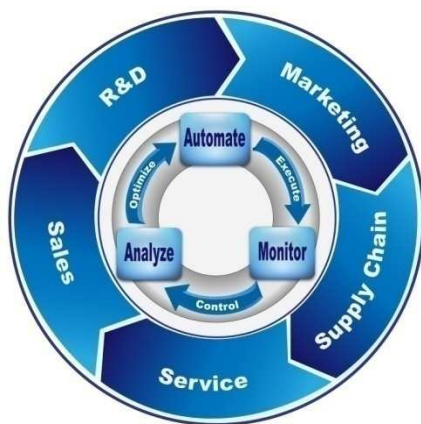


**ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ
ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ SCADA ΕΝΑΕΡΙΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ ΚΑΙ
ΥΠΟΣΤΑΘΜΩΝ ΕΛΞΗΣ ΤΟΥ ΤΡΑΜ ΑΘΗΝΩΝ**

ΓΙΑΝΝΟΠΟΥΛΟΥ ΧΡΥΣΑ

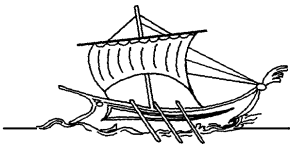
Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών:

Αυτοματισμός Παραγωγής και Υπηρεσιών

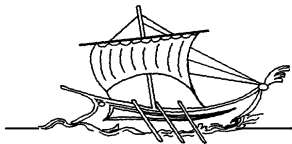


ΔΙΑΤΡΙΒΗ

Πειραιάς, Οκτώβριος 2017



**Μεταπτυχιακή Διατριβή που υποβάλλεται στο καθηγητικό σώμα για την μερική
εκπλήρωση των υποχρεώσεων απόκτησης του μεταπτυχιακού τίτλου του
Μεταπτυχιακού Προγράμματος «Αυτοματισμός Παραγωγής και Υπηρεσιών»
του Τμήματος Μηχανικών Αυτοματισμού του Ανωτάτου Εκπαιδευτικού
Ιδρύματος Πειραιώς Τεχνολογικού Τομέα.**



ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Η κάτωθι υπογεγραμμένηΓιαννοπούλου Χρύσα.....,του ...Πάνου....., με αριθμό μητρώου ...42.... φοιτήτρια του Τμήματος **Μηχανικών Αυτοματισμού Τ.Ε.** του Α.Ε.Ι. Πειραιά Τ.Τ. πριν αναλάβω την εκπόνηση της Πτυχιακής Εργασίας μου, δηλώνω ότι ενημερώθηκα για τα παρακάτω:

«Η Πτυχιακή Εργασία (Π.Ε.) αποτελεί προϊόν πνευματικής ιδιοκτησίας τόσο του συγγραφέα, όσο και του Ιδρύματος και θα πρέπει να έχει μοναδικό χαρακτήρα και πρωτότυπο περιεχόμενο.

Απαγορεύεται αυστηρά οποιοδήποτε κομμάτι κειμένου της να εμφανίζεται αυτούσιο ή μεταφρασμένο από κάποια άλλη δημοσιευμένη πηγή. Κάθε τέτοια πράξη αποτελεί προϊόν λογοκλοπής και εγείρει θέμα Ηθικής Τάξης για τα πνευματικά δικαιώματα του άλλου συγγραφέα. Αποκλειστικός υπεύθυνος είναι ο συγγραφέας της Π.Ε., ο οποίος φέρει και την ευθύνη των συνεπειών, ποινικών και άλλων, αυτής της πράξης.

Πέραν των όποιων ποινικών ευθυνών του συγγραφέα σε περίπτωση που το Ίδρυμα του έχει απονεμίσει Πτυχίο, αυτό ανακαλείται με απόφαση της Συνέλευσης του Τμήματος. Η Συνέλευση του Τμήματος με νέα απόφαση της, μετά από αίτηση του ενδιαφερόμενου, του αναθέτει εκ νέου την εκπόνηση της Π.Ε. με άλλο θέμα και διαφορετικό επιβλέποντα καθηγητή. Η εκπόνηση της εν λόγω Π.Ε. πρέπει να ολοκληρωθεί εντός τουλάχιστον ενός ημερολογιακού δμήνου από την ημερομηνία ανάθεσης της. Κατά τα λοιπά εφαρμόζονται τα προβλεπόμενα στο άρθρο 18, παρ. 5 του ισχύοντος Εσωτερικού Κανονισμού.»

Ο Δηλών

Ημερομηνία

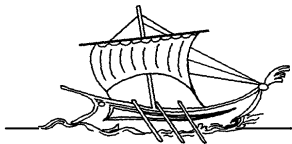
18/10/2017



Περίληψη

Τα τελευταία χρόνια, οι υψηλοί ρυθμοί ανάπτυξης της βιομηχανίας, ο αυτοματισμός και ο έλεγχος σύνθετων συστημάτων και εφαρμογών καθώς και η εισαγωγή καινοτομών τεχνολογιών κατέστησε απαραίτητη την ύπαρξη ενός άμεσου και αδιάλειπτου ελέγχου για την άρτια λειτουργία και αξιοπιστία του συστήματων. Το σύστημα SCADA συλλέγει δεδομένα και οπτικοποιεί τη λειτουργία του συστήματος εφαρμογής αξιοποιώντας τον εποπτικό έλεγχο. Η λέξη SCADA αποτελεί τα αρχικά των λέξεων Supervisory Control And Data Acquisition System, δηλαδή σύστημα εποπτείας, ελέγχου και συλλογής δεδομένων. Στην παρούσα διατριβή θα παρουσιαστεί η μελέτη του συστήματος Τηλεχειρισμού SCADA Εναερίου Δικτύου και Υποσταθμών Έλξης που εφαρμόζεται στη γραμμή TPAM, μέλος της εταιρείας ΣΤΑ.ΣΥ. Θα περιγραφεί και θα αναλυθεί η αρχιτεκτονική υλικού και λογισμικού του συστήματος Τηλεχειρισμού SCADA η λειτουργία του συστήματος Τηλεχειρισμού SCADA, ενός Υποσταθμού Έλξης, ο τρόπος ρευματοδότησης του Εναερίου Δίκτυου καθώς επίσης ο τρόπος σύνδεσης και επίδρασης μεταξύ τους. Θα παρουσιαστούν προτάσεις βελτιστοποίησης του υπάρχοντος συστήματος SCADA όπως και των παραμέτρων λειτουργίας του συστήματος SCADA με έναν Υποσταθμό Έλξης και το Εναέριο Δίκτυο και πως μπορούν να εφαρμοστούν για επιπλέον και ασφαλέστερο έλεγχο, ακριβέστερη προστασία του εξοπλισμού ενός Υποσταθμού Έλξης, οικονομικότερη απόδοση του συστήματος όπως με την εφαρμογή αισθητήρων και τηλεχειρισμού επιπλέον διακοπών να αποτελούν μερικές από τις προτάσεις που θα αναλυθούν εκτενώς στην μελέτη. Σκοπός της παρούσας μελέτης, εκτός από την ανάλυση των σύγχρονων τεχνολογιών που εφαρμόζονται στο σύστημα ελέγχου και εποπτείας του ρεύματος έλξης της γραμμής TPAM, μέσω των προτάσεων βελτιστοποίησης που θα παρουσιαστούν, θα καταγραφούν τα συμπεράσματα χρήσης ενός τέτοιου συστήματος, και τα οφέλη που προκύπτουν όπως αξιοπιστία, ασφάλεια και αμεσότητα, καθώς επίσης και η μεταφορά των πολιτών με ασφάλεια, αξιοπιστία, άνεση. Ο σεβασμός στο περιβάλλον και η οικονομικότερη απόδοση του συστήματος μεριμνώντας παράλληλα για τη συνεχή βελτίωση της ποιότητας των παρεχόμενων υπηρεσιών, σε μία συνεχή αναπτυσσόμενη εταιρεία όπως είναι η ΣΤΑ.ΣΥ., μέλος της οποίας είναι και η γραμμή TPAM Αθηνών, αποτελούν στόχους των προτάσεων βελτιστοποίησης και σχολιάζονται αναλόγως στα συμπεράσματα της μελέτης.

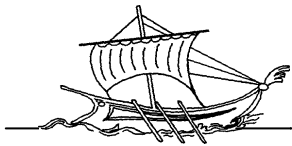
Λέξεις-Κλειδιά: συστήματα έλξης τροχιοδρόμου, συστήματα SCADA, πρωτόκολλα επικοινωνίας SCADA, αισθητήρες



Abstract

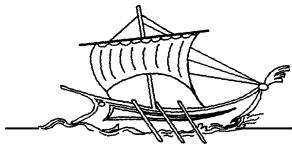
High industrial growth in recent years, automation and control of complex systems and applications, as well the introduction of innovative technologies have made it necessary to a direct and uninterrupted control for accurate operation and reliability in systems. The SCADA system collects data and visualizes the operation of the application system by utilizing supervisory control. SCADA is an acronym that stands for Supervisory Control and Data Acquisition. In this thesis it will be presented the study of SCADA System operation for Catenary and Traction Substations of Athens Tram Line, member of STASY. The architecture, hardware and software, of the SCADA System will be described and analyzed. Also the description of the operation of Remote Control System, of a Traction Substation and the electrification of the catenary and how they are connected and the effect between them, will be encircled. Proposals for parameters optimization of the applied SCADA system operation for Catenary and Traction Substations will also be presented and how they can be implemented for safer control and more accurate protection of a Substation's equipment. Additional cost-effective system performance with the use of sensors and enacting the remote control of additional switches are some of the proposals that will be extensively analyzed in the study. The purpose of the present thesis, apart from the analysis of the modern technologies applied in Athens TRAM line for supervisory and control system, through the optimization proposals, the conclusions of the use of such a system, and the benefits that arise such as reliability, security and immediacy in operation level, cost effective and environmental performance ensuring the continuous improvement of the quality of the services provided, as well as the transfer of citizens with safety, reliability and comfort it will be presented.

Keywords: tram electrification, SCADA systems, SCADA protocols, sensors, power traction substation

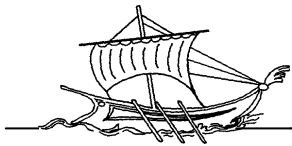


ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	1
ABSTRACT.....	2
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ.....	3
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ.....	5
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ	7
1.ΕΙΣΑΓΩΓΗ	8
1.1 Το κίνητρο	8
1.2 Έκθεση του προβλήματος.....	11
1.3 Δομή εργασίας	12
2. ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ.....	14
2.1 Ιστορική εξέλιξη των συστημάτων έλξης των τραμ.....	14
2.2 Ιστορική εξέλιξη συστημάτων SCADA	22
3. ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΕΠΟΠΤΙΚΟΥ ΕΛΕΓΧΟΥ ΚΑΙ ΣΥΛΛΟΓΗΣ	
ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ (SCADA).....	31
3.1 Αρχιτεκτονική Συστήματος SCADA	31
3.1.1 Κεντρικός Υπολογιστικός Σταθμός (Master Terminal Unit – MTU).....	35
3.1.2 Απομακρυσμένες Μονάδες Τηλεμετρίας(Remote Telemetry Unit-RTUs) 37	
3.1.3 Προγραμματιζόμενοι λογικοί ελεγκτές (Programmable Logic Controller – PLC’s	38
3.1.4 Δίκτυο ευφών συσκευών (Intelligent Electronic Devices - IED’s).....	40
3.1.5 Σύστημα επικοινωνίας Ανθρώπου-Μηχανής(Human Machine Interface) .41	
3.1.6 Δίκτυο Επικοινωνίας(Communication Network)-Σύστημα τηλεπικοινωνιών- τηλεμετρίας του Κεντρικού Σταθμού Ελέγχου με τις τοπικές τερματικές μονάδες (RTU’s & PLC’s).....	42
3.2 Λογισμικό Πρόγραμμα συστήματος SCADA	45
3.3 Πρωτόκολλα επικοινωνίας SCADA.....	46
3.3.1 Το πρωτόκολλο IEC 60870-5	50
3.3.2 Το πρωτόκολλο DNP3	52
3.3.3 Το πρωτόκολλο Modbus.....	54
3.3.4 Το πρωτόκολλο Profibus	57
3.3.5 Το πρωτόκολλο RP-570.....	59
3.3.6 Το πρωτόκολλο EIA-232/RS-232.....	60
3.3.7 Το πρωτόκολλο EIA-422 και EIA-485.....	61
3.3.8 Το πρωτόκολλο HART	62
3.3.9 Το πρωτόκολλο Conitel	64
3.4 Εξέλιξη συστημάτων SCADA.....	65
3.4.1 Μονολοθικά συστήματα SCADA	65
3.4.2 Κατενημένα συστήματα SCADA	67



3.4.3 Δικτυωμένα συστήματα SCADA	68
3.4.4 Internet of Things.....	70
3.5 Σύγχρονα Κατενημένα συστήματα SCADA	73
3.6 Βασικά χαρακτηριστικά και κύριες λειτουργίες των σύγχρονων συστημάτων SCADA.....	74
3.7 Οφέλη και πλεονεκτήματα των συστημάτων SCADA.....	76
4. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ γραμμής TRAM	80
4.1 Υποσταθμός Έλξης (Υ/Σ Έλξης).....	81
4.1.1 Πίνακας Μέσης Τάσης	82
4.1.2 Μετασχηματιστής (M/T) Ανορθωτή	83
4.1.3 Ανορθωτής Έλξης	83
4.1.4 Ηλεκτρικός Πίνακας Συνεχούς Ρεύματος (ΣΡ) 850V.....	84
4.1.5 Βοηθητικός Πίνακας Χαμηλής Τάσης (XT) 400V/230V AC -110V DC για την εξυπηρέτηση των φορτίων εσωτερικής υπηρεσίας του Υ/Σ	85
4.1.6 Συστοιχία συσσωρευτών 110V ΣΡ (DC) & Σύστημα Αδιάλειπτης λειτουργίας UPS	85
4.1.7 Σύστημα Εποπτείας, Ελέγχου και Συλλογής Δεδομένων SCADA	85
4.2 Τροφοδότηση Εναερίου Δικτύου.....	86
4.3 ΣΥΣΤΗΜΑ ΕΠΟΠΤΕΙΑΣ, ΕΛΕΓΧΟΥ ΚΑΙ ΣΥΛΛΟΓΗΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ SCADA	87
4.3.1 Γενική περιγραφή συστήματος SCADA	88
4.3.2 Αναλυτική περιγραφή συστήματος SCADA	88
4.4 Οφέλη συστήματος SCADA στη γραμμή TRAM	103
5. ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗΣ.....	105
5.1 Εγκατάσταση 2 ^ο Server (Redundancy Server)	106
5.2 Τηλεχειρισμός Εναέριων Αποζευκτών (disconnectors) & Γεφυρωτικών Αποζευκτών (Byrpass).....	108
5.3 Τοποθέτηση και χρήση επιπλέον ευφυών συσκευών στους Υ/Σ Έλξης	110
6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	114
7. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	116
8. ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ.....	118
Παράρτημα 1. PAPER.....	118
Παράρτημα 2. Πρόταση διατριβής	127
Παράρτημα 3. Συναγερμοί.....	129



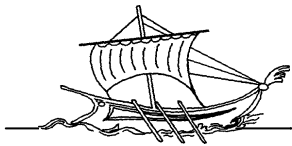
Κατάλογος Εικόνων

Εικόνα 1. Οχημα Τραμ της γραμμής τραμ Αθηνών & το λογότυπο της εταιρείας ΣΤΑ.ΣΥ.....	10
Εικόνα 2. Ιππήλατο τραμ της Swansea and Mumbles Railway στη νότια Ουαλία του Ηνωμένου Βασιλείου το 1807	15
Εικόνα 3. Ιππήλατο τραμ τα τέλη του 1800.....	16
Εικόνα 4. Ατμήλατο τραμ του 1885	17
Εικόνα 5. Ατμήλατο τραμ στην πόλη του Βόλου	18
Εικόνα 6. Το πρώτο ηλεκτρικό τραμ στο Gross-Lichterfelde, Βερολίνο το 1881	19
Εικόνα 7. Το ηλεκτρικό τραμ του Magnus Volk 1883	19
Εικόνα 8. Το πρώτο τραμ που χρησιμοποίησε εναέριους αγωγούς Mödling και Hinterbrühl στην Αυστρία το 1883.....	20
Εικόνα 9. Ηλεκτρικό τραμ με τρολλέ (trolley pole) στο Richmond της Βιρτζίνια σχεδιασμένο από τον Fr. Sprague	21
Εικόνα 10. Ηλεκτροκίνητο τραμ με την “τοξοειδή λύρα” του 1907	21
Εικόνα 11. Εποπτικό Σύστημα Ελέγχου Visicode, στην αριστερά απεικονίζεται το σύστημα εγκατεστημένο σε ένα караβοφάναρο και δεξιά σε κατάσταση δοκιμών στη USCG Βάση Sandy Hook, New Jersey	25
Εικόνα 12. Γραφική απεικόνιση του συστήματος τηλεμετρίας που εφάμοζε ο τομέας του σιδηροδρόμου για τις θέσεις των συρμών και αλλαγών	27
Εικόνα 13. Χειριστής συστήματος SCADA το 1970	29
Εικόνα 14. Γραφική απεικόνιση της εξέλιξης των συστημάτων SCADA στο πέρασμα των χρόνων	30
Εικόνα 15. Σχηματική Αναπαράσταση τυπικού συστήματος SCADA	33
Εικόνα 16. Διάγραμμα αλληλεπίδρασης λογισμικών συστημάτων και βάσεων δεδομένων σε ένα τυπικό σύστημα SCADA	35
Εικόνα 17. Διεθνές Πρότυπο OSI των 7 επιπέδων	49
Εικόνα 18. Δομή του πρωτοκόλλου IEC 60870-5	52
Εικόνα 19. Ροή επικοινωνίας πρωτοκόλλου DNP3	54
Εικόνα 20. Διάγραμμα λειτουργίας του πρωτοκόλλου Modbus	56
Εικόνα 21. Δομή του πρωτοκόλλου Profibus	59

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΑΥΤΟΜΑΤΙΣΜΟΥ

Π.ΡΑΛΛΗ & ΘΗΒΩΝ 250, 122 44, ΑΙΓΑΛΕΩ, ΑΘΗΝΑ, ΕΛΛΑΔΑ

ΤΗΛ.: +30-210-5381311, MSCAUTO1@TEIPIR.GR

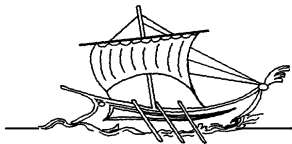


Εικόνα 22. Control direction του πρωτοκόλλου RP-570.....	60
Εικόνα 23. RS-232 PinOut	61
Εικόνα 24. Πρωτόκολλο HART σχετισμένο με το 7-επίπεδο μοντέλο του OSI	63
Εικόνα 25. Μικροπολογιστής της σειράς PDP-11 της Digital Equipment Corporation	66
Εικόνα 26. Τυπικό Διάγραμμα Μονολιθικού Συστήματος SCADA	67
Εικόνα 27. Τυπικό Διάγραμμα Κατενημένου Συστήματος SCADA	68
Εικόνα 28. Τυπικό Διάγραμμα Δικτυωμένου Συστήματος SCADA	69
Εικόνα 29. Αρχιτεκτονική δομή σύγχρονου κατανεμημένου συστήματος SCADA	74
Εικόνα 30. Τυπικό Μονογραμμικό σχέδιο Υ/Σ Έλξης γραμμής TPAM.....	82
Εικόνα 31. Οθόνες MTU και HMI(workstation/operation computer) στο Κ.Ε.Λ. γραμμής TPAM	89
Εικόνα 32. Γραφική απεικόνιση χωροθέτησης των Υ/Σ Έλξης στο δίκτυο.....	91
Εικόνα 33. Σχέδιο Αρχιτεκτονικής Δικτύου SCADA Υ/Σ Έλξης γραμμής TPAM..	93
Εικόνα 34. Block διάγραμμα δικτύου επικοινωνίας σε έναν Υ/Σ Έλξης	94
Εικόνα 35. Κατεμημένο σύστημα ET200S της εταιρείας SIEMENS	95
Εικόνα 36. Καταγραφή σε Real Time M.T. & κατανάλωση ενέργειας ανά Υ/Σ	97
Εικόνα 37. Το πάνελ εξωτερικά του SIMEAS P	98
Εικόνα 38. Ηλεκτρονόμος Siprotec 4 7SJ625 εξωτερική και εσωτερική πρόσοψη	99
Εικόνα 39. Το σύστημα SEPCOS εγκατεστημένο σε τροφοδοτικό φορείο (feeder – εσωτερικά-σταθερό μέρος).....	100
Εικόνα 40. Οθόνη με την αναμονή επιβεβαίωσης τηλεχειρισμού από τον χρήστη	101
Εικόνα 41. Λίστα Μηνυμάτων.....	102
Εικόνα 42. Παράθυρο παραμέτρων για αναζήτηση ιστορικού καταγραφών	103
Εικόνα 43. Block διάγραμμα σχέσης Primary-Secondary MTU με Watchdog timer	107
Εικόνα 44. Διάγραμμα ενεργειών Ενεργοποίησης/Απενεργοποίησης Εναέριων Αποζευκτών	109
Εικόνα 45. Διάγραμμα ροής ελέγχου υδάτων σε Υ/Σ.....	111
Εικόνα 46. Testo 6681 Temperature and Humidity Transmitter	113



Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 1. Χρονοδιάγραμμα εκπόνησης διατριβής	13
Πίνακας 2. Βασικοί τύποι βιομηχανικών συστημάτων αυτομάτου ελέγχου (Industrial Control Systems - ICS)	23
Πίνακας 3. Κόστος μετακίνησης συνεργείου	110
Πίνακας 4. Απώρροιες στη λειτουργία γραμμής TRAM.....	110
Πίνακας 5. Κόστος μετακίνησης συνεργείου	112
Πίνακας 6. Απώρροιες άντλησης σε έναν Υ/Σ	112



1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 ΤΟ ΚΙΝΗΤΡΟ

Το τραμ τα τελευταία χρόνια έχει καταστεί βασικό μέσο μεταφοράς σε πολλές μεγαλουπόλεις του κόσμου. Λόγοι που οδήγησαν στην αναγέννησή του είναι ότι πρόκειται για οικολογικό μέσο φιλικό προς το περιβάλλον και εξυπηρετικό για τον πολίτη. Επιπλέον, με την κατασκευή και χάραξη του τροchioδρόμου συγχρόνως γίνεται και ανάπλαση του αστικού ιστού από τις περιοχές από τις οποίες διέρχεται, συμβάλλοντας στην αναβάθμιση της ποιότητας ζωής στις σύγχρονες μεγαλουπόλεις. Τα πλεονεκτήματά του, ως ηλεκτροκίνητου μέσου σταθερής τροχιάς, σε συνάρτηση με την όξυνση των κυκλοφοριακών και περιβαλλοντικών προβλημάτων, καθώς και τη διαπίστωση για το αυξανόμενο κόστος κατασκευής, λειτουργίας και συντήρησης των συμβατικών μετρό και του μεγάλου στόλου θερμικών και ηλεκτροκίνητων λεωφορείων και στις σημερινές κυκλοφοριακές συνθήκες, οδήγησαν στην επανεκτίμηση του ρόλου του τραμ. Οι τεχνολογικές και λειτουργικές καινοτομίες που εφαρμόστηκαν για την αναβάθμιση, τον εκσυγχρονισμό του παραδοσιακού τραμ, οδήγησαν στο σύγχρονο τραμ και το ελαφρύ μετρό, που είναι πιο γνωστά σήμερα με τον αγγλικό όρο “Light Rail Transit” ή LRT (ελαφρά αστικά σιδηροδρομικά συστήματα).

Η λειτουργία του τραμ ως μέσου μαζικής μεταφοράς τα τελευταία είκοσι χρόνια επανήλθε δυναμικά σε αρκετές πόλεις, όπου σε άλλες το δίκτυό του εκσυγχρονίστηκε και επεκτάθηκε ενώ σε κάποιες άλλες σχεδιάστηκε από την αρχή, προσαρμοσμένο στις σύγχρονες απαιτήσεις μιας αστικής πόλης και τις ανάγκες του επιβάτη. Το τραμ της Αθήνας με τη σειρά του έρχεται να προστεθεί στην κατηγορία των τραμ που σχεδιάστηκαν από την αρχή ακολουθώντας το δοκιμασμένο μοντέλο άλλων Ευρωπαϊκών πόλεων, όπως των Βρυξελλών και του Βερολίνου, ως προς τα τεχνικά και μορφολογικά του χαρακτηριστικά. Το τραμ, σήμερα είναι ένας ελαφρύς

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΑΥΤΟΜΑΤΙΣΜΟΥ

Π.ΡΑΛΛΗ & ΘΗΒΩΝ 250, 122 44, ΑΙΓΑΛΕΩ, ΑΘΗΝΑ, ΕΛΛΑΔΑ

ΤΗΛ.: +30-210-5381311, MSCAUTO1@TEIPIR.GR



αστικός σιδηρόδρομος, που κινείται κατά κύριο λόγο επιφανειακά κατά μήκος οδικών αρτηριών, είτε πάνω στο οδόστρωμα σε ανάμειξη με την υπόλοιπη κυκλοφορία είτε σε αποκλειστική λωρίδα κυκλοφορίας, προστατευμένη ή μη, στην άκρη ή στη μέση του δρόμο. Μπορεί επίσης να χρησιμοποιεί εντελώς αποκλειστικό διάδρομο κίνησης, ανεξάρτητο με το υπόλοιπο οδικό δίκτυο, σιδηροδρομικού τύπου δίκτυο όπου η διέλευση μπορεί να είναι επίγεια, υπόγεια αλλά ακόμα και υπέργεια

Η TRAM A.E.(μέλος πλέον της εταιρείας Σταθερές Συγκοινωνίες, ΣΤΑ.ΣΥ. Α.Ε.) είναι μια εταιρεία με βασική πολιτική της την αναγνώριση και ανταπόκριση στις ανάγκες του επιβατικού κοινού. Κύριο μέλημα των εργαζομένων της εταιρείας είναι η μεταφορά των πολιτών με ασφάλεια, αξιοπιστία, άνεση. Λειτουργεί με επιβατοκεντρική φιλοσοφία και σεβασμό στο περιβάλλον, μεριμνώντας παράλληλα για τη συνεχή βελτίωση της ποιότητας των παρεχόμενων υπηρεσιών. Πρόκειται για μία σύγχρονη αναπτυσσόμενη εταιρεία, οι απαιτήσεις τόσο της εταιρείας για τη βελτίωση των υπηρεσιών της όσο και της ανταγωνιστικότητας που επικρατεί στην αγορά. [1]

Με κύρια χαρακτηριστικά τα παράπανω, το δίκτυο του Τραμ Αθηνών κατασκευάστηκε με όλες τις σύγχρονες τεχνολογίες που έχουν αναπτυχθεί κατά τον 20ο και 21ο αιώνα, με τεχνικές προδιαγραφές που πληρούν τα ευρωπαϊκά πρότυπα. Η λειτουργία της TRAM A.E. ξεκίνησε τον Ιουλίο του 2004, λίγο πριν την έναρξη των Ολυμπιακών Αγώνων στην Αθήνα. Το δίκτυο του τραμ διαθέτει συνολικά 48 στάσεις, εκ των οποίων οι τρεις, «ΣΥΝΤΑΓΜΑ», «ΣΕΦ» και «ΑΣΚΛΗΠΕΙΟ ΒΟΥΛΑΣ», είναι τερματικές. Σε 16 στάσεις οι αποβάθρες είναι κεντρικές, σε 30 στάσεις οι αποβάθρες είναι πλευρικές, ενώ στις τερματικές στάσεις «ΣΕΦ» και «ΑΣΚΛΗΠΕΙΟ ΒΟΥΛΑΣ» υπάρχουν δύο κεντρικές αποβάθρες [2] . Όλες οι διοικητικές και λειτουργικές υπηρεσίες της TRAM A.E. αρχικά στεγάζονταν στο Ελληνικό, στο χώρο του παλιού αεροδρομίου (Αμαξοστάσιο Ελληνικού), στη συνέχεια μετά την ένωση των τριών μέσων σταθερής τροχιάς και τη δημιουργία της ΣΤΑ.ΣΥ., οι υπηρεσίες τόσο της TRAM όσο και των άλλο εταιρειών ΜΕΤΡΟ & ΗΣΑΠ, οι διοικητικές υπηρεσίες συγχωνεύτηκαν και στεγάζονται πλέον σε κτίριο



του ΗΣΑΠ στη πλατεία Ομονοίας. Στο αμαξοστάσιο Ελληνικού παρέμειναν οι λειτουργικές υπηρεσίες της TRAM Α.Ε., δηλαδή το Κέντρο Ελέγχου Λειτουργίας, τα τμήματα: δρομολόγησης συρμών & οδηγών, τροχαίου υλικού, ηλεκτροδότησης, σηματοδότησης, ηλεκτρονικών συστημάτων, κτιριακών εγκαταστάσεων, ηλεκτρομηχανολογικών εγκαταστάσεων, ασφαλείας καθώς και ο χώρος για τη στάθμευση των τραμ. Το προσωπικό της εταιρείας απαριθμεί 550 άτομα προσωπικό από το σύνολο των 2400 ατόμων προσωπικού που απαρτίζει την ΣΤΑ.ΣΥ. Α.Ε.



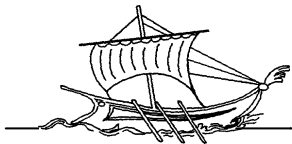
Εικόνα 1 Όχημα Τραμ της γραμμής τραμ Αθηνών & το λογότυπο της εταιρείας ΣΤΑ.ΣΥ.

Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, η ραγδαία εξέλιξη της τεχνολογίας των τραμ οδήγησε να θεωρείται το τραμ ως αστικό οικολογικό μέσο, στα πλαίσια του θορύβου και των καυσαερίων, καθώς και της άνεσης και των υπηρεσιών που προσφέρει στους επιβάτες. Η χρήση της ηλεκτρικής ενέργειας, για τη κίνηση του τραμ κρίθηκε απαραίτητη ως οικολογικό μέσο αφού δεν επιβαρύνει την ατμόσφαιρα με επιπλέον καυσαέρια. Συγκεκριμένα το τραμ Αθηνών, χρησιμοποιεί ηλεκτρική ενέργεια, η οποία τροφοδοτείται στο συρμό μέσω ενός παντογράφου. Ο παντογράφος είναι μία συσκευή η οποία συλλέγει το ηλεκτρικό ρεύμα από ένα καλώδιο το οποίο βρίσκεται κατά μήκος της διαδρομής του οχήματος και πάνω από αυτό. Το κύκλωμα κλείνει μέσω των μεταλλικών ραγών επί των οποίων κινείται το όχημα. Οι τεχνικές προδιαγραφές που λήφθηκαν υπόψη στην κατασκευή και υλοποίηση του έργου, συνδυάζοντας τα χαρακτηριστικά μιας μεγάλης αστικής πόλης

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΑΥΤΟΜΑΤΙΣΜΟΥ

Π.ΡΑΛΛΗ & ΘΗΒΩΝ 250, 122 44, ΑΙΓΑΛΕΩ, ΑΘΗΝΑ, ΕΛΛΑΔΑ

ΤΗΛ.: +30-210-5381311, MSCAUTO1@TEIPIR.GR

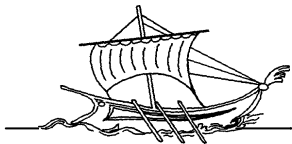


όπως αυτής των Αθηνών είναι το όχημα, ο υποσταθμός έλξης (Υ/Σ Έλξης) και η χάραξη του δικτύου.

Στην εργασία θα ασχοληθούμε με την εφαρμογή του συστήματος SCADA για την εποπτεία, τον έλεγχο και των χειρισμό των εγκαταστάσεων Υ/Σ Έλξης και Εναερίου Δικτύου που χρησιμοποιείται στην ΤΡΑΜ Α.Ε. και τις βελτιώσεις που μπορούν να εφαρμοστούν για επιπλέον και ασφαλέστερο έλεγχο καθώς και για εξοικονόμηση ενέργειας, γεγονός μείζονος σημασίας, καθώς και η ελαχιστοποίηση του κόστους συντήρησης, μέσω χρήσης τεχνολογικών καινοτομιών και βελτιστοποιήσεων που επιτρέπουν την όσο το δυνατόν πιο απρόσκοπτη λειτουργία αυτού του τόσο σημαντικού μέσου.

1.2 ΈΚΘΕΣΗ ΤΟΥ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ

Σε αυτή την διπλωματική εργασία βασικό αντικείμενο εργασίας της αποτελεί η μελέτη του συστήματος Τηλεχειρισμού SCADA Εναερίου Δικτύου και Υποσταθμών Έλξης που εφαρμόζεται στη γραμμή ΤΡΑΜ, μέλος της εταιρείας ΣΤΑ.ΣΥ. Η λέξη SCADA αποτελεί τα αρχικά των λέξεων Supervisory Control And Data Acquisition System, δηλαδή σύστημα εποπτείας, ελέγχου και συλλογής δεδομένων. Η μελέτη και συγγραφή της παρούσας εργασίας βασίστηκε κυρίως σε βιβλιογραφική έρευνα καθώς και ένα αρκετά σημαντικό κομμάτι βασίστηκε στις εμπειρίες και γνώσεις των μηχανικών και τμημάτων που εμπλέκονται καθημερινά στην άρτια λειτουργία και συντήρηση του συστήματος Τηλεχειρισμού και των Υποσταθμών Έλξης. Θα περιγραφεί και θα αναλυθεί η αρχιτεκτονική υλικού και λογισμικού του συστήματος Τηλεχειρισμού SCADA η λειτουργία (ενδείξεις, καταγραφές, χειρισμοί) του συστήματος Τηλεχειρισμού SCADA, ενός Υποσταθμού Έλξης, ο τρόπος ρευματοδότησης του Εναερίου Δίκτυου καθώς επίσης ο τρόπος σύνδεσης και επίδρασης μεταξύ τους. Επίσης, θα παρουσιαστούν και θα αναλυθούν εκτενώς προτάσεις βελτιστοποίησης του υπάρχοντος συστήματος SCADA όπως και των παραμέτρων λειτουργίας του συστήματος SCADA με έναν Υποσταθμό Έλξης και το



Εναέριο Δίκτυο και πως μπορούν να εφαρμοστούν για επιπλέον και ασφαλέστερο έλεγχο, ακριβέστερη προστασία του εξοπλισμού ενός Υποσταθμού Έλξης, οικονομικότερη απόδοση του συστήματος σε αντίστοιχο κεφάλαιο.

1.3 ΔΟΜΗ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Η εργασία δομείται από 6 κεφάλαια. Στο πρώτο κεφάλαιο (ΕΙΣΑΓΩΓΗ) εξηγείται το κίνητρο για την επιλογή αυτής της μελέτης και παρατίθεται μια έκθεση, σύντομη περιγραφή του προβλήματος. Τέλος, δίνεται η δομή της μελέτης και το χρονοδιάγραμμα της εκπόνησης.

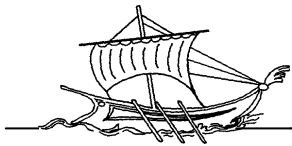
Το δεύτερο κεφάλαιο (ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ) χωρίζεται σε δύο μέρη. Στο πρώτο μέρος γίνεται περιγραφή της ιστορικής εξέλιξης των συστημάτων έλξης στα τραμ ενώ στο δεύτερο μέρος η ιστορική αναδρομή των συστημάτων SCADA.

Στο τρίτο κεφάλαιο (ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΕΠΙΟΠΤΙΚΟΥ ΕΛΕΓΧΟΥ ΚΑΙ ΣΥΛΛΟΓΗΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ) γίνεται μια εκτενή αναφορά στα συστήματα SCADA, περιγραφή τεχνολογίας, εφαρμογές, λειτουργίες και οφέλη.

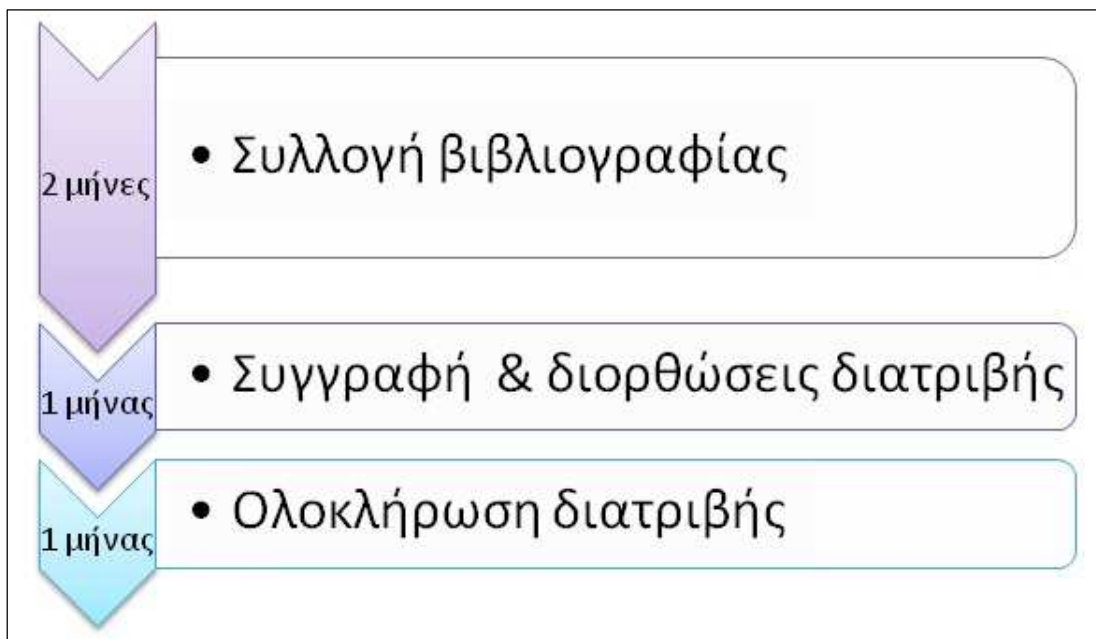
Στο τέταρτο κεφάλαιο (ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ γραμμής TRAM), περιγράφεται η τεχνολογία που εφαρμόζεται στη γραμμή TRAM Αθηνών στο σύστημα έλξης και το σύστημα SCADA που χρησιμοποιεί και το πώς συνδέονται μεταξύ τους και τα οφέλη που προσφέρει.

Το πέμπτο κεφάλαιο αποτελεί τις ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗΣ των παραμέτρων λειτουργίας συστήματος SCADA Εναέριου Δικτύου και Υποσταθμών Έλξης του TRAM Αθηνών.

Στο έκτο και τελευταίο κεφάλαιο διατυπώνονται τα ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ που προέκυψαν από την εκπόνηση της μελέτης.



Στο πίνακα που ακολουθεί αναπαράσταται το χρονοδιάγραμμα που ακολουθήθηκε για την εκπόνηση της διατριβής.



Πίνακας 1 Χρονοδιάγραμμα εκπόνησης διατριβής



2 ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ

2.1 ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΕΞΕΛΙΞΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΕΛΕΞΗΣ ΤΩΝ TRAM

Η ετυμολογία της λέξης "τραμ" (tram) είναι σκοτσέζικης προέλευσης και πρόκειται για έναν τύπο οχήματος που χρησιμοποιείται αρχικά στα ανθρακωρυχεία. Στα ελληνικά αποδίδεται με τη λέξη τροχιόδρομος και ουσιαστικά αναφέρεται στον σιδηρόδρομο της πόλης, δηλαδή ένα μικρό σιδηρόδρομο που κυκλοφορεί στους δρόμους της πόλης [3] .

Η ιστορική εξέλιξη των τραμ μπορεί να χωριστεί σε πέντε μεγάλες περιόδους . Η πρώτη περίοδος αφορά την είσοδο του τραμ στη ζωή μας ,με τα ιππήλατα τραμ, ακολούθησε η περίοδος από την ιπποδύναμη στην ηλεκτροκίνηση με ενδιάμεσους τη χρήση της ατμοκίνησης και στη συνέχεια η περίοδος του ηλεκτροκίνητου τραμ που χαρακτηρίστηκε από αρκετές τεχνολογικές καινοτομίες και βελτιστοποιήσεις εκείνης της εποχής. Η τέταρτη περίοδος είναι η σταδιακή απόρριψη του τραμ ως μέσου που οδήγησε τελικά στην καταργησή του , ολοκληρώνοντας με την πέμπτη και τελευταία ιστορική εξέλιξη του τραμ που σηματοδοτεί την αναγεννησή και ενταξή του στη σύγχρονη κοινωνία.

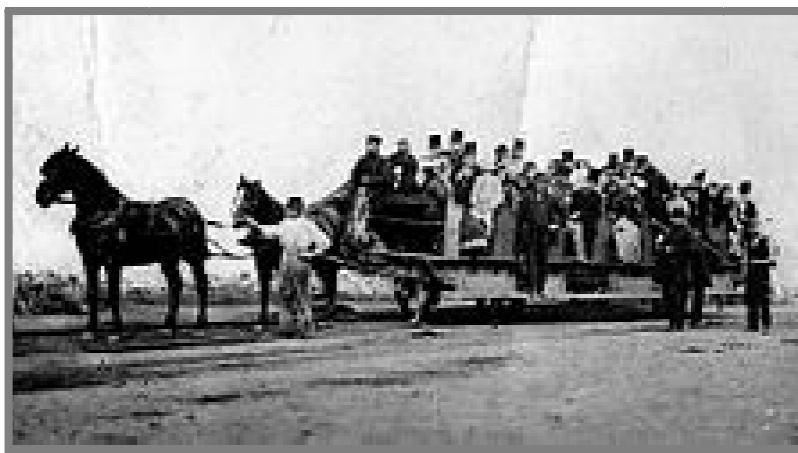
Τα συστήματα που χρησιμοποιήθηκαν κατά το πέρασμα των χρόνων , για την έλξη των τραμ, όπως απορρέουν από την παραπάνω παράγραφο είναι :

- η ιπποκίνηση
- η ατμοκίνηση
- η ηλεκτροκίνηση

Τα πρώτα ιππήλατα τραμ ήταν της Swansea and Mumbles Railway στη νότια Ουαλία του Ηνωμένου Βασιλείου και άρχισαν να λειτουργούν το 1807. Η πρώτη



γραμμή τραμ λειτούργησε το 1832 στη Νέα Υόρκη [3]. Στην Ελλάδα τα πρώτα ιππήλατα τραμ έκαναν την εμφανισή τους το 1882 στη πόλη των Αθηνών [4]. Παρά τα οφέλη που προσέφερε το ιππήλατο τραμ όπως το χαμηλό κόστος, την ευελιξία και την ασφάλεια της τροφοδοσίας των ζώων με την αποτελεσματικότητα, την ομαλότητα, και την επί παντός καιρού ικανότητα ενός σιδηροδρομικού οχήματος στην πλευρά του δρόμου, μειονεκτήματα της χρήσης τους στη καθημερινότητα όπως η αδυναμία να αναπτύξουν μεγάλες ταχύτητες, να μεταφέρουν μεγάλο αριθμό επιβατών, η υπερβολική παραγωγή κοπριάς στα αστικά κέντρα (δυσσομία) καθώς και η ιδιαίτερη φροντίδα που απαιτούσαν τα άλογα και τη κατασκευή στάβλων μέσα στις πόλεις συνέλεβαν και οδήγησαν τελικά στο παραγκωνισμό τους και στην αναζήτηση νέων τρόπων έλξης των τραμ.

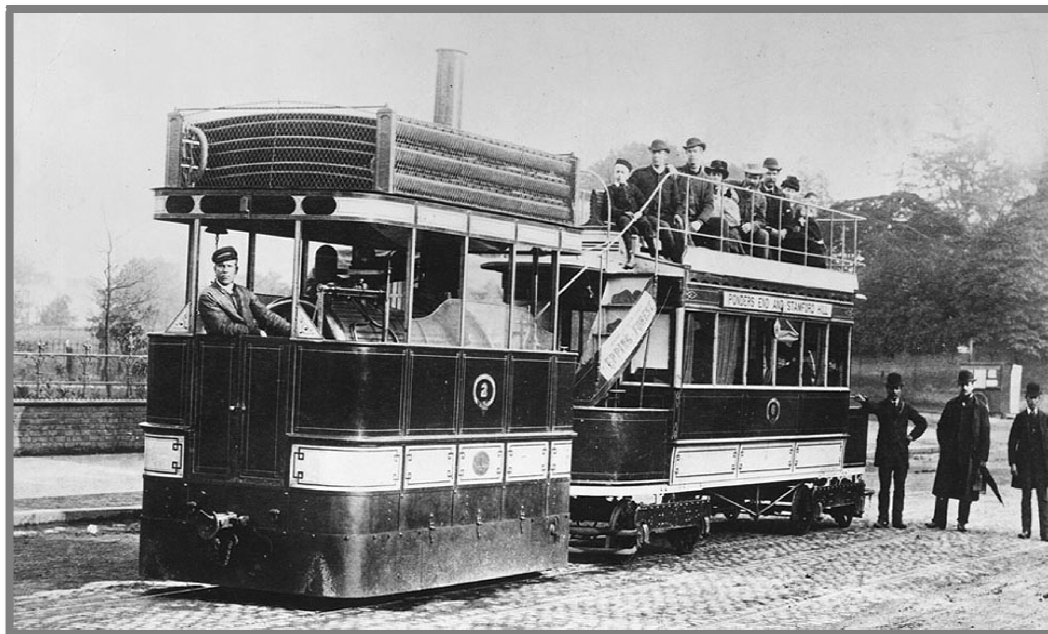


Εικόνα 2 Ιππήλατο τραμ της Swansea and Mumbles Railway στη νότια Ουαλία του Ηνωμένου Βασιλείου το 1807



Εικόνα 3 Ιπήλατο τραμ τα τέλη του 1800

Η ατμοκίνηση αποτέλεσε το επόμενο βήμα στην έλξη των τραμ λόγω κυρίως των εξελίξεων στις κινητήριες μηχανές. Η πρώτη ατμομηχανή κατοχυρώθηκε με δίπλωμα ευρεσιτεχνίας από τον James Watt το 1794 και η πρώτη ατμομηχανή παρουσιάστηκε από τον εφευρέτη Richard Trevithick το 1804. Τα πρώτα αυτοδύναμα ατμοκίνητα τραμ χρησιμοποιήθηκαν μεταξύ του 1859 και του 1861 στη Φιλαδέλφεια, και από το 1873 στο Λονδίνο. Μέχρι τη δεκαετία του 1880, ατμοκίνητα τραμ ήταν συνήθης μέσα αρκετές πόλεις[5]. Η χρήση των ατμοκίνητων τραμ όμως παρουσίασε και αρκετές δυσκολίες όπως ότι τα οχήματα που είχαν κατασκευαστεί για έλξη από άλογα δεν μπορούσαν να αντέξουν το βάρος μιας ατμομηχανής. Εκτός από τις τεχνικές δυσκολίες, τα ατμοκίνητα τραμ προκαλούσαν έντονη ενόχληση στους επιβάτες κυρίως του έντονου θορύβου που προκαλούσε η ατμομηχανή καθώς επίσης ότι από τον καπνό που παραγόταν τα ρούχα τους γέμιζαν λεκέδες.



Εικόνα 4 Ατμήλατο τραμ του 1885

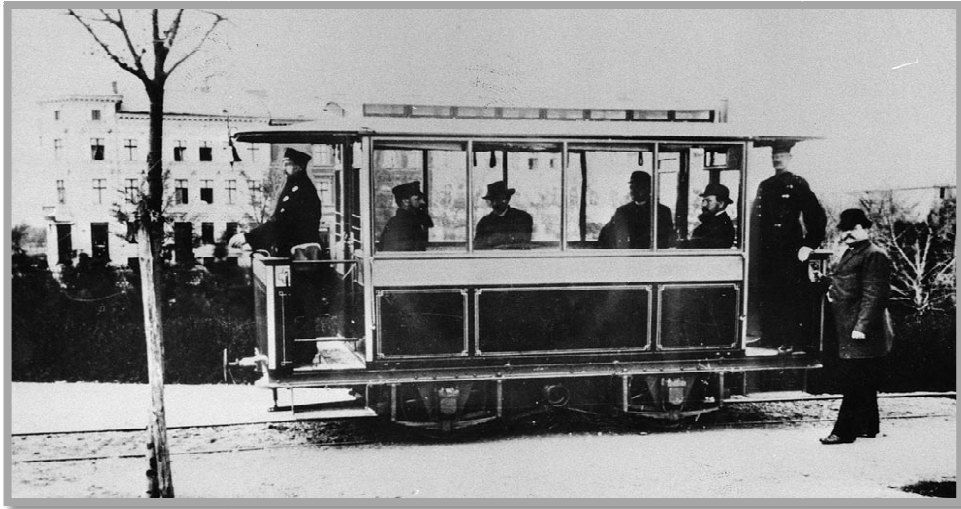
Η λύση δόθηκε με τη χρήση καλωδιωτών οχημάτων τεχνική που εφαρμοζόταν σε ορυχεία από τα τέλη του 18ου αιώνα και το καλωδιακό σύστημα τραμ τελειοποιήθηκε στο Σαν Φρανσίσκο από το 1873, το οποίο λειτουργεί μέχρι και σήμερα, και εφαρμόστηκε επιτυχώς και σε άλλες πόλεις όπως το Λονδίνο και η Μελβούρνη. Συγκεκριμένα με τη τεχνική αυτή οι μηχανές είναι σταθερές και τοποθετημένες στο τέλος κάθε διαδρομής και έλκονται μέσω υπόγειων καλωδίων[5].

Στον ελληνικό χώρο ατμήλατο τραμ εφαρμόστηκε πρώτη φορά το 1887 και εξυπηρετούσε τη περιοχή του Φαλήρου. Αξίζει να αναφερθεί ότι ατμήλατο τραμ χρησιμοποιήθηκε και στη πόλη του Βόλου. Η γραμμή κατασκευάστηκε το 1894-95 και λειτούργησε μέχρι το 1933 όπου και διακόπηκε και επαναλειτούργησε στα χρόνια της γερμανικής κατοχής μέχρι το 1950. Η σιδηροδρομική γραμμή του Βόλου που κατασκευάστηκε αρχικά μέχρι τον Άναυρο μήκους 2,8 χιλιομέτρων και ολοκληρώθηκε τελικά μέχρι τα Λεχώνια μήκους 13 χιλιομέτρων και μαζί με αυτή δυο γέφυρες έχουν χαρακτηριστεί από το Υπουργείο Πολιτισμού ως ιστορικό διατηρητέο μνημείο[6].



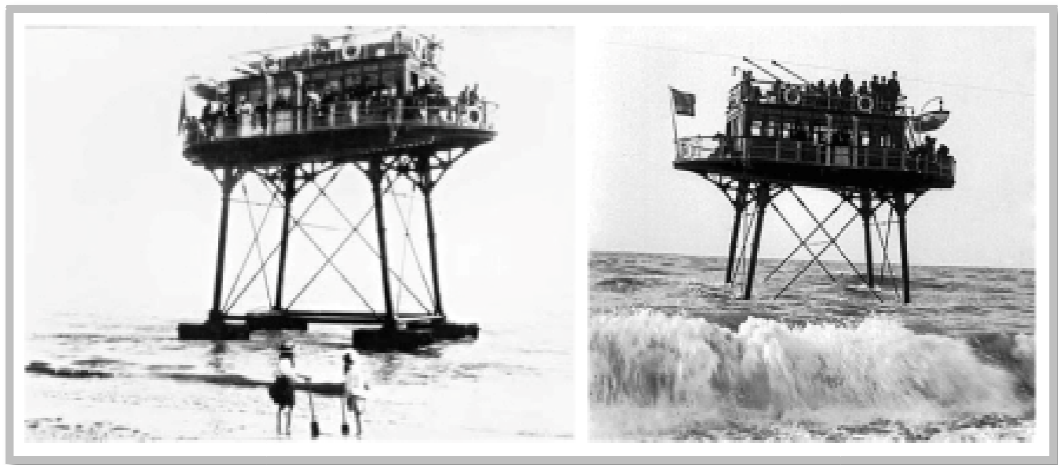
Εικόνα 5 Ατιμήλατο τραμ στην πόλη του Βόλου

Τη δεκαετία του 1830 σε συνάρτηση της ανάπτυξης που σημειώθηκε στο τομέα του ηλεκτρισμού και συγκεκριμένα στους συσσωρευτές , οδήγησε το 1835 στην εμφάνιση ηλεκτρικών τραμ με τη χρήση συσσωρευτών. Το 1879 στη Διεθνή Έκθεση του Βερολίνου παρουσιάστηκε για πρώτη φορά επιτυχημένα η ηλεκτροκίνητη έλξη για τραμ χάρη στον Werner von Siemens,ο οποίος ανέπτυξε έναν αξιόπιστο τύπο γεννήτριας συνεχούς ρεύματος (δυναμό) παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας σε απομακρυσμένο σημείο και μεταφοράς αυτής μέσω καταλλήλων αγωγών. Το 1881, μόλις 2 χρόνια αργότερα η εταιρεία Siemens – Halske, κατασκεύασε και εγκαινίασε τον πρώτο ηλεκτρικό τροχιόδρομο παγκοσμίως στο προάστιο της Gross-Lichterfelde (που αργότερα ενσωματώθηκε στο Βερολίνο) [5].



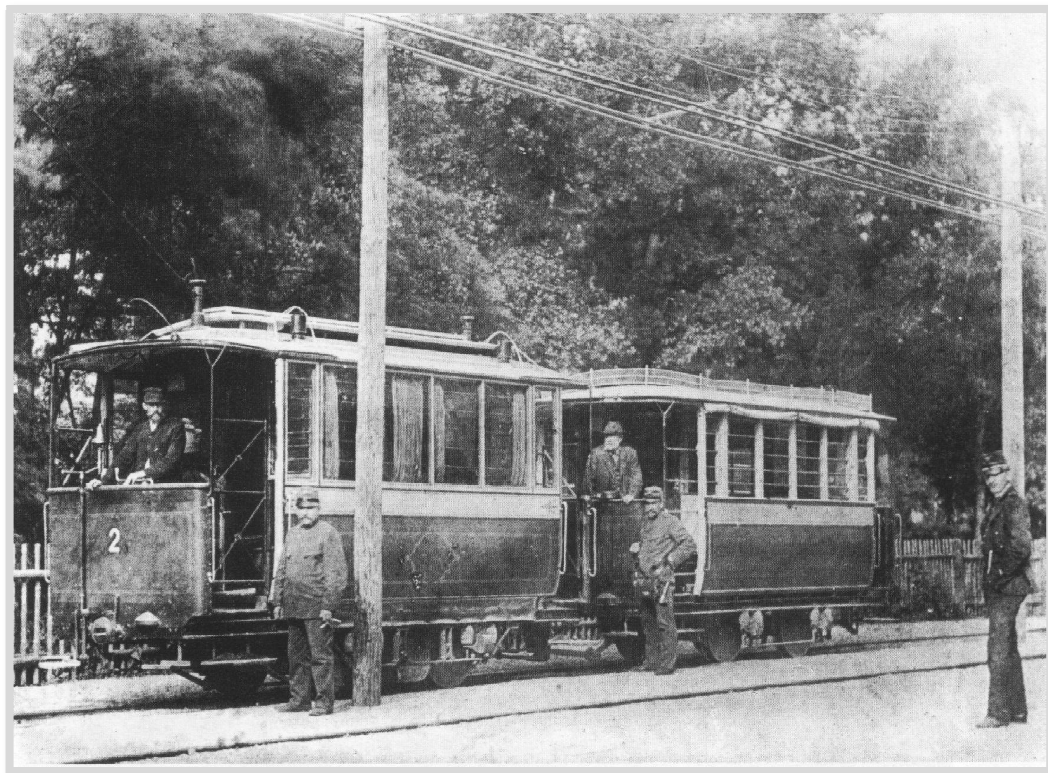
Εικόνα 6 το πρώτο ηλεκτρικό τραμ στο Gross-Lichterfelde, Βερολίνο το 1881

Το 1883, ο Magnus Volk κατασκεύασε έναν ηλεκτρικό τροχιόδρομο κατά μήκος της ανατολικής ακτής στο Μπράιτον της Αγγλίας, καθιστώντας το στις μέρες μας το παλαιότερο λειτουργικό ηλεκτρικό τραμ παγκοσμίως.



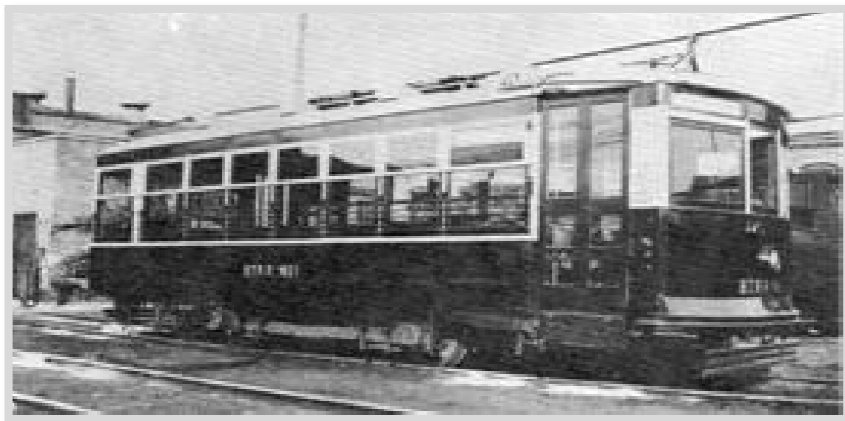
Εικόνα 7 το ηλεκτρικό τραμ του Magnus Volk 1883

Το πρώτο τραμ που χρησιμοποίησε εναέριους αγωγούς ήταν το τραμ Mödling και Hinterbrühl στην Αυστρία, το οποίο άρχισε να λειτουργεί τον Οκτώβριο 1883 [7].



Εικόνα 8 το πρώτο τραμ που χρησιμοποίησε εναέριους αγωγούς Mödling και Hinterbrühl στην Αυστρία το 1883

Η μέθοδος των εναέριων αγωγών θα κριθεί απολύτως επιτυχημένη με τη πάροδο των ετών και τελειοποιήθηκε το 1888, από τον μηχανικό Fr. Sprague, ο οποίος σχεδίασε το πρώτο απόλυτα επιτυχημένο παγκοσμίως ηλεκτρικό τραμ στο Richmond της Βιρτζίνια. Συγκεκριμένα ο Fr. Sprague εφεύρε και ανέπτυξε το σύστημα όπου το ρεύμα έλξης μεταφέρεται από την εναέρια γραμμή και διοχετεύεται στο όχημα μέσω ρευματολήπτη που είχε τη μορφή κεραίας, που συνηθίζεται λόγω της ξενόγλωσσης ορολογίας trolley pole, να ονομάζεται και στα ελληνικά «τρολλές». Η επιτυχία του εναερίου αυτού συστήματος ήταν καθολική όπου μέχρι το 1900 το ποσοστό των τροχιοδρόμων που είχαν ηλεκτροκινηθεί ήταν πάνω από 90% [8].



Εικόνα 9 Ηλεκτρικό τραμ με τρολλέ (trolley pole) στο Richmond της Βιρτζίνια σχεδιασμένο από τον Fr. Sprague

Η επιτυχία αυτού του συστήματος οδήγησε με τη σειρά της την εταιρεία Siemens στην ανάπτυξη ενός νέου τύπου ρευματολήπτη για την επίλυση των προβλημάτων που παρουσίαζε ο τρολλές (εκτροχιασμός κ.α.), την “τοξοειδή λύρα” (bow collector) προάγγελο των σημερινών τύπου ρευματοληπτών (παντογράφοι) [9].



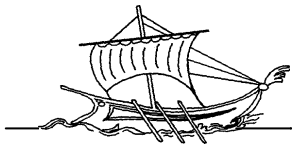
Εικόνα 20 Ηλεκτροκίνητο τραμ με την “τοξοειδή λύρα” του 1907



2.2 ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΕΞΕΛΙΞΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ SCADA

Ο εποπτικός έλεγχος και γενικά η έννοια του ελέγχου ενός συστήματος και η αυτοματοποίησή του έχει πλούσια ιστορία που με τη πάροδο των ετών εξελίχθηκαν στα σημερινά σύγχρονα συστήματα ελέγχου. Οι πρώτες αναφορές για τη χρήση συστήματος ελέγχου στη βιομηχανία καταγράφεται από τις αρχές του 1800. Τα οφέλη της αυτοματοποίησης και ενός συστήματος ελέγχου είναι η βελτίωση των συνθηκών εργασίας, αύξησης της αποτελεσματικότητας, μείωση της ποσότητας των απαραίτητων υλικών και βελτίωσης της ποιότητας, ενώ υπάρχει προβλεψιμότητα και ακρίβεια. Τα συστήματα ελέγχου βελτιώνουν επίσης την ασφάλεια των εργαζομένων και όχι με απομακρύνοντας τους ανθρώπους από επικίνδυνες καταστάσεις ή επικίνδυνες συνθήκες εργασίας.

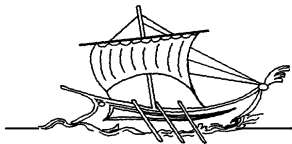
Τα βιομηχανικά συστήματα αυτομάτου ελέγχου (Industrial Control Systems - ICS) όπως ονομάζονται, ανάλογα με τη δομή και τη λειτουργικότητά τους χωρίζονται σε διάφορους τύπους. Στο παρακάτω πίνακα που ακολουθεί φαίνονται συγκεντρωτικά οι πιο βασικοί τύποι ICS [10].



Types of Industrial/Facility Automation & Control	Uses & Applications	Examples
SCADA & EMS – Supervisory Control & Data Acquisition & Energy Management System	Control and data acquisition over large geographic areas	SCADA & EMS – Supervisory Control & Data Acquisition & Energy Management System
DCS - Distributed Control System	Systems which control, monitor, and manage industrial processes that are disbursed but operated as a coupled system	DCS - Distributed Control System
PCS – Process Control System	Systems which control, monitor, and manage an industrial processes	PCS – Process Control System
Building Automation, BMS - Building Management System	Control systems used to manage security, safety, fire, water, air handling in a building or facility	Building Automation, BMS -Building Management System
I&C - Instrumentation & Control	Electronic devices or assemblies used to monitor, measure, manage or operate equipment in many applications	I&C - Instrumentation & Control
SIS - Safety Instrumented System, safety systems, protection systems	System with the sole function to monitor specific conditions and act to maintain safety of the process	SIS - Safety Instrumented System, safety systems, protection systems

Πίνακας 2 Βασικοί τύποι βιομηχανικών συστημάτων αυτομάτου ελέγχου (Industrial Control Systems - ICS)

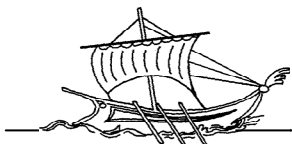
Η ανάγκη ελέγχου και χειρισμού σε ηλεκτρικά συστήματα σε απομακρυσμένους υποσταθμούς οδήγησε στην εξέλιξη του εποπτικού συστήματος. Στο παρελθόν ήταν απαραίτητο να υπάρχει προσωπικό που σταθμεύει στον απομακρυσμένο χώρο ή να στέλνει ένα πλήρωμα γραμμής για να χειρίζεται εξοπλισμό. Η τεχνολογία που επέτρεψε στο χρήστη τεχνολογία να «συλλέγει» δεδομένα από μία ή περισσότερες



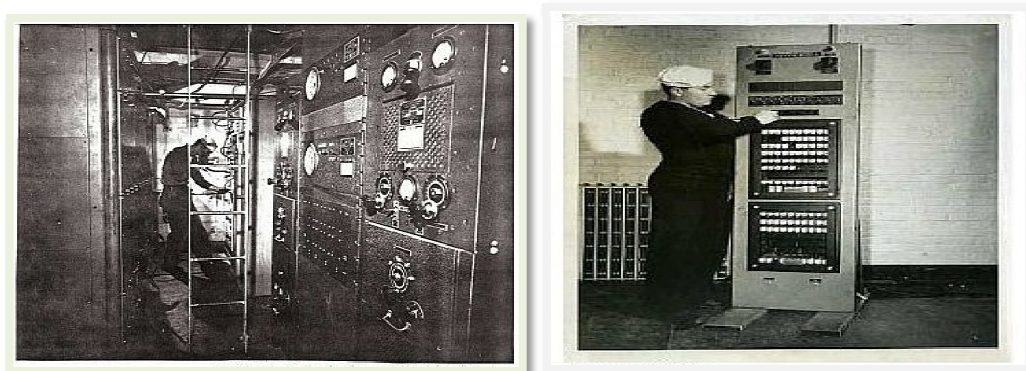
απομακρυσμένες εγκαταστάσεις και/ή να αποστείλει στοιχειώδεις εντολές ελέγχου σε αυτές, ονομάστηκε με τον όρο SCADA [11].

Πρόγονος των συστημάτων SCADA θεωρούνται τα συστήματα Pilot Wire που χρονολογούνται από το 1940 και νωρίτερα. Τα συστήματα αυτά χρησιμοποιήσουν ένα ζεύγος καλωδίων ή ένα καλώδιο πολλαπλών ζευγών μεταξύ των τοποθεσιών. Κάθε ζεύγος καλωδίων διέθετε ένα μοναδικό κομμάτι εξοπλισμού. Τα συστήματα αυτά ήταν αρκετά δαπανηρά καθώς ο εξοπλισμός χρησιμοποιούταν συχνά επομένως και η αποκατάσταση του συχνότερη. Ουσιαστικά για πρώτη φορά εμφανίζεται η προσπάθεια αξιοποίησης της πολυπλεξίας σε ένα ζεύγος τηλεφωνικών γραμμών με βασικό πρόβλημα όμως το πόσο αξιόπιστη είναι η πολυπλεξία αυτή του συστήματος. Η λύση δόθηκε το 1930 από τηλεφωνική εταιρεία η οποία ανέπτυξε τον μαγνητικό βαθμωτό διακόπτη για την εναλλαγή των τηλεφωνικών κυκλωμάτων. Οι βιομηχανίες χρησιμοποίησαν την τεχνολογία αυτή ως πρόωρη μορφή εποπτικού ελέγχου. Ωστόσο, για να εξασφαλίσουν την ασφάλεια των συστημάτων, ανέπτυξαν ένα πρόγραμμα επιλογής – επιβεβαίωσης - λειτουργίας (select – check – operate). Η λογική του προγράμματος ήταν ότι ο κύριο σταθμός στέλνει ένα μήνυμα επιλογής, το οποίο όταν ληφθεί από τον απομακρυσμένο σταθμό (ή εξοπλισμό), θα τον αναγκάσει να στείλει ένα αντίστοιχο μήνυμα ελέγχου για την επιλεγμένη συσκευή. Εάν αυτό παραληφθεί από τον κύριο σταθμό, αυτό θα το έδειχνε στον αποστολέα ο οποίος στη συνέχεια θα ξεκίνησε ένα μήνυμα λειτουργίας το οποίο, όταν παραληφθεί στον απομακρυσμένο σταθμό (ή εξοπλισμό), θα προκαλούσε τη λειτουργία της συσκευής. Στη συνέχεια μέσω τηλεχειρισμού στέλνεται έπειτα ένα μήνυμα επιβεβαίωσης στον κεντρικό σταθμό για να ολοκληρώσει τη δράση. Αυτό το σχέδιο επιλογής πριν από τη λειτουργία έχει χρησιμοποιηθεί σε συστήματα εποπτείας για πολλά χρόνια και μερικές μορφές του είναι ακόμα σε χρήση σήμερα στη βιομηχανία [12].

Η εταιρεία Westinghouse, σε συνεργασία με την εταιρεία North Electric, ανέπτυξε το σύστημα εποπτικού έλεγχου Visicode βασισμένο στην προσέγγιση μέτρησης παλμών που αποστέλλονταν μέσω ενός καναλιού επικοινωνίας στον απομακρυσμένο εξοπλισμό. Το σύστημα Visicode χρησιμοποιεί δύο ρελέ χρονικής καθυστέρησης



για να δημιουργήσει παλμούς και μια αλυσίδα χρονισμού των ρελέ για να τις μετρήσει. Ακολούθησε το μοτίβο επιλογής –επιβεβαίωσης - λειτουργίας για την ασφάλεια του συστήματος. Αναπτύχθηκαν δύο τύποι του συστήματος Visicode με βασική διαφορά τους το μέγεθος του απομακρυσμένου εξοπλισμού που εφαρμόζοταν. Εφαρμόστηκε ευρέως από το 1950 έως το 1965 σε βιομηχανίες με ηλεκτρικούς σταθμούς και σε εταιρείες με αγωγούς αερίου. Η εταιρεία General Electric ανέπτυξε την ίδια χρονική περίοδο ένα εποπτικό σύστημα ελέγχου ως ανταγωνιστή του Visicode. Λειτουργούσε ομοίως αλλά χρησιμοποίησε έναν τύπο μηνύματος σταθερού μήκους και βασίστηκε σε δύο διαφορετικά μήκη παλμού για την κωδικοποίηση. Το μοτίβο της επιλογής πριν τη λειτουργία εφαρμόστηκε και σε αυτό το εποπτικό σύστημα. Επίσης η εταιρεία Control Corporation δημιούργησε με τη σειρά της το δικό της εποπτικό σύστημα εφαρμόζοντας συνδυασμούς τόνων για την κωδικοποίηση [13].



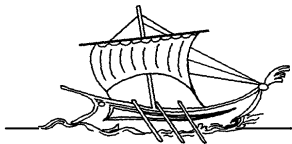
Εικόνα 11 Εποπτικό Σύστημα Ελέγχου Visicode, στην αριστερά απεικονίζεται το σύστημα εγκατεστημένο σε ένα караβοφάναρο και δεξιά σε κατάσταση δοκιμών στη USCG Βάση Sandy Hook, New Jersey

Περί το 1960 ο οίκος Westinghouse ανέπτυξε το σύστημα εποπτείας των συσκευών στερεών καταστάσεων (solid state) και το ονομάστηκε REDAC. Χρησιμοποίησε μια σταθερή μορφή μήκους λέξης με χαρακτήρα ελέγχου αθροίσματος για κάθε μήνυμα. Όπως και στα προηγούμενα συστήματα εποπτικού ελέγχου, υιοθετήθηκε και σε αυτό το επιλογής –επιβεβαίωσης- λειτουργίας για την ασφάλεια του συστήματος. Στα πλαίσια του ανταγωνισμού με τη σειρά της η General Electric ανέπτυξε ένα παρόμοιο σύστημα εκείνη την εποχή που ονομάστηκε GETAC, ενώ της Control

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΑΥΤΟΜΑΤΙΣΜΟΥ

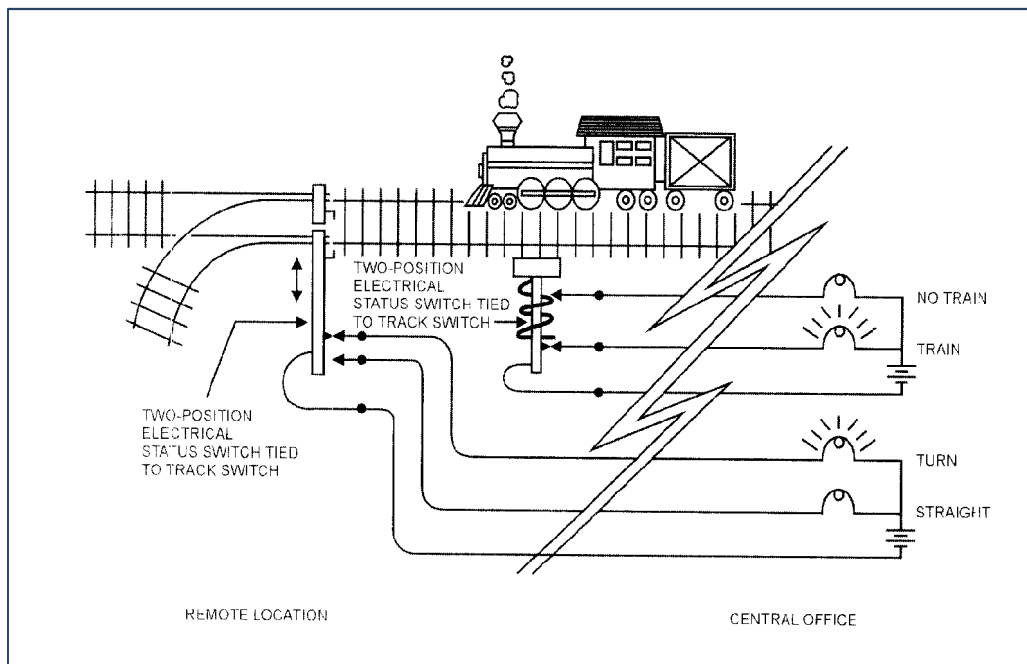
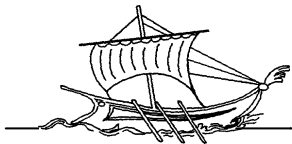
Π.ΡΑΛΛΗ & ΘΗΒΩΝ 250, 122 44, ΑΙΓΑΛΕΩ, ΑΘΗΝΑ, ΕΛΛΑΔΑ

ΤΗΛ.: +30-210-5381311, MSCAUTO1@TEIPIR.GR



Corporation ονομάστηκε Supertrol. Ουσιαστικά ήταν βελτιωμένες εκδόσεις των προηγούμενων εποπτικών συστημάτων τους [12].

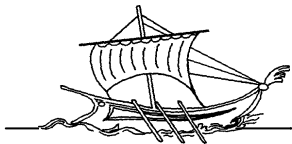
Την ίδια περίοδο γύρω το 1960, αρχίζει να κάνει την εμφανισή της η τηλεμετρία στις βιομηχανικές διαδικασίες και όχι μόνο όπως στην μηχανική αεροσκαφών. Η ανάγκη για συλλογή δεδομένων από απομακρυσμένα σημεία γίνεται όλο και πιο απαιτητική. Για παράδειγμα στην επιστήμη της μετεωρολογίας όπου η ανάγκη για συλλογή μεγάλου όγκου δεδομένων για τη σωστή πρόβλεψη των καιρικών φαινομένων σε απομακρυσμένα ή δυσβατά σημεία ήταν σχεδόν απογορευμένη η χρήση της τηλεμετρίας μέσω ενός εποπτικού συστήματος ήταν απαραίτητη. Δηλαδή τα ολοένα και αυξανόμενα συνεπώς και πιο περίπλοκα συστήματα, απαιτούσαν τη λήψη τιμών ισχύος όπως volts, amp, watt αλλά ακόμα και πίεσης, υγρασίας και άλλων μετρήσιμων μεγεθών. Η λύση αυτή στην επικοινωνία δόθηκε μέσω της τηλεμετρίας. Εφαρμόστηκε μέθοδος βασισμένη σε ένα επιτυχημένο σύστημα που χρησιμοποιούσε ο σιδηρόδρομος εκείνη την εποχή [11]. Τα σιδηροδρομικά συστήματα χρησιμοποιούσαν καλώδια για την επικοινωνία για να παρακολουθούν τις θέσεις των συρμών στο αμαξοστάσιο και των ψαλιδιών (αλλαγές) στο δικτύο τους. Συγκεκριμένα το σύστημα αυτό για να λειτουργήσει απαιτούσε ηλεκτρικούς διακόπτες θέσεως, καλώδια για την συνδεσή τους και φωτεινή σηματοδότηση για να απεικονίζεται η θέση των συρμών ή των αλλών. Σχηματικά φαίνεται στην ακολουθη εικόνα 12 [11].



Εικόνα 12 Γραφική απεικόνιση του συστήματος τηλεμετρίας που εφάρμοζε ο τομέας του σιδηροδρόμου για τις θέσεις των συρμών και αλλαγών

Το κεντρικό γραφείο παρακολουθούσε με αυτό το σύστημα τηλεμετρίας τις θέσεις των συρμών στο αμαξοστάσιο και των ψαλιδιών στο δίκτυο σε μεγάλες και απομακρυσμένες αποστάσεις καθιστώντας ικανούς τους διακόπτες να ελέγχουν ικανοποιητικά και με ασφάλεια τα τρένα. Σε περίπτωση που απαιτούνταν χειροκίνητος χειρισμός τότε με στέλνονταν οδηγίες στους χειριστές μέσω τηλεγράφου για τις αλλαγή θέσης στο ψαλίδι. Αν και αυτή η μέθοδος αποτελεί ένα πρώιμο στάδιο της τηλεμετρίας και παρά τις οποιασδήποτε τεχνικές δυσκολίες που παρουσιάζει, χρησιμοποιείται ακόμα από κάποια σιδηροδρομικά συστήματα.

Ένα άλλο πρόβλημα που καλέστηκε να αντιμετωπίσει η τηλεμετρία ήταν η μετατροπή των μετρούμενων μεγεθών. Η πρώτη προσέγγιση έγινε με ένα ζεύγος καλωδίων όπου το ρεύμα που διέρχεται είναι ανάλογο με την ανάγνωση. Αυτό αρχικά απαιτούσε μετατροπέα για τη μετατροπή της τιμής του συστήματος ισχύος σε τάση DC ή ρεύμα αναλογικό προς την ποσότητα του συστήματος ισχύος. Οι πρώτοι μορφοτροπείς τάσης ή ρεύματος ήταν σχετικά απλοί, δεδομένου ότι η τιμή εναλλασσόμενου ρεύματος (AC) από τους μετασχηματιστές μέτρησης μπορούσε να



διορθωθεί για να δημιουργήσει μια τιμή συνεχούς ρεύματος (DC). Οι μετρήσεις Watt και Var ήταν πιο περίπλοκες και οι πρώτοι επιτυχημένοι θεωρήθηκαν οι θερμοηλεκτρικοί μετατροπείς. Αργότερα, εφευρέθηκε ένας διαφορετικός τύπος μετατροπέα ο οποίος χρησιμοποίησε το φαινόμενο Hall για να δημιουργήσει την αναλογική τάση. Μειονεκτημά τους ήταν ότι δεν μπορούσαν να εφαρμοστούν απευθείας σε κανάλι επικοινωνίας αποτελούμενο από ένα ζεύγος συρμάτων.

Οι μεταβολές στην αντίσταση σε μεγάλο καναλιού επικοινωνίας, σε συνδυασμό με την θερμοκρασία, απέτρεψαν μια σταθερή ακριβή ανάγνωση. Για να επιτευχθεί αυτό απαιτήθηκε ένας πομπός τηλεμετρίας ο οποίος θα μετατρέπει την τάση του μετατροπέα σε μια πηγή σταθερού ρεύματος που θα ήταν σχεδόν ανεξάρτητη από τις μεταβολές της αντίστασης. Αρχικά εφαρμόστηκε με σωλήνες κενού και αργότερα με τρανζίστορ [13].

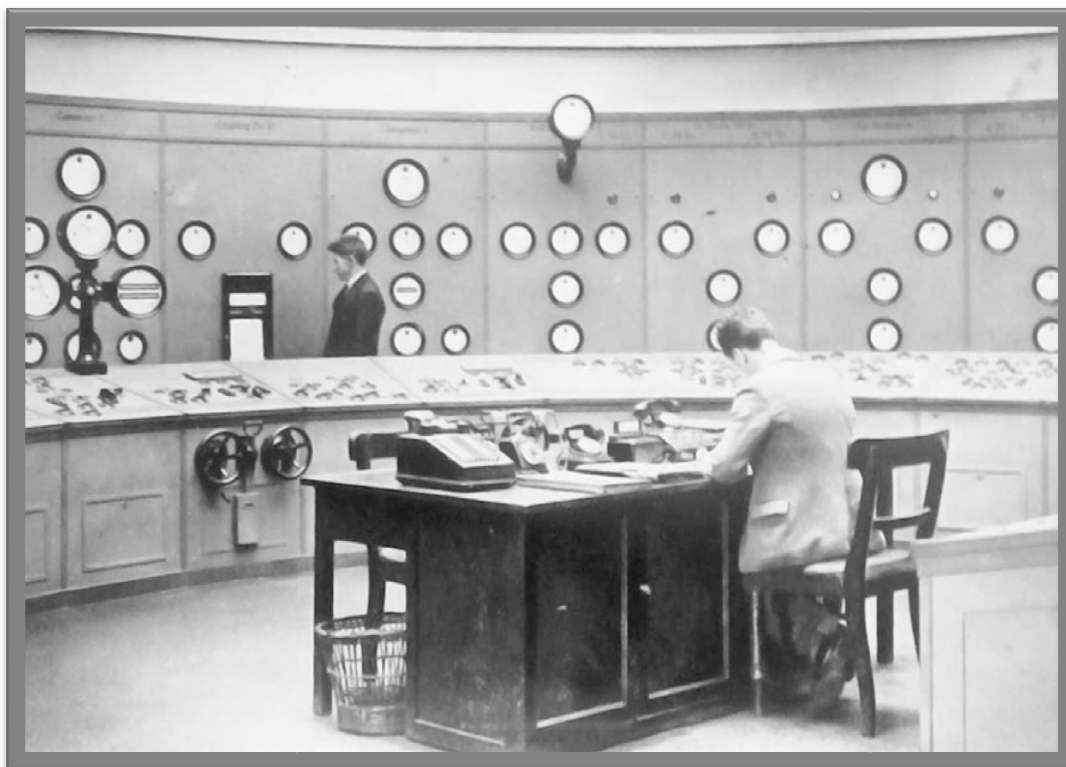
Προκειμένου να μεταδοθεί η τηλεμετρία σε άλλους τύπους καναλιών επικοινωνίας όπως στη μεταφορά και διανομή ηλεκτρικής ενέργειας μέσω των ηλεκτροφόρων αγωγών και να βελτιωθεί η ακρίβεια, σχεδιάστηκαν τηλεμετρικά συστήματα με χρήση μεθόδων παλμού και μεταβλητής συχνότητας. Αναλυτικότερα αναπτυσσόταν ένας ρυθμός παλμού που κυμαίνεται μεταξύ του ελάχιστου ρυθμού και του μέγιστου ρυθμού με τρόπο ανάλογο με την τηλεμετρημένη τιμή. Ομοίως λειτουργούσαν και τα συστήματα μεταβλητής συχνότητας καθώς η τηλεμετρημένη τιμή ήταν ανάλογη με την περιοχή μεταξύ της ελάχιστης και της μέγιστης συχνότητας. Ο οίκος Westinghouse στις αρχές του 1960 ήταν από τους πρώτους στην ανάπτυξη του συστήματός τηλεμετρίας, το οποίο ονομαζόταν Teledac. Ανταγωνιστής στα συστήματα τηλεμετρίας της Westinghouse ήταν το σύστημα της εταιρείας Bristol, σχεδιασμένο με έναν μηχανικό παλμό μεταβλητού μήκους που δημιουργόταν από έναν περιστρεφόμενο οδοντωτό δίσκο [12].

Δεδομένου ότι συνήθως είναι απαραίτητο μόνο να διαβάζονται αυτές οι τιμές περιοδικά και να μειώνεται ο αριθμός των απαραίτητων διαύλων επικοινωνίας, έγινε



αναγκαία η πολυπλεξία πολλαπλών αναγνώσεων σε ένα μόνο κανάλι επικοινωνίας. Έτσι, εφαρμόστηκε η χρήση της επιλεκτικής τηλεμετρίας για τον έλεγχο εποπτείας.

Τα συστήματα εποπτείας τύπου solid state σε συνδυασμό με ειδικά κανάλια τεχνολογίας επέτρεψαν τη συνεχή σάρωση τιμών. Οι αυτόματοι καταγραφείς δεδομένων με την σειρά τους διευκόλυναν τον χειριστή από την κουραστική εργασία της καταγραφής όλων των μετρήσεων κάθε ώρα. Η αλματώδης ανάπτυξη στο τομέα των υπολογιστών (τεχνολογίας 8bit σε 16bit) και τον μικροεπεξεργαστών στα τέλη του 1965 με αρχές του 1970 και η ενσωματώσή τους στη βιομηχανία σε συνδυασμό με την προσαρμοστικότητα στον προγραμματισμό και την επικοινωνία μεταξύ των υπάρχοντων συστημάτων εποπτείας οδήγησε στη γέννηση των συστημάτων SCADA [13].



Εικόνα 13 Χειριστής συστήματος SCADA το 1970

Ο όρος SCADA για Συστήματα Εποπτικού Ελέγχου και Συλλογής Δεδομένων άρχισε να χρησιμοποιείται μετά τη χρήση ενός κεντρικού σταθμού βασισμένου σε υπολογιστή. Μέχρι το 1965 υπήρχαν υπολογιστές που ήταν σε θέση να λειτουργούν

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΑΥΤΟΜΑΤΙΣΜΟΥ

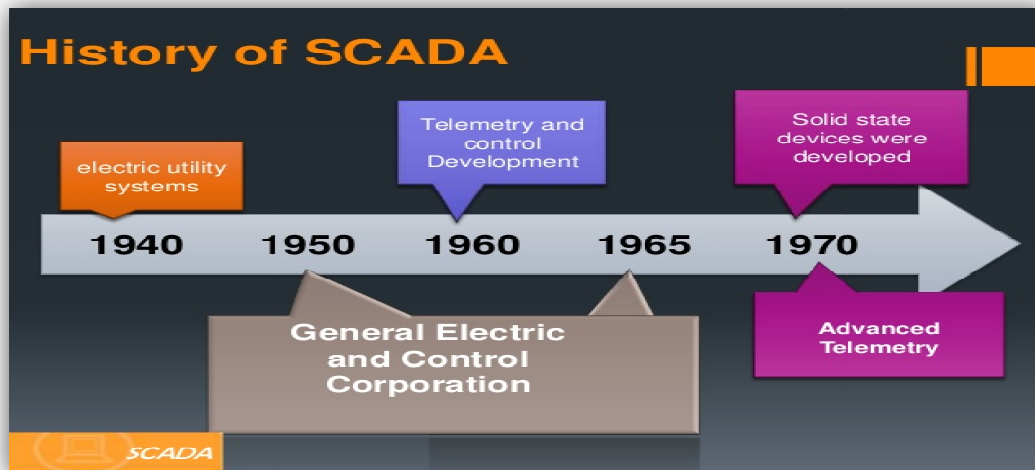
Π.ΡΑΛΛΗ & ΘΗΒΩΝ 250, 122 44, ΑΙΓΑΛΕΩ, ΑΘΗΝΑ, ΕΛΛΑΔΑ

ΤΗΛ.: +30-210-5381311, MSCAUTO1@TEIPIR.GR



σε πραγματικό χρόνο (real time). Οι εταιρείες Westinghouse και General Electric κατασκεύασαν επεξεργαστές για τους υπολογιστές που ονομάζονταν PRODAC και GETAC αντίστοιχα. Η λογική που απαιτείται από ένα σύστημα εποπτείας για να παρέχει όλες τις απαραίτητες λειτουργίες ενός συστήματος SCADA ήταν τόσο πολύπλοκη, ώστε το πλεονέκτημα της χρήσης ενός υπολογιστή έγινε εμφανές. Οι λειτουργίες περιλάμβαναν τη σάρωση και την παρακολούθηση των δεδομένων την πραγματική κατάσταση και την ειδοποίηση μέσω συναργισμού της αλλαγής κάποιας κατάστασης, την οπτική εμφάνιση των δεδομένων, στις ψηφιακές απεικονίσεις αρχικά και αργότερα, σε οθόνες CRT και την περιοδική καταγραφή δεδομένων [12].

Τα περισσότερα συστήματα SCADA εκείνης της εποχής σχεδιάστηκαν σε συνεχή βάση σάρωσης με τον κύριο σταθμό να στέλνει αιτήματα για δεδομένα και ο απομακρυσμένος εξοπλισμός να ανταποκρίνεται μόνο. Ορισμένα συστήματα, κυρίως στην Ευρώπη, έστελναν τα δεδομένα από τους απομακρυσμένους σταθμούς χωρίς όμως να έχει ζητηθεί από τον κύριο. Αυτό ήταν εφικτό αν το κανάλι επικοινωνίας ήταν πλήρως αμφίδρομο.



Εικόνα 14 Γραφική απεικόνιση της εξέλιξης των συστημάτων SCADA στο πέρασμα των χρόνων



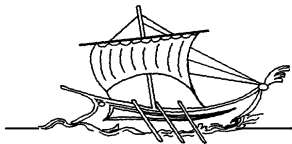
3 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΕΠΟΠΤΙΚΟΥ ΕΛΕΓΧΟΥ ΚΑΙ ΣΥΛΛΟΓΗΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ (SCADA)

Όπως αναφέρθηκε και στο προηγούμενο κεφάλαιο η ανάγκη άμεσου και αδιάλειπτου ελέγχου για την άρτια λειτουργία και αξιοπιστία του συστήματων βιομηχανίας, οδήγησε στη δημιουργία συστημάτων εποπτικού ελέγχου. Το σύστημα SCADA συλλέγει δεδομένα και οπτικοποιεί τη λειτουργία του συστήματος εφαρμογής αξιοποιώντας τον εποπτικό έλεγχο. Η λέξη SCADA είναι ακρώνυμο των λέξεων Supervisory Control And Data Acquisition System, δηλαδή σύστημα εποπτείας, ελέγχου και συλλογής δεδομένων. Εναλλακτικά, μπορεί να οριστεί ως σύστημα SCADA, το σύνολο των συσκευών που παρέχει σε έναν ή περισσότερους χειριστές οι οποίοι βρίσκονται σε έναν κεντρικό σταθμό απομακρυσμένο ή όχι από το ελεγχόμενο σύστημα θέσεις, δεδομένα και πληροφορίες για την κατάσταση του συστήματος (μίας ή πολλών συσκευών ή ακόμα και μιας ολόκληρης διαδικασίας), ενώ παρέχει συγχρόνως την δυνατότητα αποστολής εντολών για ενέργειες που σχετίζονται με αυτό χωρίς να απαιτείται η φυσική τους παρουσία [14].

3.1 ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ SCADA

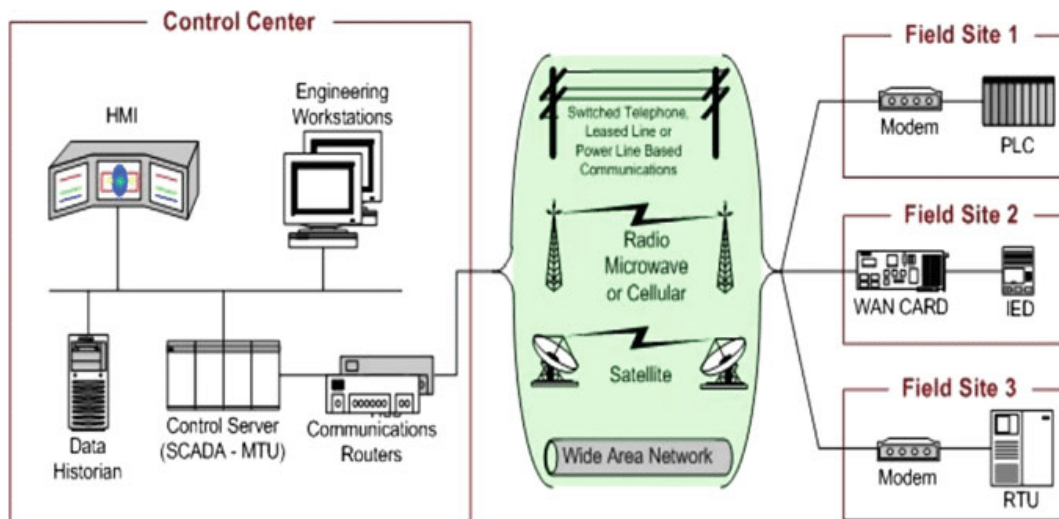
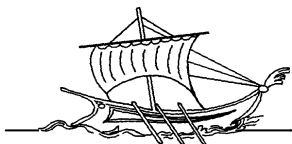
Η αρχιτεκτονική ενός συστήματος SCADA δεν αποτελείται μόνο από το λογισμικό εποπτείας και ελέγχου αλλά και από επιπλέον υποσυστήματα όπως τους αισθητήρες και το σύστημα τηλεμετρίας που χρησιμοποιεί. Η διάκριση των υποσυστημάτων επιγραμματικά φαίνεται ως παρακάτω, η ανάλυση των οποίων γίνεται στην συνέχεια [15].

- Κεντρικός Υπολογιστικός Σταθμός (Master Terminal Unit – MTU), είναι ο κεντρικός υπολογιστής στον οποίο βρίσκεται εγκατεστημένο το λογισμικό SCADA
- Απομακρυσμένες μονάδες Τηλεμετρίας (Remote Telemetry Unit - RTU's)



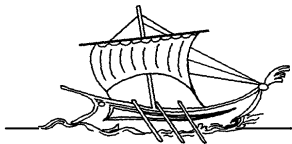
- Προγραμματιζόμενους λογικούς ελεγκτές (Programmable Logic Controller - PLC's)
- Δίκτυο ευφυών συσκευών (Intelligent Electronic Devices - IED's)
- Το σύστημα επικοινωνίας Ανθρώπου-Μηχανής (Human Machine Interface)
- Δίκτυο Επικοινωνίας (Communication Network), το σύστημα τηλεπικοινωνιών-τηλεμετρίας του Κεντρικού Σταθμού Ελέγχου με τις τοπικές τερματικές μονάδες (RTU's & PLC's)

Στην εικόνα που ακολουθεί φαίνεται σχηματικά η αναπαράσταση των υποσυστημάτων ενός συστήματος SCADA. Από το σχήμα φαίνεται ότι ο κεντρικός σταθμός MTU μέσω του συστήματος τηλεπικοινωνιών που ανάλογα μπορεί να είναι ενσύρματο (π.χ. Ethernet, profibus) ή ασύρματο (ραδιοκύματα, δορυφορική σύνδεση) επικοινωνεί με τις τοπικές μονάδες (PLC, IED & RTU), υιοθετώντας τη σχέση master-slave. Οι πληροφορίες μεταφέρονται από τις τοπικές μονάδες στην MTU, όπου αφού επεξεργαστούν κατάλληλα καταγράφονται και προβάλλονται σε υπολογιστές με HMI (Human-Machine Interface) λογισμικό όπου πραγματοποιείται ο μη αυτόματος έλεγχος και η εποπτεία των διεργασιών από τον χειριστή. Ο χειριστής, μέσω της οθόνης του υπολογιστή με HMI λογισμικό εποπτεύει τα δεδομένα και τις πληροφορίες με πραγματικό χρόνο (real time) και μέσω συσκευών εισόδου, συνήθως πληκτρολόγιο, ποντίκι ή οθονών αφής εισάγει τις εντολές και του χειρισμούς του στο σύστημα. Συνηθίζεται στους υπολογιστές HMI να συνδέεται και ο εκτυπωτής ως συσκευή εξόδου για καταγραφή των δεδομένων και των πληροφοριών του συστήματος SCADA, καθώς και ηχητικός συναγερμός (alarm) όπου ενημερώνει τον χειριστή για μεταβολή που απαιτεί την προσοχή του. Τα αυτόματα σήματα ελέγχου που παράγονται στην MTU αποστέλλονται πίσω στις τοπικές μονάδες, οι οποίες με τη σειρά τους ενεργοποιούν τις διατάξεις μετατροπής και τους ελεγκτές των μηχανών [11].



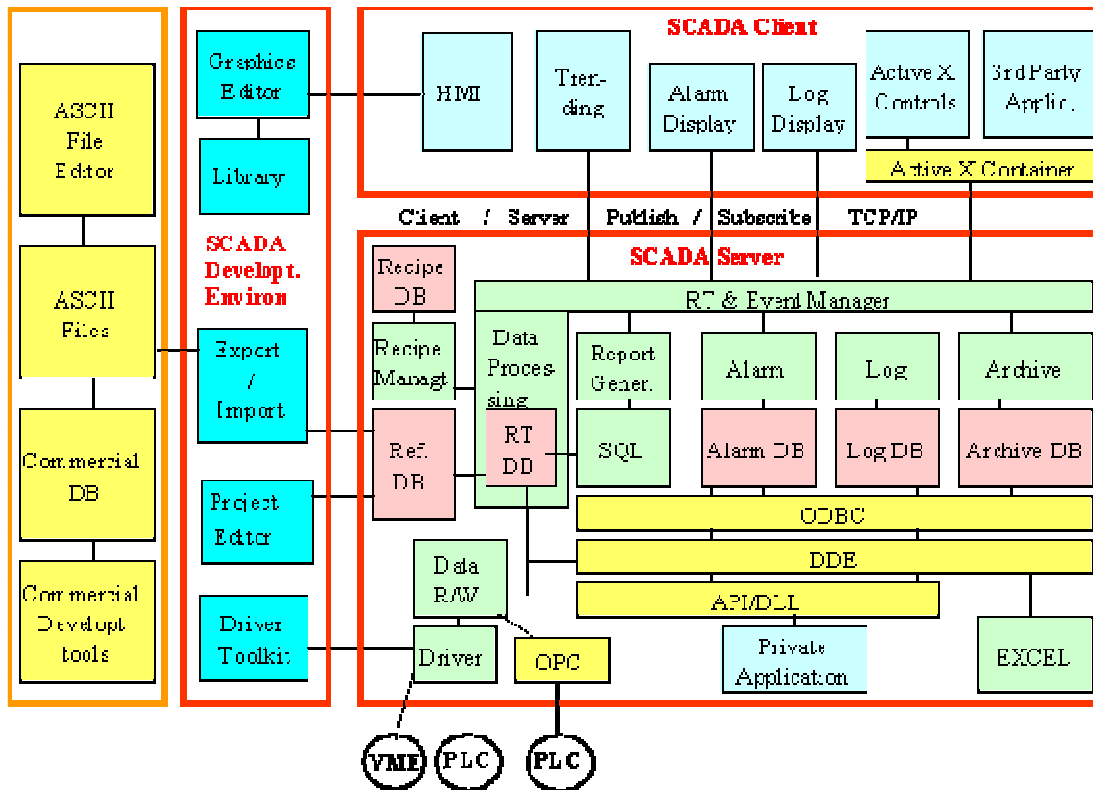
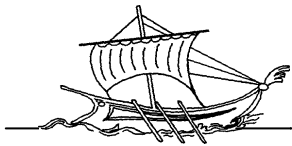
Εικόνα 15 Σχηματική Αναπαράσταση τοπικού συστήματος SCADA

Η αλληλεπίδραση των προγραμμάτων που εφαρμόζονται για τη διαμόρφωση ενός συστήματος SCADA απεικονίζεται σχηματικά στην επόμενη εικόνα. Η δημιουργία ενός project SCADA αρχικά γίνεται με ένα πρόγραμμα Configuration, το οποίο παρέχει τους editors και την αντίστοιχη βιβλιοθήκη για τις διάφορες λειτουργίες και αποθηκεύει όλες τις πληροφορίες στην Configuration Database (DB). Με το Graphics Editor & System δημιουργείται η απεικόνιση των σχεδίων στην οθόνη καθώς και η εισαγωγή των πληροφοριών από τους χειριστές, όπως το πάτημα ενός κουμπιού. Η επικοινωνία του SCADA και των τοπικών μονάδων πραγματοποιείται όπως προαναφέρθηκε με το σύστημα τηλεπικοινωνιών (communication drivers). Οι communication drivers έχουν ως στόχο να διαβάζουν και να γράφουν τις τιμές στις περιοχές μνήμης των τοπικών τερματικών μονάδων. Η ανταλλαγή δεδομένων μεταξύ ενός SCADA και άλλων λογισμικών μπορεί να γίνει με OPC, OLE ή ODBC. Οι τιμές της διαδικασίας ελέγχονται από το σύστημα Συναγερμών (Alarm Logging), στο οποίο έχουν δηλωθεί τα μηνύματα σφαλμάτων που θα εμφανίζονται. Τα μηνύματα σφαλμάτων κατηγοριοποιούνται σε δύο είδη: του συστήματος (π.χ. απώλεια επικοινωνίας) και της εγκατάστασης (π.χ. συναγερμοί αλλαγής κατάστασης). Εάν μια οριακή τιμή υπερβαίνεται, το Alarm Logging παράγει ένα μήνυμα που θα εκδοθεί στο Alarm Control και συνοδεύεται από την ημερομηνία και ώρα εμφάνισής τους, το τμήμα της εγκατάστασης που αφορά και την κατάσταση που βρίσκεται. Το μήνυμα αυτό που εμφανίζεται στο Alarm Control, με τη σειρά του



αποθηκεύεται στο σύστημα μηνυμάτων (Archive DB) καθώς επίσης αποθηκεύονται και οι ανάλογες ενέργειες που ακολουθεί ο χειριστής, όπως τότε αναγνωρίστηκε από τον χειριστή και τότε σταμάτησε να υφίσταται. Το Alarm Logging σώζει όλα τα μηνύματα στο Alarm DB. Η διαδικασία μπορεί να τεκμηριωθεί και από το σύστημα αναφοράς (Report Generator) που συνδέεται με την αντίστοιχη βάση δεδομένων SQL κατόπιν αιτήσεως ή σε προκαθορισμένους χρόνους. Στα δικτυακά περιβάλλοντα ενός SCADA Server, τα δεδομένα πραγματικού χρόνου (Real Time, RT) αποθηκεύονται στη βάση δεδομένων πραγματικού χρόνου (RTDB). Τα δεδομένα αυτά είναι δυνατόν να εμφανιστούν στην οθόνη των υπολογιστών από έναν ή περισσότερους clients ταυτόχρονα που συνδέονται με τον ίδιο υπολογιστή που φιλοξενεί τον SCADA Server. Όλα τα μηνύματα τα οποία δημιουργούνται είτε από τον χειριστή (χειρισμοί) είτε από το σύστημα (συναγερμοί) καταγράφονται σειριακά στις αντίστοιχες βάσεις δεδομένων του συστήματος. Δημιουργείται επομένως αν μπορεί να χαρακτηριστεί, «ιστορικό» του συστήματος δίνοντας τη δυνατότητα στο χειριστή να ανατρέξει οποιαδήποτε χρονική στιγμή και να εμφανίσει για οποιαδήποτε ημερομηνία και ώρα βλάβες, αστοχίες ή λειτουργίες της συνολικής εγκατάστασης.

Το σύστημα SCADA σε επίπεδο λογισμικού περιλαμβάνει πληθώρα έτοιμων και προσκολλημένων λειτουργιών, κάνοντας έτσι εύχρηστο προς τον χρήστη να το επεκτείνει ή να το τροποποιήσει χωρίς να απαιτείται η διακοπή στη συλλογή και καταγραφή των δεδομένων, καθώς επίσης με αυτόν τον τρόπο εξαλείφεται ο κίνδυνος απώλειας στην αποθήκευση δεδομένων κατά τη διάρκεια της τροποποίησης. Η ασφάλεια του συστήματος SCADA προσφέρεται σε πολλά διαφορετικά επίπεδα πρόσβασης έτσι ώστε να κλειδώνεται έναντι μη εξουσιοδοτημένης πρόσβασης. Το ποσοστό πρόσβασης του κάθε χρήστη καθορίζεται μέσω κατάλληλου λογισμικού από τον Administrator του συστήματος.

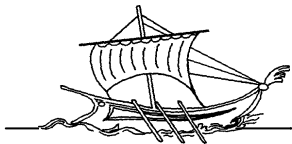


Εικόνα 16 Διάγραμμα αλληλεπίδρασης λογισμικών συστημάτων και βάσεων δεδομένων σε ένα τυπικό σύστημα SCADA

3.1.1 Κεντρικός Υπολογιστικός Σταθμός (Master Terminal Unit – MTU)

Πρόκειται για τον «πυρήνα» του συστήματος SCADA, αφού περιλαμβάνει τον κεντρικό υπολογιστή στον οποίο βρίσκεται εγκατεστημένο το λογισμικό SCADA. Είναι υπολογιστής μεγάλης ισχύος, ο οποίος λαμβάνει τα δεδομένα που αποστέλλονται από τις τοπικές μονάδες ελέγχου, τα επεξεργάζεται και αποστέλλει τα ανάλογα αποτελέσματα για την ορθή διαχείριση του συστήματος. Επίσης μέσω του χειριστή εκτός από τον έλεγχο των απομακρυσμένων σταθμών, μέσω του MTU γίνονται και οι χειρισμοί όπου απαιτηθούν. Συνηθίζεται να ονομάζεται SCADA Server, αφού η φιλοσοφία που ακολουθεί ένα σύστημα SCADA είναι της μορφής master-slave. Ο κεντρικός σταθμός, εκτός από τον κεντρικό υπολογιστή αποτελείται και από άλλες υπομονάδες [15]:

- Συσκευή ή οι συσκευές modem που αναλαμβάνουν τη διασύνδεση με το τηλεπικοινωνιακό δίκτυο



- Ένας ή περισσότεροι ηλεκτρονικού υπολογιστές, που επιτρέπουν στους χειριστές του αυτοματοποιημένου συστήματος να το παρακολουθούν και να το χειρίζονται. Το λογισμικό που χρησιμοποιείται για το σκοπό αυτό ονομάζεται «διασύνδεση του ανθρώπου με τις μηχανές» (Human Machine Interface - HMI).

Πλέον, λόγω της ανάπτυξης των υπολογιστών και των τηλεπικοινωνιών οι διάφορες συσκευές modem είναι συνδεδεμένες κατευθείαν σε ηλεκτρονικό υπολογιστή και η διαχείριση των συνδέσεων να γίνεται με το ανάλογο λογισμικό.

Οι τυπικές λειτουργίες ενός MTU είναι:

- η δημιουργία των επικοινωνιών (π.χ. αρχικοποίηση παραμέτρων εισόδου/εξόδου για τις τοπικές μονάδες ελέγχου),
- λειτουργία του συνδέσμου επικοινωνιών (π.χ. σύνδεση εισόδων/εξόδων σε διαφορετικές τοπικές μονάδες ελέγχου αυτόματα) και
- διάγνωση (π.χ. ακριβείς πληροφορίες σχετικά με την αποτυχία μιας τοπικής τερματικής μονάδας και πιθανά προβλήματα)

Το λογισμικό που χρησιμοποιεί ο MTU διαμορφώνεται πάνω στις ανάγκες του χρήστη από τον εκάστοτε προμηθευτή. Γενικά, αποτελείται από τέσσερις βασικές ενότητες:

- Απόκτηση δεδομένων
- Έλεγχος
- Αρχαιοθέτηση ή αποθήκευση βάσεων δεδομένων
- Η διεπαφή ανθρώπου-μηχανής (HMI)

Υπάρχει επίσης το απαραίτητο υλικολογισμικό (firmware) όπως το BIOS το οποίο λειτουργεί ως σύνδεσμος μεταξύ του λειτουργικού συστήματος και του υλικού (hardware) του υπολογιστή. Ως καλά παραδείγματα για το λογισμικό του λειτουργικού συστήματος είναι τα DOS, τα Windows 2000 Server, τα Windows NT Server και τα διάφορα συστήματα UNIX.



Ανάλογα με τις απαιτήσεις που καλείται να καλύψει ένα σύστημα SCADA, ο σχεδιαστής του συστήματος μπορεί να χρειαστεί να δημιουργήσει έναν υποκεντρικό σταθμό (submaster station) [15]. Αυτό γίνεται για να επιτευχτεί η εποπτεία και ο έλεγχος σε συγκεκριμένη τοποθεσία. Ένας submaster station έχει τις εξής λειτουργίες:

- Απόκτηση δεδομένων από τα RTU εντός της συγκεκριμένης αυτής περιοχής
- Καταγραφή και εμφάνιση των δεδομένων σε έναν τοπικό σταθμό
- Μεταφορά των δεδομένων πίσω στον κύριο σταθμό
- Μετάβαση των αιτήσεων και χειρισμού ελέγχου από τον κύριο σταθμό MTU στις RTU της συγκεκριμένης αυτής περιοχής

3.1.2 Απομακρυσμένες Μονάδες Τηλεμετρίας (Remote Telemetry Unit - RTU's)

Μια απομακρυσμένη μονάδα τηλεμετρίας (RTU) ,είναι μία ανεξάρτητη μονάδα λήψης δεδομένων και ελέγχου, με βάση έναν μικροεπεξεργαστή (16 ή 32 bit και μνήμης 256KB επεκτάσιμη συνήθως ως 4MB) η οποία παρακολουθεί και ελέγχει τον εξοπλισμό σε κάποια απομακρυσμένη θέση από τον κεντρικό σταθμό. Το κύριο καθήκον της RTU είναι ο έλεγχος και η απόκτηση δεδομένων από εξοπλισμό επεξεργασίας στην απομακρυσμένη θέση και στη συνέχεια μεταφορά αυτών των δεδομένων πίσω σε κεντρικό σταθμό σε τακτά χρονικά διαστήματα. Γενικά έχει τη δυνατότητα να έχει το δικά του τα προγράμματα ρύθμισης παραμέτρων και τα ελέγχου που μεταφορτώνονται δυναμικά από κάποιον κεντρικό σταθμό, καθώς επίσης και ρύθμισης τοπικά[15]. Παραδοσιακά η RTU επικοινωνεί πίσω σε κάποιο κεντρικό σταθμό, παρότι όμως υπάρχει η δυνατότητα επικοινωνίας σε βάση ομότιμων με άλλες RTU. Η RTU μπορεί επίσης να ενεργήσει ως σταθμός αναμετάδοσης (μερικές φορές αναφέρεται ως σταθμός αποθήκευσης και προώθησης) σε άλλο RTU, οι οποίες ενδέχεται να μην είναι προσβάσιμες από τον κεντρικό σταθμό.



Τα τυπικά δομοστοιχεία υλικού ενός RTU περιλαμβάνουν:

- Επεξεργαστής ελέγχου και σχετική μνήμη
- Αναλογικές εισοδοί /έξοδοι
- Ψηφιακές εισοδοί /έξοδοι
- Μετρητές εισόδου
- Διεπαφή επικοινωνίας (Communication Ports & Modems), ώστε να εξασφαλίζεται ανταλλαγή δεδομένων με PLC ή με ηλεκτρονικούς υπολογιστές
- Ρολόι πραγματικού χρόνου (Real Time Clock - RTC), χρησιμοποιείται κυρίως για την καταγραφή του χρόνου που λαμβάνεται κάθε μέτρηση (time stamping).
- Τροφοδοσία (Power Supply Unit), φροντίζει για την τροφοδοσία των κυκλωμάτων με κατάλληλη ηλεκτρική τάση. Συνήθως έχει τη δυνατότητα να παρέχει τάση ακόμη και όταν διακοπεί η τάση δικτύου, ώστε να εξακολουθήσει η λειτουργία της συσκευής .

3.1.3 Προγραμματιζόμενοι λογικοί ελεγκτές (Programmable Logic Controller - PLC's)

Ένας προγραμματιζόμενος λογικός ελεγκτής (PLC) είναι μία ψηφιακή ηλεκτρονική συσκευή η οποία χρησιμοποιεί μια προγραμματιζόμενη μνήμη για την αποθήκευση οδηγιών και ειδικές λειτουργίες όπως είναι η λογική, η ακολουθία, ο χρόνος, η αρίθμηση κ.λ.π για να ελέγξει τις μηχανές και την διαδικασία. Βασικό στοιχείο ενός PLC είναι ο μικροεπεξεργαστής, ο οποίος έχει μορφή ολοκληρωμένου κυκλώματος και συνδυάζει τα πλεονεκτήματα του μικρού μεγέθους, του εύκολου προγραμματισμού, της υψηλής αξιοπιστίας και του χαμηλού κόστους. Ο μικροεπεξεργαστής μπορεί με τον κατάλληλο κάθε φορά προγραμματισμό να συμπεριφέρεται διαφορετικά και να εκτελεί μια ποικιλία λειτουργιών σύμφωνα με τις απαιτήσεις του προβλήματος που καλείται να αντιμετωπίσει. Αρχικά,



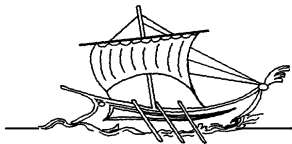
σχεδιάστηκε για να εκτελέσει τη λογική από τις λειτουργίες που εκτελούνται από ρελέ, μηχανικούς χρονοδιακόπτες και μετρητές. Ο αναλογικός έλεγχος αποτελεί πλέον ένα τυποποιημένο μέρος της λειτουργίας PLC. Ο προγραμματισμός ενός PLC δεν γίνεται με μία από τις συνηθισμένες γλώσσες προγραμματισμού όπως για παράδειγμα τη BASIC, αλλά με συμβολικές γλώσσες ή διαγράμματα, τα οποία έχουν καθορισθεί και τυποποιηθεί από το πρότυπο IEC1131-3. Κάθε PLC έχει μία συγκεκριμένη γλώσσα μηχανής, σύμφωνα με την αρχιτεκτονική του υλικού(hardware),αποτελείται από σειρά εντολών, οι οποίες λύνουν έναν συγκεκριμένο αλγόριθμο που αντιστοιχεί σε μια λειτουργία ενός συστήματος αυτοματισμού. Η διαδικασία που ακολουθείται για τη σύνταξη των εντολών, αποτελεί και το πρόγραμμα. Οι γλώσσες προγραμματισμού μπορούν να ταξινομηθούν σε γραφικές και μη γραφικές ανάλογα με το είδος των στοιχείων που χρησιμοποιούν. Οι πιο δημοφιλείς γλώσσες προγραμματισμού είναι:

- Διάγραμμα Επαφών (Ladder Diagram-LAD), χρησιμοποιεί τα αμερικάνικα σύμβολα επαφών
- Λογικό Διάγραμμα (Control System Flowchart-C.S.F ή Function Chart-FUC),χρησιμοποιεί τα σύμβολα λογικών πυλών(AND, OR, NOT κ.λ.π) της άλγεβρας Bool
- Λίστα Εντολών (Statement List- STL), παρόμοια με τη γλώσσα προγραμματισμού BASIC

Το πλεονέκτημα ενός PLC από ενός RTU είναι ότι είναι αυτό μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε ένα ρόλο γενικού σκοπού και μπορεί εύκολα να χρησιμοποιηθεί για μια ποικιλία διαφορετικών λειτουργιών.

Η κατασκευή ενός PLC πρακτικά ποικίλει ευρέως χωρίς όμως απαραίτητα να αποκλίνει αρκετά από τα γενικά χαρακτηριστικά ενός RTU. Τα PLC είναι δημοφιλή για τους ακόλουθους λόγους [15]:

- Οικονομική λύση, αφού το κόστος κατασκευής ενός PLC είναι πιο χαμηλό από ενός RTU



- Ευελιξία και ευελιξία, τα PLC μπορούν εύκολα να τροποποιήσουν τη λογική ή το υλικό τους για να αντιμετωπίσουν τις τροποποιημένες απαιτήσεις ελέγχου
- Ευκολία σχεδίασης και εγκατάστασης, τα PLC έχουν διευκολύνει το σχεδιασμό και την εγκατάσταση συστημάτων SCADA κυρίως της έμφασης στο λογισμικό
- Πιο αξιόπιστο λόγω ότι όταν εγκαθίστανται σωστά, τα PLC είναι πολύ πιο αξιόπιστη λύση από το παραδοσιακό καλωδιακό ρελέ ή βραχυπρόθεσμα από ένα κατασκευασμένο σε RTU.
- Έξυπνος έλεγχος, τα PLC επιτρέπουν πολύ πιο εξελιγμένο έλεγχο (κυρίως λόγω του λογισμικού) από τις μονάδες RTU.
- Φυσικά συμπαγής, τα PLC καταλαμβάνουν πολύ λιγότερο χώρο από τις μονάδες RTU
- Ευκολότερη αντιμετώπιση προβλημάτων και διάγνωση, αφού το λογισμικό ενός PLC, προσφέρει σαφή αναφορά των προβλημάτων, εύκολη και γρήγορη διάγνωση των προβλημάτων υλικού (hardware) / υλικολογισμικού (firmware) / λογισμικού (software) στο σύστημα καθώς και τον εντοπισμό προβλημάτων με τη διαδικασία και το σύστημα αυτοματισμού.

3.1.4 Δίκτυο ευφυών συσκευών (Intelligent Electronic Devices - IED's)

Ένα δίκτυο ευφυών συσκευών (Intelligent Electronic Devices - IED's) περιλαμβάνει εκτός από τις ευφυείς συσκευές, ενεργοποιητές (actuators) και αισθητήρες (sensors). Ως ευφυή συσκευή μπορεί να χαρακτηριστεί ένας εξελιγμένος αισθητήρας, πάνω στον οποίο έχει ολοκληρωθεί τουλάχιστον ένα αισθητήριο στοιχείο και ένα κύκλωμα επεξεργασίας σήματος. Πρόκειται για μια συσκευή που εφαρμόζει προηγμένη τοπική ευφυΐα ελέγχου λόγω της επιμέρους ή ολοκληρωτικής ενσωμάτωσης της κύριας μονάδας επεξεργασίας και έχει τη δυνατότητα να παρακολουθεί τις διαδικασίες και να επικοινωνεί άμεσα με το σύστημα SCADA. Ως είσοδος σήματος

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΑΥΤΟΜΑΤΙΣΜΟΥ

Π.ΡΑΛΛΗ & ΘΗΒΩΝ 250, 122 44, ΑΙΓΑΛΕΩ, ΑΘΗΝΑ, ΕΛΛΑΔΑ

ΤΗΛ.: +30-210-5381311, MSCAUTO1@TEIPIR.GR

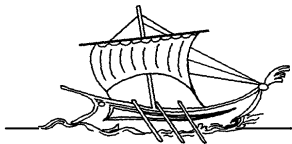


θεωρείται κάθε μεταβολή στην μορφή ή στην ποσότητα του χαρακτηριστικού που έχουμε ορίσει και μας δίνει μία αντίστοιχη έξοδο, πολλές φορές είτε ως ηλεκτρικό είτε ως οπτικό σήμα, μαζί με συγκεκριμένα δεδομένα που αφορούν την μεταβολή. Οι αισθητήρες μετατρέπουν τα φυσικά μεγέθη (π.χ. ταχύτητα, στάθμη υγρού) σε ηλεκτρικά σήματα (δηλαδή, τάση ή ρεύμα) τα οποία μπορούν να διαβαστούν από τον εξοπλισμό του απομακρυσμένου σταθμού. Η έξοδος των αισθητήρων μπορεί να είναι αναλογική (συνεχής κλίμακα τιμών) ή ψηφιακή (διακριτές τιμές). Μερικά βιομηχανικά στάνταρ αναλογικής εξόδου είναι 0 ως 5 volts και 4 ως 20 mA. Οι έξοδοι τάσης χρησιμοποιούνται στην περίπτωση που οι αισθητήρες είναι εγκατεστημένοι κοντά στους ελεγκτές (RTU ή PLC). Έξοδοι ρεύματος χρησιμοποιούνται όταν οι αισθητήρες είναι τοποθετημένοι μακριά από τους ελεγκτές. Ψηφιακές έξοδοι χρησιμοποιούνται για να διακρίνουν τις διάφορες διακριτές καταστάσεις του εξοπλισμού. Συνήθως, το ψηφίο «1» αντιστοιχεί στην κατάσταση 'ON' και το ψηφίο «0» για την κατάσταση 'OFF'.

Οι ενεργοποιητές χρησιμοποιούνται για να ενεργοποιήσουμε ή να απενεργοποιήσουμε διάφορα όργανα.

3.1.5 Σύστημα επικοινωνίας Ανθρώπου-Μηχανής (Human Machine Interface)

Το σύστημα επικοινωνίας Ανθρώπου-Μηχανής (Human Machine Interface-HMI), αναφέρεται στην αλληλεπίδραση μεταξύ του συστήματος SCADA και των χρηστών (δηλαδή των χειριστών του συστήματος) στο επίπεδο της διεπαφής χρήστη (user interface), μέσω κατάλληλου λογισμικού και υλικού. Πρόκειται για τον κόμβο από τον οποίο μεταφέρεται μια διεργασία ή πληροφορία από το σύστημα SCADA προς τον χειριστή αλλά και από τον χειριστή προς το σύστημα SCADA. Οι HMI αναπτύσσονται συνήθως σε υπολογιστές με Windows. Μέσω του HMI, ο χειριστής βλέπει τα σχήματα των συστημάτων, ενεργοποιεί ή απενεργοποιεί τους διακόπτες και γενικά του δίνεται η δυνατότητα για οποιοδήποτε χειρισμό και αναζήτηση ιστορικού. Συνήθως, μέσω της οθόνης ενός υπολογιστή, οπτικοποιείται μια



διεργασία ή κατάσταση, εμφανίζονται τιμές μεταβλητών, ακόμα και γραφικά ή μιμικά διαγράμματα. Ουσιαστικά πρόκειται για το όργανο μέσω του οποίου ο χειριστής πραγματοποιεί τον εποπτικό και ελεγκτικό του ρόλο, καθιστώντας τα συστήματα SCADA και HMI αλληλένδετα συνδεδεμένα μεταξύ τους και για το λόγο αυτό συχνά δεν διαχωρίζονται. Στην πραγματικότητα, ο διαχωρισμός τους δεν είναι εύκολος αφού οι περισσότεροι κατασκευαστές συστημάτων SCADA ενσωματώνουν την δυνατότητα ανάπτυξης HMI εφαρμογών στις υπηρεσίες ή τα πακέτα SCADA τους. Πρακτικά όμως μια εφαρμογή HMI μπορεί να κατασκευαστεί ανεξάρτητα από των πυρήνα καταγραφής ενός SCADA ώστε να αντλεί πληροφορίες από αυτό και να το χρησιμοποιεί για να διεξάγει τον απαραίτητο έλεγχο [11].

Η ορθή σχεδίαση εύχρηστων γραφικών απεικονίσεων και εργονομικών υπολογιστών και για τις εφαρμογές HMI είναι αρκετά σημαντική για τον χειριστή τόσο για την καλύτερη κατανόηση του συστήματος όσο και για την απλούστευση της δουλειάς του. Σημαντικό επίσης μέρος της εφαρμογής του HMI είναι η ασφάλεια του συστήματος SCADA, αφού πρόκειται για την είσοδο του συστήματος SCADA και για την διασφάλιση της ακεραιότητας του συστήματος από κακόβουλες πράξεις, γίνεται διαβάθμιση πρόσβασης των χειριστών με τη χρήση κατάλληλων προσωπικών κωδικών.

3.1.6 Δίκτυο Επικοινωνίας (Communication Network)-Σύστημα τηλεπικοινωνιών-τηλεμετρίας του Κεντρικού Σταθμού Ελέγχου με τις τοπικές τερματικές μονάδες (RTU's & PLC's)

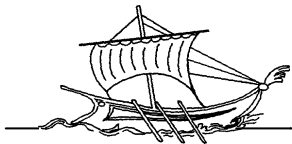
Το Δίκτυο Επικοινωνίας αναφέρεται στον εξοπλισμό, στη διαμόρφωση και στον τρόπο επικοινωνίας, που χρειάζεται για τη μεταφορά των δεδομένων από και προς τις διάφορες θέσεις του συστήματος.

Τηλεμετρία εξ ορισμού σημαίνει μέτρηση εξ αποστάσεων και αναφέρεται στην επιστήμη που επιτρέπει την διασύνδεση απομακρυσμένων συσκευών καθώς και την αποστολή δεδομένων μεταξύ τους, είτε ενσύρματα είτε ασύρματα. Τα δεδομένα μπορεί να είναι μετρήσεις όπως τάση, ταχύτητα και άλλα μετρητικά μεγέθη. Τα

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΑΥΤΟΜΑΤΙΣΜΟΥ

Π.ΡΑΛΛΗ & ΘΗΒΩΝ 250, 122 44, ΑΙΓΑΛΕΩ, ΑΘΗΝΑ, ΕΛΛΑΔΑ

ΤΗΛ.: +30-210-5381311, MSCAUTO1@TEIPIR.GR



δεδομένα μεταδίδονται σε μία απομακρυσμένη θέση με τη βοήθεια ενός μέσου ενσύρματα όπως καλώδιο, οπτική ίνα, τηλεφωνική γραμμή ή ασύρματα όπως ραδιοεκπομπή. Τα δεδομένα μπορεί να προέρχονται από μία ή πολλαπλές θέσεις. Ο τρόπος διευθυνσιοδότησης αυτών των διαφορετικών θέσεων, δηλαδή η απόδοση μιας ξεχωριστής διεύθυνσης σε κάθε θέση ένα ενιαίο δίκτυο από το οποίο διακινούνται τα δεδομένα, οι πληροφορίες, οι χειρισμοί για την άρτια εποπτεία και λειτουργία της κάθε μονάδας αποτελεί μέρος του συστήματος SCADA.

Η αρχιτεκτονική δικτύου επικοινωνίας ενός συστήματος SCADA αναλύεται σε δύο κατηγορίες [15]:

- Το πληροφοριακό δίκτυο, που συνδέει τη σχέση MTU με τον χειριστή όπως μεταφορά δεδομένων, πληροφοριών, χειρισμών και χρησιμοποιούνται κυρίως τα πρωτόκολλα Ethernet ή Token Ring και Token Bus. Τα τελευταία χρόνια συνηθίζεται να εφαρμόζονται δίαυλοι Ethernet ή Token Bus αφού δεν απαιτείται κανένας σταθμός κύριου χειριστή. Περισσότερο έδαφος στην αγορά αποκτάει το Token Bus, όπου χρησιμοποιείται ένα κουπόνι (token) για να μεταφέρει τον έλεγχο από έναν σταθμό στον άλλο, καθιστώντας εύκολα επεκτάσιμο το σύστημα.
- Το βιομηχανικό δίκτυο (fieldbus) που σχετίζεται με τη δικτύωση των περιφερειακών συσκευών με ευρέως χρησιμοποιούμενα τα πρωτόκολλα Modbus και Profibus

Για λόγους ασφαλείας, πρέπει να τηρούνται τα δεδομένα SCADA σε κλειστά δίκτυα LAN / WAN, χωρίς να εκθέτουν ευαίσθητα δεδομένα στο ανοιχτό Διαδίκτυο.

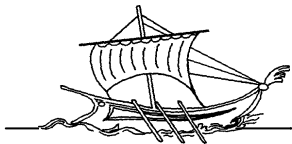
Υπάρχουν δύο τυπικοί τρόποι διαμόρφωσης του δικτύου για τα συστήματα SCADA [15]:

- διαμόρφωση «Σημείο προς Σημείο» (point-to-point configuration): αποτελεί την απλούστερη διαμόρφωση και πρόκειται για ανταλλαγή δεδομένων μεταξύ δύο σταθμών. Ο ένας σταθμός μπορεί να διαμορφωθεί σαν κύριος (master) και ο άλλος εξαρτημένος (slave)
- διαμόρφωση «Σημείο προς Πολλαπλά Σημεία» (point-to-multipoint configuration): χρησιμοποιείται όταν η μία συσκευή προορίζεται σαν κύρια

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΑΥΤΟΜΑΤΙΣΜΟΥ

Π.ΡΑΛΛΗ & ΘΗΒΩΝ 250, 122 44, ΑΙΓΑΛΕΩ, ΑΘΗΝΑ, ΕΛΛΑΔΑ

ΤΗΛ.: +30-210-5381311, MSCAUTO1@TEIPIR.GR



μονάδα (master unit) διαφόρων εξαρτημένων μονάδων (slave units). Η κύρια μονάδα είναι συνήθως ο H/Y του Κεντρικού Σταθμού και βρίσκεται στο δωμάτιο ελέγχου (control Room), ενώ οι εξαρτημένες μονάδες είναι οι απομακρυσμένες μονάδες (RTU ή PLC) στις οποίες αντιστοιχίζεται μια μοναδική διεύθυνση.

Ομοίως και οι τρόποι επικοινωνίας που εφαρμόζονται ευρέως για τα συστήματα SCADA είναι δύο [15]:

- το σύστημα της δειγματοληψίας (Polled system) ή σύστημα Κύριου/Εξαρτημένου (Master/Slave system), όπου η κύρια μονάδα έχει τον πλήρη έλεγχο της επικοινωνίας. Η κύρια μονάδα κάνει σε τακτά διαστήματα αίτηση για ανταλλαγή δεδομένων με κάθε μια εξαρτημένη μονάδα (απομακρυσμένο σταθμό) διαδοχικά. Αυτή η μέθοδος καλείται ημι-αμφίδρομη (half-duplex). Κάθε εξαρτημένη μονάδα θα πρέπει να έχει τη δική της μοναδική διεύθυνση που να επιτρέπει στην ορθή ταυτοποίηση. Αν μια εξαρτημένη μονάδα δεν αποκριθεί για ένα προκαθορισμένο χρονικό διάστημα (timeout), η κύρια μονάδα ξαναπροσπαθεί να επικοινωνήσει μαζί της πριν προχωρήσει να ανταλλάξει δεδομένα με την επόμενη εξαρτημένη μονάδα.
- Το Σύστημα Διακοπών (Interrupt System) ή αλλιώς και σύστημα Έκτακτων Αναφορών (Report by Exception - RBE). Στη μέθοδο αυτή, η κύρια μονάδα παρακολουθεί τις εισόδους της. Όταν ανιχνεύσει μια σημαντική μεταβολή όπως για παράδειγμα υπερβεί κάποιο όριο, η εξαρτημένη μονάδα ξεκινά επικοινωνία με την κύρια μονάδα και μεταφέρει δεδομένα. Το σύστημα είναι σχεδιασμένο να ανιχνεύει σφάλματα και να αντιμετωπίζει επιτυχώς τις συγκρούσεις στη μεταφορά δεδομένων. Πριν μια μονάδα μεταφέρει δεδομένα στην κύρια μονάδα, ελέγχει πρώτα αν κάποια άλλη μονάδα μεταφέρει εκείνη τη στιγμή δεδομένα. Αν κάποια άλλη μονάδα μεταδίδει δεδομένα, τότε δημιουργείται μιας μορφής χρονοκαυστέρηση πριν προσπαθήσει πάλι. Υπερβολικές συγκρούσεις έχουν ως απόρροια μη κανονική λειτουργία του συστήματος και πιθανή αποτυχία. Για να



αντιμετωπιστεί επιτυχώς αυτή η κατάσταση, αν μετά από αρκετές αποτυχημένες προσπάθειες, η εξαρτημένη μονάδα συνεχίζει να μη μπορεί να μεταφέρει ένα μήνυμα στην κύρια μονάδα, αναμένει μέχρι να ρωτηθεί (poll) από την κύρια μονάδα

3.2 ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ SCADA

Όπως αναφέρθηκε και στην αρχή του κεφαλαίου η αρχιτεκτονική ενός συστήματος SCADA συνθέτεται από τις υλικοτεχνικές μονάδες και το λογισμικό πρόγραμμα. Το λογισμικό πρόγραμμα ενός συστήματος SCADA συνθέτεται από ένα σύνολο διαφορετικών ειδικών πακέτων λογισμικών και βρίσκονται εγκατεστημένα στην κεντρική μονάδα MTU και υλοποιούν το σημαντικότερο έργο των προϊόντων με την ορολογία Automation Software. Για να θεωρηθεί ένα λογισμικό πρόγραμμα επιτυχημένο, το πακέτο θα πρέπει να μπορεί εύκολα να αναβαθμιστεί για να αντιμετωπίσει μελλοντικές απαιτήσεις. Το σύστημα θα πρέπει να τροποποιείται εύκολα καθώς οι απαιτήσεις αλλάζουν και συνήθως πρόκειται για βιομηχανικά έργα που με τη πάροδο του χρόνου επεκτείνονται.

Το λογισμικό SCADA μπορεί να διαιρεθεί σε δύο τύπους, σε λογισμικό κλειστού κώδικα και σε ανοικτού κώδικα. Οι επιχειρήσεις, για λόγους ιδιωτικότητας και ασφάλειας, αναπτύσσουν συνήθως ιδιόκτητο λογισμικό με σκοπό την αποκλειστική επικοινωνία με το υλικό τους. Τα ανοικτά συστήματα λογισμικού έχουν κερδίσει τη δημοτικότητα λόγω της διαλειτουργικότητας τους και της ευκολίας στην παραμετροποίηση που φέρνουν στο σύστημα, αφού προσφέρουν τη δυνατότητα να αναμιχθεί ο εξοπλισμός των διαφορετικών κατασκευαστών στο ίδιο σύστημα.

Τα βασικά χαρακτηριστικά ενός λογισμικού SCADA αναφορικά είναι [16]:

- Διεπαφή Χρήστη
- Οθόνες Γραφικών
- Συναγερμοί και ειδοποιήσεις για τον χειριστή



- Διεπαφή Απομακρυσμένων τερματικών μονάδων (RTU και PLC)
- Επεκτασιμότητα/ Εξελιξιμότητα
- Πρόσβαση Στα Δεδομένα
- Βάση Δεδομένων
- Δικτύωση
- Ανοχή Σφαλμάτων
- Διασύνδεση Client/Server μεταξύ των περιφερειακών συσκευών
- Κατανεμημένη Επεξεργασία

Όσο καλή και αν είναι μια εφαρμογή λογισμικού δεν μπορεί να εξυπηρετήσει από μόνη της τις ανάγκες ενός SCADA κάποιας πολυπλοκότητας. Για να μπορεί ένα λογισμικό να χρησιμεύσει ως κέντρο ελέγχου ενός τέτοιου SCADA και ταυτόχρονα να έχει ένα λογικό κόστος, είναι πολύ σημαντικό να συγκροτείται από ανεξάρτητες μονάδες. Αυτό επιτυγχάνεται με τη χρήση κατάλληλων τεχνολογιών ολοκλήρωσης. Στο χώρο των Windows οι πιο διαδεδομένες τέτοιες τεχνολογίες είναι αυτές, που βασίζονται στο πρότυπο COM της Microsoft (OLE, Automation, ActiveX).Ειδικά για τα συστήματα SCADA έχει αναπτυχθεί και η τεχνολογία OPC (OLE for Process Control), η οποία βασίζεται επίσης στο πρότυπο COM.

3.3 ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΑ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΣ SCADA

Ένα πρωτόκολλο ελέγχει τη μορφή μηνύματος μετάδοσης δεδομένων που είναι κοινή σε όλες τις συσκευές ενός δικτύου. Η μετάδοση πληροφοριών μεταξύ του κεντρικού σταθμού και των απομακρυσμένων τερματικών μονάδων και προς τις δύο κατευθύνσεις, χρησιμοποιώντας τεχνικές πολυπλεξίας διαίρεσης χρόνου, απαιτεί τη χρήση σειριακών ψηφιακών μηνυμάτων. Αυτά τα μηνύματα πρέπει να είναι αποτελεσματικά, ασφαλή, ευέλικτα και εύκολα υλοποιημένα στο υλικό και το λογισμικό. Αυτό εξασφαλίζεται με τη χρήση κρυπτογραφημένων πακέτων βιομηχανικών πρωτοκόλλων.



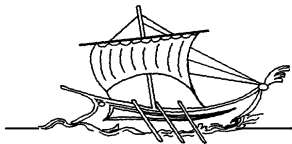
Κάθε πρωτόκολλο αποτελείται από δύο σύνολα ή ζεύγη μηνυμάτων. Ένα ζεύγος σχηματίζει το κύριο πρωτόκολλο (master protocol), που περιέχει τα δεδομένα έναρξης ή απόκρισης με τον κύριο σταθμό και το δεύτερο ζεύγος ονομάζεται πρωτόκολλο RTU, το οποίο όπως δηλώνει και ο χαρακτηρισμός του περιέχει τα δεδομένα για την εγκατάσταση επικοινωνίας για το RTU [18].

Τα γενικά χαρακτηριστικά για τα πρωτόκολλα της επικοινωνίας SCADA[16]:

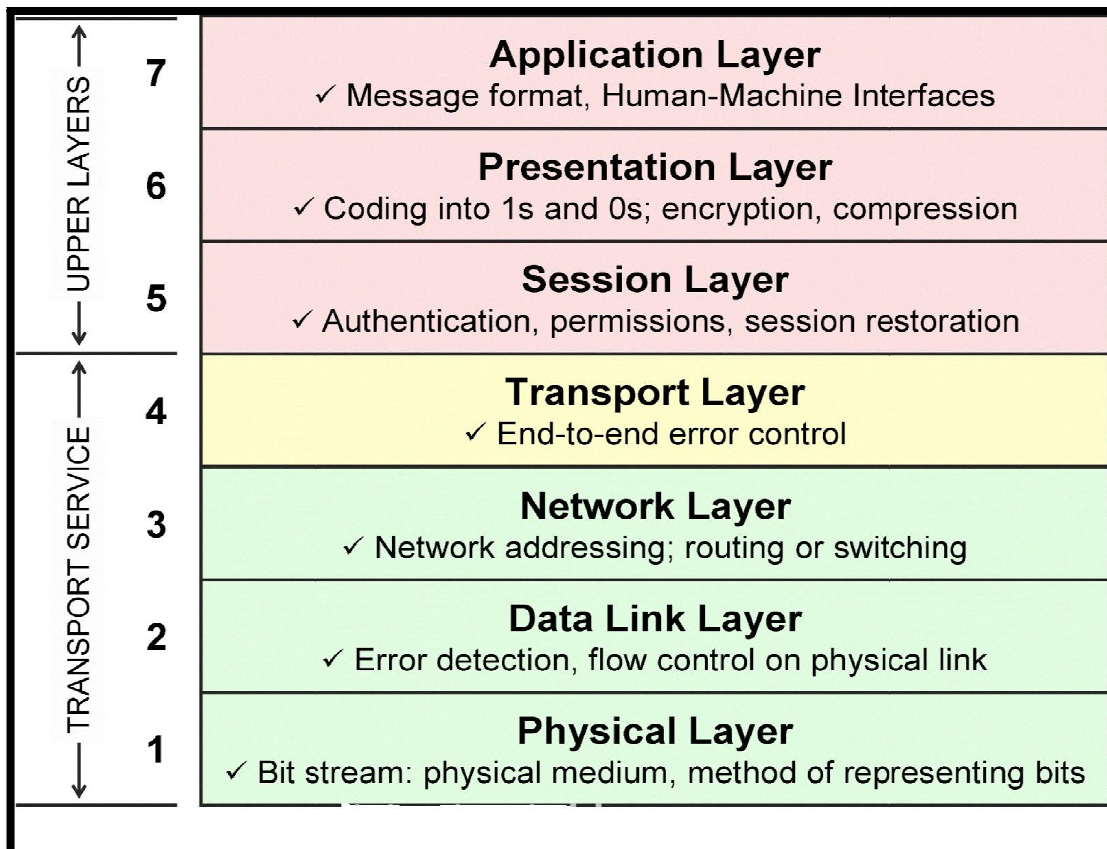
- σχεδιασμένα ειδικά για την μειωμένη αξιοπιστία των συνδέσμων επικοινωνίας που συνήθως χρησιμοποιούνται στα συστήματα SCADA
- παρέχουν ασφαλή μεταφορά των δεδομένων, διασφαλίζοντας την αξιόπιστη μεταφορά των δεδομένων στους προορισμούς
- συμβάλλουν στον εντοπισμό του σφάλματος και
- συμβάλλουν στις τεχνικές ανασκόπησης των μηνυμάτων.

Ένα μειονέκτημα που προκύπτει από τα χαρακτηριστικά των πρωτοκόλλων, είναι ότι η ταχύτητα των επικοινωνιών των δεδομένων που σχετίζονται με το SCADA είναι χαμηλότερη από την συνηθισμένη στις επικοινωνίες που χρησιμοποιούνται σε μία εγκατάσταση, λόγω ότι οι πληροφορίες που εισάγονται δημιουργούν πρόβλημα στην μετάδοση των δεδομένων, οδηγώντας σε προβλήματα μεταξύ της ταχύτητας μετάδοσης των δεδομένων και της αξιοπιστίας του συνδέσμου των επικοινωνιών.

Επειδή τα συστήματα SCADA, συνήθως αναπτύσσονται σε μεγάλες γεωγραφικές περιοχές, συνήθως απαιτούνται υψηλά οικονομικά κόστη για τη σωστή δομή και επιλογή του συστήματος επικοινωνίας που θα εφαρμοστεί καθώς και το εύρος ζώνης που θα χρησιμοποιηθεί για τις συνδέσεις. Εξαιτίας όμως των οικονομικών περιορισμών που επικρατούν στην αγορά, η διαθεσιμότητα της δομής επικοινωνιών στις συνδέσεις στα συστήματα SCADA που επικρατούν προσφέρουν μικρότερο εύρος ζώνης και αξιοπιστίας από αυτά που συναντώνται σε συστήματα επικοινωνίας σε μία εγκατάσταση ή ένα γραφείο λόγω της μικρότερης εμβέλειας της γεωγραφικής ζώνης που χρησιμοποιούν και στην ύπαρξη τοπικών δικτύων υψηλής ταχύτητας.



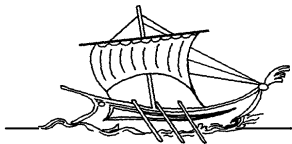
Λόγω ότι αρκετά συστήματα SCADA στην υλοποίηση τους χρησιμοποιούν συσκευές σε υλικοτεχνικό ή και εφαρμογές σε επίπεδο λογισμικού διαφορετικών προμηθευτών η αναγκαιότητα δυνατότητα σύνδεσης και ανταλλαγής δεδομένων με τις διάφορες συσκευές ελέγχου κρίνεται απαραίτητη. Οπότε και το δίκτυο επικοινωνιών θα πρέπει και αυτό αναλόγως να είναι παραμετροποιήσιμο αλλά και επεκτάσιμο, αναγκαιότητα εφαρμογής ανοικτών πρωτοκόλλων δηλαδή έναντι των ιδιόκτητων (ή κλειστά). Η λύση δίνεται με την εφαρμογή πρωτοκόλλων που ακολουθούν το Διεθνές Πρότυπο OSI των 7 επιπέδων. Κάθε επίπεδο έχει καθορισμένο σκοπό και αλληλεπιδρά με τα επίπεδα επάνω και κάτω από αυτό. Με τον καθορισμό προδιαγραφών για κάθε επίπεδο, επιτρέπεται κάποια ευελιξία έτσι ώστε οι σχεδιαστές συστημάτων να μπορούν να αναπτύξουν πρωτόκολλα για το καθένα ανεξάρτητα το ένα από το άλλο. Σύμφωνα με τα πρότυπα OSI, ένα σύστημα είναι σε θέση να επικοινωνεί με οποιοδήποτε άλλο σύμφωνο σύστημα, οπουδήποτε στον κόσμο [19].



Εικόνα 17 Διεθνές Πρότυπο OSI των 7 επιπέδων

Αναλύοντας το πρότυπο OSI, τα τέσσερα κατώτερα επίπεδα (Physical Layer έως Transport Layer) αναφέρονται στη φυσική ένωση, τις συσκευές δικτύωσης, τα πρωτόκολλα επικοινωνίας και την μεταφορά των δεδομένων. Ίσως το πιο δημοφιλές πρωτόκολλο στο επίπεδο δικτύου είναι το TCP/IP το οποίο εφαρμόζεται κατά κόρο και στα βιομηχανικά δίκτυα. Τα ανώτερα επίπεδα, επίπεδα πέντε και έξι αναφέρονται στην περάτωση της επικοινωνίας ενώ το επίπεδο 7 (εφαρμογής) και τελευταίο αναφέρεται επίπεδο επικοινωνίας μεταξύ του κεντρικού σταθμού ελέγχου και των απομακρυσμένων μονάδων ελέγχου.

Νωρίτερα της εφαρμογής του προτύπου OSI για τα συστήματα SCADA, στα τέλη της δεκαετίας του 1980 και στις αρχές της δεκαετίας του 1990, τα πρωτόκολλα που εφαρμόζονταν κυρίως στα εποπτικά συστήματα ήταν, το πρότυπο ANSI / IEEE C37.1 – 1987 και το IEEE/SCADA P999-1992. Την ίδια εποχή, η Διεθνής

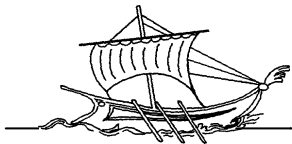


Ηλεκτροτεχνική Επιτροπή (International Electrotechnical Commission - IEC) εφαρμόζει ένα απλοποιημένο ιεραρχικό μοντέλο επικοινωνιών κατάλληλο ως βάση για τις επικοινωνίες SCADA, που βασίζεται στο Διεθνές Πρότυπο OSI των 7 επιπέδων, γνωστό ως Αρχιτεκτονική βελτιωμένων επιδόσεων (EPA). Λόγω της αναγνώρισης της ανάγκης για ανοικτά πρότυπα πρωτοκόλλου επικοινωνίας SCADA, οι οργανισμοί τυποποίησης στα τέλη της δεκαετίας του 1990 δημιούργησαν δύο ανοικτά πρωτόκολλα επικοινωνίες SCADA, γνωστά ως DNP3 και IEC 60870. Άλλα εφαρμόσιμα πρωτόκολλα στα συστήματα SCADA και γενικότερα σε εποπτικά συστήματα είναι το πρωτόκολλο MODBUS (ίσως το πιο ευρέως εφαρμόσιμο στα συστήματα SCADA, μαζί με το DNP3), PROFIBUS, RP – 570, EIA-232, EIA-422/485, Hart και Conitel, τα οποία αναλύονται στη συνέχεια.

3.3.1 Το πρωτόκολλο IEC 60870-5

Το πρωτόκολλο IEC 60870 αναφέρεται σε μια συλλογή προτύπων του οργανισμού IEC που δημιουργήθηκε στις αρχές του 1990 ως ένα ανοικτό πρότυπο για τη μετάδοση του έλεγχου και πληροφοριών σε συστήματα τηλεχειρισμού. Το πρότυπο παρέχει λεπτομερή λειτουργική περιγραφή για τον εξοπλισμό τηλεχειρισμού και τα συστήματα ελέγχου για γεωγραφικά διαδεδομένες διαδικασίες, με άλλα λόγια για τα συστήματα SCADA. Το πρότυπο IEC 60870 είναι δομημένο ιεραρχικά, αποτελούμενο από έξι κατηγορίες, που έχουν δημοσιευθεί χωριστά με προοδευτικό τρόπο, με τις αντίστοιχες εκδόσεις για κάθε κατηγορία και μια σειρά τεσσάρων προτύπων που παρέχουν τις λεπτομέρειες για ένα συγκεκριμένο πεδίο εφαρμογής[18].

Το IEC 60870-5 αποτελεί την 5^η κατηγορία του IEC 60870, που ολοκληρώθηκε γύρω το 1995 και εφαρμόζεται ευρέως στα συστήματα SCADA και κυρίως στα συστήματα διανομής ηλεκτρικής ενέργειας σε χώρες της Ευρώπης, λόγω ότι προσφέρει απλή γρήγορη αποστολή δεδομένων ακόμα και σε αργά ασύγχρονα μέσα

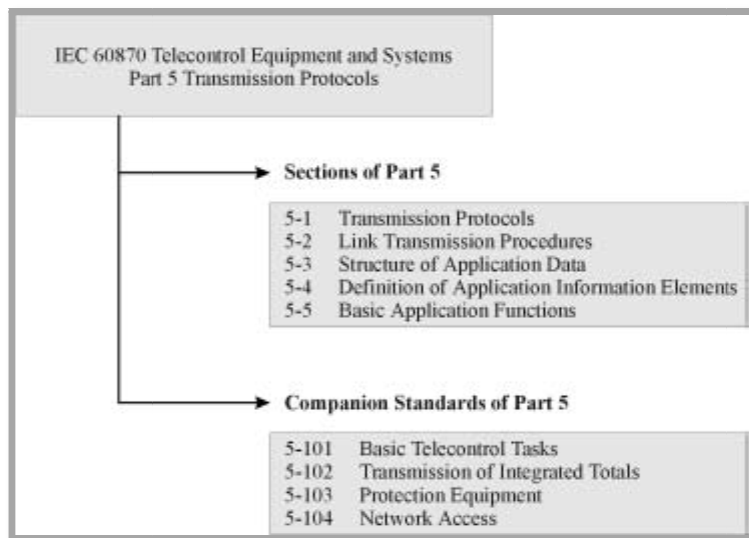
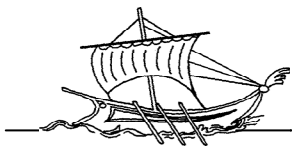


μετάδοσης. Μεταξύ των ετών 1998 και 2000 η IEC δημιούργησε έξι εκδόσεις του IEC 60870-5, οι οποίες είναι[19]:

- IEC 60870-5-1, χρησιμοποιείται για αποστολή δεδομένων
- IEC 60870-5-2, χρησιμοποιείται για μετάδοση δεδομένων
- IEC 60870-5-3, χρησιμοποιείται για την γενική δομή των δεδομένων των εφαρμογών
- IEC 60870-5-4, όπου χρησιμοποιείται για την κωδικοποίηση των στοιχείων των εφαρμογών
- IEC 60870-5-5, όπου χρησιμοποιείται για την μετάδοση των βασικών λειτουργιών της εφαρμογής

Στις αρχές του 2000, η IEC δημιούργησε τα πρότυπα για το IEC 60870-5, παρέχοντας τις απαιτούμενες λεπτομέρειες για το πεδίο εφαρμογής και διορθώνοντας προβλήματα που των υπαρχουσών εκδόσεων:

- IEC 60870-5-101, για την μεταφορά δεδομένων ιδίως σε εποπτικά συστήματα ελέγχου SCADA
- IEC 60870-5-102, για την μεταφορά δεδομένων κυρίως σε συστήματα διανομής ηλεκτρικής ενέργειας
- IEC 60870-5-103, για την διασύνδεση του εξοπλισμού προστασίας του συστήματος
- IEC 60870-5-104, για την ασφαλέστερη μεταφορά δεδομένων σε συνδυασμό με το πρότυπο IEC 60870-5-101



Εικόνα 18 Δομή του πρωτοκόλλου IEC 60870-5

Στα σύγχρονα βιομηχανικά συστήματα εποπτικού ελέγχου SCADA ευρέως χρησιμοποιούμενο είναι το πρότυπο IEC 60870 – 5 – 101, που βασίζεται στην αρχιτεκτονική EPA (Enhanced Performance Architecture) και ορίζει μόνο τη φυσική σύνδεση (physical layer) και τα επίπεδα εφαρμογής (application layer) του πρότυπου μοντέλου OSI. Χρησιμοποιείται κυρίως λόγω της μετάδοσης στην ασύγχρονη διασύνδεση V.24 των μέσων. Η διαλειτουργικότητα μεταξύ συσκευών από διαφορετικούς προμηθευτές εξασφαλίζεται λόγω ότι ορίζεται από το πρότυπο και το εύρος λειτουργιών ορίζεται για κάθε συσκευή, επισημαίνοντας τις εφαρμογές.

3.3.2 Το πρωτόκολλο DNP3

Το πρωτόκολλο DNP3 (Distributed Network Protocol Version 3.3) είναι ένα τηλεπικοινωνιακό πρότυπο το οποίο ορίζει τις επικοινωνίες μεταξύ κεντρικών σταθμών, απομακρυσμένων τερματικών μονάδων (RTU) και ευφυϊών συσκευών (IED). Αναπτύχθηκε για να επιτευχθεί διαλειτουργικότητα μεταξύ συστημάτων ηλεκτρικής ενέργειας, πετρελαίου, φυσικού αερίου. Το DNP3 δημιουργήθηκε



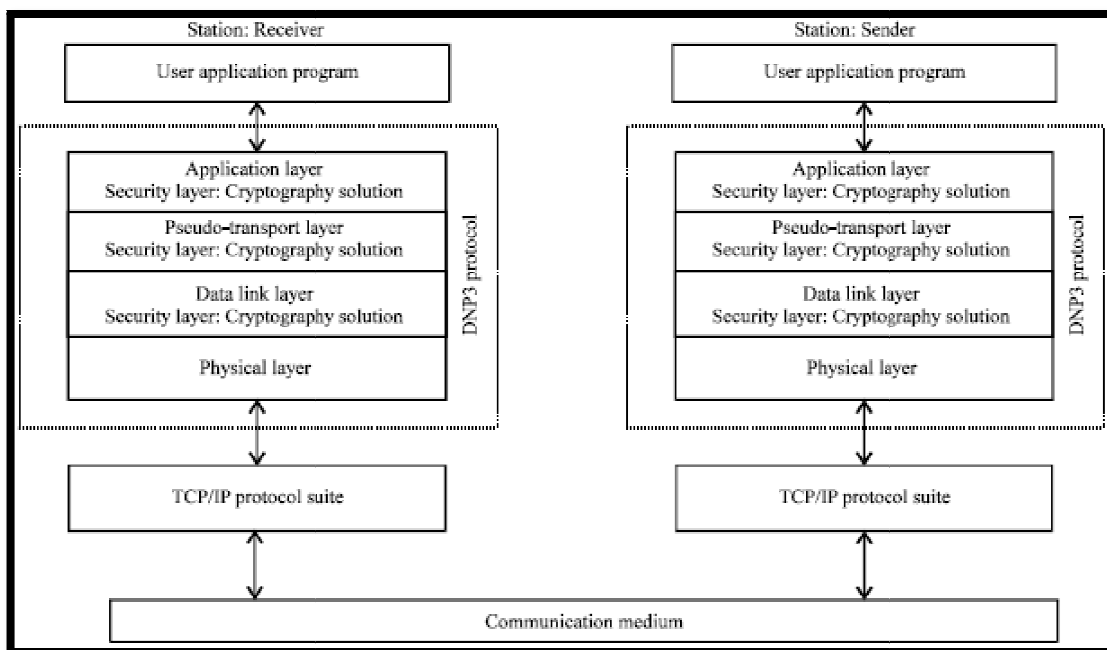
αρχικά ως ιδιοκτησιακό πρωτόκολλο από την Harris Controls Division για χρήση στον τομέα της ηλεκτρικής ενέργειας. Τον Νοέμβριο του 1993 το πρωτόκολλο διατέθηκε για χρήση από τρίτους μεταβιβάζοντας την ιδιοκτησία τους στην DNP3 User Group. Μέσω του DNP3 User Group η πλήρη προδιαγραφή του πρωτοκόλλου μπορεί να ληφθεί από οποιοδήποτε πρόσωπο ή εταιρεία, ουσιαστικά καταστρώντας το ανοικτό πρωτόκολλο. Το DNP3 σχεδιάστηκε ειδικά για συστήματα SCADA. Αυτά περιλαμβάνουν την απόκτηση πληροφοριών και την αποστολή εντολών ελέγχου μεταξύ φυσικά χωριστών ηλεκτρονικών υπολογιστών. Είναι σχεδιασμένο να μεταδίδει σχετικά μικρά πακέτα δεδομένων με αξιόπιστο τρόπο ,με τα εμπλεκόμενα μηνύματα να φτάνουν με αλληλουχία. Από την άποψη αυτή, είναι διαφορετικό από τα πρωτόκολλα γενικότερου σκοπού, όπως το TCP / IP, το οποίο μπορεί να στείλει αρκετά μεγάλα αρχεία, αλλά κατά τρόπο που γενικά δεν είναι ως κατάλληλο για τον έλεγχο SCADA.

Αναλυτικότερα, η αποστολή των δεδομένων από τα RTU's προς τον MTU, πραγματοποιείται όταν εδραιωθεί ένας δίαυλος επικοινωνίας μεταξύ τους. Αυτό γίνεται με κατάλληλα πακέτα που αποστέλλονται από τα RTU's προς τον MTU και το αντίθετο (send - receive messages), στα πρότυπα της σχέσης master - slave. Η αποστολή των δεδομένων από τα RTU's του προς τον MTU χωρίζεται σε δύο κατηγορίες: τις στατικές δομές (data objects) και τις δομές γεγονότων (event objects). Οι στατικές δομές περιλαμβάνουν πληροφορίες σχετικά με την τρέχουσα τιμή και κατάσταση της συσκευής, ενώ οι δομές γεγονότων περιλαμβάνουν τις μεταβολές στις τιμές των δεδομένων. Ο MTU λαμβάνοντας το απεσταλμένο πακέτο, πραγματοποιεί ανάγνωση είτε όλων των πακέτων ταυτόχρονα είτε ξεχωριστά, αναλόγως με την προτεραιότητα που τους έχει τεθεί. Παράλληλα, λόγω της δυνατότητας συγχρονισμού που παρέχει το πρωτόκολλο DNP3, μπορεί να υλοποιηθεί η αποστολή πακέτων ακόμα και από συσκευές όπου λειτουργούν με ασύγχρονο τρόπο επικοινωνίας[19].

Λόγω της δυνατότητας του να χρησιμοποιηθεί σε πολλές φυσικές συνδέσεις (physical layer), είναι κατάλληλο για λειτουργία σε τοπικά δίκτυα (LAN) και σε



ορισμένα δίκτυα ευρείας περιοχής (WAN). Το DNP3 σχεδιάστηκε για ζεύξεις δεδομένων που λειτουργούν με ρυθμούς μετάδοσης χαμηλούς ως και 1200 bit / s και επιχειρούν να χρησιμοποιήσουν ένα ελάχιστο γενικό κόστος διατηρώντας παράλληλα. Το DNP3 είναι ένα μη ιδιόκτητο, εξελισσόμενο πρότυπο που ελέγχεται από χρήστες οι οποίοι είναι κυρίως προμηθευτές μονάδων RTU, IED και MTU.



Εικόνα 19 Ροή επικοινωνίας πρωτοκόλλου DNP3

3.3.3 Το πρωτόκολλο Modbus

Το πρωτόκολλο Modbus αναπτύχθηκε από την Gould Modicon (νυν Schneider) για συστήματα ελέγχου. Λόγω ότι δεν απαιτείται διεπαφή, επιτρέπει την ανταλλαγή διακριτών αναλογικών σημάτων μεταξύ συσκευών όπως των προτύπων EIA-232, EIA-422, EIA-485. Αν και το Modbus είναι σχετικά αργό σε σύγκριση με άλλα πρωτόκολλα, έχει το πλεονέκτημα ευρείας αποδοχής μεταξύ των κατασκευαστών και των χρηστών, των συσκευών και συστημάτων. Περίπου 20 έως 30 κατασκευαστές παράγουν εξοπλισμό με το πρωτόκολλο Modbus με πολλά συστήματα να εφαρμόζονται στη βιομηχανία. Συνεπώς, μπορεί να θεωρηθεί ως de facto βιομηχανικό πρότυπο με αποδεδειγμένο ικανότητες. Μια πρόσφατη έρευνα στο



γνωστό περιοδικό American Control Engineering ανέφερε ότι πάνω από το 40% των εφαρμογών βιομηχανικής επικοινωνίας χρησιμοποιούν το πρωτόκολλο Modbus για διασύνδεση [19].

Το πρωτόκολλο Modbus βασίζεται στην αρχή master / slave για την επικοινωνία των συσκευών και προβλέπει μια master (Modbus master) και έως και 247 slave (Modbus slave). Η συναλλαγή εκκινεί μόνο από τη master συσκευή, δηλαδή ο Modbus master στέλνει μηνύματα στον Modbus Slave και ο Modbus Slave απαντά στα μηνύματα τα οποία δέχεται. Ο Modbus Slave διαβάζει τα μηνύματα και αν δεν υπάρχει σφάλμα εκτελεί την εργασία και στέλνει μια απάντηση πίσω στον Modbus master. Οι πληροφορίες στο μήνυμα απάντησης είναι η διεύθυνση του Modbus Slave, η δράση που εκτελέστηκε, το αποτέλεσμα της ενέργειας και ένα μέσο ελέγχου των σφαλμάτων. Αν το αρχικό μήνυμα ήταν τύπου εκπομπής, δεν υπάρχει απάντηση από τους σκλάβους. Ο Modbus master μπορεί να στείλει ένα άλλο ερώτημα αμέσως μόλις λάβει το μήνυμα απάντησης. Μια συνάρτηση χρονικού ορίου εξασφαλίζει ότι το σύστημα εξακολουθεί να λειτουργεί όταν το μήνυμα δεν έχει ληφθεί σωστά από Modbus Slave, ζητώντας παράλληλα την επαναποστολή του μηνύματος.

Όλες οι λειτουργίες που υποστηρίζονται από το πρωτόκολλο Modbus αναγνωρίζονται από έναν αριθμό ευρετηρίου και έχουν σχεδιαστεί ως εντολές ελέγχου για όργανα και ενεργοποιητές πεδίου. Λειτουργίες όπως [19]:

- έλεγχος και διαχείριση σφαλμάτων (parity check και CRC),
- η σειρά της αλληλουχία των πακέτων,
- η σταθερότητα στο format των πακέτων,
- η επιλεξιμότητα ως προς το μέσο, τα χαρακτηριστικά ή τη κατάσταση της μετάδοσης για την καλύτερη λειτουργία

Υπάρχουν εκδόσεις του πρωτοκόλλου Modbus για σειριακή θύρα και για Ethernet.

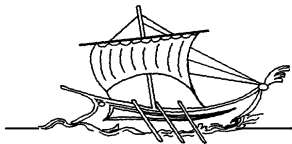
Οι πιο γνωστές παραλλαγές των πρωτοκόλλων Modbus είναι [19]:

- Modbus RTU, για σειριακή επικοινωνία
- Modbus ASCII για σειριακή επικοινωνία

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΑΥΤΟΜΑΤΙΣΜΟΥ

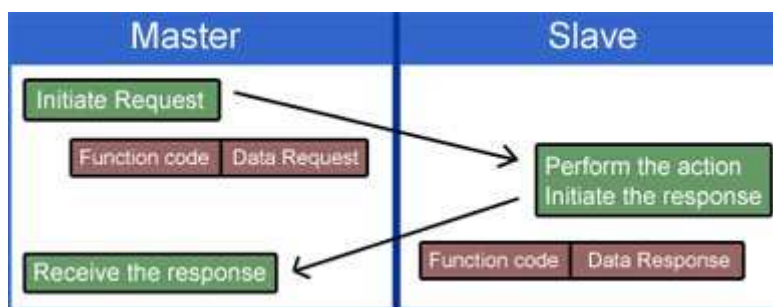
Π.ΡΑΛΛΗ & ΘΗΒΩΝ 250, 122 44, ΑΙΓΑΛΕΩ, ΑΘΗΝΑ, ΕΛΛΑΔΑ

ΤΗΛ.: +30-210-5381311, MSCAUTO1@TEIPIR.GR



- Modbus TCP για επικοινωνία με το πρωτόκολλο TCP.
- Modbus RTU/IP, παραλλαγή Modbus που διαφέρει από το Modbus TCP στο ότι στο ωφέλιμο φορτίο περιλαμβάνεται ένα άθροισμα ελέγχου όπως και στο Modbus RTU.
- Modbus over UDP, η χρήση του Modbus μέσω UDP (User Datagram Protocol) σε δίκτυα IP
- Remex Modbus, σχεδιάστηκε για την εταιρεία πετρελαίου και φυσικού αερίου Remex για χρήση στον έλεγχο διαδικασιών, χωρίς όμως να υιοθετηθεί ευρεώς από την υπόλοιπη βιομηχανική κοινότητα
- Enron Modbus, πρόκειται για μια άλλη επέκταση του βασικού Modbus που αναπτύχθηκε από την εταιρεία Enron για ιστορικά δεδομένα και δεδομένα ροής. Οι τύποι δεδομένων χαρτογραφούνται χρησιμοποιώντας τυπικές διευθύνσεις
- Modbus X, επέκταση του βασικού Modbus, κυρίως για σύγχρονα συστήματα SCADA

Αξίζει να αναφερθεί ότι, παρά το όνομα, το Modbus Plus δεν αποτελεί παραλλαγή του Modbus, αλλά πρόκειται για ένα διαφορετικό πρωτόκολλο.



Εικόνα 20 Διάγραμμα λειτουργίας του πρωτοκόλλου Modbus

Συνοψίζοντας, Οι κύριοι λόγοι για τη χρήση του Modbus στο βιομηχανικό περιβάλλον είναι:

- αναπτύχθηκε με γνώμονα τις βιομηχανικές εφαρμογές,



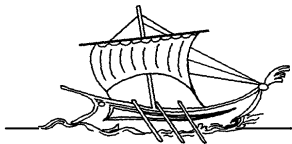
- ανοικτό δημοσιευμένο και χωρίς δικαιώματα πρωτόκολλο,
- εύκολο στην ανάπτυξη και συντήρηση,
- ευπροσάρμοστο, δεν θέτει πολλούς περιορισμούς στους προμηθευτές.

3.3.4 Το πρωτόκολλο Profibus

Το πρωτόκολλο Profibus (PROcess FIEld BUS) είναι ένα ανοικτό τυποποιημένο πρωτόκολλο επικοινωνίας για βιομηχανικά δίκτυα και συγκεκριμένα για τα fieldbus δίκτυα. Ως Fieldbus ονομάζεται το δίκτυο που αναλαμβάνει να συνδέσει τις συσκευές χαμηλότερου επιπέδου (field devices) και τους επιτρέπει να επικοινωνήσουν μεταξύ τους αλλά και με τον κεντρικό υπολογιστή του συστήματος. Πρόκειται για ένα ψηφιακό ,αμφίδρομο, σειριακής επικοινωνίας και multidrop δίκτυο, σχεδιασμένο να αντικαταστήσει το πατροπαράδοτο σύστημα αναλογικού σήματος 4-20mA.

Το πρωτόκολλο Profibus ορίστηκε ως πρωτόκολλο επικοινωνίας στη Γερμανία ως το DIN-19245 (μέρη 1&2) και αργότερα από το European National Standard ως EN 50170. Αρχικά, προωθήθηκε το 1989 από το BMBF (γερμανικό τμήμα εκπαίδευσης και έρευνας) και στη συνέχεια χρησιμοποιήθηκε από τη Siemens ως το βασικό πρωτόκολλο επικοινωνιών. Βασίζεται στο πρωτόκολλο IEC – 61158[19] και όπως τα προηγούμενα πρωτόκολλα εμπίπτει και αυτό στη φιλοσοφία του μοντέλου 7 επιπέδων του OSI.

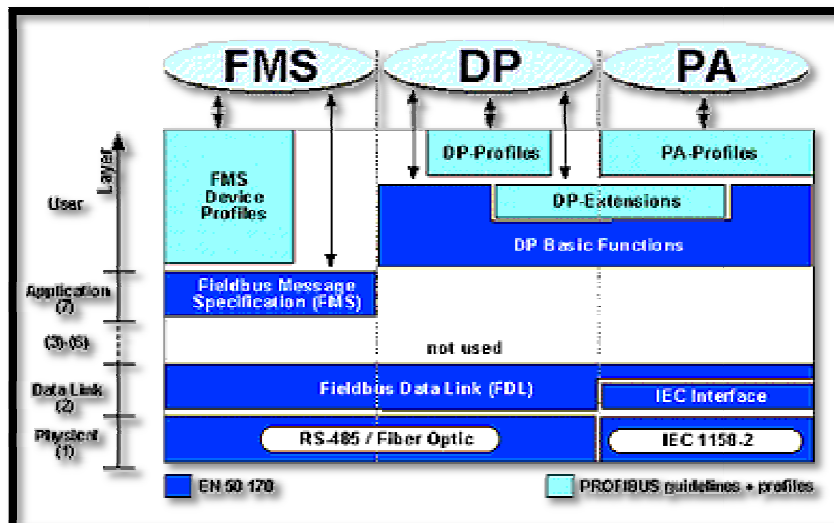
Το πρωτόκολλο Profibus βασίζεται και αυτό στην αρχιτεκτονική Master-Active/Slave-Passive για την επικοινωνία των συσκευών και υποστηρίζει μέχρι και 127 κόμβους με μέγιστη απόσταση από άκρο σε άκρο τα 27km κάνοντας χρήση κυρίως οπτικών ινών και αναμεταδοτών. Η συσκευή Master ελέγχει το bus όταν και όποτε της παραχωρηθεί το δικαίωμα, όπου και μεταφέρει τα μηνύματα χωρίς όμως να απαιτείται απομακρυσμένο αίτημα. Οι απομακρυσμένες συσκευές, που



χαρακτηρίζονται ως slave (π.χ. μετατροπείς), μπορούν να στείλουν μήνυμα στον Master μόνο κατόπιν αίτησης του ή να κάνουν αναγνώριση των μηνυμάτων [19].

Υπάρχουν τρεις βασικές εκδόσεις του πρωτοκόλλου Profibus :

- Profibus-FMS (Fieldbus Message Specification) που χρησιμοποιείται, βασισμένο στο μοντέλο Client-Server, για την επικοινωνία συσκευών αυτοματισμού. Υποστηρίζει μέχρι 127 συσκευές πάνω στον δίαυλο (bus), οι οποίες μπορεί να είναι και οι 127 Master συσκευές.
- Profibus-DP (Decentralised Periphery), που χρησιμοποιείται για γρήγορη, κυκλική διακίνηση δεδομένων μεταξύ των slave συσκευών και για διασύνδεση αυτών σε μία Master συσκευή. Παρότι επιτρέπει τη χρήση πολλαπλών Master συσκευών με αντιστοίχιση σε κάθε μία slave συσκευών, μόνο η κύρια Master συσκευή που αντιστοιχεί στον εκάστοτε slave συσκευή μπορεί να εγγράψει δεδομένα σε αυτή. Λόγω ότι κάθε slave συσκευή ανταλλάσσει δεδομένα εισόδου και εξόδου με τον master ανά τακτά χρονικά διαστήματα, αποτελεί την ιδανική λύση για εφαρμογές με πολύ στενό «περιθώριο» χρόνου, αφού απαιτείται λιγότερο από 2ms για τη μετάδοση 1Kbyte δεδομένων[20].
- Profibus-PA (Process Automation), αποτελεί νεότερη έκδοση του Profibus-DP που λόγω των χαμηλότερων τιμών των μεγεθών τάσης και έντασης ηλεκτρικού ρεύματος στη γραμμή, επιτρέπει την ασφαλή μετάδοση δεδομένων. Σε υβριδικές εφαρμογές χρησιμοποιούνται και οι δύο εκδόσεις του Profibus (DP & PA) συνεργαζόμενες μεταξύ τους. Το Profibus-DP για τη μετάδοση δεδομένων λόγω της γρήγορης μετάδοσης σε στενό «περιθώριο» χρόνου και το Profibus-PA για την ασφαλή μετάδοση των δεδομένων.

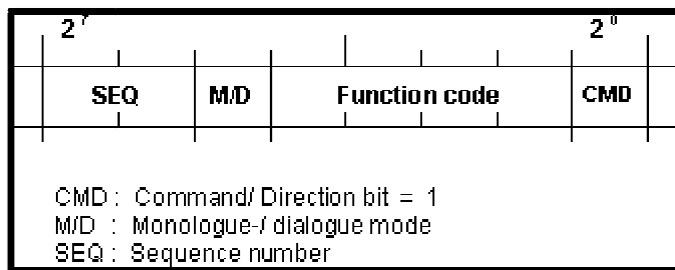


Εικόνα 21 Δομή του πρωτοκόλλου Profibus

Σημειώνεται, ότι υπάρχει και το πρωτόκολλο ProfiNET, το οποίο όμως δεν αποτελεί έκδοση του Profibus, άλλα πρόκειται για διαφορετικό πρωτόκολλο που χρησιμοποιείται για Profibus επικοινωνία μέσω Ethernet δικτύων [20].

3.3.5 Το πρωτόκολλο RP – 570

Το πρωτόκολλο RP – 570 είναι ένα πρωτόκολλο επικοινωνίας που αναπτύχθηκε για τα συστήματα SCADA από την εταιρία ABB στις αρχές τις δεκαετίας του '90 και βασίζεται στο πρωτόκολλο χαμηλού επιπέδου IEC 60870 και σημαίνει «Πρωτόκολλο RTU βασισμένο στο IEC 57 μέρος 5-1 (παρόν IEC 870) έκδοση 0 ή 1». Χρησιμοποιείται στα συστήματα SCADA για την επικοινωνία του MTU με τις απομακρυσμένες τερματικές μονάδες RTU's .



Εικόνα 22 Control direction του πρωτοκόλλου RP-570

3.3.6 Το πρωτόκολλο EIA-232 / RS-232

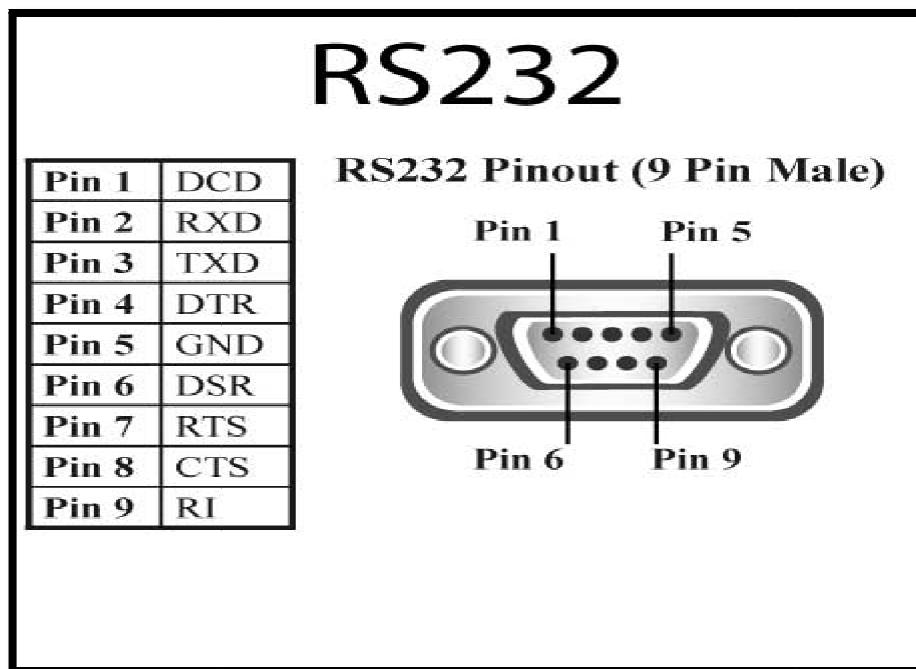
Το πρωτόκολλο EIA-232 ή αλλιώς πρωτόκολλο RS-232 όπως είναι και πιο γνωστό, εκδόθηκε στις ΗΠΑ το 1969 αλλά εφαρμόστηκε ευρέως γύρω το 1988. Πρόκειται για τηλεπικοινωνιακό πρωτόκολλο που χρησιμοποιείται για την σειριακή διασύνδεση μεταξύ ενός DTE (Data terminal equipment) και ενός DCE (Data Circuit-terminating Equipment), με εφαρμογή κυρίως στις σειριακές θύρες των υπολογιστών. Υποστηρίζει σύγχρονη και ασύγχρονη επικοινωνία. Λόγω ότι υπάρχουν για τα εισερχόμενα και εξερχόμενα δεδομένα, διαφορετικά κυκλώματα, υποστηρίζεται η αμφίδρομη επικοινωνία, εξασφαλίζοντας τη συνεχόμενη ροή δεδομένων και προς τις δύο κατευθύνσεις. Το πρωτόκολλο EIA-232 ορίζει τα μεγέθη του ηλεκτρικού σήματος όπως επίπεδα τάσης, σήματα χρονισμού και ρυθμού εναλλαγής λογικών επιπέδων (0 και 1), συμπεριφορά σε βραχυκύκλωμα και μέγιστο μήκος καλωδίου. Παρουσιάζει όμως σημαντικούς περιορισμούς όπως[20]:

- Ακολουθεί point-to-point αρχιτεκτονική, περιορίζοντας έτσι τον αριθμό των συσκευών που επικοινωνούν στον διάυλο στον αριθμό δύο
- Είναι επιρρεπές στο θόρυβο, άρα περιορισμός της απόστασης σύνδεσης μεταξύ των δύο συσκευών, με μέγιστη τιμή συνήθως τα 15μέτρα
- Τα όρια τιμών τάσης ηλεκτρικού ρεύματος (δεκτές τιμές τάσης είναι π.χ. +/- 3 V και +/- 15 V) είναι συνήθως μη συμβατά με τα περισσότερα τροφοδοτικά του εμπορίου
- Η ρύθμιση της ταχύτητας αποστολής ανάλογα με την ταχύτητα του παραλήπτη, δεν έχει σχεδιαστεί με αξιόπιστο τρόπο σε πολλές συσκευές.

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΑΥΤΟΜΑΤΙΣΜΟΥ

Π.ΡΑΛΛΗ & ΘΗΒΩΝ 250, 122 44, ΑΙΓΑΛΕΩ, ΑΘΗΝΑ, ΕΛΛΑΔΑ

ΤΗΛ.: +30-210-5381311, MSCAUTO1@TEIPIR.GR



Εικόνα 23 RS-232 PinOut

3.3.7 Τα πρωτόκολλα EIA-422 και EIA- 485

Το πρωτόκολλο EIA-422 (ή RS422) είναι ένα τεχνικό πρότυπο που παρέχει μετάδοση πληροφοριών (δεδομένων), σε ζεύγη καλωδίων, με τη διαφορά τάσης μεταξύ των δύο καλωδίων που δημιουργείται (μέθοδος που ονομάζεται διαφορική σηματοδότηση,) με τερματιζόμενες ή μη τερματιζόμενες γραμμές μετάδοσης, από σημείο σε σημείο (point-to-point) ή πολλαπλών σημείων (multi-drop)[20]. Η λειτουργία του πρωτοκόλλου EIA-422 βασίζεται στη λογική της αποστολής πληροφορίας στο ένα καλώδιο και το ακριβώς αντίθετο σήμα στο άλλο καλώδιο ώστε το άθροισμα των τάσεων στα δύο καλώδια να παραμένει σταθερό. Αυτό εξασφαλίζει μείωση θορύβου στη σύνδεση. Το πρότυπο EIA-422 χρησιμοποιεί σήματα ονομαστικής τάσης 0 και 5 V για να ξεχωρίσει τα δύο λογικά επίπεδα και



δεν επιτρέπει πολλαπλούς πομπούς παρά μόνο πολλαπλούς δέκτες (συγκεκριμένα το πολύ μέχρι 10).

Το πρωτόκολλο EIA-485 (ή RS485) είναι επέκταση του EIA-422 και πρόκειται ουσιαστικά για ένα πρότυπο καθορισμού ηλεκτρικών σημάτων του φυσικού επιπέδου του μοντέλου OSI με δύο αγωγούς που επιτυγχάνουν μονόδρομη μετάδοση (half-duplex) πολλαπλών σημείων (multi-point) σε σειριακή διασύνδεση. Εύλογο είναι ότι ακολουθεί και αυτό τη μέθοδο της διαφορικής σηματοδότησης με πλεονέκτημα πολλαπλοί πομποί μπορούν να συνδεθούν σε πολλαπλούς δέκτες, με μέγιστο αριθμό 32 πομπών και δεκτών ξεχωριστά. Το πρότυπο EIA-485 καθορίζει τα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά του πομπού (driver) και του δέκτη (receiver), με σήματα ονομαστικής τάσης μεταξύ -7 V και $+12\text{ V}$, η μία πολικότητα αναπαριστά το ένα λογικό επίπεδο και η άλλη πολικότητα το δεύτερο λογικό επίπεδο. Η διασύνδεση RS485 επιτρέπει τον σχηματισμό φθηνών τοπικών δικτύων και συνδέσεων πολλαπλών σημείων, αφού δεν απαιτεί κάποιο πρωτόκολλο δεδομένων. Σε αντίθεση με πρωτόκολλο EIA-422, οι συσκευές που συνδέονται με πρωτόκολλο EIA-485 πρέπει να τοποθετούνται σε λειτουργία μετάδοσης, στέλνοντας ένα ειδικό σήμα στη συσκευή, υλοποιώντας στη πράξη τοπολογίες με δύο καλώδια. Θεωρητικά μπορούν να χρησιμοποιηθούν τέσσερα καλώδια για την επίτευξη της αμφίδρομης μετάδοσης. Για την μείωση του θορύβου και της αποφυγής απώλειας δεδομένων απαιτείται η χρήση αντιστάσεων τερματισμού μεταξύ των δύο καλωδίων, συνήθως 120Ω [20]. Το πρωτόκολλο EIA-485 λόγω ότι μπορούν να συνδεθούν πολλά όργανα ή ελεγκτές στον ίδιο δίαυλο και την ανθεκτικότητα του στο θόρυβο και στις ηλεκτρομαγνητικές παρεμβολές το καθιστούν ιδανικό για εφαρμογές στα συστήματα SCADA και γενικότερα στην βιομηχανία.

3.3.8 Το πρωτόκολλο HART

Το πρωτόκολλο HART (Highway Addressable Remote Transducer Protocol) είναι ένα πρώιμο πρωτόκολλο επικοινωνιών Fieldbus δικτύων. Το πρωτόκολλο αναπτύχθηκε από την Rosemount Inc., στα μέσα της δεκαετίας του 1980 ως ιδιόκτητο πρωτόκολλο ψηφιακής επικοινωνίας για τα ευφυές συσκευές πεδίου.

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΑΥΤΟΜΑΤΙΣΜΟΥ

Π.ΡΑΛΛΗ & ΘΗΒΩΝ 250, 122 44, ΑΙΓΑΛΕΩ, ΑΘΗΝΑ, ΕΛΛΑΔΑ

ΤΗΛ.: +30-210-5381311, MSCAUTO1@TEIPIR.GR



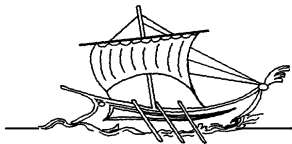
Σύντομα εξελίχθηκε σε πρωτόκολλο HART και το 1986 καταστεί ανοιχτό πρωτόκολλο. Έκτοτε, οι δυνατότητες του πρωτοκόλλου ενισχύθηκαν με διαδοχικές αναθεωρήσεις των προδιαγραφών. Το πρωτόκολλο HART λειτουργεί σε υβριδική κατάσταση (αναλογική-ψηφιακή) τύπου 4–20 mA. Αυτό σημαίνει μπορεί να εγκατασταθεί σε όργανα τα οποία είναι σχεδιασμένα να συλλέγουν δεδομένα και πληροφορίες από αισθητήρες και ενεργοποιητές που χρησιμοποιούν το πρότυπο 4-20mA, μοιραζόμενο το ζεύγος καλωδίων αυτών των παλαιότερων αναλογικών συστημάτων, καθιστώντας το από τα πιο δημοφιλή πρωτόκολλα βιομηχανικής δικτύωσης σήμερα [20]. Αυτό επιτυγχάνεται με τη χρήση της τεχνικής Frequency Shift Keying του προτύπου Bell 202 της Bell Laboratories.

Το πρωτόκολλο HART υιοθετεί σε μεγάλο βαθμό στο 7-επίπεδο μοντέλο του OSI, αφού αναφέρεται απευθείας σε 3 επίπεδα του μοντέλου OSI. Το φυσικό, το σύνδεσης δεδομένων και το επίπεδο εφαρμογών.

	OSI Layer	Function	HART
7	Application	Provides the User with Network Capable Applications	Provides the User with Network Capable Applications
6	Presentation	Converts Application Data Between Network and Local Machine Formats	
5	Session	Connection Management Services for Applications	
4	Transport	Provides Network Independent, Transparent Message Transfer	
3	Network	End to End Routing of Packets, Resolving Network Addresses	
2	Data Link	Establishes Data Packet Structure, Framing, Error Detection, Bus Arbitration	A Binary, Byte Oriented, Token Passing, Master / Slave Protocol.
1	Physical	Mechanical / Electrical Connection, Transmits Raw Bit Stream	Simultaneous Analog & Digital Signaling, Normal 4-20mA Copper Wiring

Εικόνα 24 Πρωτόκολλο HART σχετισμένο με το 7-επίπεδο μοντέλο του OSI

Το πρωτόκολλο HART ακολουθεί δύο τρόπους λειτουργίας. Στη πρώτη λειτουργία analog/digital, τα ψηφιακά σήματα μεταδίδονται μέσω του 4-20mA ρεύματος (αναλογικό σήμα). Το ρεύμα και το ψηφιακό σήμα αναφέρονται στην τιμή του οργάνου. Σε κάθε συνεστραμμένο ζεύγος καλωδίων μπορεί να συνδεθεί μόνο ένα



όργανο. Στη δεύτερη λειτουργία multidrop, μόνο ψηφιακά σήματα χρησιμοποιούνται. Το αναλογικό σήμα, ορίζεται σταθερά στα 4mA. Σε αυτή τη λειτουργία, υπάρχει δυνατότητα σύνδεσης μέχρι και 15 οργάνων σε ένα ζεύγος καλωδίων, διαχωρίζονται δε οι συσκευές αποκτώντας η κάθε μία ένα ξεχωριστό polling address.

3.3.9 Το πρωτόκολλο Conitel

Το πρωτόκολλο Conitel πρόκειται για ένα πρωτόκολλο ασύγχρονης επικοινωνίας που αναπτύχθηκε από την εταιρεία Leeds & Northrup για εφαρμογή κυρίως στα συστήματα εποπτικού ελέγχου SCADA. Χρησιμοποιείται ως πρωτόκολλο επικοινωνίας για την απευθείας επικοινωνία μίας απομακρυσμένης τερματικής συσκευής με τον Κεντρικό Εποπτικό Σταθμό (MTU) ή για την μετάδοση δεδομένων και εντολών όλων των απομακρυσμένων τερματικών συσκευών του συστήματος με τον MTU και αντιστρόφως. Για να διασφαλιστεί η ασφάλεια του βιομηχανικού δικτύου, το πρωτόκολλο Conitel ενθυλακώνει στο μεταδιδόμενο πακέτο ένα κώδικα μεγέθους 5 bits, σύμφωνα με τα πρότυπα του κυκλικού κώδικα κρυπτογράφησης. Υποστηρίζει τη λειτουργία μονόδρομης επικοινωνίας ακολουθώντας την αρχιτεκτονική Master / Slave. Ένας Master μπορεί να επικοινωνήσει με έως και 15 απομακρυσμένες τερματικές συσκευές, ενώ μια απομακρυσμένη συσκευή ένα RTU ανταποκρίνεται σε ρητά αιτήματα από τον Master. Όλα τα μηνύματα που στέλλονται, ελέγχονται αυστηρά από τον MTU. Δηλαδή, καμία απομακρυσμένη τερματική συσκευή δεν μπορεί να αποστείλει άμεσα πακέτα δεδομένων και εντολών προς μία άλλη απομακρυσμένη τερματική συσκευή, χωρίς αυτό να εγκριθεί από τον MTU. Η απομακρυσμένη συσκευή που δέχεται το μήνυμα, με τη σειρά της θα στείλει μήνυμα επιβεβαίωσης και ορθής λήψης του μεταδιδόμενου μηνύματος προς τον κεντρικό υπολογιστή MTU.



3.4 ΕΞΕΛΙΞΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ SCADA

Η εξέλιξη των συστημάτων SCADA παρότι ουσιαστικά ωρίμασαν στα τέλη του 1970 ήταν ραγδαία τα τελευταία ιδιαίτερα χρόνια και σε αυτό συνέβαλλαν κυρίων η αλματώδης εξέλιξη της τεχνολογίας των υπολογιστών, ηλεκτρονικών, αυτοματισμών και ηλεκτρολογίας καθώς και η εφαρμογή καινοτόμων τεχνολογιών σε αυτούς τους τομείς. Η εξέλιξη τους συνηθίζεται να χωρίζεται σε τέσσερις γενιές [18] :

- τα μονολιθικά συστήματα
- τα κατενημένα συστήματα
- τα δικτυωμένα συστήματα
- Internet of Things

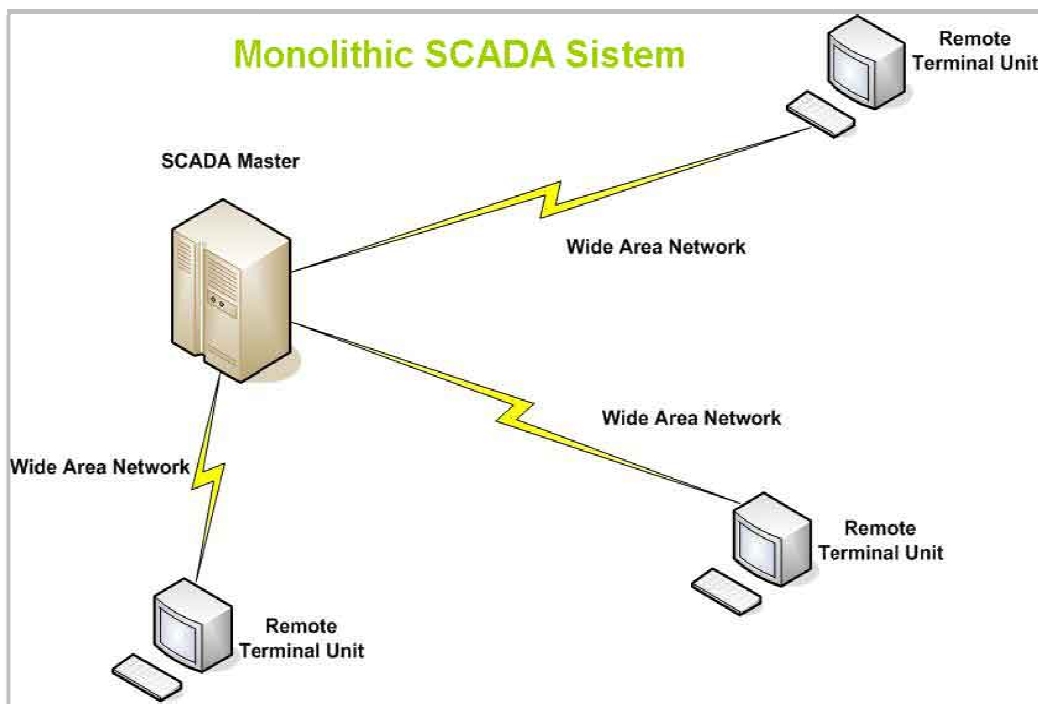
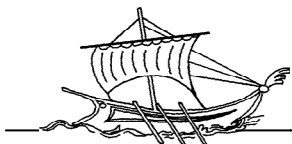
3.4.1 Μονολιθικά Συστήματα SCADA

Η 1^η γενιά συστημάτων SCADA ουσιαστικά πρόκειται για μικροϋπολογιστές, που είχαν έναν mainframe υπολογιστή μεγάλης ισχύος που ουσιαστικά σε αυτόν γινόνταν ο έλεγχος, οι αναλύσεις και η συλλογή δεδομένων. Ο πιο διαδεδομένος μικροϋπολογιστής εκείνης της εποχής στα συστήματα SCADA ήταν ο PDP-11 της Digital Equipment Corporation [18]. Λόγω ότι εκείνη την εποχή η έννοια του δικτύου και κατά επέκταση και η εφαρμογή και λειτουργία του δεν υφίσταταν, αυτά τα συστήματα SCADA ήταν αυτόνομα με καμία συνδεσιμότητα με άλλα συστήματα. Τα πρωτόκολλα επικοινωνίας που αναπτύχθηκαν από τους προμηθευτές του εξοπλισμού ήταν ιδιωτικά (κλειστά). Αποτέλεσμα των κλειστών πρωτοκόλλων ήταν να χαρακτηριστούν ως «αδύναμα», λόγω του περιορισμού στην απαραίτητη και μόνη λειτουργία τους, δηλαδή στην ανίχνευση και στον έλεγχο των σημείων στην απομακρυσμένη συσκευή χωρίς να δίνεται η δυνατότητα να ενσωματωθούν άλλοι τύποι διάδοσης δεδομένων.



Εικόνα 25 Μικρουπολογιστής της σειράς PDP-11 της Digital Equipment Corporation

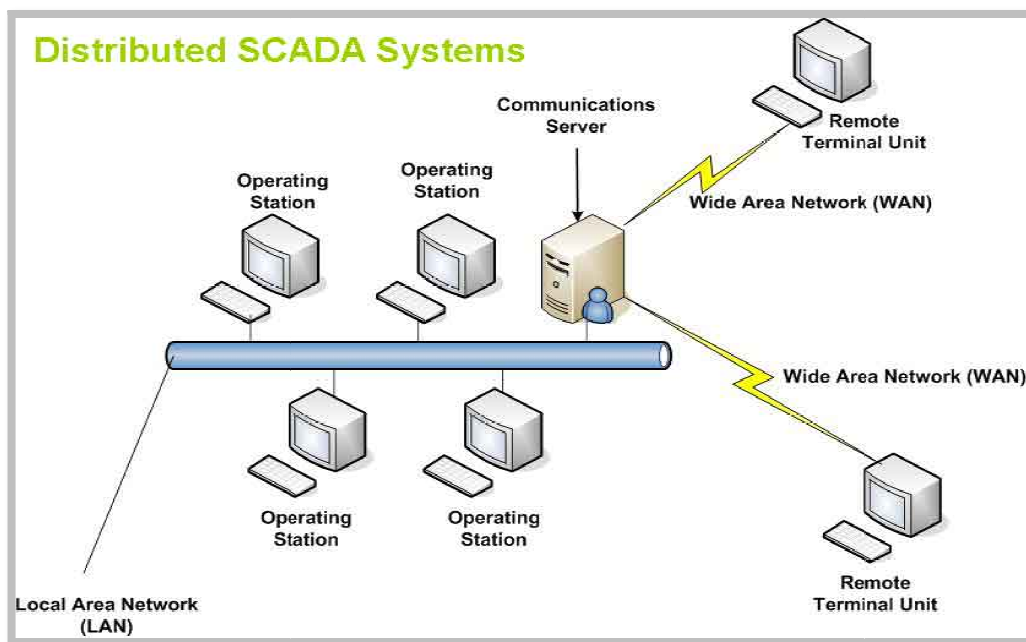
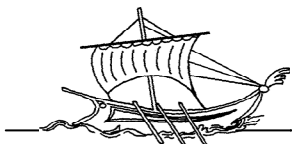
Η εφεδρεία για την ορθή λειτουργία σε αυτά τα συστήματα πρώτης γενιάς επιτύχθηκε με την χρήση δύο ομοίων εξοπλισμένων συστημάτων κεντρικών υπολογιστών, ενός κύριου (master) και ένα εφεδρικού, συνδεδεμένα στον κοινό δίαυλο (*bus*). Σκοπός του εφεδρικού συστήματος ήταν να ελέγχει τον κύριο και να αναλάβει σε περίπτωση ανιχνευμένης αποτυχίας. Αυτή η απλή λογική που είχε σχεδιαστεί το εφεδρικό σύστημα είχε ως αποτέλεσμα ότι ελάχιστη ή καμία επεξεργασία δεν γινόταν στο εφεδρικό σύστημα [20].



Εικόνα 26 Τυπικό Διάγραμμα Μονολιθικού Συστήματος SCADA

3.4.2 Κατενημένα Συστήματα SCADA

Τα κατενημένα συστήματα SCADA συνδύαζαν την βελτίωση της τεχνολογίας στη μικρογράφηση συστημάτων και στην τοπική δικτύωση (LAN) για τη διανομή της επεξεργασίας σε πολλαπλά συστήματα. Σχεδιάστηκαν έτσι ώστε τα σημεία ελέγχου των σταθμών να συνδέονται στο τοπικό δίκτυο διαμοιράζοντας τις πληροφορίες σε πραγματικό χρόνο (real time). Ουσιαστικά δηλαδή αυτοί οι σταθμοί είχαν το ρόλο μίνι υπολογιστών μειώνοντας σημαντικά το κόστος σε σχέση με τα μονολιθικά συστήματα SCADA [20]. Η δικτύωση των συστημάτων βασίστηκε στα πρωτόκολλα επικοινωνίας τοπικού δικτύου, εκείνης της εποχής, περιορίζοντας την ανάπτυξη μόνο σε τοπικά όρια. Οι προμηθευτές πρωτοκόλλων ιδιωτικής φύσης ενώ προσέφεραν βελτίωση των υπηρεσιών τους σε πραγματικό χρόνο, παρουσίαζαν ένα σημαντικό μειονέκτημα ότι δεν ήταν συμβατά με πρωτόκολλα από διαφορετικούς προμηθευτές, δημιουργώντας σοβαρά κενά στην ασφάλεια των συστημάτων SCADA αυτής της γενιάς.

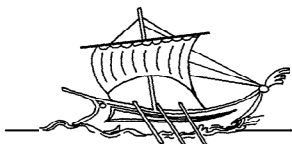


Εικόνα 27 Τυπικό Διάγραμμα Κατενημένου Συστήματος SCADA

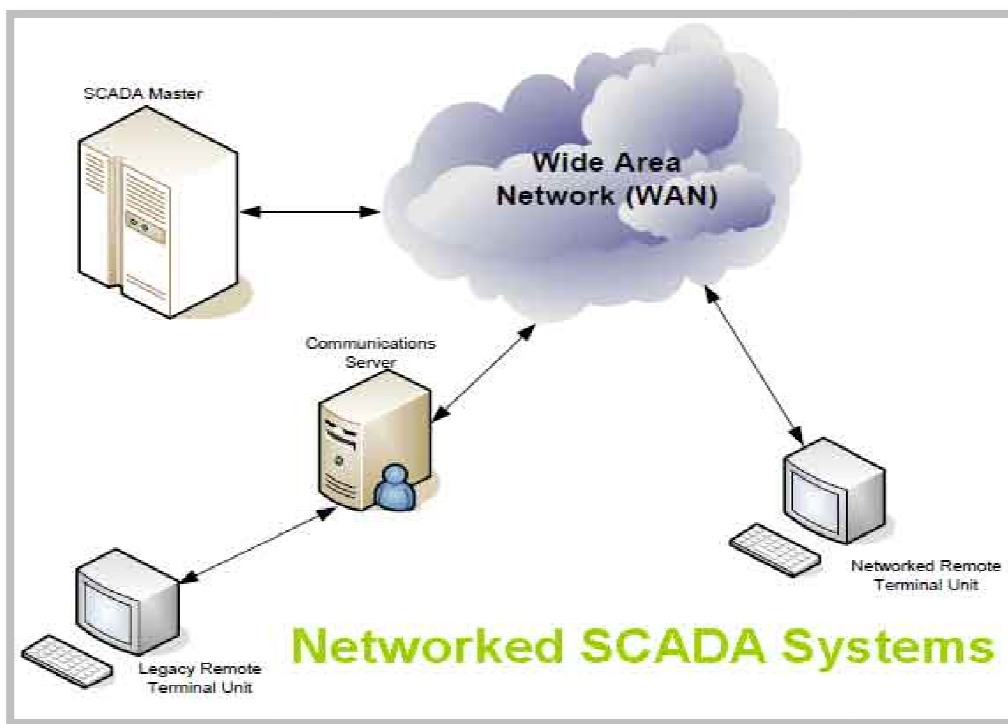
Στη περίπτωση του εφεδρικού συστήματος, τα κατενημένα συστήματα δεν ακολούθησαν αυστηρά τη λογική της προηγούμενης γενιάς αλλά ουσιαστικά όλα τα συστήματα ήταν σε λειτουργία στο τοπικό δίκτυο, οπότε όταν ένας σταθμός τίθεται εκτός λειτουργίας τότε ένας ίδιος σταθμός τίθεται σε λειτουργία χωρίς να αναμένει να ανιχνεύσει την αποτυχία από τον κύριο σταθμό στον εφεδρικό.

3.4.3 Δικτυωμένα Συστήματα SCADA

Η επόμενη γενιά συστημάτων SCADA πρόκειται για μια βελτιωμένη έκδοση της προηγούμενης γενιάς των κατενημένων συστημάτων. Τα δικτυωμένα συστήματα παρουσίασαν μια σημαντική καινοτομία, την εισαγωγή των ανοικτών προτύπων και πρωτοκόλλων και την δυνατότητα να διανείμει τη λειτουργία SCADA σε ένα δίκτυο ευρείας περιοχής (WAN) και όχι μόνο σε τοπικό (LAN), υιοθετώντας πλέον μια τυποποιημένη αρχιτεκτονική. Το δίκτυο αυτό ονομάζεται Process Control Network (PCN) και χρησιμοποιείται για τη μετάδοση πληροφοριών, χειρισμών και δεδομένων μεταξύ μονάδων ελέγχου, μέτρησης και του εξοπλισμού ενός συστήματος SCADA)



Η χρήση των ανοικτών προτύπων και πρωτοκόλλων «άνοιξε» τους περιορισμούς που είχαν οριοθετηθεί από τα ιδιωτικά πρωτόκολλα επιτρέποντας ουσιαστική βελτίωση στα λογισμικά συστήματος SCADA κύριου σταθμού από τους προμηθευτές, κυρίως του μεγάλου ανταγωνισμού που αναπτύχθηκε στην αγορά από μεγάλες εταιρείες πληροφορικής, καθώς επίσης και τη χρήση περιφερειακών συσκευών (όπως οθόνες, εκτυπωτές, σκληρούς δίσκους, κ.α.) τόσο στο σύστημα όσο και στο δίκτυο [18]. Η χρήση του πρωτοκόλλου TCP/IP Internet αποτέλεσε ίσως τη σημαντικότερη βελτίωση σε αυτή τη γενιά συστημάτων αφού ανεξαρτητοποίησε το τμήμα του κύριου σταθμού για τις επικοινωνίες των συσκευών πεδίου με το υπόλοιπο δίκτυο WAN. Επίσης η εξέλιξη στη τεχνολογία των μονάδων RTU's και η συνδεσιμότητα τους μέσω Ethernet με τον κύριο σταθμό αποτέλεσε πλεονέκτημα στη ταχύτητα μετάδοσης και επομένως στην αμεσότητα και αξιοπιστία των δεδομένων.



Εικόνα 28 Τυπικό Διάγραμμα Δικτυωμένου Συστήματος SCADA



Εύλογο είναι ότι η εφεδρεία του συστήματος SCADA αυτής της γενιάς είναι βελτιωμένη σε σχέση με τα δικτυωμένα , αφού μπορεί να αποφευχθεί η πλήρη καταστροφή του συστήματος. Αυτό επιτυγχάνεται διανέμοντας σε διάφορους σταθμούς την επεξεργασία ελαχιστοποιώντας τις απώλειες ακόμα και αν υπάρξει απώλεια του κύριου σταθμού.

Παρά τα σημαντικά οφέλη στην εξέλιξη των συστημάτων SCADA με την εισαγωγή ανοικτών πρωτοκόλλων και κυρίως του πρωτοκόλλου Internet, η συνδεσιμότητα αυτή το κατέστησε ευάλωτο σε εξωτερικούς κινδύνους μέσω του κυβερνοχώρου για οικονομικούς λόγους έως ακόμα και τρομοκρατικούς. Η ασφάλεια των συστημάτων από αυτούς τους κινδύνους αποτελεί πλέον αρκετά σημαντικό κομμάτι και αντιμετωπίζεται κυρίως με αναβαθμίσεις συστημάτων ασφαλείας καθώς επίσης με συχνό έλεγχο και συντήρηση του λογισμικού.

3.4.4 Internet of Things

Η 4^η γενιά των συστημάτων SCADA θα μπορούσε να χαρακτηριστεί από κάποιους όχι ως ένα καινοτόμο σύστημα ή εξέλιξη των δικτυωμένων συστημάτων αλλά ένας συνδυασμός τεχνολογιών και εφαρμογών. Ουσιαστικά αυτή η γενιά ενώνει τα δικτυωμένα συστήματα SCADA και το Internet of Things (IoT) και ειδικότερα το Industrial Internet of Things (IIoT).

Το Internet of Things (IoT) είναι ένα δίκτυο φυσικών αντικειμένων, συσκευών, οχημάτων, κτιρίων και άλλων αντικειμένων τα οποία παρέχουν ενσωματωμένα ηλεκτρονικά συστήματα, λογισμικά, αισθητήρες και διαδικτυακή δυνατότητα σύνδεσης, κάτι που επιτρέπει σε αυτά τα αντικείμενα να συλλέγουν και να ανταλλάζουν δεδομένα. Το IoT δίνει την δυνατότητα στα αντικείμενα αυτά να ελέγχονται απομακρυσμένα μέσω της υπάρχουσας δικτυακής υποδομής δημιουργώντας ευκαιρίες άμεσης ενσωμάτωσης του φυσικού κόσμου με τα υπολογιστικά συστήματα έχοντας ως αποτέλεσμα τη βελτίωση της



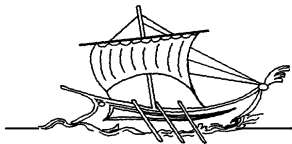
αποτελεσματικότητας και της ακρίβειας αλλά και της μείωσης του κόστους. Το IoT εξοπλίζεται με αισθητήρες και ενεργοποιητές αποτελώντας μέρος των έξυπνων συστημάτων της καθημερινότητας. Κάθε αντικείμενο αναγνωρίζεται μοναδικά από το ενσωματωμένο υπολογιστικό σύστημα και μπορεί να λειτουργεί τόσο αυτόνομα όσο και σε συνεργασία με την υπόλοιπη διαδικτυακή υποδομή.

Η εφαρμογή του IoT στη βιομηχανία ονομάζεται Industrial Internet of Things (IIoT ή Industry 4.0). Τα οφέλη της χρήσης του IIoT στη βιομηχανία και σε άλλους παρόμοιους τομείς όπως ενέργεια είναι σημαντικά, αφού επιτρέπει την απόκτηση και προσβασιμότητα πολύ μεγαλύτερων ποσοτήτων δεδομένων, σε πολύ μεγαλύτερες ταχύτητες και πολύ πιο αποτελεσματικά από πριν. Ορισμένες καινοτόμες εταιρείες έχουν αρχίσει να εφαρμόζουν την τεχνολογία IIoT αξιοποιώντας έξυπνες, συνδεδεμένες συσκευές στα εργοστάσιά τους, αφού η προηγμένη συνδεσιμότητα των συσκευών, συστημάτων και υπηρεσιών πέρα από τη μηχανή με μηχανή επικοινωνία (M2M) αφού καλύπτει μια ποικιλία από πρωτόκολλα, τομείς και εφαρμογές. Τα δεδομένα στο IoT είναι συνεχούς ροής (streaming data) με αποτέλεσμα τα δεδομένα να δημιουργούνται - σε πραγματικό χρόνο, αποθηκεύονται στη συνέχεια π.χ. στο υπολογιστικό «νέφος» (cloud) και με τη χρήση κατάλληλων μοντέλων και αλγορίθμων μπορούν εκτός από την απλή συλλογή δεδομένων να οδηγήσουν στην αυτόματη προσαρμογή των συνδεδεμένων συστημάτων ή να δημιουργούν ειδοποιήσεις. Τα πλεονεκτήματα της χρήσης του IoT και του cloud είναι τεράστια κάνοντας το αρκετά ελκυστικό και δεν είναι λίγες οι εταιρείες που έχουν αρχίσει να το εφαρμόζουν. Οι εταιρείες επωφελούνται ήδη από τη διαλειτουργικότητα μέσω της εξοικονόμησης κόστους λόγω της προβλεπτικής συντήρησης, της βελτίωσης της ασφάλειας και άλλων λειτουργικών αποτελεσμάτων. Τα δίκτυα ευφών συσκευών IIoT χαρακτηρίζονται από ευελιξία καθώς οι χειριστές μπορούν να έχουν πρόσβαση στο «νέφος» από οπουδήποτε και αν βρίσκονται οποιαδήποτε χρονική στιγμή, απαραίτητη προϋπόθεση είναι η κατοχή μιας συσκευής με δυνατότητα σύνδεσης στο διαδίκτυο με την αρμόδια εξουσιοδότηση για λόγους ασφαλείας του συστήματος, καθώς ακόμα από ελαστικότητα και μεγάλο αποθηκευτικό χώρο. Ο χειριστής έχει τη δυνατότητα να διαχειρίζεται τους πόρους που του παρέχει το «νέφος» σύμφωνα με τις ανάγκες του, δηλαδή μπορεί να αυξήσει

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΑΥΤΟΜΑΤΙΣΜΟΥ

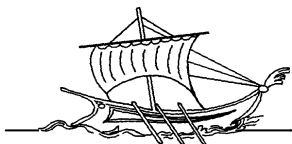
Π.ΡΑΛΛΗ & ΘΗΒΩΝ 250, 122 44, ΑΙΓΑΛΕΩ, ΑΘΗΝΑ, ΕΛΛΑΔΑ

ΤΗΛ.: +30-210-5381311, MSCAUTO1@TEIPIR.GR



την υπολογιστική ισχύ (αποθηκευτικός χώρος, μνήμη κ.α), αν αυτό απαιτηθεί από την εφαρμογή που χρησιμοποιεί.

Σαν απόρροια των παραπάνω τα συστήματα SCADA οδηγήθηκαν να συνδυάζουν και κατ'έπекταση να υιοθετούν όλο και περισσότερο την τεχνολογία IoT αφού βελτιώνει σημαντικά τη συνδεσιμότητα, την αποδοτικότητα, την επεκτασιμότητα, την εξοικονόμηση χρόνου και κόστους τόσο στις υποδομές όσο και στη συντήρηση στη βιομηχανία, στην ενέργεια, στις μεταφορές κ.α. Οι εταιρείες επωφελούνται ήδη από τη διαλειτουργικότητα μέσω της εξοικονόμησης κόστους λόγω της προβλεπτικής συντήρησης, της βελτίωσης της ασφάλειας και άλλων λειτουργικών αποτελεσμάτων. Τα συστήματα SCADA, χρησιμοποιώντας την οριζόντια κλίμακα στην αρχιτεκτονική του «νέφους», επεκτείνονται άμεσα και εύκολα με περιφερειακές συσκευές με χαμηλότερο κόστος. Η εφαρμογή του data modeling στα δεδομένα και μετρήσεις ενός συστήματος SCADA βελτιώνει την λειτουργία του αφού το λογισμικό του συστήματος χρησιμοποιεί την εικονική αναπαράσταση καθεμιάς από τις συσκευές που υπάρχουν στο εποπτικό σύστημα και όχι όπως εφαρμοζόταν δηλαδή τα δεδομένα και οι μετρήσεις οι οποίες αντλούνταν σε τοπικό επίπεδο, από διαφορετικές συσκευές ελέγχου και στη συνέχεια γινόταν γραφικά η απεικόνιση του στο περιβάλλον του χρήστη [17]. Προβλήματα συμβατότητας στις επικοινωνίες μεταξύ των συσκευών και μεταφοράς δεδομένων που μπορεί να παρουσιαστούν αντιμετωπίζονται με τη χρήση καταλλήλων πρωτοκόλλων που έχουν αναπτυχθεί με πιο συνήθες να εφαρμόζεται σε βιομηχανικό επίπεδο το Message Queueing Telemetry Transport (MQTT). Η ασφάλεια των συστημάτων SCADA σε αυτή την γενιά γίνεται πιο απαραίτητη από ποτέ λόγω της ύπαρξης του διαδικτύου με τις κυβερνοεπιθέσεις πιο απειλητικές από ποτέ. Τον Ιούνιο του 2010 η εταιρεία VirusBlokAda κατήγγειλε την πρώτη ανίχνευση κακόβουλου λογισμικού που επιτίθεται σε συστήματα SCADA (συστήματα WinCC / PCS 7 της Siemens). Το κακόβουλο πρόγραμμα καλείται Stuxnet το οποίο ήταν ικανό μεταξύ άλλων να επέμβει και να αλλάξει το σύστημα ελέγχου χωρίς να γίνει αντιληπτό. Το κακόβουλο αυτό λογισμικό εντοπίστηκε σε 14 συστήματα εποπτικού ελέγχου SCADA, τα περισσότερα από τα οποία βρίσκονταν στο Ιράν [17]. Η ασφάλεια, η ιδιωτικότητα και η ακεραιότητα των δεδομένων επιτυγχάνεται με την χρήση πρωτοκόλλων



κρυπτογράφησης, όπως το Transport Layer Security (TLS) και ο προκάτοχος του, το Secure Sockets Layer (SSL), τα οποία συχνά αναφέρονται ως απλά "SSL".

3.5 ΣΥΓΧΡΟΝΑ ΚΑΤΑΝΕΜΗΜΕΝΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ SCADA

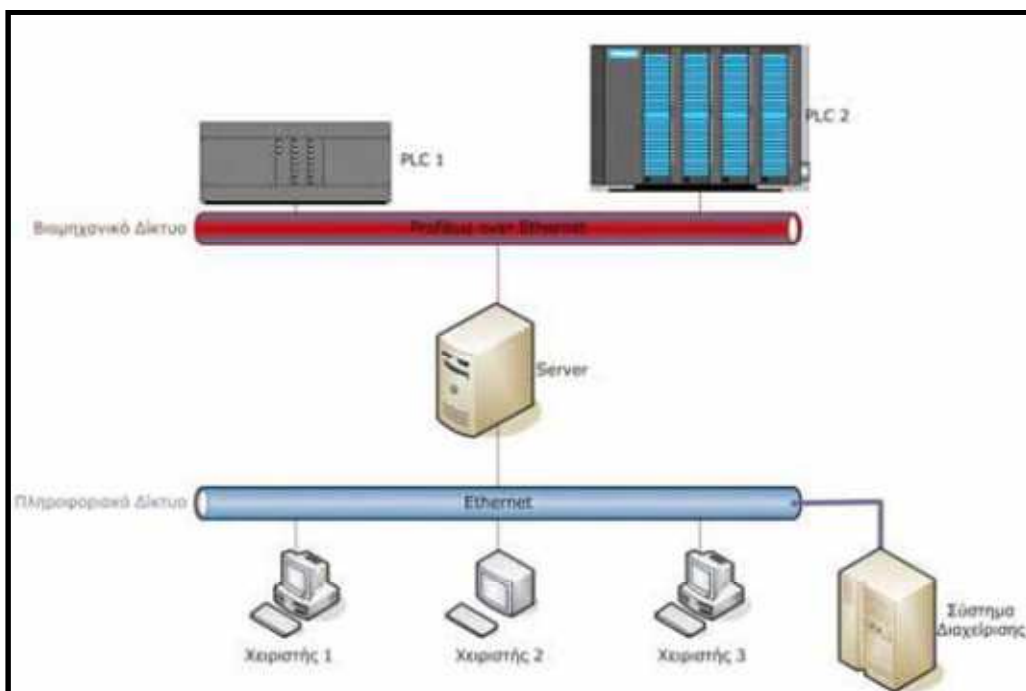
Μια επιτυχημένη εγκατάσταση SCADA εξαρτάται από τη χρήση αποδεδειγμένης και αξιόπιστης τεχνολογίας, με επαρκή και ολοκληρωμένη εκπαίδευση του συνόλου του προσωπικού στη λειτουργία του συστήματος. Υπάρχει ιστορικό μη επιτυχημένων συστημάτων SCADA, εξαιτίας παραγόντων όπως ανεπαρκή ολοκλήρωση των διαφόρων συνιστωσών του συστήματος, περιττή πολυπλοκότητα στο σύστημα, αναξιόπιστο υλικό και μη-αποδεδειγμένο λογισμικό. Σήμερα η αξιοπιστία του υλικού είναι λιγότερο πρόβλημα, αλλά το αυξανόμενο λογισμικό, του οποίου η πολυπλοκότητα δημιουργεί νέες προκλήσεις.

Τα σύγχρονα συστήματα SCADA έχουν μεταφερθεί σε διακομιστές (Servers) με λειτουργικό πρόγραμμα Windows NT/2000 και Linux για την συλλογή και επεξεργασία των δεδομένων και σταθμούς εργασίας Windows NT/2000 Workstation και Windows/XP για την οπτική παρουσίαση και την εποπτεία των διεργασιών, ενώ οι αρχικές μετρήσεις, καθώς και ο αυτόματος έλεγχος εκτελείται σε PLCs. Επίσης, η αυξανόμενη εφαρμογή πρωτόκολλων πληροφοριακού (Ethernet, Token Ring) και βιομηχανικού (Profibus, Modbus, DNP3) δικτύου και η βελτίωση της συμβατότητας συνέβαλλε στην εφαρμογή αυτών.

Μέσω των οθονών εποπτείας από τους σταθμούς εργασίας δίνεται η δυνατότητα στους χειριστές να παρακολουθούν και να επεμβαίνουν στις διεργασίες, χωρίς όμως ουσιαστικά να εκπίπτει κίνδυνος εμπλοκής στον αυτόματο έλεγχο που διεξάγεται από τα PLCs. Ουσιαστικά πρόκειται για μια συνεργασία δύο συστημάτων, του συστήματος ελέγχου που διεξάγει το σύστημα SCADA και του αυτόματου ελέγχου διεργασιών και βρόχων που εκτελούν τα PLCs, που ονομάζεται σύστημα διανεμημένου ελέγχου (Distributed Control System - DCS) [21]. Αξίζει να αναφερθεί ότι το σύστημα SCADA δεν εκτελεί έλεγχο της προόδου της διεργασίας,



αλλά καταγράφει και εποπτεύει τις καταστάσεις της, καθώς και τα γεγονότα που προκύπτουν από αυτήν. Τον έλεγχο της προόδου της διεργασίας το εκτελεί το σύστημα DCS.



Εικόνα 29 Αρχιτεκτονική δομή σύγχρονου κατακεντρωμένου συστήματος SCADA

Τα σύγχρονα συστήματα SCADA απαιτείται να είναι εξαιρετικά φιλικά ως προς τον χρήστη αλλά και να μην απαιτούν ιδιαίτερες γνώσεις προγραμματισμού.

3.6 ΒΑΣΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΚΑΙ ΚΥΡΙΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΕΣ ΤΩΝ ΣΥΓΧΡΟΝΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ SCADA

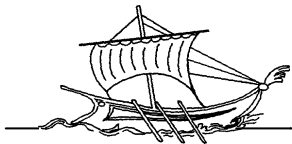
Ανακεφαλαιώνοντας τα βασικά χαρακτηριστικά ενός σύγχρονου συστήματος SCADA είναι[21]:

- Εξωτερική πρόσβαση, η φυσική σύνδεση με το περιβάλλον. Σχετίζεται με τα μέσα διασύνδεσης όπως τα πρωτόκολλα επικοινωνίας όπως Profibus ή ακόμα τα δίκτυα Ethernet αλλά και RS-485, κάρτες για υπολογιστές κ.α.

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΑΥΤΟΜΑΤΙΣΜΟΥ

Π.ΡΑΛΛΗ & ΘΗΒΩΝ 250, 122 44, ΑΙΓΑΛΕΩ, ΑΘΗΝΑ, ΕΛΛΑΔΑ

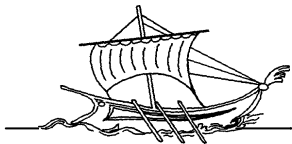
ΤΗΛ.: +30-210-5381311, MSCAUTO1@TEIPIR.GR



- Ενημέρωση για κρίσιμες τιμές μεταβλητών και συμβάντα
- Αποστολή σημάτων ελέγχου στον απομακρυσμένο εξοπλισμό.
- Μηχανή υπολογισμών. Αυτό επιτρέπει στο σύστημα να υπολογίζει υπόλοιπα, μέσες τιμές, στατιστικά και ότι πληροφορίες μπορεί να πηγάζουν από τα δεδομένα που παρέχουν οι διεργασίες.
- Δικτυακή πρόσβαση, η δυνατότητα να γίνεται εποπτεία και έλεγχος από απομακρυσμένα σημεία.
- Πρόσβαση σε βάσεις δεδομένων. Πολλά πακέτα SCADA προσφέρουν απευθείας καταχώρηση και ανάκτηση δεδομένων από κεντρικούς διακομιστές όπως Oracle, Microsoft SQL Server και γενικά όλες τις συμβατές με ODBC ή ADO βάσεις δεδομένων.
- Κατά περίπτωση προγραμματισμός. Τα διάφορα πακέτα επιτρέπουν διάφορα επίπεδα διαμόρφωσης κατά περίπτωση. Μερικά προμηθεύουν βιβλιοθήκες C ή επιτρέπουν την προσθήκη λειτουργιών, άλλα επιτρέπουν την εκτέλεση scripts σε VBA (Visual Basic for Applications) ή Java.
- Καταγραφή και παρουσίαση δεδομένων

Ενώ οι κύριες λειτουργίες ενός σύγχρονου συστήματος SCADA περιληπτικά μπορούν να περιγραφούν ως παρακάτω:

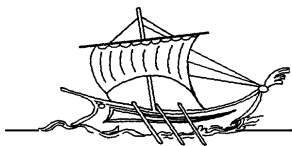
- Συλλογή δεδομένων και έλεγχος κλειστού βρόγχου από τις περιφερειακές συσκευές (RTUs, PLCs & IEDs)
- Αποθήκευση και ανάλυση των δεδομένων και αναπαράσταση τους μέσω γραφημάτων
- Διαχείριση Συναγερμού, σε περιπτώσεις σφάλματος δηλαδή όταν τα δεδομένα πάρουν μη επιτρεπτές τιμές, τότε το σύστημα μέσω ηχητικού ή οπτικού σήματος ή ακόμα και συνδυασμό των δύο, ειδοποιεί τον χειριστή, ο οποίος δρα αναλόγως
- Καταγραφή ιστορικού αρχείου δεδομένων με την αποθήκευση, πληροφοριών, εντολών και χειρισμού του συστήματος με δυνατότητα αναζήτησης και ανασκόπησης παρελθοντικών πληροφοριών



- Οθόνη πληροφοριών με γραφική απεικόνιση των τμημάτων της διεργασίας σε μιμικά διαγράμματα και παρουσιάσεις των δεδομένων με ενεργά πεδία και χρωματικές εναλλαγές καταστάσεων και θέσεων π.χ. διακοπών
- Υποστήριξη διπλού υπολογιστικού συστήματος με αυτόματη εναλλαγή σε περίπτωση που θα κριθεί απαραίτητο
- Έλεγχος της πρόσβασης χειριστών στα διάφορα υποσυστήματα του συστήματος SCADA
- Μεταφορά δεδομένων σε άλλα τμήματα του κεντρικού συστήματος πληροφόρησης και διαχείρισης και εξαγορά δεδομένων (data calculation)

3.7 ΟΦΕΛΗ ΚΑΙ ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΤΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ SCADA

Τα συστήματα SCADA όπως αναλύθηκε σε προηγούμενες παραγράφους πρόκειται για συστήματα συλλογής δεδομένων και εποπτικού ελέγχου σε πραγματικό χρόνο. Η χρήση τέτοιων συστημάτων υιοθετείται όλο και περισσότερο τα τελευταία χρόνια κυρίως των οφελών και πλεονεκτημάτων που παρουσιάζουν. Χρησιμοποιούνται ευρέως για διεργασίες στον τομέα της κατασκευής, της παραγωγής προϊόντων, της παραγωγής, μεταφοράς και διανομής ηλεκτρικής ενέργειας. Επίσης σε διεργασίες υποδομής, οι οποίες μπορεί να είναι δημόσιες ή ιδιωτικές όπως η επεξεργασία νερού και η διανομή του, η συλλογή και επεξεργασία των λυμάτων και τα μεγάλα επικοινωνιακά συστήματα. Σε εγκαταστάσεις όπως κτίρια, αεροδρόμια, πλοία και διαστημικούς σταθμούς και σε μεταφορές όπως συστήματα ελέγχου εναερίου δικτύου και υποσταθμών που ασχολείται η μελέτη αυτή. Τα οφέλη εφαρμογής ενός τέτοιου συστήματος και τα πλεονεκτήματα χρήσης που προκύπτουν στον βιομηχανικό έλεγχο του οργανισμού περιγράφονται σε αυτή την παράγραφο.



Τα αναμενόμενα οφέλη εφαρμογής ενός συστήματος SCADA είναι:

- Βελτιωμένη ποιότητα, λόγω αξιοποίησης όλων των παρεχόμενων πόρων στο μέγιστο δυνατό βαθμό ως προς τη βέλτιστη χρήση του εξοπλισμού
- Καταγραφή και αποθήκευση πληροφοριών, σχετικά με την παραγωγή και τη διαχείρισή της
- Βελτιωμένη αξιοπιστία, λόγω της πρόγνωσης και διάγνωσης βλαβών του εξοπλισμού και έγκαιρο εντοπισμό τους, για τη μεγιστοποίηση της διαθεσιμότητάς του
- Μειωμένο λειτουργικό κόστος, λόγω βέλτιστης χρήσης των εσωτερικών πηγών ενέργειας και μείωσης του κόστους εργασίας
- Συντήρηση / Επέκταση της πελατειακής βάσης και παροχή υπηρεσιών υψηλής αξίας, εξαιτίας της ευελιξίας και προσαρμοστικότητας της παραγωγής κάτω από συνεχώς μεταβαλλόμενες συνθήκες αγοράς
- Μειωμένο κόστος εφαρμογής του συστήματος, λόγω ελαχιστοποίηση του κόστους συντήρησης του εξοπλισμού υποδομής (όπως μηχανές, περιφερειακές συσκευές)

Από τη σκοπιά του ανθρώπινου παράγοντα ορισμένα οφέλη της χρήσης των συστημάτων SCADA ενδεικτικά είναι:

- Περιορισμός του ρόλου του ανθρώπινου παράγοντα στον τομέα του ελέγχου και μόνο.
- Περιορισμός των χειρωνακτικών εργασιών.
- Βελτίωση των συνθηκών ασφαλείας λόγω ελαχιστοποίησης του κινδύνου εργατικού ατυχήματος.
- Ελαχιστοποίηση ανθρώπινου λάθους.

Το όφελος εφαρμογής συστημάτων SCADA σε διάφορους βιομηχανικούς κλάδους για παρακολούθηση και έλεγχο σε πραγματικό χρόνο απορρέει πλεονεκτήματα άμεσα και μακροπρόθεσμα τόσο ως προς τον οργανισμό και τον εργαζόμενο που το



εφαρμόζει, ξεχωριστά όσο και προς τη σχέση μεταξύ τους. Μερικά από τα πλεονεκτήματα είναι τα κάτωθι [21]:

- Δυνατότητα στη διοίκηση και τους μηχανικούς να προβάλουν πληροφορίες στην επιφάνεια εργασίας του υπολογιστή τους, ανεξάρτητα της θέσης της πηγής δεδομένων.
- Οι χειριστές μπορούν να χρησιμοποιούν οθόνες PCs που τρέχουν Microsoft Windows για να εποπτεύουν ή και να ελέγχουν τον εξοπλισμό, μέσω εύχρηστων και φιλικών γραφικών
- Οι ενημερώσεις κρίσιμων καταστάσεων (συναγερμοί) μπορούν να γίνονται με ηχογραφημένα μηνύματα τα οποία μπορούν να εκπέμπονται αυτόματα μέσω τηλεφώνων, ασυρμάτων, δικτύων ηλεκτρονικών υπολογιστών κτλ
- Αποθήκευση και ανάκτηση «ιστορικών» δεδομένων, για συμπεράσματα και διάγνωση σφαλμάτων
- Απομακρυσμένος έλεγχος και ρύθμιση εξοπλισμού χωρίς να απαιτείται η φυσική παρουσία τεχνικού προσωπικού
- Χρήση εύχρηστων και οικονομικών προσωπικών υπολογιστών ως τερματικές συσκευές, λόγω ότι είναι πιο εύκολο και οικονομικό να αναβαθμιστούν ή να υποστούν μετατροπές από ότι ένας εξειδικευμένος εξοπλισμός.
- Η εφαρμογή σύγχρονων και οικονομικών πρωτοκόλλων δικτύου (π.χ. Ethernet) που αναβαθμίζονται και προσαρμόζονται εύκολα προσφέρει αξιόπιστη δικτυακή επικοινωνία μεταξύ υλικού διαφορετικών κατασκευαστών.
- Τεχνική υποστήριξη και συντήρηση του συστήματος από τον προμηθευτή

Παρά τα οφέλη και πλεονεκτήματα που παρουσιάζει η εφαρμογή ενός συστήματος SCADA στη σύγχρονη βιομηχανία δυστυχώς παρουσιάζει και μειονεκτήματα κατά την ενσωμάτωση του σε έναν βιομηχανικό οργανισμό. Λόγω ότι τα συστήματα SCADA για να υλοποιηθούν είναι αρκετά απαιτητικά αφού πρόκειται για πολύπλοκα συστήματα αρκετά δαπανηρά αλλά και εξειδικευμένα ως προς τον εξοπλισμό που χρειάζονται. Σε μονάδες μεγάλης γεωγραφικής έκτασης απαιτούνται

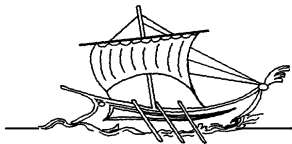
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΑΥΤΟΜΑΤΙΣΜΟΥ

Π.ΡΑΛΛΗ & ΘΗΒΩΝ 250, 122 44, ΑΙΓΑΛΕΩ, ΑΘΗΝΑ, ΕΛΛΑΔΑ

ΤΗΛ.: +30-210-5381311, MSCAUTO1@TEIPIR.GR



πολύπλοκες συνδέσεις όπου ορισμένες φορές είναι δύσκολο να υλοποιηθούν. Εξαιτίας αυτών των παραγόντων πολλές φορές ένα σύστημα SCADA δεν υλοποιείται σωστά από την αρχή ή λόγω του συνεχούς αυξανόμενου κόστους που απαιτείται για να υλοποιηθεί δημιουργείται μεγάλη χρονική καθυστέρηση ή αποφυγή χρήσης σωστού εξοπλισμού για τη μείωση του κόστους, με απόρροια να μη προσφέρει τα αναμενόμενα οφέλη. Επίσης στο κομμάτι συντήρησης του συστήματος απαιτείται ανθρώπινο δυναμικό με πολλές τεχνικές γνώσεις για την άρτια συντήρηση του, δηλαδή ο οργανισμός θα πρέπει να εκπαιδεύει συνεχώς το προσωπικό του και πιθανόν τη πρόσληψη εξειδικευμένου προσωπικού για καλύτερα αποτελέσματα. Τέλος, ένα από τα μειονεκτήματα των συστημάτων SCADA είναι «γέννημα» της σημερινής εποχής και της εισόδου του διαδικτύου στην βιομηχανία. Εξαιτίας των κενών ασφαλείας που παρουσιάζουν τα καθιστούν ευάλωτα σε υποκλοπή και παραποίηση διαδικασιών, υποχρεώνοντας τις εταιρείες να ακολουθήσουν στρατηγικές ασφαλείας για να διαφυλάξουν τα συστήματά τους αυξάνοντας επομένως τα κόστη λειτουργίας.



4 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ γραμμής TRAM

Όπως αναφέρθηκε στην αρχή της μελέτης στο κεφάλαιο 1, η γραμμή TRAM Αθηνών που λειτούργησε εκ νέου το 2004, υλοποιήθηκε με όλες τις σύγχρονες τεχνολογίες και καινοτομίες στα πρότυπα άλλων συστημάτων μεταφοράς γραμμής TRAM που εφαρμόστηκαν επιτυχώς σε ευρωπαϊκές πόλεις με κύριο γνώμονα του Βερολίνου και των Βρυξελλών, πληρώνοντας τα ευρωπαϊκά πρότυπα[2]. Οι τεχνικές προδιαγραφές που λήφθηκαν υπόψη στην υλοποίηση του έργου, συνδυάζοντας τις ιδιαιτερότητες μιας μεγάλης αστικής πόλης όπως αυτή των Αθηνών, οι τρεις βασικοί άξονες υλοποίησης του έργου είναι το όχημα, ο υποσταθμός έλξης (Υ/Σ Έλξης) και η χάραξη του δικτύου.

Ο υποσταθμός έλξης (Υ/Σ Έλξης) αποτελεί τη μία από τις δύο συνιστώσες που απαρτίζουν το Σύστημα Ισχύος Έλξης (ΣΙΕ) της γραμμής TRAM. Το ΣΙΕ είναι ο πυρήνας του συστήματος μεταφοράς του τραμ, αφού είναι υπεύθυνο για την παραγωγή, μεταφορά και διανομή του ηλεκτρικού ρεύματος και κατά επέκταση της ηλεκτρικής ενέργειας για την κίνηση των οχημάτων. Το Σύστημα Ανάρτησης Αλυσοειδούς (ΣΑΑ) είναι η δεύτερη συνιστώσα και ευθύνεται για τη διανομή και μεταφορά του ηλεκτρικού ρεύματος [22]. Συναντιέται συνήθως με τον όρο Εναέριο Δίκτυο ή αλλιώς με την ξένη ορολογία του catenary. Λόγω της εξαιρετικής σημασίας για την άρτια λειτουργία και αξιοπιστία του ΣΙΕ, η ανάγκη άμεσου και αδιάλειπτου ελέγχου κρίνεται απαραίτητη και επιτυγχάνεται με την εφαρμογή ενός σύγχρονου συστήματος SCADA.

Σε αυτό το κεφάλαιο θα γίνει ανάλυση της τεχνολογίας ενός υποσταθμού έλξης, τη συσχέτιση του με το Εναερίου Δικτύου της γραμμής TRAM και την εφαρμογή του συστήματος SCADA για την εποπτεία, τον έλεγχο και των τηλεχειρισμό των εγκαταστάσεων Υ/Σ Έλξης και Εναερίου Δικτύου που χρησιμοποιείται.

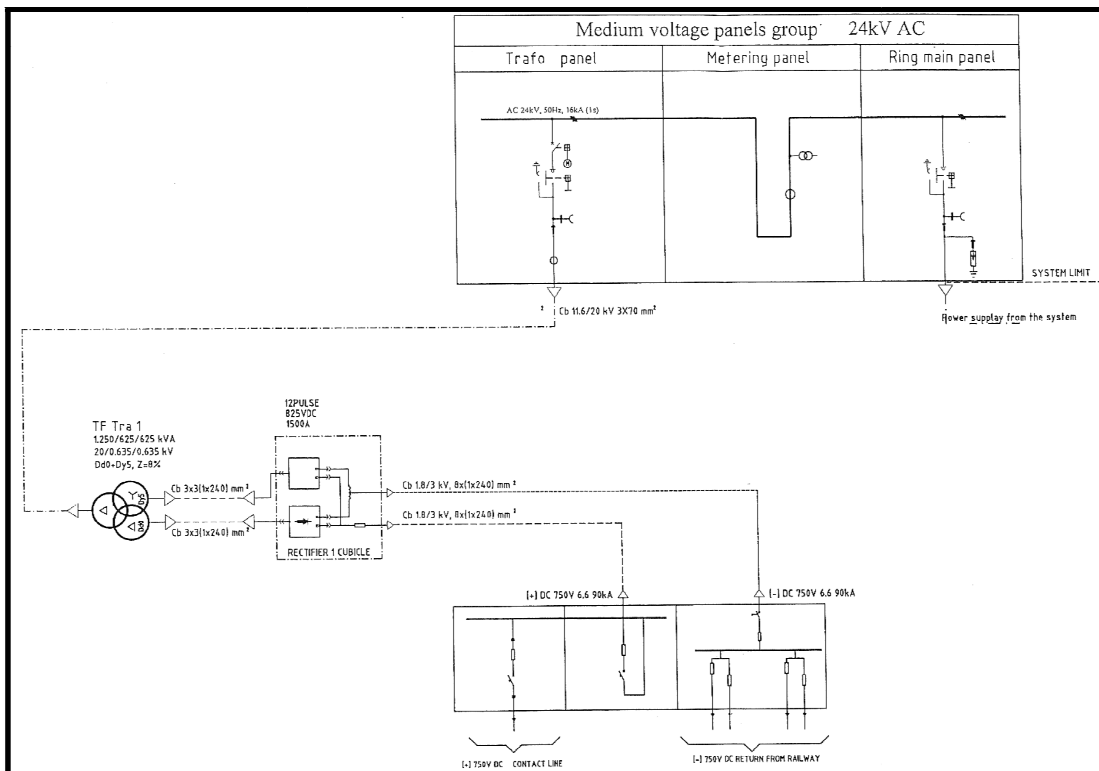


4.1 ΥΠΟΣΤΑΘΜΟΣ ΕΛΞΗΣ (Υ/Σ Έλξης) [22]

Η ηλεκτροδότηση της γραμμής TRAM υποστηρίζεται συνολικά από 15 Υ/Σ Έλξης, εκ των οποίων οι 14 είναι εγκατεστημένοι κατά μήκος του δικτύου και ο 15^{ος} βρίσκεται στο αμαξοστάσιο Ελληνικού, σε ένα σύνολο 25χλμ περίπου τροchioδρόμου. Οι Υ/Σ Έλξης τροφοδοτούν την απαραίτητη ηλεκτρική ενέργεια στα οχήματα Τραμ, με τέτοιο τρόπο που να καθίσταται δυνατή η ασφαλής και αξιόπιστη λειτουργία τους όλες τις ώρες και υπό όλες τις συνθήκες. Συγκεκριμένα ο ρόλος των Υ/Σ Έλξης είναι να μετατρέπουν το παρεχόμενο ρεύμα και εν συνεχεία να τροφοδοτούν το σύστημα ανάρτησης αλυσοειδούς (ΣΑΑ), μέσω του οποίου τα οχήματα Τραμ λαβαίνουν την ζητούμενη ενέργεια εξ' επαφής. Η απόσταση μεταξύ διαδοχικών Υ/Σ του τροchioδρόμου του Τραμ, κυμαίνεται από 1,3χλμ έως 2,3χλμ και έχει καθοριστεί από την εμπειρία σε παρόμοια συστήματα και εξομοίωση συστήματος.

Οι Υ/Σ Έλξης δεν έχουν όλοι τα ίδια χαρακτηριστικά ως προς το μέγεθος ισχύος του εξοπλισμού που περιέχουν, επειδή οι ανάγκες εξυπηρέτησης κάθε περιοχής διαφέρουν μεταξύ τους. Σε όλους όμως τους Υ/Σ συναντάται ο παρακάτω τυπικός εξοπλισμός:

- Ηλεκτρικός Πίνακας Μέσης Τάσης (MT) 20KV
- Μετασχηματιστής (M/T) Ανορθωτή 20 KV / 0.635 KV / 0.635 KV AC, 50Hz
- Ανορθωτής Έλξης 635V AC / 850V DC
- Ηλεκτρικός Πίνακας Συνεχούς Ρεύματος (ΣΡ) 850V
- Βοηθητικός Πίνακας Χαμηλής Τάσης (XT) 400 V / 230 V AC – 110 V DC για την εξυπηρέτηση των φορτίων εσωτερικής υπηρεσίας του Υ/Σ.
- Συστοιχία συσσωρευτών 110V ΣΡ (DC)
- Σύστημα Αδιάλειπτης Τροφοδοσίας (UPS)
- Σύστημα Εποπτείας, Ελέγχου και Συλλογής Δεδομένων SCADA

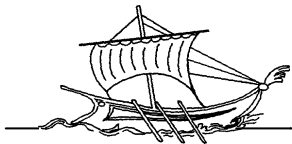


Εικόνα 30 Τυπικό Μονογραμμικό σχέδιο Υ/Σ Έλεξης γραμμής TRAM

Αναλυτικότερα για κάθε ένα από τα μέρη του τυπικού εξοπλισμού περιγράφονται παρακάτω.

4.1.1 Πίνακας Μέσης Τάσης

Αποτελεί το πρώτο το πρώτο τμήμα εξοπλισμού μετά τον τερματισμό της παροχής της ΔΕΗ και πριν το Μ/Τ Ανορθωτή Έλεξης. Αποτελείται από τα εξής πεδία: εισόδου, μέτρησης, εξόδου και τροφοδοσίας. Το πεδίο εισόδου χρησιμοποιείται για την είσοδο της γραμμής παροχής από την ΔΕΗ , εξοπλισμένο με τριπολικό αποζεύκτη – διακόπτη φορτίου τριών θέσεων (OPEN, CLOSED, EARTH). Το πεδίο μέτρησης εξοπλίζεται με μετασχηματιστές τάσης και έντασης, που υποβιβάζουν τις τιμές της παροχής 20 KV σε τιμές μετρήσιμες από την μετρητική συσκευή . Το πεδίο εξόδου (από 1 μέχρι 3 ανάλογα τον Υ/Σ) τροφοδοτεί και προστατεύει τον Μ/Σ (από 1 μέχρι 3). Αυτό επιτυγχάνεται με τον εξοπλισμό του πεδίου με έναν τριπολικό διακόπτη ισχύος 630 A/ 20 KA κενού μονωμένο σε αέριο



εξαφθοριούχο θείο (SF6) με ηλεκτρικό χειρισμό και μηχανικό – χειροκίνητο μηχανισμό ελατηρίου και έναν τριπολικό αποζεύκτη – διακόπτη φορτίου τριών θέσεων (OPEN, CLOSED, EARTH). Για την προστασία του πίνακα χρησιμοποιούνται οι ηλεκτρονόμοι Siprotec 4 7SJ625 της εταιρείας SIEMENS και στο πεδίο μέτρησης ως μετρική συσκευή το SIMEAS P της ίδια εταιρείας. Αναφορά σε αυτές τις συσκευές θα γίνει στη συνέχεια στη συσχέτιση τους με το σύστημα SCADA.

4.1.2 Μετασηματιστής (M/T) Ανορθωτή

Πρόκειται για έναν τριφασικός μετασηματιστής έλξης εποξικής ρητίνης (cast-resin) που έχει 1 πρωτεύον και 2 δευτερεύοντα τυλίγματα, ώστε να εξασφαλιστεί η ανόρθωση 12 παλμών. Έχουν εγκατασταθεί ένας ή δύο τύποι μετασηματιστή (με βάση την ισχύ τους) ανάλογα με τις ανάγκες κάθε Υ/Σ Έλξεως. Ο μετασηματιστής υποβιβάζει την τάση εισόδου 20 KV σε 635 V (τάση λειτουργίας ανορθωτή) και ψύχεται με φυσική κυκλοφορία αέρα. Έχει χρησιμοποιηθεί ο τύπος GEAFOL της SIEMENS, ο οποίος είναι εξοπλισμένος με αισθητήρες θερμοκρασίας PT100 στα τυλίγματα και στους πυρήνες και ελέγχεται από ηλεκτρονόμο θερμοκτικής προστασίας T154, που σε κατάσταση υπερθέρμανσης δίνει τις απαραίτητες εντολές στο διακόπτη ισχύος.

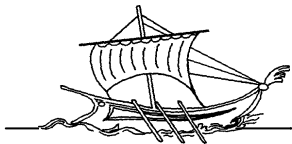
4.1.3 Ανορθωτής Έλξης

Λαμβάνει το ΕΡ εξόδου του μετασηματιστή (635 V) και το μετατρέπει σε ΣΡ τάσης 8750 V εκτελώντας πλήρη ανόρθωση 12 παλμών. Για τον σκοπό αυτό χρησιμοποιούνται 12 δίοδοι συνδεδεμένες σε 2 6- φασικές γέφυρες παράλληλα συνδεδεμένες, που ψύχονται με φυσική κυκλοφορία αέρα Σε περίπτωση διακοπής του δικτύου, ο καταναλωτής τροφοδοτείται από την συστοιχία των συσσωρευτών, ενώ κατά την επάνοδο του δικτύου ο ανορθωτής αρχίζει να λειτουργεί και πάλι αυτόματα Ο ανορθωτής διατίθεται με αυτόματο αποζεύκτη στο κύκλωμα τροφοδοσίας, το οποίο εξασφαλίζει προστασία έναντι υπέρτασης ή βραχυκυκλώματος στο κύκλωμα εισόδου του ανορθωτή.

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΑΥΤΟΜΑΤΙΣΜΟΥ

Π.ΡΑΛΛΗ & ΘΗΒΩΝ 250, 122 44, ΑΙΓΑΛΕΩ, ΑΘΗΝΑ, ΕΛΛΑΔΑ

ΤΗΛ.: +30-210-5381311, MSCAUTO1@TEIPIR.GR



4.1.4 Ηλεκτρικός Πίνακας Συνεχούς Ρεύματος (ΣΡ) 850V

Αποτελείται από 3 πεδία: εισόδου ανορθωτή, τροφοδότησης εναερίου δικτύου και επιστροφής.

Το πεδίο εισόδου ανορθωτή (Incoming) χρησιμοποιείται για την σύνδεση της εξόδου του ανορθωτή στους ζυγούς τροφοδοσίας του πίνακα και προστατεύεται από έναν ψηφιακό ηλεκτρονόμο. Το πεδίο τροφοδότησης εναερίου δικτύου (Feeder) τροφοδοτεί με ισχύ το εναέριο δίκτυο μέσω των τροφοδοτικών καλωδίων, που αναχωρούν από κάθε Υ/Σ Έλξεως και σε αυτό το πεδίο υπάρχει ψηφιακός ηλεκτρονόμος προστασίας της γραμμής. Ο ηλεκτρονόμος αυτός εκτελεί προστασίες όπως δοκιμές στην εναέρια γραμμή (line test) για την ανίχνευση απομακρυσμένων σφαλμάτων ή ύπαρξη σφαλμάτων καθώς επίσης μετριέται η αντίσταση της εναέριας γραμμής στα επιθυμητά όρια τάσης ώστε να βρεθεί κατάλληλη για τροφοδότηση.

Στα δύο πεδία εισόδου ανορθωτή και τροφοδότησης η σύνδεση επιτυγχάνεται μέσω ενός συρόμενου μονοπολικού διακόπτη ισχύος υψηλής ταχύτητας διακοπής. Στη πρόσοψη κάθε πεδίου υπάρχουν οι ενδείξεις τάσης και έντασης μέσω ενός βολτομέτρου και αμπερομέτρου. Οι διακόπτες αυτοί είναι σε μορφή φορείου που δύναται να συρθεί εκτός πεδίου. Οι διακόπτες ισχύος ανοίγουν αυτόματα σε περίπτωση απώλειας βοηθητικού ρεύματος των 110V DC, που χρησιμοποιείται για την προστασία των κυκλωμάτων λειτουργίας του πίνακα και των κυκλωμάτων χειρισμού των διακοπών.

Τέλος, το πεδίο επιστροφής χρησιμοποιείται για την σύνδεση των καλωδίων επιστροφής από τις σιδηροτροχιές στον ανορθωτή μέσω χειροκίνητων μονοπολικών αποζευκτών. Για κάθε γραμμή τροφοδότησης εναερίου δικτύου αντιστοιχεί 1 διακόπτης φορτίου. Στο πεδίο εντοπίζονται τις ηλεκτρονόμος προστασίας (voltage relay), που ελέγχει την τάση του αρνητικού πόλου (του δυναμικού τις σιδηροτροχιάς δηλαδή) ως τις γη και τις contactor, που συνδέει τις σιδηροτροχιές με την γη όταν το δυναμικό υπερβεί τα επιτρεπτά όρια.



4.1.5 Βοηθητικός Πίνακας Χαμηλής Τάσης (XT) 400 V / 230 V AC – 110 V DC για την εξυπηρέτηση των φορτίων εσωτερικής υπηρεσίας του Υ/Σ.

Τα δύο αυτά βοηθητικά κυκλώματα παρέχουν ενέργεια για την λειτουργία όλων των υποσυστημάτων ενός Υ/Σ Έλξης. Η τριφασική παροχή των 400 V χρησιμοποιείται για την λειτουργία του συστήματος κλιματισμού / αερισμού, των κυκλωμάτων φωτισμού / ρευματοδοτών και του ανορθωτή 110 V. Με την βοήθεια κατάλληλου ανορθωτή το EP 400 V μετατρέπεται σε ΣΡ 110 V και τροφοδοτεί τα κυκλώματα χειρισμών στο εσωτερικό των πινάκων μέσης και χαμηλής τάσης, στον πίνακα προστασίας μετασχηματιστή, τα κυκλώματα ενδείξεων των πινάκων καθώς και τα κυκλώματα του συστήματος SCADA. Για μεγαλύτερη αξιοπιστία της βοηθητικής παροχής ΣΡ συνδέεται παράλληλα και ένα σύστημα αδιάλειπτης τροφοδοσίας (UPS) 110 V. Οι ενδείξεις τάσεως και ρεύματος δίνονται οπτικά με δύο τρόπου: μέσω μετρικών οργάνων στην πρόσοψη του πίνακα και με λυχνίες κατάστασης. Ο πίνακας προστατεύεται από αυτόματους διακόπτες ασφαλείας MCB, που λειτουργούν εξαρτώμενων των εντολών από τους ηλεκτρονόμους προστασίας της κάθε γραμμής.

4.1.6 Συστοιχία συσσωρευτών 110V ΣΡ (DC) & Σύστημα Αδιάλειπτης Τροφοδοσίας (UPS)

Ο ρόλος των δύο αυτών συστημάτων είναι ουσιαστικά ο ίδιος αφού είναι υπεύθυνα για την παροχή 110 V DC σε περίπτωση μη λειτουργίας του ανορθωτή 110 V, στο πίνακα βοηθητικών κυκλωμάτων

4.1.7 Σύστημα Εποπτείας, Ελέγχου και Συλλογής Δεδομένων SCADA

Για το σύστημα SCADA που εφαρμόζεται θα γίνει εκτενή αναφορά στη συνέχεια της μελέτης αφού αποτελεί κύριο άξονα αυτής.



4.2 ΤΡΟΦΟΔΟΤΗΣΗ ΕΝΑΕΡΙΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ

Η ηλεκτρική ενέργεια από τους Υ/Σ Έλξης τροφοδοτεί το ΣΑΑ μέσω κατάλληλων τροφοδοτικών αγωγών (feeders). Όλοι οι Υ/Σ Έλξης έχουν σχεδιαστεί με ενιαίο και απλό τρόπο και περιλαμβάνουν:

- Έναν ή δύο ανορθωτές έλξης και
- Δύο ή τρεις τροφοδότες (feeders) εξόδου με ένα διακόπτη ισχύος για κάθε έναν τροφοδότη (feeder).

Το εναέριο δίκτυο χωρίζεται ηλεκτρικά σε τμήματα, μέσω κατάλληλων σημείων τομής (απομονωτών), οι οποίοι συνήθως εντοπίζονται πλησίον των Υ/Σ Έλξης. Μεταξύ των πλευρές των σημείων της τομής, οι τροφοδότες (feeders) ενός Υ/Σ Έλξης συνδέονται στους αγωγούς επαφής και στις δύο γραμμές του Τραμ.

Τα καλώδια των τροφοδοτών (feeders) προστατεύονται και από αντικεραυνικές διατάξεις έναντι υπερτάσεων στα σημεία σύνδεσής τους με την εναέρια γραμμή. Κατάλληλοι γεφυρωτικοί αποζεύκτες (bypass switches) δίνουν την δυνατότητα «παράκαμψης» των σημείων τομής και συνένωσης όμορων τομέων του εναερίου δικτύου.

Το όχημα Τραμ είναι ο καταναλωτής φορτίου ενώ ταυτόχρονα «ολοκληρώνει» το ηλεκτρικό κύκλωμα (Υ/Σ Έλξης – ΣΑΑ – Φορτίο – Επιστροφή) επιτρέποντας την επιστροφή ρεύματος στους Υ/Σ Έλξης αρχικά μέσω των σιδηροτροχιών. Εν συνεχεία τα καλώδια επιστροφής συνδέονται από τις σιδηροτροχιές των γραμμών απευθείας επάνω στους Υ/Σ και συγκεκριμένα στον αρνητικό πόλο του ανορθωτή [22].

Η λογική αυτής της συνδεσμολογίας των Υ/Σ με το εναέριο δίκτυο επιτρέπει σε κάθε τμήμα του ΣΑΑ να τροφοδοτείται από 2 γειτονικούς Υ/Σ Έλξης, ώστε να εξασφαλίζεται η συνέχεια της λειτουργίας του δικτύου σε περίπτωση εμφάνισης δυσλειτουργίας, σφάλματος ή συντήρησης σε κάποιον Υ/Σ. Σε περίπτωση που και ο δεύτερος Υ/Σ παρουσιάσει πρόβλημα τροφοδοσίας, τότε μέσω ρύθμισης του

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΑΥΤΟΜΑΤΙΣΜΟΥ

Π.ΡΑΛΛΗ & ΘΗΒΩΝ 250, 122 44, ΑΙΓΑΛΕΩ, ΑΘΗΝΑ, ΕΛΛΑΔΑ

ΤΗΛ.: +30-210-5381311, MSCAUTO1@TEIPIR.GR



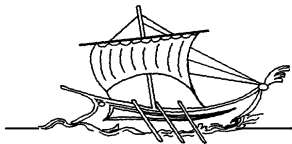
φορτίου της κυκλοφορίας το συγκεκριμένο τμήμα του δικτύου δύνεται να τροφοδοτηθεί από τον επόμενο στην σειρά Υ/Σ. Απαραίτητη προϋπόθεση για τη πραγματοποίησή του είναι να προηγηθεί ο αρμόδιος χειρισμός των γεφυρωτικών αποξευκτών, ώστε να υπάρξει συνένωση τμημάτων του εναέριου δικτύου και εν συνεχεία το ενιαίο τμήμα να τροφοδοτηθεί από τους παρακείμενους Υ/Σ.

4.3 ΣΥΣΤΗΜΑ ΕΠΟΠΤΕΙΑΣ, ΕΛΕΓΧΟΥ ΚΑΙ ΣΥΛΛΟΓΗΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ SCADA

Η αναγκαιότητα ελεγχού για την άρτια λειτουργία του Συστήματος Ισχύος Έλξης (ΣΙΕ) της γραμμής TPAM είναι απαραίτητη για λόγους που εξηγήθηκαν στην αρχή αυτού του κεφαλαίου. Πρόκειται για ένα ΣΙΕ σχετικά μεγάλου γεωγραφικού εύρους ζώνης, περίπου 25χλμ. τροchioδρόμου και 50χλμ εναερίας γραμμής διπλής κατεύθυνσης σε ποσοστό μεγαλύτερο του 90% κατά μήκος του δικτύου. Εύλογο είναι ότι για σωστό έλεγχο του ΣΙΕ κρίθηκε απαραίτητη η εφαρμογή ενός συστήματος SCADA.

Το σύστημα SCADA που εφαρμόζεται στη γραμμή TPAM πρόκειται για ένα σύγχρονο κατενημένο σύστημα προσαρμοσμένο στις ανάγκες της εταιρείας. Εγκαταστάθηκε εξ αρχής με την έναρξη λειτουργίας του TPAM στη πόλη των Αθηνών το 2004, από την εταιρεία Emon Electric.

Σκοπός του συστήματος SCADA, είναι ο κεντρικός έλεγχος λειτουργίας καθώς και ο τηλεχειρισμός των Υ/Σ Έλξης, μέσω των απεικονήσεων σε πραγματικό χρόνο (Real Time) των διαφορών μεταβολών, μεγεθών και καταστάσεων του εξοπλισμού του συστήματος, που συγκεντρώνονται από τους τοπικούς υπολογιστές μέσω συμβατών διεθνών αναγνωρισμένων πρωτοκόλλων επικοινωνίας και διαβιβάζονται στον κεντρικό υπολογιστικό σταθμό (MTU-Server) του συστήματος στο Κέντρο Ελέγχου Λειτουργίας γραμμής TPAM (Κ.Ε.Λ.- OCC). Η εποπτεία και ο έλεγχος του συστήματος SCADA του εναέριου δικτύου και των Υ/Σ Έλξης της TPAM πραγματοποιείται από τον Ελεγκτή Ισχύος που βρίσκεται στο Κέντρο Ελέγχου



Λειτουργίας. Η θέση του Ελεγκτή Ισχύος είναι θέση Ηλεκτρολόγου Μηχανικού αφού απαιτεί ηλεκτρολογικές γνώσεις τόσο σε επίπεδο Υ/Σ Έλξης και εναερίου δικτύου όσο και χειρισμού SCADA. Η θέση εργασίας είναι βάρδια, κυλιόμενη 24ώρες/7ημέρες, αφού για λόγους ασφαλείας απαιτείται 24ώρη παρακολούθηση του δικτύου.

4.3.1 Γενική περιγραφή συστήματος SCADA

Η λογική μοντέλου που ακολουθεί το εφαρμοσμένο σύστημα SCADA συνοπτικά μπορεί να περιγραφεί ως εξής: η εποπτεία και ο έλεγχος λειτουργίας των Υ/Σ Έλξης καθώς και οι χειρισμοί των διακοπών γίνονται μέσω συστήματος τοπικών υπολογιστών/συλλογή δεδομένων (Device Information Processor-DIP Client) και ενδιάμεσων κόμβων συγκέντρωσης και μεταφοράς δεδομένων (Full Server), οι οποίοι με τη σειρά τους καταλήγουν στον κεντρικό υπολογιστή σταθμό (MTU-Server), που βρίσκεται στο Κ.Ε.Λ. γραμμής TPAM, στο αμαξοστάσιο Ελληνικού. Κάθε ενδιάμεσος Full Server (3 συνολικά), πέρα ότι αποτελεί τον τοπικό υπολογιστή του Υ/Σ στο οποίο είναι εγκατεστημένος, παράλληλα συλλέγει δεδομένα από άλλους τέσσερις Υ/Σ που επικοινωνούν με αυτόν και τα διαβιβάζει στον κεντρικό υπολογιστή (Server) του συστήματος SCADA και αντίστροφα. Το σύστημα SCADA επεξεργάζεται πάνω από 6000 δεδομένα και τους 15 Υ/Σ Έλξης καθημερινά [23].

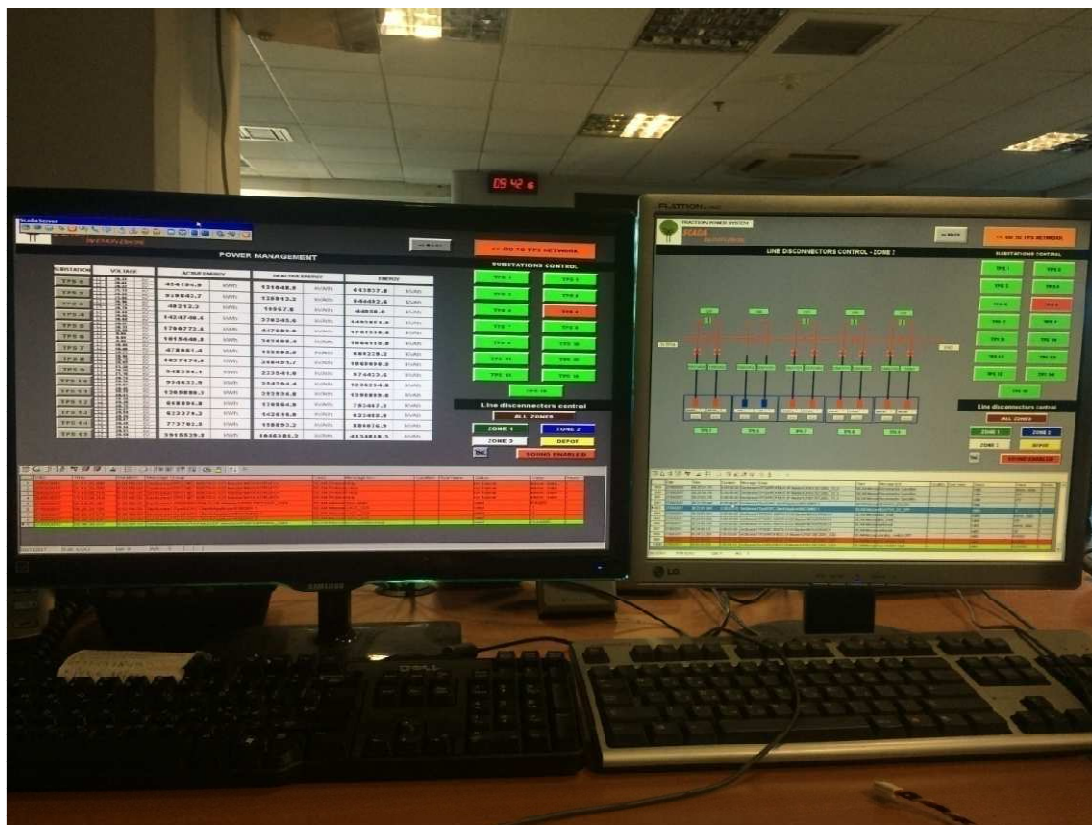
4.3.2 Αναλυτική περιγραφή συστήματος SCADA

Ουσιαστικά το σύστημα αποτελείται από 15 τοπικούς υπολογιστές, εγκατεστημένοι ένας σε κάθε Υ/Σ Έλξης κατά μήκος του δικτύου, που αποτελούν μέρος των περιφερειακών μονάδων του συστήματος. Οι 3 από αυτούς τους υπολογιστές είναι οι ενδιάμεσοι κόμβοι συγκέντρωσης και μεταφοράς δεδομένων προς τον MTU, που βρίσκεται στο Κ.Ε.Λ. Στο χώρο του Κ.Ε.Λ. βρίσκεται ο Ελεγκτής Ισχύος όπου μέσω της διεπαφής HMI εκτελεί την εποπτεία, τον έλεγχο και τον τηλεχειρισμό.

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΑΥΤΟΜΑΤΙΣΜΟΥ

Π.ΡΑΛΛΗ & ΘΗΒΩΝ 250, 122 44, ΑΙΓΑΛΕΩ, ΑΘΗΝΑ, ΕΛΛΑΔΑ

ΤΗΛ.: +30-210-5381311, MSCAUTO1@TEIPIR.GR



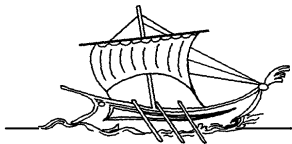
Εικόνα 31 Οθόνες MTU και HMI(workstation/operation computer) στο Κ.Ε.Α. γραμμής ΤΡΑΜ

➤ Λογισμικό Πρόγραμμα Συστήματος SCADA [23]

Ο κεντρικός υπολογιστής του συστήματος SCADA (MTU) λειτουργεί σε περιβάλλον Windows Server 2000/ Service Pack 4 και έχει εγκαταστημένες τις εφαρμογές WIN CC V6.00 & SICAM PAS CC V5.01 της εταιρείας SIEMENS και εφαρμόζει τεχνολογία OPC. Κάθε τοπικός υπολογιστής αποτελείται από ένα τύπου βιομηχανικό υπολογιστή τύπου rack, στο οποίο είναι εγκατεστημένες τρεις βασικές κάρτες επικοινωνίας :

- APPLICOM , PROFIBUS FMS PCU1500PFB
- SIEMENS PROFIBUS DP, CP5613
- MOXA CP-114IS

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΑΥΤΟΜΑΤΙΣΜΟΥ
Π.ΡΑΛΛΗ & ΘΗΒΩΝ 250, 122 44, ΑΙΓΑΛΕΩ, ΑΘΗΝΑ, ΕΛΛΑΔΑ
ΤΗΛ.: +30-210-5381311, MSCAUTO1@TEIPIR.GR



Μέσω των οποίων συλλέγονται μεταξύ άλλων σημάτων, όλες οι πληροφορίες για τη κατάσταση και τη θέση των διακοπών του Υ/Σ και τα διάφορα αναλογικά μεγέθη των τάσεων και των εντάσεων.

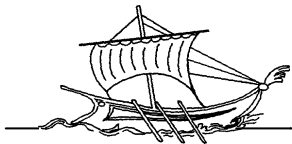
Οι τοπικοί υπολογιστές λειτουργούν σε περιβάλλον Windows XP Professional/Service Pack 2. Οι εφαρμογές που είναι εγκατεστημένες σε αυτούς είναι βασισμένη στο πρόγραμμα SICAM PAS V5.00.26 της εταιρείας SIEMENS. Συγκεκριμένα στους τρεις υπολογιστές που ενεργούν ως servers, οι εφαρμογές που είναι εγκατεστημένες είναι:

- SICAM PAS FULL SERVER V5.00,
- SICAM PAS PROFIBUS DP MASTER,
- SICAM PAS IEC-103 MASTER και
- SICAM PAS OPC Client.

Οι υπόλοιποι τοπικοί υπολογιστές (DIP Client) έχουν τα λογισμικά

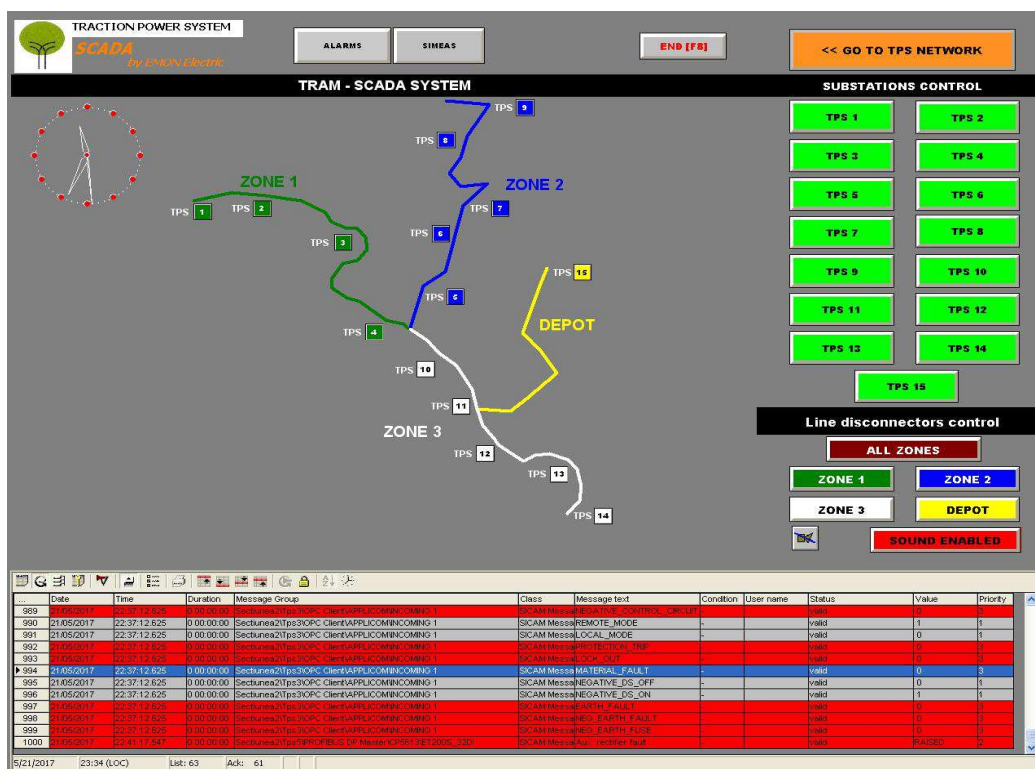
- SICAM PAS DIP,
- SICAM PAS Driver for PROFIBUS DP,
- SICAM PAS Driver for IEC-103 και
- SICAM PAS OPC Client.

Η λογική διασύνδεση από τη κάρτα APPLICOM στο DIP Client γίνεται μέσω ενός OPC Client-Server link. Σε περίπτωση που ο τοπικός υπολογιστής τεθεί εκτός λειτουργίας λόγω βλάβης ή σφάλματος, τότε η απομακρυσμένη εποπτεία, έλεγχος και χειρισμός του εκάστοτε Υ/Σ Έλξης είναι αδύνατη και για λόγους ασφαλείας ο Υ/Σ τίθεται εκτός λειτουργίας μέχρι αποκατάστασης του προβλήματος. Σημειώνεται όμως ότι μέχρι να γίνει απενεργοποίηση του Υ/Σ ότι τυχόν δεδομένα και πληροφορίες υπάρχουν στα συστήματα του Υ/Σ αυτά δεν χάνονται αλλά μεταφέρονται στο MTU μέσω του τοπικού υπολογιστή όταν αποκατασταθεί η λειτουργία του αφού τα συστήματα έχουν καταγραφή μνήμης για κάποιο χρονικό διάστημα.

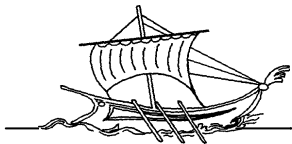


➤ Κεντρικός Υπολογιστικός Σταθμός (Master Terminal Unit- MTU) και Σύστημα Επικοινωνίας Ανθρώπου-Μηχανής (Human Machine Interface- HMI)

Ο κεντρικός υπολογιστής σταθμός (Server) του συστήματος SCADA MTU, που βρίσκεται στο Κ.Ε.Λ. συλλέγει και επεξεργάζεται όλα τα δεδομένα των Υ/Σ Έλξης και τα μετασηματίζει σε γραφική απεικόνιση, δηλαδή απεικονίζονται οι καταστάσεις των Υ/Σ, σήματα alarm και βασικά μεγέθη αυτών, τα οποία είναι είναι προσβάσιμα στην οθόνη του χειριστή (operation computer). Ο υπολογιστής που χρησιμοποιεί ο χειριστής χρησιμοποιεί περιβάλλον Windows XP/Service Pack 3 και μέσω GUI's (Graphical User Interfaces – Γραφικά Περιβάλλοντα Χρήσης) ο έλεγχος και η εποπτεία του εξοπλισμού καταστείται φιλική και εύχρηστη. Ακολουθεί μια τυπική εικόνα του συστήματος που παρακολουθεί ο χειριστής.



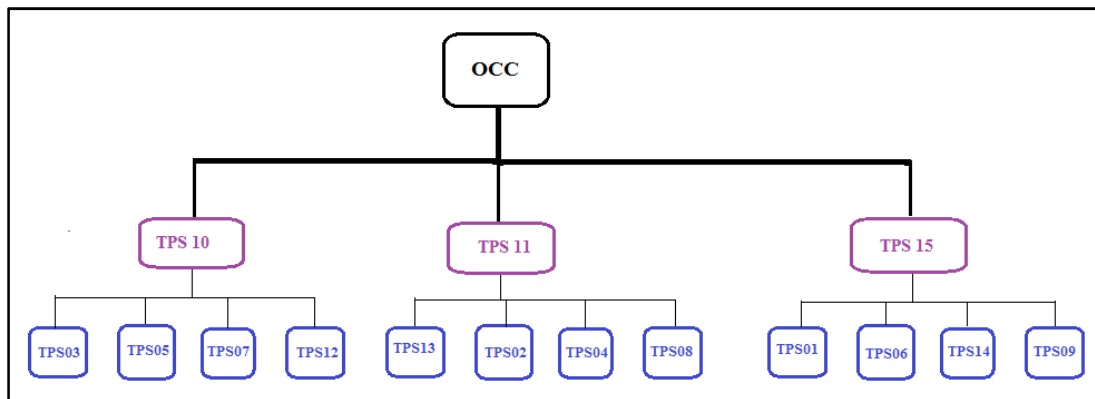
Εικόνα 32 Γραφική απεικόνιση χωροθέτησης των Υ/Σ Έλξης στο δίκτυο



➤ Δίκτυο Επικοινωνίας [24]

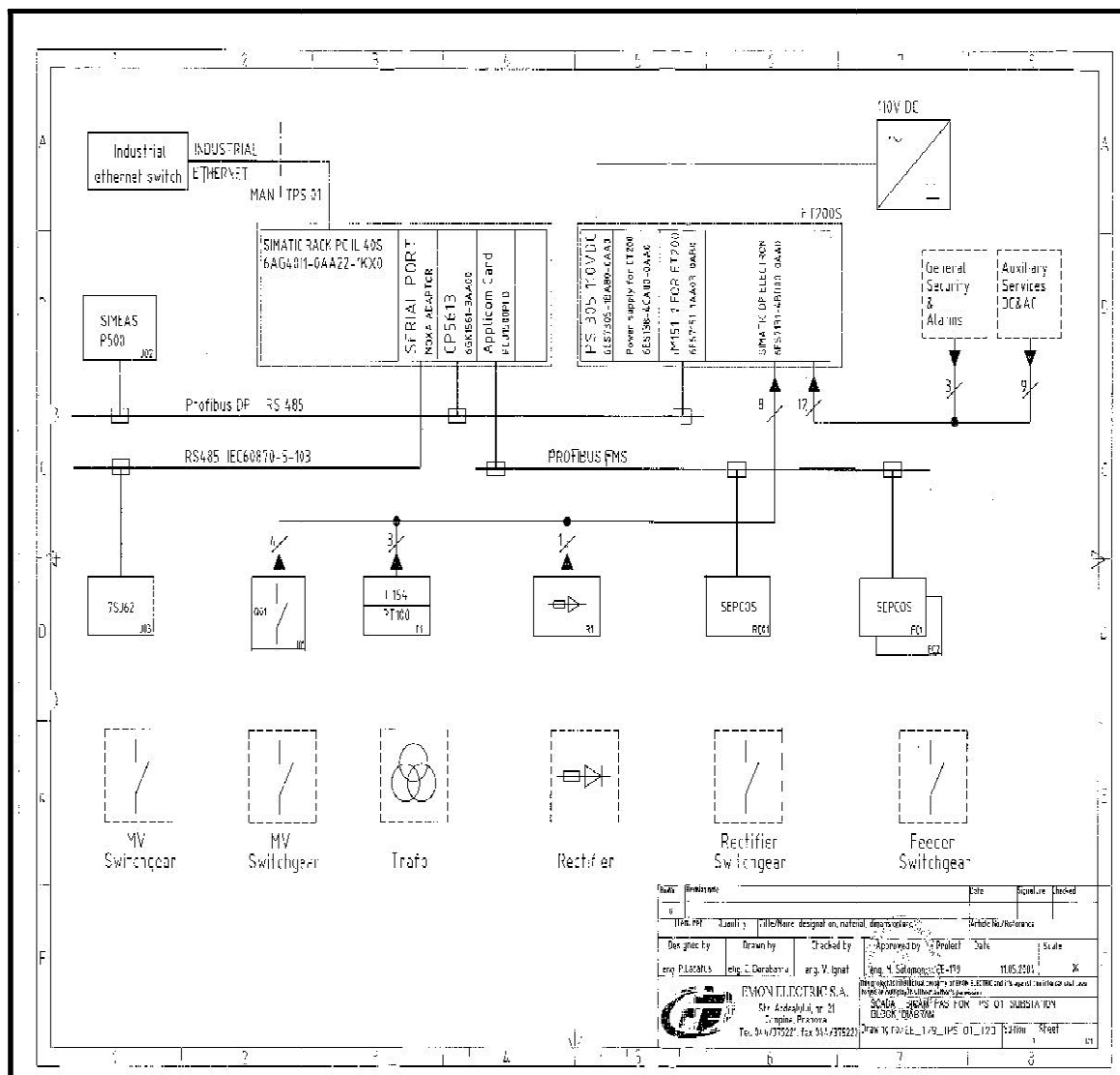
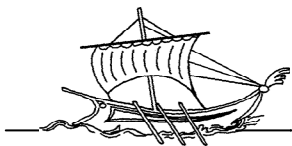
Στο κομμάτι του δικτύου επικοινωνίας, όλοι οι υπολογιστές του συστήματος SCADA βρίσκονται σε ανεξάρτητο virtual LAN (VLAN) δίκτυο του μητροπολιτικού δικτύου της γραμμής Τραμ ((metropolitan area network ή MAN), κατασκευασμένο εξολοκλήρου από οπτικές ίνες, χρησιμοποιώντας τα πρότυπα του Ethernet και συγκεκριμένα του βιομηχανικού (Industrial Ethernet) για τη δικτύωση. Η εφαρμογή ενός VLAN οφείλεται κυριώς για λόγους απλούστευσης, ασφάλειας, διαχείρισης κυκλοφορίας και οικονομία. Για την επικοινωνία δεδομένων χρησιμοποιούνται οι υπηρεσίες του διακομιστή SIMATIC NET OPC που συνδυάζει: Industrial Ethernet/Profinet, Profibus και SNMP OPC Server ως λογισμικού λόγω της συμβατότητας του το σύστημα WinCC HMI.

Το δίκτυο επικοινωνίας που χρησιμοποιείται μπορεί να χωριστεί να δύο τμήματα. Το πρώτο τμήμα αφορά την επικοινωνία μεταξύ των τοπικών υπολογιστών (DIP Client) και ενδιάμεσων κόμβων συγκέντρωσης και μεταφοράς δεδομένων (Full Server), οι οποίοι με τη σειρά τους καταλήγουν στον κεντρικό υπολογιστικό σταθμό (MTU-Server), χρησιμοποιώντας πρωτόκολλο επικοινωνίας TCP/IP συναρτήσει του προτύπου Ethernet, όπως προαναφέρθηκε. Κάθε τοπικός υπολογιστής αντιστοιχεί σε μία μοναδική IP που επικοινωνεί με τον αντίστοιχο ενδιάμεσο κόμβο για τη μεταφορά δεδομένων. Με τη σειρά του ο κάθε ενδιάμεσος κόμβος έχει τη δική του μοναδική IP. Σε περίπτωση σφάλματος ή βλάβης που οδηγεί σε απώλεια επικοινωνίας δικτύου ενός τοπικού υπολογιστή με τον κύριο ενδιάμεσό του, τότε αναδρομολογείται αυτόματα από το σύστημα η εύρεση εναλλακτικής διαδρομής επικοινωνίας του τοπικού υπολογιστή με το υπόλοιπο δίκτυο SCADA. Για τον έλεγχο των λογισμικών του κάθε υπολογιστή, η πρόσβαση μπορεί να γίνει και απομακρυσμένα με τη χρήση προγράμματος “Remote desktop” χρησιμοποιώντας την αντίστοιχη IP του Υ/Σ που ζητείται πρόσβαση και τον απαραίτητο κωδικό πρόσβασης για την είσοδο στο σύστημα.



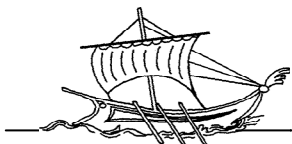
Εικόνα 33 Σχέδιο Αρχιτεκτονικής Δικτύου SCADA Υ/Σ Έλξης γραμμής TPAM

Το δεύτερο κομμάτι της επικοινωνίας του συστήματος SCADA αφορά το βιομηχανικό επίπεδο, δηλαδή την επικοινωνία των συστημάτων του Υ/Σ τόσο για παρακολούθηση της ευρύθμης λειτουργία του εξοπλισμού του εσωτερικά όσο και εξωτερικά συναρτήσει της εναέριας γραμμής, με τον τοπικό υπολογιστή. Η επικοινωνία αυτή εδραιώνεται με τη χρήση των διεθνών αναγνωρισμένων πρωτοκόλλων Profibus DP, Profibus FMS και RS-485, τα οποία συνδέονται με τις κάρτες επικοινωνίας του τοπικού υπολογιστή για να μεταφέρουν τα δεδομένα και να δεχτούν εντολές και χειρισμούς. Το μπλοκ διάγραμμα επικοινωνίας ενός Υ/Σ φαίνεται στην εικόνα που ακολουθεί.



Εικόνα 34 Block διάγραμμα δικτύου επικοινωνίας σε έναν Υ/Σ Έλξης

Αναλύοντας την παραπάνω εικόνα φαίνονται πως τα πρωτόκολλα που χρησιμοποιούνται ευθύνονται για τη μεταφορά των δεδομένων στον τοπικό υπολογιστή. Για παράδειγμα το τροφοδοτικά φορεία (feeder & incoming) μέσω της κάρτας SEPCOS και ως επικοινωνία το Profibus FMS μεταφέρουν τα δεδομένα στη κάρτα APPLICOM. Από τον πίνακα Μέσης Τάσης οι μετρήσεις του οργάνου SIMEAS P μεταφέρονται στη κάρτα MOXA μέσω πρωτοκόλλων Profibus DP & RS-485, ενώ οι ενδείξεις του ηλεκτρονόμου Siprotec 4 7SJ625 μέσω IEC 60870-5-

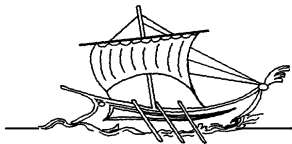


103 & RS-485. Υπάρχουν επίσης εγκατεστημένα δύο καταναμημένα συστήματα εισόδου / εξόδου (O/I) SIMATIC ET 200S της εταιρείας SIEMENS μέσω των οποίων καταλήγουν οι ενδείξεις που αφορούν γενικούς συναγερμούς του Υ/Σ όπως το άνοιγμα/κλείσιμο πόρτας και τις ενδείξεις/συναγερμούς που αφορούν τον πίνακα Χαμηλής Τάσης 400 V / 230 V AC και 110 V DC για την εξυπηρέτηση των φορτίων εσωτερικής υπηρεσίας του Υ/Σ καθώς και οι χειρισμοί των εναέριων αποζευκτών (τροφοδοτικοί και bypass), οι οποίες ενδείξεις μεταφέρονται μέσω Profibus DP στην κάρτα CP-5613 του τοπικού υπολογιστή.



Εικόνα 35 Καταναμημένο σύστημα ET200S της εταιρείας SIEMENS

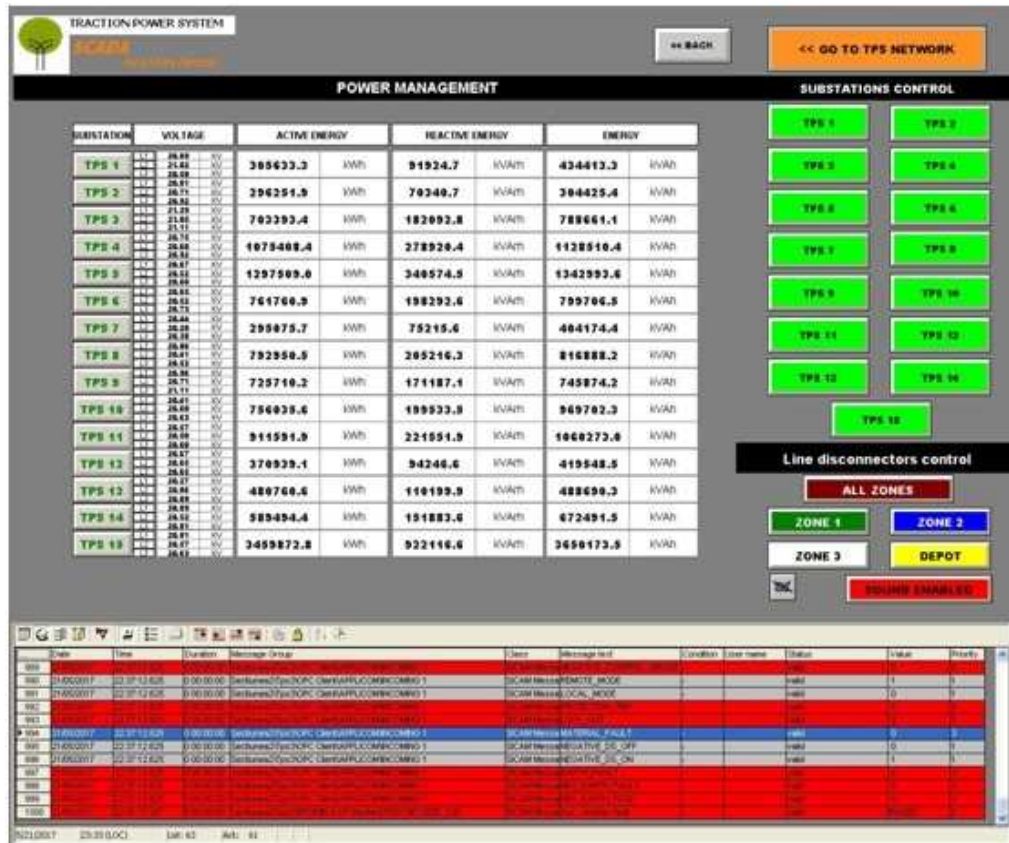
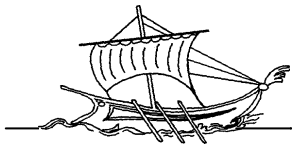
Τέλος οι κάρτες του υπολογιστή επικοινωνούν μέσω industrial Ethernet (switch) με το δίκτυο MAN.



➤ Εποπτικός Έλεγχος και Συναγερμοί

Οι εποπτικές λειτουργίες και ο έλεγχος του υφιστάμενου συστήματος SCADA της γραμμής TRAM που πραγματοποιούνται, περιλαμβάνουν :

- πραγματική κατάσταση Υ/Σ,
- απεικόνιση σε πραγματικό χρόνο (RT-Real Time) της έντασης και της τάσης του DC (Συνεχές Ρεύμα) των τροφοδοτών (feeders & incoming),
- ενδείξεις Μέσης Τάσης (MT) στην είσοδο κάθε Υ/Σ από τη ΔΕΗ,
- ενδείξεις κατανάλωσης ενέργειας (άεργος, ενεργή, συνολική)
- ενδείξεις θέσης (ON/OFF, Remote/Topical) για όλους τους διακόπτες ισχύος (circuit breakers, HSCB) DC καθώς και για τους διακόπτες MT AC (Εναλ/μένο Ρεύμα),
- ένδειξη της υπάρχουσας κατάστασης των ηλεκτρονόμων προστασίας MT & DC,
- χρωματική ένδειξη των θέσεων των αποζευκτών τόσο των feeder όσο και των γεφυρωτικών αποζευκτών καθώς επίσης των διακοπών MT,
- ένδειξη υπερθέρμανσης στα τυλίγματα του Μετασχηματιστή,
- ένδειξη φωτιάς και αστοχία συστήματος πυρανίχνευσης
- ένδειξη βλάβης (alarm) σε απώλεια του βοηθητικού πίνακα Χαμηλής Τάσης και ένδειξη βραχυκυκλώματος,
- άνοιγμα/κλείσιμο πόρτας Υ/Σ
- ένδειξη φωτιάς και
- αστοχία συστήματος πυρανίχνευσης



Εικόνα 36 Καταγραφή σε Real Time M.T. & κατανάλωση ενέργειας ανά Υ/Σ

Οι ενδείξεις που καταγράφονται από το σύστημα ανάλογα με τη κρισιμότητα (που έχουν οριστεί κατά την αρχική εγγραφή στο στήσιμο του συστήματος) και τη κατάσταση που υφίστανται χρωματίζονται αναλόγως. Για παράδειγμα όταν πρόκειται για ένα βραχυκύκλωμα σε ένα τροφοδοτικό φορείο, ένδειξη συναγερμού (alarm) στο σύστημα που εμφανίζεται με το εξής μήνυμα «DDL+», το μήνυμα αυτό εμφανίζεται με κόκκινο χρώμα. Σε περίπτωση που πρόκειται για κάποια βλάβη, σφάλμα, βραχυκύκλωμα και γενικά ότι έχει οριστεί με υψηλή προτεραιότητα ένδειξη στο σύστημα, το μήνυμα που λαμβάνει ο χειριστής στην οθόνη του εκτός από την κόκκινη ένδειξη στην εμφάνιση του μηνύματος συνοδεύεται και από ηχητική ειδοποίηση. Όταν επανέλθει η ένδειξη στα επιτρεπτά όρια, τότε εμφανίζεται μήνυμα με κίτρινη ένδειξη. Αναλυτικά όλες οι ενδείξεις και συναγερμοί που λαμβάνονται μέσω του συστήματος SCADA καταγράφονται σε λίστα στο αντίστοιχο παράρτημα της μελέτης.

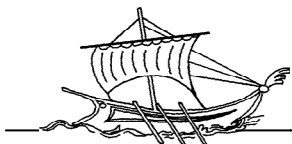


➤ Δίκτυο Ευφυών (Intelligence Device - IEDs) και περιφερειακών Συσκευών

Όλες οι ενδείξεις που συνθέτουν τις εποπτικές λειτουργίες του συστήματος SCADA προκύπτουν από την εφαρμογή ευφυών συσκευών που περιλαμβάνει αισθητήρες και ψηφιακούς ηλεκτρονόμους όπως αναλυτικά περιγράφηκαν στον εξοπλισμό του Υ/Σ Έλξης, για παράδειγμα ύπαρξη αισθητήρων θερμοκρασίας στα πεδία του Μ/Τ για την ένδειξη υπερθέρμανσης στα τυλίγματα του Μετασχηματιστή ή ψηφιακών ηλεκτρονόμων προστασίας για ένδειξη βραχυκυκλώματος στο πίνακα Χαμηλής Τάσης. Στο πεδίο Μ.Τ. η μετρική συσκευή SIMEAS P που είναι υπεύθυνη για τις ενδείξεις Μ.Τ σε κάθε σταθμό και την κατανάλωσης ενέργειας (άεργος, ενεργή, συνολική), η οποία μέσω πρωτοκόλλων PROFIBUS DP & RS-485 μεταφέρεται στην κάρτα επικοινωνίας MOXA και οι ηλεκτρονόμοι μέσω πρωτοκόλλων IEC 60870-5-103 & RS-485 στη κάρτα CP5613, του τοπικού υπολογιστή και στη συνέχεια στον MTU [23].



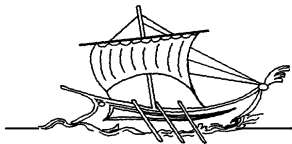
Εικόνα 37 το πάνελ εξωτερικά του SIMEAS P



Εικόνα 38 Ηλεκτρονόμος Siprotec 4 7SJ625 εξωτερική και εσωτερική οψη

➤ Τηλεχειρισμός [24]

Όσο αφορά τον τηλεχειρισμό του υφιστάμενου συστήματος SCADA, υποστηρίζει μόνο τον χειρισμό του διακοπτικού υλικού των διακοπών Μ.Τ. ΕΡ (circuit breaker) και των διακόπτων ισχύος (HSBC) των φορείων του πεδίου εισόδου ανορθωτή (incoming) και του πεδίου τροφοδοσίας (feeder) καθώς επίσης και το reset της κάρτας SEPCOS των φορείων αυτών. Τα τροφοδοτικά φορεία (incoming & feeder) χωρίζονται σε δύο τμήματα. Το 1^ο μέρος αποτελεί το σταθερό κομμάτι του φορείου όπου βρίσκονται όλα τα κυκλώματα και στην προσοπή του υπάρχει τοποθετημένο εκτός από τα όργανα για τις μετρήσεις τάσης και έντασης, το διακοπτικό υλικό το οποίο ανάλογα τη θέση που βρίσκεται (ON/OFF) υπάρχει και η αντίστοιχη ένδειξη μέσω λυχνίας καθώς επίσης και αν βρίσκεται σε απομακρυσμένο ή τοπικό χειρισμό (REMOTE/LOCAL). Η κάρτα SEPCOS βρίσκεται και αυτή στη πρόσοψη του φορείου στο σταθερό μέρος. Πρόκειται για ένα ηλεκτρονικό σύστημα βασισμένο σε προηγμένη τεχνολογία (αφού ενσωματώνει αρκετούς μικροεπεξεργαστές στο εσωτερικό του). Χρησιμοποιείται ως μονάδα ελέγχου και προστασίας και

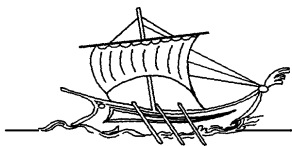


ενσωματώνει όλες τις απαραίτητες λειτουργίες για την προστασία, τον έλεγχο και τη μέτρηση του ηλεκτρικού ρεύματος. Για παράδειγμα είναι υπεύθυνο για τους συναργεμούς και ενδείξεις και την αποστολή τους στον τοπικό υπολογιστή και κατά επέκταση στα μηνύματα που λαμβάνει ο χειριστής από τους τροφοδοτικούς σε περίπτωση βραχυκυκλώματος. Η κάρτα SEPCOS επικοινωνεί μέσω PROFIBUS DP ως πρωτόκολλο επικοινωνίας με την κάρτα APPLICOM του τοπικού υπολογιστή.



Εικόνα 39 Σύστημα SEPCOS εγκατεστημένο σε τροφοδοτικό φορείο (feeder –εσωτερικά-σταθερό μέρος)

Ο τηλεχειρισμός δεν πραγματοποιείται αυθαίρετα αλλά απαιτεί εξουσιοδότηση για την πραγματοποίησή του. Ο τηλεχειρισμός πραγματοποιείται από τους Ελεγκτές Ισχύος και για λόγους ασφαλείας του συστήματος απαιτείται κωδικός πρόσβασης. Ο κωδικός πρόσβασης είναι μοναδικός και διαφορετικός για κάθε Ελεγκτή Ισχύος



οπότε διασφαλίζεται η προστασία του συστήματος καθώς επίσης υπάρχει η πληροφορία το ποιος χρήστης έκανε κάποιο τηλεχειρισμό.

Date	Time	Duration	Message Group	Class	Message Text	Condition	User name	Status	Value	Priority
21/09/2017	03:29:48.077	0:00:00.00	Seclunea3\TPS11\OFC_Client\APPLICOM\FEEDER 1	SICAM Message	_CMD_Sepcos_Int	-		valid	interm. state	1
21/09/2017	03:29:50.078	0:00:00.00	Seclunea3\TPS11\OFC_Client\APPLICOM\FEEDER 1	SICAM Message	_CMD_Sepcos_Int	-		valid	interm. state	1
21/09/2017	03:29:54.651	0:00:00.00	Seclunea3\TPS11\OFC_Client\APPLICOM\FEEDER 1	SICAM Message	_CMD_Sepcos_Int	-		valid	DPN-Va? 8	1
21/09/2017	03:29:54.652	0:00:00.00	Seclunea3\TPS11\OFC_Client\APPLICOM\FEEDER 1	SICAM Message	_CMD_Sepcos_Int	-		valid	DPN-Va? 8	1
21/09/2017	03:29:58.656	0:00:00.00	Seclunea3\TPS11\OFC_Client\APPLICOM\FEEDER 1	SICAM Message	_CMD_Sepcos_Int	-		valid	DPN-Va? 8	1
21/09/2017	03:29:57.683	0:00:00.00	Seclunea3\TPS11\OFC_Client\APPLICOM\FEEDER 1	SICAM Message	_CMD_Sepcos_Int	-		valid	interm. state	1
21/09/2017	03:29:57.685	0:00:00.00	Seclunea3\TPS11\OFC_Client\APPLICOM\FEEDER 1	SICAM Message	_CMD_Sepcos_Int	-		valid	interm. state	1
21/09/2017	03:29:59.250	0:00:00.00	Seclunea3\TPS11\OFC_Client\APPLICOM\FEEDER 1	SICAM Message	HSCB_ON	-		valid	1	1
21/09/2017	03:29:59.250	0:00:00.00	Seclunea3\TPS11\OFC_Client\APPLICOM\FEEDER 1	SICAM Message	HSCB_OFF	-		valid	0	1
21/09/2017	03:29:59.687	0:00:00.00	Seclunea3\TPS11\OFC_Client\APPLICOM\FEEDER 1	SICAM Message	_CMD_Sepcos_Int	-		valid	interm. state	1
21/09/2017	03:30:17.656	0:00:00.00	Seclunea3\TPS11\PROFIBUS DP Master\CP5613\ET200S_3201	SICAM Message	Door open	-		valid	CLEARED	2
21/09/2017	03:30:17.656	0:00:00.00	Seclunea3\TPS11\PROFIBUS DP Master\CP5613\ET200S_3201	SICAM Message	Door open	-		valid	CLEARED	2
					OCC Command	IA		valid		

Εικόνα 40 Οθόνη με την αναμονή επιβεβαίωσης τηλεχειρισμού από τον χρήστη

➤ Συλλογή Δεδομένων/Καταγραφή και Αναζήτηση Ιστορικού

Η συλλογή των δεδομένων όπως αναφέρθηκε και στην αρχή του κεφαλαίου ξεκινάει από κάθε τοπικό υπολογιστή και μέσω των ενδιάμεσων κόμβων καταλήγει στον κεντρικό υπολογιστικό σταθμό, όπου γίνεται και η καταγραφή τους. Τα δεδομένα και οι πληροφορίες που συλλέγονται αποτελούνται από όλες τις ενδείξεις που αναφέρθηκαν προηγουμένως καθώς επίσης και από τους συναγερούς και τους χειρισμούς που πραγματοποιούνται καθώς και τις ενδιάμεσες καταστάσεις μέχρι τη τελική κατάσταση. Η συλλογή και καταγραφή των δεδομένων πραγματοποιείται σε πραγματικό χρόνο (RT) μόλις δηλαδή μία διεργασία εντοπιστεί από το σύστημα. Οι μεταβολές επεξεργάζονται και εμφανίζονται στον χειριστή στο τερματικό του σε

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΑΥΤΟΜΑΤΙΣΜΟΥ

Π.ΡΑΛΛΗ & ΘΗΒΩΝ 250, 122 44, ΑΙΓΑΛΕΩ, ΑΘΗΝΑ, ΕΛΛΑΔΑ

ΤΗΛ.: +30-210-5381311, MSCAUTO1@TEPIR.GR



μορφή μηνύματος, από όπου και μπορεί να κάνει την εποπτεία και τον έλεγχο του συστήματος και να παρέμβει μέσω τηλεχειρισμού στους διακόπτες ισχύος αν κριθεί απαραίτητο. Οι εγγραφές εμφανίζονται με χρονική ταξινόμηση, με το πιο πρόσφατο να βρίσκεται πιο ψηλά στον κατάλογο. Για κάθε διεργασία υπάρχει η ημερομηνία και ο χρόνος που ελήφθη από το σύστημα, η διάρκεια της διεργασίας, το τερματικό το οποίο έστειλε την πληροφορία η αντίστοιχη μεταβλητή, μήνυμα περιγραφής της διεργασίας, η κατάσταση της πληροφορίας (δηλαδή αν πρόκειται για αληθή ή πλασματική ένδειξη), η τιμή της διεργασίας και η προτεραιότητα αυτής της ένδειξης δηλαδή πόσο κρίσιμη είναι αυτή η ένδειξη για την ομαλή λειτουργία του εξοπλισμού ή του συστήματος, που αφορά.

Date	Time	Duration	Message Group	Data	Message text	Condition	Unit name	Status	Value	Units
000	21/05/2017	22:37:42.625	0:00:00.000	Διεργασία Τυροβόρας Οερβαριόλογου ΜΒ01	SCADA Message:EMOTE_M00E			OK	1	1
001	21/05/2017	22:37:42.625	0:00:00.000	Διεργασία Τυροβόρας Οερβαριόλογου ΜΒ01	SCADA Message:LOCAL_M00E			OK	0	1
002										
003										
004	21/05/2017	22:37:42.625	0:00:00.000	Διεργασία Τυροβόρας Οερβαριόλογου ΜΒ01	SCADA Message:LOCAL_M00E			OK	0	1
005	21/05/2017	22:37:42.625	0:00:00.000	Διεργασία Τυροβόρας Οερβαριόλογου ΜΒ01	SCADA Message:EMOTE_M00E			OK	0	1
006	21/05/2017	22:37:42.625	0:00:00.000	Διεργασία Τυροβόρας Οερβαριόλογου ΜΒ01	SCADA Message:LOCAL_M00E			OK	1	1
007										
008										
009										
100										

Εικόνα 41 Λίστα Μηνυμάτων

Ο χρήστης έχει τη δυνατότητα αναζήτησης ιστορικού ενδείξεων και συναργεμών αφού το σύστημα SCADA κάνει καταγραφή ιστορικού αρχείου δεδομένων στην MTU. Επιλέγοντας το ανάλογο κουμπί από την επιφάνεια χρήστη και ορίζοντας ημερομηνία και ώρα ο χρήστης μπορεί να ανασύρει όλα τα μηνύματα για αυτό το χρονικό περιθώριο. Η αναζήτηση μπορεί να είναι γενική προς όλο το σύστημα SCADA ή στοχευμένη και να αφορά συγκεκριμένο Υ/Σ. Επίσης για τη καταγραφή των δεδομένων υπάρχει συνδεδεμένος ένας εκτυπωτής, όπου σε αυτόν εκτυπώνεται ότι εμφανίζεται στην οθόνη του κεντρικού υπολογιστή.



Date	Time	Duration	Message Group
24/09/2017	13:05:22.015	0:00:00.00	Sectiones\Tps2\OPC Client\APPLICOM\FEEDER 1
24/09/2017	13:05:22.015	0:00:00.00	Sectiones\Tps3\OPC Client\APPLICOM\FEEDER 1
27/09/2017	01:32:51.203	0:00:00.00	Sectiones\TPSS\PROFIBUS DP Master\CP5613\ET200S_32D
27/09/2017	01:31:25.203	0:00:00.27	Sectiones\TPSS\PROFIBUS DP Master\CP5613\ET200S_32D
27/09/2017	01:31:25.203	0:00:00.27	Sectiones\TPSS\PROFIBUS DP Master\CP5613\ET200S_32D
27/09/2017	01:31:25.203	0:00:00.00	Sectiones\TPSS\PROFIBUS DP Master\CP5613\ET200S_32D
27/09/2017	01:31:25.203	0:00:00.00	Sectiones\TPSS\PROFIBUS DP Master\CP5613\ET200S_32D
27/09/2017	01:32:10.219	0:00:00.26	Sectiones\TPSS\PROFIBUS DP Master\CP5613\ET200S_32D
27/09/2017	01:32:10.219	0:00:00.26	Sectiones\TPSS\PROFIBUS DP Master\CP5613\ET200S_32D
27/09/2017	01:38:23.531	0:00:06.36	Sectiones\TPSS\PROFIBUS DP Master\CP5613\ET200S_32D
27/09/2017	01:38:23.531	0:00:06.36	Sectiones\TPSS\PROFIBUS DP Master\CP5613\ET200S_32D

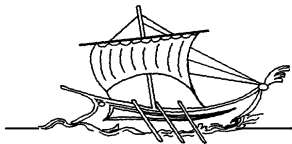
Εικόνα 42 Παράθυρο παραμέτρων για αναζήτηση ιστορικού καταγραφών

4.4 Οφέλη συστήματος SCADA στη γραμμή TPAM

Η ομαλή και απροβλημάτιστη λειτουργία της TPAM Α.Ε. ως εταιρεία αλλά και ως μεταφορικό μέσο αποτελεί βασικό στόχο της διοίκησης όχι μόνο για τους εργαζομένους αλλά και για το επιβατικό κοινό. Συνοψίζοντας, τα παραπάνω από την περιγραφή του συστήματος SCADA που χρησιμοποιείται στη γραμμή TPAM απορρέουν τα εξής συμπεράσματα, που μπορούν να χαρακτηριστούν ως οφέλη της χρήσης ενός τέτοιου συστήματος.

- Βέλτιστη διαχείριση του εξοπλισμού, των υλικών και της ενέργειας της εγκατάστασης ενός Υ/Σ Έλξης διασφαλίζεται εξαιτίας της ατέρμονης παρακολούθησης του συστήματος

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΑΥΤΟΜΑΤΙΣΜΟΥ
Π.ΡΑΛΛΗ & ΘΗΒΩΝ 250, 122 44, ΑΙΓΑΛΕΩ, ΑΘΗΝΑ, ΕΛΛΑΔΑ
ΤΗΛ.: +30-210-5381311, MSCAUTO1@TEPIR.GR



- Μείωση κόστους λόγω του αντί να στέλνεται ανθρώπινο δυναμικό για ελέγχους και μετρήσεις σε διάσπαρτα σημεία, ο έλεγχος ολόκληρου του συστήματος πραγματοποιείται από τον Ελεγκτή Ισχύος στο Κ.Ε.Λ. σε ελάχιστο χρονικό διάστημα.
- Η ασφάλεια του εξοπλισμού και των υλικών ενός Υ/Σ, της κατάστασης του Εναερίου δικτύου μέσω μετρούμενων μεγεθών σε πραγματικά χρόνο (real time) σε όλο το δίκτυο επιτρέπει την
- Διάγνωση σφαλμάτων από το Κ.Ε.Λ, ώστε να επιτυγχάνονται οι διαδικασίες επίλυσης των προβλημάτων από εξειδικευμένο προσωπικό και να αποφεύγονται περιστατικά που μπορεί να είναι επιζήμια. Για παράδειγμα, στην εμφάνιση κάποιας βλάβης που απαιτεί την αποστολή συνεργείου στον Υ/Σ που παρουσιάζει τη βλάβη, τότε ο Ελεγκτής Ισχύος ενημερώνει το τμήμα που αφορά τη βλάβη, π.χ. το τμήμα Ηλεκτροδότησης γραμμής ΤΡΑΜ για μετάβαση στον Υ/Σ προς έλεγχο της βλάβης. Επίσης λόγω ότι γνωρίζει τη σοβαρότητα της βλάβης που εμφανίζεται που στο σύστημα, κρίνει και ενημερώνει το συνεργείο αν χρειάζεται άμεση αποκατάσταση.

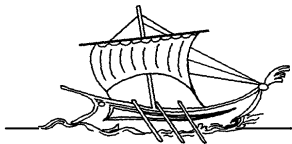
Αυτό αποτελεί και το μεγαλύτερο πλεονέκτημα χρήσης του συστήματος SCADA από την ΤΡΑΜ Α.Ε. η ασφάλεια, αφού πρόκειται για μέσο μαζικής μεταφοράς με βασικό του γνώμονα την ασφαλή μετακίνηση του επιβατικού κοινού αλλά και των εργαζομένων. Η άμεση επέμβαση στις διεργασίες σε περίπτωση κινδύνου θα πρέπει να είναι άμεση και αποτελεσματική ώστε να αποφεύγουμε μερική ή ολική καταστροφή του εξοπλισμού, ακόμα και ανθρώπινες απώλειες, κάτι το οποίο μας το προσφέρεται μέσω ενός συστήματος SCADA.



5 ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗΣ

Στο προηγούμενο κεφάλαιο έγινε η ανάλυση του υπάρχοντος συστήματος SCADA και ο τρόπος σύνδεσης και επίδρασης του με ένας Υ/Σ Έλξης και το εναέριο δίκτυο. Παρουσιάστηκαν τα οφέλη χρήσης ενός τέτοιου συστήματος στην ηλεκτροδότηση του τραμ αλλά και γενικά στο σύνολο δηλαδή και ως μεταφορικό μέσο, στην εταιρεία και στο επιβατικό κοινό. Τα κύρια οφέλη είναι αξιοπιστία, ασφάλεια και αμεσότητα. καθώς επίσης και η μεταφορά των πολιτών με ασφάλεια, αξιοπιστία, άνεση, καθώς και ο σεβασμός στο περιβάλλον .

Η εταιρεία ΣΤΑ.ΣΥ. και το τραμ ως μέρος αυτής, είναι μια σύγχρονη εταιρεία με ραγδαίους ρυθμούς ανάπτυξης αφού έχουν εγκριθεί και προγραμματιστεί επεκτάσεις του μέσου μεριμνώντας όμως παράλληλα για τη συνεχή βελτίωση της ποιότητας των παρεχόμενων υπηρεσιών. Συγκεκριμένα για τη γραμμή TRAM, τα έργα επέκτασης προς το λιμάνι του Πειραιά έχουν ήδη ξεκινήσει με καταλυτική ημερομηνία παράδοσης έργου την άνοιξη του 2018 και ήδη να έχουν εγκριθεί οι μελέτες για επεκτάσεις Σύνταγμα- Πανεπιστήμιο, Λεωφόρος Ποσειδώνος –Αργυρούπολη και Πειραιάς-Κερατσίνι-Πέραμα. Εύλογο είναι, ότι με τις επεκτάσεις αυτές που αναμένονται τα επόμενα έτη, η ανάγκη για βελτίωση του επίπεδου των παρεχόμενων, στο επιβατικό κοινό, υπηρεσιών και οι επιπτώσεις προς το περιβάλλον της λειτουργίας ή της εγκατάστασης ενός τροchioδρομικού συστήματος αλλά και η οικονομικότερη απόδοση του συστήματος αποτελεί κύριους στόχους. Στα πλαίσια της βελτίωσης, ασφάλειας και της οικονομικότερης απόδοσης, παρατίθενται παρακάτω προτάσεις βελτιστοποίησης παραμέτρων λειτουργίας του υπάρχον συστήματος SCADA Εναέριου Δικτύου και Υποσταθμών Έλξης.



5.1 ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ 2^ο SCADA SERVER (redundancy server)

Στα χρόνια λειτουργίας της η TPAM A.E. ως μεταφορικό μέσο μέσω των καθημερινών προβλημάτων που αντιμετωπίζει αλλά και λόγω των επεκτάσεων που εκκρεμούν η ελαχιστοποίηση των κινδύνων αλλά και η άριστη διασφάλιση της ορθής λειτουργίας των Υ/Σ καθιστά την ανάγκη υποστήριξης διπλού υπολογιστικού συστήματος με αυτόματη εναλλαγή, δηλαδή ενός redundancy SCADA Server. Σε περίπτωση δυσλειτουργίας (συντήρησης ή πτώσης) του πρωτεύοντος συστήματος SCADA να δίνεται η δυνατότητα με αυτόματη εναλλαγή πρόσβαση στον Ελεγκτή Ισχύος στο δευτερεύον σύστημα ως ότου αποκατασταθεί η ορθή λειτουργία του πρωτεύοντος συστήματος.

Ο κύριος υπολογιστικός σταθμός (MTU) είναι στρατηγικά το καίριο μέρος ενός ολόκληρου συστήματος SCADA. Δεδομένου αυτού, η αξιοπιστία και η διαθεσιμότητα του κρίνεται απαραίτητη. Για παράδειγμα η απώλεια μιας περιφερειακής συσκευής, ενός DIP Client ή ακόμα βλάβη σε στο switch ενός Υ/Σ, παρότι πρόκειται για μια δυσάρεστη κατάσταση θα πρέπει να εξακολουθεί να επιτρέπει στο σύστημα να λειτουργεί όπως πριν. Στο κομμάτι της επικοινωνίας, που και αυτό αποτελεί κομβικό σημείο για την αξιόπιστη λειτουργία του συστήματος, όπως αναλύθηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο, έχουν σχεδιαστεί εναλλακτικές διαδρομές επικοινωνίας σε περίπτωση που για κάποιο λόγο η κύρια διαδρομή τεθεί εκτός λειτουργίας. Αυτό εξασφαλίζει τη συνέχεια της επικοινωνίας στο σύστημα SCADA. Στη περίπτωση όμως του MTU κάτι τέτοιο δεν ισχύει, με αποτέλεσμα σε μια πτώση του κεντρικού σταθμού το σύστημα SCADA να παύει να λειτουργεί έως να αποκατασταθεί η λειτουργία του κεντρικού σταθμού, που οδηγεί στη μη ύπαρξη εποπτείας και κατα επέκταση ελέγχου του εναερίου δικτύου και των Υ/Σ Έλξης, δημιουργώντας κενά στην ασφάλεια του δικτύου.

Σαν μια προσπάθεια αντιμετώπισης της πτώσης του συστήματος SCADA όταν οφείλεται σε δυσλειτουργία του κεντρικού σταθμού, το τελευταίο χρόνο εγκαταστήθηκε ένας δεύτερος σταθμός (2^{ος} server) στο computer room, ο οποίος όμως δεν λειτουργεί με αυτόματη εναλλαγή αλλά με ψυχρή εναλλαγή (cold stand by). Πρακτικά, δηλαδή όταν ο κύριος κεντρικός σταθμός τεθεί εκτός λειτουργίας

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΑΥΤΟΜΑΤΙΣΜΟΥ

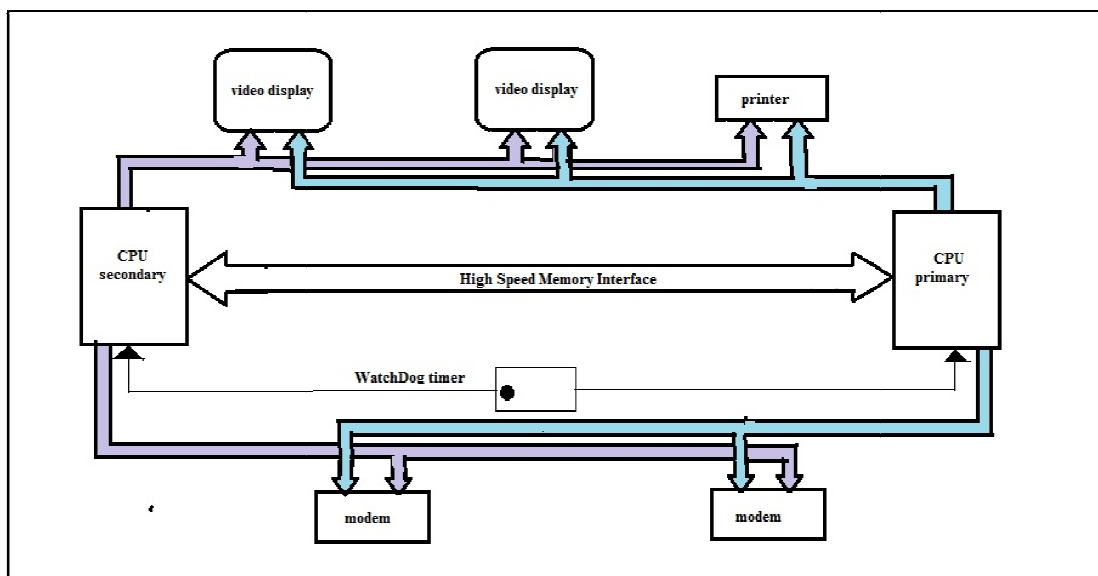
Π.ΡΑΛΛΗ & ΘΗΒΩΝ 250, 122 44, ΑΙΓΑΛΕΩ, ΑΘΗΝΑ, ΕΛΛΑΔΑ

ΤΗΛ.: +30-210-5381311, MSCAUTO1@TEIPIR.GR

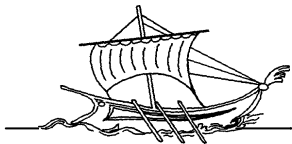


τότε θα πρέπει χειροκίνητα να γίνει η σύνδεση και να τεθεί σε λειτουργία ο δευτερεύον σταθμός στο σύστημα. Η λύση αυτή μόνο ως προσωρινή θα μπορούσε να χαρακτηριστεί αφού δεν εξασφαλίζει την αμεσότητα που απαιτείται σε ένα τέτοιο σύστημα. Η εναλλαγή αυτή μπορεί να έχει διάρκεια λεπτών έως και ωρών και εξαιτίας κυρίως στο γεγονός ότι οι Υ/Σ λειτουργούν επί 24ωρου βάσης η εναλλαγή αυτή δεν θα πρέπει να καθυστερεί.

Η κρισιμότητα η αξιοπιστία που απαιτεί το σύστημα SCADA για να διασφαλίσει την ορθή λειτουργία του, απαιτεί την εφαρμογή ενός δευτέρου υπολογιστικού σταθμού server, με αυτόματη εναλλαγή. Θα πρέπει να χρησιμοποιηθεί ένας χρονοδιακόπτης παρακολούθησης (watchdog timer –WDT)και να ενεργοποιείται εάν η κύρια μονάδα επεξεργασίας (CPU) του MTU (server) δεν ενημερώσει ή δεν επανέλθει εντός μιας συγκεκριμένης χρονικής περιόδου[15]. Τότε, μόλις δηλαδή ενεργοποιηθεί το WDT,να πραγματοποιείται η μετάβαση από το πρωταρχικό στο δευτερεύον σύστημα. Λόγω της χρήσης συνεχούς μνήμης υψηλής ταχύτητας η ενημέρωση της δευτερεύουσας μνήμης CPU περιέχει όλες τα τελευταία δεδομένα κατάστασης (έως ότου ενεργοποιηθεί η εναλλαγή από το WDT).



Εικόνα 43 Block διάγραμμα σχέσης Primary-Secondary MTU με Watchdog timer



Παρότι η εγκατάσταση ενός 2^{ου} υπολογιστικού συστήματος-Server έχει υψηλό κόστος η κρισιμότητα για την αμεσότητα και αξιοπιστία που απαιτεί το σύστημα SCADA για να διασφαλίσει την ορθή λειτουργία του τώρα αλλά και μελλοντικά λόγω των επεκτάσεων που εκκρεμούν που συνθέτονται από αύξηση, γεωγραφικά της ζώνης ελέγχου και εποπτείας, την προσθήκη νέων Υ/Σ Έλξης, αύξηση της κατανάλωσης φορτίων και άλλα , η εγκατάσταση αυτή κρίνεται απαραίτητη.

5.2 ΤΗΛΕΧΕΙΡΙΣΜΟΣ ΕΝΑΕΡΙΩΝ ΑΠΟΖΕΥΚΤΩΝ (DISCONNECTORS) & ΓΕΦΥΡΩΤΙΚΩΝ ΑΠΟΖΕΥΚΤΩΝ (Bypass)

Η πρόταση για τηλεχειρισμό των εναέριων αποζευκτών καθώς και των γεφυρωτικών αποζευκτών προκύπτει λόγω των καθημερινών προβλημάτων που αντιμετωπίζει η λειτουργία του μέσου σε συνδυασμό με την επέκταση του δικτύου. Δεν είναι λίγες οι φορές που έχει χρειαστεί η άμεση συνένωση όμορων τομέων του εναερίου δικτύου. Το εναέριο δίκτυο επιτρέπει σε κάθε τμήμα του δικτύου του να τροφοδοτείται από 2 γειτονικούς Υ/Σ Έλξης, ώστε να εξασφαλίζεται η συνέχεια της λειτουργίας του σε περίπτωση εμφάνισης σφάλματος ή απώλεια Μέσης Τάσης λόγω Δ.Ε.Η. (αρκετά συχνά φαινόμενα κατά τους καλοκαιρινούς μήνες) σε κάποιον Υ/Σ. Σε περίπτωση που και ο δεύτερος Υ/Σ παρουσιάσει πρόβλημα τροφοδοσίας, τότε κατόπιν ρύθμισης του φορτίου της κυκλοφορίας μπορεί το συγκεκριμένο τμήμα του δικτύου να τροφοδοτηθεί από τον επόμενο στην σειρά Υ/Σ, για να γίνει αυτό θα πρέπει να προηγηθεί κατάλληλος τοπικός χειρισμός των γεφυρωτικών αποζευκτών, ώστε να υπάρξει συνένωση τμημάτων του εναερίου δικτύου και εν συνεχεία το ενιαίο τμήμα να τροφοδοτηθεί από τους παρακείμενους Υ/Σ. Μέχρι να γίνει ο τοπικός χειρισμός η ρύθμιση των οχημάτων γίνεται στην εμβέλεια αυτή με περιορισμό για να μην προκληθεί απότομη αύξηση ζήτησης προκαλώντας βραχυκύκλωμα ή υπέρβαση της μέγιστης επιτρεπόμενης έντασης ρεύματος του τροφοδοτικού (feeder). Στη περίπτωση που προκληθεί βραχυκύκλωμα ή υπέρβαση ενεργοποιούνται οι προστασίες του τροφοδοτικού και απενεργοποιείται (ενδείξεις σφάλματος & προστασίας στο σύστημα SCADA) για λόγους ασφαλείας και προστασίας του Υ/Σ. Λόγω του περιορισμού των αριθμών τραμ στην εμβέλεια του feeder εύλογο είναι ότι

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΑΥΤΟΜΑΤΙΣΜΟΥ

Π.ΡΑΛΛΗ & ΘΗΒΩΝ 250, 122 44, ΑΙΓΑΛΕΩ, ΑΘΗΝΑ, ΕΛΛΑΔΑ

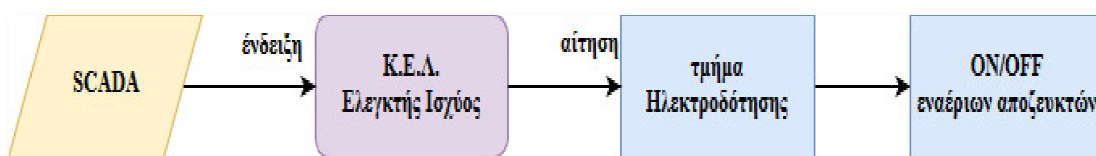
ΤΗΛ.: +30-210-5381311, MSCAUTO1@TEIPIR.GR



δημιουργούνται χρονοκαθυστερήσεις στα δρομολόγια του τραμ με άμεση συνέπεια τη ταλαιπωρία του επιβατικού κοινού.

Στη περίπτωση που υπήρχε τηλεχειρισμός του γεφυρωτικού αποζεύκτη ο Ελεγκτής Ισχύος θα είχε τη άμεση δυνατότητα συνένωσης των Υ/Σ για την επαρκή τροφοδοσία του εναερίου δικτύου χωρίς να δημιουργηθούν χρονοκαθυστερήσεις δρομολογίων καθώς επίσης ο κίνδυνος του τροφοδοτικού να τεθεί εκτός λειτουργίας αυτόματα για λόγους προστασίας ή να υποστεί βλάβη θα εξαλείφονταν. Η περίπτωση του τηλεχειρισμού των εναερίων αποζευκτών πρόεκυψε καθαρά για λόγους ασφαλείας και προστασίας, αφού σε περίπτωση φωτιάς δεν υπάρχει άμεση επέμβαση απομόνωσης του τροφοδοτικού προς το εναέριο δίκτυο, παρά μόνο την πλήρη απενεργοποίηση του Υ/Σ. Το κόστος της εγκατάστασης του τηλεχειρισμού των εναερίων αποζευκτών και των γεφυρωτικών αποζευκτών είναι χαμηλός αφού υπάρχει ήδη αυτόματος χειρισμός μέσα στους Υ/Σ ο οποίος όμως δεν είναι συνδεδεμένος με το σύστημα SCADA παρά μόνο οι εναλλαγές θέσεων δηλαδή η εποπτεία της θέσης του εναερίου αποζεύκτη (ON/OFF/απροσδιόριστη θέση). Το μόνο που απαιτείται είναι η ενεργοποίηση του τηλεχειρισμού μέσω του προγραμματισμού του συστήματος.

Στην εικόνα που ακολουθεί απεικονίζεται σε δομικό διάγραμμα οι κινήσεις που γίνονται από τον ελεγκτή ισχύος στη παρούσα κατάσταση για την ενεργοποίηση ή απενεργοποίηση των εναερίων αποζευκτών καθώς και στους πίνακες που ακολουθούν ποια είναι πρακτικά τα κόστη και οι συνέπειες μιας τέτοιας ενέργειας και γιατί ο τηλεχειρισμός των αποζευκτών είναι αναγκαίος.



Εικόνα 44 Διάγραμμα ενεργειών Ενεργοποίησης/Απενεργοποίησης Εναερίων Αποζευκτών



Μετακίνηση Συνεργείου τμήματος Ηλεκτροδότησης

- Κόστος Βενζίνης
- Φθορά Αυτοκινήτου
- Απασχόληση τεχνικού προσωπικού

Πίνακας 3 Κόστος μετακίνησης συνεργείου

Απόρροιας μη ύπαρξης τηλεχειρισμού εναέριων αποζευκτών

- Μετακίνηση/κόστος συνεργείου
- Μη άμεση επέμβαση σε περίπτωση ασφάλειας/προστασίας (π.χ. ένδειξη φωτιάς)
- Χρονική καθυστέρηση συρμών τραμ λόγω ρύθμισης, εξαιτίας της ζήτησης στη τροφοδοσία Ε.Δ. μέχρι την ενεργοποίηση των εναέριων αποζευκτών
- Ταλαιπωρία επιβατικού κοινού/δυσανεμία λόγω της χρονικής καθυστέρησης δρομολογίων
- Απώλεια εισιτηρίων/οικονομική ζημιά
- Αρνητική εικόνα της εταιρείας

Πίνακας 4 Απόρροιας στη λειτουργία γραμμής TPAM

5.3 Τοποθέτηση και χρήση επιπλέον ευφυών συσκευών στους Υ/Σ έλξης

Η πρόταση για τοποθέτηση επιπλέον ευφυών συσκευών για βελτιστοποίηση των παραμέτρων λειτουργίας του συστήματος SCADA προέρχεται από την ανάγκη για τη βέλτιστη διαχείριση του εξοπλισμού και των υλικών ενός Υ/Σ αλλά και η ασφάλεια τους που οδηγούν σε αξιόπιστη λειτουργία. Ευφύες συσκευές όπως αισθητήρες υγρασίας (humidity sensor) ή στάθμης υδάτων (water level detection/flood water sensor).

Το αίτιο αυτής της πρότασης εκπίπτει από τις αλλαγές των καιρικών συνθηκών που έχουν παρατηρηθεί τα τελευταία χρόνια, όπως έντονες βροχοπτώσεις και σε συνδυασμό ότι κάποιοι Υ/Σ είναι υπόγεια κατασκευασμένα, έχει ως αποτέλεσμα την έντονη εισροή υδάτων. Η ανίχνευση στάθμης υδάτων στο εσωτερικό ενός υπόγειου Υ/Σ ή η αύξηση της υγρασίας μέσω κατάλληλου αισθητήρα θα ενημερώνει το σύστημα SCADA μέσω ηχητικού alarm όταν υπερβεί το ανώτατο επιτρεπτό όριο, επιτρέποντας στον Ελεγκτή Ισχύος να επέμβει και να προστατεύσει τις περιφερειακές μονάδες ή να ενημερώσει το συνεργείο έγκαιρα για άντληση υδάτων ή ακόμα να ενεργοποιείται μέσω τηλεχειρισμού ή αυτόματα μια αντλία υδάτων για

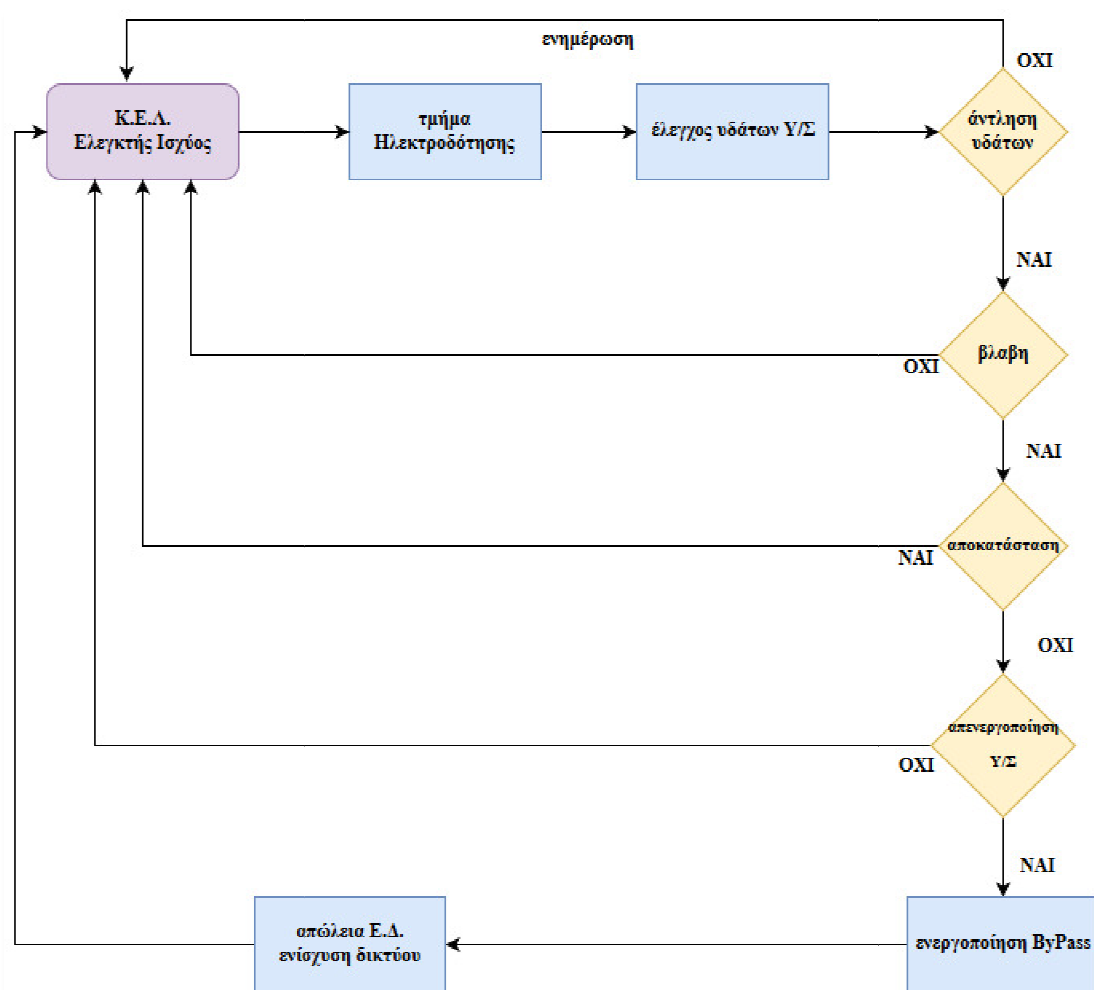
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΑΥΤΟΜΑΤΙΣΜΟΥ

Π.ΡΑΛΛΗ & ΘΗΒΩΝ 250, 122 44, ΑΙΓΑΛΕΩ, ΑΘΗΝΑ, ΕΛΛΑΔΑ

ΤΗΛ.: +30-210-5381311, MSCAUTO1@TEIPIR.GR

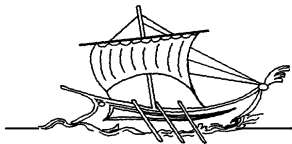


την άντληση υδάτων. Πρόκειται για προληπτικό μέτρο για τη διασφάλιση της ορθής λειτουργίας του εξοπλισμού ενός Υ/Σ, αφού ως στιγμή το πρόβλημα των υδάτων σε έναν υπόγειο Υ/Σ μετά από μια έντονη βροχόπτωση αντιμετωπίζεται με την αποστολή συνεργείου για έλεγχο του Υ/Σ και σε τυχόν περίπτωση που η στάθμη είναι αρκετά υψηλή ο Υ/Σ τίθεται εκτός για λόγους ασφαλείας μέχρι να γίνει άντληση των υδάτων. Επομένως, εκτός από την προστασία του εξοπλισμού, η ασφάλεια του τεχνικού προσωπικού είναι ένα ακόμη αίτιο για τη πρόταση αυτή.



Εικόνα 45 Διάγραμμα ροής ελέγχου υδάτων σε Υ/Σ

Στους πίνακες που ακολουθούν απεικονίζονται συγκεντρωτικά οι απόρροιες των ενεργειών σε κόστη σε περίπτωση υδάτων σε έναν Υ/Σ.



Μετακίνηση Συνεργείου τμήματος Ηλεκτροδότησης

- Κόστος Βενζίνης
- Φθορά Αυτοκινήτου
- Απασχόληση τεχνικού προσωπικού
- Κίνδυνος ατυχήματος λόγω των καιρικών συνθηκών

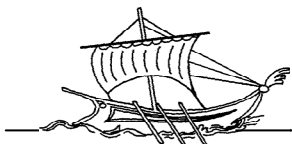
Πίνακας 5 Κόστος μετακίνησης συνεργείου

Άντληση Υδάτων σε Υ/Σ

- Πιθανή Απενεργοποίηση Υ/Σ σε περίπτωση που η στάθμη υδάτων είναι πάνω από τα επιτρεπτά όρια ασφαλείας.
- Ενεργοποίηση γεφυρωτικού αποζεύκτη (απώλεια Ε.Δ. για ενίσχυση δικτύου) στη περίπτωση που ο Υ/Σ τεθεί εκτός λειτουργίας
 - Σε περίπτωση βλάβης Ε.Δ. στην εμβέλεια ενεργοποίησης του γεφυρωτικού αποζεύκτη, απομονώνεται μεγαλύτερο κομμάτι Ε.Δ. απ' ότι σε περίπτωση που λειτουργούσε ο Υ/Σ
 - Μεγαλύτερος αριθμός στάσεων μη εξυπηρέτησης επιβατικού κοινού, χαμένα χιλιόμετρα εξυπηρέτησης μέσω μεταφοράς
 - Ταλαιπωρία/δυσανεξία επιβατικού κοινού
 - Απώλεια εισιτηρίων/οικονομική ζημιά
 - Αρνητική εικόνα της εταιρείας
- Σε περίπτωση βλάβης ή ζημιάς του εξοπλισμού το κόστος αποκατάστασης κυμαίνεται από χαμηλά έως υψηλά επίπεδα

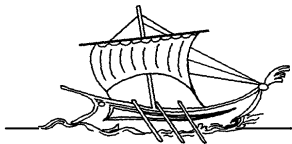
Πίνακας 6 Απόρροιες άντλησης υδάτων σε Υ/Σ

Στην αγορά υπάρχει πλήθος αισθητήρων για υγρασία και ανίχνευσης στάθμης υδάτων. Η επιλογή του κατάλληλου αισθητήρα θα πρέπει να γίνει με κριτήρια συμβατότητας με το υπάρχον σύστημα SCADA και οικονομικά. Ο αισθητήρας θα πρέπει να είναι συμβατός πρωταρχικά με το πρωτόκολλο RS-485 και στη συνέχεια να επικοινωνεί κατά προτίμηση με PROFIBUS DP, αφού αυτά τα πρωτόκολλα εφαρμόζονται στο σύστημα. Ένας τέτοιος αισθητήρας υγρασίας για παράδειγμα είναι ο testo 6681 Profibus.



Εικόνα 46 Testo 6681 Temperature and Humidity Transmitter

Χρησιμοποιεί δύο αναλογικές εξόδους 4-20mA (4 καλώδια) για τη σύνδεση του RS-485 (bus). Ο αισθητήρας αυτός εκτός από την αναλογική έξοδο περιέχει και μεταδότη (transmitter) για τη μεταφορά των δεδομένων στο bus. Αυτό είναι και το επόμενο στοιχείο που εστιάζεται η επιλογή της ευφυής συσκευής και όχι ενός απλού αισθητήρα. Δηλαδή η επιλογή αφορά βιομηχανικό αισθητήρα που να περιέχει και transmitter. Μια μέση τιμή αγοράς μιας τέτοιας ευφυής συσκευής είναι τα 250€. Πιθανόν να απαιτηθεί η εξωτερικός συνεργάτης για τη ρύθμιση της συσκευής και σύνδεσης της με το σύστημα SCADA, αυξάνοντας αρκετά το κόστος εγκατάστασης μιας τέτοιας ευφυής συσκευής. Η εφαρμογή του όμως στο πέρασμα του χρόνου θα επιφέρει μείωση κόστους αφού μέσω της εποπτείας διασφαλίζεται η ορθή λειτουργία και προστασία του εξοπλισμού καθώς επίσης μείωση αφού ελαχιστοποιείται η μετακίνηση του συνεργείου προς έλεγχο.

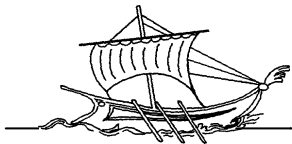


6 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Σε αυτό το τελευταίο κεφάλαιο γίνεται ένας απολογισμός όσων προαναφέρθηκαν στα προηγούμενα κεφάλαια προκειμένου να προκύψουν χρήσιμα συμπεράσματα για το ρόλο των συστημάτων SCADA σε γενικό πλαίσιο αρχικά και στη συνέχεια πως η βελτιστοποίηση παραμέτρων λειτουργίας του υφιστάμενου συστήματος για τον έλεγχο εναερίου δικτύου και υποσταθμών έλξης στη γραμμή TPAM συνδράμει στην οικονομικότερη απόδοση του συστήματος, στον ασφαλέστερο έλεγχο και ακριβέστερη προστασία του εξοπλισμού.

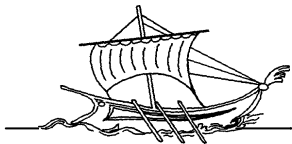
Τα συστήματα SCADA στις σύγχρονους βιομηχανικούς οργανισμούς αποτελούν ένα πολύτιμο εργαλείο για την μέγιστη απόδοση εξοπλισμού και προσωπικού. Προσφέρουν μεταξύ άλλων ταχύτερη αναγνώριση, διάγνωση και αντιμετώπιση κρίσιμων συμβάντων, μειωμένο κόστος λειτουργίας και συντήρησης και καλύτερη διασύνδεση των πληροφοριών μεταξύ των εμπλεκόμενων τμημάτων διοίκησης και λειτουργίας. Πρόκειται για συστήματα που επικεντρώνονται στην συγκομιδή, την επεξεργασία και την αποθήκευση της πληροφορίας, χωρίς να απαιτούν πολύπλοκες διαδικασίες ελέγχου, καθιστώντας τα προσφιλή στις σύγχρονα βιομηχανικά συστήματα.

Η παρούσα μελέτη περιγράφει μεταξύ άλλων το σύστημα SCADA που υλοποιήθηκε στη γραμμή TPAM για την εποπτεία και τον έλεγχο του Συστήματος Ισχύος Έλξης (ΣΙΕ). Σκοπός του συστήματος SCADA, είναι ο κεντρικός έλεγχος λειτουργίας καθώς και ο τηλεχειρισμός των Υ/Σ Έλξης, μέσω των απεικονήσεων σε πραγματικό χρόνο (Real Time) των διαφορών μεταβολών, μεγεθών και καταστάσεων του εξοπλισμού του συστήματος, που συγκεντρώνονται από τους τοπικούς υπολογιστές και διαβιβάζονται στον κεντρικό υπολογιστικό σταθμό του συστήματος στο Κέντρο Ελέγχου Λειτουργίας γραμμής TPAM. Μέσω του συστήματος επιτάχονται όσα



προαναφέρθηκαν όπως αναγνώριση και διάγνωση βλαβών επιτυγχάνοντας την ασφάλεια τόσο του εξοπλισμού όσο και του προσωπικού και επιβατικού κοινού.

Οι απαιτήσεις των καιρών σε συνδυασμό με την επέκταση του μέσου γεννούν ανάγκες για βελτίωση των παρεχόμενων υπηρεσιών τόσο σε επίπεδο λειτουργίας, οικονομικό και περιβαλλοντικό. Οι προτάσεις που έγιναν στο προηγούμενο κεφάλαιο αποσκοπούν σε αυτό ακριβώς. Η εγκατάσταση ενός 2^{ου} διακομιστή, η δυνατότητα τηλεχειρισμού επιπλέον διακοπών αλλά και η εφαρμογή ευφών συσκευών συνδράμουν στην οικονομικότερη απόδοση του συστήματος. Με τη πάροδο του χρόνου η μείωση του κόστους θα είναι εμφανής, εξαιτίας της ακριβέστερης εποπτείας του εξοπλισμού απαλείφοντας βλάβες οι οποίες μέσα από τη συλλογή πληροφοριών, θα καταστείτε δυνατή η πρόβλεψη τους άρα και η ορθή αντιμετώπισή τους. Σε περιβαλλοντικό επίπεδο η ηλεκτρική ενέργεια (μηδενικοί ρύποι, μικρές εκπομπές θορύβων) που χρησιμοποιείται συλλέγεται ως δεδομένο μέσω του συστήματος SCADA, επιτρέποντας μας μελλοντικά χρησιμοποιώντας μηχανική μάθηση, εκπαιδύοντας δηλαδή, το σύστημα με το κατάλληλο αλγόριθμο για καλύτερη χρήση της ενέργειας, προστατεύοντας το περιβάλλον αλλά και μείωση κόστους με σωστή διανομή της ηλεκτρικής ενέργειας. Επίσης μέσω της μηχανικής μάθησης και του αλγόριθμου τα δεδομένα που συλλέγονται από τα στοιχεία του Υ/Σ θα οδηγήσουν στο σωστό προγραμματισμό συντήρησης και αντικατάστασης εξοπλισμού και υλικού και πιθανόν να στην πρόβλεψη βλαβών άρα αποφυγή μειώνοντας αιθητά το κόστος συντήρησης. Η εξέλιξη των συστημάτων SCADA 4^{ης} γενιάς Internet Of Things αποτελεί ένα πρώτο βήμα προς αυτή τη κατεύθυνση.



ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1]. http://www.stasy.gr/Εταιρεία_ΣΤΑ.ΣΥ._Α.Ε.
- [2]. ΕΜΠ- Εργαστήριο Αστικού Περιβάλλοντος/ ΥΜΕ – Επιτροπή Εμπειρογνώμων για το TRAM, «Σχεδιασμός Ολοκληρωμένου δικτύου Τραμ στο πολεοδομικό συγκρότημα Αθηνών», Αθήνα, Μάιος 2003
- [3]. <https://en.wikipedia.org/wiki/Tram>
- [4]. https://el.wikipedia.org/wiki/Τραμ_Αθήνας
- [5]. Gary Vines « Melbourne Metropolitan Tramway Heritage Study», Biosis Research Pty. Ltd., 2012, pp 19-31
- [6]. Σάκης Κουρουζίδης, «Το τραμ του Βόλου (1896-1950)», άρθρο δημ. www.evonymos.gr , 6 Μαρτίου 2005
- [7]. <https://en.wikipedia.org/>, Mödling και Hinterbrühl Tram
- [8]. Σάκης Κουρουζίδης, «Η ανάπτυξη του Τραμ στον κόσμο», άρθρο δημ. www.evonymos.gr , 6 Μαρτίου 2005
- [9]. <https://en.wikipedia.org/>, Bow Collector
- [10]. Emle Hayden, Michael Assante and Tim Conway, “An Abbreviated History of Automation & Industrial Control Systems and Cybersecurity”, SANS Institute, August 2014
- [11]. Boyer S.A., "SCADA: Supervisory Control and Data Acquisition" ISA- The Instrumentation, Systems and Automation Society, 3rd edition, June 2004
- [12]. <https://allaboutscada.wordpress.com>
- [13]. J. Russel. “A Brief History of SCADA/EMS”, <http://scadahistory.com>, 2015
- [14]. Αναστασία Βελώνη. «Συστήματα Εποπτικού Ελέγχου και Συλλογής Δεδομένων», ενότητα 7^η , ΑΕΙ Τ.Τ. Πειραιά, 2013
- [15]. David Bailey and Edwin Wright, “Practical SCADA for Industry” IDC Technologies, 1st edition 2003
- [16]. Αναστασία Βελώνη. «Συστήματα Εποπτικού Ελέγχου και Συλλογής Δεδομένων», ενότητα 5^η , ΑΕΙ Τ.Τ. Πειραιά, 2015
- [17]. <https://en.wikipedia.org/wiki/SCADA>



- [18]. National Communications System, “Supervisory Control and Data Acquisition (SCADA) Systems”, Technical Information Bulletin 04-1, October 2004
- [19]. Gordon Clarke, Deon Reynders and Edwin Wright, “Practical Modern SCADA Protocols: DNP3, 60870.5 and Related Systems”, Newnes An imprint of Elsevier, 2004
- [20]. Cartiman Iman, «These 3 SCADA Architectures below You Must Know Deeply», <https://program-plc.blogspot>, 18 September 2015
- [21]. Κουμπλής Μάριος, «Πρωτόκολλα βιομηχανικών δικτύων/ δικτύων αυτοματισμού», εργασία, Πανεπιστήμιο Μακεδονίας ΠΜΣ Πληροφορικά Συστήματα, 25 Αυγούστου 2006
- [22]. Αχιλλέας Γ. Μάρκου, «Μελέτη και υλοποίηση συστήματος ελέγχου, παρακολούθησης και καταγραφής εργαστηριακού μικροδικτύου», διπλωματική εργασία, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο- σχολή Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών, Μάρτιος 2015
- [23]. Κεφάλας Γ., Ηλιόπουλος Α.: «Σύστημα Ισχύος Έλξης Τραμ Αθηνών: Υποσταθμοί», Αθήνα, Ιανουάριος 2006,
- [24]. Emon Electric SA Romania « Scada Operating & Maintenance manual, Modern Tramway in Greater Athens», volumes 1 & 2, October 2005



Παράρτημα 1: Paper

Parameters Optimization of SCADA System Operation for Catenary and Traction Substations of Athens Tram Line

Chrysa Giannopoulou

Abstract- High industrial growth in recent years, automation and control of complex systems and applications, as well the introduction of innovative technologies have made it necessary to a direct and uninterrupted control for accurate operation and reliability in systems. The SCADA system collects data and visualizes the operation of the application system by utilizing supervisory control. SCADA is an acronym that stands for Supervisory Control and Data Acquisition. This paper is an introduction on how SCADA Systems are employed by Athens Tram Line for monitoring and control Catenary and Traction Substations, as well proposals for parameters optimization of the existing SCADA system. This paper highlights the benefits of SCADA system that accrue, such as reliability, safety and immediacy in operation level, cost effective and environmental performance ensuring the continuous improvement of the quality of the services provided.

Keywords - SCADA Systems, tram, catenary, power traction, protocols

I.

Introduction

Supervising industrial station, equipments and processes on a daily basis combined with stations located

in different places via a geographical aerie is an extremely arduous task. The need for constant Supervisory Control in Real Time and Data Acquisition led to SCADA Systems. A SCADA System could be defined as the technology that enables a user to collect data from one or more distant facilities and to send limited control instructions to those facilities. SCADA makes it unnecessary for an operator to be assigned to stay or visit frequently remote locations when those facilities are operating normally. SCADA systems are major used in industrial processes: e.g. power generation and distribution, water supply systems, gas and oil pipelines. The basic structure of a SCADA system consists of the following components:

- Master Terminal Unit – MTU, is the host computer on which the SCADA software is installed
- Remote Telemetry Unit - RTU's
- Programmable Logic Controller - PLC's
- Intelligent Electronic Devices - IED's
- Human Machine Interface - HMI
- Communication Network and Telemetry

The MTU station through the communication network (e.g. Ethernet, profidus or wireless)

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΑΥΤΟΜΑΤΙΣΜΟΥ

Π.ΠΑΛΛΗ & ΘΗΒΩΝ 250, 122 44, ΑΙΓΑΛΕΩ, ΑΘΗΝΑ, ΕΛΛΑΔΑ

ΤΗΛ.: +30-210-5381311, MSCAUTO1@TEIPIR.GR



communicates with the local units (PLC, IED & RTU) by adopting the master-slave architecture. The data are transferred from the local units to the MTU, where they are properly processed and recorded on computers with HMI software where the operator can manually check and supervise the processes. The operator, through the computer with HMI, monitors real-time data and information and with input devices, such as keyboard, mouse or touch screens, inserts its commands and controls into the system. It's customary for computers with HMI to connect with a printer as an output device for recording SCADA data and information, as well as an alarm to inform the operator of a change that requires attention. Automatic control signals produced in the MTU are sent back to the local units, which in turn trigger the conversion devices and the machine controllers. The SCADA system software includes a variety of ready and attached functions, making it easy for the user to expand or modify it without the need to stop data collection and recording, as well as eliminating the risk of storage data loss during the modifications. The security of the SCADA system is offered at many different access levels so that is locked against unauthorized access. The access rate of each user is determined through appropriate software from the System Administrator. The evolution of SCADA systems, although it's matured in the late 1970s, has been rapid the last few years. The swift evolution of computer, electronics, automation and electrical technology has contributed to this, as well as the implementation of innovative

technologies in these areas. Their evolution is usually divided into four generations:

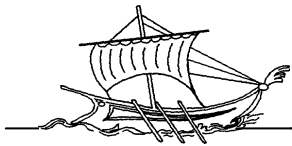
- First Generation- Monolithic
- Second Generation- Distributed
- Third Generation- Networked
- Fourth Generation – Internet of Thinks (IoT)

The main functions of a modern SCADA system can be described as follows:

- Data Acquisition
- Supervisory Control
- Information Display- analyze, process and save and data and represent them through graphs
- Alarm Management and Processing- the system through an audio or visual signal or even a combination of both, alerts the operator
- Information Storage and Reports of historical data file
- Sequence of Event Acquisition –data are transferred to other parts of the central information and management system
- Data calculation

The use of SCADA systems has been increased in recent years, mainly because of the benefits and advantages of that presents.

- Improved quality by making the most of the resources available to the fullest extent possible in terms of use of equipment
- Records and stores information about production and management
- Improved reliability, due to forecasting and diagnosing equipment failures and localization, to maximize availability



- Reduced operating costs due to optimal use of internal energy sources and lower labor costs
- Maintenance / Expansion of the customer base and provision of high value services due to the flexibility and adaptability of production under constantly changing market conditions
- System implementation reduced costs due to minimizing maintenance costs for infrastructure equipment (such as machines, peripherals)
- Improvement of safety conditions due to the minimization of the risk of accidents at work
- Minimize of human error

II.

SCADA System Operation for Catenary and Traction Substations of Athens Tram Line

The rapid development of tram technology has led to tram being considered as urban eco-friendly transportation in the context of noise and exhaust gases, as well as comfort and service to passengers. The use of electricity for tram traffic was considered an eco-friendly mean, since it does not burden the atmosphere with additional exhaust gases. The Athens Tram Line (member of STA.SY.) uses electricity, which is fed to the train via a pantograph. The electrification system that applies in Athens Tram line is consists of two major components. The first one is the Traction Substation (Traction Power

System-TPS) and the second is catenary or overhead line as is otherwise known. Due to the immense importance for the smooth functioning and credibility of the electrification system, the need for immediate and uninterrupted control is deemed necessary and is achieved through the implementation of a modern SCADA system.

The electrification system is constructed in a relative large geographic area, approximately 25 km. tramway and 50 km of catenary. The electrification of the TRAM line is supported by a total of 15 Traction Substations, of which 14 are installed along the urban fabric and the 15th at depot. The Traction Substations are responsible for supplying the necessary electricity to tram. Specifically they convert the supplied power and then feed the catenary, through which the tram receives the required contact energy. The TPS Substations are designed in a simple way and include one or two traction rectifiers and two or three output feeders with one power switch for each feeder. The catenary is electrically divided into segments, through appropriate intersection points (separators), which are usually located near TPS. Between the sides of the intersection points, the feeders of a TPS substation are connected to the contact wire on both overhead lines. Suitable bypass switches enable the "intersection" of the separators and merge the neighboring segments of the catenary.

The SCADA system applied to Athens Tram line is a modern, distributed system tailored to the needs of the company. It was set up from the beginning with the commencement of



operation of Tram line in the city of Athens in 2004 by Emon Electric.

The purpose of the SCADA system is the centrally control of the operation and remote control of the TPS stations through real-time visualization of differences in variations, sizes and conditions of the equipment that are compiled by local computers via compatible of internationally recognized communication protocols and transmitted to the central computer station (MTU-Server) of the system at TRAM Line Control Center. Supervisor and control of the SCADA system for catenary and traction substations is performed by an engineer operator (Power Supervisor), situated at Operation Control Center (OCC). Since for security reasons monitoring the system is required for 24 hours, the workstation in OCC is a 24 hour/7 days shift.

- Description of the established SCADA system

The model followed by the established SCADA system can be described as following: monitoring and controlling the Traction Substations (TPS) operation and as well the operation of the switches through a local computer system / data collection (Device Information Processor-DIP Client) and intermediate data collection and transfer nodes (Full Server), who in turn end up at the central computer station (MTU-Server), which is located in OCC. Each intermediate Full Server (3 in total), in addition being the local computer of the TPS on which it is installed, collects data from four other PCs communicating with it and sends them to the SCADA server and backwards. The SCADA system processes more than 6000 data from the 15 TPS stations daily.

The SCADA system consists of 15 local computers, installed one on each TPS across the network, which are part of the system's peripheral units. The 3 of these computers are the intermediate nodes of data collection and transfer to MTU, located at OCC, where the engineer operator (Power Supervisor), via the HMI interfaces, it performs supervisory and control. The MTU server runs on a Windows Server 2000 / Service Pack 4 environment and are installed WIN CC V6.00 & SICAM PAS CC V5.01 applications from SIEMENS and implements OPC technology. Each local computer consists of a rack-type industrial computer with three basic communication cards installed:

- APPLICOM, PROFIBUS FMS PCU1500PFB
- SIEMENS PROFIBUS DP, CP5613
- MOXA CP-114IS

These local computers (DIP Client) collect all the signals and all the information about the state and position of the switches and various analog magnitudes of voltages and amperages. Local computers run on Windows XP Professional / Service Pack 2. The applications installed on them are based on SIEMENS SICAM PAS V5.00.26. In particular, on the three local computers that act as servers, the applications that are installed are:

- SICAM PAS FULL SERVER V5.00,
- SICAM PAS PROFIBUS DP MASTER,
- SICAM PAS IEC-103 MASTER
- SICAM PAS OPC Client

Rest of local computers (DIP Client) has:



- SICAM PAS DIP
- SICAM PAS Driver for PROFIBUS DP
- SICAM PAS Driver for IEC-103
- SICAM PAS OPC Client

The interface from the APPLICOM card to the DIP Client is via an OPC Client-Server link. If a local computer is shut down due to a fault or error, then remote monitoring, control and operation of the individual TPS is impossible, then for security reasons the computer is turned off until the problem is restored. However, until the local PC is switched off any data and information that exists in the devices and the systems of the TPS, these are not lost but transferred to the MTU via the local computer when it is restored, because the devices and the systems have memory logging for specific period.

On the communications network, all computers for SCADA System are located on an independent virtual LAN (VLAN) network of the metropolitan area network(MAN), entirely made of fiber, using Ethernet standards, and in particular Industrial Ethernet. The communication network can be divided into two sections. The first section concerns communication between local computers (DIP Client), and the interconnection nodes(Full Server), which in turn end up at the host computer (MTU-Server) using TCP / IP communication protocol.

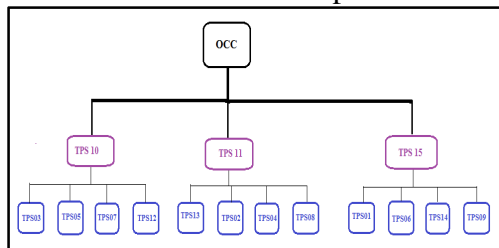


Figure 1 Architecture of Communication Network

The second part of the SCADA system communication network concerns the industrial level, the communication of the systems of the TPS substation with the local computer, for the supervisory of the operation of its equipment internally and externally with the catenary. This communication is established through the use of internationally recognized protocols Profibus DP, Profibus FMS and RS-485, which are linked to the local PC's communication cards and transfer the data to the MTU.

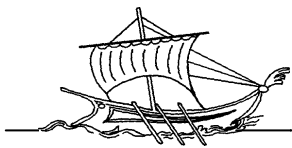
The basic functions and controls of the applied SCADA system are:

- Real-time (RT) display of the DC voltage and amperage of the feeders & incoming,
- Actual state of each Traction Substation
- Medium Voltage (MV) indications at the input of each TPS
Energy consumption indications (active, reactive, total)
- Position indication (ON / OFF, Remote / Topical) for all DC circuit breakers (HSCB) and Medium Voltage switches
- Indication of the current state of the protective relays for MV and DC
- Color indication of the disconnectors positions of feeder and Bypass
- Overtemperature alarm in Transformer windings, Fire alarm and fire system fault alarm
- Auxiliary rectifier fault

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΑΥΤΟΜΑΤΙΣΜΟΥ

Π.ΡΑΛΛΗ & ΘΗΒΩΝ 250, 122 44, ΑΙΓΑΛΕΩ, ΑΘΗΝΑ, ΕΛΛΑΔΑ

ΤΗΛ.: +30-210-5381311, MSCAUTO1@TEIPIR.GR



➤ Door open/closed

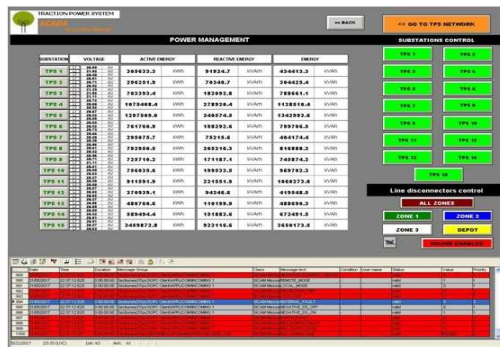


Figure 2 Real time Medium Voltage and Energy consumption for each TPS

SCADA's supervisory functions are result of intelligent devices including sensors and digital relays. For example at the MV field SIMEAS P metric device is responsible for MV indications at each station and energy consumptions.

Regarding the remote control of the existing SCADA system, it supports the manipulation of the switchgear of the Medium Voltage AC switches. Also supports circuit breaker and power switch (HSBC) of the incoming and feeder carriers as well as resetting the SEPCOS card of these carriers.

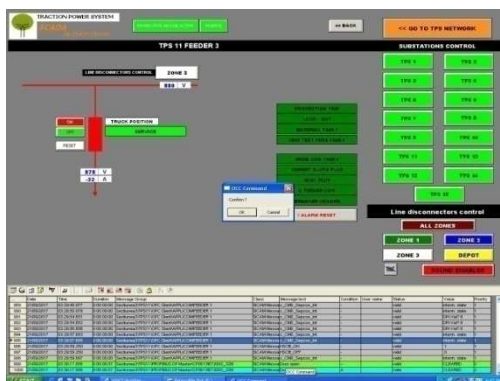


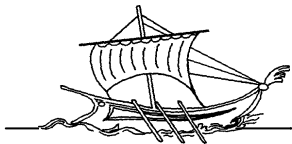
Figure 3 Screenshot of confirmation from user for remote control

The benefits of using SCADA system in Athens Tram line are:

- Optimal management of the equipment, materials and energy of the TPS station is ensured due to the endless monitoring of the system
- Reduced operating costs, instead of sending personnel for scans and measurements at scattered points, the entire system is controlled by the operator at OCC
- Improved reliability of the equipment and materials of a TPS station, the state of the catenary through real-time measurements over the entire network
- Diagnosing equipment failures and errors by the operator, in order to achieve procedures for solving problems by qualified personnel and to avoid incidents that may be detrimental

This can be considered the biggest advantage of using a SCADA system for Athens Tram Line, the safety. It is a mean of public transportation with basic guiding principle the safe transportation of passengers and employees. The intervention in emergency operations should be immediate and effective to avoid partial or total destruction of equipment, even human losses, which are offered to us through a SCADA system.

- Proposals for Parameters Optimization of SCADA System Operation for Catenary and Traction Substations of Athens Tram Line



STA.SY. and Athens Tram line as part of it is a modern company with rapid growth. The expansion of the Tram line has been approved and planned, ensuring at the same time the continuous improvement of the quality of the services that are provided. It is reasonable that main objectives with these extensions expected in the coming years, are the need to improve the level of service provided to the public and the environmental impact of the operation or installation of a tram system, as well as the more economical performance of the system. In the context of improvement, security and more cost-effective performance, the following proposals for parameters optimization of applied SCADA System operation for Catenary and Traction Substation Air Network and Traction Substations are propounded.

➤ Redundancy server

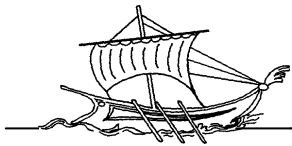
Because of the processes and activities in the current SCADA system are critical, and the cost of loss can be characterized high, a redundancy server must be built. As the master station MTU is a strategic part of the entire SCADA system, it is important the system reliability and availability. The best approach should be a hot standby configuration between the primary MTU and the secondary MTU [4]. A watchdog timer (WDT) could be used and activated if the primary CPU (of primary MTU) does not update or reset it within a given time period. Once the WDT is activated, a changeover is affected from the primary to the secondary CPU (secondary MTU) system. Although the installation of a redundancy Server has a high cost, the criticalness of the SCADA system's immediacy and

reliability to ensure its proper function now and in the future due to the pending expansions consists an increase, of the supervisory control zones, addition of new Traction Substation, is deemed necessary.

➤ Remote control of disconnectors and Bypass switches

The proposal for remote control of disconnectors and Bypass switches arise from the day-to-day problems encountered during the operation of tram combined with the expansion of the tramway.

The catenary allows each part to be powered by 2 neighbouring TPS to ensure continuity of operation in the event of an error or loss of medium voltage from a TPS. In case that the second TPS is experiencing a power problem, then by adjusting the traffic load, this particular part of the catenary can be fed by the next one in the line of the system. In order to do this, local handling of the Bypass switch is required to merge, and then the unit to be fed by adjacent TPS. Until local handling is made, the tram traffic within this range is setting with a limitation, in order not to provoke a sudden increase in demand by causing a short circuit or exceeding the maximum allowable current of the feeder. Due to the limitation of tram numbers within the scope of the feeder, it is reasonable to create time delays in the tram routes with direct consequence to the inconvenience of the passengers. The capability of remote control of Bypass switches, by the operator means direct merge of the TPS to provide sufficient supply to catenary without creating time delays as well as the risk of short circuit would be eliminated. The remote control of the disconnectors is clearly



proposed for safety and protection reasons, since in case of fire there is no immediate isolation of the power supply to the catenary. The cost of activate the remote control of the disconnectors and Bypass switches is low since there is already automatic control within the TPS which is not connected to the SCADA system. In SCADA system there is only the display of the switching positions.

➤ Water level detection/flood water sensor or humidity sensor

The cause of this proposal is deduced from changes in weather conditions that have been observed in recent years, such as heavy rainfall and in combination that some TPS are underground, has as result water inflow. The detection of water level or the increase of humidity through a suitable sensor in the interior of an underground TPS will inform the SCADA system via an audible alarm when it exceeds the maximum allowable limit, allowing the operator to intervene and protect peripheral units or update the technicians in time for pumping water or even actuating by remote control or automatically a water pump for pumping water. This proposal is basics a precautionary measure to ensure the proper operation of TPS equipment, as the problem of water flow in an underground TPS is currently addressed by sending the technicians to check the TPS state and in any case where the water level is high, the TPS is put out of service for safety reasons until the water is pumped.

Although, someone will consider the installation of this proposal a high cost, since through supervisory the proper operation and protection of the equipment is ensured, as well as a

reduction cost after minimizing the movement of the technicians, its implementation over time will result in a cost reduction.

III. Conclusions

The demands of the times combined with the expansion of Athens tram line create needs for improvement of the services provided at the operational, financial and environmental level. The suggestions made in the previous chapter are aimed precisely at this. The installation of a redundancy server, the ability to remotely operate additional switches, and the implementation of intelligent devices (sensors), contribute to the most cost-effective system performance. Over time, the cost reduction will be evident due to more accurate control of the equipment by eliminating faults and errors which, through the information and data acquisition, will make it possible to predict them and thus to properly address them. At the environmental level, the data from the electricity (zero pollutants, low noise emissions) that is used is collected through the SCADA system, allowing with the assist of machine learning in the future, to train the system with the appropriate algorithm to make better use of energy and cost reduction with proper distribution of electricity.

IV. References

- [1]. Boyer S.A., "SCADA: Supervisory Control and Data Acquisition" ISA- The



- Instrumentation, Systems and Automation Society, 3rd edition June 2004
- [2]. Cartiman Iman, «These 3 SCADA Architectures below You Must Know Deeply», <https://program-plc.blogspot>, 18 September 2015
- [3]. Kefalas G., Iliopoulos A, “Electrification System of Athens Tram line: Traction Substations”, Athens, January 2006
- [4]. National Communications System, “Supervisory Control and Data Acquisition (SCADA) Systems”, Technical Information Bulletin 04-1, October 2004
- [5]. Emon Electric SA Romania «Scada Operating & Maintenance manual, Modern Tramway in Greater Athens», volumes 1&2, October 2005
- [6]. David Bailey and Edwin Wright, “Practical SCADA for Industry”, IDC Technologies, 1st edition 2003
- [7]. Gordon Clarke, Deon Reynders and Edwin Wright, “Practical Modern SCADA Protocols: DNP3, 60870.5 and Related Systems”, Newnes An imprint of Elsevier, 2004



Παράρτημα 2: Πρόταση Διατριβής



ΑΝΩΤΑΤΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΠΕΙΡΑΙΑ Τ.Τ.
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΑΥΤΟΜΑΤΙΣΜΟΥ Τ.Ε



ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
ΑΥΤΟΜΑΤΙΣΜΟΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ & ΥΠΗΡΕΣΙΩΝ

Πρόταση Μεταπτυχιακής Διατριβής

1. Όνομα Φοιτητή: ΓΙΑΝΝΟΠΟΥΛΟΥ ΧΡΥΣΑ

2. Όνομα Επιβλέποντα Καθηγητή: ΠΑΠΟΥΤΣΙΔΑΚΗΣ ΜΙΧΑΗΛΗΣ

3. Τίτλος Διατριβής: (Ελληνικά/Αγγλικά)

Βελτιστοποίηση Παραμέτρων Λειτουργίας Συστήματος SCADA Εναέριου Δικτύου και Υποσταθμών Έλξης του TRAM Αθηνών

Parameters Optimization of SCADA System Operation for Catenary and Traction Substations of Athens Tram Line

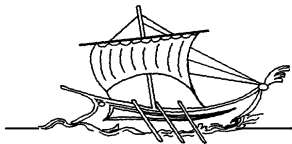
4. Περίληψη Διατριβής:

Τα τελευταία χρόνια, οι υψηλοί ρυθμοί ανάπτυξης της βιομηχανίας, ο αυτοματισμός και ο έλεγχος σύνθετων συστημάτων και εφαρμογών καθώς και η εισαγωγή καινοτομών τεχνολογιών κατέστησε απαραίτητη την ύπαρξη ενός άμεσου και αδιάλειπτου ελέγχου για την άρτια λειτουργία και αξιοπιστία του συστήματων. Το σύστημα SCADA συλλέγει δεδομένα και οπτικοποιεί τη λειτουργία του συστήματος εφαρμογής αξιοποιώντας τον εποπτικό έλεγχο. Η λέξη SCADA αποτελεί τα αρχικά των λέξεων Supervisory Control And Data Acquisition System, δηλαδή σύστημα εποπτείας, ελέγχου και συλλογής δεδομένων. Στην παρούσα διατριβή θα παρουσιαστεί η μελέτη του συστήματος Τηλεχειρισμού SCADA Εναερίου Δικτύου και Υποσταθμών Έλξης που εφαρμόζεται στη γραμμή TRAM, μέλος της εταιρείας ΣΤΑ.ΣΥ. Θα περιγραφεί και θα αναλυθεί η αρχιτεκτονική υλικού και λογισμικού του συστήματος Τηλεχειρισμού SCADA η λειτουργία (ενδείξεις, καταγραφές, χειρισμοί) του συστήματος Τηλεχειρισμού SCADA, ενός Υποσταθμού Έλξης, ο τρόπος ρευματοδότησης του Εναερίου Δίκτυου καθώς επίσης ο τρόπος σύνδεσης και επίδρασης μεταξύ τους. Επίσης, θα παρουσιαστούν προτάσεις βελτιστοποίησης του υπάρχοντος συστήματος SCADA όπως και των παραμέτρων λειτουργίας του συστήματος SCADA με έναν Υποσταθμό Έλξης και το Εναέριο Δίκτυο και πώς μπορούν να εφαρμοστούν για επιπλέον και ασφαλέστερο έλεγχο, ακριβέστερη προστασία του εξοπλισμού ενός Υποσταθμού Έλξης, οικονομικότερη απόδοση του συστήματος όπως με την εφαρμογή αισθητήρων και τηλεχειρισμού επιπλέον διακοπών να αποτελούν μερικές από τις προτάσεις που θα αναλυθούν εκτενώς στην μελέτη. Η μελέτη της διατριβής υπάγεται στο αντικείμενο σπουδών του Π.Μ.Σ., δεδομένου ότι αναφέρεται σε βιομηχανικό και λειτουργικό έλεγχο όπου απαιτούνται αυτοματισμοί υψηλοί ακρίβειας και αξιοπιστίας. Σκοπός της παρούσας μελέτης, εκτός από την ανάλυση των σύγχρονων τεχνολογιών που εφαρμόζονται στο σύστημα ελέγχου και εποπτείας του ρεύματος έλξης της

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΑΥΤΟΜΑΤΙΣΜΟΥ

Π.ΡΑΛΛΗ & ΘΗΒΩΝ 250, 122 44, ΑΙΓΑΛΕΩ, ΑΘΗΝΑ, ΕΛΛΑΔΑ

ΤΗΛ.: +30-210-5381311, MSCAUTO1@TEIPIR.GR



γραμμής TRAM, μέσω των προτάσεων βελτιστοποίησης που θα παρουσιαστούν, θα καταγραφούν τα συμπεράσματα χρήσης ενός τέτοιου συστήματος, και τα οφέλη που προκύπτουν όπως αξιοπιστία, ασφάλεια και αμεσότητα. καθώς επίσης και η μεταφορά των πολιτών με ασφάλεια, αξιοπιστία, άνεση, καθώς και ο σεβασμός στο περιβάλλον, μεριμνώντας παράλληλα για τη συνεχή βελτίωση της ποιότητας των παρεχόμενων υπηρεσιών. Επίσης, η ΣΤΑ.ΣΥ. είναι εταιρεία με ραγδαία ανάπτυξη αφού έχουν εγκριθεί και προγραμματιστεί επεκτάσεις του μέσου. Εύλογο είναι, ότι με τις επεκτάσεις αυτές που αναμένονται τα επόμενα έτη, η ανάγκη για βελτίωση του επίπεδου των παρεχόμενων, στο επιβατικό κοινό, υπηρεσιών και οι επιπτώσεις προς το περιβάλλον της λειτουργίας ή της εγκατάστασης ενός τροchioδρομικού συστήματος αλλά και η οικονομικότερη απόδοση του συστήματος αποτελεί κύριους στόχους, κομμάτι των οποίων αποτελούν και οι προτάσεις βελτιστοποίησης που θα αναλυθούν στη διατριβή. Υπολογίζεται ότι η μελέτη θα ολοκληρωθεί σε διάστημα 4 μηνών, δεδομένου ότι η συλλογή βιβλιογραφίας περιλαμβάνει εκτός από το διαδίκτυο, επικοινωνία με τμήματα που εμπλέκονται στην άρτια λειτουργία και συντήρηση του συστήματος Τηλεχειρισμού και των Υποσταθμών Έλξης. Η επικοινωνία είναι απαραίτητη λόγω ότι θα παρέχει όλες τις επιπλέον πληροφορίες για τη σωστή δόμηση και υλοποίηση της μελέτης. Στη διάρκεια του τελευταίου μήνα θα πραγματοποιηθεί η συγγραφή της διατριβής και οι διορθώσεις αυτής σε συνεργασία με τον επιβλέποντα καθηγητή.

5. Σχέδιο Βαθμολόγησης (με ενδεικτική ποσόστωση)

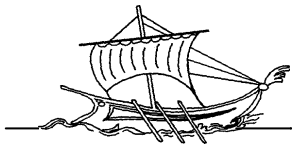
• Εισαγωγή	5%
• Βιβλιογραφική Έρευνα	15%
• Σχεδιασμός Ερευνητικής Μεθοδολογίας	10%
• Σχεδίαση Συστήματος	20%
• Ανάπτυξη Συστήματος	15%
• Έλεγχος Λειτουργίας (testing)	5%
• Παρουσίαση Αποτελεσμάτων	15%
• Συμπεράσματα	5%
• Αυτοαξιολόγηση	5%
• Προτάσεις για περαιτέρω έρευνα	5%

6. Επιτροπή Έγκρισης & Βαθμολόγησης

Δρ.Δ.Τσελές
Καθηγητής
Διευθυντής Π.Μ.Σ

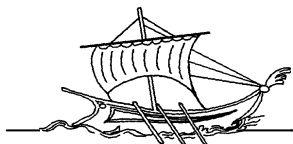
Δρ.Κ.Αλαφοδήμος
Καθηγητής
Πρόεδρος Τμ.Μηχ.
Αυτοματισμού

Δρ.Μ.Παπουτσιδάκης
Αν.Καθηγητής
Επιβλέπων-Εισηγητής



Παράρτημα 3: Ενδείξεις και Συναγερμοί συστήματος SCADA γραμμής TRAM

ΠΕΔΙΟ ΜΕΣΗΣ ΤΑΣΗΣ (MEDIUM VOLTAGE)	
Circuit Breaker On-Off	Διακόπτης φορτίου σε θέση On-Off
Disconnecter switch On-Off	Θέση Αποζεύκτη On-Off
Earth switch On-Off	Θέση Γειωτή On-Off
Earth Fault	Σφάλμα προς γη
Fail Balance	Σφάλμα ανομοιομορφίας των φάσεων
Fault event	Γενικό σφάλμα συμβάντος
I > pick up	Σφάλμα ένδειξης υπερέντασης
I >> pick up	Σφάλμα ένδειξης μεγάλης υπερέντασης (βραχυκύκλωμα)
I > trip	Σφάλμα ένδειξης προστασίας λόγω υπερέντασης
I > >trip	Σφάλμα ένδειξης άμεσης προστασίας λόγω υπερέντασης
Relay pick up	Σφάλμα ένδειξης απότομης αύξησης του ρεύματος
Relay trip	Τριπάρισμα του διακόπτη φορτίου για λόγους προστασίας
Overtemperature alarm	Συναγερμός υπερθέρμανσης
Overtemperature trip winding	Συναγερμός υπερθέρμανσης τυλιγμάτων
Overtemperature trip core	Συναγερμός υπερθέρμανσης πυρήνα
Overtemperature monitoring fault	Συναγερμός υπερθέρμανσης οργάνου επιτήρησης
ΑΝΟΡΘΩΤΗΣ (RECTIFIER)	
Fuse blown monitoring circuit fault	Σφάλμα ένδειξης καμένης ασφάλειας στο κύκλωμα επιτήρησης στο πεδίο συνεχούς τάσης (DC panel)
Fuse blown in Rectifier	Σφάλμα ένδειξης καμένης ασφάλειας για λόγους προστασίας στον ανορθωτή

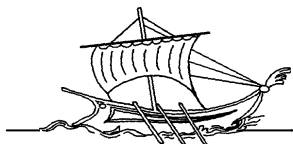


ΠΕΔΙΟ ΕΠΙΣΤΡΟΦΩΝ (NEGATIVE PANEL)	
Negative control circuit fault	Σφάλμα ένδειξης ότι στο πεδίο επιστροφών, κάποια ασφάλεια είναι καμένη ή κάποιος διακόπτης έχει τριπάρει
Negative disconnecter switch On-Off	Θέση αποζεύκτη επιστροφών On-Off
ΑΠΟΖΕΥΚΤΕΣ ΕΝΑΕΡΙΑΣ ΓΡΑΜΜΗΣ (LINE DISCONNECTORS)	
Line disconnecter On-Off	Θέση αποζεύκτη εναέριας γραμμής σε θέση On- Off
ΔΙΑΚΟΠΤΗΣ ΕΙΣΟΔΟΥ ΣΡ (INCOMING, DC)	
HSCB On-Off	Θέση διακόπτη εισόδου DC On-Off
Track in Disconnect position (TrackDP)	Φορείο διακόπτη σε θέση Off
Track in Service position (TrackSP)	Φορείο διακόπτη σε θέση συντήρησης
Local mode	Τοπικός Χειρισμός
Remote mode	Τηλεχειρισμός (χειρισμός μέσω SCADA)
Protection trip	Τριπάρισμα για λόγους προστασίας
Lock out	Ένδειξη που αναφέρει ότι ο διακόπτης εισόδου είναι σε θέση που εμποδίζει τον οποιοδήποτε χειρισμό για λόγους προστασίας
Material fault	Σφάλμα υλικού στο χώρο του Incoming
HSCB coil fault	Ένδειξη που αναφέρει ότι το πηνίο του διακόπτη εισόδου είναι κατεστραμμένο
Earth fault	Ένδειξη για την ύπαρξη σφάλματος ανάμεσα στο (+) 825V DC και τη γη
Negative Earth fault	Ένδειξη για την ύπαρξη σφάλματος ανάμεσα στο (-) 825V DC και τη γη
Imax minus (Imax-)	Ένδειξη βραχυκυκλώματος ή υπέρβαση του ελάχιστου επιτρεπόμενου χρόνου με ένταση μικρότερη της μέγιστης

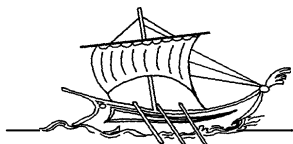
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΑΥΤΟΜΑΤΙΣΜΟΥ

Π.ΡΑΛΛΗ & ΘΗΒΩΝ 250, 122 44, ΑΙΓΑΛΕΩ, ΑΘΗΝΑ, ΕΛΛΑΔΑ

ΤΗΛ.: +30-210-5381311, MSCAUTO1@TEIPIR.GR



	επιτρεπόμενης
Imax plus (Imax+)	Ένδειξη βραχυκυκλώματος ή υπέρβαση του μέγιστου επιτρεπόμενου χρόνου με ένταση μικρότερη της μέγιστης επιτρεπόμενης
Negative control circuit fault	Σφάλμα ένδειξης στο πεδίο επιστροφών ότι κάποια ασφάλεια είναι καμένη ή κάποιος διακόπτης έχει τριπάρει
Breaker fail	Σφάλμα ένδειξης μηχανικού προβλήματος στο διακόπτη του Incoming
ΤΡΟΦΟΔΟΤΙΚΟΣ ΔΙΑΚΟΠΤΗΣ (FEEDER)	
HSCB On-Off	Θέση διακόπτη εισόδου DC On-Off
Track in Disconnect position (TrackDP)	Φορείο διακόπτη σε θέση Off
Track in Service position (TrackSP)	Φορείο διακόπτη σε θέση συντήρησης
Local mode	Τοπικός Χειρισμός
Remote mode	Τηλεχειρισμός (χειρισμός μέσω SCADA)
Protection trip	Τριπάρισμα για λόγους προστασίας
Lock out	Ένδειξη που αναφέρει ότι ο διακόπτης εισόδου είναι σε θέση που εμποδίζει τον οποιοδήποτε χειρισμό για λόγους προστασίας
HSCB coil fault	Ένδειξη που αναφέρει ότι το πηνίο του διακόπτη εισόδου είναι κατεστραμμένο
Material fault	Σφάλμα υλικού στο χώρο του Incoming
Line test fuse fault	Σφάλμα ένδειξης καμένης ασφάλειας του κυκλώματος ελέγχου της γραμμής
DDL+ (Current slope+)	Κατά τη σύγκριση του τρέχοντος ρεύματος στο Feeder και του di/dt με τις τιμές $E(kA/s)$ & $F(kA/s)$ που έχουν ρυθμιστεί στο SEPCOS, αν $di/dt > E$ ξεκινάει η μέτρηση των αυξανόμενων δ & t
DDL-	Κατά τη σύγκριση του τρέχοντος ρεύματος στο Feeder και του $di/dt (-)$ με τις τιμές $E(kA/s)$ & $F(kA/s)$ που έχουν ρυθμιστεί στο SEPCOS, αν $di/dt < E$ ξεκινάει η μέτρηση των αυξανόμενων δ & t
DDI	Σφάλμα ένδειξης διαρροής σε καλώδιο τροφοδοσίας σε κάποιο τμήμα της



	γραμμής
Imax plus (Imax+)	Ένδειξη βραχυκυκλώματος ή υπέρβαση του μέγιστου επιτρεπόμενου χρόνου με ένταση μικρότερη της μέγιστης επιτρεπόμενης
U Feeder Low	Σφάλμα ένδειξης τάσης στο Feeder χαμηλότερης από την ελάχιστη δυνατή τάση λειτουργίας
Negative control circuit fault	Σφάλμα ένδειξης στο πεδίο επιστροφών ότι κάποια ασφάλεια είναι καμένη ή κάποιος διακόπτης έχει τριπάρει
Breaker fail	Σφάλμα ένδειξης μηχανικού προβλήματος στο διακόπτη του Feeder
ΑΥΧΙΛΙΑΡΙΑ ΣΕΡΒΙΣ ΠΑΝΕΛ (ΠΙΝΑΚΑΣ ΒΟΗΘΗΤΙΚΩΝ ΠΑΡΟΧΩΝ)	
AC Supply fault	Σφάλμα τροφοδοσίας 230/400V
Battery Supply fault	Σφάλμα στο γενικότερο χώρο των μπαταριών
Auxiliary rectifier fault	Σφάλμα στην ανόρθωση κατά τη φόρτιση των μπαταριών
Ventilation Supply fault	Σφάλμα στο γενικότερο χώρο των ανεμιστήρων
AC MCB Tripped	Σφάλμα παροχής 400V DC στον ανορθωτή των μπαταριών
DC MCB Tripped	Σφάλμα παροχής 110 V DC από τον ανορθωτή των μπαταριών
Command Contactor fault	Σφάλμα ένδειξης ότι ο μικροαντάματος τροφοδότης του πηνίου ρελέ γείωσης 230V είναι ανοιχτός
GENERAL ALARMS (ΓΕΝΙΚΟΙ ΣΥΝΑΓΕΡΜΟΙ)	
Fire alarm	Συναγερμός Πυρκαγιάς
Fire system fault	Σφάλμα Πυρανίχνευσης
Door open (Raised=Cleared)	Πόρτα ανοιχτή-κλειστή
Negative Contactor Closed	Ενεργοποίηση ρελέ γείωσης ράγων τροchioδρόμου ή καμένη ασφάλεια 1 A στο πεδίο επιστροφών
Simeas P supply fault	Σφάλμα παροχής στο όργανο μετρήσεων
Voltage metering circuit fault	Σφάλμα στο κύκλωμα μέτρησης της τάσης