



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ**

**ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ**

**ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**

**ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ**

**Δίκτυα διανομής ηλεκτρικής ενέργειας μέσης τάσης (20 KV) και  
έλεγχος λειτουργίας τους μέσω υπολογιστών**

**Medium voltage electricity distribution networks (20 KV) and their  
operation control through computers**

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**ΜΑΓΟΥΛΙΑΝΙΤΗΣ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ**

**Επιβλέπων: Σταμούλης Γεώργιος, Καθηγητής**

**Βόλος, 2021**





ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ

ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ

ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

**Δίκτυα διανομής ηλεκτρικής ενέργειας μέσης τάσης (20 KV) και  
έλεγχος λειτουργίας τους μέσω υπολογιστών**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΜΑΓΟΥΛΙΑΝΙΤΗΣ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ

Επιβλέπων  
Σταμούλης Γεώργιος  
Καθηγητής

Συνεπιβλέπων  
Ευμορφόπουλος Νέστωρ  
Αναπληρωτής Καθηγητής

Μέλος Επιτροπής  
Δασκαλοπούλου Ασπασία  
Επίκουρος Καθηγήτρια





University of Thessaly

School of engineering

Department of Electrical and Computer Engineering

**Medium voltage electricity distribution networks (20 KV) and their  
operation control through computers**

DIPLOMA THESIS

MAGOULIANITIS KONSTANTINOS

Supervisor  
Stamoulis Georgios  
Professor UTH

Co-Supervisor  
Evmorfopoulos Nestoras  
Associate Professor UTH

Member of a committee  
Daskalopoulou Aspasia  
Assistant Professor UTH



## ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Σε αυτό το σημείο θα ήθελα να εκφράσω την ειλικρινή μου ευγνωμοσύνη στον επιβλέποντα καθηγητή μου κ. Σταμούλη Γεώργιο για την εμπιστοσύνη που έδειξε στο πρόσωπό μου, ευχαριστώ τον συνεπιβλέποντα καθηγητή μου κ. Ευμορφόπουλο Νέστωρ για τη πολύτιμη βοήθειά του, όπως επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω και την κ. Δασκαλοπούλου Ασπασία για την εξαιρετική συνεργασία μας. Επιπλέον, ευχαριστώ θερμά τον πρ. Πρόεδρο και καθηγητή του τμήματός μας, κ. Τσουκαλά Ελευθέριο για την αμέριστη βοήθεια και για το ενδιαφέρον του κατά τη διάρκεια της ακαδημαϊκής μου πορείας.

Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον ΔΕΔΔΗΕ της περιοχής του Βόλου και κυρίως τον Δ/ντή του, κ. Παρασχούδη Πασχάλη για την άψογη συνεργασία μας κατά τη διάρκεια της πρακτικής μου άσκησης στον ΔΕΔΔΗΕ του Βόλου, αλλά και για τη πολύτιμη βοήθειά του στη συλλογή πληροφοριών για τη παρούσα διπλωματική εργασία, όπως επίσης ευχαριστώ και τη περιφέρεια της κεντρικής Ελλάδας του ΔΕΔΔΗΕ στη Λαμία για τη συνδρομή και τη παροχή χρήσιμων πληροφοριών.

Κλείνοντας, θα ήθελα να εκφράσω ένα ξεχωριστό ευχαριστώ στους πολυτιμότερους ανθρώπους της ζωής μου που είναι η οικογένειά μου, για την ανεκτίμητη προσφορά και υποστήριξη της όλα αυτά τα χρόνια, καθώς επίσης ευχαριστώ από καρδιάς, όλους τους φίλους μου για τη συμπαράστασή τους, καθ' όλη τη διάρκεια των σπουδών μου.



Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

Πολυτεχνική Σχολή

Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών & Μηχανικών  
Υπολογιστών

**ΥΠΕΥΘΥΝΗ ΔΗΛΩΣΗ ΠΕΡΙ ΑΚΑΔΗΜΑΪΚΗΣ ΔΕΟΝΤΟΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ ΠΝΕΥΜΑΤΙΚΩΝ  
ΔΙΚΑΙΩΜΑΤΩΝ**

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



## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Ανέκαθεν, ο ρόλος της ενέργειας στις διαχρονικές ανάγκες των κοινωνιών είναι πολύ σημαντικός και αποτελεί καθοριστικό παράγοντα στην παγκόσμια ανάπτυξη των χωρών. Επίσης, μέσω της ενέργειας μπορούμε να κάνουμε μια σειρά από καθημερινές εργασίες, υπό την προϋπόθεση λήψης ηλεκτρικού ρεύματος απο το δίκτυο της ΔΕΗ. Η επίτευξη αυτού του εγχειρήματος ολοκληρώνεται επιτυχώς μέσα από μια διαδικασία, ξεκινώντας από την παραγωγή και τους σταθμούς παραγωγής της ΔΕΗ, στη συνέχεια γίνεται η μεταφορά της ηλεκτρικής ενέργειας στις πόλεις, όπου βρίσκονται οι κεντρικοί υποσταθμοί, οι οποίοι υποβιβάζουνε την υπερυψηλή / υψηλή τάση σε μέση τάση (20 KV) και από εκεί ξεκινάει η διανομή στους οικισμούς μέσω της χαμηλής τάσης για την τροφοδότηση όλων των καταναλωτών. Επιπλέον, λόγω της εξέλιξης της τεχνολογίας σημαντικό πλεονέκτημα είναι η ενσωμάτωση καινοτόμων συστημάτων στο χώρο της ενέργειας, όπου έχουν ως στόχο, την εύρυθμη λειτουργία του δικτύου. Ο συνδυασμός της ηλεκτρικής ενέργειας και των δικτύων της, με την τεχνολογία και τους υπολογιστές θα αποτελέσει την μετάβαση στα λεγόμενα δίκτυα του μέλλοντος. Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι να ασχοληθεί με τα δίκτυα ηλεκτρικής ενέργειας και τους υποσταθμούς της στη μέση τάση (20 KV), να περιγράψει ένα σύστημα εποπτικού ελέγχου (SCADA), να αναφέρει τη ρηξικέλευθη συμβολή που έχει για τα δίκτυα, απλοποιώντας τις διαδικασίες ελέγχου και εποπτεία τους, χωρίς να απαιτείται φυσική παρουσία σε εκείνα, πραγματοποιώντας εξ' αποστάσεως χειρισμούς στο δίκτυο μέσω υπολογιστών, όπου η βασική του λειτουργία είναι να μας ενημερώνει για τα φορτία ηλεκτρονικά σε πραγματικό χρόνο (Real time), έχοντας τη δυνατότητα συλλογής και επεξεργασίας δεδομένων του, όπως επίσης ειδοποιεί και τους χειριστές σε περίπτωση βλάβης στο δίκτυο, ως ένα ολοκληρωμένο σύστημα τηλεέγχου – τηλεμετρίας. Έτσι με την εξέλιξη της τεχνολογίας και την ενσωμάτωση της στο χώρο των δικτύων της ηλεκτρικής ενέργειας, μπορεί να υπάρξει πλήρης έλεγχος του δικτύου, καθιστώντας το, ευφυές (Smart Grid).

## **ABSTRACT**

The role of energy in the long-term needs of societies has always been very important and is a determining factor in the global development of countries. Also, through energy we can do a series of daily tasks, provided that electricity is received from the network of the public electricity company. The achievement of this project is successfully completed through a process, starting from the production and the production stations of public electricity company, then the transfer of electricity to the cities, where the central substations are located, which reduce the high / high voltage to medium voltage (20 KV) and from there begins the distribution in the settlements through the low voltage to supply all consumers. In addition, due to the evolution of technology, an important advantage is the integration of innovative systems in the field of energy, where they aim at the smooth operation of the network. The combination of electricity and its networks with technology and computers will be the transition to the so-called networks of the future. The purpose of this diploma thesis is to deal with electricity networks and substations at medium voltage (20 KV), to describe a supervisory control system (SCADA), to report the groundbreaking contribution it has to the networks, simplifying control procedures and their supervision, without requiring physical presence in them, performing remote operations on the network via computers, where its main function is to inform us about loads electronically in real time, having the ability to collect and process its data, as well as notifying operators in case of failure of the network, as a complete remote control - telemetry system. Thus, with the evolution of technology and its integration in the field of electricity networks, there can be complete control of the network, making it intelligent (Smart Grid).

# ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ .....	ix
ABSTRACT .....	x
ΕΙΚΟΝΕΣ .....	xiv
1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ .....	1
ΔΟΜΗ ΕΝΟΤΗΤΩΝ .....	3
2 ΔΙΚΤΥΑ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ .....	5
2.1 Τι Είναι Το Ηλεκτρικό Δίκτυο .....	5
2.2 Δίκτυα Μέσης Τάσης .....	8
2.2.1 Τι Είναι Το Δίκτυο Μέσης Τάσης .....	8
2.2.2 Μορφές Δικτύου Μέσης Τάσης .....	8
2.2.3 Γραμμές Μέσης Τάσης .....	9
2.3 Υποσταθμοί Μέσης Τάσης .....	10
2.3.1 Αντικείμενο Υποσταθμού .....	10
2.3.2 Βασικά Στοιχεία Υποσταθμού .....	12
3 ΣΥΣΤΗΜΑ SCADA .....	20
3.1 Τι Είναι Το Σύστημα SCADA .....	21
3.2 Τι Είναι Η Τηλεμετρία .....	22
3.3 Ιστορική Ανασκόπηση .....	22
3.4 Βασικές Λειτουργίες SCADA .....	24
3.4.1 Έλεγχος Και Εποπτεία Δικτύου .....	24
3.4.2 Εξ' Αποστάσεως Χειρισμοί Δικτύου .....	25

3.4.3	Συλλογή Και Επεξεργασία Δεδομένων .....	25
3.4.4	Ειδοποίηση Συμβάντων Μέσω Alarms .....	26
3.5	Δυνατότητες SCADA .....	27
3.5.1	Έλεγχος Στους Υποσταθμούς .....	28
3.5.2	Έλεγχος Των Τηλεχειριζόμενων Στοιχείων .....	29
3.5.3	Έλεγχος Στοιχείων Συστήματος Για ΤΑΣ – Ripple Control .....	29
3.5.4	Ενεργοποίηση Συναγερμών .....	30
3.5.5	Καταχώριση Δεδομένων .....	31
3.6	Εφαρμογή SCADA .....	33
3.6.1	Στις Βιομηχανίες .....	33
3.6.2	Στην Ενέργεια .....	34
3.6.3	Σε Ερευνητικά Προγράμματα .....	34
3.6.4	Στα Μέσα Μαζικής Μεταφοράς .....	35
3.6.5	Στον Χώρο Των Τηλεπικοινωνιών .....	35
3.6.6	Στα Τραπεζικά Συστήματα .....	36
3.7	Πλεονεκτήματα Συστήματος SCADA .....	37
3.8	Εποπτικοί Υπολογιστές Μέσω SCADA .....	39
4	ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ SCADA .....	42
4.1	Κατηγορίες Αρχιτεκτονικής SCADA .....	46
4.1.1	Αρχιτεκτονική Υλικού .....	46
4.1.2	Αρχιτεκτονική Λογισμικού .....	49
4.2	Τύποι Συστήματος SCADA .....	52
4.2.1	Μονολιθικά .....	52
4.2.2	Κατανεμημένα .....	54
4.2.3	Δικτυακά .....	55
4.2.4	IoT (Internet of Things) .....	58

<b>4.3 Βασικές Τοπολογίες SCADA .....</b>	<b>59</b>
4.3.1 Τοπολογία Αστέρα .....	59
4.3.2 Τοπολογία Δακτύλιου .....	62
4.3.3 Τοπολογία Κεντρικής Αρτηρίας .....	64
<b>4.4 Περιγραφή Δομής Του Συστήματος SCADA .....</b>	<b>66</b>
4.4.1 Διεπαφή Ανθρώπου Μηχανής (HMI) .....	69
4.4.2 Απομακρυσμένες Μονάδες Τερματικού (RTU) .....	73
4.4.3 Προγραμματιζόμενοι Λογικοί Ελεγκτές (PLC) .....	78
4.4.4 Υποδομή Επικοινωνίας .....	83
<b>5 ΕΞΥΠΝΑ ΔΙΚΤΥΑ .....</b>	<b>84</b>
5.1 Τι Είναι Το Έξυπνο Δίκτυο .....	84
5.2 Πλεονεκτήματα Έξυπνου Δικτύου .....	87
5.3 Εφαρμογές Έξυπνου Δικτύου .....	88
<b>6 ΕΠΙΛΟΓΟΣ &amp; ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ .....</b>	<b>89</b>
6.1 Επίλογος .....	89
6.2 Συμπεράσματα .....	91
<b>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ .....</b>	<b>93</b>

## EΙΚΟΝΕΣ

Εικόνα 1 Ηλεκτρικό Δίκτυο ( <a href="https://el.wikipedia.org/wiki/Ηλεκτρικό_δίκτυο">https://el.wikipedia.org/wiki/Ηλεκτρικό_δίκτυο</a> ) .....	6
Εικόνα 2 Δίκτυο Ηλεκτρικής Ενέργειας ( <a href="https://www.deddie.gr/el/deddie/to-diktuo-ilektrismou">https://www.deddie.gr/el/deddie/to-diktuo-ilektrismou</a> ) .....	7
Εικόνα 3 Υποσταθμός ( <a href="https://en.wikipedia.org/wiki/Electrical_grid">https://en.wikipedia.org/wiki/Electrical_grid</a> ) .....	11
Εικόνα 4 Μετασχηματιστής ( <a href="https://el.wikipedia.org/wiki/Μετασχηματιστής">https://el.wikipedia.org/wiki/Μετασχηματιστής</a> ) .....	13
Εικόνα 5 Μονωτής ( <a href="https://en.wikipedia.org/wiki/Insulator_(electricity)">https://en.wikipedia.org/wiki/Insulator_(electricity)</a> ) .....	14
Εικόνα 6 Κεραμικός Μονωτής ( <a href="https://en.wikipedia.org/wiki/Insulator_(electricity)">https://en.wikipedia.org/wiki/Insulator_(electricity)</a> ) ...	15
Εικόνα 7 Διακόπτες Ισχύος ( <a href="https://el.wikipedia.org/wiki/Διακόπτης">https://el.wikipedia.org/wiki/Διακόπτης</a> ) .....	17
Εικόνα 8 Υποσταθμός ( <a href="https://en.wikipedia.org/wiki/Electrical_substation">https://en.wikipedia.org/wiki/Electrical_substation</a> ) .....	19
Εικόνα 9 Σύστημα SCADA ( <a href="https://el.wikipedia.org/wiki/SCADA">https://el.wikipedia.org/wiki/SCADA</a> ) .....	23
Εικόνα 10 SCADA ( <a href="https://www.engineersgarage.com/tech-articles/scada-systems">https://www.engineersgarage.com/tech-articles/scada-systems</a> )	26
Εικόνα 11 Δομή SCADA ( <a href="https://tofinosecurity.com">https://tofinosecurity.com</a> ) .....	32
Εικόνα 12 Σύστημα SCADA ( <a href="https://www.sanovoegg.com/products/processing-solutions/supervision-system/scada-automation">https://www.sanovoegg.com/products/processing-solutions/supervision-system/scada-automation</a> ) .....	37
Εικόνα 13 Δομή Συστήματος SCADA ( <a href="https://sundartechno.com/support">https://sundartechno.com/support</a> ) .....	41

Εικόνα 14 Αρχιτεκτονική Δικτύου SCADA ( <a href="https://instrumentationtools.com/scada-hardware-and-software">https://instrumentationtools.com/scada-hardware-and-software</a> ) .....	43
Εικόνα 15 Αρχιτεκτονική Υλικού SCADA ( <a href="https://www.livewireindia.com/blog/basics-plc-scada-training-livewire-karur">https://www.livewireindia.com/blog/basics-plc-scada-training-livewire-karur</a> ) .....	48
Εικόνα 16 Αρχιτεκτονική Λογισμικού SCADA ( <a href="https://www.elprocus.com/scada-system-architecture-its-working">https://www.elprocus.com/scada-system-architecture-its-working</a> ) .....	51
Εικόνα 17 Αρχιτεκτονική SCADA Πρώτης Γενιάς (McClanahan, R.H., The Benefits of Networked SCADA Systems Utilizing IPEnabled Networks, Rural Electric Power Conference, 2002. 2002 IEEE, 5-7 May 2002 Pages: C5 - C5_7 ) .....	53
Εικόνα 18 Αρχιτεκτονική SCADA Δεύτερης Γενιάς (McClanahan, R.H., The Benefits of Networked SCADA Systems Utilizing IPEnabled Networks, Rural Electric Power Conference, 2002. 2002 IEEE, 5-7 May 2002 Pages: C5 - C5_7 ) .....	55
Εικόνα 19 Αρχιτεκτονική SCADA Τρίτης Γενιάς (McClanahan, R.H., The Benefits of Networked SCADA Systems Utilizing IPEnabled Networks, Rural Electric Power Conference, 2002. 2002 IEEE, 5-7 May 2002 Pages: C5 - C5_7 ) .....	57
Εικόνα 20 Αρχιτεκτονική SCADA Τέταρτης Γενιάς ( <a href="https://www.electronicshub.org/scada-system">https://www.electronicshub.org/scada-system</a> ) .....	58
Εικόνα 21 Τοπολογία Αστέρα SCADA ( <a href="https://crushtymks.com/el/industrial-automation/1100-5-ingredients-that-make-scada-operation-delicious.html">https://crushtymks.com/el/industrial-automation/1100-5-ingredients-that-make-scada-operation-delicious.html</a> ) .....	61

Εικόνα 22	Τοπολογία	Δακτύλιου	SCADA	( <a href="https://crushtymks.com/el/industrial-automation/1100-5-ingredients-that-make-scada-operation-delicious.html">https://crushtymks.com/el/industrial-automation/1100-5-ingredients-that-make-scada-operation-delicious.html</a> )	63	
Εικόνα 23	Τοπολογία	Κεντρικής	Αρτηρίας	SCADA	( <a href="https://crushtymks.com/el/industrial-automation/1100-5-ingredients-that-make-scada-operation-delicious.html">https://crushtymks.com/el/industrial-automation/1100-5-ingredients-that-make-scada-operation-delicious.html</a> )	65
Εικόνα 24	Διάταξη	Συστήματος	SCADA	( <a href="https://study.com/academy/lesson/supervisory-control-and-data-acquisition-scada-system-definition-components.html">https://study.com/academy/lesson/supervisory-control-and-data-acquisition-scada-system-definition-components.html</a> )	68	
Εικόνα 25	Δομή	Συστήματος	SCADA	( <a href="https://www.electronicshub.org/scada-system">https://www.electronicshub.org/scada-system</a> )	72	
Εικόνα 26	Μονάδα	RTU	( <a href="https://en.wikipedia.org/wiki/Remote_terminal_unit">https://en.wikipedia.org/wiki/Remote_terminal_unit</a> )	74		
Εικόνα 27	RTU	Συστήματος	SCADA	( <a href="https://instrumentationtools.com/scada-hardware-and-software">https://instrumentationtools.com/scada-hardware-and-software</a> )	76	
Εικόνα 28	Δομή	Ενός	RTU	(Clarke, G.R., Reynders,D and Edwin W, “SCADA protocols: DNP3, 60870.5 and related systems.” Elsevier, 2004. pp.15 - 25)	77	
Εικόνα 29	PLCs	( <a href="https://en.wikipedia.org/wiki/Programmable_logic_controller">https://en.wikipedia.org/wiki/Programmable_logic_controller</a> )	79			



Εικόνα 30 Δομή του PLC (Προγραμματιζόμενοι Λογικοί Ελεγκτές (PLC) , Τμήμα Μηχανικών Παραγωγής και Διοίκησης, Μάθημα: Βιομηχανικά Ηλεκτρονικά και Αυτοματισμοί (ΤΜΕ134), Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο Θράκης) ..... 81

Εικόνα 31 Χαρακτηριστικά ενός παραδοσιακού συστήματος (αριστερά) έναντι ενός έξυπνου δικτύου (δεξιά) ([https://en.wikipedia.org/wiki/Smart\\_grid](https://en.wikipedia.org/wiki/Smart_grid)) ..... 86

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Διαχρονικά η ενέργεια είναι από τα πιο πολύτιμα αγαθά στη ζωή μας και καθίσταται απαραίτητη για την ομαλή πορεία των κοινωνιών. Επιπλέον για να μπορούμε να κάνουμε τις καθημερινές μας εργασίες, απαραίτητη προϋπόθεση είναι να λαμβάνουμε ηλεκτρικό ρεύμα από το δίκτυο της ΔΕΗ. Ωστόσο αυτό απαιτεί μια μακροσκελής διαδικασία ξεκινώντας από τα εργοστάσια, δηλαδή τους σταθμούς παραγωγής της ΔΕΗ οι οποίοι το παράγουν και μέσω των δικτύων υπερευψηλής τάσης (400 KV) / υψηλής τάσης (150 KV) γίνεται η μεταφορά στις πόλεις, όπου βρίσκονται οι υποσταθμοί μέσης τάσης (20 KV) και από εκεί ξεκινάει η διανομή στους οικισμούς μέσω της χαμηλής τάσης (230 V) για να τροφοδοτούνται όλοι οι καταναλωτές. Παρ' όλα αυτά, εφόσον εξασφαλιστεί η ηλεκτροδότηση, ένα από τα πιο σημαντικά θέματα είναι η εύρυθμη λειτουργία του δικτύου. Τα τελευταία χρόνια η τεχνολογία καλπάζει και δεν θα μπορούσε να λείπει από τα δίκτυα ηλεκτρικής ενέργειας, όπου με την εξέλιξη κάποιων εποπτικών μηχανισμών έχουν απλοποιηθεί οι διαδικασίες παρακολούθησής τους. Επίσης, ένα δίκτυο απαιτεί κάποιες διαδικασίες συντήρησης και ο έλεγχος του καθιστάται πολύπλοκος, πόσο μάλλον όταν πρόκειται για ένα τεράστιο δίκτυο Η.Ε. (Ηλεκτρικής Ενέργειας). Ανέκαθεν, κύριο μέλημα όλων των υπεύθυνων, όπου ασχολούνται με τα δίκτυα ηλεκτρικής ενέργειας και όχι μόνο, των χειριστών και όλων των εμπλεκόμενων είναι η ομαλή μετάβαση από το παλιό σύστημα στα νέα συστήματα, αξιοποιώντας κατάλληλα την τεχνολογία και βοηθώντας έτσι τις εργασίες τους στην καθημερινότητα. Με την πάροδο των χρόνων αυτό έχει υλοποιηθεί σε μεγάλο βαθμό και οι νέες εποχές έχουν ενσωματώσει μοντέρνους τρόπους σε ένα τεράστιο κεφάλαιο

για την παγκόσμια κοινότητα που είναι η ανάγκη κάθε κοινωνίας για παραγωγή και κατανάλωση της ενέργειας. Έτσι συγκεκριμένα το σύστημα SCADA όπου θα ασχοληθούμε στη παρούσα διπλωματική εργασία δημιουργήθηκε, ως ένα νέο σύστημα το οποίο θα συντελούσε στο να εποπτεύσει, δίκτυα προηγούμενων δεκαετιών, αλλά και μελλοντικών. Αυτός είναι και ο κύριος λόγος που κάποιοι επιστήμονες αναγκάστηκαν να δουλέψουν για την σχεδίαση ενός τέτοιου συστήματος ουσιαστικά, επειδή ο ηλεκτρισμός είναι ένα αναπόσπαστο κομμάτι της ζωής μας και σίγουρα είναι άρρηκτα συνδεδεμένος με τις περισσότερες ενέργειες. Ήδη σε πολλά απο τα κομμάτια του δικτύου κυρίως στην υψηλή τάση και στους κεντρικούς υποσταθμούς της μέσης τάσης έχει εφαρμοστεί το σύστημα SCADA, ως ένας εποπτικός μηχανισμός του δικτύου, όπου η βασική του λειτουργία είναι να μας ενημερώνει σε πραγματικό χρόνο (Real time) για τα φορτία που έχουν οι γραμμές και οι υποσταθμοί για παράδειγμα και μέσω κάποιων λειτουργιών του, που θα αναφέρουμε παρακάτω να μπορούμε σε πολλές περιπτώσεις να προλάβουμε τυχόν βλάβες του δικτύου, ώστε σε περίπτωση που συμβεί οποιοδήποτε πρόβλημα, να μπορέσουμε να γίνουν οι απαραίτητοι χειρισμοί. Επιπλέον σημαντικοί λόγοι για να δημιουργηθεί ένα τέτοιο σύστημα και να εξελιχθεί το υπάρχον δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας είναι τα δεδομένα, τα οποία με προηγούμενες τεχνολογίες ήταν ανέφικτο να καταγραφούν περιπτώσεις συμβάντων και αστοχιών, πόσο μάλλον να γίνει οποιαδήποτε επεξεργασία τους, ως μελλοντική παρατήρηση. Επιπροσθέτως, ένα από τα βασικά θέματα που προκύπτει είναι ότι μέσα από τις νέες ανακαλύψεις και τις εφευρέσεις νέων συστημάτων τεχνολογίας, όπως είναι και το SCADA, τα δίκτυα σταδιακά εισέρχονται σε μία διαφορετική κατηγορία, στην οποία μαζί με τις βασικές λειτουργίες που έκανε, τώρα συνδυάζει και πιο πολύπλοκα συστήματα, η οποία αποκαλείται << Έξυπνα Δίκτυα >> ή αλλιώς Smart Grids, τα οποία είναι τα δίκτυα του μέλλοντος. Γενικά βασίζονται σε συστήματα τα οποία έχουν την δυνατότητα να ελέγχουν εξ' αποστάσεως το δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας και να χρησιμοποιούν καινοτόμους αυτοματισμούς βασισμένους σε ηλεκτρονικούς υπολογιστές. Αυτά τα συστήματα μπορούν να λειτουργήσουν και με τεχνολογίες αμφίδρομης επικοινωνίας, δίνοντας την δυνατότητα υπολογιστικής επεξεργασίας, τα οποία έχουν αξιοποιηθεί εδώ και χρόνια σε άλλους κλάδους. Στα πλαίσια αυτής της διπλωματικής εργασίας, ο στόχος είναι να παρουσιαστούν τα δίκτυα της ηλεκτρικής

ενέργειας και ειδικότερα στη μέση τάση, καθώς επίσης και ένα εξελιγμένο σύστημα εμποπτικού ελέγχου το οποίο ονομάζεται SCADA, ώστε να αναδειχθεί η συμβολή που έχει για τα δίκτυα, ως ένα σύστημα τηλεέγχου, όπου με την εξέλιξη της τεχνολογίας μπορεί να υπάρξει πλήρης έλεγχος του δικτύου, καθιστώντας το δίκτυο, ευφυές (Smart Grid). Ο σκοπός είναι μέσα από την ανάλυση που θα γίνει στο σύστημα SCADA να καταλήξουμε σε κάποια χρήσιμα συμπεράσματα που θα μας βοηθήσουν να κατανοήσουμε καλύτερα την σημασία που έχει σήμερα η τεχνολογία στη ζωή μας, με στόχο την μετάβαση στα λεγόμενα << Έξυπνα Δίκτυα >> ή αλλιώς (Smart Grids).

## **ΔΟΜΗ ΕΝΟΤΗΤΩΝ**

Σε αυτή την ενότητα θα γίνει αναφορά για το περιεχόμενο των επόμενων κεφαλαίων που θα δούμε παρακάτω και θα παρουσιαστεί ο κορμός της διπλωματικής εργασίας. Η συγκεκριμένη εργασία οργανώνεται σε 6 διαφορετικά κεφάλαια, όπου κάθε ένα αναλύει διαφορετικά θέματα, τα οποία όμως στο σύνολο τους είναι άρρηκτα συνδεδεμένα μεταξύ τους, καθώς αλληλοσυμπληρώνονται. Το περίγραμμα της διπλωματικής εργασίας αποτυπώνεται ως εξής:

Στο κεφάλαιο 2 θα παρουσιάσουμε τα δίκτυα ηλεκτρικής ενέργειας και συγκεκριμένα στη μέση τάση (20 KV), όπου είναι και ένα από τα αντικείμενα της διπλωματικής εργασίας και θα γίνει αναφορά στις γραμμές και στους κύριους υποσταθμούς της, δηλαδή σε εκείνους που συνδέονται με τις γραμμές της υπερυψηλής τάσης (400 KV) και υψηλής τάσης (150 KV), καθώς επίσης και σε βασικά στοιχεία τους.

Στο κεφάλαιο 3 θα γίνει επεξήγηση τους συστήματος SCADA και συγκεκριμένα τι είναι αυτό το σύστημα, θα δοθεί ορισμός της τηλεμετρίας, θα πραγματοποιηθεί ιστορική ανασκόπηση του συστήματος, θα περιγραφούν οι βασικές λειτουργίες του γύρω από τα δίκτυα της ηλεκτρικής ενέργειας, θα αναλυθούν οι δυνατότητες που έχει αυτό το σύστημα, θα γίνει αναφορά στους χώρους εργασίας που εφαρμόζεται, θα αναφερθούν τα πλεονεκτήματά του και τέλος θα αναδειχθεί η σημασία που έχουν οι εποπτικοί υπολογιστές μέσω του συστήματος SCADA.

Στο κεφάλαιο 4 θα πάμε ένα βήμα παρακάτω και θα εμβαθύνουμε περισσότερο στο σύστημα SCADA, όπου θα υπάρξει πλήρη περιγραφή της αρχιτεκτονικής του, θα γίνει αναφορά στους τύπους του συστήματος, θα αναπτυχθούν οι βασικές τοπολογίες των δικτύων του και τελικά θα γίνει περιγραφή της δομής του, αναφέροντας λεπτομερώς τα στοιχεία στα οποία βασίζεται ξεχωριστά, όπου θα αναλυθούν κιόλας.

Το κεφάλαιο 5 είναι και ο λόγος που υπάρχει καθημερινά εξέλιξη της τεχνολογίας και ενσωμάτωσή της στον χώρο της ηλεκτρικής ενέργειας και στα δίκτυα της, καθώς ο συνδυασμός των προηγούμενων κεφαλαίων συντελούν ουσιαστικά στο να δημιουργηθεί ένα νέο δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας, περισσότερο ευφυές, με καλύτερες προδιαγραφές στον τρόπο που το χειριζόμαστε, να υπάρξει έγκαιρη ενημέρωση μας από τα κατάλληλα όργανα, όπου ουσιαστικά είναι τα << Έξυπνα Δίκτυα >> ή αλλιώς Smart Grids και θα είναι η κύρια αναφορά της ενότητας.

Τέλος, το τελευταίο κεφάλαιο θα περιλαμβάνει τον επίλογο της διπλωματικής εργασίας, θα εξαχθούν κάποια χρήσιμα συμπεράσματα για τα νέα συστήματα τα οποία τοποθετούνται στα δίκτυα ηλεκτρικής ενέργειας και θα τονίσει τη σημασία που έχουν όλες οι καινοτόμες προσπάθειες προκειμένου το δίκτυο να γίνει πιο φιλικό σε εμάς και μελλοντικά να υπάρχει σημαντική πρόοδος σε αυτό.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

# ΔΙΚΤΥΑ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

## 2.1 Τι Είναι Το Ηλεκτρικό Δίκτυο

Ηλεκτρικό δίκτυο είναι ένα διασυνδεδεμένο δίκτυο για τη μεταφορά της ηλεκτρικής ενέργειας από τους παραγωγούς στους καταναλωτές. Συνίσταται από τρία μέρη:

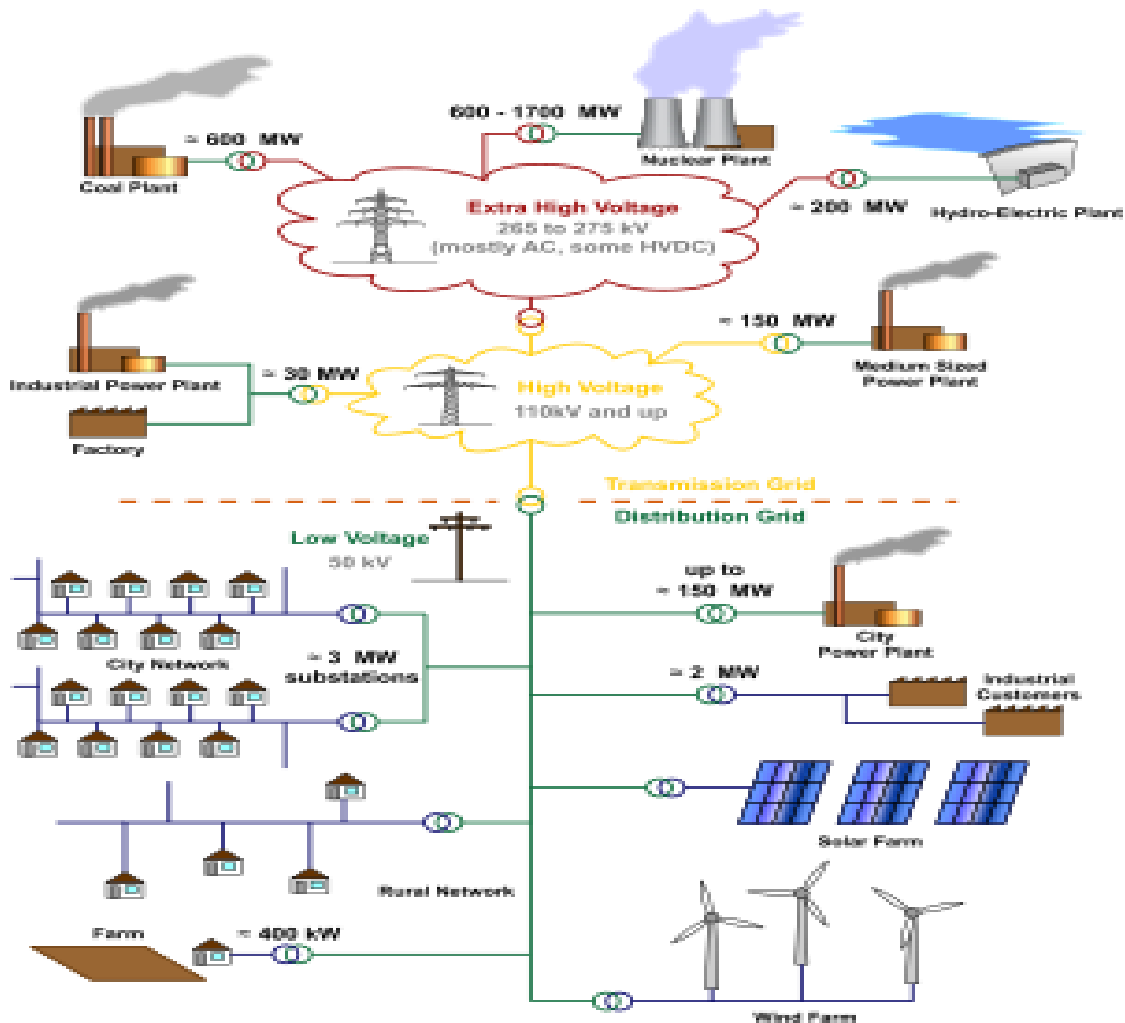
Το πρώτο μέρος είναι η Παραγωγή Ηλεκτρικής Ενέργειας: Τα εργοστάσια παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας παράγουν ηλεκτρική ενέργεια χρησιμοποιώντας ορυκτά καύσιμα (λιγνίτη, φυσικό αέριο κ.λ.π.) ή τον αέρα, το νερό, τα πυρηνικά καύσιμα και τον ήλιο.

Το δεύτερο μέρος είναι η Μεταφορά Ηλεκτρικής Ενέργειας: Οι γραμμές μεταφοράς μεταφέρουν την ηλεκτρική ενέργεια από τα εργοστάσια στα κέντρα ζήτησης.

Το τρίτο μέρος είναι η Διανομή Ηλεκτρικής Ενέργειας: Η ενέργεια φτάνει στους υποσταθμούς, γίνεται υποβιβασμός τάσης με τη βοήθεια μετασχηματιστών και μεταφέρεται μέσω γραμμών διανομής. με περαιτέρω υποβιβασμό τάσης, γίνεται κατάλληλη για χρήση από οικιακά δίκτυα [1].

Η ηλεκτρική ενέργεια είναι εκείνη όπου παράγεται κατά βάση για να αναλωθεί και σκοπός κάθε παραγωγού είναι η παραγόμενη ενέργεια να καταλήξει στον καταναλωτή. Βασική προϋπόθεση για την ομαλή μεταφορά της ηλεκτρικής ενέργειας στο δίκτυο είναι να υπάρχει η κατάλληλη οργάνωση και ο σωστός σχεδιασμός, ώστε να γίνεται σωστή εκμετάλλευσή της. Το δίκτυο της ηλεκτρικής ενέργειας είναι υπεύθυνο για την ομαλή μεταφορά της στους καταναλωτές και ο σκοπός του είναι από το ένα άκρο που είναι ο τόπος παραγωγής της ηλεκτρικής ενέργειας, μέχρι και το άλλο άκρο που βρίσκονται οι καταναλωτές να έχουν γίνει όλες οι προβλεπόμενες διαδικασίες, ώστε να υπάρχει ομαλότητα της ηλεκτρικής ενέργειας.

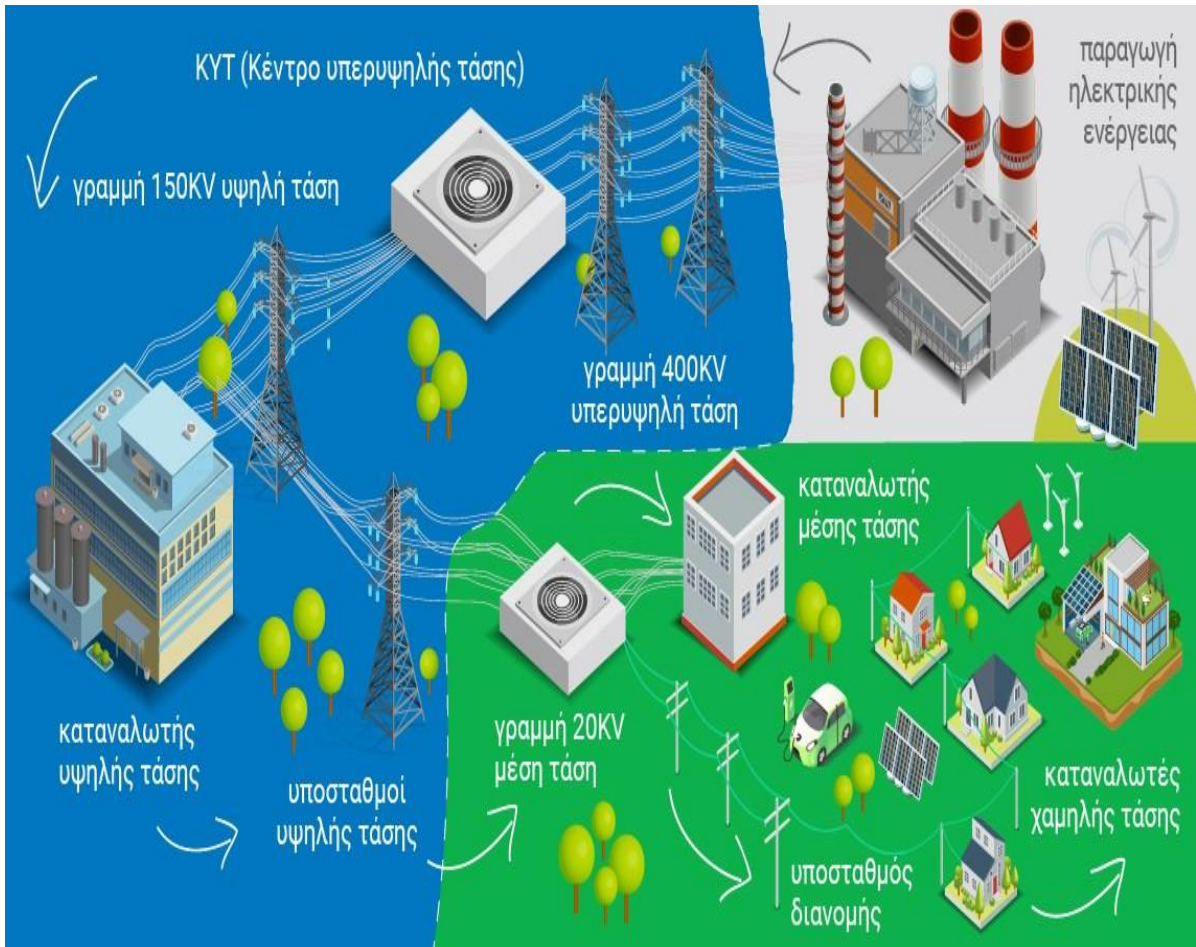
Το σύνολο των 3 μερών της ηλεκτρικής ενέργειας δηλαδή η παραγωγή, η μεταφορά και η διανομή δημιουργούν το ηλεκτρικό δίκτυο που απεικονίζεται στην παρακάτω εικόνα.



Εικόνα 1 Ηλεκτρικό Δίκτυο ([https://el.wikipedia.org/wiki/Ηλεκτρικό\\_δίκτυο](https://el.wikipedia.org/wiki/Ηλεκτρικό_δίκτυο))

Στην εικόνα 1 παρατηρούμε ότι εκτός από ένα ολοκληρωμένο δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας για την παραγωγή της ηλεκτρικής ενέργειας χρησιμοποιούνται και Α.Π.Ε. (Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας), όπως είναι τα φωτοβολταϊκά συστήματα και οι ανεμογεννήτριες, οι οποίες είναι ιδιαίτερως χρήσιμες, ως εξοικονόμηση πόρων.

Επίσης στην εικόνα 2 παρακάτω φαίνεται ξεκάθαρα ένα πλήρες δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας, όπου είναι ευδιάκριτα τα 3 βασικά μέρη του, δηλαδή η παραγωγή, η μεταφορά και η διανομή της ηλεκτρικής ενέργειας.



Εικόνα 2 Δίκτυο Ηλεκτρικής Ενέργειας (<https://www.deddie.gr/el/deddie/to-diktuo-ilektrismou>)

Πλέον είναι ξεκάθαρο ότι η ουσία ενός δικτύου ηλεκτρικής ενέργειας είναι να μπορεί να μεταφέρει την ενέργεια από την παραγωγή στην κατανάλωση με τις λιγότερες δυνατές απώλειες των φορτίων.



## **2.2 Δίκτυα Μέσης Τάσης**

### **2.2.1 Τι Είναι Το Δίκτυο Μέσης Τάσης**

Στην πρώτη ενότητα του δεύτερου κεφαλαίου αναπτύχθηκε το τεράστιο κεφάλαιο που λέγεται δίκτυα ηλεκτρικής ενέργειας καθώς μέσα από μια εικόνα κατανοήσαμε καλύτερα αυτό το τεράστιο μέγεθος. Επίσης ειπώθηκαν τα 3 βασικά μέρη ενός δικτύου ηλεκτρικής ενέργειας και φτάσαμε στο σημείο να αναπτύξουμε τα δίκτυα μέσης τάσης, όπου ουσιαστικά μετά την μεταφορά της ηλεκτρικής ενέργειας από τους σταθμούς παραγωγής ξεκινάει μέσω των μετασχηματιστών της μέσης τάσης (20 KV), η διανομή στη χαμηλή τάση (230 KV). Τα δίκτυα της μέσης τάσης μπορούμε να πούμε ότι είναι ο ενδιάμεσος κρίκος στα δίκτυα της ηλεκτρικής ενέργειας και όταν αναφερόμαστε σε εκείνη κατά βάση εννοούμε ότι η τάση στην οποία αναφερόμαστε είναι περίπου στα (20 KV). Σημαντική διαφορά σε σχέση με τη χαμηλή τάση δεν είναι μόνο οι τιμές τους, αλλά και ότι στην μέση τάση δεν χρησιμοποιείται ο ουδέτερος, με αποτέλεσμα να υπάρχουνε μόνο οι 3 φάσεις του.

### **2.2.2 Μορφές Δικτύου Μέσης Τάσης**

Τα δίκτυα στη μέση τάση διακρίνονται σε κάποιες βασικές κατηγορίες και η επιλογή τους γίνεται κατά βάση λόγω του χωροτακτικού σχεδίου στο οποίο θα επεκταθούν και επίσης σημαντικό κριτήριο είναι και ο τρόπος για τον οποίο θα τα εκμεταλλευτούν οι εμπλεκόμενοι πάροχοι, όπως κάνει μέχρι και σήμερα στην Ελλάδα η ΔΕΗ. Οι ονομασίες όλων αυτών των μορφών των δικτύων προέρχονται ξεκάθαρα από την τοπολογία τους και στον τρόπο με τον οποίο απλώνονται όλες οι γραμμές των 20 KV της ΔΕΗ και φυσικά κάθε κατηγορία έχει τα θετικά, όπως και τα αρνητικά του.

Οι κατηγορίες αυτές είναι:

- Ακτινικό
- Αραχνοειδές
- Ατρακτοειδές
- Βροχοειδές
- Μικρών Βρόχων

Επειδή η τοπολογία κάθε δικτύου είναι εκείνη που δίνει και το όνομα στην μορφή του, στα ακτινικά δίκτυα τα οποία χρησιμοποιούνται αρκετά στην καθημερινότητα, οι γραμμές των 20 KV αναχωρούν από τον κεντρικό υποσταθμό (150/20) KV της ΔΕΗ και απλώνονται σαν τις ακτίνες ενός κύκλου, από εκεί δηλαδή που παίρνουνε και το όνομα τους. Ενώ για παράδειγμα μία άλλη βασική μορφή των δικτύων τα βροχοειδή τα οποία αναχωρούνε από τον υποσταθμό σχηματίζουν έναν κλειστό βρόχο που ξανακαταλήγει πάλι στην ίδια τοποθεσία.

### **2.2.3 Γραμμές Μέσης Τάσης**

Η μέση τάση (20 KV) όπως αναφέρθηκε προηγουμένως είναι ο ενδιάμεσος κρίκος μεταξύ της υπερυψηλής (400 KV) / υψηλής (150 KV) και της χαμηλής τάσης (230 V). Για αυτό τον λόγο οι γραμμές χωρίζονται σε γραμμές μεταφοράς και διανομής. Αρχικά οι γραμμές μεταφοράς είναι εκείνες, οι οποίες ξεκινάνε απο τους σταθμούς της παραγωγής και αναχωρούνε προς τους κεντρικούς υποσταθμούς της μέσης τάσης (150/20) KV της ΔΕΗ. Αποτελούνται από ηλεκτρικούς αγωγούς [2] οι οποίοι είναι κατάλληλα προστατευμένοι με κατάλληλους μονωτήρες [3] και μονωτικά τυλίγματα για τυχόν διαρροές του δικτύου.

Επιπλέον είναι και οι γραμμές διανομής στην μέση τάση, όπου αναχωρούνε οι τρεις φάσεις από τον κεντρικό υποσταθμό προς την χαμηλή τάση, με σκοπό να τροφοδοτήσουνε τους καταναλωτές. Βασική διαφορά της μέσης τάσης από την χαμηλή είναι ότι υπάρχουνε μόνο οι τρεις φάσεις στο δίκτυο και δεν υπάρχει ουδέτερος αγωγός.

## **2.3 Υποσταθμοί Μέσης Τάσης**

### **2.3.1 Αντικείμενο Υποσταθμού**

Οι υποσταθμοί είναι μέρος ενός ηλεκτρικού συστήματος παραγωγής, μεταφοράς, διανομής [4] και διαχωρίζονται σε κεντρικούς ή μη. Οι κεντρικοί υποσταθμοί της μέσης τάσης (20 KV) συνήθως εκτείνονται σε μία συγκεκριμένη περιοχή, μπορεί να είναι περισσότεροι του ενός για μία πόλη κάτι που εξαρτάται από το σύνολο των φορτίων και ο ρόλος του είναι να υποβιβάζει την τιμή της τάσης που προέρχεται από την γραμμή μεταφοράς. Όταν πρόκειται για τη γραμμή μεταφοράς υποβιβάζει την τάση (150KV / 20KV) και όταν πρόκειται για τη γραμμή διανομής υποβιβάζει πάλι την τάση (20KV / 230V). Επιπλέον υπάρχουνε και υποσταθμοί, οι οποίοι βρίσκονται εκτός του χώρου του κεντρικού υποσταθμού και ο ρόλος τους είναι να υποβιβάζουνε την μέση τάση σε χαμηλή (20KV / 230V) με σκοπό την τροφοδότηση του δικτύου στη χαμηλή τάση. Αυτό το επιτυγχάνει ο υποσταθμός με τους μετασχηματιστές, τους οποίους θα αναφέρουμε παρακάτω. Ένας υποσταθμός είναι πολύ βασικός σε ένα δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας επειδή ο ρόλος του είναι να κάνει τον συνδετικό κρίκο ανάμεσα στην παραγωγή και την κατανάλωση, αφού είναι απαραίτητος για την μετάβαση της ηλεκτρικής ενέργειας στους καταναλωτές.

Για να έχουμε ένα πιο ξεκάθαρο πεδίο στο τι εννοούμε και πως περιγράφουμε έναν υποσταθμό, αποτυπώνεται στην παρακάτω εικόνα 3, ώστε να έχουμε μια πιο ολοκληρωμένη αίσθηση στο τι τελικά αναπτύξαμε παραπάνω.



Εικόνα 3 Υποσταθμός ([https://https://en.wikipedia.org/wiki/Electrical\\_grid](https://https://en.wikipedia.org/wiki/Electrical_grid))

Στην παραπάνω εικόνα 3 διακρίνεται ένας κεντρικός υποσταθμός της μέσης τάσης, με βασικά στοιχεία τους μετασχηματιστές του, τους πυλώνες της υψηλής τάσης όπου έρχονται οι γραμμές μεταφοράς της ηλεκτρικής ενέργειας στον υποσταθμό, τους στύλους της μέσης τάσης, τους διακόπτες του και κάποιες συστοιχίες πυκνωτών, οι οποίοι είναι υπεύθυνοι να ρυθμίζουν τον συντελεστή ισχύος των γραμμών του δικτύου.

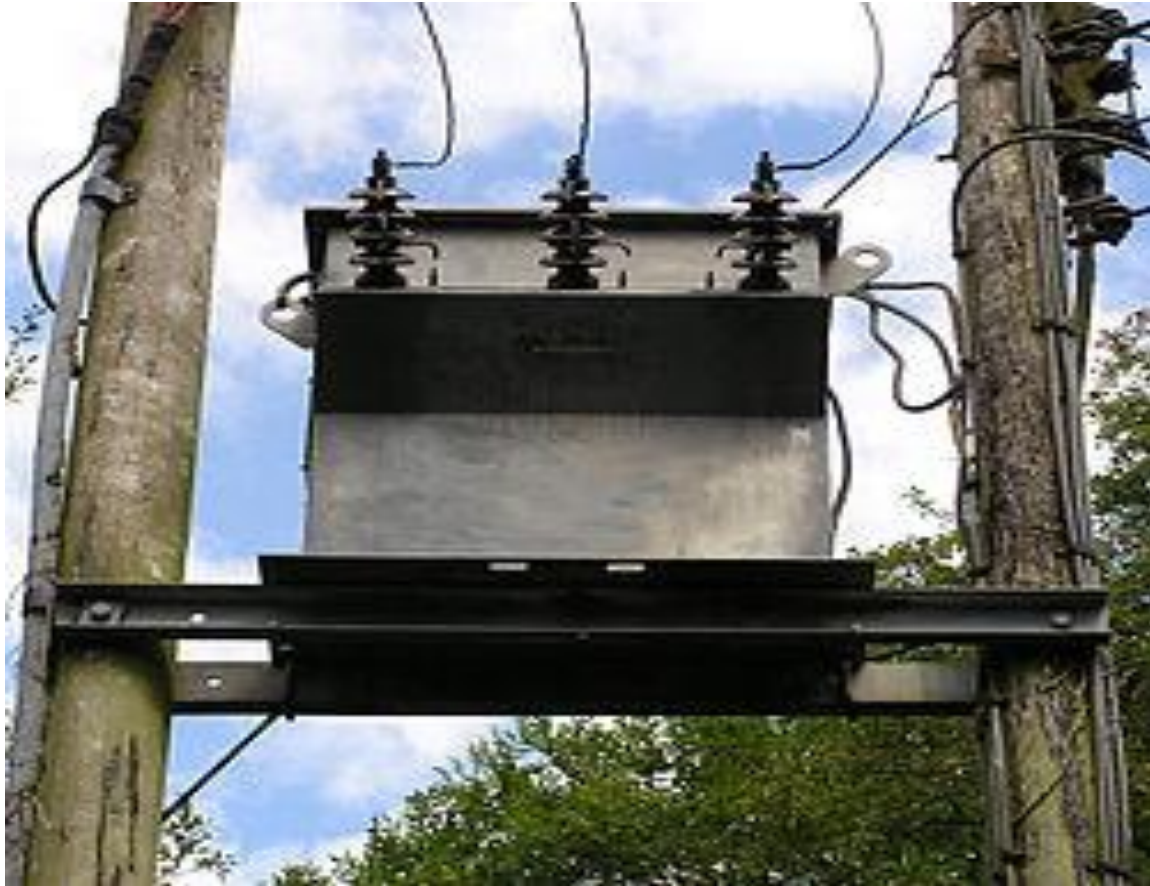
### 2.3.2 Βασικά Στοιχεία Υποσταθμού

Σε συνέχεια της ενότητας για τους υποσταθμούς και αφού αναφέραμε ότι οι υποσταθμοί στη μέση τάση, μέσω των μετασχηματιστών τους υποβιβάζουν το επίπεδο τάσης, αξίζει σε αυτό το σημείο να αναφέρουμε και τον βασικό εξοπλισμό, όπου φέρουμε. Βασικά το κύριο στοιχείο τους είναι οι μετασχηματιστές, οι οποίοι είναι διαφόρων τυποποιημένων μεγεθών, επίσης έχουν εξοπλισμό ρύθμισης τάσης, αλλά και μέσα προστασίας όπως είναι οι διακοπτικοί μηχανισμοί [5]. Αναλυτικά:

#### 1. Μετασχηματιστές

Οι μετασχηματιστές (Μ/Σ) αποτελούν βασικό κομμάτι του εναλλασσόμενου συστήματος ενέργειας. Ο μετασχηματιστής είναι συσκευή η οποία μεταφέρει ηλεκτρική ενέργεια μεταξύ δύο κυκλωμάτων, διαμέσου επαγωγικά συζευγμένων ηλεκτρικών αγωγών [6]. Ο σκοπός τους είναι να μεταβάλλουν την τάση μαζί με το ρεύμα, ώστε να υπάρχει η ίδια ροή ισχύος. Οι μετασχηματιστές είναι κατασκευασμένοι σε ποικίλα μεγέθη, χωρητικότητες και τύπους. Κυρίως αυτό που χρειάζεται να σημειώσουμε είναι ότι η εφαρμογή τους στο δίκτυο της ηλεκτρικής ενέργειας γίνεται και στα 3 μέρη του. Δηλαδή στην παραγωγή, όπου πραγματοποιούν ανύψωση της τάσης (20/150) KV ή (20/400) KV, στη μεταφορά τη στιγμή που φτάνει στον κεντρικό υποσταθμό της μέσης τάσης και γίνεται υποβιβασμός της τάσης (150/20) KV ή (400/20) KV και τέλος στη διανομή, όπου πάλι πραγματοποιείται υποβιβασμός της τάσης (20KV / 230V) [7].

Στην επόμενη σελίδα και συγκεκριμένα στην εικόνα 4 αποτυπώνεται ξεκάθαρα ο μετασχηματιστής, ο οποίος βρίσκεται εκτός κεντρικού υποσταθμού και ο ρόλος του είναι να υποβιβάσει την τάση της μέσης (20 KV) σε χαμηλή (230V).



Εικόνα 4 Μετασχηματιστής (<https://el.wikipedia.org/wiki/Μετασχηματιστής>)

Στην παραπάνω εικόνα 4 απεικονίζεται ένας τριφασικός μετασχηματιστής υποβιβασμού τάσης (20KV / 230V), αναρτημένος σε στύλο.

## 2. Μονωτές

Ηλεκτρικός μονωτής είναι ένα υλικό στο οποίο το ηλεκτρόνιο δεν ρέει ελεύθερα ή το άτομο του μονωτή έχει στενά συνδεδεμένα ηλεκτρόνια των οποίων τα εσωτερικά

ηλεκτρικά φορτία δεν ρέουν ελεύθερα. Η ιδιότητα που διακρίνει έναν μονωτή είναι η αντίσταση του και οι μονωτές έχουν υψηλότερη αντίσταση από τους ημιαγωγούς ή τους αγωγούς [3]. Οι μονωτές και γενικά τα μονωτικά υλικά είναι ίσως ένα από τα πιο βασικά στοιχεία που φέρει ένα δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας επειδή ουσιαστικά αποτελεί προστασία τόσο για το δίκτυο, όσο και περισσότερο σημαντικό για την προστασία του ίδιου του ανθρώπου. Χωρίς τις κατάλληλες μονώσεις, ένα δίκτυο δεν είναι σε θέση να λειτουργήσει με ασφάλεια, πόσο μάλλον να κάνουν τις απαραίτητες ενέργειες που απαιτούνται στο δίκτυο, οι τεχνίτες του.

Στην εικόνα 5 αποτυπώνεται ένας κεραμικός μονωτής που χρησιμοποιείται σε ηλεκτροκίνητους σιδηροδρόμους.



Εικόνα 5 Μονωτής ([https://en.wikipedia.org/wiki/Insulator\\_\(electricity\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Insulator_(electricity)))

Επιπλέον, παρακάτω στην εικόνα 6 μπορούμε να παρατηρήσουμε επίσης έναν κεραμικό μονωτή ηλεκτρικού δικτύου.



Εικόνα 6 Κεραμικός Μονωτής ([https://en.wikipedia.org/wiki/Insulator\\_\(electricity\)\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Insulator_(electricity)))

### 3. Διακόπτες

Οι διακόπτες έχουν σημεία με τα οποία συνδέονται με το κύκλωμα τα οποία ονομάζονται ακροδέκτες. Κάθε διακόπτης έχει δύο καταστάσεις, την κατάσταση που είναι κλειστός και την κατάσταση που είναι ανοιχτός. Όταν ανοίγουμε έναν διακόπτη δεν επιτρέπεται η διέλευση του ηλεκτρικού ρεύματος μεταξύ των ακροδεκτών του, ενώ όταν είναι κλειστός επιτρέπεται η διέλευση του ηλεκτρικού ρεύματος μεταξύ των ακροδεκτών του [8]. Η ανάγκη για απομόνωση κάποιων τμημάτων στο δίκτυο ή γενικότερα σ' ένα κύκλωμα για λόγους ασφαλείας, συντήρησης ή επισκευής οδήγησε στην ανάπτυξη ορισμένων ειδών διακοπών. Ο διακόπτης διατηρεί την κατάσταση στην οποία βρίσκεται, ενώ αυτή μεταβάλλεται μόνο από εξωτερικούς του στοιχείου παράγοντες, όπως είναι το πάτημα ενός κουμπιού ή αλλαγή στο ηλεκτρικό πεδίο.



Κάθε κλειστός διακόπτης μπορεί να ανοίξει, ενώ κάθε ανοιχτός διακόπτης μπορεί να κλείσει. Στην προκειμένη περίπτωση για τα δίκτυα εναλλασσομένου ρεύματος μέσης τάσεως οι διακόπτες κατατάσσονται ως εξής:

i. Αποζεύκτες - Γειωτές

Οι αποζεύκτες έχουν μεγάλη απόσταση μεταξύ των επαφών και η χρησιμότητά τους είναι να εξασφαλίσουν ότι ένα κύκλωμα έχει ασφάλεια, με σκοπό γίνουν όλες οι εργασίες που απαιτούνται σε αυτό από το προσωπικό. Επίσης οι γειωτές είναι διακόπτες με ανάλογα χαρακτηριστικά με τους αποζεύκτες, με τους οποίους αλληλομανδαλώνονται και εξασφαλίζουν ότι όταν ο αποζεύκτης είναι ανοιχτός, το κύκλωμα συνδέεται στη γείωση [8].

ii. Διακόπτες Φορτίου

Έχουν τη δυνατότητα να διακόψουν μόνο το κανονικό ρεύμα λειτουργίας, ενώ μπορούν να κλείσουν χωρίς βλάβη ακόμα και αν υπάρχει βραχυκύκλωμα. Είναι εφοδιασμένοι με ελατήριο για την γρήγορη απομάκρυνση των επαφών. Αποτελούν μέσα χειρισμού και χρησιμοποιούνται για χειρισμό ηλεκτροκινητήρων, ζεύξη αναχωρήσεων γραμμών κ.λ.π. [8]. Στα δίκτυα διανομής διακρίνονται σε 2 κατηγορίες, με την πρώτη να ονομάζονται διακόπτες απομόνωσης ενώ στην δεύτερη αποζεύκτες ανοιχτοί υπό φορτίο. Είναι πολύ σημαντικές και οι δύο κατηγορίες διακοπών επειδή συμβάλλουν στην επαναδιαμόρφωση του δικτύου διανομής, αλλά και στα σύγχρονα δίκτυα, όπου με την εξέλιξη της τεχνολογίας και με νέα συστήματα τηλεέγχου, όπως είναι και το SCADA, για το οποίο θα μιλήσουμε αναλυτικά στα επόμενα κεφάλαια, δίνεται η δυνατότητα τηλεχειριζόμενων διακοπών για τη μεταβολή της τοπολογίας του δικτύου σε πραγματικό χρόνο.

### iii. Διακόπτες Ισχύος

Οι διακόπτες ισχύος αποτελούν μέσα προστασίας και σπανίως χρησιμοποιούνται για χειρισμούς. Έχουν τη δυνατότητα της ταχείας διακοπής του πολύ μεγάλου ρεύματος που ρέει στα δίκτυα της μέσης τάσης σε περίπτωση βραχυκυκλώματος και μέσω ειδικών διατάξεων σβήνουν το τόξο που σχηματίζεται ανάμεσα στις επαφές τους. Οι συνηθέστεροι τύποι σήμερα είναι οι διακόπτες πτωχού ελαίου, λεγόμενοι και ως (ελαιοδιακόπτες) και οι διακόπτες SF<sub>6</sub>. Οι διακόπτες ισχύος διαθέτουν ισχυρότατο ελατήριο το οποίο εξασφαλίζει την ταχεία απομάκρυνση των επαφών εντός ελάχιστου χρόνου. Αν ο μηχανισμός του ελατηρίου ενεργοποιηθεί και ο διακόπτης ανοίξει, πρέπει να οπλίσει εκ νέου, πράγμα που επιτυγχάνεται με χρήση ηλεκτροκινητήρα ή βοηθητικού χειροστροφάλου [8]. Έτσι έχουνε την ικανότητα να διακόπτουνε ή να αποκαθιστούνε μεγάλες εντάσεις σε κανονικές συνθήκες, αλλά κυρίως ο ρόλος τους είναι για πιο ακραίες καταστάσεις, όπως είναι η περίπτωση του βραχυκυκλώματος [9].

Στην παρακάτω εικόνα 7 αποτυπώνονται διακόπτες ισχύος υψηλής τάσεως τύπου πτωχού ελαίου, λεγόμενοι και ως (ελαιοδιακόπτες).



Εικόνα 7 Διακόπτες Ισχύος (<https://el.wikipedia.org/wiki/Διακόπτης>)

#### 4. Πυκνωτές

Σε συνέχεια της ενότητας περί των βασικών στοιχείων ενός υποσταθμού είναι απαραίτητο να τονίσουμε σε αυτό το σημείο τη χρησιμότητα που έχουν οι πυκνωτές σε ένα δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας και να αναφέρουμε το ρόλο τους. Αρχικά, πυκνωτής ορίζεται ως ένα σύστημα δύο γειτονικών αγωγών ανάμεσα στους οποίους παρεμβάλλεται μονωτικό υλικό [10]. Επίσης ανάμεσα σε δύο ηλεκτρικούς αγωγούς κοντά σε ένα κύκλωμα, ένας πυκνωτής είναι ένα στοιχείο που έχει σχεδιαστεί για να προσθέτει χωρητικότητα σε ένα κύκλωμα. Οι πυκνωτές είναι γνωστοί για την χωρητικότητάς τους και ουσιαστικά πρόκειται για συσκευές που αποθηκεύουν ηλεκτρικό φορτίο σε ένα ηλεκτρικό πεδίο [11]. Ο λόγος ύπαρξης των πυκνωτών στο δίκτυο οφείλεται ουσιαστικά στο γεγονός ότι τα δίκτυα της ηλεκτρικής ενέργειας λειτουργούν με εναλασσόμενο ρεύμα και η άεργη ισχύς είναι χαρακτηριστικό του. Αυτό συμβαίνει λόγω των επαγωγικών και χωρητικών φορτίων που εισέρχονται στο δίκτυο της ηλεκτρικής ενέργειας, ενώ στο συνεχές ρεύμα δεν υφίστανται τα εν λόγω φορτία, παρά μόνο τα ωμικά. Έτσι ένα ποσό ηλεκτρικής ισχύος που μεταφέρεται συνεχώς από και προς τα επαγωγικά, χωρητικά στοιχεία, χωρίς όμως να παράγεται έργο ή να καταναλώνεται ανήκει στην κατηγορία της άεργης ισχύος και το πρόβλημα που προκύπτει είναι να χαλάει ο συντελεστής ισχύος του δικτύου της ηλεκτρικής ενέργειας. Απαραίτητη προϋπόθεση για την εύρυθμη λειτουργία των δικτύων της ηλεκτρικής ενέργειας είναι σε διάφορα σημεία του δικτύου, όπως είναι και οι υποσταθμοί του, να υπάρχουν εγκατεστημένες συστοιχίες πυκνωτών, όπου ο βασικός τους ρόλος είναι να διορθώνουν τον συντελεστή ισχύος των γραμμών του δικτύου. Άρα με αυτόν τον τρόπο επιτυγχάνεται αντιμετώπιση στο πρόβλημα της άεργης ισχύος, λόγω του ότι για κάθε επαγωγικό φορτίο που δημιουργείται ένα πρόβλημα, τοποθετείται ένα χωρητικό φορτίο (πυκνωτής) με αποτέλεσμα να εξισορροπείται ο συντελεστής ισχύος και κατ' επέκταση να αποτρέπονται τυχόν απώλειες στο δίκτυο.

Στην παρακάτω εικόνα 8 απεικονίζεται ένας κύριος υποσταθμός της μέσης τάσης (20 KV), ο οποίος υποβαθμίζει την τάση, από τις γραμμές μεταφοράς της υψηλής.



Εικόνα 8 Υποσταθμός ([https://en.wikipedia.org/wiki/Electrical\\_substation](https://en.wikipedia.org/wiki/Electrical_substation))

Κλείνοντας το 2<sup>ο</sup> κεφάλαιο και αφού καλύφθηκαν τα βασικά μέρη των δικτύων της μέσης τάσης, το επόμενο στάδιο είναι να ασχοληθούμε με ένα καινοτόμο σύστημα τηλεέγχου και εποπτείας των δικτύων της ηλεκτρικής ενέργειας το οποίο ονομάζεται SCADA όπου μέσω αυτού του συστήματος μπορούμε να ελέγχουμε σε πραγματικό χρόνο και τα δίκτυα της μέσης τάσης που αναφέραμε παραπάνω από τον υπολογιστή.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

### ΣΥΣΤΗΜΑ SCADA

Σε αυτό το κεφάλαιο και στο 4<sup>ο</sup> θα ασχοληθούμε αναλυτικά με ένα εξελιγμένο σύστημα τηλεέγχου και εποπτείας το οποίο ονομάζεται SCADA και παρέχει έλεγχο σε δίκτυα ηλεκτρικής ενέργειας, εξ' αποστάσεως μέσω υπολογιστών. Αρχικά, το σύστημα SCADA δημιουργήθηκε για να φέρει εξέλιξη στην τεχνολογία, χρησιμοποιώντας προηγμένους και μοντέρνους τρόπους σε ένα τεράστιο κεφάλαιο για την παγκόσμια κοινότητα που είναι η ανάγκη κάθε κοινωνίας για παραγωγή και κατανάλωση της ενέργειας. Αυτός είναι και ο κύριος λόγος που κάποιοι επιστήμονες αναγκάστηκαν να δουλέψουν για την σχεδίαση ενός τέτοιου συστήματος ουσιαστικά, επειδή ο ηλεκτρισμός είναι ένα αναπόσπαστο κομμάτι της ζωής μας και σίγουρα είναι άρρηκτα συνδεδεμένος με τις περισσότερες ενέργειες που κάνει ο άνθρωπος στην καθημερινότητά του. Ουσιαστικά, ο σκοπός αυτού του εγχειρήματος ήταν να δημιουργήσουν ένα εξελιγμένο σύστημα που από τη μία να μπορεί να συλλέγει όλο αυτό το τεράστιο πλήθος των δεδομένων που καταγράφονται καθημερινά στα δίκτυα και από την άλλη, να ελέγχει ένα δίκτυο. Το σύστημα SCADA μπόρεσε να ενσωματωθεί στο τεράστιο κλάδο των δικτύων της ηλεκτρικής ενέργειας με τον πιο καλύτερο τρόπο και να βοηθήσει στις σημερινές ανάγκες που έχουνε διαμορφωθεί στη σημερινή εποχή. Έπειτα αυτός είναι και ο κυριότερος λόγος ενσωμάτωσης του SCADA στα δίκτυα της ηλεκτρικής ενέργειας διότι το πιο σημαντικό σε ένα τεράστιο χιλιομετρικών αποστάσεων δίκτυο, όπως είναι της ΔΕΗ, όπου στην ουσία καθίσταται εφικτή η παραγωγή, μεταφορά και διανομή της ηλεκτρικής ενέργειας, είναι η απόκτηση ενός εποπτικού μηχανισμού όπου θα μας ενημερώνει μέσω κάποιων τηλεπικοινωνιακών δικτύων σε πραγματικό χρόνο.

Επιπλέον, το νέο μοντέλο συστήματος ήρθε για να υποκαταστήσει, αλλά και να συμπληρώσει σε πολλές περιπτώσεις το παλιό σύστημα με περισσότερες δυνατότητες, δηλαδή νέα εργαλεία τα οποία είμαστε σε θέση να τα αξιοποιήσουμε με τον καλύτερο δυνατό τρόπο κάνοντας την καθημερινότητά μας πιο εύκολη και απλοποιώντας τους απαραίτητους χειρισμούς. Διαχρονικά υπάρχει ανάγκη για εξέλιξη στην καθημερινότητά μας, με την τεχνολογία να καλπάζει ραγδαία σε πολλούς τομείς της κοινωνίας μας, πόσο μάλλον για τα δίκτυα της ηλεκτρικής ενέργειας, τα οποία έχουνε τοποθετηθεί εδώ και 100 περίπου χρόνια στην Ελλάδα λειτουργώντας με προδιαγραφές προηγούμενων εποχών. Έτσι με την υλοποίηση αυτού του καινοτόμου συστήματος, η σημασία της δημιουργίας του SCADA ήταν να συμβάλλει στην πιο ομαλή λειτουργία του δικτύου και να ενσωματωθεί στα ήδη υπάρχοντα δίκτυα της ηλεκτρικής ενέργειας για 4 πολύ σημαντικούς λόγους που θα αναφέρουμε παρακάτω και το παλιό σύστημα δεν μπορούσε να εξυπηρετήσει, δηλαδή σύγχρονες ανάγκες στην σημερινή εποχή μας. Όμως σε αυτό το σημείο είναι απαραίτητο να ορίσουμε το σύστημα SCADA, ώστε να μας βοηθήσει παρακάτω καλύτερα στην κατανόησή του.

### **3.1 Τι Είναι Το Σύστημα SCADA**

Ο όρος SCADA (supervisory control and data acquisition) περιγράφει μια κατηγορία συστημάτων βιομηχανικού αυτομάτου ελέγχου και τηλεμετρίας [12]. Το SCADA είναι γνωστό και ως σύστημα τηλεελέγχου – τηλεμετρίας το οποίο σταδιακά θα αντικαταστούσε παλαιότερα συστήματα. Τα αρχικά του συστήματος «SCADA» (Supervisory Control And Data Acquisition) σημαίνουν εποπτικός έλεγχος και απόκτηση δεδομένων. Οπότε μπορούμε να πούμε ότι πρόκειται ουσιαστικά για ένα καινοτόμο σύστημα, το οποίο είναι σε θέση να ελέγχει κάποιες διεργασίες εξ' αποστάσεως μέσω κάποιων εποπτικών μηχανισμών και ο χειρισμός τους γίνεται μέσω υπολογιστή.

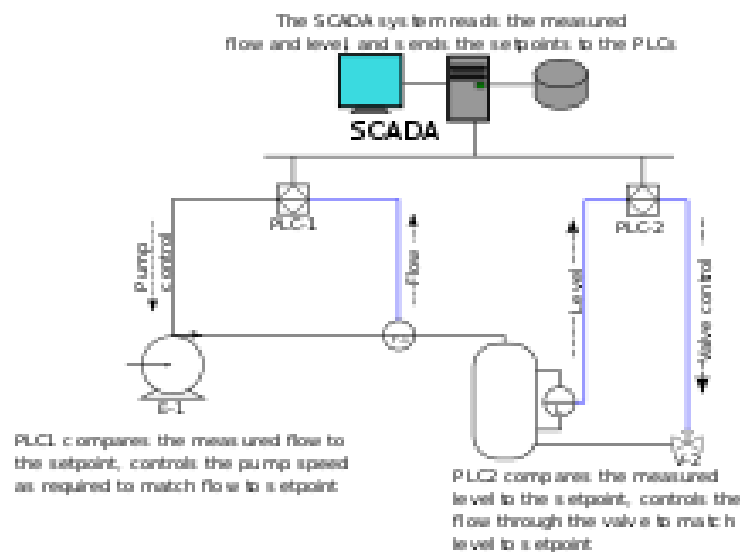
## 3.2 Τι Είναι Η Τηλεμετρία

Η Τηλεμετρία είναι η επιστήμη που επιτρέπει την συλλογή δεδομένων εξ αποστάσεως. Συνήθως πρόκειται για επιστημονικά δεδομένα. Με τον όρο τηλεμετρία εννοείται συνήθως η ασύρματη μετάδοση δεδομένων με χρήση πομποδεκτών μεγάλης ή μικρής εμβέλειας, τηλεπικοινωνιακών δορυφόρων κ.λ.π, αλλά και η καλωδιακή μετάδοση δεδομένων κυρίως σήμερα μέσω δικτύων όπως το ίντερνεντ ή μέσω τηλεφωνικού δικτύου. Όταν στο σύστημα τηλεμετρίας περιλαμβάνεται τόσο η ανάκτηση δεδομένων όσο και ο αυτόματος έλεγχος (σε βιομηχανικά και τεχνολογικά συστήματα) τότε χρησιμοποιείται ο όρος SCADA [13]. Οπότε μπορούμε να πούμε ότι η τηλεμετρία είναι μια αυτοματοποιημένη διαδικασία μέσω της οποίας είμαστε σε θέση να συλλέγουμε κάποιες πληροφορίες, από τα δίκτυα μας για παράδειγμα, οι οποίες ουσιαστικά είναι κάποια εξαγόμενα δεδομένα του και είναι σε θέση να μεταδοθούνε ασύρματα σε κάποιο κεντρικό σταθμό, δηλαδή εξ' αποστάσεως, όπου γίνεται η απαραίτητη επεξεργασία τους, ώστε να εξαχθούνε κάποια χρήσιμα συμπεράσματα.

## 3.3 Ιστορική Ανασκόπηση

Ο εποπτικός έλεγχος εξελίχθηκε για πρώτη φορά σε συστήματα ηλεκτρικής χρησιμότητας όταν έγινε αισθητή η ανάγκη λειτουργίας απομακρυσμένου εξοπλισμού υποσταθμού χωρίς αποστολή προσωπικού ή πληρώματος γραμμής στον απομακρυσμένο χώρο. Από τη δεκαετία του 1930 είχαν αναπτυχθεί ιδιαίτερες ιδέες από τηλεφωνικές εταιρείες και το 1940 χρησιμοποιήθηκε ένα ζευγάρι καλωδίων για κάθε μοναδικό εξοπλισμό μεταξύ διαφορετικών τοποθεσιών. Εκείνη την εποχή για λόγους ασφάλειας οι επιστήμονες κατέληξαν σε μία απλή διαδικασία, αλλά πολύ σημαντική για τότε ότι ο χειριστής είναι απαραίτητο να περιμένει επιβεβαίωση από τη συσκευή προτού τελικά τη λειτουργήσει [14].

Επίσης είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι προγράμματα εκείνης της εποχής του εποπτικού ελέγχου συνέβαλαν σε αναπτυξιακά έργα, όπως για παράδειγμα στα αεροδρόμια με τα φώτα προσγείωσης του αεροδιαδρόμου. Αυτό συνέβη και τη δεκαετία του 1950, όπου αυτά τα συστήματα είχαν γίνει δημοφιλή, μέχρι να μπει στη ζωή μας η τηλεμετρία τη δεκαετία του 1960, όπου αναπτύχθηκε για σκοπούς παρακολούθησης των συστημάτων εξ' αποστάσεως [14]. Η εξέλιξη της τεχνολογίας με την έλευση των υπολογιστών εκείνης της εποχής επέτρεψε κάποιες λειτουργίες να πραγματοποιούνται μέσω λογισμικού, γεγονός όπου φαίνεται ξεκάθαρα ότι ήτανε μια επιτυχία για την εποχή εκείνη, λόγω του ότι τα προηγούμενα χρόνια γινόντουσαν οι διεργασίες από χειριστές. Έτσι στην μετάβαση της τεχνολογίας από τον ενσύρματο εξοπλισμό στην ασύρματη επικοινωνία των διεργασιών μέσω υπολογιστών φτάνουμε στο χρονικό σημείο περίπου το 1960 και λίγο αργότερα όπου σχεδιάστηκε το πρώτο σύστημα SCADA για διαστημικά προγράμματα, όπου καθοριστική υπήρξε ιδιαίτερως η συμβολή της επιστήμης της τηλεμετρίας, λόγω του ότι είχε ξεκινήσει να αναπτύσσεται ραγδαία με την πάροδο των χρόνων.



Εικόνα 9 Σύστημα SCADA (<https://el.wikipedia.org/wiki/SCADA>)

Στην παραπάνω εικόνα 9 απεικονίζεται ένα σύστημα SCADA.



## 3.4 Βασικές Λειτουργίες Του SCADA

Αρχικά το SCADA είναι ένας εποπτικός μηχανισμός, ο οποίος είναι σε θέση να ελέγχει κάθε στιγμή σε πραγματικό χρόνο το σύστημα στο οποίο έχει ενσωματωθεί και να παρέχει πληροφορίες εξ' αποστάσεως, χωρίς να απαιτείται φυσική παρουσία στο χώρο των διεργασιών. Έπειτα η ονομασία του συστήματος SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition), δηλαδή εποπτικός έλεγχος και απόκτηση δεδομένων υποδηλώνει ακριβώς τη λειτουργία του και τους λόγους που δημιουργήθηκε. Όπως αναφέραμε στην εισαγωγή του 3<sup>ου</sup> κεφαλαίου το σύστημα SCADA σχεδιάστηκε και ενσωματώθηκε για 4 βασικούς λόγους στα δίκτυα της ηλεκτρικής ενέργειας:

1. Έλεγχος και Εποπτεία Δικτύου
2. Εξ' Αποστάσεως Χειρισμοί Δικτύου
3. Συλλογή Και Επεξεργασία Δεδομένων
4. Ειδοποίηση Συμβάντων Μέσω Alarms

### 3.4.1 Έλεγχος Και Εποπτεία Δικτύου

Ο πρώτος από τους παραπάνω λόγους που είναι ο έλεγχος και η εποπτεία και για την ακρίβεια είναι τηλεέλεγχος επειδή όλος ο εποπτικός μηχανισμός είναι σχεδιασμένος για να έχει πλήρη εικόνα από τον υπολογιστή είναι από τους πιο σημαντικούς επειδή μπορούμε σε πραγματικό χρόνο (real time) να γνωρίζουμε κάθε στιγμή την εικόνα του δικτύου της ηλεκτρικής ενέργειας για τα τμήματα που μας ενδιαφέρουν, να έχουμε πλήρη επίγνωση των φορτίων που βρίσκονται κάθε στιγμή στις γραμμές της ηλεκτρικής ενέργειας, αλλά και στους υποσταθμούς, κυρίως της υψηλής και της μέσης τάσης, ώστε να υπάρχει ομαλή εποπτεία των δικτύων.

### **3.4.2 Εξ' Αποστάσεως Χειρισμοί Δικτύου**

Ο δεύτερος λόγος, ο οποίος έχει να κάνει με τους αναγκαίους χειρισμούς στο δίκτυο της ηλεκτρικής ενέργειας είναι ένα πολύτιμο εργαλείο που παρέχει το σύστημα SCADA κυρίως στους χειριστές του επειδή είναι σε θέση κάθε στιγμή που κρίνουν οι ίδιοι ότι είναι απαραίτητο να παρέμβουν στο δίκτυο της ηλεκτρικής ενέργειας ή έχουν εντοπίσει κάποιο σφάλμα, να μπορούν να πραγματοποιήσουν αμέσως κάποιο χειρισμό για την διευκόλυνση του δικτύου και το σημαντικότερο είναι ότι μπορεί να γίνει εξ' αποστάσεως, δηλαδή χωρίς φυσική παρουσία έξω στα δίκτυα της ΔΕΗ, αλλά μέσω υπολογιστών από έναν διαμορφωμένο χώρο, όπου είναι κατάλληλα σχεδιασμένος και εξοπλισμένος και για τον οποίο θα ασχοληθούμε αναλυτικά στο επόμενο κεφάλαιο.

### **3.4.3 Συλλογή Και Επεξεργασία Δεδομένων**

Ο τρίτος λόγος είναι η συλλογή των δεδομένων όπου τα προηγούμενα συστήματα δεν ήταν σε θέση να τα καταγράψουν, σε περίπτωση συμβάντων και βλαβών του δικτύου της ηλεκτρικής ενέργειας, καθώς επίσης και η επεξεργασία αυτών των δεδομένων, όπου τυχόν θα θέλαμε να κάνουμε κάποιες παρατηρήσεις. Σε αυτό το σημείο είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι αποτελεί και ένα από τα πιο σημαντικά μέρη του SCADA για τον λόγο ότι από την καταγραφή των δεδομένων προκύπτουν χρήσιμα στοιχεία και δημιουργείται ένα ιστορικό αυτής της συλλογής, το οποίο είναι σε θέση να το μελετήσουν οι αρμόδιοι που διαχειρίζονται το δίκτυο της ηλεκτρικής ενέργειας και να κάνουν κάποιες παραδοχές, ώστε να προκύψουν μερικά χρήσιμα συμπεράσματα που θα τους βοηθήσουν στο μέλλον. Άρα το SCADA πρόκειται στην ουσία για ένα προχωρημένο σύστημα το οποίο διαθέτει μια μορφή μνήμης και είναι σε θέση να μας παρουσιάσει χρήσιμες αναφορές του δικτύου της ηλεκτρικής ενέργειας.

### 3.4.4 Ειδοποίηση Συμβάντων Μέσω Alarms

Ο τέταρτος και τελευταίος από τους παραπάνω λόγους είναι η έγκαιρη ενημέρωση σε περίπτωση κάποιας βλάβης ή σφάλματος του δικτύου μέσω κάποιων μηχανισμών alarms, με τους οποίους θα ασχοληθούμε στο 4<sup>ο</sup> κεφάλαιο, ώστε να επιτυγχάνεται η διαρκής παρακολούθηση του δικτύου κάθε στιγμή σε πραγματικό χρόνο (real time) και εφόσον προκύψουν κάποιες προσωρινές διακοπές ή βλάβες να ειδοποιούνται οι υπεύθυνοι που ελέγχουν τα δίκτυα της ηλεκτρικής ενέργειας από το σύστημα SCADA μέσω ενδείξεων συναγερμού (alarm), ώστε να γίνονται άμεσα οι χειρισμοί στο δίκτυο, με σκοπό την αποκατάστασή τους.

Η παρακάτω εικόνα 10 είναι αντιπροσωπευτική του συστήματος SCADA.



Εικόνα 10 SCADA (<https://www.engineersgarage.com/tech-articles/scada-systems>)

### 3.5 Δυνατότητες SCADA

Επόμενο στάδιο με σκοπό την καλύτερη κατανόηση του συστήματος SCADA είναι να προχωρήσουμε στις δυνατότητες που έχει αυτό το σύστημα τηλεέγχου – τηλεμετρίας και να αρχίσουμε σταδιακά να εμβαθύνουμε περισσότερο. Όπως αναφέραμε και στις προηγούμενες ενότητες το σύστημα SCADA πρόκειται για έναν εποπτικό μηχανισμό με σκοπό τον έλεγχο και την απόκτηση δεδομένων, όπου πρόκειται για μια αρχιτεκτονική συστήματος ελέγχου που περιλαμβάνει υπολογιστές, δικτυακές επικοινωνίες δεδομένων και γραφικές διεπαφές χρήστη (GUI) για εποπτική διαχείριση διεργασιών υψηλού επιπέδου, ενώ περιλαμβάνει επίσης άλλες περιφερειακές συσκευές όπως προγραμματιζόμενους λογικούς ελεγκτές (PLC) και διακριτούς αναλογικούς - ελεγκτές ενοποιημένων παραγώγων (PID) για διασύνδεση με μονάδα επεξεργασίας ή μηχανήματα [15]. Στη συνέχεια, στον Κύριο Σταθμό Εργασίας συνδέονται κάποιοι τοπικοί ελεγκτές (PLC) που αποτελούν χαρακτηριστικό του συστήματος με κύριο σκοπό τον έλεγχο στοιχείων και μονάδων μιας εγκατάστασης. Επιπλέον, στον σταθμό εργασίας πραγματοποιούνται χειρισμοί μέσω της χρήσης ηλεκτρονικού υπολογιστή, ώστε να πραγματοποιηθεί ο απαραίτητος έλεγχος του συστήματος για την ομαλή λειτουργία του δικτύου. Έπειτα, ο κεντρικός σταθμός λειτουργίας, όταν συλλέξει κάποια δεδομένα από την εγκατάσταση του δικτύου μπορεί να τα μεταδώσει μέσω ενός τηλεπικοινωνιακού συστήματος, το οποίο βασίζεται σε ένα τοπικό LAN, δηλαδή μέσω ενός τοπικού δικτύου ή μέσω κάποιου ενσύρματου ή ασύρματου τηλεφωνικού δικτύου, σε ένα πλήθος από σταθμούς εργασίας. Όλες αυτές οι χρήσιμες παροχές μπόρεσαν να ενσωματωθούν σε ένα καινοτόμο σύστημα που είναι το SCADA διότι η σημερινή εποχή απαιτεί συστήματα τα οποία θα είναι σε θέση να ανταπεξέλθουν στις καθημερινές μας ανάγκες και θα μπορούν να διαμορφώσουν την εικόνα του δικτύου με μετρήσιμα στοιχεία. Έτσι σε κάθε περίπτωση οι δυνατότητες που παρέχονται από αυτό είναι διευρυμένες σε σχέση με παλαιότερα συστήματα και καλύπτουν τα υφιστάμενα κενά για την καλύτερη λειτουργία του δικτύου.

Η εκμετάλλευση του δικτύου, λόγω των σύγχρονων απαιτήσεων που έχουν δημιουργηθεί στη σημερινή εποχή γίνεται με καλύτερους όρους σε σχέση με πριν. Αυτό το σύστημα δημιουργήθηκε για να απλοποιήσει περισσότερο τις εργασίες των υπεύθυνων στην καθημερινή τους ζωή και να μπορούν να κάνουν απλούς χειρισμούς εξ' αποστάσεως, μέσω υπολογιστών, γεγονός που σε διαφορετική περίπτωση θα απαιτούσε φυσική παρουσία στο χώρο των υποσταθμών και γενικότερα στα δίκτυα της ηλεκτρικής ενέργειας.

Το σύστημα SCADA μας παρέχει μερικές δυνατότητες, ώστε να μπορούμε να κάνουμε κάποιες διεργασίες ευκολότερα σε καθημερινή βάση και οι σημαντικότερες είναι:

1. Έλεγχος Στους Υποσταθμούς της Υψηλής Τάσης / Μέσης Τάσης
2. Έλεγχος Των Τηλεχειριζόμενων Στοιχείων
3. Έλεγχος Των Στοιχείων του Συστήματος Για Τις ΤΑΣ – Ripple Control
4. Ενεργοποίηση Συναγερμών
5. Καταχώριση Δεδομένων και Δυνατότητα Παροχής Αναφορών

### **3.5.1 Έλεγχος Στους Υποσταθμούς**

Ξεκινώντας την ανάλυση των δυνατοτήτων του συστήματος SCADA και όπως αναφέραμε παραπάνω, αρχικά στα δίκτυα της ηλεκτρικής ενέργειας το σημαντικότερο είναι ότι εφαρμόζεται έλεγχος τόσο σε υποσταθμούς (Υ/Σ) Υψηλής και Μέσης τάσης (Υ.Τ./Μ.Τ), όσο και στις γραμμές τους. Το SCADA είναι ένα σύστημα το οποίο σήμερα έχει ενσωματωθεί σε πολλούς κύριους υποσταθμούς με σκοπό τον έλεγχο τους κάθε χρονική στιγμή σε πραγματικό χρόνο (real time), έχοντας τη δυνατότητα να λαμβάνει μετρήσεις της ενεργού και αέργου ισχύος, της τάσεως, της έντασης και τέλος της συχνότητας.

### **3.5.2 Έλεγχος Των Τηλεχειριζόμενων Στοιχείων**

Ένα επιπλέον σημαντικό εργαλείο όπου έχουν οι υπεύθυνοι των δικτύων της ηλεκτρικής ενέργειας, οι οποίοι εποπτεύουν συνεχώς τα δίκτυα και συλλέγουν δεδομένα από τους υπολογιστές, στους οποίους έχει ενσωματωθεί το σύστημα SCADA και τους βοηθάει στους καθημερινούς τους χειρισμούς είναι ο έλεγχος των τηλεχειριζόμενων στοιχείων με αποτέλεσμα να μπορούνε κάθε χρονική στιγμή να κάνουνε τους απαραίτητους χειρισμούς σε έναν υποσταθμό, κλείνοντας και ανοίγοντας διακόπτες εξ' αποστάσεως, χωρίς να απαιτείται φυσική παρουσία.

### **3.5.3 Έλεγχος Στοιχείων Συστήματος Για ΤΑΣ – Ripple Control**

Επίσης, το σύστημα SCADA έχει τη δυνατότητα, εκτός από απλούς τηλεχειρισμούς που είναι σε θέση να κάνει σε διακόπτες ενός υποσταθμού για παράδειγμα, να ελέγχει όχι μόνο τα τηλεχειριζόμενα στοιχεία που τοποθετούνται στο δίκτυο, αλλά και τα στοιχεία του συστήματος (ΤΑΣ – Ripple Control) όπου είναι υπεύθυνα για την επίδραση του ΤΑΣ (Τηλεχειρισμού Ακουστικών Συχνοτήτων). Εν συνεχεία, ο όρος Ripple [16] είναι ο κυματισμός και (συγκεκριμένα αναφερόμαστε σε τάση κυματισμού), όπου στα ηλεκτρονικά είναι η υπολειπόμενη περιοδική διακύμανση της τάσης (DC), δηλαδή συνεχούς ρεύματος εντός τροφοδοσίας που έχει προέλθει από πηγή εναλλασσόμενου ρεύματος (AC). Η τάση κυματισμού προέρχεται από την έξοδο ενός ανορθωτή ή από την παραγωγή και τη μετατροπή ισχύος DC. Έτσι ο κυματισμός είναι σπατάλη ισχύος και έχει πολλές ανεπιθύμητες παρενέργειες σε ένα κύκλωμα (DC) συνεχούς ρεύματος:

- Θερμαίνει εξαρτήματα
- Προκαλεί θόρυβο και παραμόρφωση
- Υπάρχει πιθανότητα να προκαλέσει δυσλειτουργία στα ψηφιακά κυκλώματα [16]

Για τους λόγους που αναπτύχθηκαν παραπάνω και όσον αφορά την καλύτερη πρόληψη σφαλμάτων του δικτύου, στο σύστημα SCADA έχει δημιουργηθεί ένας μηχανισμός ελέγχου, ο οποίος είναι υπεύθυνος για τα στοιχεία που ασχολούνται με τον ΤΑΣ (Τηλεχειρισμό Ακουστικών Συχνοτήτων) και λέγεται Ripple Control.

### **3.5.4 Ενεργοποίηση Συναγερμών**

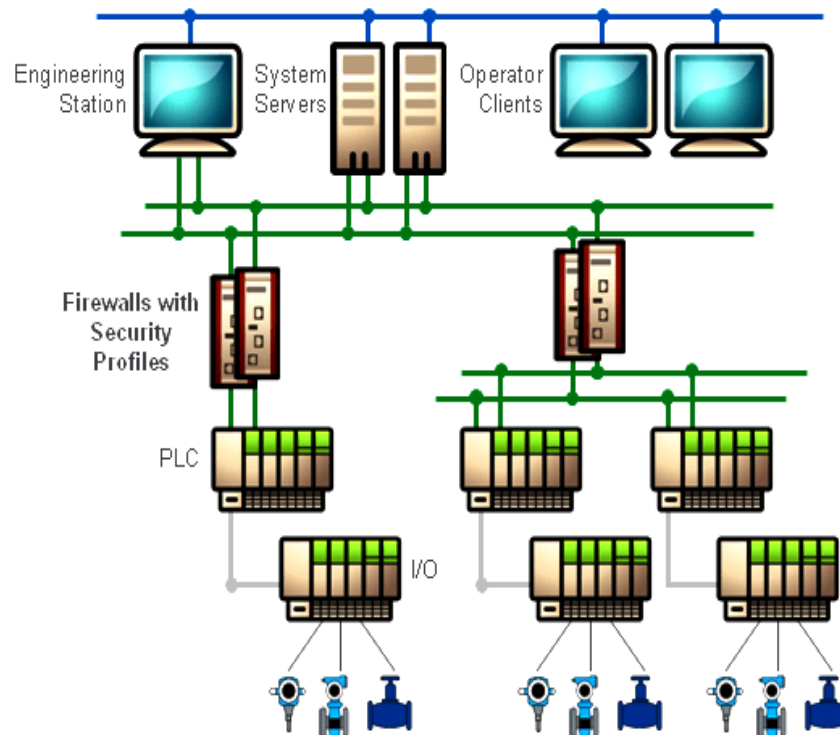
Ένα από τα πλεονεκτήματα του συστήματος είναι ο συνεχής έλεγχος του δικτύου. Αυτό ακριβώς επιτυγχάνεται μέσω της σύνδεσης που έχουμε κάνει σε τερματικούς κόμβους, για παράδειγμα στους κύριους υποσταθμούς της μέσης τάσης (20 KV), λειτουργώντας ως αισθητήρες. Έτσι μας δίνεται η δυνατότητα να κάνουμε χειρισμούς μέσα από τα κέντρα ελέγχου δικτύων διανομής, σε περίπτωση κάποιας βλάβης στο δίκτυο ή σε περίπτωση σφάλματος κάποιου στοιχείου του. Οπότε εάν φτάσουμε στο σημείο να υπάρξει οποιοδήποτε πρόβλημα, υπάρχει η δυνατότητα μέσα από το σύστημα SCADA να λειτουργήσει ένα πολύτιμο εργαλείο, όπου έχουν οι χειριστές του, δίνοντάς τους οποιαδήποτε πληροφορία χρειάζονται εξ' αποστάσεως και ανάλογα με το σφάλμα που υπάρχει στο δίκτυο τη ηλεκτρικής ενέργειας να ενεργοποιηθεί ο αντίστοιχος συναγερμός μέσα στον υπολογιστή, ώστε να γίνουν οι απαραίτητοι χειρισμοί εγκαίρως. Οι συναγερμοί που ενεργοποιούνται είναι για διαφορετική περίπτωση ο καθένας και το πιο σημαντικό είναι ότι με αυτό το τρόπο παρέχεται και η συγκεκριμένη πληροφορία στον χειριστή του, γεγονός που είναι και κομβικής σημασίας επειδή γνωρίζει ακριβώς το σημείο που καταγράφηκε το συμβάν. Για τους παραπάνω λόγους, όταν στα δίκτυα της ηλεκτρικής ενέργειας συμβαίνουν διαφορετικές συνθήκες από τις συνηθισμένες, λόγω πιθανών σφαλμάτων, το σύστημα SCADA έχει τη δυνατότητα ενεργοποίησης αυτού του μηχανισμού που είναι οι συναγερμοί, για να ειδοποιήσουν τους χειριστές ότι κάτι δεν πάει καλά. Οι ειδοποιήσεις παρουσιάζονται στους χειριστές μέσω ηχητικών σημάτων ή εικονικών φώτων στις οθόνες των υπολογιστών.

### 3.5.5 Καταχώριση Δεδομένων

Το σύστημα SCADA εκτός από μηχανισμός εποπτικού ελέγχου, δηλαδή να έχει τον πλήρη έλεγχο στα στοιχεία του δικτύου που ενδιαφέρεται, έχει τη δυνατότητα, όχι μόνο να συλλέγει χρήσιμα δεδομένα από το δίκτυο, αλλά και να τα επεξεργάζεται. Άρα, κάθε φορά που υπάρχει μια βλάβη ή κάποιο άλλο προσωρινό συμβάν στο δίκτυο, αυτό έχει τη δυνατότητα να συλλέγει κάποια χρήσιμα δεδομένα και να τα αποθηκεύει. Οπότε μπορούμε να αναφέρουμε ότι πρόκειται για ένα προχωρημένο σύστημα το οποίο διαθέτει μια μορφή μνήμης και είναι σε θέση κάθε χρονική στιγμή που χρειάζεται, ώστε να ανατρέξει ο χειριστής στο ιστορικό του, να παρέχει αναφορές και καταγεγραμμένα δεδομένα από συμβάντα που τυχόν μπορεί να έχουν συμβεί σε ένα διάστημα ημέρας, εβδομάδας, μήνα, ακόμα και χρόνων. Είναι ένα σύστημα που υλοποιήθηκε κυρίως για τον έλεγχο και τον εντοπισμό βλαβών από μακρινές αποστάσεις, όπου είναι δύσκολο στον πραγματικό χρόνο (real time) να υπάρχει ένας ολοκληρωμένος έλεγχος σε μια τεράστια έκταση των δικτύων ηλεκτρικής ενέργειας, όπως είναι της ΔΕΗ και να μπορεί να υπάρχει καθημερινή αποτελεσματικότητα στην εποπτεία του. Επίσης είναι πολύ σημαντικό το γεγονός της δυνατότητας της συλλογής των δεδομένων από το δίκτυο κάθε χρονική στιγμή επειδή μέσα από τις ενδείξεις που καταγράφονται καθημερινά, διακρίνονται οι ακραίες τιμές για παράδειγμα της τάσης και της έντασης των δικτύων, όπου ανάλογα με τις εποχές και τις απαιτήσεις των φορτίων που ζητάνε οι καταναλωτές, να γίνεται ο κατάλληλος έλεγχος του ιστορικού, ώστε να μπορούν μελλοντικά να λαμβάνονται πιο αξιόπιστες αποφάσεις σχετικά με τη διαχείριση του δικτύου. Έτσι κάθε χρονιά μπορεί να γίνεται μέσα από τις σχετικές αναφορές του συστήματος SCADA η ανάλογη σύγκριση σε κάθε τιμή των στοιχείων και να εξάγονται χρήσιμα συμπεράσματα για τον σχεδιασμό της επόμενης χρονιάς.



Στην παρακάτω εικόνα 11 παρουσιάζεται η δομή μέσω κατάλληλου σχεδιασμού του συστήματος SCADA.



Εικόνα 11 Δομή SCADA (<https://tofinosecurity.com>)

Πλέον αποτυπώνεται ξεκάθαρα μέσω του παραπάνω σχεδιαγράμματος η δομή του συστήματος SCADA και είμαστε πλέον στο σημείο να έχουμε μια ολοφάνερη εικόνα για το συγκεκριμένο σύστημα, όπου μπορούμε να παρατηρήσουμε συγκεκριμένες μονάδες στις οποίες βασίζεται, όπου θα τις περιγράψουμε στο 4<sup>ο</sup> κεφάλαιο αναλυτικά και μέσω κάποιων τηλεμετρήσεων που έχει τη δυνατότητα να πραγματοποιήσει, τα αποτελέσματα να εμφανίζονται στους υπολογιστές.

## **3.6 Εφαρμογή SCADA**

Μαζί με τον τομέα της ενέργειας, όπου ασχολούμαστε στα πλαίσια της διπλωματικής εργασίας, το σύστημα SCADA αξιοποιείται και σε άλλους κλάδους της κοινωνίας μας και χρησιμοποιείται κυρίως για διεργασίες όπου λαμβάνουμε χώρο εξ' αποστάσεως και με αυτό τον τρόπο πετυχαίνει την αυτοματοποίησή τους, για λειτουργίες όπου σε διαφορετική περίπτωση θα απαιτούνταν σύνθετοι χειρισμοί. Μερικοί από αυτούς τους κλάδους εργασίας όπου έχει ενσωματωθεί το σύστημα SCADA είναι:

1. Στις Βιομηχανίες
2. Στην Ενέργεια
3. Σε Ερευνητικά Προγράμματα
4. Στα Μέσα Μαζικής Μεταφοράς
5. Στον Χώρο Των Τηλεπικοινωνιών
6. Στα Τραπεζικά Συστήματα

### **3.6.1 Στις Βιομηχανίες**

Μέσα από το σύστημα SCADA υπάρχει καλύτερος έλεγχος στην παραγωγική διαδικασία και πραγματοποιείται εποπτεία στα μηχανήματα που λειτουργούν, ώστε να τηρούνται τα σχετικά χρονοδιαγράμματα για την δημιουργία των προϊόντων. Υπάρχει πλήρης καταγραφή και ανάλυση σε όλα τα στάδια της παραγωγής και μέσα σε έναν από τους μηχανισμούς που διαθέτει το σύστημα πραγματοποιείται η συλλογή των δεδομένων. Τέλος καταγράφονται όλα τα δεδομένα που έχουν εισαχθεί και εξάγονται στους χειριστές του οι ανάλογες αναφορές.

### **3.6.2 Στην Ενέργεια**

Η συμβολή του συστήματος SCADA στον χώρο της ενέργειας είναι καθοριστικής σημασίας για τον λόγο ότι τα τελευταία χρόνια έχει παρατηρηθεί σημαντική πρόοδος της τεχνολογίας σε συστήματα που ασχολούνται με την παραγωγή, τη μεταφορά και τη διανομή της ηλεκτρικής ενέργειας. Αυτοί οι 3 πολύ σημαντικοί κλάδοι που συνολικά αποτελούνε το δίκτυο της ηλεκτρικής ενέργειας με την ενσωμάτωση νέων καινοτόμων συστημάτων απλοποίησαν σε τεράστιο βαθμό τις καθημερινές εργασίες που απαιτεί ένα τεράστιο δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας, όπως είναι της ΔΕΗ. Συγκεκριμένα το σύστημα SCADA έδωσε τη δυνατότητα τηλεχειρισμού συγκεκριμένων και πολύ καθοριστικών στοιχείων στο δίκτυο, όπως είναι κάποιοι διακόπτες σε έναν υποσταθμό της μέσης τάσης (20 KV), όπως αναφέραμε παραπάνω στο 2<sup>ο</sup> κεφάλαιο αναλυτικά, συλλέγει χρήσιμες πληροφορίες και καταγράφει συμβάντα μέσω κάποιων αισθητήρων που έχουνε εγκατασταθεί στον χώρο των δικτύων και μέσω των σημάτων τους, απεικονίζονται τα αποτελέσματα είτε με τη μορφή τιμών, είτε μέσω γραφημάτων στους χώρους του κέντρου ελέγχου, όπου οι υπεύθυνοι είναι σε θέση να παρατηρούνε από τους υπολογιστές. Έτσι το συγκεκριμένο σύστημα δημιουργήθηκε ως ένα πολύτιμο εργαλείο στον χώρο της ενέργειας προσδίδοντάς της αξιοπιστία, ευελιξία, ταχύτητα και εξοικονόμηση πόρων, λόγω των λειτουργιών που έχει.

### **3.6.3 Σε Ερευνητικά Προγράμματα**

Τις τελευταίες δεκαετίες η τεχνολογία έχει εξελιχθεί ραγδαία και μέσα από την έρευνα έχουνε προκύψει σημαντικές ανακαλύψεις στα ηλεκτρονικά συστήματα. Το σύστημα SCADA έχει προκύψει από έρευνα ετών και έχει εξελιχθεί σε σημαντικό βαθμό ώστε να πληρεί προδιαγραφές της σημερινής εποχής. Είναι κομβικής σημασίας ο ρόλος του σε πολλά από τα ερευνητικά προγράμματα που τρέχουνε κατά καιρούς και πολλές φορές χρησιμοποιείται ως ένα πολύτιμο εργαλείο που έχουνε οι ερευνητές.

Το σύστημα SCADA δεν έχει συμβάλλει δραστικά μόνο σε διάφορους κλάδους εργασίας των κοινωνιών, αλλά και μέσα από λειτουργίες που μας επιτρέπει να υλοποιούμε, δίνοντας μας την δυνατότητα επιλογής να το χρησιμοποιήσουμε και σε άλλα προγράμματα, βοηθώντας μας με αυτό τον τρόπο, ενδεχόμενες μελλοντικές ανακαλύψεις άλλων συστημάτων. Έτσι ο ρόλος του σε κάποιες από τις προσπάθειες που γίνονται για καινοτόμους τρόπους στην τεχνολογία είναι καθοριστικός επειδή μέσω των τηλεμετρήσεων που είναι σε θέση να κάνει και να λαμβάνει αντίστοιχα αποτελέσματα, απλοποιεί σε μεγάλο βαθμό τις διαδικασίες της έρευνας.

### **3.6.4 Στα Μέσα Μαζικής Μεταφοράς**

Με την πάροδο των χρόνων τα νέα συστήματα τηλεέγχου εισήχθησαν σε έναν τεράστιο χώρο της κοινωνίας μας, όπως είναι ο χώρος των μέσων μαζικών μεταφορών. Το σύστημα SCADA έχει ενσωματωθεί σε πολλούς διαφορετικούς χώρους που είναι υπεύθυνα για την ομαλή μεταφορά των ανθρώπων καθημερινά και έχει περάσει στις σύγχρονες ανάγκες που υπάρχουν σήμερα, ώστε να γίνονται μερικές διεργασίες αξιόπιστα και ταχύτερα. Έτσι χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι η δυνατότητα καταγραφής ενεργειακών πόρων στα διάφορα συστήματα των μέσων μαζικής μεταφοράς, έλεγχος των διασταυρώσεων και φωτεινών σηματοδοτών των τρένων κ.α. [17]. Άρα το SCADA έχει δώσει τη δυνατότητα αναβάθμισης των συστημάτων σε σημαντικό βαθμό, κυρίως λόγω του τηλεέγχου που πραγματοποιεί.

### **3.6.5 Στον Χώρο Των Τηλεπικοινωνιών**

Το σύστημα SCADA έχει αναπτυχθεί τόσο πολύ τα τελευταία χρόνια που λόγω του ειδικού μηχανισμού που έχει, δηλαδή το ότι λαμβάνει κάποια σήματα και μέσω τηλεμέτρησης μπορεί να σημειώνει κάποια αποτελέσματα εξ' αποστάσεως,

δεν θα μπορούσε να λείπει και από τον χώρο των τηλεπικοινωνιών. Το συγκεκριμένο σύστημα επειδή ασχολείται κυρίως με το τηλεέλεγχο και τη τηλεμετρία έχει βοηθήσει σε σημαντικό βαθμό τις εταιρείες τηλεπικοινωνίας με πολλούς διαφορετικούς τρόπους, προσφέροντας σε εκείνες ευελιξία. Χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι οι μεγάλοι χώροι που καταλαμβάνουν οι servers στον χώρο των τηλεπικοινωνιών, γεγονός που οφείλεται σε μεγάλο μέρος στον τεράστιο όγκο δεδομένων που συλλέγεται καθημερινά από τους πελάτες και μέσω του συστήματος SCADA υπάρχει εποπτεία τους, βοήθεια στην ροή της ομαλής λειτουργίας τους, όπως επίσης και ένα άλλο πολύ σημαντικό κομμάτι που είναι η θερμοκρασία τους. Αυτό οφείλεται στις υψηλές θερμοκρασίες που ανεβάζουν οι servers κατά τη διάρκεια της ημέρας και σκοπός είναι μέσω κάποιων συστημάτων ψύξης να έχουμε όσο το δυνατόν πιο σταθερή θερμοκρασία. Έτσι το σύστημα SCADA μέσω κάποιων αισθητήρων που βρίσκονται στο χώρο, είναι σε θέση να μας ενημερώνει συνεχώς για την κατάσταση που υπάρχει στο computer room.

### **3.6.6 Στα Τραπεζικά Συστήματα**

Ο χώρος των τραπεζικών συστημάτων είναι ένας από τους πιο σημαντικούς τομείς στην κοινωνία μας και τα τελευταία χρόνια οι τράπεζες έχουν σημειώσει σημαντική πρόοδο στην εξέλιξη τους. Το βασικότερο είναι ότι όλες οι χρηματοπιστωτικές εταιρείες έχουν ρίξει το βάρος τους στην αξιοπιστία των συστημάτων τους και στις ασφαλείς συναλλαγές τους. Σε αυτό το χώρο, το σύστημα SCADA έχει βοηθήσει τόσο στην εποπτεία των συστημάτων, όσο και στον έλεγχο θερμοκρασίας στον χώρο των servers. Επίσης σημαντικό είναι να αναφερθεί ότι εκτός από την ασφάλεια των συναλλαγών που πραγματοποιούνται μέσα στους υπολογιστές, είναι εξίσου σημαντική και η ίδια η ασφάλεια των τραπεζών, χρησιμοποιώντας θύρες με χρονοδιακόπτες και μέσω κάποιων αισθητήρων όπου είναι συνδεδεμένοι πολλές φορές με συστήματα τηλεέλεγχου, δημιουργείται ασφάλεια υψηλού επιπέδου.

Στην παρακάτω εικόνα 12 απεικονίζεται ένα κέντρο ελέγχου στο οποίο είναι εγκατεστημένο το σύστημα τηλεέγχου SCADA.



Εικόνα 12 Κέντρο Ελέγχου Συστήματος SCADA (<https://www.sanovoegg.com/products/processing-solutions/supervision-system/scada-automation>)

### 3.7 Πλεονεκτήματα Συστήματος SCADA

Σε οποιοδήποτε κλάδο εργασίας έχει ενσωματωθεί το σύστημα SCADA έχει προσφέρει πολλές δυνατότητες και καινοτόμες ιδέες. Ο ρόλος του είναι κομβικός και σε πολλές

περιπτώσεις η βασική του λειτουργία που το κάνει ξεχωριστό είναι να παρέχει πρόσβαση για την προβολή σημαντικών στοιχείων και δεδομένων σε πραγματικό χρόνο (real time), όπως επίσης και να σημειώνει σημαντικές αναφορές εξ' αποστάσεως στο κέντρο ελέγχου, όπως για παράδειγμα από τα απομακρυσμένα δίκτυα της ηλεκτρικής ενέργειας.

#### Παρακάτω αναφέρονται μερικά από τα πλεονεκτήματα του SCADA

- Εποπτεία Δεδομένων συστήματος εξ' αποστάσεως
- Πληροφόρηση χειριστή σε πραγματικό χρόνο
- Εντοπισμός σφαλμάτων μέσω ειδικών συναγερμών
- Εξοικονόμηση Πόρων
- Αύξηση Παραγωγής
- Φιλικό Περιβάλλον προς το χρήστη
- Καταγραφή στοιχείων και δημιουργία σχετικών αναφορών
- Περιορισμοί αστοχιών
- Αξιοπιστία
- Αυτοματοποιημένο Σύστημα
- Τηλεχειρισμός βασικών στοιχείων

Όλες οι παραπάνω αναφορές, οι οποίες κάνουνε το σύστημα SCADA ιδιαίτερως ευέλικτο αφού μπορεί να πραγματοποιήσει μια σειρά από βασικές λειτουργίες οι οποίες σε διαφορετική περίπτωση θα απασχολούσανε πολλές ώρες τον χρόνο το ανθρώπινο δυναμικό, παρουσιάζονται ως πλεονεκτήματα, τα οποία είναι ιδιαίτερως σημαντικά.

### 3.8 ΕΠΟΠΤΙΚΟΙ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΕΣ ΜΕΣΩ SCADA

Διαχρονικά ο κύριος λόγος ανάπτυξης της τεχνολογίας είναι να μπορούμε να εφευρίσκουμε καινοτόμους τρόπους, ώστε να κάνουμε την καθημερινότητά μας πιο απλή, γρήγορη και ευέλικτη. Είναι μερικοί από τους λόγους για τους οποίους μέσω της ανακάλυψης των υπολογιστών, πετύχαμε να κάνουμε βασικές καθημερινές εργασίες με μεγαλύτερη άνεση. Το γεγονός αυτό γίνεται περισσότερο κατανοητό όταν παρατηρούμε στην κοινωνία μας να λειτουργούν οι περισσότεροι κλάδοι εργασίας στη σημερινή εποχή με υπολογιστές και μάλιστα να έχουν ενσωματωθεί σ' αυτούς εποπτικά συστήματα και προγράμματα τα οποία είναι ιδιαίτερα χρήσιμα σε μια σειρά από καθημερινές λειτουργίες, όπως είναι για παράδειγμα και ο έλεγχος των δικτύων ηλεκτρικής ενέργειας εξ' αποστάσεως. Ένα τέτοιο σύστημα όπου ασχολούμαστε στα πλαίσια της διπλωματικής εργασίας είναι και το σύστημα SCADA, το οποίο βασίζεται στη λειτουργία εποπτικών υπολογιστών και έχει ως πυρήνα τη συλλογή δεδομένων σχετικά με τη διαδικασία και την αποστολή εντολών ελέγχου στις συνδεδεμένες στο πεδίο συσκευές [15]. Αρχικά, το σύστημα SCADA απευθύνεται στον:

- Υπολογιστή
- Λογισμικό

Επίσης, ο υπολογιστής και το λογισμικό είναι αρμόδια για την επικοινωνία με τους ελεγκτές σύνδεσης πεδίου, οι οποίοι είναι [15]:

- RTU
- PLC



Επιπλέον περιλαμβάνει τη διεπαφή ανθρώπου-μηχανής (Human-Machine) interface ή αλλιώς όπως αναφέρεται εν συντομία (HMI), η οποία είναι η σύνδεση μεταξύ του ανθρώπινου παράγοντα με το παράθυρο χειριστή του συστήματος εποπτείας, όπου η διεπαφή (HMI) εκτελείται σε σταθμούς εργασίας του χειριστή μέσω υπολογιστών. Έτσι παρουσιάζονται γραφικές πληροφορίες από το λειτουργικό του συστήματος SCADA στο τμήμα προσωπικού, όπου παρουσιάζονται τα δεδομένα στους υπεύθυνους χειριστές με τη μορφή μιμητικών διαγραμμάτων, τα οποία είναι σχηματική αναπαράσταση της εγκατάστασης όπου είναι ελεγχόμενη και σελίδες καταγραφής συναγερμών και συμβάντων τα οποία έχουνε συμβεί κατά το παρελθόν [15].

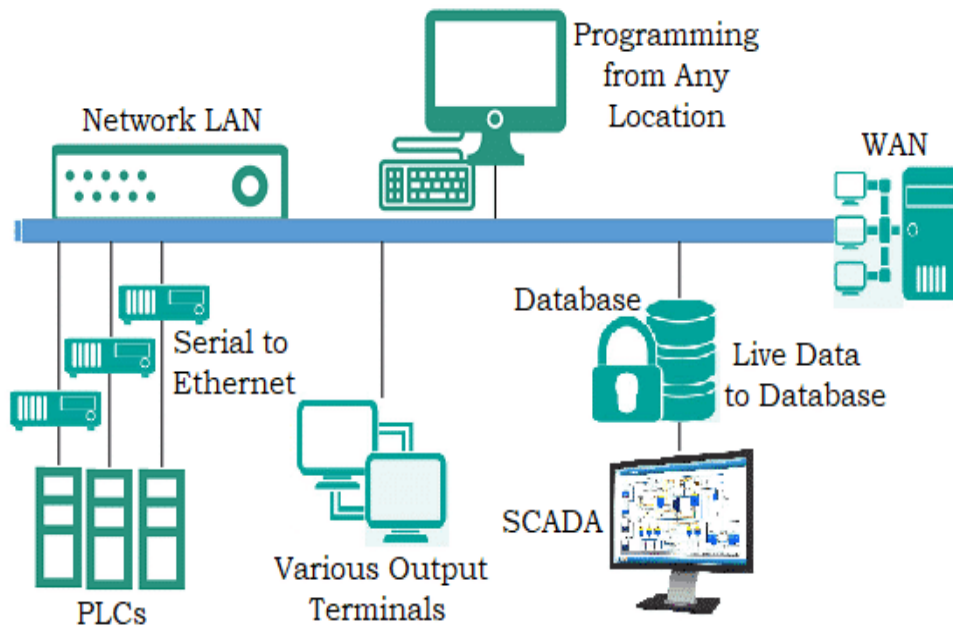
Τα συστήματα τηλεελέγχου και εποπτείας SCADA διακρίνονται σε [15]:

- Μικρότερα Συστήματα SCADA
- Μεγαλύτερα Συστήματα SCADA

Στα μικρότερα συστήματα SCADA, ο εποπτικός υπολογιστής μπορεί να αποτελείται από έναν μόνο υπολογιστή, οπότε η διεπαφή (HMI) είναι μέρος αυτού του ίδιου υπολογιστή [15].

Στα μεγαλύτερα συστήματα SCADA, ο κύριος σταθμός μπορεί να περιλαμβάνει πολλά (HMI) που φιλοξενούνται σε Υπολογιστές - Πελάτες (Computers – Clients), πολλούς διακομιστές για την απόκτηση δεδομένων, διάφορες κατανεμημένες εφαρμογές λογισμικού, αλλά και ιστότοπους αποκατάστασης ενδεχομένων σφαλμάτων. Για να αυξηθεί η ακεραιότητα του συστήματος, οι πολλαπλοί διακομιστές έχουν την δυνατότητα να παρέχουν συνεχή έλεγχο και παρακολούθηση σε περίπτωση δυσλειτουργίας ή βλάβης του διακομιστή [15].

Στην παρακάτω εικόνα 13 απεικονίζεται η δομή του συστήματος τηλεελέγχου και εποπτείας SCADA.



Εικόνα 13 Δομή Συστήματος SCADA (<https://sundartechno.com/support>)

Κλείνοντας το 3<sup>ο</sup> κεφάλαιο που αφορά το σύστημα SCADA και αφού καλύφθηκαν οι βασικές έννοιες του, όπως επίσης δόθηκε αναλυτικά η περιγραφή του συστήματος και αποτυπώθηκε μέσω των εικόνων η δομή του, θα περάσουμε στο επόμενο κεφάλαιο το οποίο είναι το 4<sup>ο</sup> και θα αναλύσουμε την αρχιτεκτονική του συστήματος SCADA, όπως επίσης θα πραγματοποιηθεί και ανάλυση στα επί μέρους στοιχεία του.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

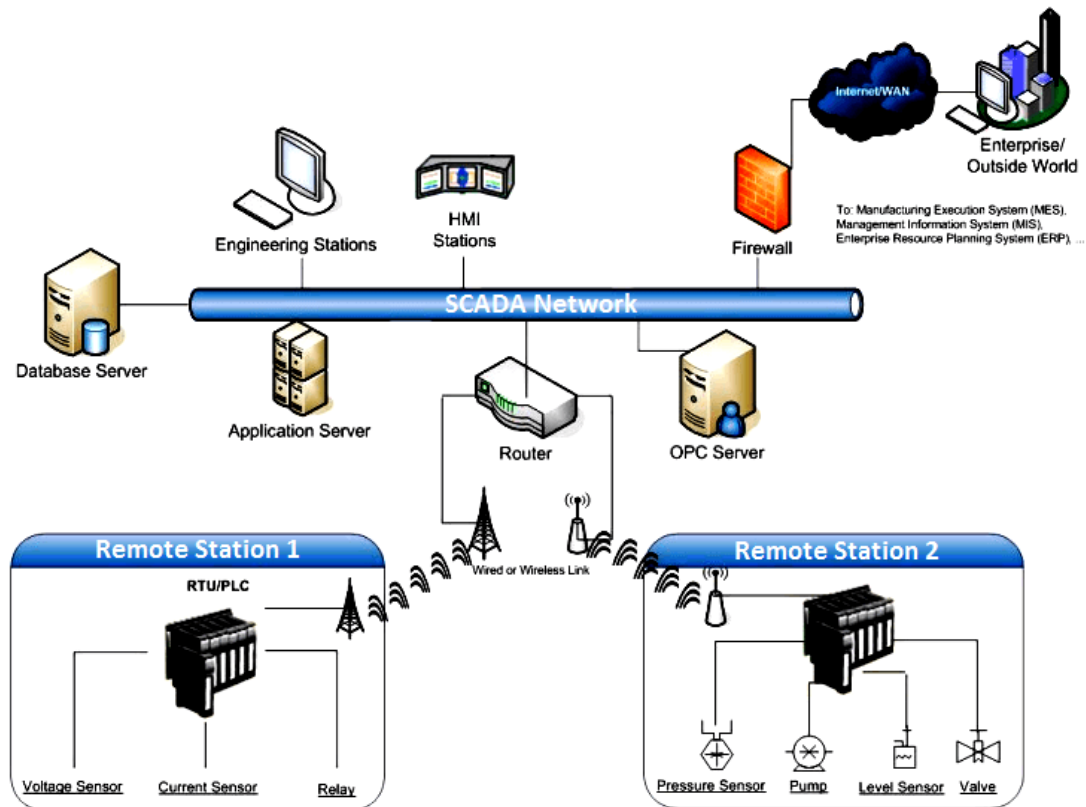
### ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ SCADA

Σε αυτό το κεφάλαιο θα εμβαθύνουμε περισσότερο στο σύστημα SCADA, περιγράφοντας αναλυτικά την αρχιτεκτονική αυτού του συστήματος και θα περιγράψουμε αναλυτικά τα βασικά στοιχεία από τα οποία αποτελείται. Επίσης θα γίνει αναφορά στην τοπολογία των δικτύων του συστήματος SCADA, όπως επίσης και στα είδη που συνηθίζονται να εφαρμόζονται και τέλος θα μιλήσουμε για τον σκοπό που έχει ένα τέτοιο σύστημα τηλεμέτρησης – τηλεελέγχου στην καθημερινότητα.

Αρχικά ένα σύστημα για να υφίσταται χρειάζεται να υπάρχει ενσωμάτωση της παρούσας τεχνολογίας σε ένα προσδιορισμένο χώρο, όπου θα επεκτείνεται με βασικό αποδέκτη τον ανθρώπινο παράγοντα. Οπότε η διεπαφή όπου είναι αναγκαία να υπάρχει ανάμεσα στο περιβάλλον του λογισμικού συστήματος και στους χειριστές του συστήματος SCADA επιτυγχάνεται μέσω των εποπτικών υπολογιστών, όπου αναφέραμε στο προηγούμενο κεφάλαιο.

Ξεκινώντας να περιγράφουμε με τη σειρά τα στοιχεία από τα οποία αποτελείται το σύστημα SCADA είναι χρήσιμο να αναφέρουμε ότι πέρα από την απαραίτητη σύνδεση που πρέπει να υπάρχει ανάμεσα στο λειτουργικό σύστημα και στους ανθρώπους, υπάρχει και μια σειρά από επόμενα στοιχεία στα οποία θα αναφερθούμε παρακάτω. Σημαντικό είναι να ειπωθεί ότι ως ένα σύστημα τηλεελέγχου και τηλεμετρίας το σύστημα SCADA εξ' ορισμού είναι βασισμένο στην επικοινωνία η οποία είναι αναγκαία για την ζεύξη όλων των μερών του δικτύου.

Στην παρακάτω εικόνα 14 αποτυπώνεται ευκρινώς η αρχιτεκτονική ενός δικτύου του συστήματος SCADA.



**OpenControl SCADA Network Architecture**

Εικόνα 14 Αρχιτεκτονική Δικτύου SCADA (<https://instrumentationtools.com/scada-hardware-and-software>)

Από την εικόνα 14 μπορούμε να παρατηρήσουμε την αρχιτεκτονική ενός δικτύου του συστήματος SCADA και να αρχίσουμε να βγάζουμε χρήσιμα συμπεράσματα για τη δομή του και τον τρόπο τηλεπικοινωνίας όλων των μερών που εμπλέκονται στο σύστημα.

Γενικά, το σύστημα SCADA είναι ένα κεντρικό σύστημα που παρακολουθεί και ελέγχει ολόκληρη την περιοχή. Είναι ένα καθαρό πακέτο λογισμικού που τοποθετείται στην κορυφή του υλικού. Ένα εποπτικό σύστημα συλλέγει δεδομένα σχετικά με τη διαδικασία και στέλνει τον έλεγχο εντολών στη διαδικασία. Το SCADA είναι μια απομακρυσμένη τερματική μονάδα που είναι επίσης γνωστή ως RTU [18]. Ιδιαίτερως φημίζεται για τις δυνατότητες που έχει να εποπτεύει ένα δίκτυο μέσα από κάποιους μηχανισμούς που θα αναφέρουμε αναλυτικά παρακάτω και να συλλέγει δεδομένα εξ' αποστάσεως. Δηλαδή είναι σε θέση να κάνει τις εξής διεργασίες:

- Τηλέελεγχο – Τηλεποπτεία
- Συλλογή Δεδομένων

Οι περισσότερες ενέργειες ελέγχου εκτελούνται αυτόματα από RTU ή PLC. Τα RTU αποτελούνται από τον προγραμματιζόμενο μετατροπέα λογικής που μπορεί να ρυθμιστεί σε συγκεκριμένες απαιτήσεις [18]. Οπότε δύο από τα πιο σημαντικά στοιχεία σε μια δομή ενός συστήματος SCADA είναι τα:

- RTU
- PLC

Το σύστημα SCADA επιτρέπει στους χειριστές να αλλάξουν το σημείο ρύθμισης για τη ροή και να ενεργοποιήσουν τις συνθήκες συναγερμού σε περίπτωση απώλειας ροής και υψηλής θερμοκρασίας, όπου η κατάσταση εμφανίζεται και καταγράφεται [18]. Δηλαδή το σύστημα SCADA έχει μια μορφή ευελιξίας, όσον αφορά κάποιους χειρισμούς, όπως:

- Ρύθμιση Τηλεχειριζόμενων Στοιχείων
- Ενημέρωση Για Βλάβη
- Καταγραφή Συμβάντων

Το σύστημα SCADA παρακολουθεί τη συνολική απόδοση του εκάστοτε δικτύου στο οποίο έχει ενσωματωθεί. Επίσης είναι ένα κεντρικό σύστημα το οποίο χρησιμοποιεί τρόπους επικοινωνίας, είτε με ενσύρματη είτε με ασύρματη τεχνολογία, προκειμένου να συνδεθούν οι συσκευές του δικτύου. Τα χειριστήρια του συστήματος SCADA μπορούν να εκτελέσουν εντελώς όλα τα είδη της βιομηχανικής διαδικασίας [18]. Άρα προκύπτει από τα παραπάνω:

- Παρακολούθηση Απόδοσης Δικτύου
- Σύνδεση Συσκευών Ασύρματα Ή Ενσύρματα
- Πλήρη Αξιοποίηση Σε Όλα Τα Στάδια

## 4.1 Κατηγορίες Αρχιτεκτονικής SCADA

Τις περισσότερες φορές, αυτό το σύστημα αποτελείται από τα ακόλουθα στοιχεία: λειτουργικό εξοπλισμό, τοπικούς επεξεργαστές, όργανα, PLC, RTUs, κύριο τερματικό, έξυπνες ηλεκτρονικές συσκευές και έναν υπολογιστή με HMI. Ωστόσο, για ευκολία κατανόησης, η αρχιτεκτονική SCADA μπορεί να χωριστεί σε δύο κατηγορίες [19]:

- Αρχιτεκτονική Υλικού
- Αρχιτεκτονική Λογισμικού

### 4.1.1 Αρχιτεκτονική Υλικού

Η αρχιτεκτονική του υλικού του συστήματος SCADA κατατάσσεται σε 2 μέρη [19]:

1. Επίπεδο Διακομιστή Δεδομένων
2. Επίπεδο Πελάτη

### Επίπεδο Διακομιστή Δεδομένων:

Είναι το επίπεδο, το οποίο είναι υπεύθυνο για την επεξεργασία των δεδομένων που εισάγονται στο σύστημα και ασχολείται από όλη τη διαδικασία κατά κύριο λόγο με την ροή των δεδομένων [18].

### Επίπεδο Πελάτη:

Είναι υπεύθυνο το συγκεκριμένο επίπεδο για τη διεπαφή ανάμεσα στον χειριστή και στο σύστημα, δηλαδή εξυπηρετεί την αλληλεπίδρασή τους [18].

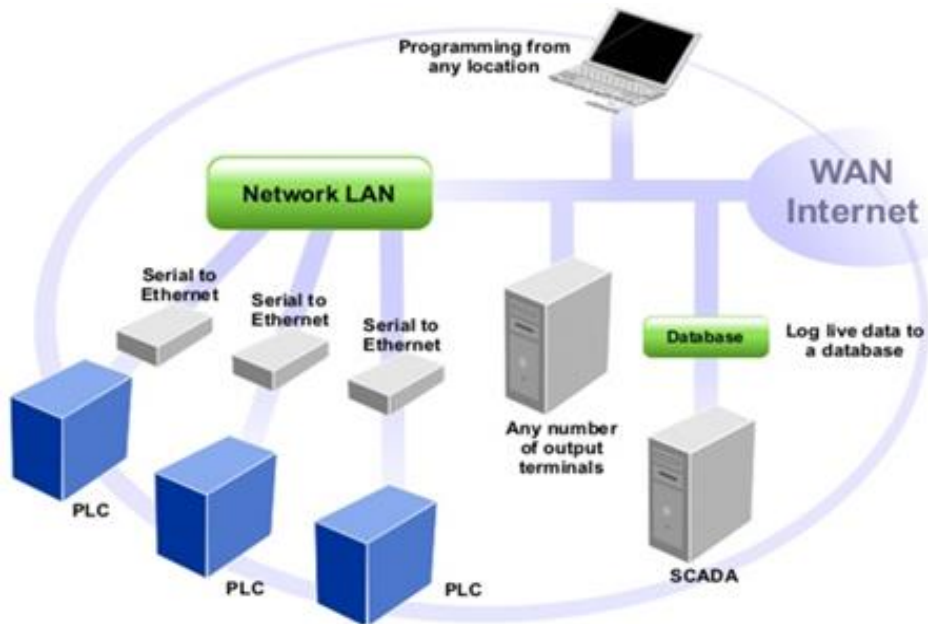
Ο σταθμός SCADA αποτελείται από έναν υπολογιστή. Οι συσκευές και οι διακομιστές δεδομένων επικοινωνούν μεταξύ τους μέσω RTU ή PLC. Τα PLC συνδέονται απευθείας με τους διακομιστές δεδομένων μέσω δικτύων. Η σύνδεση αυτού του συστήματος χρησιμοποιεί [19]:

- LAN
- WAN

Είτε μέσω LAN είτε μέσω WAN πραγματοποιείται η επικοινωνία μεταξύ των συσκευών με τον κεντρικό σταθμό [19].



Στην παρακάτω εικόνα 15 αποτυπώνεται ξεκάθαρα η αρχιτεκτονική ενός δικτύου SCADA.



Εικόνα 15 Αρχιτεκτονική Υλικού SCADA (<https://www.livewireindia.com/blog/basics-plc-scada-training-livewire-karur>)

Στην εικόνα 15 παρατηρούμε τα εξής στοιχεία της δομής του SCADA:

- Υπολογιστής (Κύριος Σταθμός)
- Servers (Τερματικοί Σταθμοί Με SCADA)
- Επικοινωνία Στοιχείων (Μέσω Δικτύου)
- PLC

Επίσης ο φυσικός εξοπλισμός όπως οι αισθητήρες συνδέονται με τα PLC ή τα RTU. Οι RTU μετατρέπουν τα σήματα του αισθητήρα σε ψηφιακά δεδομένα και στέλνουν ψηφιακά δεδομένα στο κύριο [18]. Αυτά τα δεδομένα αποστέλλονται στη συνέχεια στην κύρια μονάδα για να λάβουν την κατάλληλη ανατροφοδότηση [19]. Σύμφωνα με την κύρια ανατροφοδότηση που έλαβε η RTU, εφαρμόζει το ηλεκτρικό σήμα στα ρελέ [18]. Οι περισσότερες από τις λειτουργίες παρακολούθησης και ελέγχου εκτελούνται από:

- RTU
- PLC

#### **4.1.2 Αρχιτεκτονική Λογισμικού**

Το σύστημα SCADA αποτελείται από ένα πρόγραμμα λογισμικού το οποίο παρέχει [18]:

- Διαγνωστικά Δεδομένα
- Τάσεις Συστήματος
- Διαχείριση Πληροφοριών

Αρχικά, το σύστημα SCADA αποτελείται από ένα πρόγραμμα λογισμικού το οποίο παρέχει διαγνωστικά δεδομένα, τάσεις συστήματος και διαχειρίζεται πληροφορίες, όπως [18]:

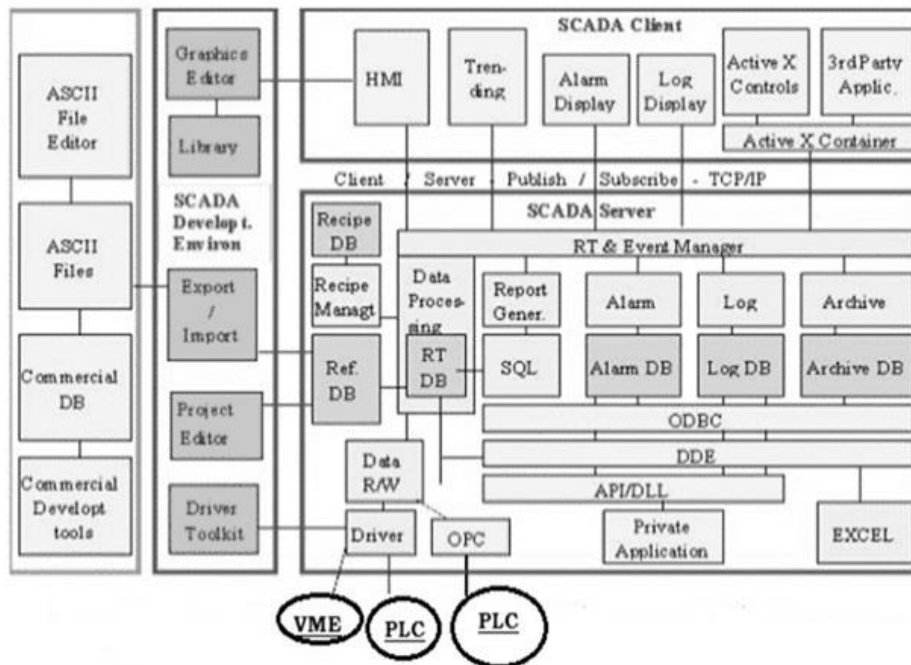
- Προγραμματισμένες Διαδικασίες Συντήρησης
- Λογιστικές Πληροφορίες
- Λεπτομερή Σχήματα

Μέσω των απεικονίσεων, όπου παρουσιάζονται ως σχήματα, ο χειριστής μπορεί να δει μια σχηματική αναπαράσταση της εγκατάστασης που ελέγχεται. Για παράδειγμα [18]:

- Έλεγχος Συναγερμών
- Υπολογισμοί
- Καταγραφή
- Αρχαιοθέτηση

Οι σχηματικές αναπαραστάσεις όπως αναφέραμε παραπάνω μπορεί να πραγματοποιηθούν από έλεγχο συναγερμών, υπολογισμούς, καταγραφή ακόμα και αρχειοθέτηση.

Στην παρακάτω εικόνα 16 αποτυπώνεται η αρχιτεκτονική λογισμικού ενός δικτύου SCADA.



Εικόνα 16 Αρχιτεκτονική Λογισμικού SCADA (<https://www.elprocus.com/scada-system-architecture-its-working>)

Οι περισσότεροι από τους servers χρησιμοποιούνται για βάση δεδομένων πολλαπλών εργασιών και σε πραγματικό χρόνο [18]. Επίσης είναι υπεύθυνοι για το χειρισμό και τη συλλογή δεδομένων ανά πάσα χρονική στιγμή [19].

## 4.2 Τύποι Συστήματος SCADA

Υπάρχουν τέσσερις διαφορετικοί τύποι συστημάτων SCADA, οι οποίοι προκύπτουν από τις τέσσερις γενιές [19]. Αυτοί είναι:

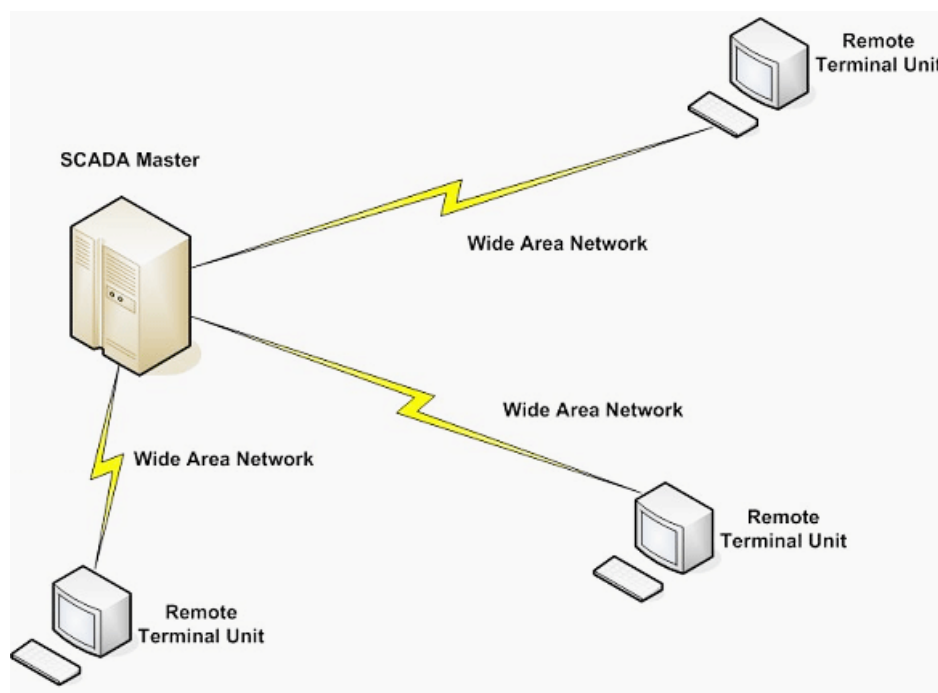
- Μονολιθικά (1<sup>η</sup> Γενιά)
- Κατανεμημένα (2<sup>η</sup> γενιά)
- Δικτυακά (3<sup>η</sup> Γενιά)
- IoT (4<sup>η</sup> Γενιά)

### 4.2.1 Μονολιθικά

Τα μονολιθικά συστήματα SCADA ονομάζονται συστήματα πρώιμης ή πρώτης γενιάς. Σε αυτούς τους τύπους συστημάτων χρησιμοποιούνται οι μικροϋπολογιστές [18]. Οι μικροϋπολογιστές χρησιμοποιήθηκαν σε προηγούμενα συστήματα ελέγχου και απόκτησης δεδομένων. Τα μονολιθικά συστήματα αναπτύχθηκαν σε περιόδους, όπου οι συνήθεις υπηρεσίες δικτύου δεν ήταν διαθέσιμες. Οι λειτουργίες αυτών των πρώιμων συστημάτων περιορίστηκαν στην επισήμανση λειτουργιών σε περίπτωση έκτακτης ανάγκης και στην παρακολούθηση των αισθητήρων [19].

Τη στιγμή που αναπτύχθηκε το σύστημα SCADA, δεν υπήρχαν δίκτυα. Επομένως, τα συστήματα SCADA δεν είχαν συνδεσιμότητα με άλλα συστήματα, που σημαίνει ότι ήταν ανεξάρτητα συστήματα. Αργότερα, οι προμηθευτές RTU σχεδίασαν τα δίκτυα ευρείας περιοχής που βοήθησαν στην επικοινωνία με την RTU. Η χρήση πρωτοκόλλων επικοινωνίας εκείνη την εποχή ήταν ιδιόκτητη [20].

Στην παρακάτω εικόνα 17 αποτυπώνεται η Αρχιτεκτονική SCADA Πρώτης Γενιάς.



Εικόνα 17 Αρχιτεκτονική SCADA Πρώτης Γενιάς (McClanahan, R.H., The Benefits of Networked SCADA Systems Utilizing IPEnabled Networks, Rural Electric Power Conference, 2002. 2002 IEEE, 5-7 May 2002 Pages: C5 - C5\_7 )

## 4.2.2 Κατανεμημένα

Τα κατανεμημένα συστήματα SCADA ονομάζονται συστήματα δεύτερης γενιάς. Η κατανομή των λειτουργιών ελέγχου μπορεί να γίνει σε πολλά συστήματα με σύνδεση από τοπικό δίκτυο. Οι λειτουργίες ελέγχου μπορούν να πραγματοποιηθούν με κοινή χρήση δεδομένων και επεξεργασίας εντολών σε πραγματικό χρόνο [18].

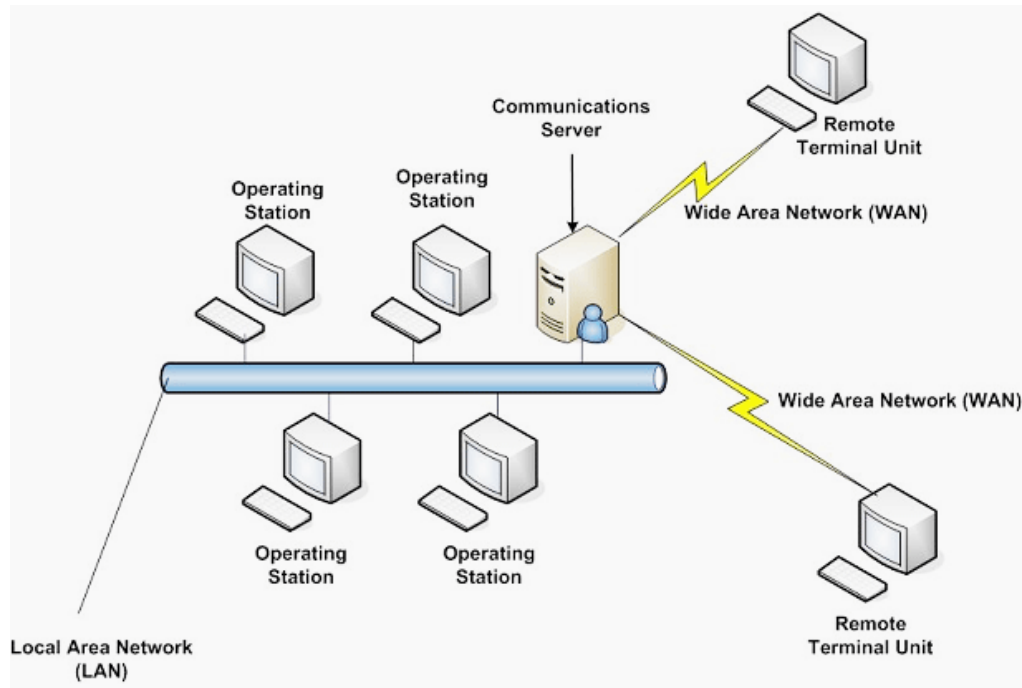
Η δεύτερη γενιά είχε ως αποτέλεσμα:

- Μείωση Μεγέθους
- Μείωση Κόστους

Το αποτέλεσμα ήταν η μείωση του μεγέθους και του κόστους κάθε σταθμού, αλλά δεν υπήρχαν τυποποιημένα πρωτόκολλα δικτύου. Δεδομένου ότι τα πρωτόκολλα ήταν ιδιόκτητα, πολύ λίγοι άνθρωποι κατάλαβαν την ασφάλεια της εγκατάστασης του συστήματος εποπτικού ελέγχου και απόκτησης δεδομένων και αυτός ο παράγοντας αγνοήθηκε σε μεγάλο βαθμό [19].

Οι πληροφορίες μεταξύ πολλαπλών σταθμών κοινοποιήθηκαν σε πραγματικό χρόνο μέσω LAN και η επεξεργασία διανεμήθηκε μεταξύ διαφόρων πολλαπλών σταθμών. Τα πρωτόκολλα που χρησιμοποιήθηκαν για τα δίκτυα ήταν ακόμα ιδιόκτητα, γεγονός που προκάλεσε πολλά ζητήματα ασφαλείας για τα συστήματα SCADA. Λόγω του ιδιόκτητου χαρακτήρα των πρωτοκόλλων, πολύ λίγοι άνθρωποι πραγματικά γνώριζαν πόσο ασφαλής ήταν η εγκατάσταση του SCADA [20].

Στην παρακάτω εικόνα 18 απεικονίζεται η Αρχιτεκτονική SCADA Δεύτερης Γενιάς.



Εικόνα 18 Αρχιτεκτονική SCADA Δεύτερης Γενιάς (McClanahan, R.H., The Benefits of Networked SCADA Systems Utilizing IPEnabled Networks, Rural Electric Power Conference, 2002. 2002 IEEE, 5-7 May 2002 Pages: C5 - C5\_7 )

### 4.2.3 Δικτυακά

Τα δικτυακά συστήματα SCADA είναι επίσης γνωστά ως συστήματα τρίτης γενιάς.



Η δικτύωση και η επικοινωνία των σημερινών συστημάτων SCADA μπορούν να γίνουν χρησιμοποιώντας το σύστημα WAN μέσω γραμμών δεδομένων ή τηλεφώνων.

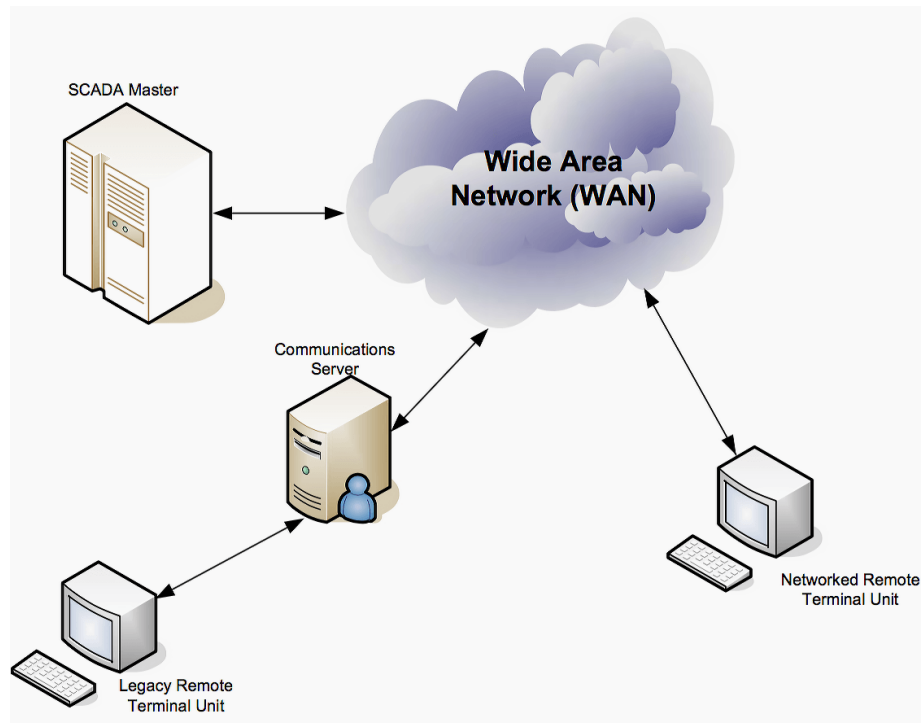
Η μετάδοση των δεδομένων γίνεται μέσω:

- Ethernet
- Οπτικές Ίνες

Η μετάδοση δεδομένων μεταξύ δύο κόμβων μπορεί να γίνει με τη βοήθεια συνδέσεων Ethernet ή οπτικών ινών. Αυτός ο τύπος συστήματος SCADA χρησιμοποιεί PLC για να προσαρμόζει και να παρακολουθεί τις λειτουργίες επισημάνσης μόνο όταν υπάρχει ανάγκη για βασικές επιλογές [18].

Η επικοινωνία μεταξύ του συστήματος και του κύριου σταθμού γίνεται μέσω των πρωτοκόλλων WAN όπως τα πρωτόκολλα Διαδικτύου (IP). Δεδομένου ότι τα τυποποιημένα πρωτόκολλα που χρησιμοποιούνται και τα δικτυακά συστήματα SCADA είναι προσβάσιμα μέσω του διαδικτύου, αυξάνεται η ευπάθεια του συστήματος. Ωστόσο, η χρήση τεχνικών ασφαλείας και τυποποιημένων πρωτοκόλλων σημαίνει ότι μπορούν να εφαρμοστούν βελτιώσεις ασφαλείας σε συστήματα SCADA [20].

Στην παρακάτω εικόνα 19 αποτυπώνεται η Αρχιτεκτονική SCADA Τρίτης Γενιάς.



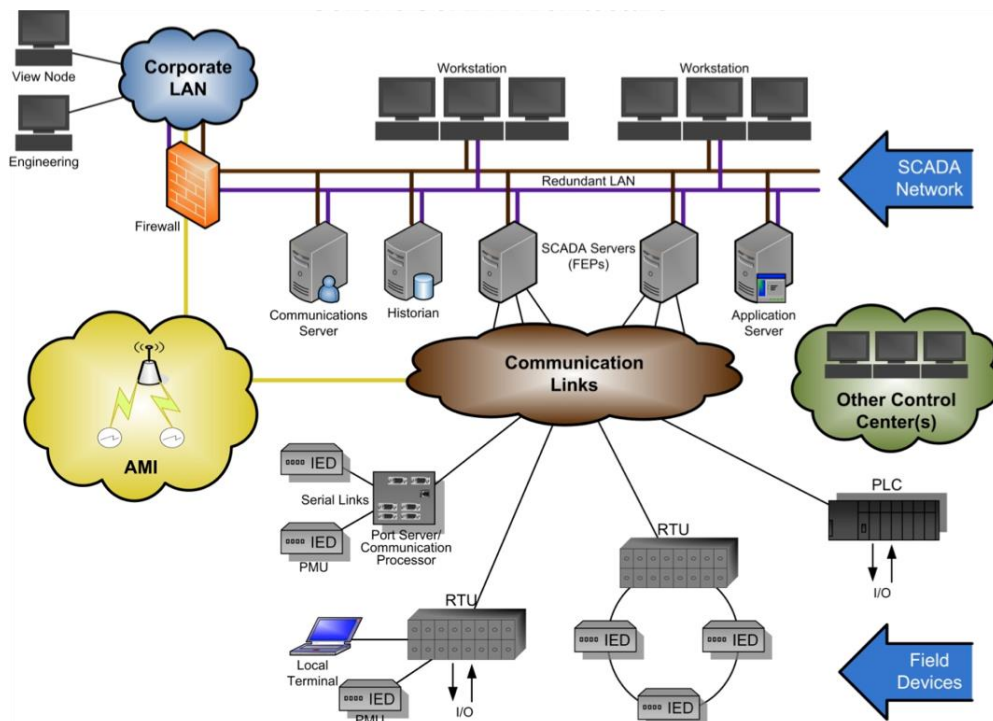
Εικόνα 19 Αρχιτεκτονική SCADA Τρίτης Γενιάς (McClanahan, R.H., The Benefits of Networked SCADA Systems Utilizing IPEnabled Networks, Rural Electric Power Conference, 2002. 2002 IEEE, 5-7 May 2002 Pages: C5 - C5\_7 )

Τα δικτυακά συστήματα είναι σε μεγάλο βαθμό ευέλικτα και ταχύτατα επειδή η επικοινωνία και η μετάδοση των δεδομένων γίνεται μέσω Ethernet ή οπτικών ινών.

## 4.2.4 IoT (Internet of Things)

Τα συστήματα IoT SCADA είναι συστήματα τέταρτης γενιάς. Σε αυτά τα συστήματα, το κόστος υποδομής του συστήματος μειώνεται εφαρμόζοντας το IoT μέσω cloud computing. Η συντήρηση και η ενσωμάτωση αυτών των συστημάτων είναι εύκολη σε σύγκριση με άλλα. Σε πραγματικό χρόνο, η κατάσταση αυτών των συστημάτων μπορεί να αναφερθεί μέσω cloud computing. Επομένως, μπορεί να γίνει η εφαρμογή αλγορίθμων όπως περίπλοκος έλεγχος που χρησιμοποιούνται συχνά σε συνηθισμένα PLC [18].

Στην παρακάτω εικόνα 20 απεικονίζεται η Αρχιτεκτονική SCADA Τέταρτης Γενιάς.



Εικόνα 20 Αρχιτεκτονική SCADA Τέταρτης Γενιάς (<https://www.electronicshub.org/scada-system>)

## 4.3 Βασικές Τοπολογίες SCADA

Σε κάθε δίκτυο, όπως είναι φυσικό η τοποθέτηση και εγκατάσταση των δικτύων γίνεται πάντοτε με κριτήριο τη λειτουργικότητα και την εξυπηρέτηση των εμπλεκόμενων μερών. Επίσης υπάρχουν αρκετές περιπτώσεις, όπου τα δίκτυα δημιουργούνται σύμφωνα με κάποιες βασικές τοπολογίες και ο λόγος είναι κατά βάση για το είδος του δικτύου που θέλουμε να εγκαταστήσουμε, ανάλογα με τις συνθήκες που υπάρχουν. Έτσι και στο σύστημα SCADA υπάρχουν οι εξής 3 βασικές τοπολογίες των δικτύων:

1. Αστέρα
2. Δακτύλιου
3. Κεντρικής Αρτηρίας

### 4.3.1 Τοπολογία Αστέρα

Κάθε τοπολογία των δικτύων παίρνει το όνομά της από το σχήμα που απεικονίζει, με βάση τον σχεδιασμό του. Έτσι και η τοπολογία αστέρα ονομάζεται από το χαρακτηριστικό της γνώρισμα που είναι το σχήμα της. Το δίκτυο αποτελείται από:

- Κεντρικό Κόμβο
- Πολλαπλές Διαδρομές

Διαθέτει πολλαπλές διαδρομές και έχει έναν μοναδικό κύριο ή κεντρικό κόμβο. Αυτός ο κύριος κόμβος είναι ουσιαστικά:

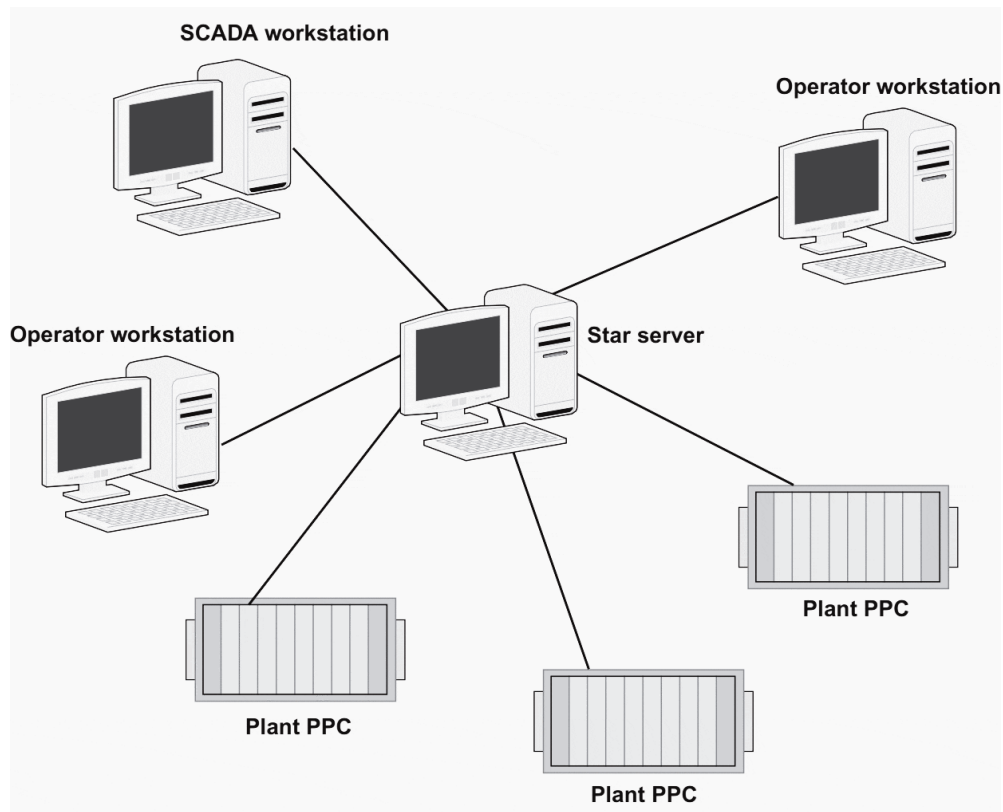
- SCADA Master
- Κεντρική Εποπτεία

Ο κεντρικός κόμβος είναι ο σταθμός εργασίας SCADA Master, όπου έχει την ιδιότητα να εποπτεύει το σύστημα. Όλες οι συλλογές δεδομένων από τους διάφορους κόμβους RTU / PLC πραγματοποιούνται μέσω ατομικών συνδέσεων σε διαμόρφωση αστέρων [21].

Η μεταφορά δεδομένων μεταξύ των κόμβων στο δίκτυο αστέρα απαιτεί να διαβιβάζονται πρώτα οι πληροφορίες από τον κόμβο προέλευσης, κατόπιν μέσω του κόμβου του κεντρικού υπολογιστή και στη συνέχεια να εξέρχονται στον κόμβο προορισμού [21].

1. Κόμβος Προέλευσης
2. Κεντρικός Υπολογιστής
3. Κόμβος Προορισμού

Στην παρακάτω εικόνα 21 απεικονίζεται η τοπολογία του δικτύου του συστήματος SCADA σε αστέρα.



Εικόνα 21 Τοπολογία Αστέρα SCADA (<https://crushtymks.com/el/industrial-automation/1100-5-ingredients-that-make-scada-operation-delicious.html>)

Στην εικόνα 21 φαίνεται ξεκάθαρα ότι ο κεντρικός κόμβος, ο οποίος είναι ο Star server, είναι ο ρυθμιστής του δικτύου και μέσω εκείνου γίνεται η μεταφορά όλων των δεδομένων για όλους τους κόμβους.

### 4.3.2 Τοπολογία Δακτύλιου

Στην συγκεκριμένη τοπολογία το δίκτυο επικοινωνεί και λειτουργεί σαν ένας [21]:

- Δακτύλιος
- 2 Συνδέσεις / Κόμβο

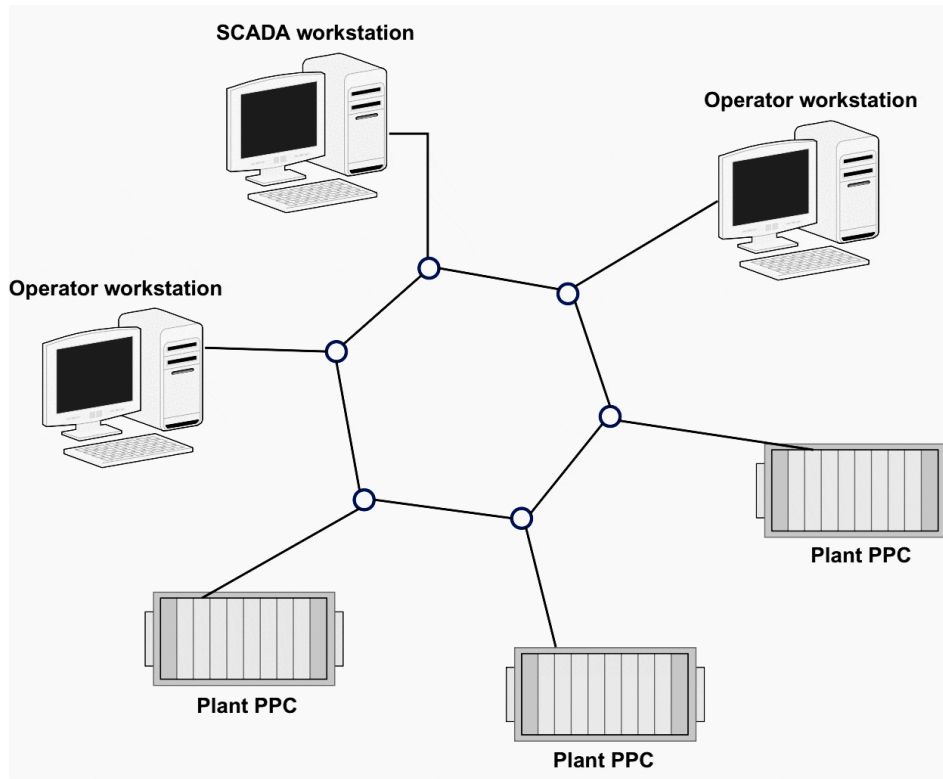
Το δίκτυο είναι ένας δακτύλιος στον οποίο, όλοι οι κόμβοι διασυνδέονται από δύο συνδέσεις δικτύου [21].

Όλοι οι κόμβοι έχουν:

- Ίση Αξία
- Από Κόμβο Σε Κόμβο

Όλοι οι κόμβοι στην τοπολογία έχουν ίση αξία και τα δεδομένα διαβιβάζονται μέσω αυτού του δακτυλίου από έναν κόμβο στον επόμενο. Καθώς ο αριθμός των κόμβων στο δίκτυο αυξάνεται, ο συνολικός ρυθμός μεταφοράς δεδομένων μειώνεται καθώς υπάρχουν περισσότεροι κόμβοι μέσω των οποίων πρέπει να περάσουν τα δεδομένα για να ταξιδέψουν από τον κόμβο προέλευσης στον κόμβο προορισμού [21].

Στην παρακάτω εικόνα 22 απεικονίζεται η τοπολογία του δικτύου του συστήματος SCADA σε δακτύλιο.



Εικόνα 22 Τοπολογία Δακτύλιου SCADA (<https://crushtymks.com/el/industrial-automation/1100-5-ingredients-that-make-scada-operation-delicious.html>)

Στην εικόνα 22 φαίνεται η τοπολογία δακτυλίου του συστήματος SCADA, όπου κάθε κόμβος μπορεί να στείλει δεδομένα στον επόμενο, όπως επίσης και στον προηγούμενο και όλοι μεταξύ τους είναι ισάξιοι.



### 4.3.3 Τοπολογία Κεντρικής Αρτηρίας

Η τοπολογία της κεντρικής αρτηρίας αποτελείται από:

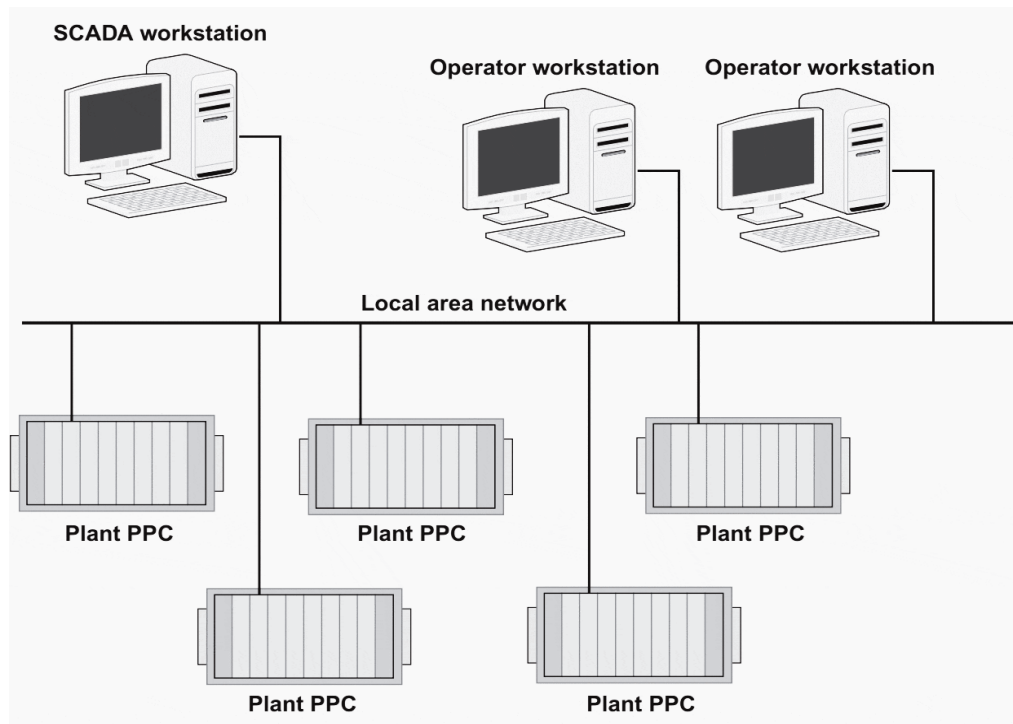
- Κεντρικό δίαυλο
- Σύνδεση Κόμβων Μέσω Διαύλου

Στην συγκεκριμένη τοπολογία υπάρχει ένας κεντρικός δίαυλος επικοινωνίας, όπου όλοι οι κόμβοι συνδέονται σε αυτόν. Έτσι πραγματοποιείται η διασύνδεση του υλικού και του λογισμικού μεταξύ όλων των κόμβων του συστήματος [21].

Αυτή η αρχιτεκτονική θυμίζει μια τεράστια λεωφόρο όπου όλοι οι δρόμοι συνδέονται σε αυτήν και κάθε κάθετος δρόμος οδηγεί στους τερματικούς κόμβους. Οι κόμβοι αυτοί μπορεί να είναι:

- Κεντρικός Σταθμός Εργασίας
- Μονάδες PLC / RTU
- Τερματικοί Κόμβοι

Στην παρακάτω εικόνα 23 απεικονίζεται η τοπολογία του δικτύου του συστήματος SCADA σε κεντρική αρτηρία.



Εικόνα 23 Τοπολογία Κεντρικής Αρτηρίας SCADA (<https://crushtymks.com/el/industrial-automation/1100-5-ingredients-that-make-scada-operation-delicious.html>)

Στην εικόνα 23 μπορούμε να παρατηρήσουμε ότι στο δίκτυο υπάρχει ένας κεντρικός δίαυλος, μέσω του οποίου μπορούν όλοι οι κόμβοι να επικοινωνήσουν μεταξύ τους.

## 4.4 Περιγραφή Δομής Του Συστήματος SCADA

Το SCADA είναι ένα καινοτόμο σύστημα το οποίο συνθέτει μια σειρά από βασικά στοιχεία, ώστε να μπορούν οι λειτουργίες του να υποστηρίζονται επιτυχώς. Η ιδέα του συστήματος SCADA αναπτύχθηκε, ως ένα καθολικό μέσο απομακρυσμένης πρόσβασης σε μια ποικιλία τοπικών μονάδων ελέγχου [15].

Τα συστήματα SCADA αποτελούνται από πολλά στοιχεία υλικού και λογισμικού που συνεργάζονται για τη [22]:

- Συλλογή
- Μετάφραση
- Εμφάνιση Δεδομένων

Το υλικό SCADA συνήθως περιλαμβάνει συσκευές συλλογής δεδομένων, όπως [22]:

- Αισθητήρες
- Ρελέ
- Συσκευές Επεξεργασίας Δεδομένων
- Συσκευές Εμφάνισης Δεδομένων

### Συσκευές Επεξεργασία Δεδομένων:

- PLC
- RTU

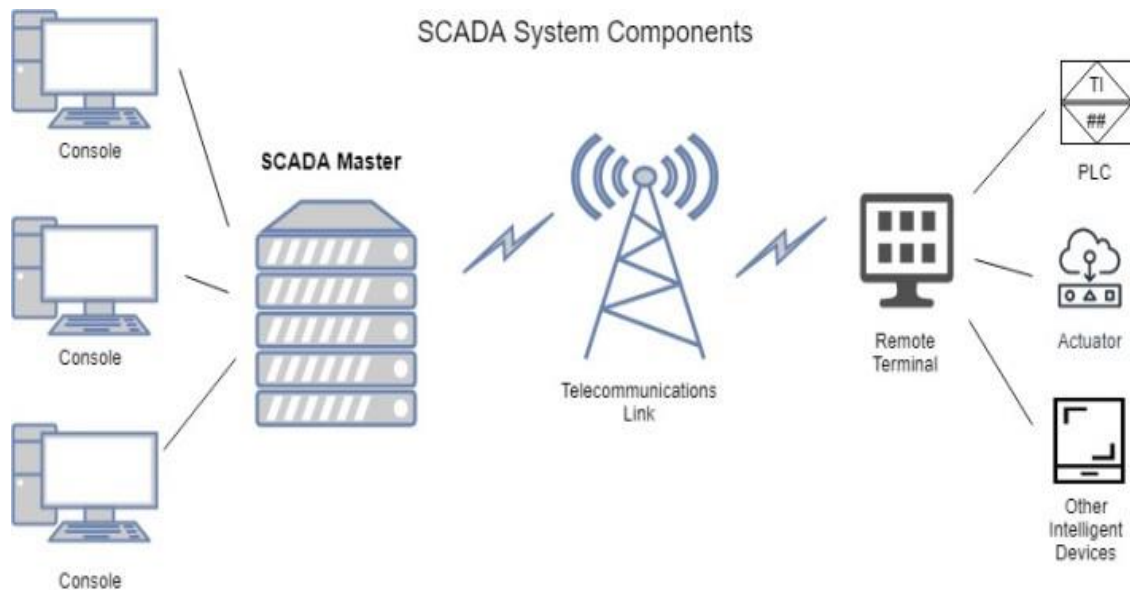
### Συσκευές Εμφάνισης Δεδομένων:

- Διεπαφή Ανθρώπου – Μηχανής
- Οθόνη

Από τα παραπάνω το υλικό του συστήματος SCADA περιλαμβάνει επίσης συσκευές επεξεργασίας δεδομένων, όπως PLC ή RTU και συσκευές εμφάνισης δεδομένων, όπως HMI (Human Machine Interface) ή οθόνη [22].

Εναλλακτικά, το λογισμικό SCADA αναλύει και μεταφράζει τα δεδομένα που συλλέγονται σε χρήσιμες πληροφορίες, ώστε να διανεμηθούν στους χειριστές. Το λογισμικό SCADA είναι επίσης υπεύθυνο για την εκτέλεση προγραμματισμένων λειτουργιών ελέγχου. Ανάλογα με το σύστημα, είναι εφικτό να πραγματοποιηθεί προγνωστική συντήρηση μέσω του λογισμικού του συστήματος SCADA [22].

Στην παρακάτω εικόνα 24 φαίνεται ολοκληρωμένα η διάταξη των στοιχείων του συστήματος SCADA.



Εικόνα 24 Διάταξη Συστήματος SCADA (<https://study.com/academy/lesson/supervisory-control-and-data-acquisition-scada-system-definition-components.html>)

Μπορούμε να παρατηρήσουμε στην εικόνα 24 ότι μέσω της τηλεπικοινωνίας, συνδέονται όλα τα στοιχεία από τον κεντρικό σταθμό εργασίας, μέχρι και τους τερματικούς σταθμούς, από τους οποίους εξέρχονται τα σήματα και λαμβάνουν οι χειριστές τα απαραίτητα δεδομένα. Στη συνέχεια της ενότητας θα περιγράψουμε αναλυτικά το κάθε στοιχείο ξεχωριστά από τα οποία σχηματίζεται στο σύνολο τους το σύστημα SCADA.

Ξεκινώντας την αναφορά και την περιγραφή των βασικών στοιχείων που το απαρτίζουν, το σύστημα SCADA αποτελείται κατά κύριο λόγο από τα ακόλουθα κύρια χαρακτηριστικά [15]:

- Διεπαφή Ανθρώπου – Μηχανής (HMI)
- Απομακρυσμένες Μονάδες Τερματικού (RTU)
- Προγραμματιζόμενοι Λογικοί Ελεγκτές (PLC)
- Υποδομή Επικοινωνίας

#### **4.4.1 Διεπαφή Ανθρώπου – Μηχανής (HMI)**

Το (HMI) συνδέεται με τον εποπτικό υπολογιστή SCADA για την απεικόνιση των δεδομένων, όπου παρέχονται από το σύστημα σε πραγματικό χρόνο στο κύριο σταθμό εργασίας. Σε πολλές εγκαταστάσεις, το HMI είναι το γραφικό περιβάλλον εργασίας για τον χειριστή, στο οποίο συλλέγονται όλα τα δεδομένα από τις εξωτερικές συσκευές και μέσω των υπολογιστών πραγματοποιείται ο έλεγχος τους [15]. Η κύρια επαφή του χειριστή με το σύστημα SCADA πραγματοποιείται στους κύριους σταθμούς εργασίας, όπου στο χώρο των δικτύων της ηλεκτρικής ενέργειας είναι τα Κέντρα Ελέγχου Δικτύων Διανομής. Εκείνος ο χώρος αποτελεί την Κύρια Τερματική Μονάδα (MTU), η οποία είναι η καρδιά του συστήματος SCADA, αφού από εκεί ξεκινάει όλη η επικοινωνία με τις εξωτερικές συσκευές καθώς επίσης επιτυγχάνεται και η συλλογή των δεδομένων [23].

Επίσης επιτρέπει στους χρήστες να εκτελούν λειτουργίες ελέγχου σε συσκευές πεδίου όπως είναι οι τηλεχειριζόμενοι διακόπτες και άλλους ενεργοποιητές ανάλογα με τα δεδομένα που συλλέγονται. Επικοινωνεί συνεχώς με άλλες συσκευές στον κύριο σταθμό έτσι ώστε να διευκολύνεται [23]:

- Καταγραφή δεδομένων
- Η Επεξεργασία Συναγερμών
- Αναφορές
- Γραφική Διεπαφή
- Σύστημα Ασφαλείας

Οι κύριες μονάδες παρέχουν μια ανθρώπινη διεπαφή στο σύστημα και ρυθμίζουν αυτόματα το διαχειριζόμενο σύστημα ως απόκριση στις εισόδους του αισθητήρα [24].

#### Είσοδοι & Αισθητήρες:

Οι είσοδοι και οι αισθητήρες είναι αναπόσπαστα στη λειτουργία ελέγχου ενός συστήματος SCADA. Αυτές οι είσοδοι και οι αισθητήρες μπορεί να είναι αναλογικοί ή ψηφιακοί και είναι υπεύθυνοι για τη μέτρηση και τον έλεγχο της κατάστασης και των παραμέτρων μιας μηχανής ή συσκευής [22].

### Είσοδοι:

Οι είσοδοι είναι σε θέση να μπορούν να χειριστούν απλές δυαδικές εντολές, όπως [22]:

- Ενεργοποίηση
- Απενεργοποίηση

Επίσης μπορούν να έχουν τον έλεγχο πιο σύνθετων εντολών, όπως [22]:

- Ρύθμιση Ροής
- Ρύθμιση Θερμοκρασίας
- Ρύθμιση Πίεσης

### Αισθητήρες:

Τα όργανα πεδίου είναι μια σειρά από πομπούς, οθόνες και αισθητήρες. Οι αισθητήρες είναι οι μορφοτροπίες που ανιχνεύουν αλλαγές στη φυσική ποσότητα [25].

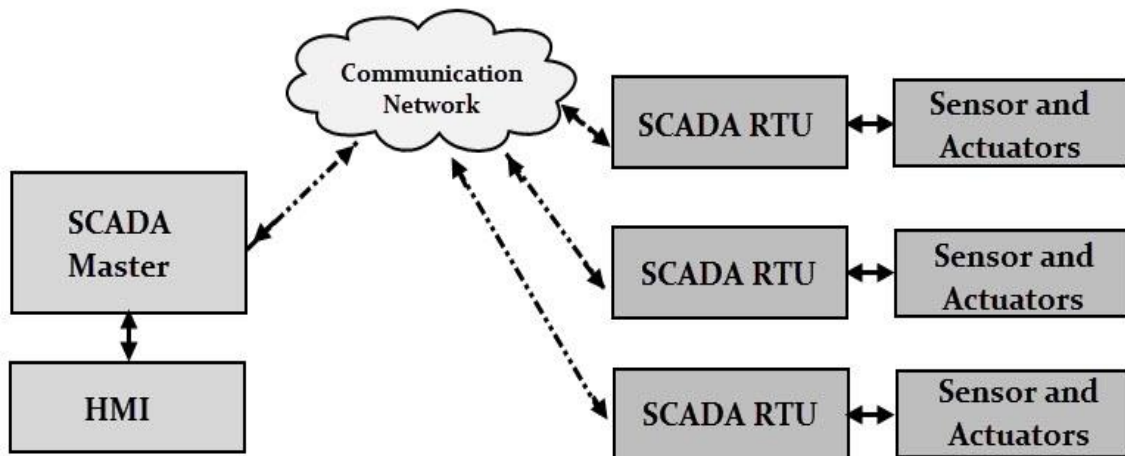


Οι αισθητήρες μπορεί να είναι:

- Αναλογικοί
- Ψηφιακοί

Αυτοί οι αισθητήρες μπορούν να είναι αναλογικοί ή ψηφιακοί, αλλά τελικά ο σκοπός τους είναι ο ίδιος. Οι αισθητήρες βοηθούν τους χρήστες του να μετρούν και να συλλέγουν δεδομένα από διάφορες τοποθεσίες. Όσο πιο περίπλοκο είναι ένα σύστημα, τόσο περισσότεροι αισθητήρες μπορεί να χρειαστούν στη θέση τους [25].

Στην παρακάτω εικόνα 25 αποτυπώνεται η δομή του συστήματος SCADA.



Εικόνα 25 Δομή Συστήματος SCADA (<https://www.electronicshub.org/scada-system>)

#### 4.4.2 Απομακρυσμένες Μονάδες Τερματικού (RTU)

RTU σημαίνει (Remote Terminal Unit), μερικές φορές ονομάζεται επίσης (Remote Telemetry Unit) ή (Remote Telecontrol Unit). Το RTU είναι μια συσκευή που βασίζεται σε μικροεπεξεργαστή που παρακολουθεί και ελέγχει συσκευές πεδίου, η οποία στη συνέχεια συνδέεται με συστήματα ελέγχου εγκατάστασης ή SCADA (εποπτικός έλεγχος και απόκτηση δεδομένων) [26].

Οι απομακρυσμένες τερματικές μονάδες, επίσης γνωστές ως (RTUs), συνδέονται με αισθητήρες και ενεργοποιητές στη διαδικασία και συνδέονται στο εποπτικό σύστημα υπολογιστών. Οι RTU έχουν ενσωματωμένες δυνατότητες ελέγχου για υποστήριξη αυτοματισμού. Οι απομακρυσμένες τοποθεσίες συχνά έχουν μικρή ή καθόλου τοπική υποδομή, οπότε δεν είναι ασυνήθιστο να βρίσκετε RTU που τρέχουν από ένα μικρό σύστημα [15].

Μια απομακρυσμένη τερματική μονάδα (RTU) είναι μια ηλεκτρονική συσκευή ελεγχόμενη από μικροεπεξεργαστή που διασυνδέει αντικείμενα στον φυσικό κόσμο σε ένα καταμετρημένο σύστημα ελέγχου ή σύστημα SCADA (εποπτικός έλεγχος και απόκτηση δεδομένων) μεταδίδοντας δεδομένα τηλεμετρίας σε ένα κύριο σύστημα και χρησιμοποιώντας μηνύματα από το κύριο σύστημα εποπτείας για τον έλεγχο συνδεδεμένων αντικειμένων. Άλλοι όροι που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για το RTU είναι η απομακρυσμένη μονάδα τηλεμετρίας και η απομακρυσμένη μονάδα τηλεχειρισμού [27].

Οι RTUs έχουν τη δυνατότητα να συλλέγουν πληροφορίες λόγω του ότι είναι συνδεδεμένες με διάφορους αισθητήρες και ενεργοποιητές που διαχειρίζονται τοπικούς εξοπλισμούς διεργασίας. Επίσης αυτές τις πληροφορίες που έλαβε από τους αισθητήρες, τις στέλνει στη Κύρια Τερματική Μονάδα (MTU) και έτσι είναι σε θέση το σύστημα να κάνει τους απαραίτητους ελέγχους [23]. Αυτός είναι και ο στόχος των RTUs να συνδέονται με αισθητήρες οποιοδήποτε στοιχείου και να μεταδίδουν δεδομένα μέσω ασύρματης επικοινωνίας στους υπολογιστές των κύριων σταθμών εργασίας (Master Station).

Στην παρακάτω εικόνα 26 απεικονίζεται μια μονάδα RTU.



Εικόνα 26 Μονάδα RTU ([https://en.wikipedia.org/wiki/Remote\\_terminal\\_unit](https://en.wikipedia.org/wiki/Remote_terminal_unit))

Το RTU στο σύστημα SCADA είναι ένας μικρός ανθεκτικός υπολογιστής που παρέχει ευφυΐα στο πεδίο και επιτρέπει στον κεντρικό κύριο σύστημα ελέγχου να επικοινωνεί με τα όργανα πεδίου. Είναι μια αυτόνομη μονάδα απόκτησης και ελέγχου δεδομένων. Η λειτουργία του είναι να ελέγχει τον εξοπλισμό επεξεργασίας στην απομακρυσμένη τοποθεσία, να αποκτά δεδομένα από τον εξοπλισμό και να μεταφέρει τα δεδομένα πίσω στο κεντρικό σύστημα SCADA [28].

Αναφέραμε παραπάνω ότι οι RTU (Remote Terminal Unit) ορίζονται ως «Απομακρυσμένη Μονάδα Τερματικού», οι οποίες εγκαθίστανται στους κεντρικούς υποσταθμούς (Υ/Σ) της μέσης τάσης, αλλά και της υψηλής. Επίσης μπορούν να εγκατασταθούν και σε τυχόν τηλεχειριζόμενα στοιχεία του δικτύου, όπου η κύρια εργασία τους είναι να μεταδίδουν μέσω των τηλεπικοινωνιών κάποια σήματα που είναι απαραίτητα για τη λειτουργία κάποιων εντολών του λογισμικού.

Οι RTU είναι οι τερματικές μονάδες που εγκαθίστανται στους υποσταθμούς (Υ/Σ). Ο ρόλος αυτών των τερματικών μονάδων είναι να μετατρέπουν τα εισερχόμενα σήματα που λαμβάνονται από το δίκτυο, όπως τη τάση, τα ρεύματα κ.λ.π. σε σήματα τα οποία αποστέλλονται ασύρματα ή ενσύρματα. Επίσης, μετατρέπουν σήματα εισόδου από τον κεντρικό Η/Υ σε σήματα εξόδου, ώστε να μπορούν να κάνουν κάποιους χειρισμούς, όπως να υποδυθούν το ρόλο του ηλεκτρονόμου. Δηλαδή κάποιο χειρισμό διακόπτη από απόσταση.

Στην παρακάτω εικόνα 27 φαίνεται μία μονάδα RTU του συστήματος SCADA.



Εικόνα 27 RTU Συστήματος SCADA (<https://instrumentationtools.com/scada-hardware-and-software>)

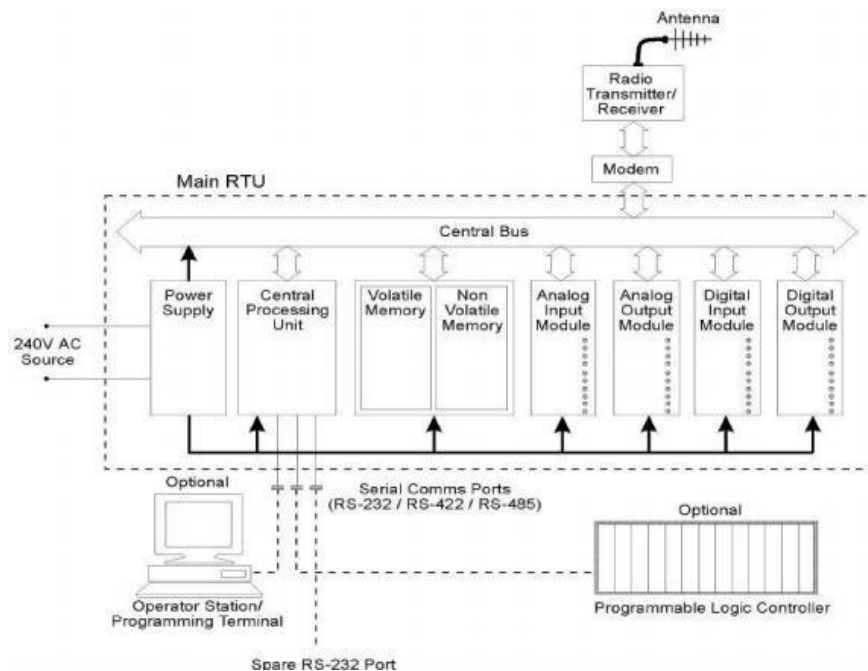
### Δομή RTU:

Μια μονάδα RTU περιλαμβάνει τα εξής:

- Αναλογικές Είσοδοι / Έξοδοι
- Κεντρική Μονάδα Επεξεργασίας

- Μέσα Επικοινωνίας
- Παλμικές Είσοδοι / Έξοδοι
- Τροφοδοσία
- Ψηφιακές Είσοδοι / Έξοδοι

Στην παρακάτω εικόνα 28 αποτυπώνεται η δομή ενός RTU.



Εικόνα 28 Δομή Ενός RTU (Clarke, G.R., Reynders, D and Edwin W, "SCADA protocols: DNP3, 60870.5 and related systems." Elsevier, 2004. pp.15 - 25)

### 4.4.3 Προγραμματιζόμενοι Λογικοί Ελεγκτές (PLC)

Ο όρος PLC σημαίνει προγραμματιζόμενους λογικούς ελεγκτές που χρησιμοποιούνται σε συστήματα SCADA με τη βοήθεια αισθητήρων. Αυτοί οι ελεγκτές συνδέονται με τους αισθητήρες για τη μετατροπή του σήματος εξόδου του αισθητήρα σε ψηφιακά δεδομένα [18], αλλά και με το εποπτικό σύστημα [15].

Οι προγραμματιζόμενοι ελεγκτές λογικής είναι κατάλληλοι για καταστάσεις όπου θέλουμε περισσότερο τοπικό έλεγχο. Ο προγραμματιζόμενος λογικός ελεγκτής είναι ένας βιομηχανικός ψηφιακός υπολογιστής σχεδιασμένος για ρυθμίσεις εξόδου και πολλαπλές εισόδους. Το PLC χρησιμοποιείται μερικές φορές στη θέση άλλων μονάδων μετατροπής λόγω της ευελιξίας και της διαμόρφωσής τους [25]. Επίσης εφαρμόζεται σε οποιαδήποτε δραστηριότητα που απαιτεί υψηλή αξιοπιστία, ευκολία προγραμματισμού και διαδικασία διάγνωση σφάλματος [29].

Σε απομακρυσμένες εφαρμογές, όπως είναι και τα τεράστια σε έκταση δίκτυα της ηλεκτρικής ενέργειας, τα PLC μπορούν να συνδεθούν απευθείας με το SCADA μέσω ασύρματης σύνδεσης, ή πιο συχνά, χρησιμοποιούν RTU για τη διαχείριση επικοινωνιών. Για οικονομικούς λόγους, τα PLC χρησιμοποιούνται συχνά για απομακρυσμένες τοποθεσίες όπου υπάρχει μεγάλος αριθμός εισόδων / εξόδων, αντί να χρησιμοποιούν μόνο RTU [15].

Τα PLC μπορούν να κυμαίνονται από μικρές αρθρωτές συσκευές με δεκάδες εισόδους και εξόδους (I / O) και οι οποίες συχνά συνδέονται με άλλα PLC, από άλλα συστήματα SCADA [29].

Στην παρακάτω εικόνα 29 απεικονίζονται τα PLCs.



Εικόνα 29 PLCs ([https://en.wikipedia.org/wiki/Programmable\\_logic\\_controller](https://en.wikipedia.org/wiki/Programmable_logic_controller))

#### Πλεονεκτήματα [30]:

- Μεγαλύτερη ευελιξία
- Εξοικονόμηση Χώρου
- Υψηλότερη αξιοπιστία

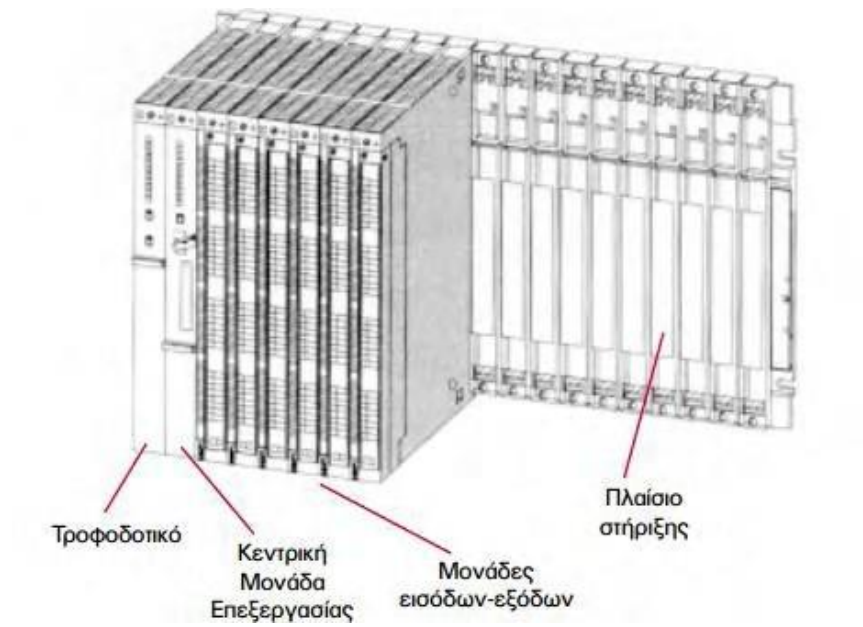


- Σύνδεση Με Υπολογιστές
- Σύνδεση Με Υλικό
- Διάθεση Πολλών Εισόδων Και Εξόδων
- Παρακολούθηση Διαδικασιών
- Έλεγχος Διαδικασιών
- Ανθεκτικότητα
- Επαναπρογραμματιζόμενος

Δομή:

- Κεντρική μονάδα επεξεργασίας
- Μονάδες εισόδων / εξόδων
- Πλαίσιο Στήριξης
- Συσσκευή προγραμματισμού
- Τροφοδοσία

Στην παρακάτω εικόνα 30 αποτυπώνεται η δομή του PLC.



Εικόνα 30 Δομή του PLC (Προγραμματιζόμενοι Λογικοί Ελεγκτές (PLC) , Τμήμα Μηχανικών Παραγωγής και Διοίκησης, Μάθημα: Βιομηχανικά Ηλεκτρονικά και Αυτοματισμοί (TME134), Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο Θράκης)

Στην παραπάνω εικόνα 30 φαίνεται η δομή του PLC και συγκεκριμένα το τροφοδοτικό, η κεντρική μονάδα επεξεργασίας, οι μονάδες εισόδων – εξόδων και το πλαίσιο στήριξης.

Οι μονάδες εισόδων – εξόδων όπου αναφέραμε παραπάνω, αποτελούν το μέσο επικοινωνίας της κεντρικής μονάδας με το υπόλοιπο δίκτυο, όπως για παράδειγμα με τους ηλεκτρονόμους (H/N)

#### Ηλεκτρονόμοι:

Οι ηλεκτρονόμοι ή αλλιώς (H/N- Ρελέ), όπως αποκαλούνται συμπεριφέρονται ως [32]:

- Ηλεκτρικοί Διακόπτες
- Ενεργοποιούν
- Απενεργοποιούν

Ο ηλεκτρονόμος, ρελέ (relay) ή ρελές είναι ένας ηλεκτρικός διακόπτης που ανοίγει και κλείνει ένα ηλεκτρικό κύκλωμα κάτω από τον έλεγχο ενός άλλου ηλεκτρικού κυκλώματος [31]. Οι H/N έχουν την ιδιότητα να μπορούν να καθορίζουν ένα ηλεκτρικό κύκλωμα εξόδου μεγάλης τάσης από ένα κύκλωμα εισόδου, δηλαδή λειτουργούν ως ηλεκτρικοί ενισχυτές [32].

#### 4.4.4 Υποδομή Επικοινωνίας

Είναι η βάση της σύνδεσης του εποπτικού συστήματος που είναι εγκατεστημένο στον υπολογιστή με τα RTUs και PLC. Τόσο τα RTUs όσο και τα PLC λειτουργούν αυτόνομα σχεδόν στον πραγματικό χρόνο του ελέγχου της διαδικασίας, χρησιμοποιώντας την τελευταία εντολή που δόθηκε από το εποπτικό σύστημα [15].

Η αποτυχία του δικτύου επικοινωνιών δεν σταματά απαραίτητα τους ελέγχους της διαδικασίας της εγκατάστασης και με την επανάληψη των επικοινωνιών, ο χειριστής μπορεί να συνεχίσει την παρακολούθηση και τον έλεγχο [15].

Δηλαδή ο ρόλος αυτού του επιπέδου είναι να παρέχει συνδεσιμότητα στο σύστημα εποπτείας με τις απομακρυσμένες τερματικές μονάδες [33].

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

### ΕΞΥΠΝΑ ΔΙΚΤΥΑ

#### 5.1 Τι Είναι Το Έξυπνο Δίκτυο

Το έξυπνο δίκτυο είναι ένα ηλεκτρικό δίκτυο που περιλαμβάνει μια ποικιλία μέτρων λειτουργίας και ενέργειας, όπως [34]:

- Προηγμένη Υποδομή Μέτρησης
- Έξυπνες Πλακέτες
- Ελεγχόμενοι Διακόπτες
- Έξυπνες Συσσκευές

Η προηγμένη υποδομή μέτρησης, εκ των οποίων οι έξυπνοι μετρητές είναι ένα γενικό όνομα για οποιαδήποτε βοηθητική συσκευή, ακόμα κι αν είναι πιο ικανή, για παράδειγμα ένας δρομολογητής οπτικών ινών. Επίσης σε αυτά τα καινοτόμα δίκτυα χρησιμοποιούνται έξυπνου τύπου πλακέτες και οι διακόπτες του κυκλώματος είναι ελεγχόμενοι [34].

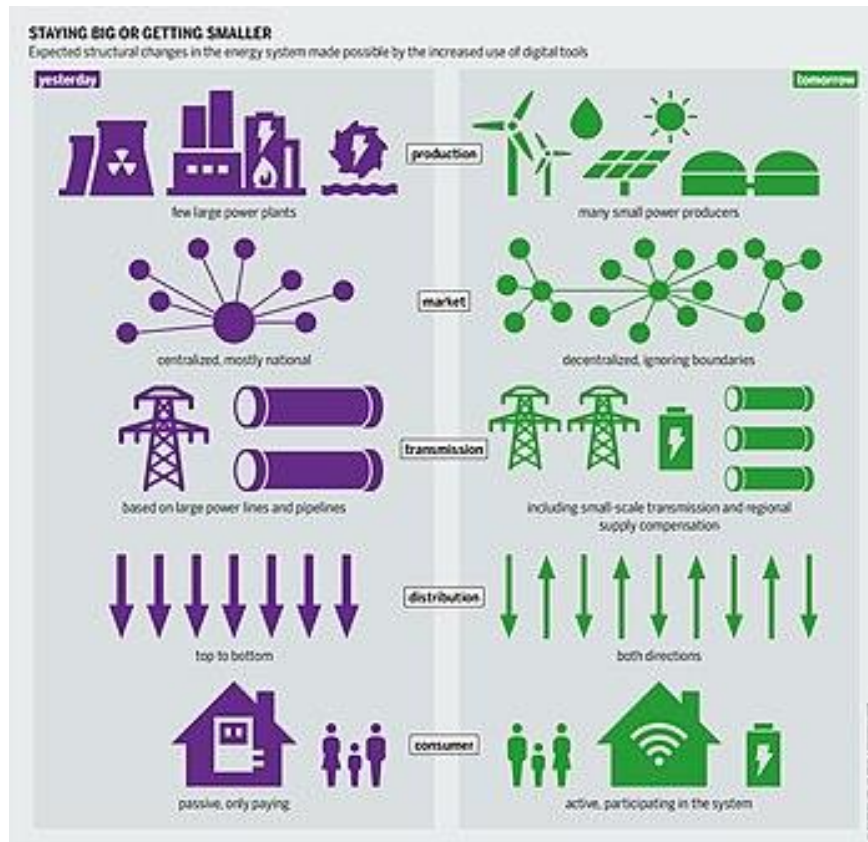
Πολύ σημαντικός θεωρείται σίγουρα και ο ρόλος των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στα έξυπνα δίκτυα, αλλά και σε κάθε δίκτυο επειδή οι πόροι από τους οποίους δημιουργείται και αντλείται η ενέργεια είναι φυσικοί και καθιστώνται ενεργειακά αποδοτικοί. Επιπλέον είναι δυνατή η επαρκής ευρυζωνική σύνδεση ινών στο δίκτυο, η οποία θα έχει ως σκοπό τη συνεχή παρακολούθηση του με τηλεέλεγχο [34].

Η ηλεκτρονική ρύθμιση ισχύος και ο έλεγχος της παραγωγής και διανομής ηλεκτρικής ενέργειας είναι σημαντικές πτυχές του έξυπνου δικτύου [34].

Ο όρος έξυπνο δίκτυο ενέργειας δεν έχει έναν ακριβή και κοινώς αποδεκτό ορισμό, αλλά είναι μια ευρεία έννοια που εμπεριέχει μια πληθώρα αλλαγών στο σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας [35].

Επίσης μια βασική αρχή που διέπει το έξυπνο δίκτυο είναι η ενσωμάτωση νέων τεχνολογιών και καινοτόμων τρόπων, βασισμένων στη πληροφορική και στις επικοινωνίες του δικτύου, όπου έχουν ως στόχο τη συλλογή πληροφοριών και τη καλύτερη διαχείριση. Στη συνέχεια, ενσωματώνοντας αμφίδρομη ψηφιακή επικοινωνία, τις αρχές και τις νέες τεχνολογίες που έκαναν δυνατή την καλπάζουσα ανάπτυξη του διαδικτύου στο σύστημα ηλεκτρικής της ενέργειας είναι σε θέση να μεταμορφωθεί σε ένα έξυπνο δίκτυο ενέργειας [36].

Στην παρακάτω εικόνα 31 απεικονίζονται τα χαρακτηριστικά ενός παραδοσιακού συστήματος, έναντι ενός έξυπνου δικτύου.



Εικόνα 31 Χαρακτηριστικά ενός παραδοσιακού συστήματος (αριστερά) έναντι ενός έξυπνου δικτύου (δεξιά) ([https://en.wikipedia.org/wiki/Smart\\_grid](https://en.wikipedia.org/wiki/Smart_grid))

Από την εικόνα 31 καταλαβαίνουμε ότι όταν υπάρχει η δυνατότητα εξέλιξης των παραδοσιακών συστημάτων με καινοτόμες εφαρμογές, μετατρέπονται σε έξυπνα δίκτυα, γεγονός που είναι πολύ σημαντικό επειδή είναι τα δίκτυα του μέλλοντος.

## 5.2 Πλεονεκτήματα Έξυπνου Δικτύου

Τα έξυπνα δίκτυα έχουν μια σειρά από πλεονέκτηματα, τα οποία βοηθάνε στην εύρυθμη λειτουργία τους. Μερικά απ' αυτά είναι [34]:

- Αξιοπιστία
- Αποδοτικότητα
- Αυτοματοποίηση Χειρισμών
- Βιωσιμότητα
- Εξοικονόμηση Πόρων
- Ευελιξία στην τοπολογία δικτύου
- Ευστάθεια
- Ψηφιοποίηση



## 5.3 Εφαρμογές Έξυπνου Δικτύου

Τα τελευταία χρόνια τα έξυπνα δίκτυα έχουν παίξει καθοριστικό ρόλο σε συγκεκριμένους τομείς της κοινωνίας μας και έχουν αναπτύξει ιδιαίτερος κάποια από τα χαρακτηριστικά των παλαιότερων συστημάτων.

Οι κυριότεροι χώροι όπου έχουν αναπτυχθεί τα έξυπνα δίκτυα είναι:

- Στους Χώρους Παραγωγής Της Ηλεκτρικής Ενέργειας
- Στη Μεταφορά Της Ηλεκτρικής Ενέργειας & Στον Έλεγχο Της
- Στη Διανομή Της Ηλεκτρικής Ενέργειας & Στους Καταναλωτές
- Στις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας
- Στους Καινοτόμους Τρόπους Μετακίνησης

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

# ΕΠΙΛΟΓΟΣ & ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

### 6.1 Επίλογος

Εν κατακλείδι, λόγω της αναγκαιότητας που υπάρχει για να έχουμε διαχρονικά ενέργεια οι κοινωνίες, είναι απαραίτητο να βρίσκουμε νέους τρόπους καθημερινά, ώστε να είμαστε σε θέση να την αξιοποιούμε καταλλήλως. Επίσης σημαντικό και ειδικά στις μέρες μας είναι η κατάλληλη αξιοποίηση των πόρων που πολλές φορές προκύπτει από την εύρεση καινοτόμων μηχανισμών, οι οποίοι είναι στη διάθεση των εμπλεκόμενων φορέων και έχουν στόχο να εκσυγχρονίσουν τα παλαιότερα συστήματα. Αυτό συμβαίνει κατά κύριο λόγο και με τα δίκτυα της ηλεκτρικής ενέργειας, όπου τα τελευταία χρόνια έχουν γίνει άλματα στον τρόπο χειρισμού τους. Αυτός είναι και ο λόγος ασχολίας της διπλωματικής εργασίας ο οποίος έχει ως στόχο να αναδείξει τη συμβολή των υπολογιστών στην ενέργεια και πώς είναι εφικτό να ενσωματωθεί ένα καινοτόμο σύστημα, όπως είναι το σύστημα SCADA, στα δίκτυα της ηλεκτρικής ενέργειας όπου μπορεί να τα ελέγχει ανά πάσα χρονική στιγμή εκεί που εφαρμόζεται, σε πραγματικό χρόνο. Ο ηλεκτρισμός είναι ένα αναπόσπαστο κομμάτι της ζωής μας και σίγουρα είναι άρρηκτα συνδεδεμένος με τις περισσότερες ενέργειες που κάνει ο άνθρωπος στην καθημερινότητά του. Επίσης η ενέργεια αποτελεί την κινητήρια δύναμη όλου του κόσμου και συνεχώς πραγματοποιούνται έρευνες με σκοπό να γίνεται ευκολότερη και πιο ευέλικτη η σχέση ανάμεσα στον ανθρώπινο παράγοντα και στα συστήματα που εποπτεύουν τα δίκτυα της ηλεκτρικής ενέργειας. Έτσι θα μπορούσαμε να πούμε ότι αυτό είναι ένα από τα πιο σημαντικά εγχειρήματα στον χώρο της ενέργειας, δηλαδή η δημιουργία ενός εξελιγμένου συστήματος, επειδή από τη μία, μπορεί να συλλέγει όλο αυτό το τεράστιο πλήθος των δεδομένων και από την άλλη, μπορεί να έχει τον πλήρη

έλεγχο του δικτύου. Έπειτα αυτός είναι και ο κυριότερος σκοπός αυτής της προσπάθειας διότι το πιο σημαντικό σε ένα μεγάλο χιλιομετρικών αποστάσεων δίκτυο, όπου στην ουσία καθίσταται εφικτή η παραγωγή, μεταφορά και διανομή της ηλεκτρικής ενέργειας είναι η απόκτηση ενός εποπτικού μηχανισμού όπου θα μας ενημερώνει ανά πάσα χρονική στιγμή, μέσω κάποιων τηλεπικοινωνιακών δικτύων σε πραγματικό χρόνο. Αυτό υλοποιείται κυρίως από την συνεχή ανάπτυξη συγκεκριμένων μηχανισμών και είναι αυτονόητο ότι με την πάροδο των χρόνων θα εφαρμοστούν και περισσότερα συστήματα στον χώρο της ενέργειας, αφού η τεχνολογία εξελίσσεται ραγδαία. Σε αυτό το σημαντικό εγχείρημα ήρθε να συντελέσει και το σύστημα SCADA στον χώρο των δικτύων της ηλεκτρικής ενέργειας, ώστε με τους κατάλληλους μηχανισμούς που διαθέτει να μπορεί να συμβάλλει στον τηλεέλεγχό τους. Πλέον τα συστήματα εποπτικού ελέγχου και συλλογής δεδομένων δίνουν τη δυνατότητα στους χειριστές τους να ελέγχουν και να παρατηρούν διεργασίες χειρισμού, οι οποίες βρίσκονται σε μακρινή απόσταση στα ήδη υπάρχοντα δίκτυα. Είναι ένα σύστημα που μπορεί να προσαρμοστεί εύκολα σε κάθε στοιχείο του δικτύου και να τοποθετηθεί μέσω συγκεκριμένης διαδικασίας. Το μεγαλύτερο πλεονέκτημά του είναι ότι χωρίς να υπάρχει φυσική παρουσία, σε περίπτωση κάποιας βλάβης στο δίκτυο, δίνεται το σήμα από κάποιους αισθητήρες που την έχουν εντοπίσει και ο χειριστής κάνει τους απαραίτους χειρισμούς εξ' αποστάσεως. Άρα επειδή και οι καιρικές συνθήκες είναι ένα πολύ σημαντικό θέμα και πολλές φορές αποτελούν τον αστάθμητο παράγοντα, όπως φυσικά και ο χρόνος είναι πολύτιμος, όταν δεν μας επιτρέπεται εύκολα η πρόσβαση στη τοποθεσία της βλάβης, την ίδια στιγμή μπορούμε να εντοπίσουμε το σημείο στο οποίο υπάρχει πρόβλημα και να λάβουμε τα απαραίτητα μέτρα μέσω τηλεχειρισμών. Συνοψίζοντας θα ήθελα να καταλήξω στην ιδιαίτερη σημασία που έχουν τα δίκτυα του μέλλοντος για την ανθρωπότητα, τα οποία αποκαλούνται ευφυή δίκτυα και να προσθέσω ότι τα ήδη υπάρχοντα δίκτυα της ηλεκτρικής ενέργειας, μέσω κάποιων ολοκληρωμένων συστημάτων, όπως είναι και το SCADA, μπορούν σε συνδυασμό να δημιουργήσουν μια μορφή έξυπνου δικτύου. Αυτός είναι και ο βασικός λόγος ανάπτυξης της συγκεκριμένης διπλωματικής εργασίας για τα δίκτυα ηλεκτρικής ενέργειας στη μέση τάση, καθώς ο έλεγχος λειτουργίας τους μέσω Η/Υ σήμερα, υποδηλώνει την εξέλιξη και τη μετάβασή τους σε έξυπνα δίκτυα.

## 6.2 Συμπεράσματα

Καταλήγοντας στη διπλωματική εργασία προκύπτουν κάποια χρήσιμα συμπεράσματα τα οποία είμαστε σε θέση να τα καταγράψουμε από τα παραπάνω στοιχεία που έχουμε αναπτύξει καθ' όλη τη διάρκεια της συγγραφής. Κατά κύριο λόγο, κάθε μορφή παρέμβασης της τεχνολογίας και των νέων συστημάτων στα υφιστάμενα δίκτυα της ηλεκτρικής ενέργειας και γενικότερα στο χώρο της ενέργειας είναι απαραίτητα εργαλεία για τον ανθρώπινο παράγοντα και όσο περισσότερο ενσωματώνονται καινοτόμα συστήματα, τόσο περισσότερο διευκολύνεται η καθημερινότητα των εμπλεκόμενων χειριστών. Σήμερα βρισκόμαστε στη σωστή κατεύθυνση αναβάθμισης των δικτύων μας, όπως είναι και τα δίκτυα της ηλεκτρικής ενέργειας στη μέση τάση (20 KV), αφού έχουμε ενσωματώσει σε αυτά, ένα πολύτιμο σύστημα, όπως είναι το SCADA και μπορούμε ανά πάσα χρονική στιγμή να γνωρίζουμε σημαντικές ενδείξεις των στοιχείων του δικτύου μας. Το σύστημα SCADA παρακολουθεί συνεχώς την κατάσταση διαφόρων εξοπλισμών σε πραγματικό χρόνο που βρίσκονται στους υποσταθμούς και κατά συνέπεια στέλνει σήματα ελέγχου στους εξοπλισμούς τηλεχειρισμού. Περιλαμβάνει την συλλογή των δεδομένων, την αποστολή τους στο κέντρο ελέγχου του συστήματος, την ανάλυση και επεξεργασία τους, την απεικόνισή τους σε οθόνες ελέγχου ή μιμικά διαγράμματα [37] σε πραγματικό χρόνο, όπως επίσης να ενεργοποιεί κάποιους μηχανισμούς συναγερμού σε περίπτωση ηλεκτρικών ατυχημάτων ή βλαβών [38]. Τέλος, σημαντικές είναι και οι αναφορές που λαμβάνουμε από το σύστημα επειδή είναι απαραίτητο να γνωρίζουμε το ιστορικό του δικτύου για μελλοντικές βελτιστοποιήσεις. Για τους παραπάνω λόγους επιτυγχάνεται τελικά αξιοπιστία στο δίκτυο, ελαχιστοποίηση του χρόνου για να πραγματοποιηθούν έλεγχοι και να γίνουν οι απαραίτητοι τηλεχειρισμοί, βελτίωση στην αποδοτικότητα, λόγω του αυτοματοποιημένου τρόπου ελέγχου του εξοπλισμού των υποσταθμών που βρίσκεται συνδεδεμένο στο δίκτυο και κυρίως της τεράστιας εξυπηρέτησης που επιτυγχάνεται μέσα από τέτοια καινοτόμα συστήματα σε περιπτώσεις, όπου τα κέντρα ελέγχου βρίσκονται σε μεγάλες αποστάσεις από τους υποσταθμούς και γενικά, όταν τα δίκτυα της ηλεκτρικής ενέργειας εκτείνονται σε μια τεράστια περιοχή.

Κλείνοντας, το βασικότερο γεγονός είναι ότι ο έλεγχος ολόκληρου του συστήματος, που έχει ενσωματωθεί σε ένα τμήμα του δικτύου της ηλεκτρικής ενέργειας, πραγματοποιείται από μια τοποθεσία σε ελάχιστο χρονικό διάστημα, αντί να στέλνεται ανθρώπινο δυναμικό για ελέγχους και μετρήσεις σε διάσπαρτα σημεία, όπου πολλές φορές τα δίκτυα της ηλεκτρικής ενέργειας είναι τοποθετημένα σε τεράστιες γεωγραφικές εκτάσεις και ο χρόνος που μπορεί να δαπανηθεί, να είναι μεγάλος.

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] [https://el.wikipedia.org/wiki/Ηλεκτρικό\\_δίκτυο](https://el.wikipedia.org/wiki/Ηλεκτρικό_δίκτυο)
- [2] <https://el.wikipedia.org/wiki/Αγωγός>
- [3] [https://en.wikipedia.org/wiki/Insulator\\_\(electricity\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Insulator_(electricity))
- [4] [https://en.wikipedia.org/wiki/Electrical\\_substation](https://en.wikipedia.org/wiki/Electrical_substation)
- [5] Turan Gönen, Electric power distribution system engineering, 3rd edition, CRC Press, 6 Jan. 2014.
- [6] <https://el.wikipedia.org/wiki/Μετασχηματιστής>
- [7] H. Lee Willis, Power Distribution Planning Reference Book, Second Edition, CRC Press, 1 March 2004.
- [8] <https://el.wikipedia.org/wiki/Διακόπτης>
- [9] Μ. Π. Παπαδόπουλος, Δίκτυα Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας, τόμ. Ι, Αθήνα: Εκδόσεις Ε.Μ.Π., 1994.
- [10] <https://el.wikipedia.org/wiki/Πυκνωτής>
- [11] <https://en.wikipedia.org/wiki/Capacitor>
- [12] <https://el.wikipedia.org/wiki/SCADA>
- [13] <https://el.wikipedia.org/wiki/Τηλεμετρία>
- [14] <https://www.engineersgarage.com/tech-articles/scada-systems/>
- [15] <https://en.wikipedia.org/wiki/SCADA>
- [16] [https://en.wikipedia.org/wiki/Ripple\\_\(electrical\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Ripple_(electrical))

- [17] Ενότητα 12η: Συστήματα μετρήσεων SCADA Τμήμα Πληροφορικής και Επικοινωνιών, «Ενίσχυση Σπουδών Πληροφορικής», ΕΠΕΑΕΚ II, Ιωάννης Καλόμοιρος, Συστήματα Συλλογής Πληροφοριών και Μετρήσεων.
- [18] <https://www.elprocus.com/scada-system-architecture-its-working>
- [19] <https://electricalfundablog.com/scada-system-components-architecture>
- [20] <https://www.agaads.com/service/scada-system>
- [21] <https://crushtymks.com/el/industrial-automation/1100-5-ingredients-that-make-scada-operation-delicious.html>
- [22] <https://www.processsolutions.com/functions-and-components-of-a-scada-system>
- [23] <https://www.electronicshub.org/scada-system>
- [24] <https://instrumentationtools.com/components-of-scada>
- [25] <https://www.allumiax.com/blog/scada-and-its-application-in-electrical-power-systems>
- [26] <https://electrical-engineering-portal.com/scada-operation>
- [27] [https://en.wikipedia.org/wiki/Remote\\_terminal\\_unit](https://en.wikipedia.org/wiki/Remote_terminal_unit)
- [28] <https://instrumentationtools.com/scada-hardware-and-software>
- [29] [https://en.wikipedia.org/wiki/Programmable\\_logic\\_controller](https://en.wikipedia.org/wiki/Programmable_logic_controller)
- [30] <https://electricalfundablog.com/programmable-logic-controller>
- [31] <https://el.wikipedia.org/wiki/Ηλεκτρονόμος>
- [32] National communication system, technical information bulletin 04-1, Supervisory Control and data Acquisition (scada) systems, October 2004

- [33] <https://www.electronicsforu.com/resources/scada-basic-automatic-control-systems>
- [34] [https://en.wikipedia.org/wiki/Smart\\_grid](https://en.wikipedia.org/wiki/Smart_grid)
- [35] Jennie C. Stephens, Elizabeth J. Wilson, and Tarla Rai Peterson. Smart Grid (R)Evolution. Electric Power Struggles. Cambridge University Press, 2015.
- [36] U.S. Department Of Energy. The Smart Grid: An Introduction. 2008.
- [37] <https://www.electricaltechnology.org/2015/09/scada-systems-for-electrical-distribution.html>
- [38] ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗ Ροβέρτος Ε. Κίνγκ Εκδόσεις Τζιόλα.