωνούν με ένα κεντρικό υπολογιστή ή κεντρική τερματική μονάδα (Master Terminal Unit - MTU) μέσω καλωδίου ή ασύρματα στην οποία φιλοξενείται ο βασικός πυρήνας του συστήματος, το λογισμικό του συστήματος SCADA όπως φαίνεται και στην παρακάτω εικόνα 8 . Η σχέση μεταξύ MTU και RTUs είναι ανάλογη με τη σχέση master – slave.



Εικόνα 8: Επικοινωνία των RTU με την κεντρική μονάδα MTU

Η επικοινωνία μεταξύ της MTU και των RTUs μπορεί να είναι ενσύρματη (σειριακή επικοινωνία RS232, RS485, δίκτυα Profibus, Ethernet, τηλεφωνική σύνδεση, Internet) ή και ασύρματη (ραδιοκύματα, δορυφορική σύνδεση, μικροκύματα). Οι πληροφορίες μεταφέρονται από τα RTUs στην MTU, όπου αφού επεξεργαστούν κατάλληλα καταγράφονται και προβάλλονται σε υπολογιστές που φιλοξενούν HMI (Human-Machine Interface) λογισμικό όπου πραγματοποιείται ο μη αυτόματος έλεγχος και η εποπτεία των διεργασιών. Τυχόν αυτόματα σήματα ελέγχου που παράγονται στην MTU αποστέλλονται πίσω στα RTUs, τα οποία με τη σειρά τους ενεργοποιούν τις διατάξεις μετατροπής και τους ελεγκτές των μηχανών.

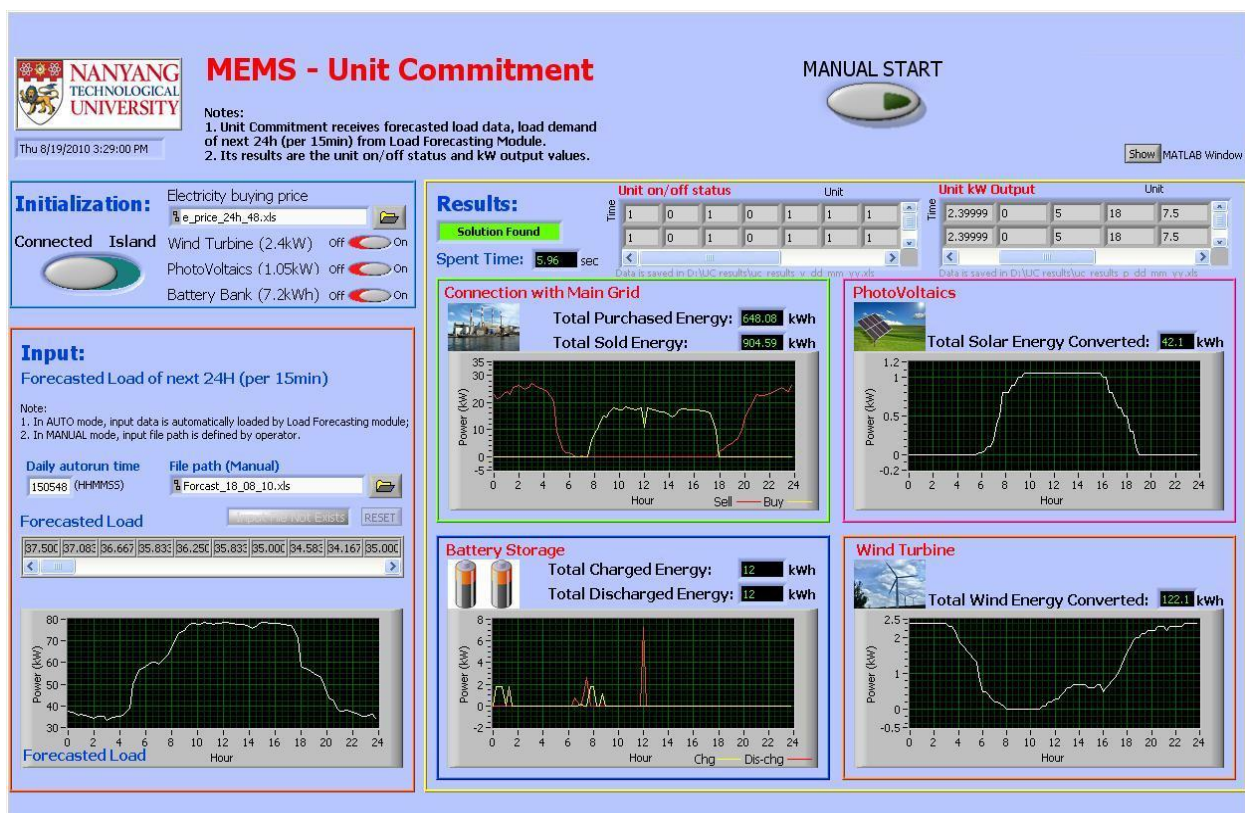


Εικόνα 9: Λειτουργίες εισόδων και εξόδων των MTU και RTU

Τα SCADA συστήματα πρωτοεμφανίστηκαν την δεκαετία του 1960 σε mainframe και mini συστήματα. Αργότερα μεταφέρθηκαν σε PCs (Personal Computers – Προσωπικούς Υπολογιστές), όπου έτρεχαν κυρίως σε DOS, VMS και UNIX. Τα σύγχρονα συστήματα SCADA έχουν μεταφερθεί σε διακομιστές (Servers) Windows NT/2000 PC για την συλλογή και επεξεργασία των δεδομένων και σταθμούς εργασίας Windows NT/2000 Workstation ή ακόμα και Windows 9x/Me/XP για την οπτική παρουσίαση και την εποπτεία των διεργασιών, ενώ οι αρχικές μετρήσεις, καθώς και ο αυτόματος έλεγχος εκτελείται σε PLCs (Programmable Logic Controllers – Προγραμματιζόμενοι Λογικοί Ελεγκτές). Τα συστήματα αυτά επιτρέπουν στους μηχανικούς, τους επόπτες, τους managers και τους χειριστές να παρακολουθούν και να αλληλεπιδρούν με τις διεργασίες της παραγωγής μέσω των οθονών εποπτείας του SCADA.

1.3.5. Συστήματα HMI

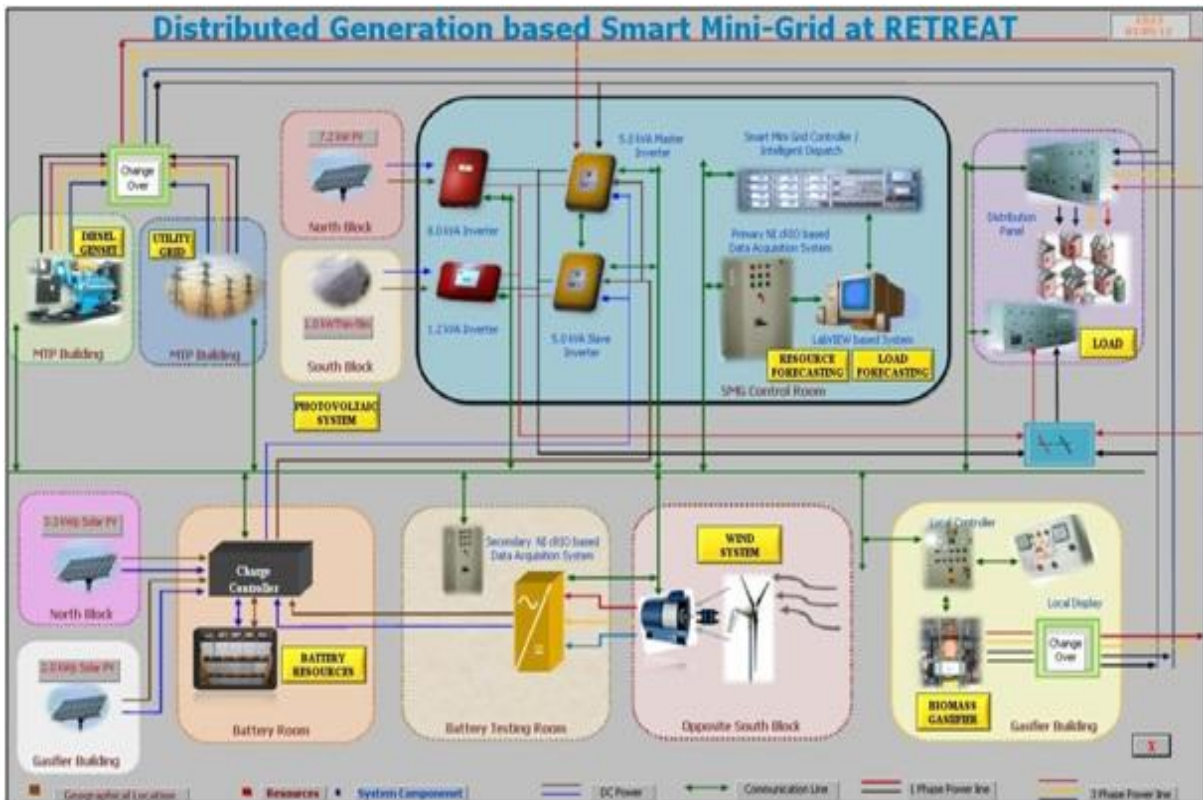
Τα συστήματα HMI (Human-Machine Interface) αποτελούν το μέρος της λειτουργίας των SCADA που αλληλεπιδρά με τον τελικό χρήστη, δηλαδή των χειριστή του συστήματος. Συνήθως, αποτελούνται από μια οπτική απεικόνιση της διεργασίας, πάνω στην οποία εμφανίζονται τιμές μεταβλητών, καταστάσεις ή και διαγράμματα. Ακόμη τα συστήματα αυτά επιτρέπουν την κατ' απαίτηση εμφάνιση ιστορικών των μεταβλητών, ειδικών διαγραμμάτων και άλλα. Οι πληροφορίες αυτές αντλούνται από τη βάση δεδομένων του συστήματος SCADA, γι' αυτό όπως είναι κατανοητό τα συστήματα SCADA και HMI είναι αλληλένδετα συνδεδεμένα μεταξύ τους και για το λόγο αυτό συχνά δεν διαχωρίζονται. Στην πραγματικότητα βέβαια οι περισσότεροι κατασκευαστές συστημάτων SCADA ενσωματώνουν την δυνατότητα ανάπτυξης HMI εφαρμογών στις υπηρεσίες ή τα πακέτα SCADA τους. Η ουσία είναι όμως ότι μια εφαρμογή HMI μπορεί να κατασκευαστεί ανεξάρτητα από τον πυρήνα καταγραφής ενός SCADA ώστε να αντλεί πληροφορίες από αυτό και να το χρησιμοποιεί για να διεξάγει τον απαραίτητο έλεγχο.¹⁶



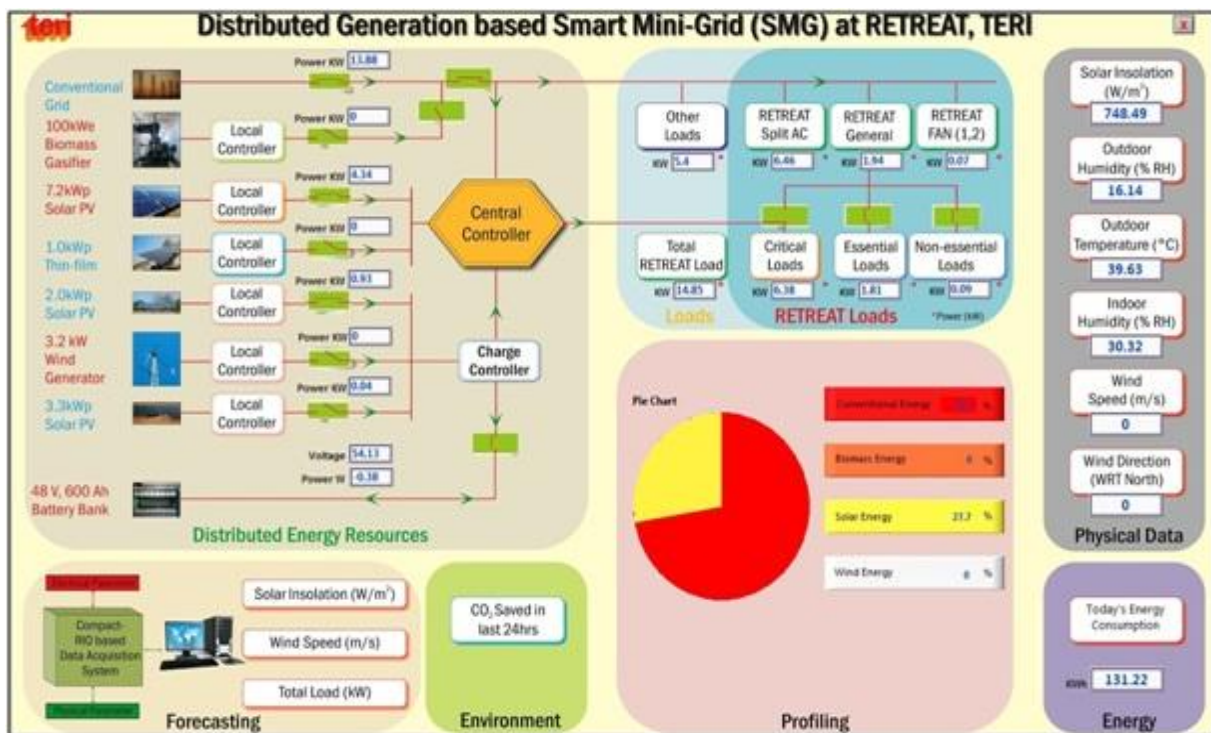
Εικόνα 10: HMI εφαρμογή χρησιμοποιώντας το LabView¹⁷

1.3.6. Εφαρμογές των συστημάτων SCADA στα μικροδίκτυα

Θα πρέπει να επισημανθεί ότι τα συστήματα SCADA διεισδύουν γοργά στο χώρο της ηλεκτρικής ενέργειας ερχόμενα να καλύψουν τις αυξημένες ανάγκες για την βέλτιστη αξιοποίηση των πηγών ενέργειας και ιδιαίτερα των ανανεώσιμων. Σημαντική εφαρμογή βρίσκουν στα μικροδίκτυα όπου στη πράξη εκτός από παρακολούθηση της λειτουργίας του μικροδικτύου παρεμβαίνουν ώστε να αξιοποιούνται όλες οι δυνατότητές του (αδιάλειπτη παροχή ισχύος με χρήση απομονωμένης λειτουργίας σε περίπτωση κατάρρευσης του δικτύου, αποθήκευση πλεονάζουσας ενέργειας, σύνδεση με το δίκτυο όταν η ισχύς του μικροδικτύου δεν επαρκεί). Προγραμματιστικά πακέτα που χρησιμοποιούνται από διάφορα πανεπιστήμια ανά τον κόσμο είναι το MatLab Simulink και το LabVIEW. Τα μικροδίκτυα αποτελούν σημαντικό τομέα εφαρμογών και διαρκώς αναπτύσσονται καινούριοι τρόποι για τον έλεγχο και τον συνδυασμό των πηγών ενέργειας. Τέτοιες εφαρμογές έχουν υλοποιηθεί σε διάφορα πανεπιστήμια παγκοσμίως όπως στα πανεπιστήμια California , Beijing , Carnegie Mellon . Αρχικά θα αναφερθεί η εφαρμογή του Ινστιτούτου Ενέργειας και Πηγών της Ινδίας και η δημιουργία ενός νέου τύπου μικροδικτύου που ονομάζεται SMG (Smart Mini Grid) . Το SMG οδηγείται από τα πιο σύγχρονα ηλεκτρονικά ισχύος που ελέγχονται από υπερυψηλής ταχύτητας ψηφιακή τεχνολογία και βασίζονται στη χρήση του NI Compact RIO και του λογισμικού NI Labview. Όλα αυτά εξασφαλίζουν ευελιξία, αξιοπιστία, αποτελεσματικότητα και ασφάλεια για το δίκτυο. Ένα σύστημα SMG είναι ένα υποσύνολο ενός έξυπνου ηλεκτρικού δικτύου και γενικά ορίζεται ως ένα έξυπνο σύστημα διανομής ηλεκτρικής ενέργειας μέχρι και 11kV που μπορεί να καλύψει της ανάγκες μίας κοινότητας. Η ενέργεια παρέχεται από ένα ευρύ φάσμα πηγών, συμπεριλαμβανομένων και μικρών συμβατικών γεννητριών όπως είναι μικρές γεννήτριες πετρελαίου σε συνδυασμό με ανανεώσιμες πηγές ενέργειας όπως μικρές υδροηλεκτρικές γεννήτριες, ανεμογεννήτριες, Φ/Β πλαίσια και παραγωγή ενέργειας από βιομάζα. Το σύστημα SMG μπορεί να συνδεθεί με το δίκτυο καθώς και να λειτουργήσει στην απομονωμένη λειτουργία. Ένα σύστημα SMG είναι μία εφαρμογή τεχνολογιών ψηφιακών πληροφοριών και επικοινωνίας που χρησιμοποιεί εξελιγμένους αισθητήρες, συστήματα επικοινωνιών και τεχνολογίες ελέγχου που σκοπό έχουν να βελτιστοποιήσουν τη παραγωγή, διανομή και χρήση της ηλεκτρικής ενέργειας στα πλαίσια του μικροδικτύου. Το σύστημα SMG παρέχει δυναμική επικοινωνία και ισορροπία με το δίκτυο κάτι το οποίο ελαχιστοποιεί της απώλειες και αυξάνει την ευστάθεια του δικτύου.



Εικόνα 11: Λειτουργία κατανεμημένης παραγωγής του SMG¹⁸



Εικόνα 12 : Συλλογή δεδομένων του SMG με το λογισμικό LabVIEW¹⁹

Μερικά από τα πλεονεκτήματα ενός συστήματος SMG είναι τα ακόλουθα:

- Προώθηση της διαχείρισης της ζήτησης ενέργειας
- Μείωση των διακοπών και αύξηση της αξιοπιστίας, της αποτελεσματικότητας και της ασφάλειας του δικτύου
- Μείωση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα και ελαχιστοποίηση της χρήσης ορυκτών καυσίμων
- Παρέχει μεγαλύτερη αυτονομία στους καταναλωτές να διαχειρίζονται τις ενεργειακές τους ανάγκες

Τα μοναδικά χαρακτηριστικά του προτύπου TERA SMG είναι τα ακόλουθα:

- Ενσωμάτωση διεσπαρμένων πηγών ενέργειας ευρέως φάσματος ούτως ώστε να διασφαλιστεί η μέγιστη χρησιμοποίηση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας
- Προγραμματισμός πηγών και πρόβλεψη και έλεγχος φορτίου
- Κεντρικός έλεγχος για βελτιστοποίηση της χρήσης των πηγών και της διαχείρισης της ζήτησης ενέργειας
- Εισαγωγή της ιεράρχησης φορτίων- τα συνολικά φορτία αξιολογήθηκαν ως κρίσιμα, ευαίσθητα, και περιττά
- Ενσωμάτωση υψηλής ταχύτητας FPGA ψηφιακή τεχνολογία με τη χρήση του λογισμικού LabVIEW για τη συλλογή δεδομένων και την αποστολή και λήψη ελέγχων
- Ολοκλήρωση της συλλογής δεδομένων πραγματικού χρόνου και παρακολούθησης ηλεκτρικών και φυσικών παραμέτρων και παραμέτρων καιρού από εγκατεστημένους αισθητήρες
- Ελαχιστοποίηση των διακοπών και των γρήγορων αποκρίσεων στις διακυμάνσεις του δικτύου μέσω σύνδεσης και αποσύνδεσης των στοιχείων του συστήματος

Η καρδιά και το μυαλό πίσω από ένα σύστημα SMG είναι ο έξυπνος ελεγκτής που βασίζεται στην πλατφόρμα του Compact RIO. Το σύστημα εποπτικού ελέγχου και συλλογής δεδομένων SCADA αναπτύχθηκε χρησιμοποιώντας το λογισμικό NI Developer Suite που περιλαμβάνει τις εξής δομές του LabVIEW:

- LabVIEW Datalogging and Supervisory Control (DSC) Module
- LabVIEW Real-Time Module
- LabVIEW FPGA Module
- LabVIEW Electrical Power Suite (EPS)

Για την επικοινωνία του συστήματος του συστήματος SCADA και του Compact RIO χρησιμοποιήθηκε η δομή GSM/GPRS SA 1802 C Series. Τα δεδομένα που συλλέγονται από διάφορους κόμβους δεδομένων μεταφέρονται μέσω Ethernet χρησιμοποιώντας το πρωτόκολλο ModBus και ενός GSM modem χρησιμοποιώντας το πρωτόκολλο TCP/IP. Το NI Developer Suite χρησιμοποιήθηκε για τη δημιουργία πλαισίου παρουσίασης δεδομένων του συστήματος SMG στο οποίο παρουσιάζονται όλες οι πραγματικού χρόνου πληροφορίες όπως ηλεκτρικές παράμετροι, παράμετροι καιρού και ημερήσια ενεργειακή κατανάλωση. Τέλος το σύστημα SMG μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε διάφορους χώρους όπως οι ακόλουθοι:

- Εμπορικά και βιομηχανικά συμπλέγματα όπως εμπορικά κέντρα, ξενοδοχεία και νοσοκομεία
- Συγκροτήματα κατοικιών
- Κέντρα εκπαίδευσης
- Εκτός δικτύου αγροτικές περιοχές
- Σταθμούς τηλεπικοινωνιών

Μία ακόμα εφαρμογή στο τομέα των μικροδικτύων είναι της εταιρείας Local Grid Technologies όπου χρησιμοποιείται ο ελεγκτής CompactRIO-9068 και το λογισμικό Local Grid Data Fabric που είναι βασισμένο στο λογισμικό LabVIEW.

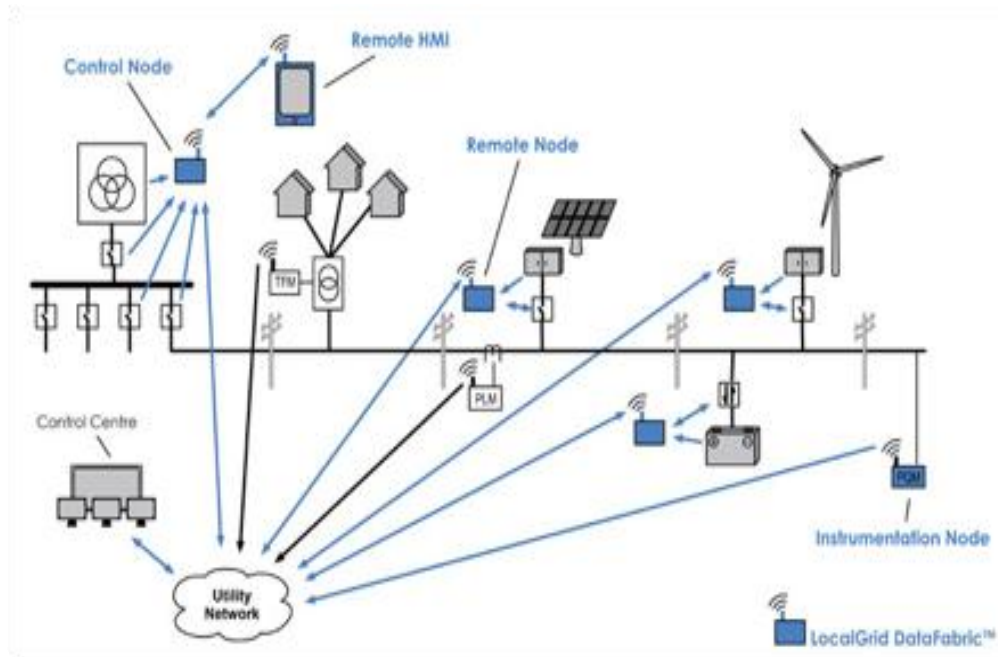
Ως αποτέλεσμα της γρήγορης ανάπτυξης της τεχνολογίας, της διαρκώς αυξανόμενης παραγωγής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας έναντι των συμβατικών η Local Grid Technologies θεωρεί πως το παραδοσιακό δίκτυο διανομής ενέργειας αλλάζει και οδεύει προς την αποκεντρωμένη παραγωγή. Ως εκ τούτου, πρέπει και οι εταιρείες διανομής ενέργειας να αγκαλιάσουν νέες τεχνολογίες στην διανομή ενέργειας που είναι τα έξυπνα, συνεχώς εξελισσόμενα ηλεκτρικά δίκτυα που μπορούν να ικανοποιήσουν τις διαρκώς αυξανόμενες

ανάγκες των καταναλωτών, αυξάνουν την αξιοπιστία των υπηρεσιών και την ενεργειακή ασφάλεια ενώ παράλληλα προβλέπουν την τήρηση νέων περιβαλλοντικών προτύπων.

Για τη σχεδίαση ενός συστήματος παρακολούθησης και ελέγχου που να διασφαλίζει και την επεκτασιμότητα της εφαρμογής που περιγράφεται απαιτείται μία ευέλικτη πλατφόρμα λογισμικού και υλικού και κατάλληλη κλιμακωτή διάρθρωση. Για το λόγο αυτό, η Local Grid Technologies χρησιμοποιεί τον ελεγκτή CompactRIO 9068 για τη συλλογή και επεξεργασία δεδομένων από τις απομακρυσμένες συσκευές και το Local Grid Data Fabric λογισμικό που βασίζεται στο λογισμικό LabVIEW για τον εποπτικό έλεγχο του μικροδικτύου.

Η αρχιτεκτονική του συστήματος Local Grid έχει αρκετά πλεονεκτήματα που βασίζονται στην αρχιτεκτονική των μικροδικτύων και γενικότερα των δικτύων διεσπαρμένης παραγωγής. Τα πλεονεκτήματα αυτά αφορούν κυρίως τις εταιρείες ενέργειας. Το πρώτο πλεονέκτημα είναι η μείωση του κόστους μέσω αναβολής επενδύσεων κεφαλαίου, δηλαδή επενδύσεων που αφορούν την συντήρηση και αναβάθμιση εγκαταστάσεων, υποσταθμών, μετασχηματιστών και γραμμών μεταφοράς. Αυτό συμβαίνει, διότι, η παραγωγή περισσότερης ενέργειας από τα μικροδίκτυα πίσω από τους υφιστάμενους μετασχηματιστές και η μεταφορά της σε ώρες που δεν υπάρχει αιχμή στο φορτίο συνεισφέρει στην ελάττωση των βλαβών και της καταπόνησης των υφιστάμενων εγκαταστάσεων και του εξοπλισμού. Επίσης, με τα δεδομένα που περιγράφουν τη συμπεριφορά του μικροδικτύου, οι εταιρείες ενέργειας μπορούν να υλοποιούν στοχευμένες επενδύσεις βασισμένες σε δεδομένα λεπτομερή και υψηλής ευκρίνειας για να βελτιστοποιηθεί η διαχείριση της ανάπτυξης του δικτύου. Με την δυνατότητα της συλλογής δεδομένων πραγματικού χρόνου, ανάλυσης και του αυτόνομου ελέγχου οι εταιρείες ενέργειας μπορούν να κάνουν περισσότερα με τις υπάρχουσες εγκαταστάσεις απομονώνοντας, διορθώνοντας σφάλματα και βελτιώνοντας την ευστάθεια του δικτύου.

Η παροχή αποκεντρωμένης διαχείρισης της ενέργειας σε επίπεδο παραγωγού δίνει περισσότερα εργαλεία για την οικονομικά αποτελεσματικότερη διαχείριση των φορτίων αιχμής, αυξάνει την αποδοτικότητα του δικτύου και βελτιώνει δυνατότητα χρήσης των υπάρχουσών υποδοχών.



Εικόνα 13 : Αρχιτεκτονική ενός μικροδικτύου της Local Grid²⁰

Το μικροδίκτυο της Local Grid περιλαμβάνει τα ακόλουθα κύρια χαρακτηριστικά:

- Το Local Grid Cell Controller που βασίζεται στον ελεγκτή CompactRIO 9068, όπου αποτελεί έναν ελεγκτή για τη συλλογή και μεταφορά δεδομένων από τις απομακρυσμένες συσκευές στο κεντρικό υπολογιστή
- Το Cell Asset Node που βασίζεται στον ελεγκτή CompactRIO 9068, το οποίο χρησιμοποιείται για τη συμπλήρωση των διεσπαρμένων πηγών ενέργειας, απομακρυσμένη παρακολούθηση της ποιότητας της ενέργειας και αποστολή εντολών ελέγχου
- Κεντρικά εργαλεία διαχείρισης της παρακολούθησης και ρύθμισης των απομακρυσμένων συσκευών
- Συμπλήρωση των λειτουργιών των βασικών λειτουργικών συστημάτων και των υπαρχουσών συσκευών

Το λογισμικό Local Grid Data Fabric που αναφέρθηκε και σε προηγούμενη παράγραφο είναι ένα εύκολα επεκτάσιμο σύστημα παρακολούθησης και ελέγχου, που περιλαμβάνει υψηλής ταχύτητας συλλογή δεδομένων, αποθήκευση, έλεγχο και μείωση των δεδομένων από τους διεσπαρμένους κόμβους προς το δίκτυο. Ο σχεδιασμός αποκεντρωμένου ελέγχου οδηγεί στην λήψη αποφάσεων στις απομακρυσμένες συσκευές, βελτιώνοντας την ανοχή στα σφάλματα και μειώνοντας την ανάγκη για υψηλής αξιοπιστίας και υψηλού εύρου

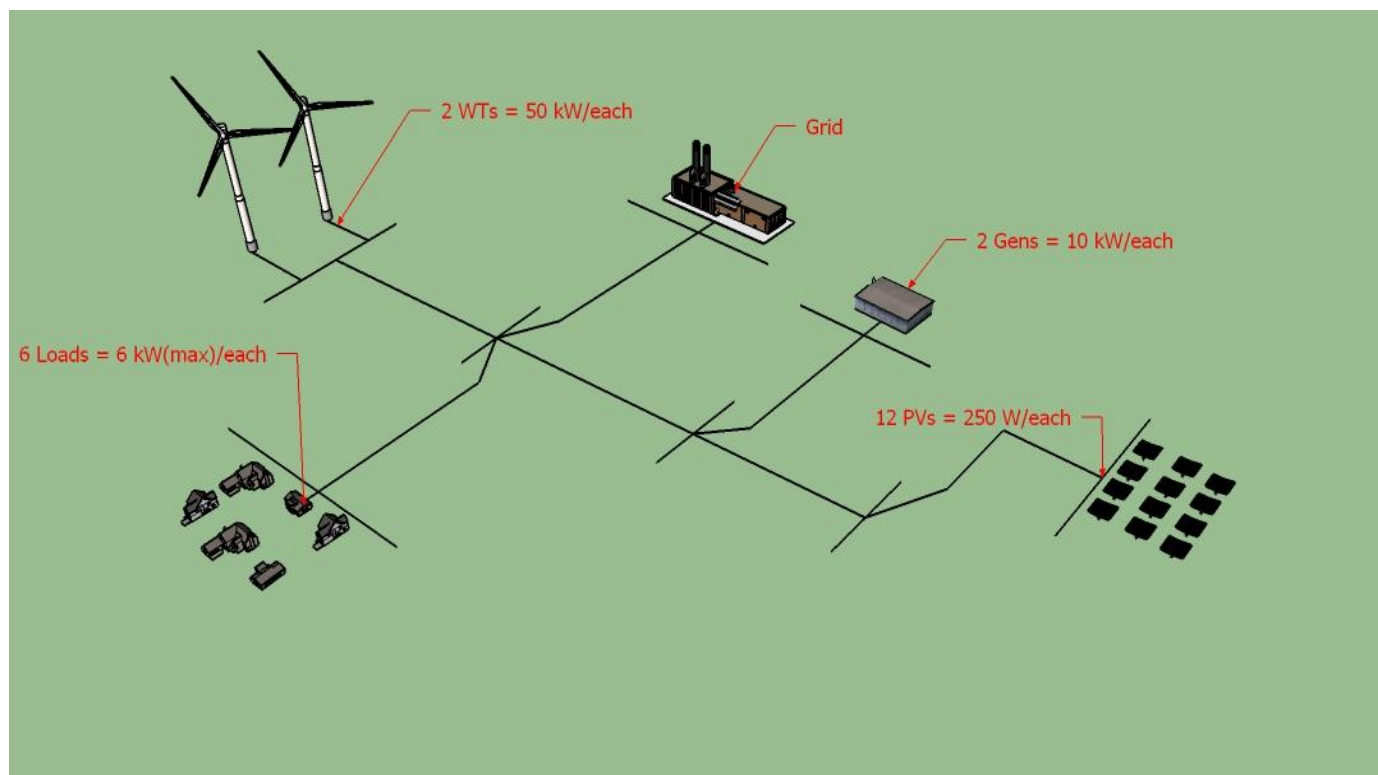
ζώνης δίκτυο επικοινωνίας. Η αρχιτεκτονική του συστήματος που βασίζεται στον ελεγκτή CompactRIO έχει τα ακόλουθα πλεονεκτήματα για τα μικροδίκτυα και τα δίκτυα διεσπαρμένης παραγωγής:

- Υψηλή αποδοτικότητα, ασφαλή επικοινωνία και ενσωμάτωση των δεδομένων
- Ικανότητα ανάπτυξης λογισμικού χαμηλής μνήμης και μικρότερης ισχύος
- Δυνατότητα ταχύτατης αποστολής δεδομένων της τάξης των millisecond
- Επεκτασιμότητα από δεκάδες σε χιλιάδες συσκευές με μικρή πρόσθετη επιβάρυνση
- Ντετερμινιστική απόδοση μικρών καθυστερήσεων και διακυμάνσεων
- Η δυνατότητα χρήσης πολλών γλωσσών προγραμματισμού για το σχεδιασμό του επιθυμητής πλατφόρμας παρακολούθησης και ελέγχου όπως C, C++, Java, LabVIEW και άλλες.

Στο μέλλον, το δίκτυο πρέπει να είναι περισσότερο ευέλικτο, επεκτάσιμο και που προσαρμόζεται στις ανάγκες των καταναλωτών. Ένα στατικό δίκτυο που δεν αλλάζει για αρκετά χρόνια δεν μπορεί να ικανοποιήσει τις διαρκώς αυξανόμενες ανάγκες της κοινωνίας και της τεχνολογίας. Με τη χρήση μιας έξυπνης, σωστά διαβαθμισμένης και εύκολα προσαρμόσιμης παραγωγής και διανομής ενέργειας μπορούμε να αντιμετωπίσουμε πιο αποτελεσματικά της ενεργειακές ανάγκες τόσο στον ανεπτυγμένο όσο και στον αναπτυσσόμενο κόσμο. ²¹

2. Σχεδιασμός και ανάπτυξη του εργαστηριακού μοντέλου

2.1. Μονογραμμικό σχέδιο και τι περιέχει το εργ. μοντέλο



Εικόνα 14 : Μονογραμμικό σχέδιο του εργ. μοντέλου

Το εργαστηριακό μοντέλο όπως βλέπουμε και στην παραπάνω εικόνα περιέχει 6 σπίτια σαν φορτίο με μέγιστη κατανάλωση 6 kW το καθένα, 2 Ανεμογεννήτριες των 50 kW η κάθε μια, ένα εργοστάσιο με 2 γεννήτριες των 10 kW η κάθε μια, 12 φωτοβολταϊκά πάνελ των 250 Watt το καθένα και το δίκτυο που δεν έχει προστεθεί στην μακέτα.

Όπως καταλαβαίνουμε, εάν οι ανεμογεννήτριες δίνουν στο χωριό το 70% της ονομαστικής τους ισχύος (δηλαδή 35 kW η μια) η ισχύς αυτή είναι υπεραρκετή για να κάλυψη της μέγιστης ζήτησης του χωριού. Αυτό βέβαια δεν εξαρτάται από ανθρώπινους παράγοντες. Ούτε τις ώρες αιχμής έχουν πάντα την ανάλογη παραγωγή, ούτε την απαιτούμενη ενέργεια μπορούν να παράγουν ακριβώς, καθώς ή θα περισσεύει ή θα υπολείπεται. Ανάλογο πρόβλημα υπάρχει και με το φωτοβολταϊκό πάρκο μόνο που σε αυτήν την περίπτωση και

άριστη παραγωγή ενέργειας να έχει δεν θα είναι ποτέ αρκετή για κάλυψη ολόκληρης της ζήτησης του χωριού και αυτό γιατί έχει ένα μικρό φωτοβολταϊκό σύστημα.

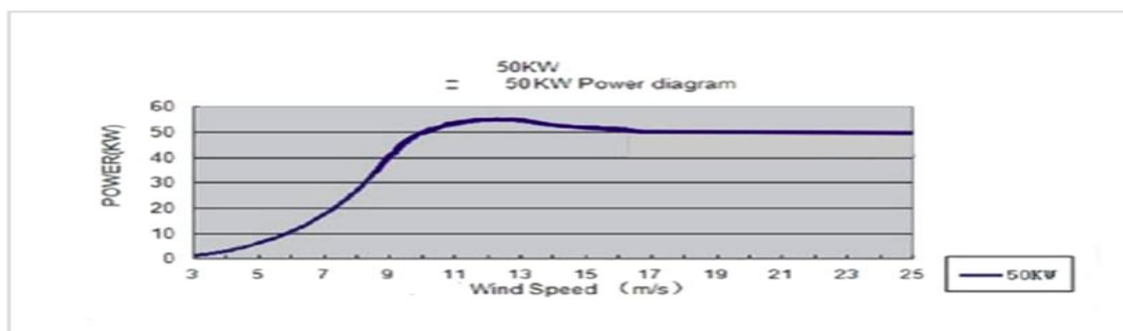
Σε περίπτωση λοιπόν που οι καιρικές συνθήκες δεν ευνοούν την απαιτούμενη παραγωγή ενέργειας αρχίζουν να λειτουργούν οι γεννήτριες του χωριού ώστε να καλυφθεί αυτή η διαφορά κατανάλωσης και παραγωγής των Α.Π.Ε. Όμως, όταν έχει πολύ μικρή ή σχεδόν μηδενική παραγωγή από τις Α.Π.Ε. ούτε η γεννήτριες είναι αρκετές να καλύψουν την τυχόν μέγιστη ζήτηση του χωριού, τότε υπάρχει σύνδεση με το δίκτυο έτσι ώστε αν χρειαστεί να πάρει ενέργεια για την κάλυψη των αναγκών του χωριού αλλά και το χωριό να προσφέρει στο δίκτυο την περισσευούμενη ενέργεια όταν αυτή υπάρχει.

Παρακάτω υπάρχουν τα τεχνικά χαρακτηριστικά των κατανεμημένων παραγωγών και τα διαγράμματά τους με μια τυχαία ημέρα κατανάλωσης του χωριού που συνδυάζει όλες τις πιθανές περιπτώσεις, για την καλύτερη κατανόηση της λειτουργίας ενός τοπικού ηλεκτρικού μικροδικτύου.²²

2.2. Τεχνικά χαρακτηριστικά κατανεμημένων παραγωγών

2.2.1. Τεχνικά χαρακτηριστικά ανεμογεννητριών

Μοντέλο	SWT – 18.0 – 50kW
Διάμετρος του ρότορα	18.0m
Ποσότητα λεπίδων	3pcs
Κατεύθυνση	Πάντα με την κατεύθυνση του αέρα
Υλικό λεπίδων	Ενισχυμένο πλαστικό με ίνες άνθρακα
Ονομαστική Ισχύς	50 kW
Μέγιστη ισχύ	55 kW
Τάση λειτουργίας	DC 500/800V, AC 380V
Λειτουργία ταχύτητας του ανέμου	3 – 25 m/s
Αρχική ταχύτητα του ανέμου	2.5 m/s
Ονομαστική ταχύτα του ανέμου	10.0 m/s
Αντοχή καταιγίδας	Μέχρι και 55m/s
Ονομαστική ταχύτητα περιστροφής	60r/min
Τύπος ανεμογεννήτριας	3 Φασική , Μόνιμος σύγχρονος μαγνήτης εναλλακτής
Θερμοκρασία λειτουργίας	Από -40 μεχρι +60 C
Έλεγχος βήματος πτερυγίου	Μεταβλητό Βήμα
Μεθόδοι σταματήματος	Ενεργό βήμα πτερυγίου, ενεργός εκτροπή
Μεθόδοι ρύθμισης ταχύτητας	Ενεργό βήμα
Κιβώτιο ταχυτήτων	Κανένα, άμεση κίνηση
Χρόνος πλήρους φόρτισης του συσσωρευτή	Περίπου 8 Ώρες



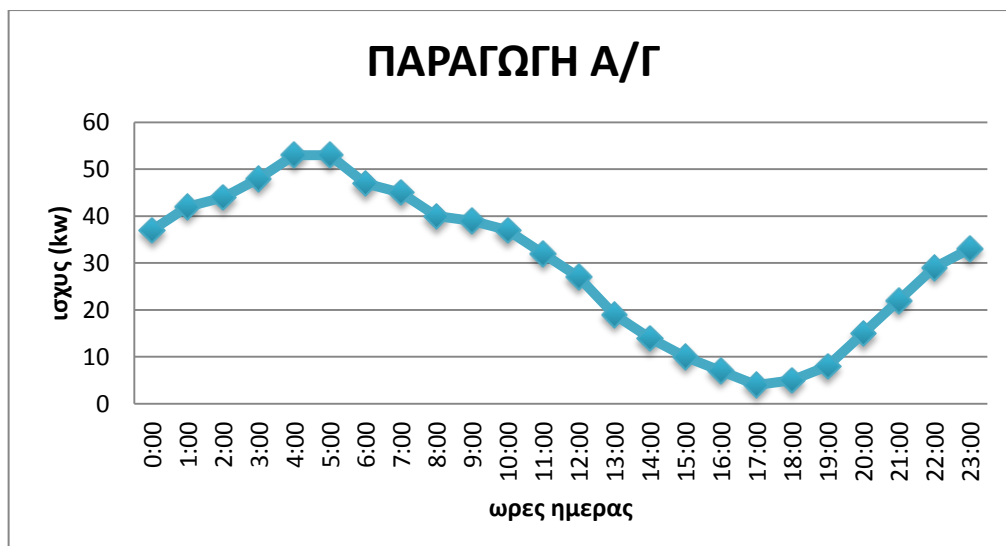
Εικόνα 15 : Η ισχύς σε συνάρτηση με την ταχύτητα του ανέμου²³

Διάγραμμα παραγωγής Α/Γ :

Επειδή οι Α/Γ χρειάζονται άνεμο με αρκετή ταχύτητα για να στρέψουν τα πτερύγια τους και να παράξουν ηλεκτρική ισχύς , έτσι στο παρακάτω διάγραμμα είναι η ταχύτητα του ανέμου και η παραγωγή των Α/Γ με την ημέρα που επιλέχθηκε.



Εικόνα 16: Ταχύτητα ανέμου επιλεγόμενης μέρας²⁴



Εικόνα 17 : Διάγραμμα παραγωγής Α/Γ με την επιλεγόμενη μέρα²⁵

2.2.2. Τεχνικά χαρακτηριστικά του Inverter

Το inverter έχει επιλεγθεί ώστε η παραγόμενη ισχύς και η συνδεσμολογία (σύνδεση σε σειρά) του φωτοβολταϊκού συστήματος να μπορεί να τα καλύψει, αλλά να είναι καθαρού ημιτόνου και υψηλής απόδοσης για την κάλυψη των απαιτήσεων του δικτύου.

Στοιχεία εισόδου inverter:

Μέγιστη ισχύς DC	3700 W
Εύρος τάσης MPP	230 – 500 V
Μέγιστη τάση εισόδου	600 V
Μέγιστο ρεύμα εισόδου	16 A

Αρχικά δεδομένα:

Ονομαστική ισχύς AC	3500 W
Μέγιστη ισχύς εξόδου	3500 W
Μέγιστος βαθμός απόδοσης	96%
Euro-eta	95%
Βαθμός απόδοσης προσαρμογής MPP	99,9%
Τάση δικτύου / συχνότητα	230 V / 50Hz(60Hz)
Ηλεκτρική σύνδεση	Μονοφασική
Παραμόρφωση	< 3,5%
Συντελεστής ισχύος	1
Ιδιοκατανάλωση τη νύχτα	1 W

Γενικά χαρακτηριστικά:

Διαστάσεις (Μ x Π x Υ)	631 x 434 x 244 mm
Βάρος περιοχής σύνδεσης	11 kg
Βάρος περιοχής στοιχείου ισχύος	14 kg
Σύστημα μετατροπέα	Μετασχηματιστής υψηλής συχνότητας
Ψύξη – αερισμός	Με ρύθμιση
Περίβλημα IP 44	Μεταλλικό περίβλημα για εσωτερική και εξωτερική τοποθέτηση
Εύρος θερμοκρασίας περιβάλλοντος	-20 °C έως +50 °C
Επιτρεπόμενη υγρασία αέρα	0% έως 95%

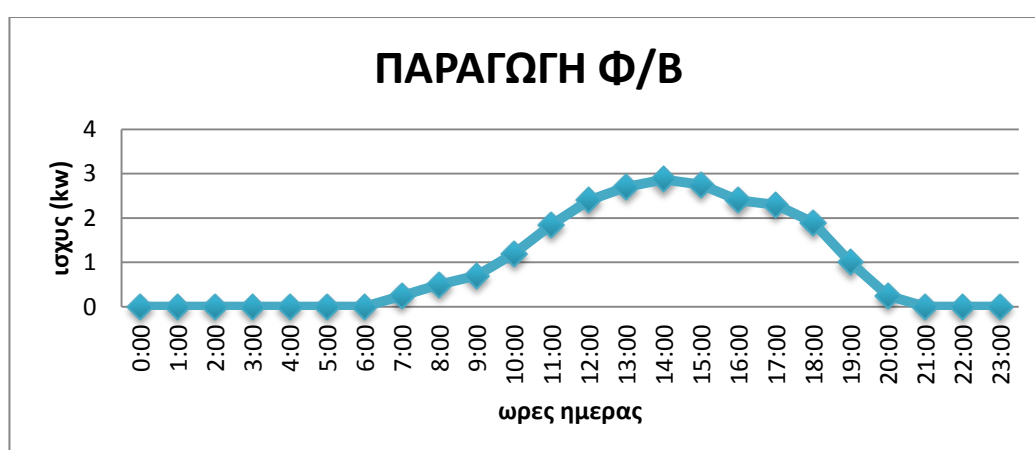
Προστατευτικές διατάξεις:

Δοκιμή μόνωσης DC	Προειδοποίηση όταν $R_{iso} < 500 \text{ k}\Omega$
Προστασία από αναστροφή πολικότητας	ενσωματωμένη
Συμπεριφορά σε περίπτωση υπερφόρτισης	Μετάθεση σημείων λειτουργείας, περιορισμός ισχύος
Αποζεύκτης DC	Ενσωματωμένος

2.2.3. Τεχνικά χαρακτηριστικά Φωτοβολταϊκών

Μέγιστη ισχύς(Pmax)	250 W
Ονομαστική τάση	24 V
Τάση μέγιστης ισχύος(Vmp)	30,2 V
Ρεύμα μέγιστης ισχύος(Imp)	8,35A
Τάση ανοχτού κυκλώματος(Voc)	37,1 V
Ρεύμα Βραχυκύκλωσης(Isc)	8,92 A
Διακύμανση ισχυος	0-(+5) W
Μέγιστη τάση συστήματος	1000 V DC

Διάγραμμα παραγωγής Φ/Β συστήματος:



Εικόνα 18: Διάγραμμα παραγωγής Φ/Β με την επιλεγόμενη μέρα²⁶

Όπως φαίνεται στο παραπάνω διάγραμμα της παραγωγής του Φωτοβολταϊκού συστήματος με την μέρα που έχει επιλεγεί, φτάνει το μεσημέρι σχεδόν το 100% τις απόδοσης του οπότε είναι μια αρκετά ηλιόλουστη μέρα.

2.2.4. Τεχνικά χαρακτηριστικά γεννητριών

Ισχύς (KVA)	10
Τάση	230V
Συχνότητα	50Hz
Μέγ.Ένταση (A)	45,4
Διέγερση	Αυτοδιεγερόμενη
Φάσεις	Μονοφασική
Σύνδεση	Απευθείας (Κώνος)
Βολτόμετρο	Ηλεκτρονικό
Σταθεροποιητής Τάσης	Αυτοσταθεροποιούμενη
Προστασία (AC/DC)	Αυτόματος Ασφαλειοδιακόπτης
Μπαταρία	12V / 55 Ah
Αυτονομία (Hrs)	2,24
Βάρος (Kg)	133
Διαστάσεις (Μ x Π x Υ)	800x450x640
Εγγύηση	2 χρόνια

2.2.4.1. Τεχνικά στοιχεία κινητήρα

Τύπος κινητήρα	Ruggerini Motori MD150
Κυβισμός (cc)	654
Κύλινδροι	2
Μέγιστη Ισχύς (Hp/rpm)	14/3.000
Καύσιμο	DIESEL
Χωρητ. Ρεζερβουάρ (lt)	4
Χωρητ. Κάρτερ Λαδιού (lt)	1,8
Εκκίνηση	Ηλεκτρική Μίζα

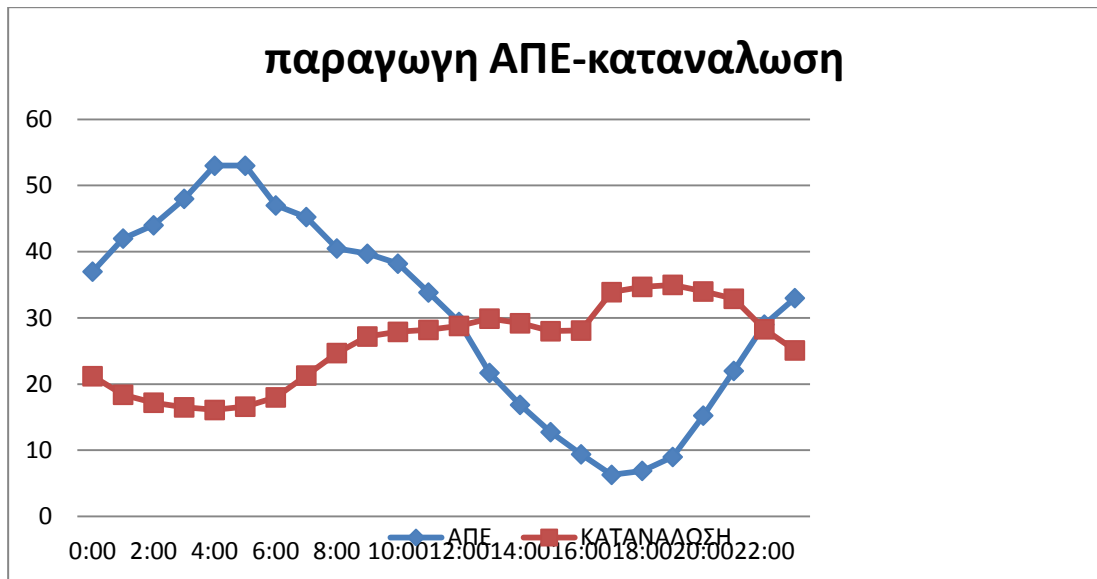
Διάγραμμα παραγωγής γεννητριών:



Εικόνα 19: Διάγραμμα παραγωγής γεννητριών με την επιλεγόμενη μέρα²⁷

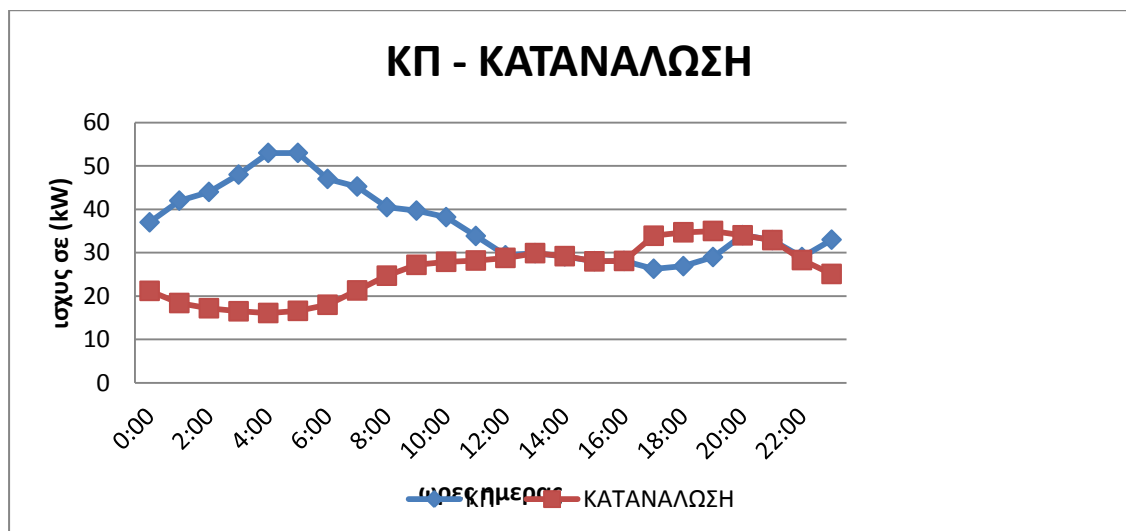
Παρακάτω υπάρχει ένα διάγραμμα παραγωγής ΑΠΕ και κατανάλωσης χωριού με την ίδια μέρα που έχει επιλεχθεί σε όλα τα διαγράμματα και φαίνεται ότι σε κάποιες ώρες δεν φτάνει μόνο η παραγωγή των ΑΠΕ οπότε έπρεπε να δώσουν και οι γεννήτριες. Στο διάγραμμα τις εικόνας 17 φαίνεται ότι οι γεννήτριες ξεκινάνε να δίνουν μετά τις 12 το μεσημέρι και δίνουν το 100% τις απόδοσης τους από τις 17:00 μέχρι τις 19:00 και μετά πέφτει μέχρι τις 22:00 που σταματάνε τελείως να παράγουν ενέργεια.

Διάγραμμα παραγωγής ΑΠΕ και κατανάλωσης χωριού:



Εικόνα 20: Διάγραμμα παραγωγής ΑΠΕ και κατανάλωσης χωριού με την επιλεγόμενη μέρα ²⁸

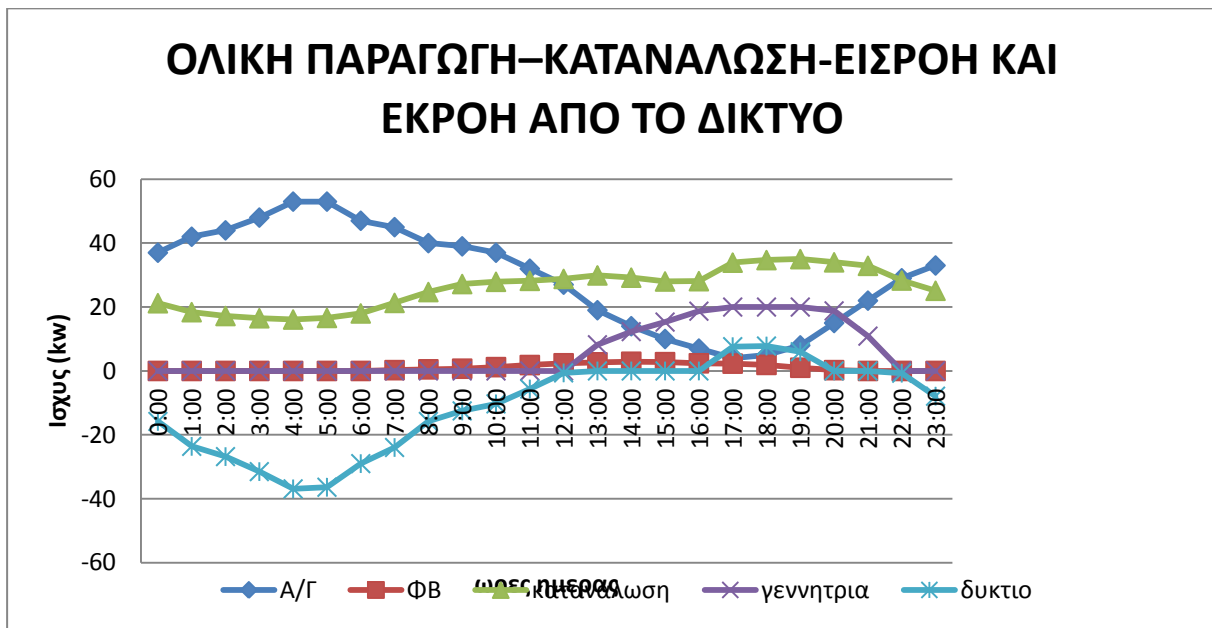
Διάγραμμα παραγωγής κατανεμημένων παραγωγών και κατανάλωσης χωριού:



Εικόνα 21: Διάγραμμα παραγωγής ΚΠ και κατανάλωσης χωριού με την επιλεγόμενη μέρα ²⁹

Όπως φαίνεται και στο διάγραμμα τις εικόνας 19 που έχουν προστεθεί και οι γεννήτριες, από τις 16:00 μέχρι τις 20:00 η κατανάλωση ξεπερνάει την παραγωγή. Γιαυτό το λόγο έχει προστεθεί το δίκτυο ώστε να δίνει στο χωριό όσο χρειαστεί και όταν τις ώρες που παράγουν παραπάνω τα ΑΠΕ από την κατανάλωση του χωριού να πηγαίνουν στο δίκτυο. Στο παρακάτω διάγραμμα φαίνεται πόσο παράγουν τα Φ/Β, οι Α/Γ, οι γεννήτριες και πόσο παίρνει το χωριό από το δίκτυο και πόσο του δίνει, όπου φαίνεται ότι δίνει το δίκτυο το παίρνει πίσω και με το παραπάνω. Επίσης έχουν χρησιμοποιηθεί οι τιμές του καθενός ανά ώρα στον προγραμματισμό του εργαστηριακού μοντέλου όπου χρησιμοποιήθηκε ο arduino και θα επεξηγηθεί περαιτέρω στην επόμενη ενότητα.

Διάγραμμα ολικής παραγωγής – κατανάλωσης – εισροής και εκροής από το δίκτυο:



Εικόνα 22: Διάγραμμα ολικής παραγωγής - κατανάλωσης - εισροής και εκροής από το δίκτυο με την επιλεγόμενη μέρα³⁰

3. Έλεγχος εργαστηριακού μοντέλου με arduino

3.1. Arduino

Ο Arduino είναι ένα εργαλείο για τη δημιουργία υπολογιστικού συστήματος, με την έννοια ότι αυτό θα ελέγχει συσκευές του φυσικού κόσμου, σε αντίθεση με τον κοινό Ηλεκτρονικό Υπολογιστή. Είναι ανοιχτού υλικού και λογισμικού και βασίζεται σε μια αναπτυξιακή πλακέτα που ενσωματώνει επάνω έναν μικροελεγκτή και συνδέεται με τον Η/Υ για να προγραμματισθεί μέσα από ένα απλό περιβάλλον ανάπτυξης. Ένας Arduino μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να αναπτυχθούν διαδραστικά αντικείμενα, να δέχεται εισόδους από πληθώρα αισθητηρίων οργάνων και διακόπτες, αλλά και να ελέγχει διάφορα φώτα, κινητήρες και άλλες συσκευές εξόδου του φυσικού κόσμου. Τα Projects στον εν λόγω Μικροελεγκτή μπορούν να είναι αυτόνομα (σε επίπεδο hardware) ή να επικοινωνούν με κάποιο software στον Η/Υ του προγραμματιστή (προγράμματα όπως τα Processing, MaxMSP, Pure Data, SuperCollider). Το περιβάλλον ανάπτυξης του λογισμικού βασίζεται στην γλώσσα προγραμματισμού Wiring, οι οποίες είναι ανοιχτού κώδικα (open source) και μπορεί κάποιος να τις "κατεβάσει δωρεάν". Η Γλώσσα προγραμματισμού του Arduino αποτελεί μια εφαρμογή σε software επίπεδο της καλωδίωσης. Θα μπορούσε να ειπωθεί ότι εξομοιώνει απόλυτα το φυσικό περιβάλλον του μικροελεγκτή.

3.1.1. Πλεονεκτήματα του arduino

Υπάρχει πληθώρα άλλων μικροελεγκτών και αναπτυξιακών στο εμπόριο για να ασχοληθεί κάποιος. Ο Basic Stamp της Parallax, το Handyboard του MIT, Raspberry Pi της Raspberry PI Foundation όπου είναι και ο πιο πρόσφατος από όλους και πολύ άλλοι όμοιας λειτουργικότητας. Όλα αυτά τα εργαλεία που προαναφέρθηκαν, είναι απλά και για τον αρχάριο χρήστη καθώς "κρύβουν" τις δύσκολες λεπτομέρειες της αρχιτεκτονικής και επιτρέπουν τον άμεσο προγραμματισμό του μικροελεγκτή, προσφέροντας τα πάντα σε ένα και μόνο "πακέτο" έτοιμο για χρήση. Ο Arduino διαφέρει από τους προηγούμενους γιατί απλοποιεί την διαδικασία να δουλεύει κάποιος με μικροελεγκτές, αλλά κάποια πλεονεκτήματα που προσφέρει σε σχέση με άλλους μικροελεγκτές για χρήση από δασκάλους, μαθητές και άλλους ενδιαφερομένους είναι τα παρακάτω:

Φθηνός: Οι πλακέτες του Arduino είναι εξαιρετικά φθηνές σε σχέση με άλλες πλατφόρμες μικροελεγκτών. Ειδικά δε, μπορεί με τα σχηματικά που κυκλοφορούν στο Internet να κατασκευάσει κάποιος την φθηνότερη εκδοχή ενός Arduino. Ωστόσο ακόμα και αν προμηθευτεί την έτοιμη (μονταρισμένη πλακέτα) αυτή θα κοστίσει το μέγιστο 50 Euro. Τρέχει σε διάφορα Λειτουργικά Συστήματα. Οι μηχανικοί λογισμικού, ανέπτυξαν το περιβάλλον προγραμματισμού του Arduino για Windows, Macintosh OSX και για λειτουργικά συστήματα Linux. Τα περισσότερα συστήματα ανάπτυξης Μικροελεγκτών περιορίζονται στα Windows.

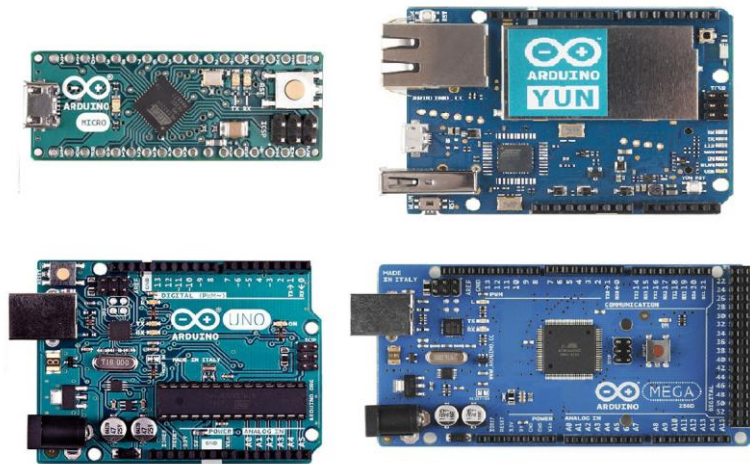
Απλό, ξεκάθαρο προγραμματιστικό περιβάλλον: Το περιβάλλον προγραμματισμού ενός Arduino ενδείκνεται για αρχάριους, αλλά είναι ταυτόχρονα και ευέλικτο και για πιο προχωρημένους χρήστες. Ανοιχτού λογισμικού και λογισμικού που επεκτείνεται και παραμετροποιείται. Το software του Arduino διανέμεται με την μορφή εργαλείων ανοιχτού λογισμικού και είναι διαθέσιμο προς επέκταση για έμπειρους προγραμματιστές. Η γλώσσα προγραμματισμού του μπορεί να επεκταθεί διαμέσου των βιβλιοθηκών της C++ και οι άνθρωποι που θέλουν να ασχοληθούν περισσότερο με τους μικροελεγκτές μπορούν να μεταβούν από τον Arduino στην AVR C που είναι για προγραμματισμό των Atmel Μικροελεγκτών και η γλώσσα στην οποία βασίστηκε το λογισμικό του Arduino. Ομοίως μπορεί κάποιος να προσθέσει κώδικα της AVR-C στο πρόγραμμα που έχει γράψει για το arduino του.

Ανοιχτού Υλικού το οποίο μπορεί να επεκταθεί. Ο Arduino βασίζεται στους μικροελεγκτές της Atmel AT328 και ATMEGA2560. Τα σχηματικά για τα αναπτυξιακά είναι κάτω από την άδεια της Creative Commons, επιτρέποντας σε έμπειρους σχεδιαστές να κατασκευάσουν το δικό τους αναπτυξιακό, εξελίσνοντας το ήδη υπάρχον χωρίς να έχουν νομικά προβλήματα. Ακόμα καλύτερα, οι όχι τόσο έμπειροι χρήστες μπορούν να επιδιώξουν την αντιγραφή και κατασκευή της πλακέτας σε ράστερ για να καταλάβουν την λειτουργία ενός Arduino.

3.1.2. Το Hardware του arduino

Ο μικροελεγκτής Arduino Mega είναι στην ουσία μια αναπτυξιακή πλακέτα που ενσωματώνει έναν ATmega1280. Υπάρχουν πολλές εκδόσεις του μικροελεγκτή. Στην Εικόνα 23 παρουσιάζονται η έκδοση MICRO, η έκδοση UNO, η έκδοση MEGA2560 r3 που χρησιμοποιήθηκε στην μακέτα και η έκδοση YUN που μπορεί να συνδεθεί με ethernet και wifi χωρίς την προσθήκη κάποιου shield. Οι κατασκευαστές του Arduino έχουν τοποθετήσει

στις πλακέτες όλα τα απαραίτητα εξαρτήματα για την τροφοδοσία και την διασύνδεση των μικροελεγκτών με τον Ηλεκτρονικό Υπολογιστή. Η πλακέτα μπορεί να τροφοδοτηθεί καταποτίμηση με τροφοδοτικό μέχρι των 10Volt, είτε απευθείας από την USB θύρα του Υπολογιστή που δίνει 5Volt. Στον Πίνακα 2 παρουσιάζονται οι αναπτυξιακές πλακέτες του Arduino, μαζί με τα βασικά χαρακτηριστικά τους.³¹



Εικόνα 23: Arduino MICRO , Arduino YUN, Arduino UNO και Arduino MEGA

Name	Processor		Dimensions (mm)	Host Interface	Voltage (V)	Flash (kB)	EEPROM (kB)	SRAM		I/O		Release Date
	Processor	Frequency						Digital I/O	Digital I/O with PWM (Pins)	Analog Input (Pins)		
Arduino Leonardo	Atmega32u4	16 MHz	68.6 × 53.3	USB 32u4	5	32	1	2,5	14	6	12	23/7/2012
Arduino UNO R3	ATmega328P	16 MHz	68.6 × 53.3	USB 16u2	5	32	1	2	14	6	6	24/9/2010
Arduino UNO R1&R2	ATmega328P	16 MHz	68.6 × 53.3	USB 8u2	5	32	1	2	14	6	6	24/9/2010
Arduino DUE	AT91SAMX8E	84 MHz	101.6 × 53.3	USB 16u2 + native host	3,3	512	0	96	54	12	12	22/10/2012
Arduino Mega2560	ATMega2560	16 MHz	101.6 × 53.3	USB 16u2	5	256	4	8	54	14	16	24/9/2010
Arduino Ethernet	ATmega328	16 MHz	68.6 × 53.3	Ethernet Serial interface - Wiznet Ethernet	5	32	1	2	14	4	6	13/7/2011
Arduino Fio	ATmega328P	8 MHz	66.0 × 27.9	Xbee Serial	3,3	32	1	2	14	6	8	18/3/2010
Arduino Nano	ATmega328	16 MHz	43.18 × 18.54	USB FTDI	5	16/32	0.5/1	1.0/2	14	6	8	15/5/2008
LilyPad Arduino	ATmega168V or ATmega328V	8 MHz	51 mm		2.7-5.5	16	0,5	1	14	6	6	17/10/2007
Arduino Mega ADK	ATmega2560	16 MHz	101.6 × 53.3	8U2 MAX3421E USB Host	5	256	4	8	54	14	16	13/7/2011
Arduino Esplora	Atmega32u4	16 MHz	165.1 × 61.0	32u4	5	32	1	2,5				10/12/2012
Arduino Micro	ATmega32u4	16 MHz	17.8 × 48.3		5	32	1	2,5	20	7	12	8/11/2012
Arduino (Pro) Mini	ATmega168[30] (Pro uses ATmega328)	8 MHz (3.3 V model) or 16 MHz (5 V model)	17.8 × 33.0		5 or 3.3	16	0,5	1	14	6	6	23/8/2008
Arduino YÚN	Atmega32u4 Atheros AR9331	16MHz 400MHz	68.6 × 53.3		5	32 16	1 0	2,5	14	7	12	10/9/2013

Πίνακας 2: Λίστα των αναπτυξιακών πλακετών Arduino μέχρι το 2016

3.1.3. Ακροδέκτες του μικροελεγκτή Arduino

Το Arduino έχει 54 ψηφιακούς ακροδέκτες Εισόδου/Εξόδου. Αυτοί μπορούν να τεθούν ως είσοδοι ή ως έξοδοι με τις εντολές-συναρτήσεις pinMode(), digitalWrite(), and digitalRead(). Λειτουργούν στα 5 Volts και έχουν την δυνατότητα να παρέχουν ή να καταβυθίζουν ένταση της τάξεως των 40mA. Σε κάθε Pin υπάρχει εσωτερικά ένας Pull-up αντιστάτης στα 20-50KΩ. Επιπλέον έχει 16 Αναλογικούς ακροδέκτες Εισόδου. Αυτοί μπορούν να διαβάσουν αναλογικές τιμές όπως η τάση μιας μπαταρίας κτλ και να τις μετατρέψουν σε έναν αριθμό από 0-1023. Η μέτρηση της τάσης γίνεται από προκαθορισμένα από 0 έως 5 volts. Εκτός αυτού 15 εκ των 54 ψηφιακών ακροδεκτών οι P2-13 και 44-46 έχουν την δυνατότητα να προγραμματιστούν ώστε να λειτουργούν ως Αναλογικές Έξοδοι.

Ακροδέκτες με συγκεκριμένες λειτουργίες.

Σειριακή Λειτουργία: 0 (RX) and 1 (TX). Χρησιμοποιούνται για λήψη (RX) και εκπομπή (TX) TTL σειριακών δεδομένων. Αυτοί οι ακροδέκτες είναι συνδεδεμένοι με τους αντίστοιχους του ολοκληρωμένου FTDI USB-to-TTL Serial.

Εξωτερικές Διακοπές: 2 και 3. Αυτοί οι ακροδέκτες μπορούν να ενεργοποιούν διακοπές αν ανιχνευθεί παλμός χαμηλής τάσης. Με την συνάρτηση attachInterrupt().

PWM: 2 μέχρι 13 και 44 μέχρι 46. Παρέχουν Έξοδο 8-bit PWM με την συνάρτηση analogWrite().

SPI: 10 (SS), 11 (MOSI), 12 (MISO), 13 (SCK). Αυτοί οι ακροδέκτες επιτρέπουν επικοινωνία SPI, η οποία αν και παρέχεται από το hardware δεν είναι ακόμα διαθέσιμη στην γλώσσα προγραμματισμού του Arduino.

LED: 13. Στον ακροδέκτη 13 υπάρχει ένα ενσωματωμένο LED. Όταν ο ακροδέκτης έχει τιμή HIGH, το LED φωτοβολεί..

I2C: 4 (SDA) and 5 (SCL). Υποστηρίζει το πρωτόκολλο I2C (TWI) χρησιμοποιώντας βιβλιοθήκες τις Γλώσσας προγραμματισμού Wiring.

AREF: Reference voltage for the analog inputs. Χρησιμοποιείται με την συνάρτηση ana logReference().

Reset: Αν τεθεί σε κατάσταση LOW τότε επαννεκινεί τον Μικροελεγκτή. Σε αυτή τη γραμμή τοποθετείται ένας διακόπτης.

3.1.4. Γλώσσα προγραμματισμού

Η γλώσσα του Arduino βασίζεται στη γλώσσα Wiring, μια παραλλαγή C/C++ για μικροελεγκτές αρχιτεκτονικής AVR όπως ο ATmega, και υποστηρίζει όλες τις βασικές δομές της C καθώς και μερικά χαρακτηριστικά της C++.

Για compiler χρησιμοποιείται ο AVR gcc και ως βασική βιβλιοθήκη C χρησιμοποιείται η AVRlibc. Λόγω της καταγωγής της από την C, στην γλώσσα του Arduino χρησιμοποιούνται ίδιες βασικές εντολές και συναρτήσεις, με την ίδια σύνταξη, τους ίδιους τύπων δεδομένων και τους ίδιους τελεστές όπως και στην C. Οι πιο σημαντικές από αυτές επεξηγούνται στον Πίνακα 3 που ακολουθεί:

Όρισμα	Είδος	Τύπος	Παράμετροι	Περιγραφή
LOW	Σταθερά	int	-	Έχει την τιμή 0 και είναι αντίστοιχη του λογικού false.
HIGH	Σταθερά	int	-	Έχει την τιμή 1 και είναι αντίστοιχη του λογικού true.
INPUT	Σταθερά	int	-	Έχει την τιμή 0 και είναι αντίστοιχη του λογικού false.
OUTPUT	Σταθερά	int	-	Έχει την τιμή 1 και είναι αντίστοιχη του λογικού true.
pinMode	Εντολή	-	(pin, mode)	Καθορίζει αν το συγκεκριμένο ψηφιακό pin θα είναι pin εισόδου ή pin εξόδου ανάλογα με την τιμή που δίνεται στην παράμετρο mode (INPUT ή OUTPUT αντίστοιχα).
digitalWrite	Εντολή	-	(pin, pinstatus)	Θέτει την κατάσταση pinstatus (HIGH ή LOW) στο συγκεκριμένο ψηφιακό pin.
digitalRead	Συνάρτηση	int	(pin)	Επιστρέφει την κατάσταση του συγκεκριμένου ψηφιακού pin (0 για LOW και 1 για HIGH) εφόσον αυτό είναι pin εισόδου.
analogReference	Εντολή	-	(type)	Δέχεται τις τιμές DEFAULT, INTERNAL ή EXTERNAL στην παράμετρο type για να καθορίσει την τάση αναφοράς (Vref) των αναλογικών εισόδων (5V, 1.1V ή η εξωτερική τάση με την οποία τροφοδοτείται το pin AREF αντίστοιχα)
analogRead	Συνάρτηση	int	(pin)	Επιστρέφει έναν ακέραιο από 0 έως 1023, ανάλογα με την

				τάση που τροφοδοτείται το συγκεκριμένο pin αναλογικής εισόδου στην κλίμακα 0 ως Vref.
analogWrite	Εντολή	-	(pin, value)	Θέτει το συγκεκριμένο ψηφιακό pin σε κατάσταση ψευδοαναλογικής εξόδου (PWM). Η παράμετρος value καθορίζει το πλάτος του παλμού σε σχέση με την περίοδο του παραγόμενου σήματος στην κλίμακα από 0 ως 255 (π.χ. με value127, το πλάτος του παλμού είναι ίσο με μισή περίοδο).
millis	Συνάρτηση	unsigned long	-	Μετρητής που επιστρέφει το χρονικό διάστημα σε ms από την στιγμή που άρχισε η εκτέλεση του προγράμματος. Λάβετε υπόψη ότι λόγω του τύπου μεταβλητής (unsigned long δηλ. 32bit) θα γίνει overflow σε 2 ³² ms δηλαδή περίπου σε 50 μέρες, οπότε ο μετρητής θα ξεκινήσει πάλι από το μηδέν.
delay	Εντολή	-	(time)	Σταματά προσωρινά την ροή του προγράμματος για time ms. Η παράμετρος time είναι unsigned long (από 0 ως 2 ³²). Σημειώστε ότι παρά την προσωρινή παύση, συναρτήσεις των οποίων η εκτέλεση ενεργοποιείται από interrupt θα εκτελεστούν κανονικά κατά την διάρκεια μιας delay.
Serial.begin	Μέθοδος κλάσης	-	(datarate)	Θέτει τον ρυθμό μεταφοράς δεδομένων του σειριακού interface (σε baud)
Serial.println	Μέθοδος κλάσης	-	(data)	Διοχετεύει τα δεδομένα data για αποστολή μέσω του σειριακού interface. Η παράμετρος data μπορεί να είναι είτε αριθμός είτε αλφαριθμητικό.

Πίνακας 3: Βασικές εντολές και συναρτήσεις του Arduino³²

Επιπλέον, στην γλώσσα του Arduino κάθε πρόγραμμα αποτελείται από δύο βασικές ρουτίνες ώστε να έχει την γενική δομή:

Η βασική ρουτίνα `setup()` εκτελείται μια φορά μόνο κατά την εκκίνηση του προγράμματος ενώ η βασική ρουτίνα `loop()` περιέχει τον βασικό κορμό του προγράμματος και η εκτέλεσή της επαναλαμβάνεται συνέχεια σαν ένας βρόχος `while(true)`.

3.1.5. Shields

Τα shield είναι ολοκληρωμένες πλακέτες που είναι σχεδιασμένες ώστε να κουμπώνουν πάνω στο Arduino προεκτείνοντας την λειτουργικότητά του. Είναι η hardware αντίστοιχη έννοια των plugin, addon και extension που υπάρχουν στο software. Μερικά από τα πιο δημοφιλή shield που κυκλοφορούν στο εμπόριο για το Arduino είναι:

Ethernet shield: Δίνει στο Arduino την δυνατότητα να δικτυωθεί σε ένα LAN ή στο internet μέσω ενός τυπικού καλωδίου Ethernet.

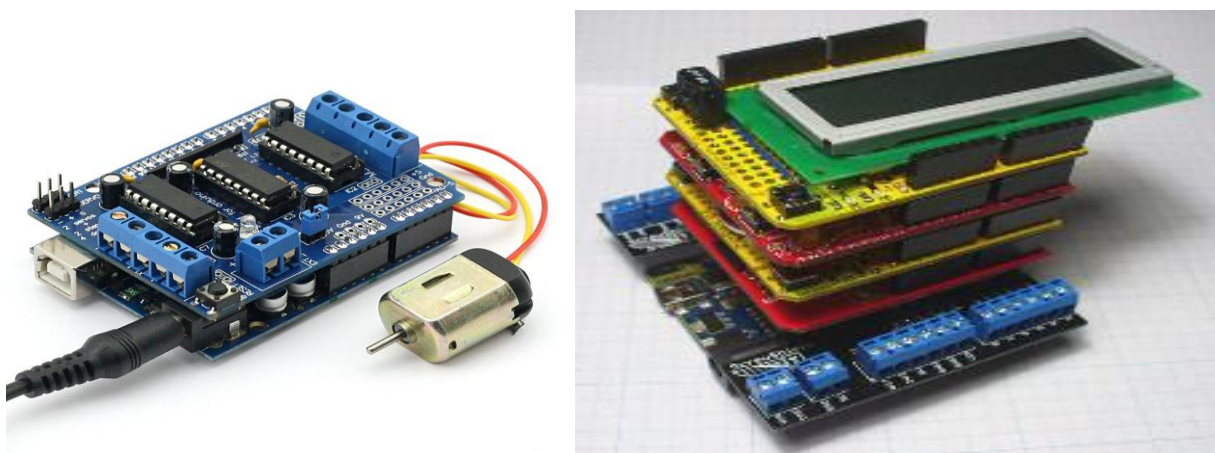
WiFi shield: Όμοιο με το Ethernet shield, χωρίς φυσικά το καλώδιο και συνδέεται με το modem μεσο wifi.

Διάφορα shield οθόνης: Προσθέτουν οθόνη στο Arduino. Κυκλοφορούν από απλές οθόνες τύπου calculator μέχρι OLED touchscreen υψηλής ανάλυσης τύπου iPhone.

Wave shield: Δίνει στο Arduino την δυνατότητα να παίζει ήχους/μουσική από κάρτες SD.

GPS shield: Προσθέτει GPS δυνατότητες στο Arduino (εντοπισμό στίγματος).

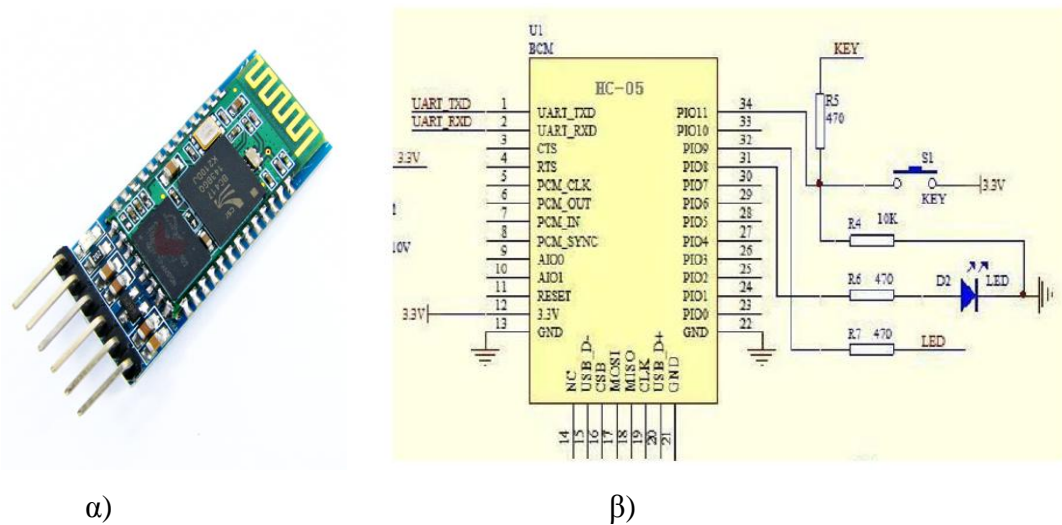
Διάφορα Motor Shields: Επιτρέπουν την εύκολη οδήγηση μοτέρ διάφορων τύπων (απλά DC, servo, stepper κ.λπ.) από το Arduino.³³



Εικόνα 24: Shields³⁴

3.1.6. Δυνατότητα ελέγχου του συστήματος από smartphone ή tablet

Το Bluetooth HC - 05 module είναι ένα MASTER/SLAVE module. Από τις εργοστασιακές του ρυθμίσεις είναι ρυθμιζόμενο να λειτουργεί κατευθείαν σαν SLAVE. Για τον “ρόλο” του (Master ή Slave) μπορεί να ρυθμιστεί μέσω AT COMMANDS. Τα slave modules δεν μπορούν να πραγματοποιήσουν σύνδεση με άλλες συσκευές bluetooth, αλλά μπορούν να δεχθούν μια σύνδεση με κάποια άλλη συσκευή. Τα master modules από την άλλη μπορούν να πραγματοποιήσουν σύνδεση με άλλες συσκευές. Ο χρήστης μπορεί να το χρησιμοποιήσει απλώς για αντικατάσταση σειριακής θύρας για να δημιουργήσει σύνδεση μεταξύ MCU και GPS, τον ηλεκτρονικό υπολογιστή με το ενσωματωμένο έργο, κ'άλλα. Το HC-05 module όταν είναι slave μπορεί να συνδεθεί με οποιαδήποτε συσκευή έχει Bluetooth και με μια απλή εφαρμογή Bluetooth terminal ή κάποια άλλη που είναι ειδικά φτιαγμένη για τα Bluetooth modules.³⁵



Εικόνα 25: α) HC - 05 Bluetooth Module β) Σχηματικό διάγραμμα HC-05 συνδεσμολογίας

3.1.7. LCD οθόνες για arduino

Μια οθόνη υγρών κρυστάλλων (LCD) είναι μια οθόνη επίπεδης οθόνης ή άλλη ηλεκτρονικά διαμορφωμένη οπτική συσκευή που χρησιμοποιεί τις ιδιότητες διαμόρφωσης φωτός των υγρών κρυστάλλων. Οι υγροί κρύσταλλοι δεν εκπέμπουν άμεσα το φως, αλλά χρησιμοποιούν οπίσθιο φωτισμό ή ανακλαστήρα για να παράγουν έγχρωμες ή μονόχρωμες εικόνες. Οι οθόνες LCD είναι διαθέσιμες για να εμφανίζουν αυθαίρετες εικόνες (όπως σε μια γενική χρήση του υπολογιστή) ή σταθερές εικόνες με χαμηλό περιεχόμενο πληροφοριών, οι οποίες μπορούν να εμφανίζονται ή να αποκρύπτονται, όπως οι προρυθμισμένες λέξεις, τα ψηφία και οι οθόνες 7 τμημάτων, όπως σε ένα ψηφιακό ρολόι . Χρησιμοποιούν την ίδια βασική τεχνολογία, με την εξαίρεση ότι οι αυθαίρετες εικόνες αποτελούνται από μεγάλο αριθμό μικρών εικονοστοιχείων, ενώ άλλες οθόνες έχουν μεγαλύτερα στοιχεία.

Οι μικρές οθόνες LCD είναι κοινές σε φορητές συσκευές καταναλωτών, όπως ψηφιακές φωτογραφικές μηχανές, ρολόγια, αριθμομηχανές και κινητά τηλέφωνα, συμπεριλαμβανομένων των smartphones. Δεδομένου ότι οι οθόνες LCD δεν χρησιμοποιούν φωσφόρους, δεν υφίστανται καύση εικόνας όταν μια στατική εικόνα εμφανίζεται στην οθόνη για μεγάλο χρονικό διάστημα (π.χ. το πλαίσιο πίνακα για ένα πρόγραμμα αεροσκάφους σε ένα εσωτερικό σήμα). Ωστόσο, οι οθόνες LCD είναι επιρρεπείς στην επιμονή της εικόνας.³⁶



Εικόνα 26 : LCD οθόνη για Arduino³⁷

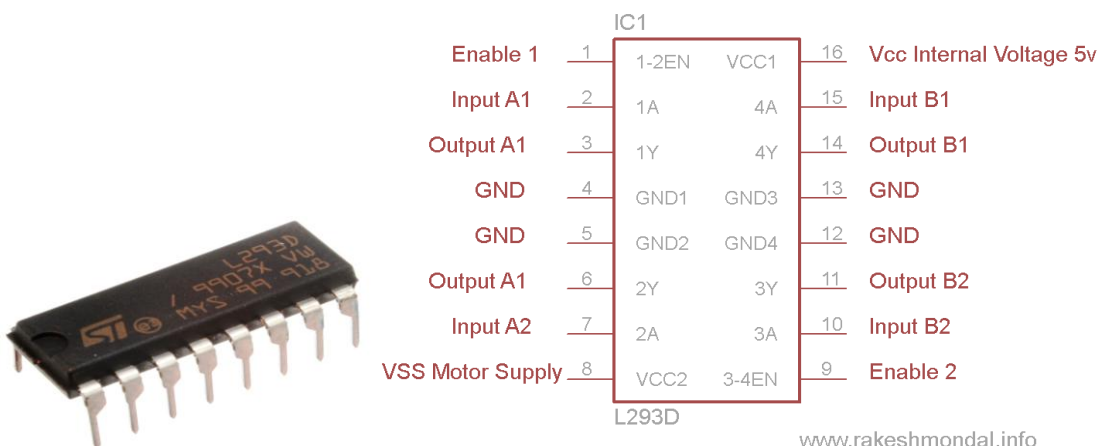
3.1.8. Οδηγός κινητήρα L239d

Το L293D είναι ένας τυπικός οδηγός κινητήρα ή αλλιώς οδηγός κινητήρα με ενσωματωμένο κύκλωμα, ο οποίος επιτρέπει στον κινητήρα DC να γυρνάει προς οποιαδήποτε κατεύθυνση. Το L293D είναι ένα ψηφιακό κύκλωμα με 16 pins το οποίο μπορεί να ελέγχει ταυτόχρονα δύο κινητήρες συνεχούς ρεύματος ή 1 ένα βηματικό κινητήρα σε οποιαδήποτε κατεύθυνση.

Λειτουργεί με την έννοια της Η-γέφυρας. Η-γέφυρα είναι ένα κύκλωμα που επιτρέπει την τάση να πάει προς οποιαδήποτε κατεύθυνση. Η τάση πρέπει να αλλάξει την κατεύθυνση για να είναι σε θέση να περιστρέφει τον κινητήρα κατά τη φορά των δεικτών του ρολογιού ή αντίθετα από τη φορά των δεικτών του ρολογιού, Γι αυτό το λόγο, η Η-γέφυρα είναι ιδανική για την οδήγηση ενός μοτέρ DC.

Σε ένα τσιπ L293D υπάρχουν δύο κυκλώματα Η-γέφυρας μέσα στο IC(integrated circuit), τα οποία μπορούν να περιστρέφουν ανεξάρτητα δύο μοτέρ. Λόγω του μεγέθους του, χρησιμοποιείται πολύ στη ρομποτική εφαρμογή για τον έλεγχο των κινητήρων συνεχούς ρεύματος. Στην εικόνα 27 δίνεται το διάγραμμα των 16 pin του L239d .

Υπάρχουν δύο pin Ενεργοποίησης στο L293d. Ο ακροδέκτης 1 και ο ακροδέκτης 9, για να οδηγηθεί ο κινητήρας, ο ακροδέκτης 1 και 9 πρέπει να είναι high. Για την οδήγηση του κινητήρα στην αριστερή μεριά πρέπει να ενεργοποιήσετε τον ακροδέκτη 1 σε high. Και για τη δεξιά μεριά πρέπει να κάνετε τον ακροδέκτη 9 high. Αν κάποιος από τα δύο pin 1 ή pin 9 γίνει low τότε ο κινητήρας στην αντίστοιχη μεριά θα σταματήσει να λειτουργεί. Είναι σαν ένας διακόπτης.³⁸



α) β) **Εικόνα 27: α) Η-γέφυρα L239D³⁹ β) διάγραμμα των 16pin της Η-γέφυρας⁴⁰**

Βιβλιογραφία

- ¹ **Βοβός, Νικόλαος Α.** *Μικροδίκτυα για τη Διαχείριση Κατανεμημένης Παραγωγής Ηλεκτρικής Ενέργειας*. 2009.
- ² **Sustainnovate.** *Remote microgrids now dominate global microgrid market*. s.l. : clean technica, 2015.
- ³ **ΜΙΚΡΟΔΙΚΤΥΟ ΚΑΙ ΣΥΣΤΗΜΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΤΟΥ ΕΝΕΡΓΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ ΔΙΑΝΟΜΗΣ**. s.l. : <https://eclass.upatras.gr/modules/document/file.php/EE874/%CE%9A%CE%95%CE%A6%CE%91%CE%9B%CE%91%CE%99%CE%9F%203%20%CE%92%CE%B9%CE%B2%CE%BB%CE%AF%CE%BF%CF%85.pdf>.
- ⁴ **Ζαππή Σωκράτη του Σπυριδώνα.** Διπλωματική Εργασία : «Εξυπνα Δίκτυα Ενέργειας». *nemertes.lis.upatras.gr*. [Ηλεκτρονικό] Μάιος 2015. [http://nemertes.lis.upatras.gr/jspui/bitstream/10889/9048/6/Zappis\(ele\).pdf](http://nemertes.lis.upatras.gr/jspui/bitstream/10889/9048/6/Zappis(ele).pdf).
- ⁵ **LeMay, Michael.** *SCADA Protocols*.
- ⁶ **Γεώργιος, Κατσαρός Δημήτριος.** *Μοντελοποίηση και δυναμική ανάλυση μικροδικτύου*. Πάτρα : s.n., Οκτώβριος 2012.
- ⁷ **Βοβός, Νικόλαος Α.** *Μικροδίκτυα για τη Διαχείριση Κατανεμημένης Παραγωγής Ηλεκτρικής Ενέργειας*. 2009.
- ⁸ **Νικόλαος, Παπαδάκης Δ.** Νημερτής. *nemertes.lis.upatras.gr*. [Ηλεκτρονικό] 2016. <http://nemertes.lis.upatras.gr/jspui/bitstream/10889/9585/1/thesis996.pdf>.
- ⁹ **Νικόλαος, Παπαδάκης Δ.** Νημερτής. *nemertes.lis.upatras.gr*. [Ηλεκτρονικό] 2016. <http://nemertes.lis.upatras.gr/jspui/bitstream/10889/9585/1/thesis996.pdf>.
- ¹⁰ **Ζαππή Σωκράτη του Σπυριδώνα.** Διπλωματική Εργασία : «Εξυπνα Δίκτυα Ενέργειας». *nemertes.lis.upatras.gr*. [Ηλεκτρονικό] Μάιος 2015. [http://nemertes.lis.upatras.gr/jspui/bitstream/10889/9048/6/Zappis\(ele\).pdf](http://nemertes.lis.upatras.gr/jspui/bitstream/10889/9048/6/Zappis(ele).pdf).
- ¹¹ **IEEE SMARDGRID.** IEEE. [Online] smartgrid.ieee.org.
- ¹² **Νικόλαος, Παπαδάκης Δ.** Νημερτής. *nemertes.lis.upatras.gr*. [Ηλεκτρονικό] 2016. <http://nemertes.lis.upatras.gr/jspui/bitstream/10889/9585/1/thesis996.pdf>.
- ¹³ **Νικόλαος, Παπαδάκης Δ.** Νημερτής. *nemertes.lis.upatras.gr*. [Ηλεκτρονικό] 2016. <http://nemertes.lis.upatras.gr/jspui/bitstream/10889/9585/1/thesis996.pdf>.
- ¹⁴ **Μάρκου, Αχιλλέας Γ.** *Μελέτη και υλοποίηση συστήματος ελέγχου*. Αθήνα : s.n., Μάρτιος 2015.
- ¹⁵ **Βελώνη, Αναστασία.** *Ολοκληρωμένος Βιομηχανικός Έλεγχος*.
- ¹⁶ **Μάρκου, Αχιλλέας Γ.** *Μελέτη και υλοποίηση συστήματος ελέγχου*. Αθήνα : s.n., Μάρτιος 2015.
- ¹⁷ National Instruments. [Online] <http://www.ni.com/company/>.
- ¹⁸ **Μάρκου, Αχιλλέας Γ.** *Μελέτη και υλοποίηση συστήματος ελέγχου*. Αθήνα : s.n., Μάρτιος 2015.
- ¹⁹ **Μάρκου, Αχιλλέας Γ.** *Μελέτη και υλοποίηση συστήματος ελέγχου*. Αθήνα : s.n., Μάρτιος 2015.
- ²⁰ **Μάρκου, Αχιλλέας Γ.** *Μελέτη και υλοποίηση συστήματος ελέγχου*. Αθήνα : s.n., Μάρτιος 2015.
- ²¹ **Μάρκου, Αχιλλέας Γ.** *Μελέτη και υλοποίηση συστήματος ελέγχου*. Αθήνα : s.n., Μάρτιος 2015.
- ²² **Δημήτριος, Πατεράκης.** *Σχεδιασμός και κατασκευή μακέτας ενός τοπικού ηλεκτρικού μικροδικτύου*. Ηράκλειο : s.n., 2016.

-
- ²³ **Δημήτριος, Πατεράκης.** *Σχεδιασμός και κατασκευή μακέτας ενός τοπικού ηλεκτρικού μικροδικτύου.* Ηράκλειο : s.n., 2016.
- ²⁴ **Δημήτριος, Πατεράκης.** *Σχεδιασμός και κατασκευή μακέτας ενός τοπικού ηλεκτρικού μικροδικτύου.* Ηράκλειο : s.n., 2016.
- ²⁵ **Δημήτριος, Πατεράκης.** *Σχεδιασμός και κατασκευή μακέτας ενός τοπικού ηλεκτρικού μικροδικτύου.* Ηράκλειο : s.n., 2016.
- ²⁶ **Δημήτριος, Πατεράκης.** *Σχεδιασμός και κατασκευή μακέτας ενός τοπικού ηλεκτρικού μικροδικτύου.* Ηράκλειο : s.n., 2016.
- ²⁷ **Δημήτριος, Πατεράκης.** *Σχεδιασμός και κατασκευή μακέτας ενός τοπικού ηλεκτρικού μικροδικτύου.* Ηράκλειο : s.n., 2016.
- ²⁸ **Δημήτριος, Πατεράκης.** *Σχεδιασμός και κατασκευή μακέτας ενός τοπικού ηλεκτρικού μικροδικτύου.* Ηράκλειο : s.n., 2016.
- ²⁹ **Δημήτριος, Πατεράκης.** *Σχεδιασμός και κατασκευή μακέτας ενός τοπικού ηλεκτρικού μικροδικτύου.* Ηράκλειο : s.n., 2016.
- ³⁰ **Δημήτριος, Πατεράκης.** *Σχεδιασμός και κατασκευή μακέτας ενός τοπικού ηλεκτρικού μικροδικτύου.* Ηράκλειο : s.n., 2016.
- ³¹ **Σταύρος, Ακρασιάκης.** *ΕΞΥΠΝΟΣ ΦΩΤΙΣΜΟΣ ΚΑΙ ΠΙΘΑΝΕΣ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΟΥ ΣΤΟ ΚΤΙΡΙΟ ΤΗΣ ΠΑΛΙΑΣ ΣΤΕΦ ΣΤΟ ΤΕΙ ΚΡΗΤΗΣ.* ΗΡΑΚΛΕΙΟ : s.n., 2016.
- ³² **Σταύρος, Ακρασιάκης.** *ΕΞΥΠΝΟΣ ΦΩΤΙΣΜΟΣ ΚΑΙ ΠΙΘΑΝΕΣ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΟΥ ΣΤΟ ΚΤΙΡΙΟ ΤΗΣ ΠΑΛΙΑΣ ΣΤΕΦ ΣΤΟ ΤΕΙ ΚΡΗΤΗΣ.* ΗΡΑΚΛΕΙΟ : s.n., 2016.
- ³³ **Σταύρος, Ακρασιάκης.** *ΕΞΥΠΝΟΣ ΦΩΤΙΣΜΟΣ ΚΑΙ ΠΙΘΑΝΕΣ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΟΥ ΣΤΟ ΚΤΙΡΙΟ ΤΗΣ ΠΑΛΙΑΣ ΣΤΕΦ ΣΤΟ ΤΕΙ ΚΡΗΤΗΣ.* ΗΡΑΚΛΕΙΟ : s.n., 2016.
- ³⁴ Arduino Shield List. [Online] shieldlist.org.
- ³⁵ **eProLabs.** eProLabs. [Online] wiki.eprolabs.com.
- ³⁶ *Wikipedia.* [Online] https://en.wikipedia.org/wiki/Liquid-crystal_display.
- ³⁷ *waime.* [Online] https://waime.wordpress.com/2015/04/26/arduino-lcd-liquidcrystal_i2c-library/.
- ³⁸ RON Robotics. [Online] 16 8, 2013. <http://www.rakeshmondal.info/L293D-Motor-Driver>.
- ³⁹ Hellas Digital. [Online] <https://www.hellasdigital.gr/electronics/motors-and-drivers/drivers/l293d-push-pull-four-channel-motor-driver-ic-st-dip-16/>.
- ⁴⁰ RON Robotics. [Online] 16 8, 2013. <http://www.rakeshmondal.info/L293D-Motor-Driver>.