



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΙΣΧΥΟΣ

Προσομοίωση και Ανάλυση Δεδομένων Συστημάτων Βιομηχανικού Αυτοματισμού

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Κουζούμπασης Π. Χαράλαμπος

Επιβλέπων: Γεώργιος Κορρές, Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Ιούνιος 2021



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΙΣΧΥΟΣ

Προσομοίωση και Ανάλυση Δεδομένων Συστημάτων Βιομηχανικού Αυτοματισμού

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Κουζούμπασης Π. Χαράλαμπος

Επιβλέπων: Γεώργιος Κορρές, Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή στις 4 Ιουνίου 2021.

.....
Γεώργιος Κορρές
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....
Πάυλος Γεωργιλάκης
Αν. Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....
Ιωάννης Γκόνος
Αν. Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Ιούνιος 2021

.....
Κουζούμπασης Π. Χαράλαμπος

Διπλωματούχος Ηλεκτρολόγος Μηχανικός και Μηχανικός Υπολογιστών Ε.Μ.Π

Copyright © Κουζούμπασης Π. Χαράλαμπος, 2020

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς τον συγγραφέα.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν το συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευτεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

Περίληψη

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η εκμάθηση και κατανόηση των σύγχρονων συστημάτων ελέγχου και των απαιτούμενων στοιχείων τους, η ανάδειξη των απαιτούμενων γνώσεων από πλευράς ενός μηχανικού συστημάτων ελέγχου καθώς και η επίδειξη μερικών εκ των ανωτέρω μέσω μίας ολοκληρωμένης προσομοίωσης συστήματος ελέγχου ενός διαχωριστή νερού – ελαίου στο περιβάλλον του TIA Portal της Siemens. Η προσομοίωση αποτελεί ένα ολοκληρωμένο ελεγκτικό σύστημα, με ελάχιστες διαφορές από μία πραγματική εφαρμογή.

Εκτός από την βάση του προγραμματισμού προγραμματιζόμενων λογικών ελεγκτών μέσω της γλώσσας Ladder, έχει δοθεί επιπλέον έμφαση σε διάφορα κομμάτια εκπαιδευτικού χαρακτήρα, με σκοπό την περαιτέρω περιήγηση στις δυνατότητες του TIA Portal και μία γρήγορη ανασκόπηση των τάσεων των βιομηχανικών αυτοματισμών σήμερα και των σύγχρονων απαιτήσεων της δουλειάς ενός μηχανικού συστημάτων ελέγχου. Έγινε προσπάθεια να αναδειχθούν βασικά σημεία αναφοράς από τον προγραμματισμό του συστήματος μέχρι και την επικοινωνία μεταξύ ελεγκτών και τον έλεγχο κινητήρων.

Καθώς οι δυνατότητες προσομοίωσης είναι περιορισμένες, δόθηκε έμφαση στην ανάδειξη συγκεκριμένων, προσομοιώσιμων λειτουργιών, ενώ άλλες αφέθηκαν μόνο με μία όσο το δυνατόν επαρκή εξήγηση της εν δυνάμει λειτουργίας τους.

Λέξεις κλειδιά

Μηχανισμοί Συστημάτων Ελέγχου, Προγραμματιζόμενοι λογικοί ελεγκτές, Συστήματα Εποπτείας Ελέγχου και Συλλογής πληροφοριών, Έλεγχος PID, Προσομοίωση Συστήματος Ελέγχου.

Abstract

The purpose of this dissertation thesis is to learn and understand the modern control systems and their required components, to highlight the required knowledge of a control systems engineer as well as to demonstrate some of the above through a complete control system simulation of a water-oil separator in the environment of Siemens TIA Portal. The simulation is a complete control system, with minimal differences from a real application.

In addition to the basics of PLC programming through the ladder language, additional emphasis has been placed on various pieces of educational character, in order to further explore the capabilities of the TIA Portal and a quick overview of current industrial automation trends and modern work requirements of a control systems engineer. An attempt was made to highlight key points of reference, from system programming to communication between PLCs and motion control.

As the possibilities of simulation are limited, emphasis was placed on highlighting specific, simulable functions, while others were left with only one possible explanation of their potential function.

Key Words

Control Systems Engineering, Programmable Logical Controllers, Supervisory Control And Data Acquisition System, PID Control, Control System Simulation.

Πρόλογος

Η παρούσα εργασία είχε ως στόχο την ανάδειξη ενός μεγάλου τμήματος των απαιτούμενων γνώσεων και των δεξιοτήτων ενός μηχανικού συστημάτων ελέγχου. Ξεκίνησε τον Σεπτέμβριο του 2020 και ολοκληρώθηκε τον Μάιο του 2021.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα την εργασία, Καθηγητή κ. Γ. Κορρέ που μου έδωσε τη δυνατότητα να ασχοληθώ με το συγκεκριμένο θέμα. Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένειά μου για την αμέριστη συμπαράσταση και υποστήριξή τους καθ' όλη τη διάρκεια εκπόνησης της εργασίας.

Περιεχόμενα

Εισαγωγή.....	10
Κεφάλαιο 1.....	
Δομές και Έννοιες Συστημάτων Ελέγχου	
1.1 Εισαγωγή.....	11
1.2 SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition).....	11
1.3 DCS (Distributed control systems).....	14
1.4 IIoT (Industrial Internet of Things).....	16
Κεφάλαιο 2.....	
Συσκευές Ελέγχου	
2.1 Προγραμματιζόμενοι Λογικοί Ελεγκτές.....	20
2.1.1 Αρχιτεκτονική ενός PLC.....	20
2.1.2 Γλώσσες προγραμματισμού.....	28
2.1.3 Δυνατότητες επικοινωνίας.....	34
2.1.3.1 Το πρότυπο Modbus.....	35
2.2 Απομακρυσμένες Μονάδες Τηλεμετρίας.....	39
Κεφάλαιο 3.....	
Συσκευές I/O: Είσοδοι και έξοδοι των διαδικασιών	
3.1 Αισθητήρες.....	42
3.1.1 Ψηφιακοί Αισθητήρες.....	43
3.1.2 Αναλογικοί Αισθητήρες.....	46
3.1.3 Αισθητήρες Ειδικού Τύπου.....	49
3.2 Οδήγηση Κινητήρων.....	50
3.2.1 Ομαλοί εκκινήτες.....	50
3.2.2 Μονάδες Μεταβλητής Συχνότητας.....	52
3.2.3 Ενεργοποιητές.....	54
Κεφάλαιο 4.....	
Διεπαφή και Προσβασιμότητα	
4.1 Διεπαφές Ανθρώπου – Μηχανής.....	58
4.2 Απομακρυσμένη Διαχείριση.....	61
4.2.1 Secomea.....	62
4.2.2 ELPRO.....	64
Κεφάλαιο 5.....	
Πλατφόρμες και Λογισμικά	
5.1 Εισαγωγή.....	67
5.2 Προγραμματισμός PLC και HMI.....	68
5.2.1 Η πλατφόρμα TIA Portal.....	71

5.3 Λογισμικά ανάλυσης δεδομένων και διασφάλισης ποιότητας	73
5.3.1 Proficy CSense.....	75

Κεφάλαιο 6.....

Προσομοίωση Συστήματος

6.1 Σκοπός.....	80
6.2 Ο διαχωριστής νερού – ελαίων.....	81
6.3 Περιγραφή του συστήματος ελέγχου.....	83
6.4 Προσομοίωση στο TIA Portal	85
6.4.1 PID Ελεγκτές.....	89
6.4.2 Modbus TCP.....	92
6.5 CSence.....	93
6.6 Secomea.....	100
6.7 ELPRO.....	102
6.8 Συμπεράσματα.....	105

Παράρτημα..... 107

Βιβλιογραφία..... 124

Εισαγωγή

Η παρούσα διπλωματική εργασία αποτελείται από 6 κεφάλαια:

- **Κεφάλαιο 1^ο**

Γίνεται αναφορά στις διαφορετικές δομές και αρχιτεκτονικές συστημάτων ελέγχου. Αξίζει να σημειωθεί πως η μία δεν αναιρεί την άλλη, αλλά λειτουργούν συνδυαστικά και συνεργατικά, οπότε προτείνεται στον αναγνώστη να μην οριοθετήσει στο μυαλό του τα διαφορετικά συστήματα, παρά μόνο να συγκρατήσει τις δυνατότητές τους.

- **Κεφάλαιο 2^ο**

Γίνεται λεπτομερής ανάλυση του τρόπου λειτουργίας των προγραμματιζόμενων λογικών ελεγκτών. Επίσης γίνεται αναφορά στα δομικά στοιχεία ενός συστήματος ελέγχου και στους τρόπους προγραμματισμού ενός προγραμματιζόμενου λογικού ελεγκτή. Τέλος παρατίθενται και οι συγγενείς τους, οι απομακρυσμένες μονάδες τηλεμετρίας.

- **Κεφάλαιο 3^ο**

Αναφέρονται βιβλιογραφικά οι πιθανές εισοδοι και έξοδοι ελεγκτών, με ποικίλα παραδείγματα και λειτουργίες. Η συνδεσμολογία τους είναι μία πολύ πιο σύνθετη διαδικασία για την οποία απαιτείται εμπειρία και χρήση των εγχειριδίων της εκάστοτε συσκευής, όπως άλλωστε ισχύει σε κάθε συσκευή αυτοματισμού. Δεν γίνεται αναφορά σε ενδεικτικές λυχνίες ή ρελέδες και άλλες, γνωστές σε όλους τεχνολογίες.

- **Κεφάλαιο 4^ο**

Αναλύονται μέθοδοι διεπαφής ανθρώπου μηχανής, είτε για την εποπτεία και την διαχείρισή της, είτε για τον προγραμματισμό της, τοπικά ή απομακρυσμένα. Δίνονται επίσης παραδείγματα δύο λύσεων απομακρυσμένης διαχείρισης, της Secomea και της ELPRO.

- **Κεφάλαιο 5^ο**

Γίνεται εκτενής αναφορά σε λογισμικά και πλατφόρμες που χρησιμοποιούνται για την διαμόρφωση και τον προγραμματισμό διεπαφών και ελεγκτών, καθώς και για την ανάλυση δεδομένων και την επίλυση προβλημάτων, μέσω των TIA Portal και CSense.

- **Κεφάλαιο 6^ο**

Προσομοιώνεται ένα υποθετικό σύστημα ελέγχου. Αναλυτικά αναφέρονται ο τρόπος ελέγχου της εφαρμογής - προσομοίωσης και καίρια σημεία που ξεφεύγουν ελαφρώς από την κλασική χρήση της γλώσσας Ladder. Αναδεικνύονται επίσης όσο το δυνατόν περισσότερο και τεχνολογίες που αναφέρονται σε προηγούμενα κεφάλαια.

- **Παράρτημα**

Παρατίθεται ο κώδικας του προγράμματος σε γλώσσα Ladder STEP7 και τα σχετικά σχόλια.

Κεφάλαιο 1

Δομές και Έννοιες Συστημάτων Ελέγχου

1.1 Εισαγωγή

Αυτοματισμός είναι η χρήση λογικών εντολών προγραμματισμού και μηχανοποιημένου εξοπλισμού για την αντικατάσταση της λήψης αποφάσεων και των χειρονακτικών δραστηριοτήτων εντολής-απόκρισης του ανθρώπου. Μειώνοντας σημαντικά τον ανθρώπινο παράγοντα, εξασφαλίζεται ασφάλεια κατά την εκτέλεση των διαφόρων διεργασιών, ενώ ταυτόχρονα βελτιστοποιείται η παραγωγικότητα.

Η τεχνολογία αυτοματισμού είναι ένας συνδυαστικός τομέας που χρησιμοποιεί γνώσεις και επιστημονικές μεθόδους από πολλές άλλες τεχνικές επιστήμες. Μία αυτόματη μηχανή είναι ένα τεχνητό σύστημα που λαμβάνει αποφάσεις που βασίζονται στη σύνδεση εισόδων με τις αντίστοιχες καταστάσεις του συστήματος. Αυτές οι αποφάσεις με τη σειρά τους παράγουν συγκεκριμένες επιθυμητές εξόδους.

Ένας μηχανικός συστημάτων ελέγχου καλείται να έχει άριστες γνώσεις στην μηχανοποίηση, κωδικοποίηση και διασύνδεση των διαφόρων στοιχείων ενός συστήματος ελέγχου, ούτως ώστε να δύναται να δημιουργήσει ένα πλήρως αυτόνομο σύστημα αυτοματισμού, ικανό να ανταπεξέλθει στις εκάστοτε προσδοκίες. Το εύρος τέτοιων συστημάτων ποικίλει, από απομονωμένα συστήματα όπως μία μεταφορική ταινία αποσκευών στο αεροδρόμιο, έως ένα σύνολο εκατοντάδων, αλληλοεξαρτώμενων διεργασιών σε ένα εργοστάσιο παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας ή ακόμα κι ένα παγκόσμιο δίκτυο διεργασιών που αλληλεπικοινωνούν μεταξύ τους και εξαρτώνται οι ενέργειες του ενός από τις καταστάσεις ή τις εξόδους του άλλου.

Απαιτούνται ποικίλα στοιχεία για την πραγματοποίηση σύγχρονων αυτόματων διαδικασιών, όπως:

- ελεγκτές για τον έλεγχο της ροής του προγράμματος και τη λήψη αποφάσεων
- αισθητήρες και ρελέδες ελέγχου για την ανίχνευση των καταστάσεων του συστήματος
- “ενεργοποιητές” (actuators), ρελέδες και άλλα, για την έξοδο των εντολών ελέγχου
- συσκευές εποπτείας και τηλεμετρίας
- επικοινωνιακές υποδομές

Σε απλές διατάξεις αυτοματισμού, χρησιμοποιούνται ουσιαστικά μόνο οι τρεις πρώτες, ίσως και με μία μέθοδο παρακολούθησης του συστήματος. Για αυτό και οι ελεγκτές, οι αισθητήρες και οι ενεργοποιητές θεωρούνται βασικά συστατικά ενός συστήματος ελέγχου.

Το σύνολο όλων αυτών των στοιχείων ενοποιημένων σε μία μεγάλη δομή ελέγχου, με σκοπό την συλλογή, εποπτεία και διαχείριση των πληροφοριών του συστήματος, ονομάζεται SCADA.

1.2 SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition)

SCADA είναι μία αρχιτεκτονική συστήματος ελέγχου που περιλαμβάνει υπολογιστές, επικοινωνίες δεδομένων δικτύου και γραφικές διεπαφές με το χρήστη (GUI) για εποπτική διαχείριση διεργασιών υψηλού επιπέδου, ενώ περιλαμβάνει επίσης άλλες περιφερειακές συσκευές όπως προγραμματιζόμενους λογικούς ελεγκτές (PLC) και PID (proportional – integral

– derivative) ελεγκτές, για διασύνδεση με μονάδες επεξεργασίας ή μηχανήματα. Ουσιαστικά, οποιαδήποτε εφαρμογή λαμβάνει δεδομένα από ένα σύστημα για τον έλεγχο αυτού του συστήματος αποτελεί μία εφαρμογή SCADA.

Ο κύριος στόχος αυτού του συστήματος εποπτείας είναι η παρακολούθηση και ο έλεγχος του εξοπλισμού στις βιομηχανικές διαδικασίες για εταιρείες του δημόσιου και του ιδιωτικού τομέα. Στην πραγματικότητα, στον σημερινό κόσμο, υπάρχουν συστήματα SCADA σχεδόν παντού. Συνήθως τα συστήματα SCADA χρησιμοποιούνται για την αυτοματοποίηση και τη συλλογή δεδομένων πολύπλοκων βιομηχανικών διαδικασιών όπου ο ανθρώπινος έλεγχος δεν είναι πρακτικός - συστήματα όπου υπάρχουν περισσότεροι και ταχύτεροι παράγοντες ελέγχου από ό,τι ένας άνθρωπος μπορεί να διαχειριστεί. Αυτό περιλαμβάνει βιομηχανικές εγκαταστάσεις, κατασκευές, μεταφορές, πετρέλαιο και φυσικό αέριο, διανομή ενέργειας, έλεγχο δεξαμενών νερού κ.λπ.

Συγκεκριμένα, ένα σύστημα SCADA εξυπηρετεί τέσσερις σκοπούς:

Απόκτηση δεδομένων: Η συλλογή δεδομένων ενός SCADA συχνά περιλαμβάνει κάποιο είδος αναλογικής σε ψηφιακή μετατροπή. Τα συστήματα προς επίβλεψη είναι πολύ πιο περίπλοκα από ένα μηχάνημα με μία έξοδο. Δεν είναι σπάνιο σε μεγάλες μονάδες αυτοματισμού να παρακολουθούνται εκατοντάδες ή χιλιάδες αισθητήρες ταυτόχρονα.

Ορισμένοι αισθητήρες μετρούν τις εισόδους στο σύστημα (για παράδειγμα, νερό που ρέει σε δεξαμενή) και μερικοί αισθητήρες μετρούν τις εξόδους (όπως η πίεση της βαλβίδας καθώς απελευθερώνεται νερό στη δεξαμενή). Κάποιοι από αυτούς μετρούν απλά γεγονότα που μπορεί να είναι ανιχνεύσιμα από έναν απλό διακόπτη on/off, που ονομάζεται διακριτή είσοδος (ή ψηφιακή είσοδος) καθώς έχει δύο πιθανές καταστάσεις. Χρήση διακριτών εισόδων έχουμε για απλές καταστάσεις, όπως εάν ο εξοπλισμός είναι ενεργοποιημένος ή απενεργοποιημένος, ή για συναγερμούς όπως κατά την διακοπή ρεύματος σε κρίσιμη εγκατάσταση. Ορισμένοι αισθητήρες μετρούν πιο περίπλοκες καταστάσεις όπου η ακριβής μέτρηση είναι σημαντική. Αυτοί είναι οι αναλογικοί αισθητήρες, οι οποίοι μπορούν να ανιχνεύσουν συνεχείς αλλαγές τάσης ή ρεύματος. Οι αναλογικοί αισθητήρες χρησιμοποιούνται για την παρακολούθηση των επιπέδων υγρού σε δεξαμενές, επίπεδα τάσης μπαταριών, θερμοκρασία και άλλους παράγοντες που μπορεί να είναι μετρήσιμοι σε συνεχές εύρος εισόδου. Για τους περισσότερους αναλογικούς παράγοντες, υπάρχει ένα εύρος που ορίζεται από κατώτερο και ανώτερο επίπεδο. Για παράδειγμα, μπορεί η θεμιτή θερμοκρασία σε ένα δωμάτιο να είναι μεταξύ 15 και 35 βαθμών Κελσίου. Εάν η θερμοκρασία ξεπεράσει προς τα πάνω ή προς τα κάτω αυτό το εύρος, θα ενεργοποιήσει ένα συναγερμό. Σε πιο προηγμένα συστήματα, υπάρχουν τέσσερις συναγερμοί για αναλογικούς αισθητήρες: Major Under, Minor Under, Minor Over και Major Over. Περισσότερα για τους αισθητήρες και τις λειτουργίες τους αναφέρονται στο Κεφάλαιο 3.

Δικτυακή επικοινωνία δεδομένων: Τα δεδομένα που συλλέγονται μεταδίδονται, είτε ανεξάρτητα, είτε ως απόκριση σε αίτημα για δεδομένα, σε κάποιο είδος ενοποιητή ή Master. Το κανάλι επικοινωνίας μπορεί να είναι αναλογικό (T202, POTS) ή ψηφιακό (RS485, TCP/IP). Η τοπολογία του δικτύου SCADA συνήθως περιλαμβάνει επίσης κάποιο είδος επικύρωσης της μεταφοράς, ανεξάρτητη από οποιαδήποτε άλλη επικύρωση περιεχομένου.

Θέλουμε να είμαστε σε θέση να παρακολουθούμε πολλά συστήματα από μία κεντρική τοποθεσία, οπότε χρειαζόμαστε ένα δίκτυο επικοινωνιών για να μεταφέρουμε όλα τα δεδομένα που συλλέγονται από τους αισθητήρες. Τα πρώτα δίκτυα SCADA επικοινωνούσαν μέσω ραδιοφώνου, μόντεμ ή αποκλειστικών σειριακών γραμμών. Σήμερα συνηθίζεται να μετακινούμε τα δεδομένα μέσω Ethernet και του διαδικτύου. Για λόγους ασφαλείας, τα

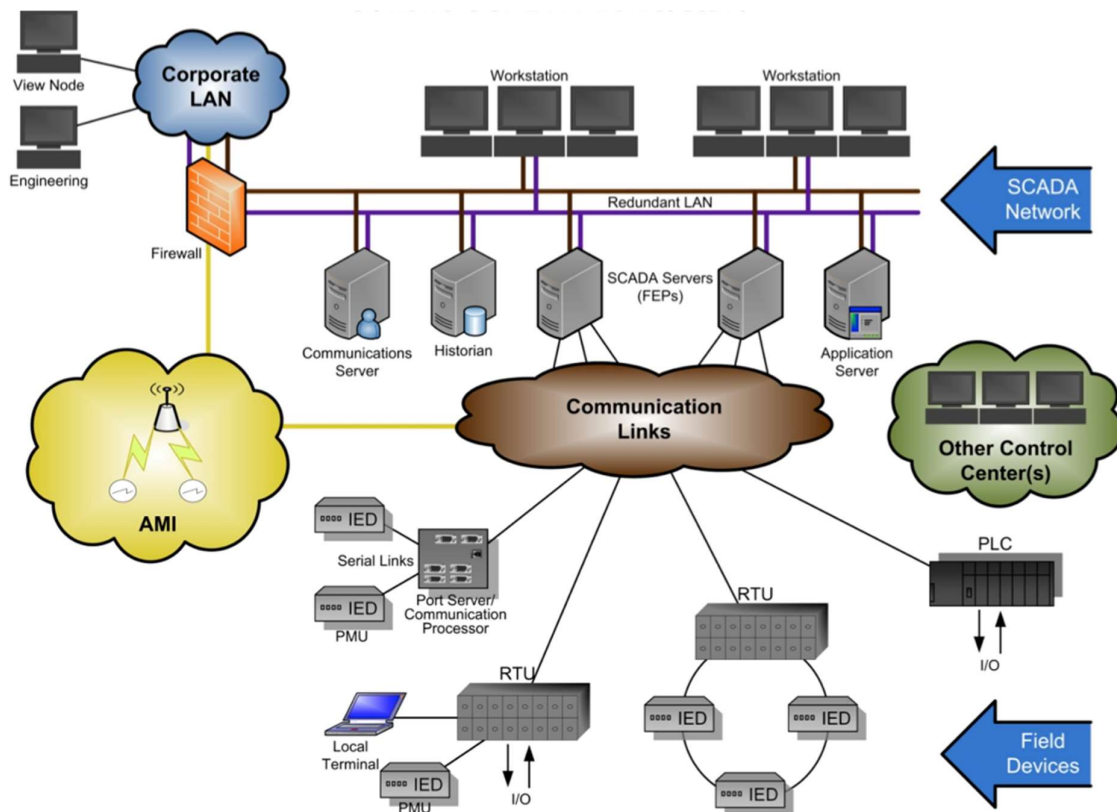
δεδομένα SCADA πρέπει να διατηρούνται σε κλειστά τοπικά δίκτυα χωρίς έκθεση των ευαίσθητων δεδομένων στο ανοιχτό διαδίκτυο. Τα δεδομένα κωδικοποιούνται σε μορφή πρωτοκόλλων. Τα παλαιότερα συστήματα SCADA εξαρτώνταν από κλειστά ιδιόκτητα πρωτόκολλα, αλλά σήμερα η τάση βρίσκεται στο άνοιγμα των πρωτοκόλλων και των διαμεσολαβητών τους. Οι αισθητήρες και τα ρελέ ελέγχου είναι πολύ απλές συσκευές που δεν μπορούν να δημιουργήσουν ή να ερμηνεύσουν τέτοιου είδους επικοινωνίες. Επομένως, απαιτούνται ξεχωριστές μονάδες, όπως η απομακρυσμένη μονάδα τηλεμετρίας (RTU) ή οι προγραμματιζόμενοι λογικοί ελεγκτές (PLC) για να παρέχουν μια διεπαφή μεταξύ των αισθητήρων και του δικτύου SCADA. Το RTU κωδικοποιεί τις εισόδους του αισθητήρα σε μορφή πρωτοκόλλου και τα διαβιβάζει στο κύριο SCADA. Επίσης, το RTU λαμβάνει εντολές ελέγχου σε κάποια μορφή πρωτοκόλλου επικοινωνίας και μεταδίδει ηλεκτρικά σήματα στο κατάλληλο ρελέ ελέγχου. Το PLC εκτελεί παρόμοιες λειτουργίες, αν και συνήθως με μεγαλύτερες δυνατότητες προγραμματισμού του αλλά μικρότερες όσον αφορά την απόστασή του από την εγκατάσταση ή την αντοχή του σε αντίξοες περιβαλλοντικές συνθήκες. Τα PLC, τα RTU και τα πρωτόκολλα επικοινωνίας αναλύονται εκτενέστερα στο Κεφάλαιο 2.

Απεικόνιση δεδομένων: Τα δεδομένα που συλλέγονται υποβάλλονται σε επεξεργασία, οργανώνονται και παρουσιάζονται για τους διαχειριστές συστημάτων ώστε να λαμβάνουν τις κατάλληλες αποφάσεις απόκρισης και ελέγχου. Η παρουσίαση μπορεί να ποικίλει από εμφάνιση σε πίνακα των καταγεγραμμένων συμβάντων έως γραφική παρουσίαση με χαρτογράφηση ή υπόβαθρα εικόνας.

Ένα σύστημα SCADA εμπεριέχει επίσης επαγγελματίες που χειρίζονται εξειδικευμένους υπολογιστές ή κέντρα ελέγχου, διεπαφές ανθρώπου - μηχανής (HMIs: Human - Machine Interfaces) ή υπολογιστή - μηχανής (HCIs: Human - Computer Interfaces). Ο κύριος σταθμός SCADA έχει πολλές διαφορετικές λειτουργίες. Παρακολουθεί συνεχώς όλους τους αισθητήρες και ειδοποιεί το χειριστή όταν υπάρχει «συναγερμός» - δηλαδή, όταν ένα παράγοντας λειτουργεί εκτός αυτού που ορίζεται ως η κανονική λειτουργία του. Παρουσιάζει μια ολοκληρωμένη εικόνα του συνόλου του διαχειριζόμενου συστήματος και παρουσιάζει περισσότερες λεπτομέρειες ως απάντηση στις αιτήσεις του χρήστη. Επίσης, εκτελεί επεξεργασία δεδομένων σχετικά με πληροφορίες που συλλέγονται από αισθητήρες, διατηρεί αρχεία καταγραφής αναφορών και συνοψίζει τις ιστορικές τάσεις. Ένας προηγμένος σταθμός SCADA, με την χρήση πλέον των Big Data και της μηχανικής μάθησης, μπορεί να προσθέσει μεγάλη ευφυΐα και αυτοματισμό στη διαχείριση των συστημάτων σας, κάνοντας προβλέψεις για την κατάσταση υγείας και την απαιτούμενη συντήρηση των χρησιμοποιούμενων μηχανημάτων ή για τις περαιτέρω δυνατότητες βελτίωσης της παραγωγής.

Έλεγχος: Εάν απαιτούνται αποφάσεις ελέγχου και το σύστημα υποστηρίζει έξοδο, μπορούν να αποσταλούν κατάλληλες εντολές για να επηρεάσουν συγκεκριμένες αλλαγές λειτουργίας ή διαμόρφωσης. Οι περισσότερες ενέργειες ελέγχου εκτελούνται από απομακρυσμένες τερματικές μονάδες (RTUs) και προγραμματιζόμενους λογικούς ελεγκτές (PLCs).

Τα συστήματα SCADA ελέγχουν αυτόματα όλα τα είδη βιομηχανικών προϊόντων και διαδικασίες. Για παράδειγμα, εάν δημιουργηθεί υπερβολική πίεση σε αγωγό αερίου, το σύστημα SCADA μπορεί να ανοίξει αυτόματα μια βαλβίδα απελευθέρωσης. Η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας μπορεί να προσαρμοστεί για να ικανοποιήσει τις απαιτήσεις του ηλεκτρικού δικτύου. Ακόμα και αυτά τα παραδείγματα απλοποιούνται. Ένα σύστημα SCADA πλήρους κλίμακας μπορεί να προσαρμόζει το διαχειριζόμενο σύστημα βάσει απόκρισης σε πολλαπλές εισόδους. [2],[3]



Σχήμα 1.1 Παράδειγμα ενός συστήματος SCADA. Η μορφολογία του δεν έχει πραγματικά περιορισμούς, εκτός από την ύπαρξη τουλάχιστον ενός ελεγκτή μαζί με τις εισόδους και εξόδους του.

1.3 DCS (Distributed Control Systems)

Ένας όρος που συχνά συγχέεται με τα SCADA είναι αυτός των Κατανεμημένων Συστημάτων Ελέγχου (DCS - Distributed control systems). Ένα κατανεμημένο σύστημα ελέγχου είναι ένα μηχανογραφημένο σύστημα που χρησιμοποιείται για μια διεργασία ή εγκατάσταση με πολλούς βρόχους ελέγχου, στους οποίους οι αυτόνομοι ελεγκτές κατανέμονται σε όλο το σύστημα. Τα κατανεμημένα συστήματα ελέγχου εμφανίστηκαν για πρώτη φορά σε μεγάλες, υψηλής σημασίας και κρίσιμες για την ασφάλεια βιομηχανικές διεργασίες, και ήταν ελκυστικά επειδή ο κατασκευαστής DCS θα προμήθευε τόσο το τοπικό επίπεδο ελέγχου όσο και τον κεντρικό εποπτικό εξοπλισμό ως ολοκληρωμένο πακέτο, μειώνοντας έτσι τη δυσκολία ενοποίησης του σχεδιασμού. Σήμερα η λειτουργικότητα των συστημάτων SCADA και DCS είναι πολύ παρόμοια, αλλά το DCS τείνει να χρησιμοποιείται σε μεγάλες μονάδες συνεχούς διεργασίας όπου η υψηλή αξιοπιστία και ασφάλεια είναι σημαντική και ο χώρος ελέγχου δεν είναι γεωγραφικά απομακρυσμένος.

Το βασικό χαρακτηριστικό ενός DCS είναι η αξιοπιστία του λόγω της κατανομής της επεξεργασίας ελέγχου γύρω από κόμβους στο σύστημα. Αυτό μετριάζει την έκταση του σφάλματος ενός επεξεργαστή. Εάν ένας επεξεργαστής αποτύχει, θα επηρεάσει μόνο ένα τμήμα της διαδικασίας, σε αντίθεση με την αποτυχία ενός κεντρικού υπολογιστή που θα επηρεάσει ολόκληρη τη διαδικασία. Αυτή η κατανομή της υπολογιστικής ισχύος τοπικά στο πεδίο εισόδων/εξόδων (I/O) διασφαλίζει επίσης γρήγορους χρόνους επεξεργασίας από τον ελεγκτή, αφαιρώντας πιθανές καθυστερήσεις δικτύου και κεντρικής επεξεργασίας.

Οι βασικές διαφορές των DCS από τα SCADA, αν και ακούγονται σχεδόν ίδια, είναι οι εξής:

1. Τα DCS είναι εστιασμένα στη διαδικασία. Τα SCADA είναι εστιασμένα στη συλλογή δεδομένων.

2. Τα DCS βασίζονται στην κατάσταση της διαδικασίας. Τα SCADA βασίζονται σε συμβάντα κατά τη διάρκειά της.

3. Τα DCS είναι συστήματα ελέγχου διεργασιών που χρησιμοποιούν ένα δίκτυο για τη διασύνδεση αισθητήρων, ελεγκτών, τερματικών χειριστή και ενεργοποιητών. Ένα DCS περιέχει συνήθως έναν ή περισσότερους υπολογιστές για έλεγχο και χρησιμοποιεί τόσο ιδιόκτητες διασυνδέσεις όσο και πρωτόκολλα για τις επικοινωνίες. Τα SCADA μπορούν να θεωρηθούν είδος διεπαφής ανθρώπου-μηχανής (HMI). Τα συστήματα SCADA χρησιμοποιούνται για την παρακολούθηση ή τον έλεγχο χημικών, ή φυσικών διεργασιών, ή διαδικασιών μεταφοράς.

4. Τα DCS αποτελούνται από έναν ή περισσότερους ελεγκτές που χρησιμοποιούνται για την εφαρμογή προηγμένων τεχνικών ελέγχου διεργασιών. Τα SCADA δεν μπορούν να πραγματοποιήσουν προηγμένες τεχνικές ελέγχου διεργασιών.

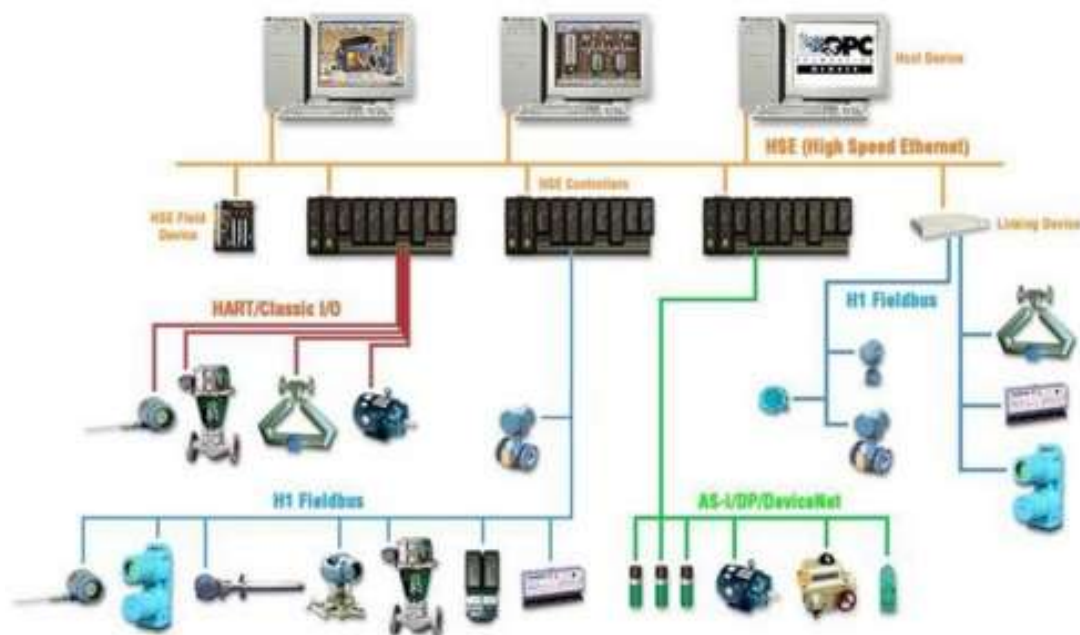
5. Το DCS είναι πιο ολοκληρωμένο και μπορεί να εκτελέσει περισσότερες λειτουργίες τελευταίας τεχνολογίας. Τα SCADA είναι πιο ευέλικτα.

Οι τελευταίες εξελίξεις στα DCS περιλαμβάνουν τις ακόλουθες νέες τεχνολογίες:

- Ασύρματα συστήματα και πρωτόκολλα.
- Απομακρυσμένη μετάδοση, καταγραφή και ιστορικό δεδομένων.
- Κινητές διεπαφές και στοιχεία ελέγχου.
- Ενσωματωμένοι διακομιστές ιστού.

Όλο και περισσότερο, κόντρα στην ονομασία τους, τα DCS συγκεντρώνονται σε επίπεδο εγκατάστασης, με δυνατότητα διασύνδεσης στον απομακρυσμένο εξοπλισμό. Αυτό επιτρέπει στον χειριστή να επιβλέπει και να ελέγχει τις διεργασίες τόσο σε επίπεδο επιχείρησης όσο και σε επίπεδο εξοπλισμού, τόσο εντός όσο και εκτός της εγκατάστασης, επειδή η σημασία της φυσικής θέσης μειώνεται λόγω της διασύνδεσης χάρη στην ασύρματη και απομακρυσμένη πρόσβαση.

Όσο περισσότερα ασύρματα πρωτόκολλα αναπτύσσονται και εξευγενίζονται, τόσο περισσότερο περιλαμβάνονται στα DCS. Οι ελεγκτές των DCS είναι πλέον συχνά εξοπλισμένοι με ενσωματωμένους διακομιστές και παρέχουν διαδικτυακή πρόσβαση. Μένει να φανεί στο μέλλον εάν τα DCS θα ηγηθούν του Industrial Internet of Things (IIOT, βλ. Κεφάλαιο 1.4) ή θα δανειστούν βασικά στοιχεία του. Πλέον, πολλοί προμηθευτές παρέχουν την επιλογή ενός HMI για κινητά, έτοιμο τόσο για Android όσο και για iOS. Με αυτές τις διεπαφές, η απειλή παραβιάσεων της ασφάλειας και πιθανή ζημιά στις εγκαταστάσεις και τις διαδικασίες είναι τώρα πιο κοντά από ποτέ.[2],[3]



Σχήμα. 1.2 Παράδειγμα ενός συστήματος DCS (οι ελεγκτές ανήκουν στο ίδιο δίκτυο).

1.4 IIoT (Industrial Internet of Things)

Το «βιομηχανικό διαδίκτυο των πραγμάτων» (IIoT – Industrial Internet of Things) αναφέρεται στην επέκταση και τη χρήση του Διαδικτύου των πραγμάτων (IoT – Internet of Things) σε βιομηχανικούς τομείς και εφαρμογές. Με ιδιαίτερη έμφαση στην επικοινωνία μεταξύ των μηχανών (M2M – Machine to Machine επικοινωνίες), στα Big Data και στη μηχανική μάθηση, το IIoT επιτρέπει στις βιομηχανίες και τις επιχειρήσεις να έχουν καλύτερη αποδοτικότητα και αξιοπιστία στις λειτουργίες τους. Περιλαμβάνει βιομηχανικές εφαρμογές, όπως ρομποτική, ιατρικές συσκευές και διαδικασίες παραγωγής που καθορίζονται από λογισμικό.

Το IIoT υπερβαίνει τις συμβατικές συσκευές και την εργασία των καθημερινών συσκευών που πιθανώς συνδέονται με το IoT. Αυτό που το κάνει να ξεχωρίζει είναι οι τομείς της τεχνολογίας πληροφοριών (IT – Information Technologies) και της επιχειρησιακής τεχνολογίας (OT – Operations Technologies). Η ένωση IT και OT παρέχει στους κλάδους μεγαλύτερη ενοποίηση των συστημάτων αυτοματισμού, βελτιστοποίηση, καθώς και καλύτερη εποπτεία της αλυσίδας εφοδιασμού και παραγωγής. Η παρακολούθηση και ο έλεγχος των φυσικών υποδομών σε βιομηχανικές δραστηριότητες, όπως στη γεωργία, την υγειονομική περίθαλψη, την κατασκευή, τη μεταφορά και τις υπηρεσίες κοινής ωφελείας, διευκολύνεται μέσω της χρήσης έξυπνων αισθητήρων και ενεργοποιητών, καθώς και απομακρυσμένης πρόσβασης και ελέγχου. Στο πλαίσιο της τέταρτης βιομηχανικής επανάστασης, επονομαζόμενης και ως Industry 4.0, το IIoT είναι αναπόσπαστο μέρος του τρόπου με τον οποίο τα κυβερνο-φυσικά συστήματα και οι διαδικασίες παραγωγής πρόκειται να μετασχηματιστούν με τη βοήθεια των Big Data και διαφόρων δομών ανάλυσης. Τα δεδομένα, παρμένα σε πραγματικό χρόνο από αισθητήρες και άλλες πηγές πληροφοριών, βοηθούν τις βιομηχανικές συσκευές και υποδομές στην λήψη αποφάσεων, να παρουσιάζουν δηλαδή συγκεκριμένες πληροφορίες και να εκτελούν τις ανάλογες ενέργειες. Τα μηχανήματα είναι επίσης σε θέση να αναλαμβάνουν και να αυτοματοποιούν εργασίες που οι παλαιότερες βιομηχανίες δεν μπορούσαν να χειριστούν.

Σε ένα ευρύτερο πλαίσιο, το IIoT είναι ζωτικής σημασίας για τη διαχείριση περιπτώσεων που σχετίζονται με διασυνδεδεμένα οικοσυστήματα ή περιβάλλοντα, όπως την διασύνδεση και δημιουργία έξυπνων πόλεων και εργοστασίων.

Η συνεπής λήψη και μετάδοση δεδομένων μεταξύ έξυπνων συσκευών και μηχανών παρέχει στις βιομηχανίες και τις επιχειρήσεις πολλές ευκαιρίες ανάπτυξης. Τα δεδομένα επιτρέπουν στις βιομηχανίες και τις επιχειρήσεις να αντιμετωπίσουν σφάλματα ή την μειωμένη απόδοση στην αλυσίδα εφοδιασμού άμεσα, προσφέροντας καθημερινή αποτελεσματικότητα στις λειτουργίες και την ασφάλεια. Η σωστή ενσωμάτωση του IIoT μπορεί επίσης να βελτιστοποιήσει τη χρήση περιουσιακών στοιχείων, να προβλέψει σημεία αστοχίας και ακόμη και να ενεργοποιήσει αυτόνομες διαδικασίες συντήρησης.

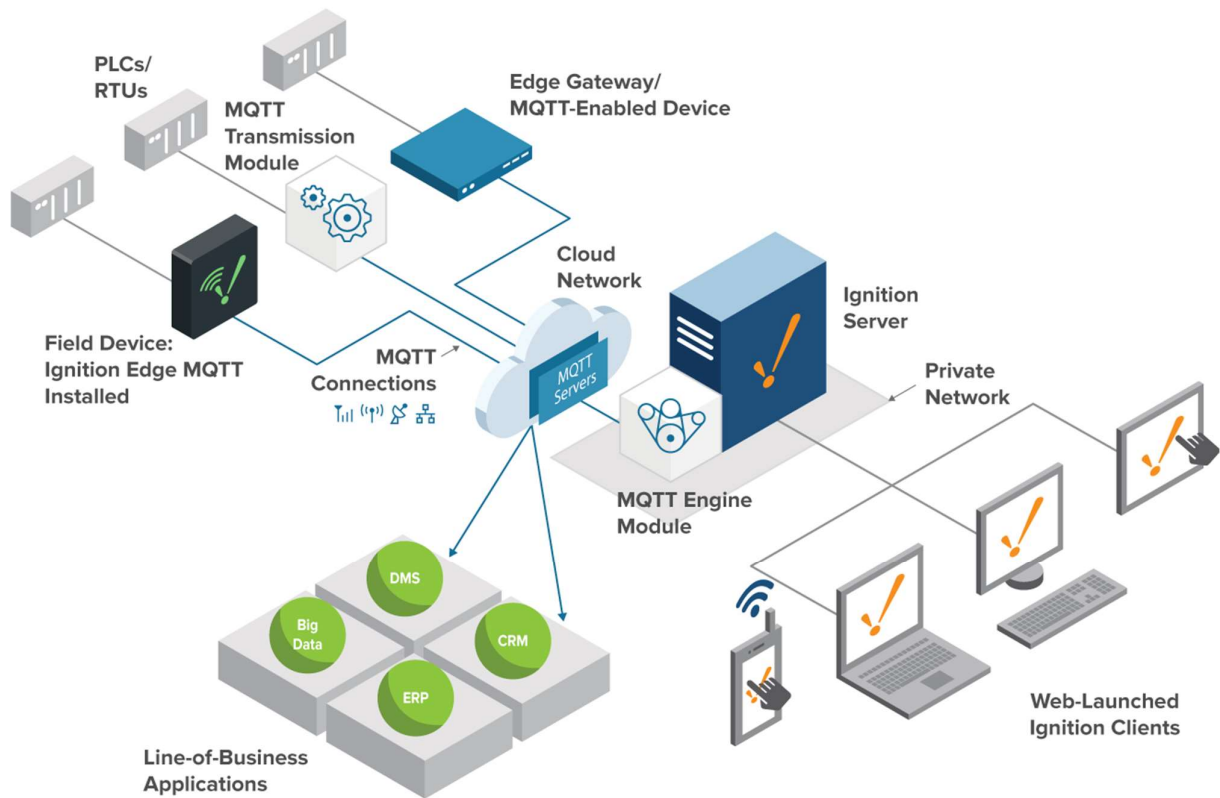
Η γενικότερη αρχιτεκτονική ενός συστήματος IIoT είναι ίδια με ενός DCS, με κάποιες συγκεκριμένες νέες έννοιες που τραβούν την προσοχή:

Cloud ή Data center (“σύννεφο” ή κέντρο δεδομένων): Η κάθε διεργασία πρέπει να είναι όσο το δυνατόν πιο κοντά στην πρακτική εφαρμογή για να ελαχιστοποιηθεί η χρήση τοπικών υπολογιστικών πόρων. Παρ’ όλα αυτά, στα συστήματα IIoT, στρεφόμαστε στο cloud και τη χρήση κέντρων δεδομένων για βαθύτερη και πιο ολοκληρωμένη επεξεργασία. Σε αυτό το στάδιο, πρέπει να αποφασίζουμε πλέον εάν χρειαζόμαστε περισσότερο την ταχύτητα και την αμεσότητα που συνοδεύει τις υπολογιστικές αιχμές (αιχμή, άκρο ή edge – Το «άκρο» του cloud, η άμεση σύνδεση των τοπικών συσκευών με αυτό) ή την βαθύτερη εικόνα που προσφέρεται από το cloud computing κατά την επεξεργασία των δεδομένων. Αν θέλουμε δηλαδή η επεξεργασία να γίνεται τοπικά ή στο cloud. Τα συστήματα cloud έχουν την δυνατότητα να πραγματοποιήσουν πλήρη ανάλυση των δεδομένων. Μπορούμε να συνδυάζουμε δεδομένα από διαφορετικές πηγές και να δημιουργούμε πληροφορίες που δεν είναι άμεσα διαθέσιμες, καθιστώντας τους τομείς της επιστήμης των υπολογιστών, των Big Data και της μηχανικής μάθησης καίριους για τη νέα βιομηχανική εποχή.

Συσκευές στο άκρο του IoT (Edge Devices): Ομάδες δικτυομένων συσκευών που βρίσκονται στο «τέρμα» ενός δικτύου IoT και όσο το δυνατόν πιο κοντά στην πηγή των δεδομένων. Συνήθως μιλάμε για ασύρματους αισθητήρες και ενεργοποιητές. Έχουμε επίσης μια μονάδα επεξεργασίας ή μια μικρή υπολογιστική συσκευή. Οι συσκευές στην άκρη του IoT μπορούν να είναι οτιδήποτε, από συσκευές παλαιού τύπου, αισθητήρες, ρομποτικές κάμερες, μικρόφωνα, έως και κάθε είδους μετρητές και οθόνες. Συνήθως όμως αποτελούν έξυπνες συσκευές, με περισσότερες δυνατότητες, ασύρματες συνδέσεις και αλληλοεπικοινωνία.

Η διαδικτυακή πύλη (Edge Gateway): Η διαδικτυακή πύλη είναι το σημείο όπου τα δεδομένα των αισθητήρων συγκεντρώνονται και μετατρέπονται σε ψηφιακές ροές για μελλοντική επεξεργασία. Αφού λάβει τα συγκεντρωτικά και ψηφιοποιημένα δεδομένα, η πύλη τα δρομολογεί μέσω του Διαδικτύου, ώστε να μπορούν να υποβληθούν σε περαιτέρω επεξεργασία πριν φτάσουν στο cloud. Η λειτουργία της δηλαδή είναι πολύ παρόμοια με αυτή των συμβατικών router.

Όμως, σε αντίθεση με τα τελευταία, βρίσκονται κοντά στους αισθητήρες και τους ενεργοποιητές και ορισμένες πύλες διαθέτουν υπηρεσίες ανάλυσης και διαχείρισης δεδομένων, καθώς και ορισμένα ενσωματωμένα εργαλεία ασφαλείας. Οι έξυπνες πύλες καθιστούν δυνατή την ανάλυση των εισερχόμενων ροών δεδομένων σε πραγματικό χρόνο. Η ανάλυση που εκτελείται στην πύλη δεν είναι τόσο γρήγορη και άμεση, αλλά σε αυτό το στάδιο, προσφέρεται περισσότερη υπολογιστική ισχύ. Οι συσκευές αυτές πρέπει να είναι φορητές, ευέλικτες και ικανές να αντέχουν σε δυσχερείς περιβαλλοντικές συνθήκες.



Σχήμα 1.3 Σύστημα IIoT. Βασικό νέο στοιχείο: το Cloud.

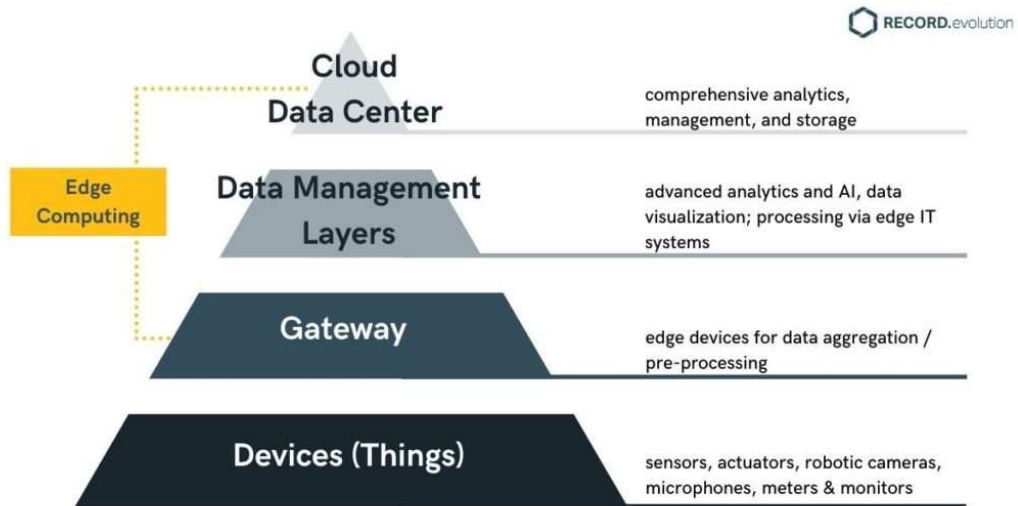
Επίπεδα διαχείρισης δεδομένων: Δεν μπορούμε να κάνουμε πλήρη χρήση προηγμένων αναλυτικών στοιχείων και τεχνητής νοημοσύνης χωρίς δεδομένα υψηλής ποιότητας και μεγάλου όγκου. Η επεξεργασία δεδομένων μπορεί να πραγματοποιηθεί ακόμη και σε επίπεδο αισθητήρα και αυτό είναι πολύ χρήσιμο αν έχουμε ανάγκη άμεσες πληροφορίες. Από την άποψη αυτή, το edge computing παρέχει τις ταχύτερες αποκρίσεις, καθώς τα δεδομένα είναι προεπεξεργασμένα στην άκρη του δικτύου, στους αισθητήρες.

Μόλις τα δεδομένα του αισθητήρα συλλεχθούν, μετατραπούν σε ψηφιακά και συγκεντρωθούν, είναι έτοιμα να υποβληθούν σε περαιτέρω επεξεργασία μέσω συστημάτων πληροφορικής αιχμής. Τα συστήματα πληροφορικής αιχμής μπορούν να είναι επί της εγκατάστασης (on-premise) ή απομακρυσμένα (remote), αλλά συνήθως βρίσκονται κοντά στους αισθητήρες. Σε αυτό το στάδιο, έχουμε δεδομένα που έχουν νόημα. Χρησιμοποιούμε μηχανική μάθηση και οπτικοποίηση και αφού συγκεντρώσουμε πληροφορίες που μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε συνδυασμό με τα ιστορικά δεδομένα, δεν χρειάζεται η μεταφορά περαιτέρω πληροφορίας σε εμάς ή σε άλλες συσκευές. Η ανάλυση γίνεται αυτόματα. Αυτή η πρόσθετη επεξεργασία μειώνει τον φόρτο δεδομένων που πηγαιίνει προς τα κέντρα δεδομένων. Με αυτόν τον τρόπο, μετριάζουμε τα προβλήματα αποθήκευσης, ασφάλειας και διακοπής λειτουργίας.

Οι ροές δεδομένων που προέρχονται από τους αισθητήρες αποτελούνται από τεράστιες ποσότητες συνεχώς μεταβαλλόμενων δεδομένων σε ελάχιστο χρόνο. Τα δεδομένα μεταδίδονται συνεχώς καθιστώντας δύσκολη τη μεταφορά απευθείας στο σύννεφο. Τα

πράγματα γίνονται ακόμη πιο δύσκολα όταν έχουμε πλήθος αισθητήρων που μεταδίδουν δεδομένα σε ένα σύστημα IoT. Επίσης, εάν τα δεδομένα του αισθητήρα είναι σε αναλογική μορφή, πρέπει να μετατραπούν σε ψηφιακά, για να είναι δυνατή η μελλοντική επεξεργασία. Αυτή η μετατροπή πραγματοποιείται και στις πύλες. [3]

Παρακάτω θα γίνει ανάλυση διαφόρων βασικών στοιχείων που συμβάλουν στη δημιουργία των παραπάνω συστημάτων αυτοματισμού, ξεκινώντας από τα συνηθέστερα χρησιμοποιούμενα, τις βάσεις του αυτομάτου ελέγχου: τον Προγραμματιζόμενο Λογικό Ελεγκτή (PLC – Programmable Logic Controller), και τον συγγενή του, την Απομακρυσμένη Τερματική Μονάδα (RTU – Remote Terminal Unit).



Σχήμα 1.4 Η αρχιτεκτονική του IIoT.

Κεφάλαιο 2°

Συσκευές Ελέγχου

2.1 Προγραμματιζόμενοι Λογικοί Ελεγκτές

Οι προγραμματιζόμενοι λογικοί ελεγκτές (PLC) χρησιμοποιούνται ευρέως για τον έλεγχο συστημάτων αυτοματισμού βιομηχανικών διατάξεων. Είναι ουσιαστικά ψηφιακοί υπολογιστές που χρησιμοποιούνται για τον έλεγχο ηλεκτρομηχανικών διεργασιών. Τα PLC συναντώνται σχεδόν σε κάθε βιομηχανία και σε συνεργασία με ποικίλα μηχανήματα. Σε αντίθεση με τους υπολογιστές γενικής χρήσης, τα PLC έχουν σχεδιαστεί για πολλαπλές ρυθμιζόμενες εισόδους και εξόδους, εκτεταμένα εύρη θερμοκρασίας, ανοσία στον ηλεκτρικό θόρυβο και αντοχή σε κραδασμούς και κρούσεις. Τα προγράμματα που ελέγχουν τη λειτουργία των μηχανών είναι συνήθως αποθηκευμένα σε υποστηριζόμενες από μπαταρίες ή μη πτητικές μνήμες. Το PLC είναι ένα παράδειγμα συστήματος “πραγματικού” χρόνου, καθώς τα αποτελέσματα πρέπει να παραχθούν ως απάντηση στις συνθήκες εισαγωγής στις εισόδους του, εντός δηλαδή ενός πολύ περιορισμένου χρόνου. Διαφορετικά θα προκύψει μη θεμιτή λειτουργία.

Η κύρια διαφορά τους από άλλους υπολογιστές είναι ότι τα PLC είναι θωρακισμένα για έντονες περιβαλλοντικές συνθήκες (σκόνη, υγρασία, θερμοκρασία, κρύο κ.ο.κ.) και έχουν τη δυνατότητα για εκτεταμένες ρυθμίσεις εισόδου / εξόδου. Αυτές με τη σειρά τους συνδέουν το PLC στους αισθητήρες και τους ενεργοποιητές. Στις εισόδους τοποθετούνται οι αισθητήρες, διακόπτες χειροκίνητου ελέγχου, πληκτρολόγια ή συστήματα ασφαλείας. Στην πλευρά των ενεργοποιητών, στις εξόδους, τα PLC χειρίζονται ηλεκτρικούς κινητήρες, πνευματικούς ή υδραυλικούς κυλίνδρους, μαγνητικά ρελέ ή σωληνοειδή, ή αναλογικές εξόδους. Οι ρυθμίσεις των εισόδων / εξόδων του (I/O - Input/Output) μπορούν να ενσωματωθούν είτε σε ένα αυτόνομο PLC ή το PLC μπορεί να έχει ψηφιακές και αναλογικές μονάδες I/O που συνδέονται σε μία ράγα εντός του πίνακα αυτοματισμού. Επίσης, μέσω κατάλληλων μονάδων επικοινωνίας, μπορεί να επιτευχθεί και σύνδεση απομακρυσμένων τοποθεσιών στον επεξεργαστή.

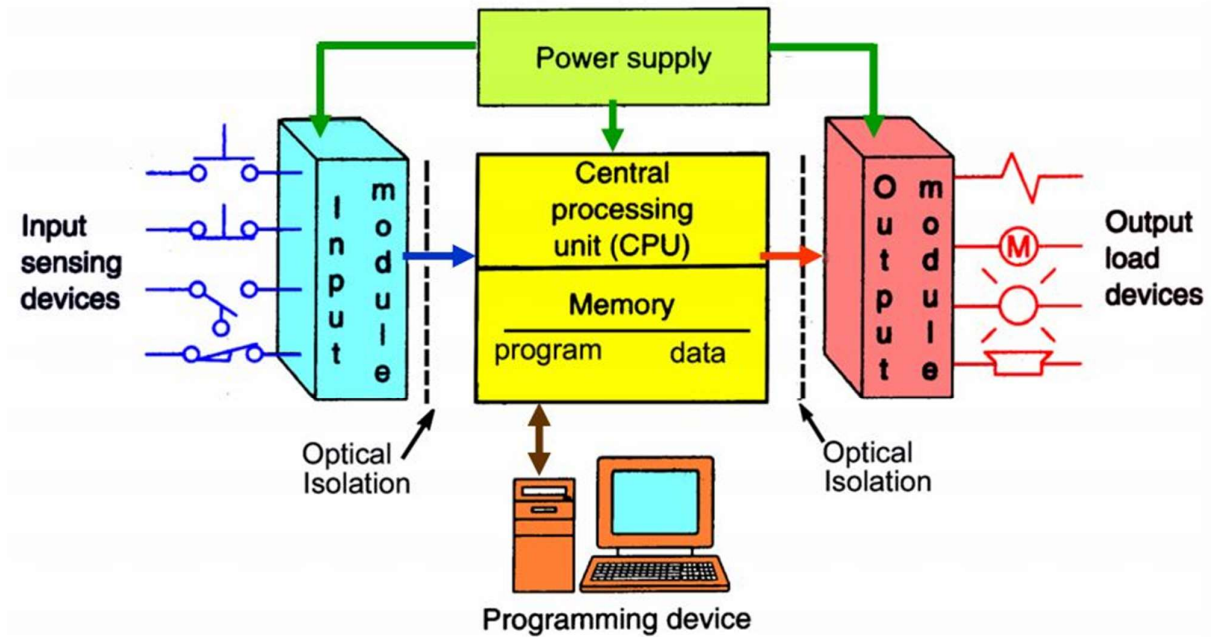
2.1.1 Αρχιτεκτονική ενός PLC

Μια κεντρική μονάδα επεξεργασίας (CPU) χρησιμοποιείται ως ο “εγκέφαλος” του PLC. Είναι ένας μικροεπεξεργαστής των 16 ή 32 bit που αποτελείται από ένα chip μνήμης και ολοκληρωμένα κυκλώματα για λογική έλεγχο, παρακολούθηση και επικοινωνία. Η CPU κατευθύνει το PLC να εκτελεί οδηγίες ελέγχου, να επικοινωνεί με άλλες συσκευές, να πραγματοποιεί λογικές και αριθμητικές λειτουργίες και να εκτελεί εσωτερικά διαγνωστικά. Εκτελεί επίσης ρουτίνες μνήμης, ελέγχοντας συνεχώς το PLC (για αυτό και δεν υπάρχει λόγος ελέγχου του από άλλον ελεγκτή) ούτως ώστε να αποφεύγονται σφάλματα προγραμματισμού και να διασφαλίζεται ότι η μνήμη δεν είναι κατεστραμμένη.

Τα PLC λειτουργούν με εισόδους, εξόδους, τροφοδοτικό και εξωτερικές συσκευές προγραμματισμού. Η μνήμη παρέχει μόνιμη αποθήκευση στο λειτουργικό σύστημα για δεδομένα που χρησιμοποιούνται από την CPU. Η μνήμη μόνο για ανάγνωση (ROM) του συστήματος αποθηκεύει μόνιμα δεδομένα για το λειτουργικό σύστημα. Η μνήμη τυχαίας προσπέλασης (RAM) αποθηκεύει πληροφορίες κατάστασης για συσκευές εισόδου και εξόδου, μαζί με τιμές για χρονόμετρα, μετρητές και εσωτερικές συσκευές. Τα PLC απαιτούν μια συσκευή προγραμματισμού, είτε υπολογιστή είτε κονσόλα, για να ανεβάζουν δεδομένα στη

CPU.

PLC System

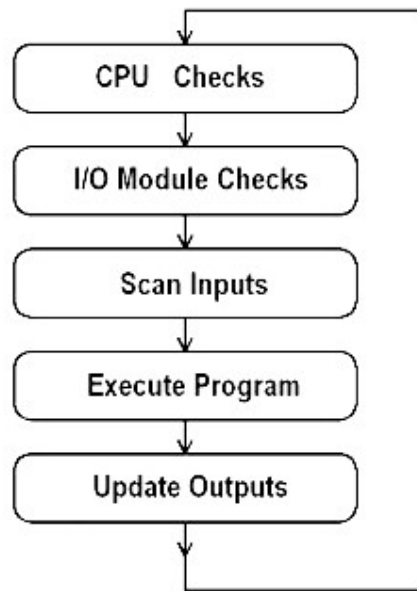


Σχήμα 2.5 Η αρχιτεκτονική ενός PLC

Ένας κύκλος λειτουργίας της CPU περιλαμβάνει τα ακόλουθα βήματα:

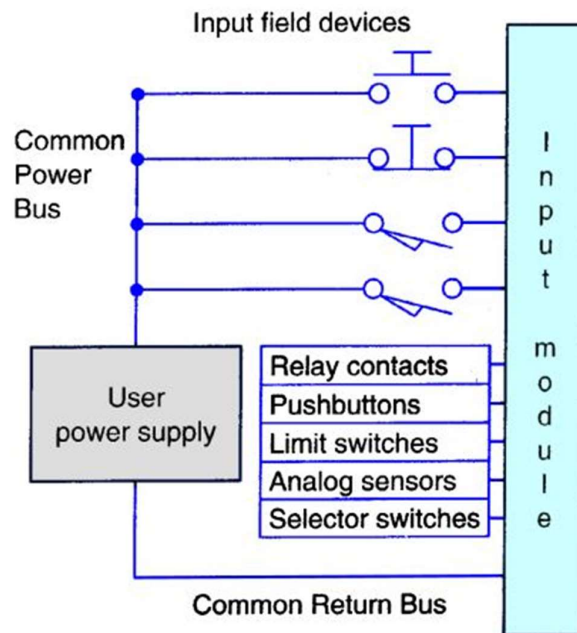
- α) έναρξη σάρωσης
 - β) εσωτερικοί έλεγχοι
 - γ) είσοδοι σάρωσης
 - δ) εκτέλεση λογικής προγράμματος
 - ε) ενημέρωση εξόδων.
- στ) το πρόγραμμα επαναλαμβάνεται με τις ενημερωμένες εξόδους.

Ο χρόνος εκτέλεσης ενός κύκλου λειτουργίας του PLC ποικίλει. Χρησιμοποιούνται κύκλοι της τάξεως των ms, με συνηθέστερους των 1.5 – 3 ms. Η επιλογή γίνεται ανάλογα τις απαιτήσεις του συστήματος και τις δυνατότητες της εκάστοτε CPU που χρησιμοποιείται. Όσο πιο γρήγορος επιθυμούμε να είναι ο κύκλος λόγω ευαισθησίας του συστήματός μας (πχ γρήγορες χημικές διεργασίες), τόσο πιο βεβαρυμμένη θα είναι και η λειτουργία της CPU. Ταυτόχρονα, όσο πιο βαρύ είναι το πρόγραμμα ελέγχου, τόσο πιο αργός γίνεται ο κύκλος, δημιουργώντας την ανάγκη μελέτης των ιδανικών ρυθμίσεων σε πολύ απαιτητικές εφαρμογές.

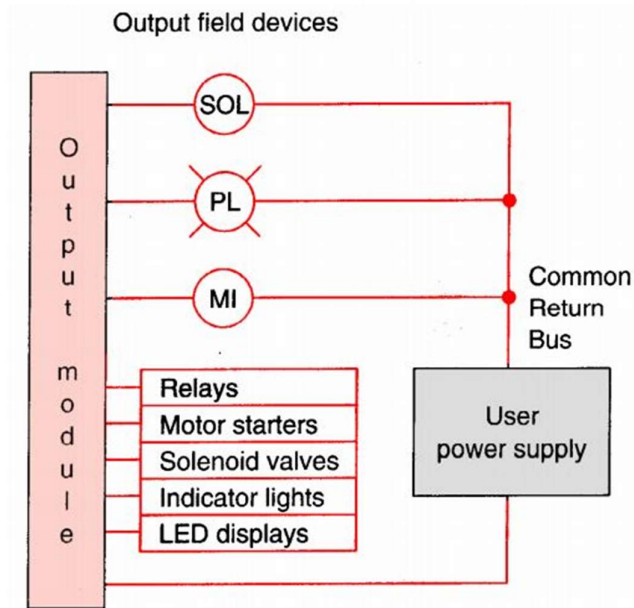


Σχήμα 2.6 Κύκλος λειτουργίας ενός PLC

Παρακάτω (Σχ. 1.4) απεικονίζονται κοινές εισοδοι των PLC, συμπεριλαμβανομένων των πλήκτρων και των διακοπών. Οι συνδέσεις εξόδου εμφανίζονται στο Σχ. 1.5, περιλαμβάνοντας έξοδο σήματος (SOL), πιλοτικό φως (PL) και ανάφλεξη κινητήρα (MI).



Σχήμα 2.7 Κοινές εισοδοι ενός PLC



Σχήμα 2.8 Κοινές έξοδοι ενός PLC

Όπως προαναφέρθηκε, τα PLC χωρίζονται σε δύο κατηγορίες:

1. Συμπαγή - μη διαμορφώσιμα
2. Αρθρωτά – διαμορφώσιμα



α.



β.

Σχήμα 2.9 α. Ένας διαμορφώσιμος λογικός ελεγκτής με κάρτες εισόδου/εξόδου.

β. Ένας "συμπαγής" - μη διαμορφώσιμος ελεγκτής.

Τα μη διαμορφώσιμα PLC αποτελούν αυτόνομες ολοκληρωμένες μονάδες ελέγχου. Έχουν προεγκατεστημένες θέσεις εισόδων εξόδων και παρέχουν συγκεκριμένες δυνατότητες επικοινωνίας και συνδεσιμότητας με άλλες συσκευές ελέγχου ή I/O. Διατίθενται σε μεγάλη ποικιλία εισόδων / εξόδων, χαμηλό κόστος και μικρά μεγέθη, πράγμα που τα καθιστά πολύ πρακτικά για εφαρμογές χαμηλών απαιτήσεων και μικρών συστημάτων αυτοματισμού. Όμως η περιορισμένη τους δυνατότητα επεκτασιμότητάς τους και τροποποίησής τους σύμφωνα με

τις αλλαγές του συστήματος, τα καθιστά δυσχερή στη χρήση, και δεν προτιμώνται για διεργασίες που προβλέπεται να αλλάζουν ή να επεκτείνονται μελλοντικά.

Η άλλη κατηγορία είναι τα διαμορφώσιμα PLC. Αυτά, εκτός από τυχόν δικά τους I/O και θύρες επικοινωνίας, παρέχουν τη δυνατότητα είτε μέσω ειδικά διαμορφωμένων πλακών βάσης, είτε μέσω καλωδίων, της διασύνδεσης με μονάδες (κάρτες) που τους προσφέρουν επιπλέον δυνατότητες. Οι μονάδες αυτές μπορούν να συνδεθούν στο PLC είτε τοπικά (on premise) σε μία ράγα εντός του πίνακα αυτοματισμών, είτε εξ αποστάσεως (remote), δύνοντας πρόσβαση σε απομακρυσμένες, δυσπρόσιτες τοποθεσίες. Τα διαμορφώσιμα (αρθρωτά) PLC αποτελούνται από τα παρακάτω στοιχεία:

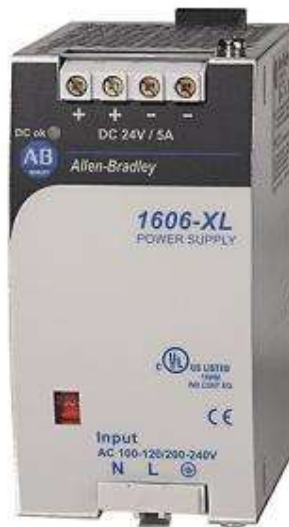
Ράγα – πλαίσιο (rack): Η ράγα ή το πλαίσιο είναι το πιο σημαντικό μέρος του υλικού του PLC. Επιτρέπει σε όλες τις μονάδες του PLC να τοποθετηθούν ή να συνδεθούν σε ένα δίαυλο επικοινωνίας για επικοινωνία με την CPU. Οι κύριες λειτουργίες του είναι:

- Διανέμει ομοιόμορφη ισχύ.
- Στεγάζει διαφορετικές μονάδες εισόδου-εξόδου
- Λειτουργεί ως σύνδεσμος μεταξύ της CPU και διαφορετικών μονάδων



Σχήμα 2.10 Ράγες PLC

Μονάδα τροφοδοσίας (Power Supply Module): Η μονάδα τροφοδοσίας χρησιμοποιείται για την παροχή της κατάλληλης τάσης στις διαφορετικές μονάδες καθώς και στην CPU του συστήματος του PLC. Το PLC λειτουργεί κυρίως με συνεχή τάση των 24V DC, μετατρέποντας μέσω της μονάδας τροφοδοσίας την εναλλασσόμενη τάση γραμμής 100-240 VAC σε χαμηλότερη συνεχή. Τα τροφοδοτικά των PLC διατίθενται σε διαφορετικά μεγέθη και βαθμίδες, βάσει των διαφορετικών εφαρμογών και ελεγκτών.



Σχήμα 2.11 Μονάδα τροφοδοσίας PLC

Κεντρική μονάδα επεξεργασίας (CPU): Η κεντρική μονάδα επεξεργασίας, όπως προαναφέρθηκε, μπορούμε να πούμε ότι είναι ο εγκέφαλος του συστήματος του PLC. Το πρόγραμμα με τη μορφή λογικών οδηγιών αποθηκεύεται στη CPU. Όλες οι αριθμητικές και λογικές συναρτήσεις εκτελούνται σύμφωνα με το αποθηκευμένο πρόγραμμα από τον χρήστη. Ο επεξεργαστής στη CPU χρησιμοποιείται για υπολογισμούς όπως η διαχείριση της μνήμης του υπολογιστή, η παρακολούθηση της κατάστασης των εισόδων και η ενεργοποίηση της εξόδου σύμφωνα με τις λογικές οδηγίες του χρήστη. Η μνήμη στη CPU χρησιμοποιείται για την αποθήκευση προγραμμάτων και δεδομένων από τον διαφορετικό εξοπλισμό που είναι συνδεδεμένος στο PLC.



Σχήμα 2.12 PLC CPU Modules

Μονάδα διασύνδεσης (Interface Module): Η μονάδα διασύνδεσης χρησιμοποιείται όταν θέλουμε να επεκτείνουμε τις μονάδες εισόδου-εξόδου και δεν υπάρχει χώρος για επιπλέον μονάδες στο κύριο πλαίσιο του πίνακα αυτοματισμού. Πρέπει να συνδέσουμε την άλλη ράγα με την κύρια για να επικοινωνήσει με την CPU. Η μονάδα διασύνδεσης λοιπόν χρησιμοποιείται για τη σύνδεση των άλλων πλαισίων με το κύριο πλαίσιο.



Σχήμα 2.13 Μονάδα διασύνδεσης

Μονάδες σήματος εισόδου/εξόδου (I/O Signal Modules): Υπάρχουν διαφορετικές είσοδοι και οι έξοδοι που μπορούν να συνδεθούν με το PLC, ψηφιακές ή αναλογικές. Υπάρχουν κυρίως τέσσερις τύποι μονάδων σήματος I/O:

- Ψηφιακή μονάδα εισόδου (Digital Input Module)
- Ψηφιακή μονάδα εξόδου (Digital Output Module)
- Μονάδα αναλογικής εισόδου (Analog Input Module)
- Μονάδα αναλογικής εξόδου (Analog Output Module)

Μερικές φορές, βάσει των απαιτήσεων της εκάστοτε εφαρμογής, υπάρχουν διαθέσιμοι στην αγορά συνδυασμοί ψηφιακών εισόδων / εξόδων και/ή αναλογικών εισόδων / εξόδων συγχωνευμένων σε μία μονάδα.



α.

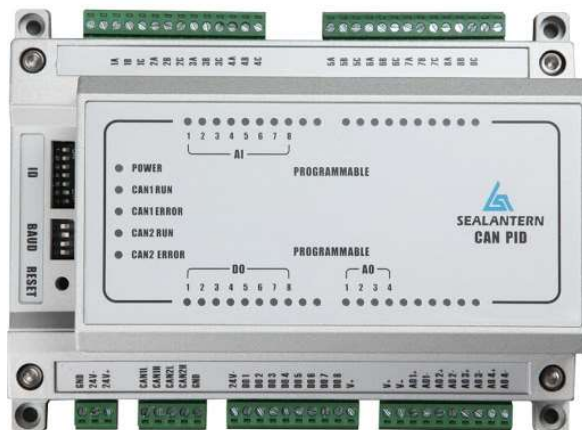
β.

Σχήμα 2.14 α) Ψηφιακή και β) Αναλογική Κάρτα εισόδου

Μονάδες ειδικών λειτουργιών (Function Modules): Είναι προαιρετικές μονάδες και χρησιμοποιούνται μόνο με PLC αρθρωτού τύπου (διαμορφώσιμα). Χρησιμοποιούνται γενικά με έναν ειδικό τύπο ελέγχου όπως:

- Μονάδα μετρητή υψηλής ταχύτητας (High-Speed Counter Module).
- Μονάδα PID (PID Module).
- Μονάδα ζύγισης (Weighing Module).

Ορισμένες συσκευές χρειάζονται ειδικές λειτουργίες όπως πολύ μεγάλη ταχύτητα και ακρίβεια για ορισμένες εφαρμογές, και η κύρια CPU μπορεί να αδυνατεί να χειριστεί αυτές τις διεργασίες. Το καλύτερο παράδειγμα βρίσκεται σε εφαρμογές ελέγχου κίνησης όπου η ταχύτητα και η ακρίβεια είναι απαραίτητα. Έχουμε έναν αισθητήρα ταχύτητας που πρέπει να τον συνδέσουμε με το PLC, αλλά δεν μπορούμε να τον συνδέσουμε με την κανονική μονάδα, επειδή δεν παρέχει αυτές τις προδιαγραφές. Χρησιμοποιούμε έτσι Function Modules για να συνδέσουμε τους αισθητήρες ταχύτητας ή άλλες συσκευές ελέγχου κίνησης και να λάβουμε ακριβή δεδομένα. Λειτουργούν ανεξάρτητα από την κύρια CPU, καθώς λειτουργούν ακριβώς όπως και ένα σύστημα CPU και I/O, με αποτέλεσμα να αφαιρείται το φορτίο από την κύρια CPU. Όπως δηλαδή η CPU, έτσι και οι μονάδες FM λαμβάνουν ένα σήμα, επεξεργάζονται τη λογική για την οποία είναι προγραμματισμένες και εκτελούν την έξοδο.



Σχήμα 2.15 PID Module

Επεξεργαστές επικοινωνίας (Communication Processors): Οι μονάδες επεξεργασιών επικοινωνίας χρησιμοποιούνται κυρίως για επικοινωνία με διαφορετικά συστήματα ή συσκευές όπως άλλα PLC, SCADA, HMI και άλλους ελεγκτές. Χρησιμοποιούνται ποικίλα πρωτόκολλα επικοινωνιών, ανάλογα με τις εταιρίες προέλευσής τους, και για αυτό και οι συγκεκριμένες μονάδες βασίζονται στα συγκεκριμένα πρωτόκολλα.

Δύο σημαντικοί όροι όσον αφορά το θέμα των συνδέσεων εισόδων και εξόδων των PLC είναι οι συνδέσεις καλωδίωσης βύθισης (sinking) και προέλευσης (sourcing). Το βύθισμα είναι ουσιαστικά η κοινή γραμμή εδάφους (-) και η προέλευση είναι η κοινή γραμμή VCC (+). Το VCC είναι το σημείο σύνδεσης της θετικής πλευράς της τάσης της τροφοδοσίας. Οι εισοδοί βύθισης και προέλευσης μεταφέρουν ρεύμα μόνο σε μία κατεύθυνση. Κάθε είσοδος έχει τη δική της γραμμή επιστροφής και πολλές εισοδοί συνδέονται σε μία γραμμή επιστροφής αντί για πολλές ξεχωριστές. Αυτές οι κοινές γραμμές φέρουν την ένδειξη "COMM" (common - κοινή).



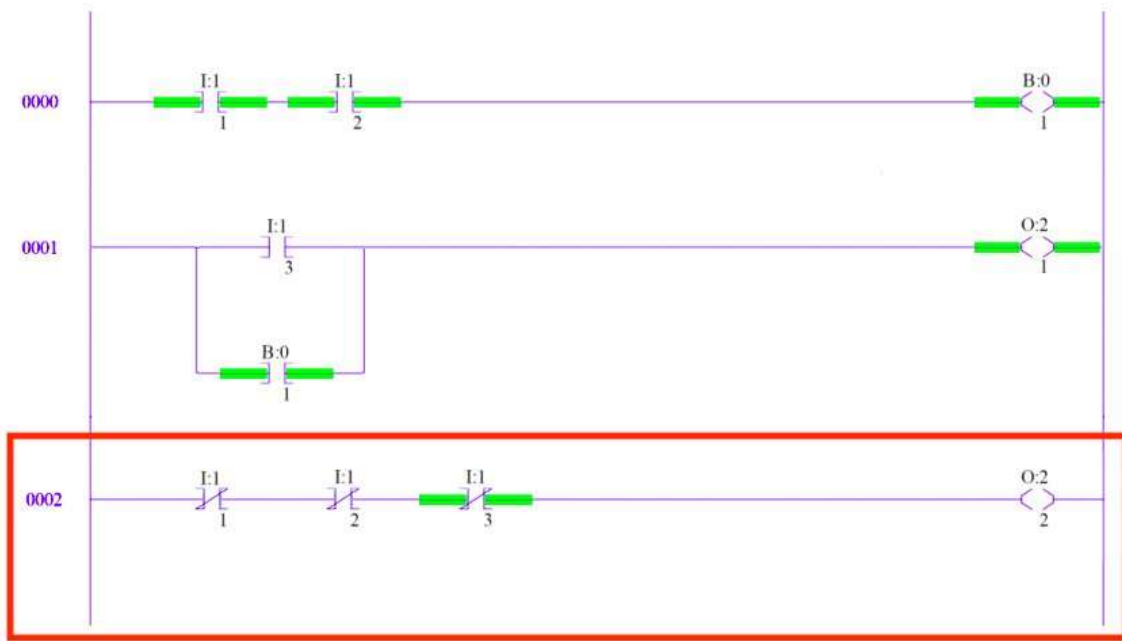
Σχήμα 2.16 Επεξεργαστές Επικοινωνίας

Οι μονάδες εισόδου συνεχούς ρεύματος (DC) συνδέονται σε συσκευές τύπου τρανζίστορ προέλευσης ή βύθισης. Οι μονάδες εισόδου εναλλασσόμενου ρεύματος (AC) είναι λιγότερο συχνές από τις συνεχούς, επειδή οι περισσότεροι αισθητήρες έχουν έξοδο τρανζίστορ, οπότε αν το σύστημα χρησιμοποιεί είσοδο αισθητήρα, πιθανότατα θα είναι DC. Οι εισόδοι AC χρειάζονται περισσότερο χρόνο για να τις διαβάσουν τα PLC σε σύγκριση με τις εισόδους DC. Κάθε είσοδος και έξοδος, ανάλογα το είδος και την κατασκευή της, συνδέεται με συγκεκριμένο τρόπο στις μονάδες του PLC, συνεπώς συνίσταται πάντα η χρήση του εκάστοτε εγχειριδίου για να επιτευχθεί η σωστή καλωδίωση και να αποφευχθούν φθορές, λανθασμένα δεδομένα ή ακόμα και βραχυκυκλώματα. [1] - [4]

2.1.2 Γλώσσες προγραμματισμού

Ο μηχανικός αυτοματισμού, πέρα από το κομμάτι του υλικού (hardware), καλείται να διεκπεραιώσει και το κομμάτι του λογισμικού (software). Στους προγραμματιζόμενους λογικούς ελεγκτές χρησιμοποιούνται πέντε γλώσσες προγραμματισμού, ορισμένες από το διεθνές πρότυπο IEC 61131, και είναι οι παρακάτω:

Ladder Logic (LAD): Είναι μια από τις πιο συχνά χρησιμοποιούμενες γλώσσες PLC, καθώς σε αυτήν μπορεί να προγραμματιστεί και να εκτελεστεί οποιαδήποτε διεργασία, έστω και με λίγο πιο χρονοβόρο προγραμματισμό, πράγμα που την καθιστά απαραίτητη για οποιονδήποτε μηχανικό αυτοματισμών. Είναι συμβολική γλώσσα που παρομοιάζει ηλεκτρικά κυκλώματα σε συνδυασμό με τη δόμηση μίας “σκάλας”. Τα σύμβολα αντιπροσωπεύουν ρελέδες NO και NC, μετρητές, χρονόμετρα, μετακινήσεις καταχωρητών ή μεμονωμένων bits και μαθηματικές λειτουργίες. Κάθε πρόγραμμα χωρίζεται σε ρουτίνες, οι οποίες εμπεριέχονται σε μία κεντρική (main) και με εντολές JUMP, η σάρωση σε κάθε κύκλο περνάει από τη μία στην άλλη. Τα σύμβολα διατάσσονται στην επιθυμητή ρουτίνα προγράμματος, δημιουργώντας τους κανόνες της LADDER που ονομάζονται “σκαλοπάτια” (rungs). Κάθε σκαλοπάτι έχει μία μόνο έξοδο, αλλά μία είσοδος μπορεί να βρεθεί σε περισσότερα από ένα σκαλοπάτια. Ο κώδικας λειτουργεί με κανόνες λογικής, όπου σύμβολα “σε σειρά” συνδέονται με την λογική εντολή AND, ενώ σύμβολα εν “παραλλήλω” συνδέονται με την εντολή OR.

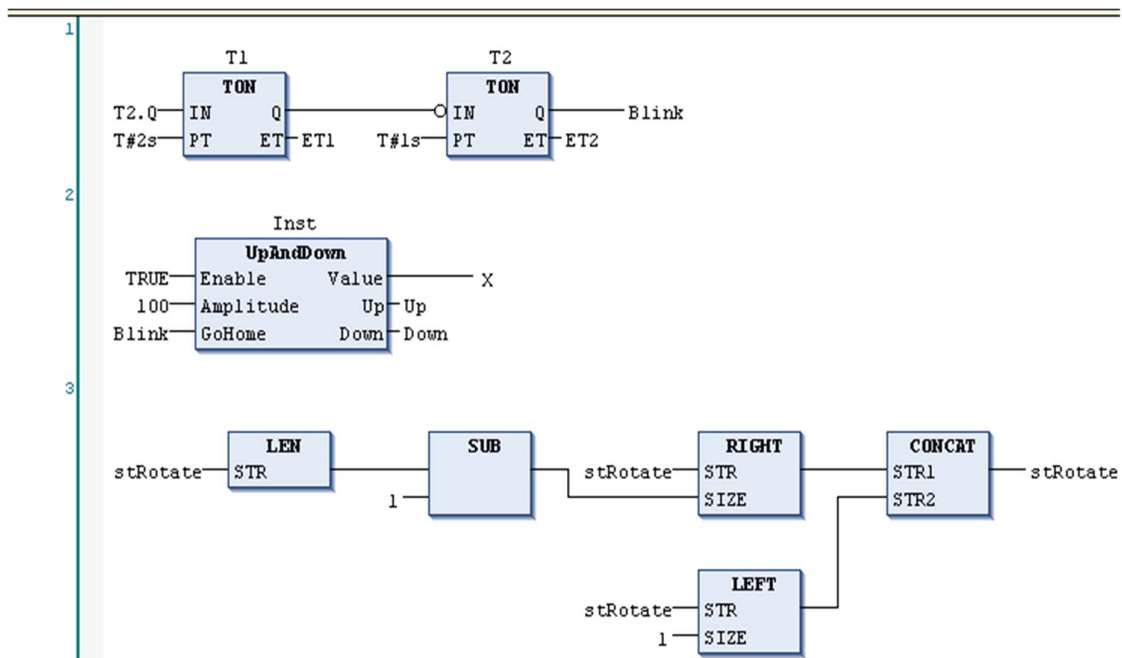


Σχήμα 2.17 Παράδειγμα κώδικα LADDER. Οι αριθμοί αριστερά διαχωρίζουν μεταξύ τους τα rungs.

Function Block Diagram (FBD): Περιγράφει συναρτήσεις μεταξύ μεταβλητών εισόδου και εξόδου. Στην FBD όλες οι συναρτήσεις τοποθετούνται σε μπλοκ λειτουργιών. Όλα έχουν μία ή περισσότερες εισόδους και εξόδους. Η λειτουργία του μπλοκ είναι και η σχέση μεταξύ της κατάστασης των εισόδων και των εξόδων του. Η FBD είναι χρήσιμη στην απεικόνιση αλγορίθμων και λογικής για διασυνδεδεμένα συστήματα ελέγχου. Οι είσοδοι και οι έξοδοι των μπλοκ συνδέονται με γραμμές σύνδεσης ή συνδέσμους. Μπορούν να χρησιμοποιηθούν μεμονωμένες γραμμές για τη σύνδεση δύο λογικών σημείων του διαγράμματος:

- Μιας μεταβλητής εισόδου και μιας εισόδου ενός μπλοκ
- Έξοδος ενός μπλοκ και είσοδος άλλου μπλοκ
- Μια έξοδος ενός μπλοκ και μια μεταβλητή εξόδου

Η σύνδεση είναι προσανατολισμένη, που σημαίνει ότι η γραμμή μεταφέρει δεδομένα από το αριστερό άκρο στο δεξί άκρο. Τα αριστερά και τα δεξιά άκρα της γραμμής σύνδεσης πρέπει να είναι του ίδιου τύπου.



Σχήμα 2.18 Παράδειγμα κώδικα FBD. Φαίνεται ξεκάθαρα η κατανομή των σύνθετων διεργασιών σε μπλοκς.

Η λίστα οδηγιών (IL – Instruction List): Είναι μια γλώσσα χαμηλού επιπέδου με συναρτήσεις και μεταβλητές που ορίζονται από μια απλή λίστα. Ο έλεγχος προγράμματος γίνεται με οδηγίες άλματος και δευτερεύουσες ρουτίνες με προαιρετικές παραμέτρους. Η IL ήταν μια από τις πρώτες γλώσσες προγραμματισμού PLC, μαζί με τη LADDER. Θεωρείται γλώσσα χαμηλού επιπέδου, που σημαίνει ότι είναι πολύ κοντά στον κώδικα του μηχανήματος - τη δυαδική γλώσσα που εκτελεί άμεσα η CPU του υπολογιστή. Με τη γλώσσα λίστας οδηγιών, κάθε εντολή ή εντολή μηχανής τοποθετείται σε μια νέα γραμμή. (Αυτή η μέθοδος τακτοποίησης εντολών σε στοιβαγμένες γραμμές αναφέρεται μερικές φορές ως "λογική επίλυση βάσει στοιβάς", παρόμοια με αυτήν που χρησιμοποιείται στη λογική RPN σε ορισμένους υπολογιστές.) Οι οδηγίες αποτελούνται από χειριστές, τελεστές και τροποποιητές, χρησιμοποιώντας μνημονικά για τους χειριστές (για παράδειγμα, "A" για "AND" ή "MOV" για "MOVE").

Ωστόσο, τα προγράμματα λίστας οδηγιών μπορεί να είναι επιρρεπή σε σφάλματα χρόνου εκτέλεσης και μπορούν να προκαλέσουν άπειρους βρόχους ή άτοπες αριθμητικές λειτουργίες. Το πιο σημαντικό ωστόσο στα σημερινά κατασκευαστικά περιβάλλοντα, είναι πως το προσωπικό εκτός των προγραμματιστών - συμπεριλαμβανομένων των μηχανικών συντήρησης και των ηλεκτρολόγων - θα πρέπει να είναι σε θέση να αντιμετωπίσει προβλήματα ή σφάλματα με τον εξοπλισμό, συμπεριλαμβανομένων των χειριστηρίων και των προγραμμάτων. Και ενώ η IL είναι πολύ φιλική προς τον προγραμματιστή, χωρίς ειδική εκπαίδευση στη γλώσσα, είναι πολύ δύσκολο να αναλυθεί και να αντιμετωπιστεί ο κώδικας.

Με άλλα λόγια, το προσωπικό υποστήριξης πρέπει να εκπαιδευτεί ειδικά στη γλώσσα, η οποία απλά δεν είναι πρακτική, ειδικά όταν υπάρχουν άλλες γλώσσες (ειδικά οι γραφικές) που μπορούν να αντιμετωπίσουν τις ίδιες εφαρμογές και προβλήματα και είναι πιο φιλικές προς τον χρήστη, ιδίως αν έχει περιορισμένες γνώσεις προγραμματισμού.

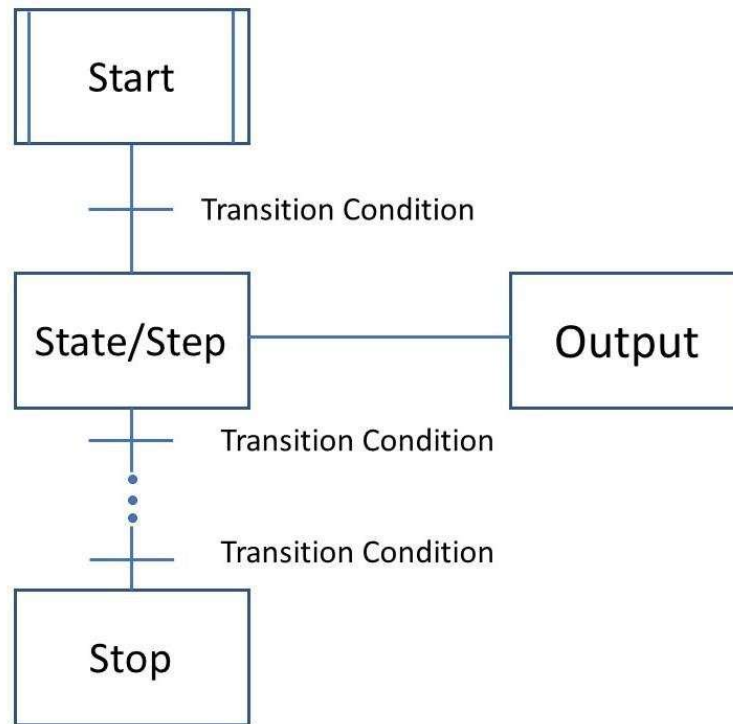
```

1. LD    "Start"      ;bit processor
2. O     "Flag"
3. A     "Stop"
4. A     "BLK"
5. AN    "Error"
5. =     "Flag"
6. =     Fbb1         ;Fb to Fbb1
7. Read  Fbb1         ;Fbb1 to FB
8. L     "Time1"      ;byte processor
9. SD    "Timer1"
10. LD   "Timer1"     ;bit processor
11. =    "Start_Up"
12. L    "SP_cur"     ;byte processor
13. L    "SP_nom"
14. >=I
15. Write FBb         ;FB to FBb
16. LD   "Start_Up"  ;bit processor
17. A    FBb         ;FBb to Fb
18. =    "Out"
19. LD   "Start_Up"
20. =    Fbb2         ;Fb to Fbb2
21. Read  Fbb2         ;Fbb2 to FB
22. L    "Time2"      ;byte processor
23. SD    "Timer2"
24. TH    "Timer2"   ;bit processor
25. R     "Flag"
26. S     "Error"
27. A     "Stop"
28. R     "Error"

```

Σχήμα 2.19 Παράδειγμα κώδικα Instruction List.

Sequential Function Chart (SFC): Μέθοδος προγραμματισμού σύνθετων συστημάτων ελέγχου. Χρησιμοποιεί βασικά δομικά στοιχεία που εκτελούν τις δικές τους δευτερεύουσες ρουτίνες. Τα αρχεία προγράμματος είναι γραμμένα σε άλλες γλώσσες προγραμματισμού. Η SFC χωρίζει μεγάλες και περίπλοκες εργασίες προγραμματισμού σε μικρότερες και πιο εύχρηστες εργασίες. Οι διαδοχικοί έλεγχοι περιλαμβάνουν την επεξεργασία διαδοχικών και παράλληλων λειτουργιών που είναι διακριτές ως προς τον χρόνο ή τα γεγονότα, κυρίως για τον έλεγχο σύνθετων ακολουθιών διαδικασίας. Η γλώσσα προγραμματισμού SFC διευκολύνει την οπτικοποίηση και το σχεδιασμό σύνθετων διαδοχικών συστημάτων. Οι λειτουργίες περιγράφονται ως ξεχωριστά βήματα που συνδέονται διαδοχικά. Οι καταστάσεις του συστήματος (ή βήματα) αντιπροσωπεύονται από ορθογώνια κουτιά. Μια κάθετη ευθεία γραμμή συνδέει τα διάφορα βήματα και κάθε βήμα έχει μια αντίστοιχη έξοδο. Υπάρχει μια κατάσταση μετάβασης μεταξύ των βημάτων. Το σχήμα παρακάτω δείχνει το γενικό διάγραμμα της SFC.



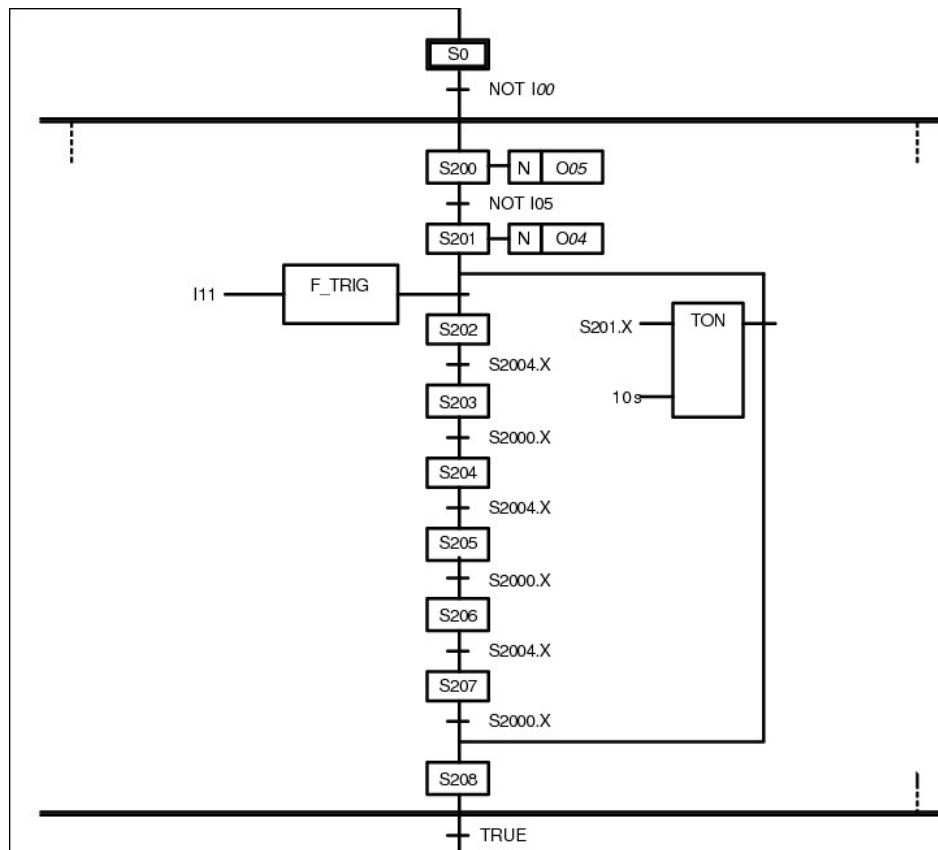
Σχήμα 2.20 Γενικό διάγραμμα SFC.

Το πρώτο πλαίσιο αντιπροσωπεύει την έναρξη της λειτουργίας. Δύο διαδοχικές καταστάσεις συνδέονται με κάθετη γραμμή. Οι οριζόντιες γραμμές μεταξύ κουτιών αντιπροσωπεύουν συνθήκες μετάβασης. Μερικές φορές οι συνθήκες μετάβασης μπορούν να δηλωθούν από ένα πολύ μικρότερο ορθογώνιο μεταξύ των μεγαλύτερων καταστάσεων. Αφού ολοκληρωθεί ένα βήμα, η διαδικασία μεταβαίνει στην επόμενη κατάσταση μόνο εάν ικανοποιούνται οι συνθήκες μετάβασης. Κάθε κατάσταση έχει επίσης εξόδους. Οι εξόδοι απεικονίζονται ως ορθογώνια κουτιά που συνδέονται οριζόντια με την αντίστοιχη κατάστασή τους. Πρέπει να τηρούνται δύο προϋποθέσεις για κάθε SFC:

- Πρέπει να υπάρχει μια κατάσταση μετάβασης μεταξύ δύο βημάτων.
- Ένα βήμα πρέπει πάντα να διαχωρίζει δύο συνθήκες μετάβασης.

Structured Text (ST): Η ST είναι μια πολύ ευέλικτη και καθολική γλώσσα προγραμματισμού. Ο κώδικας μπορεί εύκολα να αντιγραφεί μεταξύ διαφορετικών τύπων PLC και να σταλεί μέσω e-mail καθώς βασίζεται σε κείμενο και όχι σε γραφικά όπως κάνει ο προγραμματισμός σε LADDER. Εμφανισιακά μοιάζει με προτάσεις κειμένου και η δημιουργία της πραγματοποιείται με τον ίδιο τρόπο όπως σε ένα πρόγραμμα επεξεργασίας κειμένου (όπως π.χ. το Microsoft Word) που διευκολύνει την επεξεργασία. Κατά συνέπεια, εφαρμόζονται οι ίδιες μέθοδοι εργασίας όπως σε ένα πρόγραμμα επεξεργασίας λέξεων.

Λόγω της πολύ δομημένης φύσης της, η ST είναι ιδανική για εργασίες που βασίζονται σε σύνθετα μαθηματικά, επαναχρησιμοποίηση κώδικα ή λήψη αποφάσεων (π.χ. αυτόματη βελτιστοποίηση ενέργειας, αλγόριθμοι, συλλογή δεδομένων και ρύθμιση).



Σχήμα 2.21 Παράδειγμα κώδικα SFC.

Έχοντας κανείς εμπειρία με τον προγραμματισμό σε ST, γίνεται ευκολότερη η μετάβαση σε άλλες γλώσσες προγραμματισμού εντός των τομέων ελέγχου και αυτοματισμού από τα PLC, όπως για παράδειγμα στον προγραμματισμό ρομποτικής ή κυρίως σε γλώσσα Visual Basic. Μέσα σε μεταγενέστερα χρόνια, ακόμη περισσότερες εταιρείες έχουν στραφεί στον προγραμματισμό ST, γεγονός που οφείλεται στο γεγονός ότι η ST παρέχει μια σειρά πλεονεκτημάτων σε σύγκριση με τις άλλες τέσσερις γλώσσες προγραμματισμού PLC (LAD, SFC, FDB και IL). Αυτά τα πλεονεκτήματα είναι τα εξής:

- Ο κώδικας προγραμματισμού ST μπορεί εύκολα να αντιγραφεί μεταξύ διαφορετικών τύπων PLC.
- Είναι η ευκολότερη γλώσσα PLC για μαθηματικούς υπολογισμούς, τύπους και αλγόριθμους και μεγάλες ποσότητες δεδομένων (Big Data), διευκολύνοντας τον δρόμο προς την 4η βιομηχανική επανάσταση (Industry 4.0 – IIoT).
- Οι λύσεις PLC είναι πιο απαιτητικές σήμερα από 20 χρόνια πριν
- Πολλές διαδεδομένες γλώσσες προγραμματισμού (C ++, C #, PASCAL, VB) θυμίζουν πάρα πολύ τη δομή του προγράμματος ST.
- Οι άλλες γλώσσες PLC (LAD, SFC και FBD) απαιτούν να προγραμματίζονται τμήματα αυτών σε ST.
- Καταλαμβάνει λιγότερο χώρο όταν ο κώδικας πρέπει να τεκμηριωθεί, να περιγραφεί και να εκτυπωθεί συγκριτικά με τις άλλες γλώσσες PLC. [1], [6]

```

IF Start THEN
    Start:=FALSE; //Remove Start Latch
    WHILE Initialised = FALSE DO
        System_Prime:=TRUE; //Set Output On For System Primer
    END_WHILE
    System_Prime:=FALSE; //Turn Off Output For System Primer Once Initialised
END_IF

```

Σχήμα 2.22 Παράδειγμα κώδικα Structured Text. Φαίνεται η ομοιότητα με άλλες γλώσσες προγραμματισμού.

2.1.3 Δυνατότητες επικοινωνίας

Τα PLC πρέπει να επικοινωνούν με διάφορες συσκευές. Αρχικά, υπάρχουν συσκευές που αποτελούν αναπόσπαστο μέρος του PLC, όπως τα απομακρυσμένα I/O. Στη συνέχεια, είναι άλλα PLC και συσκευές ελέγχου, όπως κινητήρες και σερβο-ελεγκτές. Συχνά απαιτείται επίσης επικοινωνία με κάποιο τύπο συσκευής διεπαφής χειριστή (HMI – Human-Machine Interface), όπως και η σύνδεση στο διαδίκτυο. Τέλος, τα PLC μπορεί να επικοινωνούν και με υπολογιστές επιπέδου διακομιστή που εκτελούν διάφορες εφαρμογές που σχετίζονται με το σύστημα.

Όλες αυτές οι συνδέσεις απαιτούν δύο πράγματα:

- Μια φυσική σύνδεση ή στρώμα, που αποτελείται από τα στοιχεία καλωδίωσης και σύνδεσης.
- Ένα κοινόχρηστο πρωτόκολλο, το οποίο είναι η κοινή γλώσσα που επιτρέπει σε κάθε συσκευή να κατανοήσει τι σημαίνουν τα bit και τα byte στα μηνύματα επικοινωνίας.

Από την αρχή τους, οι επικοινωνίες των PLC ήταν συνήθως ιδιόκτητες, με κάθε προμηθευτή να έχει τις δικές του κλειστές συνδέσεις και πρωτόκολλα. Αυτό έκανε τις επικοινωνίες σχετικά απλές μεταξύ των προϊόντων ενός προμηθευτή, αλλά δυσόιωνα περίπλοκες αν επιλέγαμε να περιηγηθούμε εκτός της επιχειρησιακής τους σφαίρας.

Αυτές οι παλιές, ιδιόκτητες μέθοδοι επικοινωνίας εξακολουθούν να έχουν τη θέση τους, καθώς επιτρέπουν γρήγορες και εύκολες συνδέσεις μεταξύ των προϊόντων ενός προμηθευτή. Για απλά συστήματα χωρίς σχέδια επέκτασης ή σύνδεσης σε άλλα στοιχεία, η αποκλειστική επικοινωνία είναι μια επιλογή που θα συνεχίσει να εφαρμόζεται για αρκετό καιρό. Πολλοί προμηθευτές PLC εξακολουθούν να υποστηρίζουν αυτές τις παλαιότερες φυσικές, ενσύρματες συνδέσεις - συνήθως βασίζονται σε σειριακή συνδεσιμότητα RS-232, RS-422 και RS-485 - και στα σχετικά πρωτόκολλα.

Όταν το σύστημα ελέγχου απαιτεί τη συμμετοχή άνω του ενός προμηθευτή, τα πρότυπα επικοινωνίας έρχονται στο προσκήνιο, ξεκινώντας από το φυσικό επίπεδο (physical layer). Μερικά κοινά πρωτόκολλα που χρησιμοποιούνται στη βιομηχανική αρένα περιλαμβάνουν:

- Modbus RTU
- Ethernet/IP
- Ethernet TCP/IP
- Modbus TCP/IP
- Profinet

- Profibus
- DNP3 κ.α.

Ίσως το πιο συνηθισμένο βιομηχανικό πρωτόκολλο σειριακής επικοινωνίας είναι το Modbus RTU, που αναπτύχθηκε από τη Modicon και συνήθως εκτελείται σε ένα δίκτυο RS-485. Αυτό και άλλα δημοφιλή σειριακά πρωτόκολλα υποστηρίζονται από μια μεγάλη ποικιλία προμηθευτών και υπάρχει εξοικείωση από μια μεγάλη ομάδα επαγγελματιών αυτοματισμού. Αλλά η απόδοση είναι περιορισμένη, καθιστώντας τα σειριακά πρωτόκολλα μια κακή επιλογή για υψηλή ταχύτητα και άλλες απαιτητικές εφαρμογές.

Λόγω της απόδοσης και άλλων πλεονεκτημάτων, το Ethernet έχει αναδειχθεί ως το κυρίαρχο πρότυπο για το physical layer πολλών βιομηχανικών πρωτοκόλλων, όπως EtherNet/IP, Ethernet TCP/IP, Modbus TCP/IP και Profinet. Και σε αντίθεση με τα σειριακά πρωτόκολλα, πολλά πρωτόκολλα Ethernet μπορούν να εκτελεστούν στο ίδιο layer Ethernet. Χρησιμοποιώντας το Ethernet, δεν είναι πολύ δύσκολο να διασυνδέσετε πολλές συσκευές, όπως PLC, HMI, πεδίο I / O και τράπεζες βαλβίδων. Επιπλέον, η επικοινωνία παραμένει γρήγορη ενώ μιλά σε πολλές διαφορετικές συσκευές στο ίδιο καλώδιο, λόγω της πολύ υψηλής ταχύτητας του Ethernet σε σύγκριση με τα παλαιότερα σειριακά δίκτυα. [3]

Παρακάτω θα αναφερθούμε σε ένα παράδειγμα πρωτοκόλλου επικοινωνίας που χρησιμοποιείται στην προσομοίωση της παρούσης εργασίας, το Modbus TCP/IP.

2.1.3.1 Το πρότυπο Modbus

Το Modbus είναι ένα από τα πιο διαδεδομένα πρωτόκολλα επικοινωνίας της οικογένειας των Fieldbus και χρησιμοποιείται κυρίως σε βιομηχανικές, αλλά και σε κτηριακές εφαρμογές. Πρόκειται για ένα σειριακό πρωτόκολλο επικοινωνίας, μέσω RS-232 σειριακής σύνδεσης, με τη λογική Master – Slave. Σε ένα δίκτυο Modbus, ο κύριος κόμβος (Master) συγχρονίζει την μετάδοση δεδομένων από τις δευτερεύουσες μονάδες (Slave). Ο Master καλεί τον slave είτε για να μεταδώσει πληροφορίες, είτε για να εκτελέσει μία ενέργεια. Έτσι, ξεκινά μια διαδικασία από τον Master με την αποστολή ενός κώδικα λειτουργίας όπου καθορίζει τον τύπο της συναλλαγής που θα εκτελέσει η Slave μονάδα. Στην επικοινωνία μέσω Modbus, καθορίζεται η διαδικασία σύμφωνα με την οποία η Master μονάδα αποκτάει πρόσβαση στις Slave μονάδες, πώς θα ανταποκριθεί σε αιτήματα άλλων συσκευών καθώς και ο τρόπος ανίχνευσης και αναφοράς σφαλμάτων. Σε περίπτωση που η διεύθυνση και η μορφή δεδομένων είναι σωστή, τότε γίνεται ανάγνωση ή εγγραφή της επιθυμητής περιοχής μνήμης και εντέλλεται μήνυμα κατάστασης ορθής εγγραφής. Παράλληλα, το πρωτόκολλο καθορίζει τον τρόπο με τον οποίο δηλώνεται η διεύθυνση των δικτυακών συσκευών και πως συνοδεύει τη μεταδιδόμενη πληροφορία. Σύμφωνα με την αρχή λειτουργίας της επικοινωνίας master – slave, μόνο ο κεντρικός σταθμός μπορεί να καλέσει για επικοινωνία ή κάποια άλλη ενέργεια. Οι υπόλοιπες συσκευές ανταποκρίνονται με την αποστολή των δεδομένων προς την κεντρική μονάδα, ή την εκτέλεση της απαιτούμενης ενέργειας. Η κύρια μονάδα μπορεί να καλέσει μεμονωμένα τις δευτερεύουσες μονάδες, ή να μεταδώσει ένα κοινό μήνυμα σε όλες ταυτόχρονα (broadcast). Οι δευτερεύουσες μονάδες επιστρέφουν το μήνυμα απάντησης στις κλήσεις που απευθύνονται σε αυτές ξεχωριστά, όμως δεν επιστρέφουν απαντήσεις σε γενικευμένες (broadcast) κλήσεις της κύριας μονάδας.

Όταν ένα μήνυμα αποστέλλεται από την κεντρική μονάδα, αποτελείται από την δήλωση της διεύθυνσης (Device Address) η οποία καταδεικνύει την slave μονάδα όπου καλείται, στη συνέχεια ακολουθεί ο κώδικας όπου περιγράφει την ενέργεια (Function Code) που καλείται να

εκτελέσει η συγκεκριμένη μονάδα ακολουθούμενος από την περιοχή μνήμης στην οποία αναφέρεται η συγκεκριμένη ενέργεια (Data Bytes). Τέλος ακολουθεί ένα πεδίο ελέγχου (Error Check) με βάση το οποίο η slave μονάδα επικυρώνει την ακεραιότητα του περιεχομένου του μηνύματος. Στην περίπτωση που δεν υπάρχει σφάλμα, η απάντηση αποτελείται από τον ίδιο κωδικό ενέργειας ακολουθούμενο από τα δεδομένα του μηνύματος που έχει να αποστείλει η slave μονάδα. Σε περίπτωση λάθους, κατά την αποστολή της κλίσης, ο κωδικός ενέργειας μετατρέπεται για να δηλώσει ότι η απάντηση είναι ένα μήνυμα δήλωσης λάθους και τα δεδομένα που ακολουθούν δηλώνουν το είδος του σφάλματος. Τέλος το πεδίο ελέγχου σφαλμάτων (Error Check) επιτρέπει στην κύρια μονάδα να επιβεβαιώσει ότι το μήνυμα απάντησης είναι σωστό.

Το πρότυπο Modbus χρησιμοποιεί συγκεκριμένες εντολές και χαρτογράφηση των χρησιμοποιούμενων καταχωρητών των PLC, επιτυγχάνοντας έτσι την επικοινωνία μεταξύ ελεγκτών διαφορετικών εταιριών. Οι εντολές που χρησιμοποιούνται είναι οι Read/Write Coil, Read Discrete Input, Read Input Register και Read/Write Holding Register. Η αρίθμηση των καταχωρητών γίνεται με τρόπο που ξεχωρίζει τον τύπο τους. Συνήθως όταν αναφερόμαστε σε coils εννοούμε bit εξόδου, και αντίστοιχα για discrete input bits εισόδου, για input register καταχωρητές (16 bits) εισόδου (αναλογικά σήματα) και για holding register καταχωρητές της μνήμης του PLC. Παρακάτω δίνεται η χαρτογράφηση του Modbus σε κάθε περίπτωση:

Object type	Access	Size	Address Space
Coil	Read-write	1 bit	00001 – 09999
Discrete input	Read-only	1 bit	10001 – 19999
Input register	Read-only	16 bits	30001 - 39999
Holding register	Read-write	16 bits	40001 - 49999

Σχήμα 2.23 Χαρτογράφηση του πρωτοκόλλου Modbus.

Σε ένα δίκτυο βιομηχανικού αυτοματισμού πεδίου Modbus, υπάρχουν τρεις τρόποι μετάδοσης του σήματος, η μετάδοση μέσω ASCII χαρακτήρων, η RTU και η TCP/IP. Με βάση τους παραπάνω τρόπους μετάδοσης καθορίζονται και οι βασικές παράμετροι για τη σειριακή επικοινωνία, όπως ο ρυθμός μετάδοσης δεδομένων (bandwidth), ο έλεγχος μηνυμάτων (parity check) κ.α. Οι τρεις τρόποι μετάδοσης καθορίζουν τα ψηφία τα οποία συνθέτουν το μεταδιδόμενο μήνυμα, καθώς και τον τρόπο κωδικοποίησης ή αποκωδικοποίησης της πληροφορίας.

Modbus ASCII (American Standard Code for Information Interchange): Κάθε Byte, το οποίο αποτελείται από οχτώ ψηφία (bits) αντιστοιχίζεται με δύο ASCII χαρακτήρες. Το βασικότερο πλεονέκτημα, της τεχνικής αυτής είναι ότι επιτρέπονται χρονικά διαστήματα έως και ενός δευτερολέπτου, μεταξύ της μετάδοσης δύο χαρακτήρων, χωρίς να προκύψει σφάλμα στην επικοινωνία. Εδώ κάθε μήνυμα ξεκινάει με ένα χαρακτήρα «στήλη» (colon) (:) και τελειώνει με μία γραμμή (-). Μετά τον χαρακτήρα έναρξης μηνύματος, όλα τα επόμενα πεδία που ακολουθούν αποτελούνται από δεκαεξαδικούς αριθμούς. Μόλις η κεντρική μονάδα μεταδώσει τον χαρακτήρα έναρξης (ASCII 3A hex), όλες οι δευτερεύουσες μονάδες ελέγχουν

τους επόμενους δύο χαρακτήρες που δηλώνουν τη διεύθυνση της μονάδας που πρέπει να ανταποκριθεί. Μετά τη διεύθυνση ακολουθούν δύο χαρακτήρες που δηλώνουν την ενέργεια που πρέπει να εκτελεστεί και στη συνέχεια ακολουθούν η χαρακτήρες που δηλώνουν την περιοχή μνήμης που αφορά την καλούμενη ενέργεια. Στο τέλος ακολουθούν δύο χαρακτήρες όπου κάνουν τον έλεγχο της επικοινωνίας και ολοκληρώνεται το μήνυμα με δύο χαρακτήρες που δηλώνουν το τέλος μηνύματος (ASCII 0D και 0A hex).

Modbus RTU (Remote Terminal Unit): Κάθε Byte πληροφορίας αποτελείται από δύο δεκαεξαδικούς χαρακτήρες των τεσσάρων ψηφίων. Αντίστοιχα με την προηγούμενη μέθοδο μετάδοσης, εδώ λόγω της μεγαλύτερης πυκνότητας των ψηφίων, για τον ίδιο ρυθμό μετάδοσης δεδομένων, πετυχαίνουμε μεγαλύτερο όγκο πληροφορίας. Εδώ η εκκίνηση του μηνύματος γίνεται με μία παύση διάρκειας περίπου τριών με τεσσάρων χαρακτήρων, το οποίο συνήθως δηλώνεται ως ο πολλαπλασιασμός του χαρακτήρα χρονισμού του ρυθμού μετάδοσης που χρησιμοποιείται (T1 – T2 – T3 – T4). Όλοι οι χαρακτήρες που ακολουθούν είναι σε μορφή Byte των οχτώ bit. Έτσι ακολουθεί η διεύθυνση με οχτώ bit, η καλούμενη ενέργεια με οχτώ bit, η περιοχή μνήμης με n x οχτώ bit και ο έλεγχος μηνύματος σε μορφή λέξης των δέκα έξι bit. Στο τέλος ακολουθεί η ίδια παύση των τεσσάρων χαρακτήρων με την οποία δηλώνεται το τέλος μηνύματος. Στη τεχνική μετάδοσης RTU, όλο το μήνυμα μεταδίδεται ως μία συνεχόμενη ακολουθία. Σε περίπτωση που υπάρξει παύση μεγαλύτερη του ενάμιση χαρακτήρα, πριν τελειώσει η μετάδοση, τότε η μονάδα που έχει κληθεί μεταδίδει ένα κωδικό σφάλματος.

Ακολουθεί ένα παράδειγμα αίτησης Modbus RTU για το περιεχόμενο των αναλογικών καταχωρητών συγκράτησης εξόδου # 40108 έως 40110 από τη δευτερεύουσα συσκευή με διεύθυνση 17:

11 03 006B 0003 7687

11: Η διεύθυνση SlaveID

(17 = 11 hex)

03: Ο κωδικός λειτουργίας

(διάβασε αναλογικούς καταχωρητές εξόδου)

006B: Η διεύθυνση δεδομένων του πρώτου καταχωρητή που ζητήθηκε.

(40108-40001 = 107 = 6B hex)

0003: Ο συνολικός αριθμός των αιτηθέντων καταχωρητών.

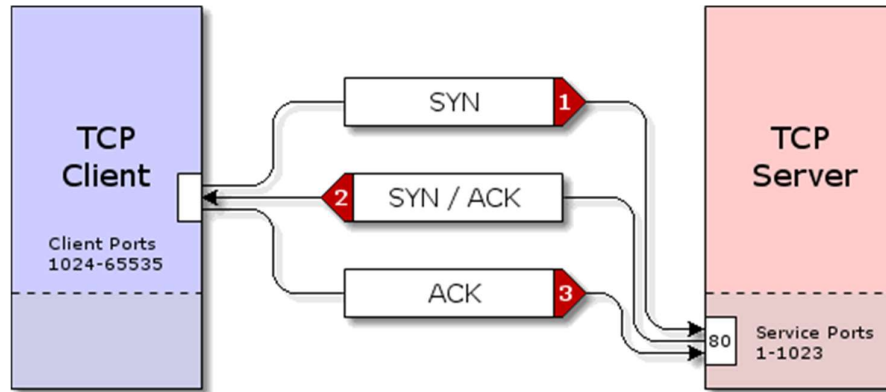
(διάβασε 3 καταχωρητές: 40108 έως 40110)

7687: CRC (έλεγχος κυκλικής απόλυσης) για έλεγχο σφάλματος.

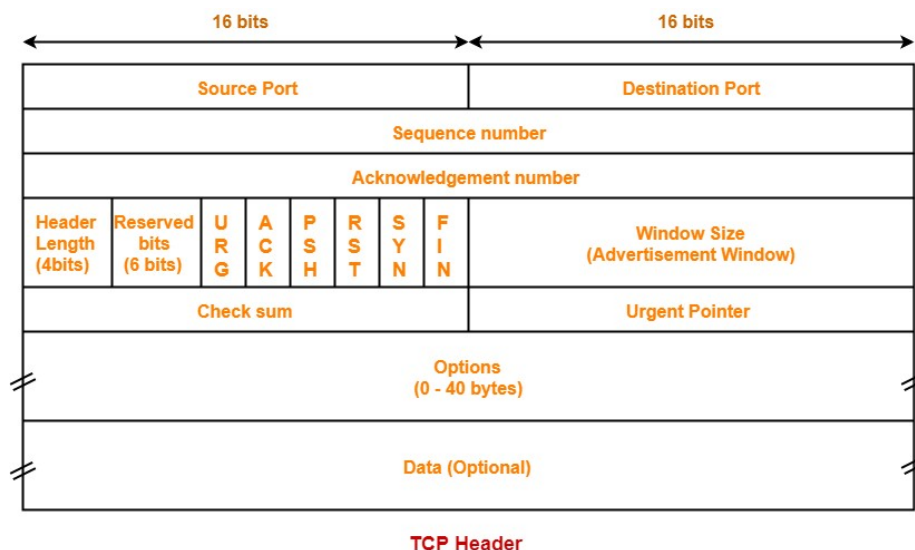
Η αφαίρεση του Slave ID και του CRC δίνει το 03 006B 0003.

Modbus TCP/IP (Transmission Control Protocol/Internet Protocol): Ακολουθείται η ίδια διαδικασία με αυτή της RTU, με τη διαφορά πως το μήνυμα είναι ενθυλακωμένο σε ένα πακέτο δεδομένων βάσει του προτύπου TCP (TCP datagram). Καθώς το TCP/IP ανήκει στην κατηγορία των πρωτοκόλλων Ethernet, λόγω της χρήσης των UTP καλωδίων, τα δεδομένα αποστέλλονται κατά δεκάδες φορές ταχύτερα από ότι στις σειριακές συνδέσεις των παλαιότερων συμβατικών Modbus. Ταυτόχρονα, με τη χρήση του IP, ορίζονται διευθύνσεις σε κάθε συσκευή εντός του υποδικτύου της, ανοίγοντας τη δυνατότητα απομακρυσμένων διασυνδέσεων μέσω Internet με τη χρήση βιομηχανικών πυλών (Industrial gateways), πράγμα που καθιστά το Modbus TCP/IP το πιο συχνά χρησιμοποιούμενο και το πλέον προτεινόμενο πρότυπο, καθώς προσφέρει τη δυνατότητα σε παλαιότερες (legacy) συσκευές να ενσωματωθούν στο νεότερο Industrial Internet of Things (IIoT).

Κάνοντας χρήση αυτού του προτύπου, απαιτείται για την επικοινωνία με τους κόμβους – σκλάβους η εγκαθίδρυση μίας σύνδεσης μέσω της λεγόμενης «χειραψίας τριών τρόπων» ή «τριπλής χειραψίας» (3-way handshake). Ο Master πρέπει να στείλει μήνυμα συγχρονισμού στον Slave, ο Slave να απαντήσει ότι αναγνώρισε το μήνυμα και ο Master ξανά στον Slave ότι έλαβε την θετική αναγνώρισή του. Σε περίπτωση που δεν γίνει εγκαθίδρυση της σύνδεσης, δεν υπάρχει δυνατότητα επικοινωνίας μεταξύ των δύο κόμβων.



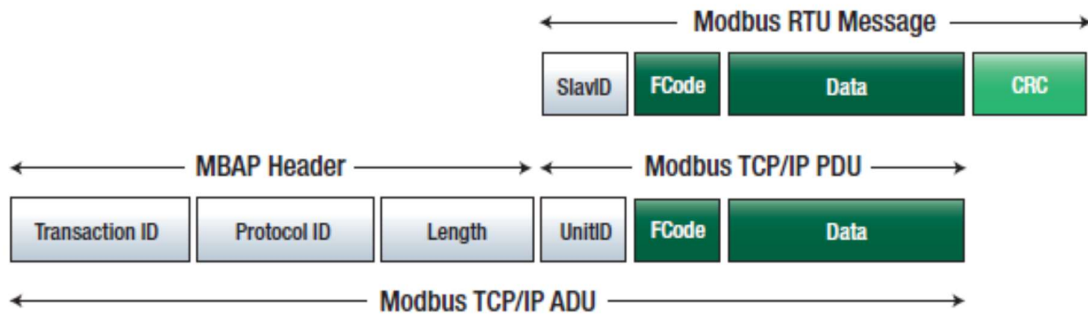
Σχήμα 2.24 3-way handshake



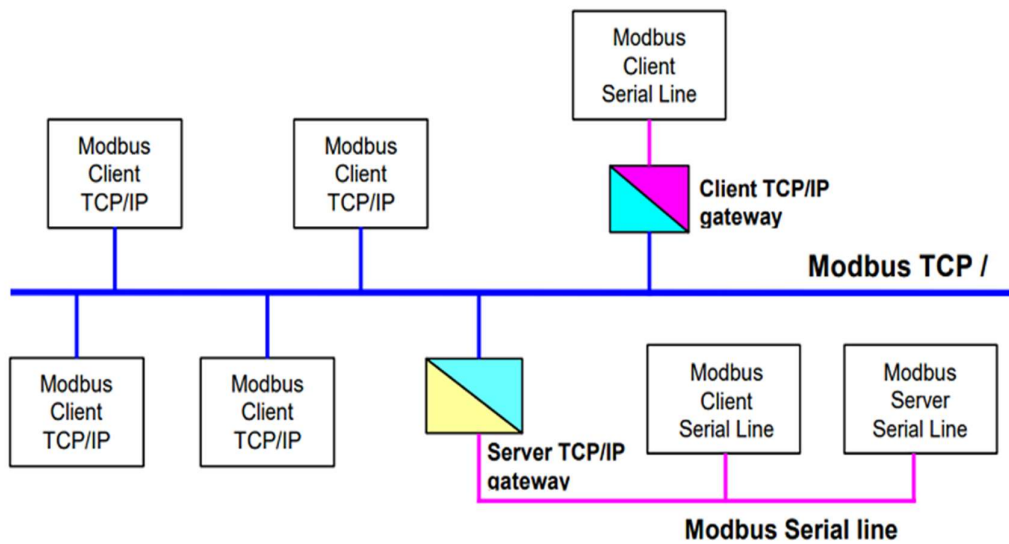
TCP Header

Σχήμα 2.25 Πακέτο δεδομένων TCP (TCP datagram).

Το μεγάλο μειονέκτημα του Modbus TCP, είναι πως δεν παρέχει κανένος είδους ασφάλεια σε κυβερνοεπιθέσεις. Αν κάποιος γνωρίζει πώς να παρεμβαίνει σε πακέτα TCP, το δίκτυο του Modbus γίνεται ευάλωτο. Για αυτό απαιτείται η χρήση επιπλέον ασφαλείας μέσω Firewalls, των gateways και των VPNs ή άλλου είδους tunnels για τη διασύνδεση των βιομηχανικών υποδικτύων. [3]



Σχήμα 2.26 Ενθυλάκωση ενός Modbus RTU μηνύματος σε ένα TCP/IP Datagram.



Σχήμα 2.27 Δίκτυο που χρησιμοποιεί διάφορες δομές του προτύπου Modbus. Τα gateways είναι ουσιαστικά routers που επιτρέπουν την σύνδεση των υποδίκτυων σε άλλα υποδίκτυα μέσω του Διαδικτύου.

2.2 Απομακρυσμένες Μονάδες Τηλεμετρίας

Μια απομακρυσμένη τερματική μονάδα ή αλλιώς απομακρυσμένη μονάδα τηλεμετρίας (RTU – Remote Terminal / Telemetry Unit) είναι μια συσκευή πολλαπλών χρήσεων που χρησιμοποιείται για απομακρυσμένη παρακολούθηση και έλεγχο διαφόρων συσκευών και συστημάτων αυτοματοποίησης. Συνήθως συναντάται σε βιομηχανικό περιβάλλον και εξυπηρετεί παρόμοιο σκοπό με τα PLC. Ένα RTU θεωρείται αυτόνομος υπολογιστής, καθώς διαθέτει όλα τα βασικά μέρη που, μαζί, ορίζουν έναν υπολογιστή: επεξεργαστή, μνήμη και αποθήκευση. Εξαιτίας αυτού, μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως έξυπνος ή κύριος ελεγκτής για άλλες συσκευές που, από κοινού, αυτοματοποιούν μια διαδικασία όπως ένα τμήμα μιας γραμμής συναρμολόγησης.

Οι απομακρυσμένες τερματικές μονάδες είναι πιο προηγμένες από τα PLC, αλλά μπορούν να ακολουθούν κυρίως προγραμματισμό LADDER και συμβατικά έχουν περισσότερη έμφαση στη μετάδοση δεδομένων. Παλιότερα δεν είχαν ικανότητες προγραμματισμού και ελέγχου. Ένα RTU όμως πλέον, μπορεί και να είναι αρκετά εξελιγμένο και «έξυπνο» ώστε να ελέγχει πολλαπλές διαδικασίες χωρίς να απαιτείται παρέμβαση του χρήστη ή εισαγωγή από έναν άλλο ελεγκτή. Λόγω αυτής της ικανότητας, σκοπός του RTU είναι η διασύνδεση με συστήματα DCS

και SCADA, στέλνοντας τους δεδομένα τηλεμετρίας. Αλλά στις περισσότερες περιπτώσεις, ακόμη και τα πιο σύγχρονα RTU, συνδέονται με ένα πιο εξελιγμένο σύστημα ελέγχου όπως ένας βιομηχανικός υπολογιστής, γεγονός που καθιστά τον επαναπρογραμματισμό, την παρακολούθηση και τον έλεγχο ολόκληρου του συστήματος ευκολότερα για έναν χρήστη.

Ένα RTU μπορεί επίσης να παρακολουθεί τις αναλογικές και ψηφιακές παραμέτρους ενός πεδίου μέσω αισθητήρων και δεδομένων που λαμβάνονται από συνδεδεμένες συσκευές και συστήματα. Στη συνέχεια στέλνει αυτά τα δεδομένα στον κεντρικό σταθμό παρακολούθησης, όπως συμβαίνει σε πολλές βιομηχανικές εγκαταστάσεις, όπως της διανομής ενέργειας, πετρελαίου και νερού. Ένα RTU περιλαμβάνει ένα λογισμικό εγκατάστασης που συνδέει ροές εισόδου και εξόδου δεδομένων. Το λογισμικό μπορεί να καθορίσει πρωτόκολλα και ακόμη και να αντιμετωπίσει συγκεκριμένα προβλήματα της εγκατάστασης με δυνατότητες ελέγχου και σχετικών εντολών από τον προγραμματισμό του, όπως κι ένα PLC.

Ανάλογα με τον κατασκευαστή, τον σκοπό και το μοντέλο του, ένα RTU μπορεί να είναι επεκτάσιμο και προσαρμόσιμο σε διαφορετικές μονάδες, όπως για διασυνδέσεις επικοινωνίας, πρόσθετη αποθήκευση, εφεδρική ισχύ και διάφορες αναλογικές και ψηφιακές μονάδες εισόδου/εξόδου ανάλογα το σύστημα. Λόγω των πολύ διαφορετικών εφαρμογών τους, οι RTU διατίθενται σε πολύ διαφορετικές διαμορφώσεις υλικού και λογισμικού και ενδέχεται να μην είναι συμβατές μεταξύ τους. Για παράδειγμα, τα RTU που χρησιμοποιούνται στον αυτοματισμό τηλεπικοινωνιών ενδέχεται να μην μπορούν να χρησιμοποιηθούν καθόλου για εφαρμογές πετρελαίου και φυσικού αερίου, καθώς οι διαδικασίες και τα συστήματα υλικού που χρησιμοποιούνται θα ήταν εντελώς διαφορετικά.

Αν και τα PLC έχουν κυριαρχήσει στον κλάδο, υπάρχουν ακόμα πολλές εφαρμογές που χρησιμοποιούν απομακρυσμένες τερματικές μονάδες. Τα RTU και τα PLC βρίσκονται ουσιαστικά σε αντίθεση. Ενώ ο πρωταρχικός σκοπός τους μπορεί να είναι ο ίδιος, να συλλέγουν δεδομένα και να τα στέλνουν πίσω σε έναν κύριο σταθμό, το κάνουν με διαφορετικούς τρόπους.

Συνοπτικά, τα χαρακτηριστικά του καθενός είναι τα εξής:

RTUs

1. Λειτουργούν βασισμένα σε γεγονότα (event driven).
2. Μεταδίδουν μόνο αλλαγές καταστάσεων.
3. Η διαδρομή μετάδοσης είναι αρκετά μεγάλη, πιο αργή ταχύτητα επικοινωνίας.
4. Μόνο τα ζητούμενα δεδομένα μεταδίδονται, πολύ αποδοτικά.
5. Χρονική σφράγιση (time stamping) των γεγονότων, τα δεδομένα διαβιβάζονται με χρονική σήμανση στην κεντρική μονάδα ελέγχου.
6. Διάφορες τάσεις ανάλογα την διαδικασία, εύκολη εφεδρεία, αυτονομία μέσω ηλιακών πάνελ, μπαταριών κ.α.
7. Δεν περιορίζονται σε οποιοδήποτε είδος εφαρμογής, αλλά είναι ειδικά κατασκευασμένα ανάλογα το περιβάλλον. Υψηλή περιβαλλοντική αντοχή.
8. Δεν είναι επεκτάσιμα, αν και έχουν αρχίσει να γίνονται.
9. Συνήθως ακριβότερα από τα PLC.



Σχήμα 2.28 Μονάδα RTU.

PLCs

1. Λειτουργούν κυκλικά, ο κύκλος εκτελείται χωρίς διακοπή.
2. Μεταδίδουν όλες τις πληροφορίες κυκλικά, σύμφωνα με τον προγραμματισμό τους.
3. Προ-προγραμματισμένος κύκλος με προβλέψιμο χρόνο κύκλου, γρηγορότερη ταχύτητα επικοινωνίας.
4. Όλα τα προγραμματισμένα δεδομένα μεταδίδονται, ενδεχομένως περιττά δεδομένα. (όχι απαραίτητα)
5. Η κεντρική μονάδα ελέγχου πραγματοποιεί τη χρονική σήμανση των γεγονότων.
6. Κύρια τάση διεργασίας τα 24 Vdc. Δυσκολότερο να λειτουργούν συγχρονισμένα με εφεδρικά.
7. Κυρίως για τις εφαρμογές τοπικού ελέγχου, χαμηλότερες περιβαλλοντικές αντοχές.
8. Εύκολα επεκτάσιμα με τη χρήση κατάλληλων μονάδων.
9. Συνήθως φθηνότερα από τα RTU.

Φαίνεται πάντως ότι με την εξέλιξη των τεχνολογιών και τη σταδιακή ενσωμάτωση του IIoT, τα PLC και τα RTU θα συγχωνευτούν σε μία συσκευή ελέγχου, καθώς και τα δύο τείνουν να καλύπτουν πλέον, είτε αυτόνομα είτε εξωγενώς, τα μειονεκτήματα του ενός συγκριτικά με του άλλου. [2].[3]

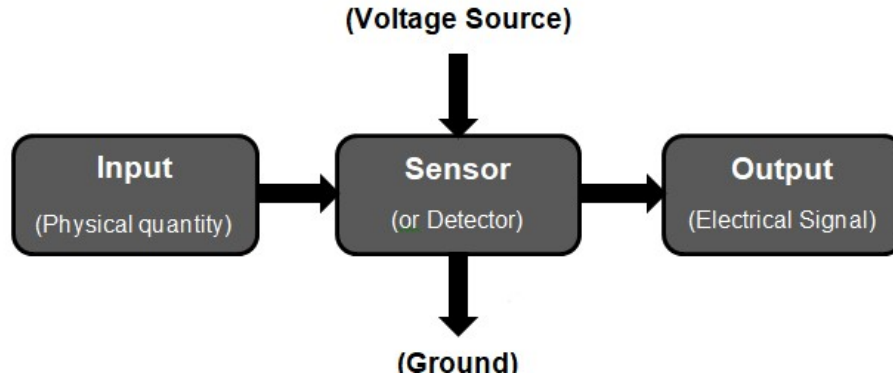
Κεφάλαιο 3

Συσκευές I/O: Είσοδοι και έξοδοι

3.1 Αισθητήρες

Αν και αναφέρθηκαν επανειλημμένως στα προηγούμενα κεφάλαια, δεν έχουν αναλυθεί εκτενώς. Είναι λοιπόν απαραίτητο, όπως και ενεργοποιητές, οι αισθητήρες να συμπεριληφθούν στην παρούσα εργασία ως αναπόσπαστο, κρίσιμο κομμάτι κάθε συστήματος ελέγχου.

Αισθητήρας ονομάζεται ένα είδος ηλεκτρονικού εξοπλισμού που χρησιμοποιείται για τον εντοπισμό και την παρατήρηση φυσικών δραστηριοτήτων ή αλλαγών στο περιβάλλον και τη μετάδοση της ειδοποίησης - σήματος σε άλλες ηλεκτρικές συσκευές ελέγχου. Συγκεκριμένα, οι αισθητήρες (ή ανιχνευτές ή μορφοτροπείς) είναι ηλεκτρικές, οπτοηλεκτρικές ή ηλεκτρονικές συσκευές που αποτελούνται από ειδικά ηλεκτρονικά ή άλλα ευαίσθητα υλικά, για να προσδιοριστεί η τυχόν παρουσία συγκεκριμένης οντότητας, ποσότητας ή λειτουργίας. Πολλοί τύποι αισθητήρων, ανιχνευτών και μετατροπέων είναι διαθέσιμοι στην αγορά. Ορισμένοι έχουν σχεδιαστεί για να ανιχνεύουν φυσικά χαρακτηριστικά, όπως θερμοκρασία, πίεση ή ακτινοβολία, ενώ άλλοι μπορούν να ανιχνεύσουν κίνηση ή εγγύτητα. Λειτουργούν με ποικίλους τρόπους ανάλογα με την εφαρμογή, περιλαμβάνοντας μεταξύ άλλων και ηλεκτρομαγνητικά πεδία ή οπτική. Πολλές εφαρμογές σε ένα ευρύτατο φάσμα βιομηχανιών χρησιμοποιούν αισθητήρες πολλών ειδών για τη δοκιμή, τη μέτρηση και τον έλεγχο διαφόρων διαδικασιών και λειτουργιών των μηχανημάτων. Με την έλευση του IIoT, αυξάνεται η ανάγκη για έξυπνους αισθητήρες ως βασικό εργαλείο για την παροχή αναβαθμισμένου αυτοματισμού.



Σχήμα 3.29 Η γενικευμένη λειτουργία ενός αισθητήρα.

Ένα βιομηχανικό σύστημα αισθητήρων τροφοδοτείται συχνά από μια πηγή 24V DC, μεγάλη διαφορά από έναν αισθητήρα σε ένα καταναλωτικό ή οικιακό σύστημα που τροφοδοτείται από μια πηγή 3V ή 5V. Ως αποτέλεσμα, τα βιομηχανικά συστήματα αισθητήρων απαιτούν πρόσθετη διαχείριση ισχύος για την αποτελεσματική οδήγησή τους. Οι έξοδοί τους καταλήγουν συνήθως στις εισόδους ενός PLC ή άλλου ελεγκτή.

Παρακάτω παρατίθεται η βασική κατηγοριοποίηση των αισθητήρων σε ψηφιακούς, αναλογικούς και ειδικού σκοπού.

3.1.1 Ψηφιακοί αισθητήρες

Οι ψηφιακοί αισθητήρες είναι διακριτού χαρακτήρα και παρέχουν σήμα ενεργοποίησης ή απενεργοποίησης (ON/OFF, 0/1, Open/Closed). Συνήθως περιλαμβάνουν ένα καλώδιο για τερματισμό σε ένα πίνακα αυτοματισμού, αλλά έχουν επίσης και ποικιλία επιλογών καλωδίωσης “γρήγορης αποσύνδεσης”. Είναι συνήθως διαθέσιμοι για τροφοδοσίες 24VDC, 120 ή 240VAC ή για έλεγχο μέσω ρελέδων.

Οι DC αισθητήρες χρησιμοποιούν τρανζίστορ στερεάς κατάστασης ως διακόπτες. Υπάρχουν δύο διαφορετικοί τύποι ανάλογα με τη φύση της συσκευής εισόδου με την οποία συνδέονται: PNP ή “sourcing” και NPN ή “sinking”. Ένας αισθητήρας sourcing παρέχει ένα θετικό σήμα αναφοράς σε μια είσοδος ή αλλιώς παρέχει ρεύμα. Αυτό σημαίνει ότι πρέπει να επισυνάπτεται σε μια συσκευή εισόδου “βύθισης” ή τύπου NPN. Το αντίθετο ισχύει για ένα αισθητήρας βύθισης, ο οποίος συνδέεται με ένα σημείο εισόδου τύπου PNP, το οποίο παρέχει θετική προς αρνητική ροή ρεύματος στον αισθητήρα.

Τα καλώδια “γρήγορης αποσύνδεσης” (QD) είναι τυποποιημένα για αισθητήρες. Τα περισσότερα ανήκουν στις κατηγορίες των Micro ή Pico QD. Τα καλώδια διατίθενται σε τρεις, τέσσερις ή πέντε ποικιλίες καλωδίων, ανάλογα με τη διαμόρφωση του εκάστοτε αισθητήρα.

Μπουτόν, ρελέδες και διακόπτες: Τα μπουτόν και οι διακόπτες χρησιμοποιούνται από τους χειριστές του συστήματος για τη σηματοδότηση εκτέλεσης μιας εργασίας ή για τον ορισμό μιας κατάστασης, όπως την αυτόματη ή την χειροκίνητη λειτουργία ελέγχου. Ένα μπουτόν έχει συνήθως μόνο δύο καταστάσεις, ενεργοποίηση ή απενεργοποίηση, και μπορεί να διατηρηθεί σε κάθε θέση μετά την εναλλαγή. Τα περισσότερα μπουτόν είναι μηχανικής φύσης και συνδέονται με ένα σετ ηλεκτρικών επαφών στο πίσω μέρος τους. Οι επαφές μπορεί να είναι κανονικά ανοιχτές (NO) ή κανονικά κλειστές (NC). Μερικά είναι αφής και άλλα χωρητικής φύσεως, σε μόνιμη κατάσταση ή με μηχανικές επαφές. Το σχήμα 3.30 δείχνει σχηματικά σύμβολα για ορισμένα από τα διαφορετικά είδη τέτοιων διακριτών συσκευών εισόδου.

Οι διακόπτες επιλογής έχουν πολλές θέσεις, η κάθε μία με ξεχωριστή επαφή ή ομάδα επαφών που σχετίζονται με αυτήν. Οι διακόπτες αυτοί έχουν τη δυνατότητα να διατηρούνται σε κάθε θέση ή να επιστρέφουν μέσω ελατηρίου σε μία αρχική – βασική θέση.

Το κλείσιμο μίας επαφής μπορεί να ελέγχεται από το πηνίο ενός ρελέ ή από ένα σήμα μόνιμης κατάστασης. Συνδέεται συνήθως με τις εισόδους ενός ελεγκτή για την υπόδειξη αλλαγής μίας κατάστασης. Ένα αποτέλεσμα της χρήσης φυσικών επαφών σε ένα ηλεκτρικό κύκλωμα είναι τα μεταβατικά φαινόμενα. Όποτε ένας διακόπτης ανοίγει ή κλείνει σε ένα ηλεκτρικό κύκλωμα, δημιουργείται μια ακίδα τάσης. Το ρεύμα δεν διακόπτεται αμέσως και σχηματίζεται ένα μικρό τόξο μεταξύ των σημείων επαφής. Αυτό μπορεί να επηρεάσει τις ίδιες τις επαφές, προκαλώντας λάκτισμα. Μπορεί επίσης να δημιουργήσει μια σπίθα, η οποία αποτελεί μεγάλο πρόβλημα για παράδειγμα σε εύφλεκτα περιβάλλοντα. Εάν ένας ελεγκτής ψάχνει για μία αλλαγή κατάστασης σε μια είσοδο, μπορεί μερικές φορές να εντοπίσει πολλαπλές “αναπηδήσεις” των επαφών λόγω παροδικών ρευμάτων. Αυτό μπορεί να προκαλέσει προβλήματα, κυρίως όταν μια είσοδος χρησιμοποιείται ως μετρητής.

	Normally Closed (NC)	Normally Open (NO)
Switch		
Relay		
Button		
3 Pole Selector Switch		

Σχήμα 3.30 Διαγράμματα διακοπών, ρελέδων και μπουτόν.

Φυσικές συσκευές όπως οι δίοδοι χρησιμοποιούνται μερικές φορές σε πηνία και επαφές για να βοηθήσουν στην ελαχιστοποίηση των μεταβατικών, ενώ μπορεί να χρησιμοποιηθεί και λογισμικό «αποδόμησης» για να διασφαλιστεί ότι οι παλμοί έχουν καθορισμένη διάρκεια πριν την αποδοχή τους ως έγκυρη είσοδο. Μία άλλη μέθοδος εξομάλυνσης των μεταβατικών είναι η χρήση συσκευών μόνιμης κατάστασης.

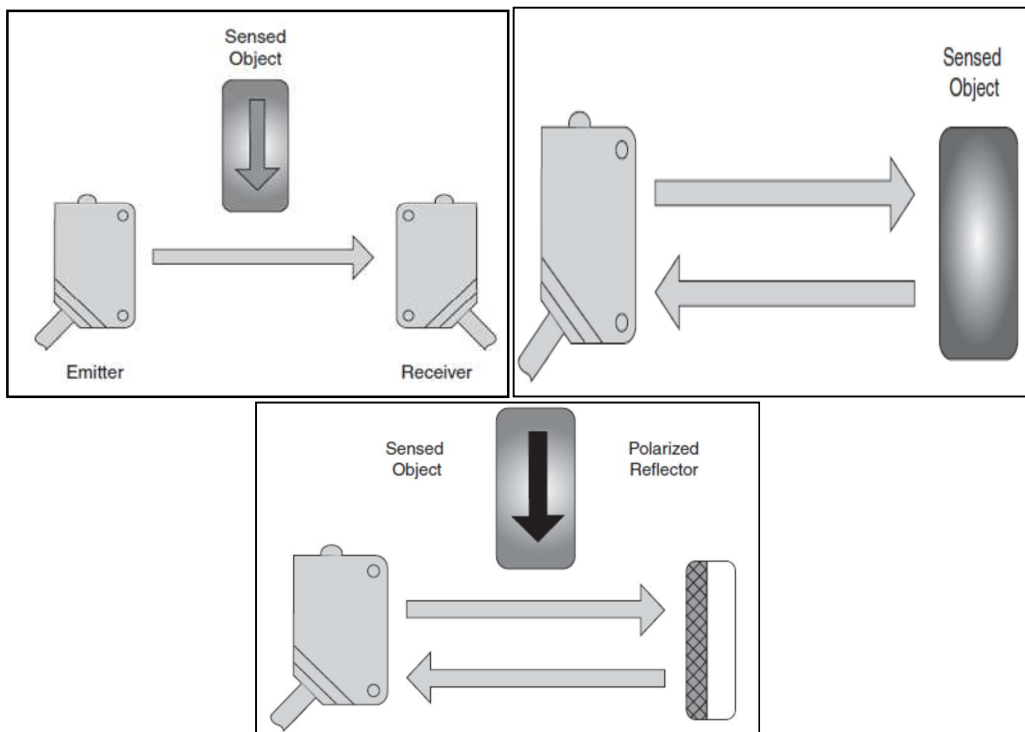


Σχήμα 3.31 Μπουτόν επαφής.

Φωτοκύτταρα: Οι φωτοηλεκτρικοί αισθητήρες ή αλλιώς φωτοκύτταρα μεταδίδουν και λαμβάνουν ως σήμα το φως. Ο αισθητήρας αλλάζει κατάσταση όταν εντοπίζει ή όχι φως, και υπάρχουν δύο προϋποθέσεις για την έξοδό του — είτε η έξοδος ενεργοποιείται κατά τον εντοπισμό του, είτε κατά την απουσία του. Αυτό είναι συνήθως επιλέξιμη παράμετρος μέσω διακόπτη ή επιλογή θύρας καλωδίου επί του αισθητήρα.

Τα φωτοκύτταρα διατίθενται και σε AC και σε DC τροφοδοσία. Τα DC είναι πολύ πιο συνηθισμένα. Οι έξοδοι τους διαμορφώνονται αναλόγως για PNP (προμήθεια) ή NPN (βύθιση). Υπάρχουν επίσης συνήθως ενδεικτικές λυχνίες στο σώμα του φωτοκύτταρου για ένδειξη ισχύος, εναλλαγή κατάστασης, ή περιθωρίου ποσότητας φωτός που λαμβάνεται. Συνήθως, τα φωτοκύτταρα χρησιμοποιούν LED για τη δημιουργία του φωτεινού σήματος. Ένας φακός τοποθετείται συνήθως μπροστά από τον πομπό και τον δέκτη για να βοηθήσει στην ενίσχυση του φωτεινού σήματος. Το LED μπορεί να έχει διάφορα χρώματα στο εύρος του ορατού φωτός

ή στο υπέρυθρο φάσμα, το οποίο δίνει στο φως μεγαλύτερο εύρος. Χρησιμοποιούνται επίσης συχνά και λέιζερ για ακριβή ανίχνευση ή εφαρμογές μεγαλύτερης εμβέλειας. Τα ορατά LED είναι συνήθως κόκκινα, αλλά πράσινα ή μπλε χρησιμοποιούνται επίσης σε εφαρμογές διάχυσης ή ανίχνευσης χρώματος. Για να ελαχιστοποιηθούν οι παρεμβολές από το φως που αναπηδά από άλλες ανακλαστικές επιφάνειες, χρησιμοποιείται συχνά ένα πολωμένο σήμα. Ένας ανακλαστήρας γωνιακού τύπου μετατοπίζει το φως 90 ° πριν από τη λήψη και μόνο το φως διαφορετικής φάσης με του μεταδιδόμενου γίνεται αποδεκτό ως σήμα. Αυτό επιτρέπει το κέρδος του κυκλώματος εισόδου να ρυθμιστεί σε υψηλότερο επίπεδο καθώς ο αισθητήρας θα αγνοήσει σήματα από πολύ ανακλαστικά αντικείμενα που δεν είναι εκτός φάσης.



Σχήμα 3.32 Χρήση διαφόρων ειδών φωτοκύτταρων.

Διακόπτες εγγύτητας: Οι διακόπτες εγγύτητας χρησιμοποιούνται για την ανίχνευση της θέσης ενός αντικειμένου. Ενώ τα φωτοκύτταρα καμιά φορά αναφέρονται επίσης ως διακόπτες εγγύτητας, εδώ μιλάμε για επαγωγικούς, χωρητικούς, διακόπτες ορίου και διακόπτες φαινομένου Hall. Παρακάτω θα αναφερθούμε εν συντομία στα δύο πρώτα είδη.

Οι επαγωγικοί διακόπτες εγγύτητας χρησιμοποιούνται για την ανίχνευση μεταλλικών αντικειμένων. Ένα πηνίο λεπτού σύρματος ενεργοποιείται με ασθενές ρεύμα. Όταν ένα αρκετά μεγάλο κομμάτι μετάλλου εισέρχεται στο πεδίο που δημιουργείται από το ρεύμα που διέρχεται από το πηνίο, δημιουργείται ένα διακριτό σήμα, σηματοδοτώντας την παρουσία ενός αντικειμένου. Ο τύπος του μετάλλου που ανιχνεύεται επηρεάζει έντονα το εύρος ενός επαγωγικού διακόπτη εγγύτητας. Μέταλλα, όπως ο χάλυβας που περιέχει σίδηρο, αποτελούν τον καλύτερο στόχο, ενώ το αλουμίνιο μειώνει το αισθητήριο εύρος κατά περίπου 60 τοις εκατό.

Οι χωρητικοί διακόπτες εγγύτητας χρησιμοποιούν μια χωρητική επιφάνεια ανίχνευσης που εκκενώνεται όταν ένα αντικείμενο τοποθετείται κοντά του. Ως εκ τούτου, μπορούν να χρησιμοποιούνται για την ανίχνευση μη μεταλλικών στερεών ή υγρών αντικειμένων. Μια

κοινή χρήση τους είναι η ανίχνευση υγρού μέσω των πλευρών ενός πλαστικού δοχείου ή δοχείου από υαλοβάμβακα. Εφόσον τα τοιχώματα των δοχείων είναι αρκετά λεπτά, ο διακόπτης μπορεί να ρυθμιστεί για να ανιχνεύει τη διαφορά μάζας μεταξύ ενός κενού και πλήρους δοχείου. Οι χωρητικοί διακόπτες εγγύτητας χρησιμοποιούνται επίσης ως μπουτόν για εργονομικούς σκοπούς καθώς δεν χρειάζονται πίεση για την ενεργοποίησή τους, σε αντίθεση με τα μηχανικά. Όπως και οι επαγωγικοί διακόπτες εγγύτητας, οι χωρητικοί έχουν πολύ μικρό εύρος ανίχνευσης. Επίσης, συνήθως είναι μεγαλύτεροι σε όγκο από τους τελευταίους.

Υπάρχει πολύ μεγαλύτερος αριθμός ψηφιακών αισθητήρων από τους προαναφερθέντες, αλλά σημασία έχει να μεταδόθηκε σωστά το νόημα της λειτουργίας τους.

3.1.2 Αναλογικοί αισθητήρες

Οι αναλογικοί αισθητήρες παράγουν μια έξοδο ανάλογη με μια μετρημένη ποσότητα. Μπορεί να υπάρχουν αντισταθμίσεις (offsets) και γραμμικά σφάλματα που σχετίζονται με τους αναλογικούς αισθητήρες και πρέπει να ληφθούν υπόψη κατά τη χρήση των προκυπτουσών μετρήσεων. Η βαθμονόμηση σε ένα γνωστό πρότυπο είναι συχνά απαραίτητη. Οι αναλογικοί αισθητήρες είναι γνωστοί και ως μορφοτροπείς. Οι μηχανές ειδικής χρήσης κατασκευάζονται συχνά γύρω από έναν συγκεκριμένο τύπο μετρητή ή ομάδα συσκευών μέτρησης που χρησιμοποιείται ως σταθμός δοκιμών.



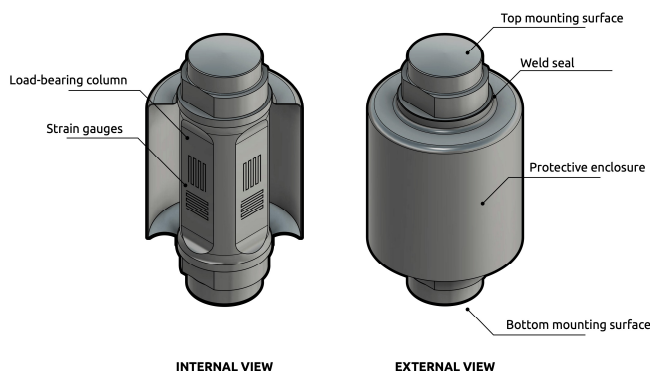
Σχήμα 3.33 Επαγωγικός αισθητήρας εγγύτητας.

Ανίχνευση πίεσης, δύναμης, ροής και ροπής: Η δύναμη μπορεί να μετρηθεί χρησιμοποιώντας πολλές συσκευές. Ένα σύνθηρες στοιχείο για τη μέτρηση της ποσότητας δύναμης που ασκείται σε ένα αντικείμενο είναι το μανόμετρο. Επειδή όμως τα καλώδια ενός μανόμετρου είναι εύθραυστα και δύσκολα στον χειρισμό, συνήθως συνδέονται με κάποιο είδος κόλλας σε ένα μονωτικό εύκαμπτο υπόστρωμα, όπως το πλαστικό. Καθώς εφαρμόζεται η πίεση στο τοποθετημένο μανόμετρο, το υπόστρωμα παραμορφώνεται, προκαλώντας αλλαγή στην ηλεκτρική του αντίσταση. Η αλλαγή αυτή – συνήθως μετρήσιμη με τη χρήση μίας γέφυρας Wheatstone - σχετίζεται με την τάση μέσω του "συντελεστή μέτρησης" ή την αναλογία ηλεκτρικής αντίστασης προς την μηχανική καταπόνηση, λαμβάνοντας ως παράγοντα και την θερμοκρασία, η οποία παίζει επίσης μικρό ρόλο. Ένας μετρητής τάσης μπορεί να διαμορφωθεί σε μια ποικιλία φυσικών συσκευών για τη μέτρηση δύναμης ή βάρους ή για τον προσδιορισμό δόνησης ή επιτάχυνσης.

Ένας δυναμομετρικός αισθητήρας βάρους (load cell) είναι ένας μορφοτροπέας που μετατρέπει μια μηχανική δύναμη εισόδου σε ένα μετρήσιμο ηλεκτρικό σήμα εξόδου. Όταν εφαρμόζεται επί αυτού το βάρος ή το φορτίο, το μανόμετρο παραμορφώνεται, αλλάζοντας την

ηλεκτρική αντίσταση των μετρητών ανάλογα με το φορτίο. Ο μετρητής τάσης μετρά την παραμόρφωση, ή την καταπόνηση, ως ηλεκτρικό σήμα καθώς περνά το ρεύμα μέσω του μετρητή. Λόγω της μικρής ποσότητας παραγόμενου ηλεκτρικού σήματος, στο εύρος μερικών mV, απαιτείται ενίσχυση του σήματος μέσω ενός ενισχυτή. Η ενισχυμένη έξοδος τότε τροφοδοτείται σε έναν αλγόριθμο για τον υπολογισμό και την κλίμακα της δύναμης που εφαρμόζεται στον μορφοτροπέα.

Η πίεση μπορεί να μετρηθεί με τη χρήση ενός πιεζοηλεκτρικού μανόμετρου όπως περιγράφηκε προηγουμένως. Ο μετρητής συνδέεται με ένα στοιχείο συλλογής δύναμης, όπως ένα διάφραγμα, έμβολο ή φυσητήρα, και η παραμόρφωση μετράται ανάλογα με την αλλαγή της πίεσης. Απόλυτη, διαφορική, κενού, όλες οι πιέσεις μπορούν να μετρηθούν χρησιμοποιώντας αυτή τη μέθοδο. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί επίσης ένα διάφραγμα με κοιλότητα πίεσης για να δημιουργηθεί ένας διαφορικός πυκνωτής που είναι αποτελεσματικός στην ανίχνευση χαμηλών αλλαγών πίεσης. Η μετατόπιση του διαφράγματος μπορεί επίσης να μετρηθεί επαγωγικά μετρώντας την εκτροπή ενός μαγνήτη, χρησιμοποιώντας έναν γραμμικό μεταβλητό διαφορικό μετατροπέα (LVDT) ή ανιχνεύοντας το επαγόμενο ρεύμα.



Σχήμα 3.34 Αισθητήρας βάρους.

Όλες αυτές οι μέθοδοι είναι γνωστές και ως ανίχνευση ηλεκτρομαγνητικής πίεσης. Οπτικές μέθοδοι μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν ανιχνεύοντας αλλαγές στη μετάδοση φωτός μέσω μιας οπτικής ίνας καθώς αυτή παραμορφώνεται.

Η ροή υγρών ή αερίων μπορεί να μετρηθεί με διάφορους τρόπους. Το περιστροφικό ποτενσιόμετρο (ωμικό στοιχείο) χρησιμοποιείται συχνά όταν συνδέεται σε ένα πτερύγιο που στρέφεται εντός ενός υγρού ή αερίου. Άλλοι αισθητήρες ροής βασίζονται σε συσκευές που μετρούν τη μεταφορά θερμότητας που προκαλείται από την κίνηση του μέσου. Αυτή η αρχή είναι κοινή κατά την χρήση μικροαισθητήρων μέτρησης ροής. Οι μετρητές ροής σχετίζονται με συσκευές που ονομάζονται velocimeters (μετρητές ταχύτητας) που μετρούν την ταχύτητα των υγρών που ρέουν μέσω αυτών. Η βασισμένη σε λέιζερ ιντερφερομετρία χρησιμοποιείται συχνά για τη μέτρηση της ροής του αέρα, αλλά για υγρά, είναι συχνά ευκολότερο να χρησιμοποιηθεί μια φυσική παραμόρφωση κάποιου είδους για τη μέτρηση της ροής. Μια άλλη προσέγγιση είναι οι μέθοδοι ροής που βασίζονται στην μέτρηση του φαινομένου Doppler. Μπορούν να χρησιμοποιηθούν αισθητήρες φαινομένου Hall σε βαλβίδες ή βάνες, για να αισθανθούν τη θέση του πτερυγίου, καθώς μετατοπίζεται από τη ροή του υγρού.

Τέλος, οι αισθητήρες ροής χρησιμοποιούν μετρητές τάσης που εφαρμόζονται σε περιστρεφόμενους άξονες. Λόγω της σχετικής κίνησης του άξονα είναι απαραίτητο ένα μη

εφαπτόμενο μέσο για την τροφοδοσία της γέφυρας του μετρητή πίεσης, καθώς και ένα μέσο για τη λήψη του σήματος από την περιστροφή του άξονα. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί χρησιμοποιώντας δακτυλίους ολίσθησης, ασύρματη τηλεμετρία, ή περιστροφικούς μετασχηματιστές. Οι νεότεροι τύποι μορφοτροπέων ροπής προσθέτουν περισσότερα ηλεκτρονικά και αναλογικούς-ψηφιακούς μετατροπείς στον ρότορα. Στη συνέχεια, τα ηλεκτρονικά του στάτη διαβάζουν τα ψηφιακά σήματα και τα μετατρέπουν σε αναλογικά σήματα εξόδου υψηλού επιπέδου, όπως $\pm 10\text{VDC}$.

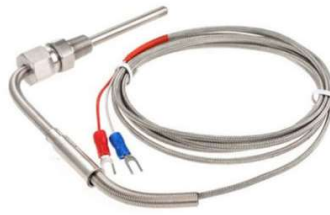
Υπερηχητικοί αισθητήρες: Οι αισθητήρες υπερήχων μεταδίδουν παλμούς ήχου σε υψηλή συχνότητα και αξιολογούν την ηχώ που λαμβάνουν πίσω, υπολογίζουν το χρονικό διάστημα μεταξύ της αποστολής του σήματος και της λήψης της ηχώ και καθορίζουν την απόσταση από ένα αντικείμενο. Οι αισθητήρες υπερήχων χρησιμοποιούνται συχνά για τη μέτρηση απόστασης αλλά είναι κοινά και σε εφαρμογές στάθμης δεξαμενών. Η τεχνολογία αυτή περιορίζεται συχνά από τα σχήματα των επιφανειών και την πυκνότητα ή τη συνοχή του υλικού. Για παράδειγμα, μπορεί να δημιουργηθεί αφρός στην επιφάνεια ενός ρευστού σε μια δεξαμενή, παραμορφώνοντας την ανάγνωση. Λόγω της επίδρασης του ενδιάμεσου αέρα στην ταχύτητα του ήχου, οι αισθητήρες υπερήχων δεν είναι ιδιαίτερα επαναλαμβανόμενοι ή ακριβείς. Ωστόσο, μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε αρκετά μεγάλες αποστάσεις και τείνουν να έχουν ένα αποτέλεσμα εξομάλυνσης ή μέσου όρου κατά τη μέτρηση ακανόνιστων ή κινούμενων επιφανειών.

Θερμοστοιχεία και ανίχνευση θερμοκρασίας: Υπάρχει μια ποικιλία συσκευών που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη μέτρηση της θερμοκρασίας. Ένα από τα πιο συχνά χρησιμοποιούμενα είναι το θερμοστοιχείο. Ένα θερμοστοιχείο είναι μια σύνδεση μεταξύ δύο διαφορετικών μετάλλων που παράγει τάση σχετιζόμενη με τη διαφορά θερμοκρασίας. Είναι φθηνά και εναλλάξιμα, έχουν τυποποιημένες επαφές και μπορούν να μετρήσουν ένα μεγάλο εύρος θερμοκρασιών. Ο κύριος περιορισμός κατά τη χρήση θερμοστοιχείων είναι η ακρίβεια τους. Σφάλματα μικρότερα του ενός βαθμού Κελσίου είναι δύσκολο να εντοπιστούν. Τα θερμοζεύγη χρησιμοποιούνται ευρέως στις επιστήμες και τη βιομηχανία. Οι εφαρμογές περιλαμβάνουν μέτρηση θερμοκρασίας για κλιβάνους και χύτευση με έγχυση πλαστικών, μέτρηση της θερμοκρασίας καυσαερίων αεριοστρόβιλων ή πετρελαιοκινητήρων, φούρνους και πολλές άλλες βιομηχανικές διαδικασίες.

Υπάρχουν και άλλοι αναλογικοί αισθητήρες που μπορούν για παράδειγμα να εντοπίσουν διαφορετικά χρώματα, να μετρήσουν απόσταση ή να διαβάσουν με μεγάλη ακρίβεια γραμμικές μετατοπίσεις, αλλά δεν είναι επί της παρούσης να εμβαθύνουμε περαιτέρω.



Σχήμα 3.35 Υπερηχητικός αισθητήρας.



Σχήμα 3.36 Αισθητήρας θερμοκρασίας

3.1.3 Αισθητήρες ειδικού τύπου

Υπάρχουν διάφορες συσκευές ανίχνευσης που δεν πληρούν τα κριτήρια του να είναι είτε ψηφιακές είτε αναλογικές, καθώς χρησιμοποιούν στοιχεία και των δύο ειδών. Θα αναφερθούμε συνοπτικά σε δύο παραδείγματα, τους κωδικοποιητές και τα οπτικά συστήματα.

Κωδικοποιητές και επιλυτές: Κωδικοποιητής είναι ένας τύπος μορφοτροπέα που ανιχνεύει τη θέση ή τον προσανατολισμό, συνήθως για χρήση ως αναφορά ή συνεχούς επίβλεψης για τον έλεγχο της θέσης. Οι κωδικοποιητές μπορεί να είναι περιστροφικοί ή γραμμικοί, οπτικοί ή μαγνητικοί, αναλογικοί ή ψηφιακοί, ανάλογα με τον τύπο της εφαρμογής.

Οι επιλυτές χρησιμοποιούνται για την ανίχνευση γωνιακής θέσης και ταχύτητας. Ο επιλυτής μπορεί να περιγραφεί και ως περιστρεφόμενος ηλεκτρικός μετασχηματιστής που παρέχει μια ημιτονοειδή έξοδο, η οποία στη συνέχεια μετατρέπεται σε ψηφιακή τιμή που αντιπροσωπεύει τη θέση. Συχνά είναι παρόμοιοι με ένα ηλεκτρικό κινητήρα στο ότι έχει ένα ρότορα και στάτορα.

Και οι κωδικοποιητές και οι επιλυτές χρησιμοποιούνται κατά κόρον σε εφαρμογές ελέγχου κίνησης (motion control) όπου η λεπτομερής μέτρηση και έλεγχος της θέσης και της ταχύτητας του ρότορα ενός κινητήρα είναι καίριας σημασίας για το σύστημα.

Οπτικά συστήματα: Γνωστά και ως μηχανική όραση, τα συστήματα όρασης ή οπτικά συστήματα, εφαρμόζουν υπολογιστική επεξεργασία όρασης για διεργασίες επιθεώρησης, μέτρησης, και καθοδήγησης. Ενώ ο στόχος ενός υπολογιστή επικεντρώνεται κυρίως στην επεξεργασία εικόνας, η μηχανική όραση μπορεί επίσης να απαιτεί ψηφιακές συσκευές I/O για τον έλεγχο άλλου κατασκευαστικού εξοπλισμού. Η μηχανική όραση χρησιμοποιείται για την επιθεώρηση προϊόντων όπως ανταλλακτικά αυτοκινήτων, τρόφιμα και φαρμακευτικά προϊόντα. Συχνά χρησιμοποιείται και ως μέθοδος καθοδήγησης ρομπότ. [3],[5]

Όπως οι επιθεωρητές που εργάζονται γραμμές συναρμολόγησης επιθεωρούν εξαρτήματα βασισμένοι στην όρασή τους για να κρίνουν την ποιότητα κατασκευής, έτσι και τα οπτικά συστήματα χρησιμοποιούν έξυπνες κάμερες ή ψηφιακές φωτογραφικές μηχανές με λογισμικό επεξεργασίας εικόνας για την πραγματοποίηση παρόμοιων επιθεωρήσεων. Τα χαρακτηριστικά των τμημάτων μπορούν να εκχωρηθούν ως παράμετροι για να κρίνουν την απουσία/παρουσία, ανοχή μέτρησης, χρώμα, επιφανειακά ελαττώματα και ορισμένες άλλες οπτικά καθορισμένες πτυχές. Τα συστήματα μηχανικής όρασης είναι επίσης προγραμματισμένα ώστε να εκτελούν και πιο απλές εργασίες, όπως η μέτρηση αντικειμένων σε έναν μεταφορέα, η ανάγνωση σειριακών αριθμών και άλλα. Οι κατασκευαστές προτιμούν

συστήματα μηχανικής όρασης για περιπτώσεις που απαιτούν υψηλή ταχύτητα, υψηλή μεγέθυνση, εικοσιτετράωρη λειτουργία, και/ή επαναληψιμότητα των μετρήσεων.



Σχήμα 3.37 Οπτικό σύστημα.



Σχήμα 3.38 Κωδικοποιητής.

3.2 Οδήγηση κινητήρων

Σχεδόν πάντα, σε οποιαδήποτε εφαρμογή που περιλαμβάνει κάποιο είδος αυτόματης κίνησης, υπάρχει κάποιο είδος κινητήρα που παρέχει την απαιτούμενη μηχανική ενέργεια της διεργασίας. Είτε είναι μία συνεχής μονόδρομη κίνηση όπως η τροφοδοσία μίας γεννήτριας, είτε η αμφίδρομη κίνηση μίας ζώνης μεταφοράς, είτε η κίνηση ενός ρομπότ σε τρισδιάστατο χώρο, οι κινητήρες είναι αναπόφευκτοι και πολύτιμοι. Χρηζουν λοιπόν ειδικής μεταχείρισης για την ελαχιστοποίηση της καταπόνησής τους και τη βέλτιστη συντήρησή τους, καθώς και ειδικού χειρισμού για την περάτωση πιο εξειδικευμένων κινήσεων και διεργασιών. Σε γενικές γραμμές λοιπόν, για κάθε περίπτωση απαιτούνται διαφορετικές προσεγγίσεις οδήγησης και ελέγχου τους, οι οποίες αναφέρονται συνοπτικά παρακάτω.

3.2.1 Ομαλοί εκκινητές

Οι ομαλοί εκκινητές (soft starters) είναι συσκευές που χρησιμοποιούνται σε ηλεκτρικούς κινητήρες εναλλασσόμενου ρεύματος για να μειώσουν προσωρινά το φορτίο και τη ροπή του κινητήρα και το ρεύμα του κινητήρα κατά την εκκίνηση. Αυτό μειώνει τη μηχανική καταπόνηση στον κινητήρα και τον άξονα, καθώς και τις ηλεκτροδυναμικές τάσεις στα συνδεδεμένα

καλώδια τροφοδοσίας και στο δίκτυο διανομής ηλεκτρικού ρεύματος, επεκτείνοντας τη διάρκεια ζωής του συστήματος.

Μπορεί να αποτελείται από μηχανικές ή ηλεκτρικές συσκευές ή από συνδυασμό και των δύο. Οι ηλεκτρικοί ομαλοί εκκινητές είναι ουσιαστικά οποιοδήποτε σύστημα ελέγχου που μειώνει τη ροπή μειώνοντας προσωρινά την τάση ή την είσοδο ρεύματος, αν και πλέον είναι συνήθως μια συσκευή που αλλάζει προσωρινά τον τρόπο σύνδεσης του κινητήρα στο ηλεκτρικό κύκλωμα.

Η εκκίνηση των επαγωγικών κινητήρων συνοδεύεται από ρεύματα εισόδου έως 7-10 φορές υψηλότερα από το ονομαστικό ρεύμα τους (το ρεύμα εισόδου μπορεί να φτάσει επίπεδα 10-15 φορές το ονομαστικό για κινητήρες υψηλότερης απόδοσης) και ροπή εκκίνησης έως και 3 φορές υψηλότερη από την ονομαστική. Η αυξημένη ροπή έχει ως αποτέλεσμα ξαφνική μηχανική πίεση στο μηχάνημα που οδηγεί σε μειωμένη διάρκεια ζωής. Επιπλέον, το υψηλό ρεύμα εισόδου καταπονεί την τροφοδοσία, πράγμα το οποίο μπορεί να οδηγήσει σε πτώσεις τάσης. Ως αποτέλεσμα, η διάρκεια ζωής του εξοπλισμού μπορεί να μειωθεί. Μια άλλη συνηθισμένη ανεπιθύμητη ενέργεια, ειδικά σε οικιακές εγκαταστάσεις, είναι εκείνη του φωτός που τρεμοπαίζει ως αποτέλεσμα της πτώσης τάσης που δημιουργείται από το υψηλό ρεύμα εισόδου.

Ένας ομαλός εκκινητής ελέγχει συνεχώς την τροφοδοσία τάσης του τριφασικού κινητήρα κατά τη φάση εκκίνησης. Με αυτόν τον τρόπο, ο κινητήρας προσαρμόζεται στη συμπεριφορά φορτίου του μηχανήματος. Ο μηχανικός εξοπλισμός επιταχύνεται ομαλά. Αυτό επιμηκύνει τη διάρκεια ζωής, βελτιώνει τη συμπεριφορά λειτουργίας και εξομαλύνει τις ροές εργασίας. Οι ηλεκτρικοί ομαλοί εκκινητές μπορούν να χρησιμοποιούν συσκευές μόνιμης κατάστασης για τον έλεγχο της ροής ρεύματος και επομένως της τάσης που εφαρμόζεται στον κινητήρα. Μπορούν να συνδεθούν εν σειρά με την γραμμή τάσης που εφαρμόζεται στον κινητήρα ή μπορούν να συνδεθούν εντός του βρόχου δέλτα (Δ) ενός κινητήρα συνδεδεμένου σε Δ , ελέγχοντας την τάση που εφαρμόζεται σε κάθε περιέλιξη. Οι ομαλοί εκκινητές μόνιμης κατάστασης μπορούν να ελέγξουν μία ή περισσότερες φάσεις της τάσης που εφαρμόζεται στον επαγωγικό κινητήρα με τα καλύτερα αποτελέσματα που επιτυγχάνονται με τον τριφασικό έλεγχο. Όταν ελέγχονται μέσω δύο φάσεων έχουν το μειονέκτημα ότι η μη ελεγχόμενη φάση θα δείχνει πάντα κάποια τρέχουσα ανισορροπία σε σχέση με τις ελεγχόμενες φάσεις.

Ένας άλλος τρόπος περιορισμού του ρεύματος εκκίνησης του κινητήρα είναι ένας αντιδραστήρας σειράς. Εάν χρησιμοποιείται πυρήνας αέρα για τον αντιδραστήρα σειράς, μπορεί να σχεδιαστεί ένας πολύ αποτελεσματικός και αξιόπιστος ομαλός εκκινητής, ο οποίος είναι κατάλληλος για όλους τους τύπους κινητήρα επαγωγής 3 φάσεων (σύγχρονο/ασύγχρονο) που κυμαίνεται από 25 kW, 415 V έως 30 MW, 11 kV. Η χρήση ομαλού εκκινητή αντιδραστήρα σειράς - πυρήνα αέρα είναι πολύ συνηθισμένη πρακτική για εφαρμογές όπως αντλίες, συμπιεστές, ανεμιστήρες κ.λπ. Συνήθως οι εφαρμογές υψηλής ροπής εκκίνησης δεν χρησιμοποιούν αυτήν τη μέθοδο.

Οι soft starters μπορούν να ρυθμιστούν σύμφωνα με τις απαιτήσεις της κάθε μεμονωμένης εφαρμογής. Σε σύγκριση με τις μονάδες μεταβλητής συχνότητας (VFDs – Variable Frequency Drives), οι ομαλοί εκκινητές απαιτούν πολύ λίγες ρυθμίσεις χρήστη. Ορισμένοι ομαλοί εκκινητές περιλαμβάνουν επίσης μια διαδικασία «εκμάθησης» για την αυτόματη προσαρμογή των ρυθμίσεων της μονάδας στα χαρακτηριστικά ενός φορτίου κινητήρα, για τη μείωση της απαίτησης εισόδου ισχύος στην αρχή. Στις εφαρμογές αντλίας, ένας ομαλός εκκινητής μπορεί να αποφύγει την αύξηση της πίεσης του νερού. Τα συστήματα ιμάντα μεταφοράς μπορούν να ξεκινήσουν ομαλά, αποφεύγοντας την καταπόνηση στα εξαρτήματα του κινητήρα. Οι ανεμιστήρες ή άλλα συστήματα με κινήσεις ιμάντα μπορούν να ξεκινήσουν αργά για να

αποφευχθεί η ολίσθηση του ιμάντα καθώς και η αύξηση της πίεσης του αέρα. Σε όλα τα συστήματα, μια ομαλή εκκίνηση περιορίζει το ρεύμα εισόδου και βελτιώνει έτσι τη σταθερότητα του τροφοδοτικού, μειώνοντας τις παροδικές πτώσεις τάσης που μπορεί να επηρεάσουν άλλα φορτία. [3],[4]



Σχήμα 3.39 Ομαλός εκκινητής.

3.2.2 Μονάδες Μεταβλητής Συχνότητας

Μια μονάδα μεταβλητής συχνότητας (VFD) είναι ένας τύπος οδήγησης κινητήρα που χρησιμοποιείται σε ηλεκτρομηχανικά συστήματα κίνησης για τον έλεγχο της ταχύτητας και της ροπής ενός κινητήρα εναλλασσόμενου ρεύματος, μεταβάλλοντας τη συχνότητα και την τάση εισόδου του.

Τα VFD χρησιμοποιούνται σε εφαρμογές που κυμαίνονται από μικρές συσκευές έως μεγάλους συμπιεστές. Περίπου το 25% της παγκόσμιας ηλεκτρικής ενέργειας καταναλώνεται από ηλεκτρικούς κινητήρες σε βιομηχανικές εφαρμογές. Τα συστήματα που χρησιμοποιούν VFD μπορούν να είναι πιο αποτελεσματικά από αυτά που χρησιμοποιούν ομαλούς εκκινητές, όπως σε συστήματα με αντλίες ή έλεγχο απόσβεσης για ανεμιστήρες. Ωστόσο, η παγκόσμια διεύθυνση στην αγορά για όλες τις εφαρμογές VFD είναι σχετικά μικρή. Τις τελευταίες δεκαετίες, η τεχνολογία ηλεκτρονικών ισχύος έχει μειώσει το κόστος και το μέγεθος VFD και έχει βελτιώσει την απόδοση τους μέσω των εξελίξεων σε συσκευές ημιαγωγών, τοπολογίες κίνησης, τεχνικές προσομοίωσης, καθώς και υλικό και λογισμικό ελέγχου.

Όπως προαναφέρθηκε, τα VFD ελέγχουν την ταχύτητα και τη ροπή του κινητήρα για να ικανοποιηθούν οι απαιτήσεις της εφαρμογής, μεταβάλλοντας τη συχνότητα και την παροχή τάσης. Η συχνότητα συνδέεται άμεσα με τις ΣΑΛ (Στροφές ανά λεπτό) του κινητήρα. Όσο υψηλότερη είναι η συχνότητα, τόσο μεγαλύτερος είναι ο αριθμός των ΣΑΛ.

Τα VFD έχουν τα παρακάτω χαρακτηριστικά:

- Μείωση της κατανάλωσης ενέργειας και του ενεργειακού κόστους: Σε περίπτωση που μια εφαρμογή δεν χρειάζεται να εκτελεστεί με πλήρη ταχύτητα, μπορεί να μειωθεί το ενεργειακό κόστος ελέγχοντας τον κινητήρα με VFD, το οποίο επιτρέπει την αντιστοίχιση της ταχύτητας του μηχανοκίνητου εξοπλισμού με τις απαιτήσεις φορτίου. Τα συστήματα ηλεκτρικών κινητήρων καταναλώνουν περισσότερο από το 65% της κατανάλωσης ισχύος στη

βιομηχανία σήμερα. Η βελτιστοποίηση των συστημάτων ελέγχου κινητήρα με VFDs μπορεί να μειώσει την κατανάλωση ενέργειας σε μια εγκατάσταση έως και 70%. Επιπλέον, η χρήση VFDs μπορεί να βελτιώσει την ποιότητα του προϊόντος και να μειώσει το κόστος παραγωγής. Αυτό ευνοεί την απόδοση της επένδυσης για εγκαταστάσεις VFD.

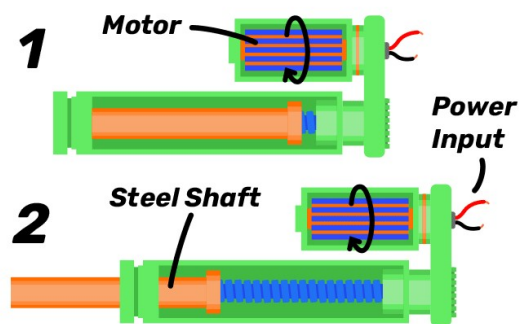


Σχήμα 3.40 Μονάδα μεταβλητής συχνότητας (VFD). Και μόνο από το χειροκίνητο πάνελ του, είναι εμφανείς οι περισσότερες δυνατότητες έναντι ενός soft starter.

- Ομαλός και αποτελεσματικός έλεγχος κινητήρα: Η λειτουργία των κινητήρων με την πιο αποτελεσματική ταχύτητα για την εκάστοτε εφαρμογή μπορεί να μειώσει τα σφάλματα, αυξάνοντας έτσι τα επίπεδα παραγωγής και αυξάνοντας τα έσοδα. Για παράδειγμα, τα πιο ομαλά VFDs επιτρέπουν στους μάντες μεταφοράς να εξαλείφουν την καταπόνηση κατά την εκκίνηση, επιτρέποντας υψηλότερη απόδοση.
- Επέκταση της διάρκειας ζωής του εξοπλισμού και μείωση της συντήρησης: Η διασφάλιση του βέλτιστου ελέγχου του κινητήρα βοηθά τον εξοπλισμό να διαρκεί περισσότερο και μειώνει το χρόνο διακοπής λόγω συντήρησης. Δεδομένου ότι το VFD βελτιστοποιεί τον έλεγχο της συχνότητας και της τάσης του κινητήρα, προσφέρει καλύτερη προστασία για τους κινητήρα από ζητήματα όπως ηλεκτροθερμική υπερφόρτωση, προστασία φάσης, υπόταση, υπέρταση κ.λπ.. Η ομαλή εκκίνηση εξαλείφει μεγάλο βαθμό φθοράς σε μάντες, γρανάζια και ρουλεμάν.
- Υψηλή τιμή: Παρά το γεγονός ότι από τα παραπάνω τα VFD φαίνονται να προσφέρουν περισσότερες δυνατότητες, η τιμή τους για απλούστερες εφαρμογές όπου δεν χρειάζεται έλεγχος κατεύθυνσης και ταχύτητας ή ροπής του κινητήρα, τα καθιστά κακή επένδυση. Όποτε λοιπόν ένας ομαλός εκκινητής επαρκεί για την εφαρμογή, θα προτιμηθεί.

Για τις εφαρμογές ελέγχου κίνησης (motion control) χρησιμοποιούνται συνήθως VFDs για την οδήγηση του κινητήρα, σε συνδυασμό με κάποιο είδος ενεργοποιητή για την ελεγχόμενη και ακριβή μετατροπή της παρεχόμενης μηχανικής ενέργειας στη θεμιτή κίνηση. [3],[4]

3.2.3 Ενεργοποιητές



Σχήμα 3.39 Γενική λειτουργία ενός ενεργοποιητή.

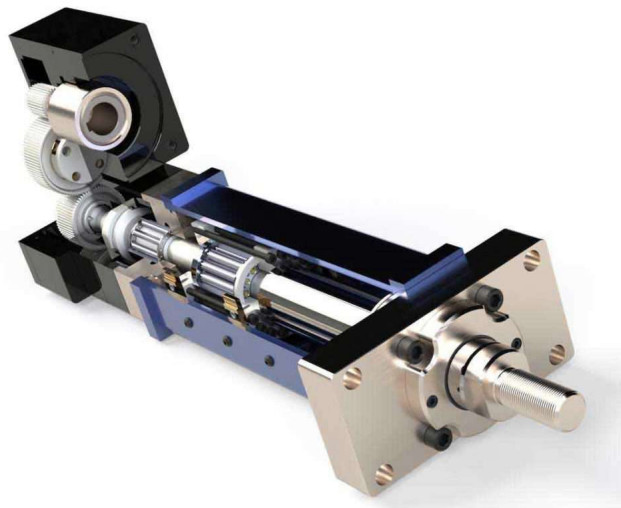
Οι ενεργοποιητές (actuators) είναι μηχανικές ή ηλεκτρομηχανικές συσκευές που παρέχουν ελεγχόμενες, συγκεκριμένες κινήσεις ή θέσεις που λειτουργούν ηλεκτρικά, χειροκίνητα ή μέσω διαφόρων υδραυλικών υγρών ή αέρα. Ο βασικός τρόπος ελέγχου τους είναι οι στροφές ενός σερβοκινητήρα, όπου μέσω κωδικοποιητών και επιλυτών, ελέγχονται και αναλύονται με μεγάλη ακρίβεια ο αριθμός και η κατεύθυνση των στροφών του ρότορα, καθώς και η ακριβής θέση περιστροφής του άξονα. Δύο βασικές κινήσεις είναι οι γραμμικές και οι περιστροφικές. Οι γραμμικοί ενεργοποιητές μετατρέπουν την ενέργεια που προσφέρει ένας κινητήρας ή παρόμοια συσκευή σε κινήσεις ευθείας γραμμής, συνήθως για εφαρμογές ακριβούς τοποθέτησης ή ρομποτικής και έχουν λειτουργία ώθησης και έλξης. Ορισμένοι γραμμικοί ενεργοποιητές δεν τροφοδοτούνται από ρεύμα και λειτουργούν χειροκίνητα με τη χρήση περιστρεφόμενου μοχλού ή χειροτροχού. Οι περιστροφικοί ενεργοποιητές μετατρέπουν την ενέργεια σε περιστροφική κίνηση. Μία τυπική χρήση είναι ο έλεγχος διαφόρων βαλβίδων όπως σφαιρικές ή οι τύπου πεταλούδας. Κάθε τύπος ενεργοποιητή έχει εκδόσεις για διάφορες διαμορφώσεις ισχύος και διατίθεται σε πολλά στυλ και μεγέθη ανάλογα με την εφαρμογή. Οι γραμμικοί ενεργοποιητές αλυσίδας παρέχουν κινήσεις ώθησης και έλξης με άκαμπτες αλυσίδες.

Παρατίθενται διάφοροι τύποι ενεργοποιητών:

Ηλεκτρικοί γραμμικοί ενεργοποιητές: Οι Ηλεκτρικοί γραμμικοί ενεργοποιητές είναι ηλεκτροκίνητοι, μηχανικοί γραμμικοί ενεργοποιητές που αποτελούνται από κινητήρες, γραμμικούς οδηγούς και μηχανισμούς κίνησης, οι οποίοι χρησιμοποιούνται για τη μετατροπή της ηλεκτρικής ενέργειας σε γραμμική μετατόπιση μέσω μηχανικής μετάδοσης, ηλεκτρομαγνητισμού, ή θερμικής επέκτασης για παροχή κίνησης ώθησης/έλξης ευθείας γραμμής. Οι βασικές προδιαγραφές περιλαμβάνουν την προβλεπόμενη εφαρμογή, τον τύπο κίνησης, τον τύπο κινητήρα, τη διαμόρφωση συναρμολόγησης, καθώς και άλλες φυσικές διαστάσεις και ηλεκτρικά χαρακτηριστικά. Οι ηλεκτρικοί γραμμικοί ενεργοποιητές χρησιμοποιούνται κυρίως σε εφαρμογές αυτοματισμού όταν ένα εξάρτημα μηχανήματος, ένα εργαλείο κ.λπ. απαιτεί ελεγχόμενη μετακίνηση σε μια συγκεκριμένη θέση. Χρησιμοποιούνται σε ένα ευρύ φάσμα βιομηχανιών όπου απαιτείται γραμμική τοποθέτηση. Οι ενεργοποιητές κινούνται με διάφορα μέσα, συμπεριλαμβανομένων των βιδών σφαιρών ή μολύβδου, των ζωνών ή των πηνίων φωνής, μεταξύ άλλων.

Ηλεκτρικοί περιστροφικοί ενεργοποιητές: Οι ηλεκτρικοί περιστροφικοί ενεργοποιητές είναι ηλεκτροκίνητες, μηχανικές συσκευές που αποτελούνται από κινητήρες και μηχανισμούς

άξονα εξόδου με περιορισμένη περιστροφική διαδρομή που χρησιμοποιούνται για τη μετατροπή της ηλεκτρικής ενέργειας σε περιστροφική κίνηση. Οι βασικές προδιαγραφές για αυτούς τους περιστροφικούς ενεργοποιητές περιλαμβάνουν την προβλεπόμενη εφαρμογή, τη μέθοδο κίνησης, τον αριθμό θέσεων, τη διαμόρφωση εξόδου, τη διαμόρφωση συναρμολόγησης, καθώς και τις φυσικές διαστάσεις και τα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά. Οι ηλεκτρικοί περιστροφικοί ενεργοποιητές χρησιμοποιούνται κυρίως σε εφαρμογές αυτοματισμού όταν μια πύλη, βαλβίδα κ.λπ. απαιτεί ελεγχόμενη κίνηση σε συγκεκριμένες θέσεις περιστροφής.



Σχήμα 3.40 Γραμμικός ενεργοποιητής – Μετατροπή της μηχανικής ενέργειας ενός ρότορα σε γραμμική μετατόπιση.

Γραμμικοί ενεργοποιητές ρευστής ισχύος: Οι γραμμικοί ενεργοποιητές ρευστής ισχύος είναι μηχανικές συσκευές που αποτελούνται από μηχανισμούς κυλίνδρων και εμβόλων που παράγουν γραμμική μετατόπιση μέσω υδραυλικών υγρού, αερίου ή διαφορικής πίεσης αέρα. Οι βασικές προδιαγραφές περιλαμβάνουν την προβλεπόμενη εφαρμογή, τον τύπο ισχύος ρευστού, τη διαμόρφωση συναρμολόγησης, το μήκος διαδρομής και τις δυνατότητες δύναμης, καθώς και τις φυσικές διαστάσεις όπως απαιτείται. Οι γραμμικοί ενεργοποιητές ρευστής ισχύος χρησιμοποιούνται κυρίως σε εφαρμογές αυτοματισμού όταν ένα αντικείμενο απαιτεί ελεγχόμενη μετακίνηση σε μια συγκεκριμένη θέση.

Περιστροφικοί ενεργοποιητές ρευστής ισχύος: Οι περιστροφικοί ενεργοποιητές ρευστής ισχύος είναι μηχανικές συσκευές που αποτελούνται από μηχανισμούς κυλίνδρων και εμβόλων, γραναζιών και άξονες εξόδου που παρέχουν περιορισμένη περιστροφική διαδρομή, και χρησιμοποιούνται για τη μετατροπή πίεσης υδραυλικού υγρού, αερίου ή διαφορικής πίεσης αέρα σε περιστροφική κίνηση. Οι βασικές προδιαγραφές περιλαμβάνουν την επιδιωκόμενη εφαρμογή, τον τύπο ισχύος ρευστού, τον μηχανισμό κίνησης, την διαμόρφωση συναρμολόγησης, την διαμόρφωση εξόδου, τα όρια περιστροφής και την χωρητικότητα δύναμης, καθώς και τις φυσικές διαστάσεις. Οι περιστροφικοί ενεργοποιητές ρευστής ισχύος χρησιμοποιούνται κυρίως σε εφαρμογές αυτοματισμού όταν ένα αντικείμενο απαιτεί ελεγχόμενη περιστροφική κίνηση σε μια συγκεκριμένη θέση. Χρησιμοποιούνται σε ένα ευρύ φάσμα βιομηχανιών όπου απαιτείται περιστροφική τοποθέτηση. Οι ενεργοποιητές τροφοδοτούνται από διάφορα μέσα συμπεριλαμβανομένων αέρα ή άλλων αερίων και υδραυλικού υγρού.

Γραμμικοί ενεργοποιητές αλυσίδας: Οι γραμμικοί ενεργοποιητές αλυσίδας είναι μηχανικές συσκευές που αποτελούνται από γρανάζια και τμήματα αλυσίδας που χρησιμοποιούνται για την παροχή γραμμικής κίνησης μέσω των ελεύθερων άκρων των ειδικά σχεδιασμένων αλυσίδων. Οι βασικές προδιαγραφές περιλαμβάνουν την προβλεπόμενη εφαρμογή, τη μέθοδο και τον μηχανισμό κίνησης, το μήκος ενεργοποίησης, το μέγεθος της αλυσίδας και τη διαμόρφωση στήριξης. Οι ενεργοποιητές γραμμικής αλυσίδας χρησιμοποιούνται κυρίως σε εφαρμογές ελέγχου κίνησης για παροχή ώθησης ή έλξης σε ευθεία γραμμή. Η αλυσίδα, όταν ευθυγραμμίζεται, κλειδώνει με παρακείμενους συνδέσμους και σχηματίζει ένα άκαμπτο μέλος. Διατίθενται σε πολλά μεγέθη και είδη αλυσίδας, καθώς και επιλογές αποθήκευσης της αλυσίδας ανάλογα με τον διαθέσιμο χώρο σε κάθε εφαρμογής. Οι ενεργοποιητές έχουν συνήθως γρανάζια που παράγουν τις δυνάμεις που απαιτούνται για την ώθηση και την έλξη.

Οι τροφοδοτούμενοι ενεργοποιητές ενσωματώνουν γενικά κινητήρες, κυλίνδρους ή άλλες συσκευές κίνησης για την παραγωγή περιστροφής ή γραμμικής μετατόπισης. Οι ενεργοποιητές διακρίνονται από το είδος κίνησης και πηγή ισχύος τους. Οι γραμμικοί ενεργοποιητές παράγουν ώθηση / έλξη. Οι περιστροφικοί ενεργοποιητές παράγουν περιστροφική κίνηση. Σε πολλές περιπτώσεις, οι γραμμικοί ενεργοποιητές ξεκινούν με έναν περιστροφικό πρωτεύοντα κινητήρα του οποίου η περιστροφή μετατρέπεται σε γραμμική κίνηση μέσω ενός κοχλία ισχύος ή παρόμοιας συσκευής. Το αντίθετο ισχύει επίσης: πολλοί περιστροφικοί ενεργοποιητές μπορούν να ξεκινήσουν με γραμμικές συσκευές όπως υδραυλικοί κύλινδροι που παράγουν κυκλική κίνηση μέσω ποικίλων διατάξεων.

Οι ενεργοποιητές χρησιμοποιούνται εκτενώς για την απομακρυσμένη λειτουργία βαλβίδων. Μια βαλβίδα που είναι εξοπλισμένη με τέτοια λειτουργία ονομάζεται βαλβίδα ελέγχου. Ένας ενεργοποιητής για μια σφαιρική βαλβίδα πρέπει να είναι ικανός να περιστρέφει το στέλεχος της βαλβίδας μέσω των πολλών περιστροφών του μεταξύ ανοιχτού και κλειστού. Συχνά ένας ενεργοποιητής σφαιρικής βαλβίδας θα αποτελείται από έναν ηλεκτρικό κινητήρα που οδηγεί ένα γρανάζι, το οποίο με τη σειρά του περιστρέφει ένα παξιμάδι που εμπλέκει τα σπειρώματα του στελέχους του χειριστή βαλβίδας.

Οι ενεργοποιητές χρησιμοποιούνται επίσης σε πολλές εφαρμογές γραμμικής κίνησης όπου η ισχύς του αέρα δεν είναι διαθέσιμη για την κίνηση κυλίνδρων ή όπου απαιτείται επιπλέον δύναμη. Ένας ασυνήθιστος γραμμικός ενεργοποιητής μπορεί να χρησιμοποιεί αλυσίδα η οποία όταν ευθυγραμμίζεται σχηματίζει μία άκαμπτη ευθεία αλλά η οποία μπορεί να καμπυλώνει γύρω από το γρανάζι οδήγησης για να πάρει την κίνησή της. Άλλοι ενεργοποιητές γραμμικής κίνησης χρησιμοποιούν οδοντωτούς ιμάντες, βίδες μολύβδου ή σετ ραφιών και γραναζιών, για την επίτευξη δράσης ώθησης / έλξης. Οι μικρότεροι γραμμικοί και περιστροφικοί ενεργοποιητές χρησιμοποιούν κινητήρες πηνίου που προσφέρουν άμεση κίνηση.

Οι γραμμικοί ενεργοποιητές χρησιμοποιούνται επίσης σε μηχανισμούς συσκευασίας, ιατρικό εξοπλισμό, μηχανήματα παραγωγής κ.λπ., καθώς και σε μια σειρά εφαρμογών της βιομηχανίας μεταφορών, από αεροσκάφη μέχρι τραίνα. Οι γραμμικοί ενεργοποιητές μερικές φορές συνδυάζουν βηματικούς κινητήρες με σφαιρικές βίδες για την επίτευξη ακριβούς ελεγχόμενης θέσης.

Στους παραπάνω, προστίθενται και τα αντίστοιχα ήδη χειροκίνητων ενεργοποιητών οι οποίοι δεν χρειάζονται τροφοδοσία και είναι χειριζόμενοι από μοχλούς, γρανάζια κτλ.. Σε ορισμένες περιπτώσεις, οι χειροκίνητοι ενεργοποιητές βαλβίδων χρησιμοποιούνται ως συσκευές παράκαμψης για βαλβίδες ελέγχου που συνήθως ενεργοποιούνται με ενεργοποιητές ρευστού ή ηλεκτρικού ρεύματος. Έχουν σχεδιαστεί για να αποσυνδέονται από τους ενεργοποιητές ελέγχου κατά τη διάρκεια της κανονικής αυτόματης λειτουργίας, ώστε να

μην βλάπτουν τους παρευρισκομένους. Οι συγκεκριμένοι δεν αναφέρονται εδώ, καθώς συνήθως δεν είναι άμεσα συνυφασμένοι ή συνδεδεμένοι με ηλεκτροδοτούμενα συστήματα αυτοματισμών, και έχουν επικουρικό ή εφεδρικό ρόλο. [3], [4]

Κεφάλαιο 4

Διεπαφή και Προσβασιμότητα

4.1 Διεπαφές Ανθρώπου - Μηχανής

Η διεπαφή ανθρώπου-μηχανής (HMI) είναι μια διεπαφή χρήστη ή ένα ταμπλό που συνδέει ένα άτομο με ένα μηχάνημα, σύστημα ή συσκευή. Ενώ ο όρος μπορεί τεχνικά να εφαρμοστεί σε οποιαδήποτε οθόνη που επιτρέπει σε έναν χρήστη να αλληλεπιδράσει με μια συσκευή, το HMI χρησιμοποιείται πιο συχνά στα πλαίσια βιομηχανικών διαδικασιών. Το HMI και το GUI (Graphic User Interface) είναι παρόμοια, αλλά όχι συνώνυμα: Τα GUI συχνά αξιοποιούνται σε HMI για δυνατότητες οπτικοποίησης των διεργασιών.

Σε βιομηχανικά περιβάλλοντα, τα HMI μπορούν να χρησιμοποιηθούν για:

- Προβολή δεδομένων.
- Παρακολούθηση του χρόνου παραγωγής, διαγραμμάτων και ετικετών (tags).
- Παρακολούθηση των βαθμών απόδοσης.
- Παρακολούθηση εισόδων και εξόδων του μηχανήματος, κ.α.

Παρόμοια με το πώς θα αλληλεπιδρούσε κανείς με το σύστημα κλιματισμού του για τον έλεγχο της θερμοκρασίας στο σπίτι του, ένας χειριστής εργοστασίου μπορεί να χρησιμοποιήσει ένα HMI για να ελέγξει τη θερμοκρασία μιας βιομηχανικής δεξαμενής νερού ή για να δει εάν μια συγκεκριμένη αντλία στην εγκατάσταση λειτουργεί αυτήν τη στιγμή.

Τα HMI διατίθενται σε διάφορες μορφές, από ενσωματωμένες οθόνες σε μηχανήματα, έως οθόνες υπολογιστών, tablets κτλ. Αλλά ανεξάρτητα από τη μορφή τους, σκοπός τους είναι να παρέχουν πληροφορίες σχετικά με τη μηχανική απόδοση και την πρόοδο των διεργασιών, και η σημασία τους είναι καθοριστική στα περισσότερα συστήματα αυτοματισμών και ελέγχου.

Οι πιο συνηθισμένοι ρόλοι που αλληλεπιδρούν με HMI είναι οι χειριστές και οι μηχανικοί συστημάτων, ιδιαίτερα οι μηχανικοί συστημάτων ελέγχου. Τα HMI είναι βασικοί πόροι για αυτούς τους επαγγελματίες, οι οποίοι τα χρησιμοποιούν για να ελέγχουν και να παρακολουθούν διαδικασίες, να διαγιγνώσκουν προβλήματα και να οπτικοποιούν δεδομένα.

Τα HMI επικοινωνούν με προγραμματιζόμενους λογικούς ελεγκτές (PLC) και αισθητήρες εισόδου / εξόδου για να λαμβάνουν και να εμφανίζουν πληροφορίες για τους χειριστές. Οι οθόνες HMI μπορούν να χρησιμοποιηθούν για μία μόνο λειτουργία, όπως η παρακολούθηση, ή την εκτέλεση πιο εξελιγμένων λειτουργιών, όπως απενεργοποίηση μηχανών ή αύξηση της ταχύτητας παραγωγής, ανάλογα με τον τρόπο υλοποίησής τους. Αξιοποιώντας τα HMI σωστά, οι χειριστές μπορούν να δουν σημαντικές πληροφορίες που εμφανίζονται σε γραφήματα ή ψηφιακούς πίνακες εργαλείων, να ειδοποιηθούν για και να διαχειριστούν συναγερμούς και να συνδεθούν με συστήματα SCADA και MES (Manufacturing Execution Systems), όλα μέσω μιας κονσόλας.



Σχήμα 4.41 HMI παλαιού τύπου. Προσφέρονται επιλογές εποπτείας και ελέγχου αλλά περιορίζονται στα βασικά και απολύτως αναγκαία δεδομένα και λειτουργίες.

Προηγουμένως, οι χειριστές θα έπρεπε να διασχίζουν συνεχώς το εργοστάσιο για να ελέγχουν τη μηχανική πρόοδο και να την καταγράφουν σε ένα κομμάτι χαρτί ή σε έναν πίνακα. Επιτρέποντας στα PLC να επικοινωνούν πληροφορίες σε πραγματικό χρόνο απευθείας σε μια οθόνη HMI, εξαλείφεται η ανάγκη για την ξεπερασμένη αυτή πρακτική και έτσι μειώνονται πολλά δαπανηρά προβλήματα που προκαλούνται από έλλειψη πληροφοριών ή ανθρώπινα λάθη. Ταυτόχρονα μειώνεται η ανάγκη μεταφορών προσωπικού από το ένα μέρος του συστήματος στο άλλο και προσφέρεται η δυνατότητα απομακρυσμένης διαχείρισης, η οποία σε συνδυασμό με τεχνολογίες σαν αυτές που θα αναφερθούν παρακάτω, ανοίγει νέους ορίζοντες προς την τέταρτη βιομηχανική επανάσταση.

Παρακάτω αναφέρονται διάφορα είδη HMIs:

HMI υψηλής απόδοσης: Οι χειριστές κινούνται όλο και περισσότερο προς τα HMI υψηλής απόδοσης, μια μέθοδο σχεδιασμού HMI που βοηθά στη διασφάλιση γρήγορης και αποτελεσματικής αλληλεπίδρασης. Εφιστώντας την προσοχή στους πιο απαραίτητους ή κρίσιμους δείκτες στη διεπαφή, αυτή η τεχνική σχεδιασμού βοηθά τον θεατή να δει και να ανταποκριθεί στα προβλήματα πιο αποτελεσματικά, καθώς και να λάβει καλύτερα ενημερωμένες αποφάσεις. Οι δείκτες των HMI υψηλής απόδοσης είναι απλοί, καθαροί και εκκαθαρίζονται σκόπιμα από τυχόν ξένα γραφικά ή ελεγκτές. Άλλα σχεδιαστικά στοιχεία, όπως το χρώμα, το μέγεθος και η τοποθέτηση, χρησιμοποιούνται με διακριτικότητα για τη βελτιστοποίηση της εμπειρίας του χρήστη.



Σχήμα 4.42 Οθόνη αφής HMI. Οι διαμόρφωση των λειτουργιών, της οπτικοποίησης και των ενδείξεων μίας διεργασίας είναι πλέον απεριόριστη.

Οθόνες αφής και φορητές συσκευές: Οι οθόνες αφής και τα HMI για κινητά είναι δύο παραδείγματα τεχνολογικής προόδου που προέκυψαν με την έλευση των smartphone. Αντί για κουμπιά και διακόπτες, τα εκσυγχρονισμένα HMI επιτρέπουν στους χειριστές να πατήσουν ή να αγγίξουν την οθόνη για πρόσβαση στα στοιχεία ελέγχου. Οι οθόνες αφής είναι ιδιαίτερα σημαντικές όταν χρησιμοποιούνται με κινητά HMI, τα οποία αναπτύσσονται είτε μέσω διαδικτυακών HMI/SCADA είτε μέσω εφαρμογών. Το Mobile HMI προσφέρει μια ποικιλία πλεονεκτημάτων στους χειριστές, όπως άμεση πρόσβαση σε πληροφορίες και απομακρυσμένη παρακολούθηση. Η φιλική προς κινητά απομακρυσμένη παρακολούθηση επιτρέπει μεγαλύτερη ευελιξία και προσβασιμότητα τόσο για χειριστές όσο και για διαχειριστές. Με αυτήν τη δυνατότητα, ένας μηχανικός συστημάτων ελέγχου μπορεί, για παράδειγμα, να επιβεβαιώσει τη θερμοκρασία μιας αποθήκης μέσω μιας φορητής συσκευής, εξαλείφοντας την ανάγκη επιτόπιας εποπτείας μετά τις ώρες εργασίας.

Edge-of-Network HMIs και Cloud: Τα Edge-of-Network HMI έχουν επίσης μεγάλη ζήτηση, επειδή επιτρέπουν στους χειριστές να έχουν πρόσβαση και να οπτικοποιούν δεδομένα από απομακρυσμένες συσκευές, ακόμα κι αν αυτές είναι περιορισμένων δυνατοτήτων. Επιπλέον, γίνεται πιο συνηθισμένο να στέλνονται δεδομένα από τοπικά HMI στο cloud, όπου μπορεί να προσεγγιστούν και να αναλυθούν εξ αποστάσεως, διατηρώντας παράλληλα τοπικές δυνατότητες ελέγχου. Η αποστολή των δεδομένων στο cloud ανοίγει τους ορίζοντες στα big data και σε εύκολα κλιμακούμενα και εξελισσόμενα εργοστάσια παραγωγής, μειώνοντας δραστηρικά της τοπικές απαιτήσεις σε συσκευές και μηχανισμούς.



Σχήμα 4.43 HMI σε smartphone.

Όσον αφορά το μέλλον, πολλοί μηχανικοί διερευνούν ακόμη και τρόπους για να εφαρμόσουν την “επαυξημένη πραγματικότητα” (AR - Augmented Reality) και την “εικονική πραγματικότητα” (VR - Virtual Reality) για να απεικονίσουν τις κατασκευαστικές λειτουργίες. Καθώς τα δεδομένα διαδραματίζουν ολοένα και πιο σημαντικό ρόλο στις διεργασίες, το μέλλον φαίνεται ευοίωνο για τα HMI. Οι δυνατότητές τους για ανάπτυξη παραμένουν σχεδόν απεριόριστες. [3]

4.2 Απομακρυσμένη διαχείριση

Η ανάγκη για παρακολούθηση και διαχείριση των διαδικασιών υπήρχε από την εμφάνιση των πρώτων βιομηχανιών και μηχανών βαρέως τύπου. Αρχικά οι χειριστές αρκούσε να περπατούν στα καίρια σημεία του εργοστασίου και να καταγράφουν σημαντικά δεδομένα για την παραγωγή ή την ανάγκη συντήρησης. Πλέον όμως, η βαριά βιομηχανία και η επικινδυνότητα που την συνοδεύει, οι τρομερά απαιτητικές και σύνθετες διεργασίες, η ανάγκη εικοσιτετράωρης επίβλεψης των διαδικασιών, η βελτιστοποίηση της παραγωγής και του κέρδους μέσω της αδιάκοπης 24/7 λειτουργίας, καθώς και η συνεχής αύξηση των απαιτήσεων της δουλειάς του μηχανικού συστημάτων, καθιστούν απαραίτητη την όσο το δυνατόν ταχύτερη απόκριση στις ανάγκες του εργοστασίου, πράγμα που συνεπάγεται τον πλήρη προγραμματισμό, εποπτεία και έλεγχο της οποιασδήποτε διαδικασίας εξ αποστάσεως.

Γίνεται συνεπώς ξεκάθαρο πως όλες αυτές οι δυνατότητες παρέχονται μέσω του διαδικτύου. Όμως καθώς και αυτό δεν είναι αξιόπιστο εκατό τις εκατό, καθώς υπάρχουν μικροδιακοπές είτε λόγω βλάβης ενός ρούτερ, είτε λόγω ανάγκης συντήρησης των κέντρων δεδομένων, είτε λόγω φυσικών καταστροφών, αναζητούνται ταυτόχρονα και άλλες λύσεις, κάποιες εκ των οποίων προϋπήρχαν και προσαρμόστηκαν με την πάροδο του χρόνου στις νέες

προδιαγραφές. Ήδη πολλές εταιρίες έχουν στραφεί, και άλλες έχουν δημιουργηθεί με σκοπό την κάλυψη της ανάγκης της απομακρυσμένης διαχείρισης, εποπτείας και διασύνδεσης, παρέχοντας ποικίλες μορφές λύσεων, έχοντας όλες κοινό παράγοντα την ασφάλεια του συστήματος από κυβερνοεπιθέσεις. Παρακάτω θα αναφερθούμε σε δύο παραδείγματα λύσεων για απομακρυσμένη εποπτεία, ένα διαδικτυακό και ένα μέσω ραδιοσημάτων. [3]

4.2.1 Secomea

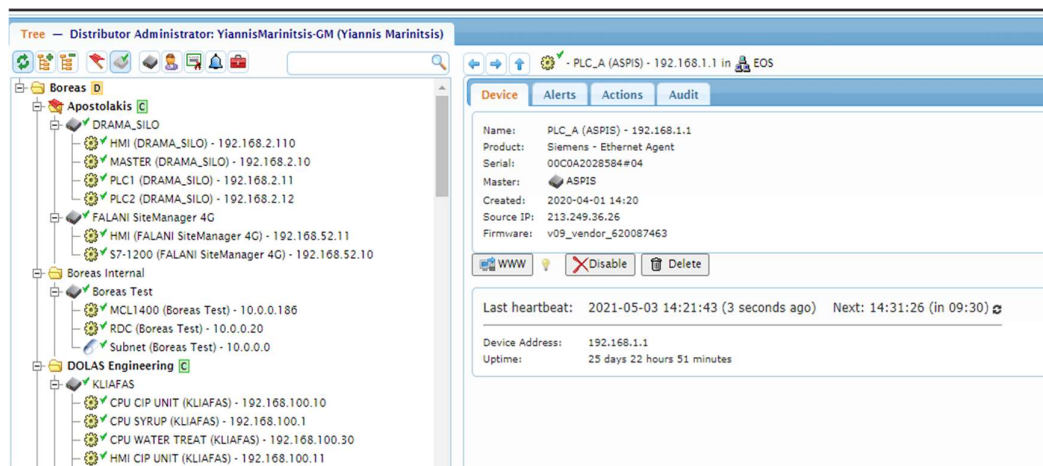
Μία από τις μεγαλύτερες επί της παρούσης εταιρίες παροχής λύσεων απομακρυσμένης εποπτείας και διαχείρισης βιομηχανικών διεργασιών, η Secomea προσφέρει εύκολη και ασφαλή απομακρυσμένη πρόσβαση σε οποιαδήποτε βιομηχανική συσκευή ή σύστημα ελέγχου, παρέχοντας απεριόριστες δυνατότητες διασύνδεσης μέσω του διαδικτύου.

Ένα βιομηχανικό gateway, που ονομάζεται SiteManager, εγκαθίσταται στην περιοχή προς έλεγχο. Σε αυτό μπορεί να συνδεθούν έως και 100 συσκευές (με τα νεότερα μοντέλα ακόμα περισσότερες), συνενωμένα σε δύο ή περισσότερα πλέον υποδίκτυα δύο ειδών. Το ένα υποδίκτυο (Uplink) είναι αυτό που έχει πρόσβαση στο διαδίκτυο ενώ το άλλο επιτρέπει την πρόσβαση σε συσκευές ή την διασύνδεση μεταξύ τους. Στην πραγματικότητα, με εξαίρεση την πρόσβαση στο διαδίκτυο, τα δύο υποδίκτυα μπορούν να χρησιμοποιηθούν πανομοιότυπα, λόγω των πολλών δυνατοτήτων παραμετροποίησης της συσκευής.

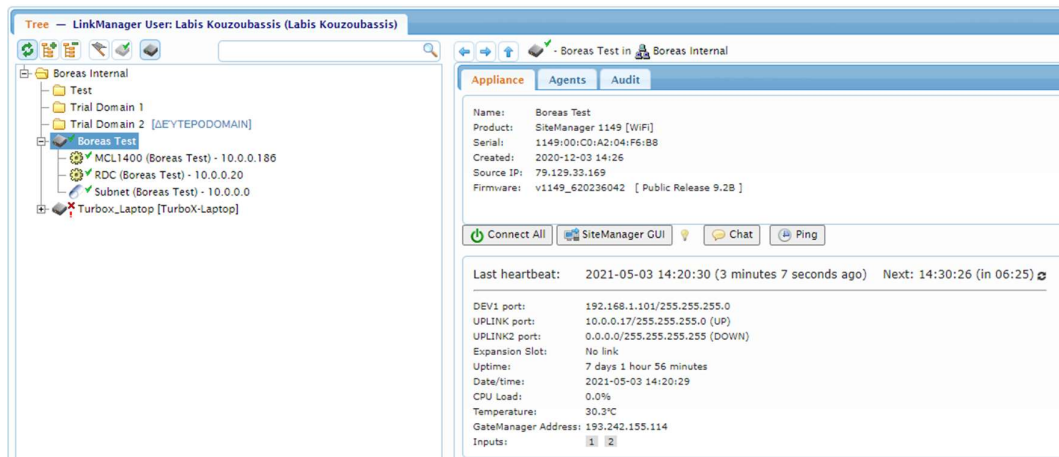


Σχήμα 4.44 Αρχικό μενού κατά τη σύνδεση στο GateManager (εδώ στο 04) μέσω περιηγητή.

Έπειτα χρησιμοποιούνται δύο μηχανισμοί: το GateManager και το LinkManager ή LinkManager Mobile. Το GateManager είναι ουσιαστικά ένας διακομιστής στο cloud, μέσω του οποίου ελέγχονται από τους διαχειριστές (έχοντες την κατάλληλη πρόσβαση) οι διασυνδεδεμένες συσκευές, οι χρήστες και οι λογαριασμοί τους, τα δικαιώματα του καθενός και γίνεται διαχωρισμός του συστήματος σε τομείς (domains), ανάλογα με το είδος των διεργασιών και τον αριθμό των SiteManagers. Το LinkManager είναι το περιβάλλον του εκάστοτε χρήστη, όπου μπορεί να διαχειρίζεται μέσω προγράμματος περιήγησης (όπως και στο GateManager), με σύνδεση παρόμοια με ενός VPN τις συσκευές που είναι συνδεδεμένες σε κάθε SiteManager και τις λειτουργίες τους, καθώς και να αποκτά πρόσβαση σε αυτές, όλα σύμφωνα με τα δικαιώματα που του έχουν χορηγηθεί.



Σχήμα 4.45 Το περιβάλλον του GateManager. Αριστερά φαίνονται οι συνδεδεμένες συσκευές και οι χρήστες και δεξιά οι λεπτομέρειες για το επιλεγμένο στοιχείο.

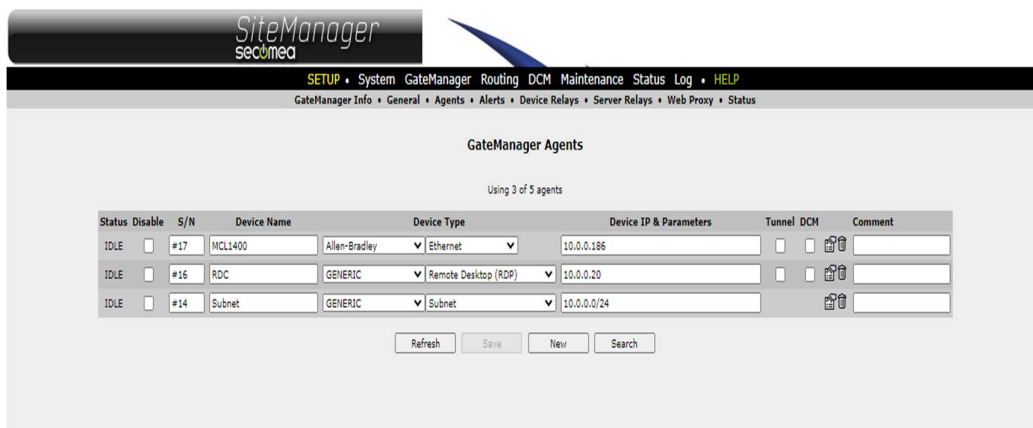


Σχήμα 4.46 Το περιβάλλον του LinkManager.

Για παραπάνω ασφάλεια, σε όλους τους χρήστες και διαχειριστές, εκτός από τους απαραίτητους κωδικούς, παρέχονται και ηλεκτρονικά πιστοποιητικά – άδειες, που μεταφορτώνονται από την συσκευή κατά τη σύνδεση, πιστοποιώντας το γνήσιο της ταυτοποίησης.



Σχήμα 4.47 SiteManager βιομηχανικό Gateway.



Σχήμα 4.48 Διαμόρφωση των agents του SiteManager.

Οι λειτουργίες των συσκευών καθορίζονται μέσω “agents”, συγκεκριμένων πολυποίκλων ρυθμίσεων δηλαδή, για τον τρόπο σύνδεσης, ανάγνωσης και λειτουργίας της κάθε συσκευής αναφορικά με το SiteManager. Παρέχεται η δυνατότητα απλής σύνδεσης σε ένα PLC για τον προγραμματισμό του ή την ανάγνωση των τιμών του, διασύνδεσης δύο ή περισσότερων PLC μεταξύ τους μέσω πολλών πρωτοκόλλων (όπως το Modbus TCP που αναφέρθηκε νωρίτερα), δημιουργίας μόνιμης σύνδεσης με κάποια πηγή δεδομένων για την σύσταση ενός αξιόπιστου SCADA, και όλα αυτά ανεξαρτήτως απόστασης μεταξύ συσκευών, υποδικτύων και συστημάτων.

4.2.2 ELPRO

Τι γίνεται όμως όταν το ίντερνετ πέσει, ή απλά δεν υπάρχει ρεύμα για μικρό χρονικό διάστημα; Η απάντηση δίνεται με άλλες μεθόδους, σαν αυτές της EPRO, η οποία χρησιμοποιεί ραδιοφωνικές συχνότητες για τη μετάδοση καιρίων δεδομένων, έτσι ώστε οι σημαντικές λειτουργίες και πληροφορίες να μην χάνονται ποτέ.

Τέτοιου είδους λύσεις υπήρχαν από πολύ πριν. Η ανάγκη είχε προκύψει για τη διασύνδεση απομακρυσμένων, δύσβατων σημείων με το υπόλοιπο σύστημα. Ήταν και είναι πολύ δύσκολο

να σκαρφαλώσει ένας χειριστής σε απόμερα μέρη για να ελέγξει παραδείγματος χάρη μία κεραία ή μία δεξαμενή νερού. Τα δεδομένα αυτά πρέπει να μεταδίδονται αδιάλειπτα, χωρίς να είναι ανάγκη να είναι συνεχόμενα, παρά μόνο κατά την μεταβολή ενός bit ή καταχωρητή ή αλλιώς με συγκεκριμένη χρονική περίοδο.

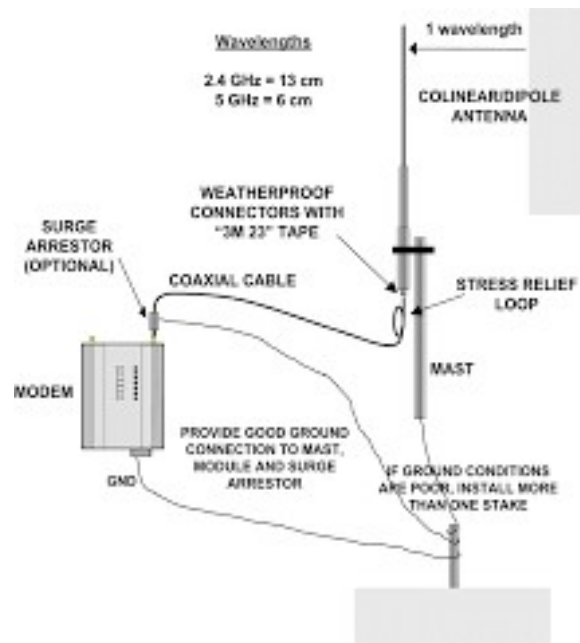
Τοποθετείται λοιπόν ένα ασύρματο gateway ELPRO της EATON συνδεδεμένο με την πηγή των δεδομένων (PLC ή άλλη) και μία κεραία για τη μετάδοση του σήματος σε μία αντίστοιχη συσκευή της ELPRO και την κεραία της. Η μία συσκευή συνήθως παραμετροποιείται σαν master και η άλλη σαν slave, όσον αφορά το ποιος έχει την προτεραιότητα στην εγκαθίδρυση της σύνδεσης ή την μετάδοση του σήματος. Υπάρχει και η δυνατότητα διασύνδεσης πολλών συσκευών σε ένα σύνθετο δίκτυο, όπου η κάθε μία χρησιμοποιείται ταυτόχρονα και ως ρούτερ που εντοπίζει τη μικρότερη διαδρομή για την αποστολή της πληροφορίας στη συσκευή – στόχο, καθώς και σαν repeater, που ενισχύει το σήμα ανάμεσα στα άλματα από συσκευή σε συσκευή για να μην χαθεί πληροφορία.



Σχήμα 4.49 Ασύρματο gateway ELPRO.

Αξίζει να σημειωθεί πως ανάλογα με την χώρα και τους κανονισμούς της, χρειάζονται να χορηγηθούν συγκεκριμένες άδειες για συγκεκριμένες ραδιοσυχνότητες που μπορούν να καταληφθούν από βιομηχανικές συσκευές. Επίσης, ένας μηχανικός οφείλει να διαθέτει βασικές γνώσεις κεραιών ώστε να επιλέξει την κατάλληλη, να κρίνει το σημείο τοποθέτησης όπου δεν θα παρουσιάζονται παρεμβολές και ανακλάσεις του σήματος, δεν θα παρεμβάλλεται υψομετρική διαφορά ανάμεσα σε δύο κεραιές (πχ λόφος ή κτίρια) και θα υπάρχει μία στοιχειώδης προστασία από καιρικές συνθήκες και καλή γείωση σε περίπτωση κεραυνικής προσβολής. Ακόμα, πρέπει να γνωρίζει τα πρωτόκολλα που χρησιμοποιούνται για την σωστή χαρτογράφηση των δεδομένων που αποστέλλονται και να μπορεί να υπολογίσει την ελάχιστη απαιτούμενη ισχύ που απαιτείται ώστε το σήμα να είναι ισχυρό ανάλογα της απόστασης από το άλλο άκρο (πόσα dBm ανά W).

Από τέτοιου είδους εφαρμογές, συνειδητοποιούμε πως ένας μηχανικός συστημάτων ελέγχου οφείλει να γνωρίζει πολύ περισσότερα από αυτά που εκ πρώτης όψεως εμφανίζονται σε θέματα αυτοματισμών, καθώς οι τεχνικές ικανότητες εγκατάστασης και οι γνώσεις περί σημάτων και δικτύων, όπως και πολλά άλλα, είναι συχνά απαραίτητες για να επιτευχθεί η δημιουργία των περισσότερων βιομηχανικών συστημάτων που λειτουργούν σήμερα.



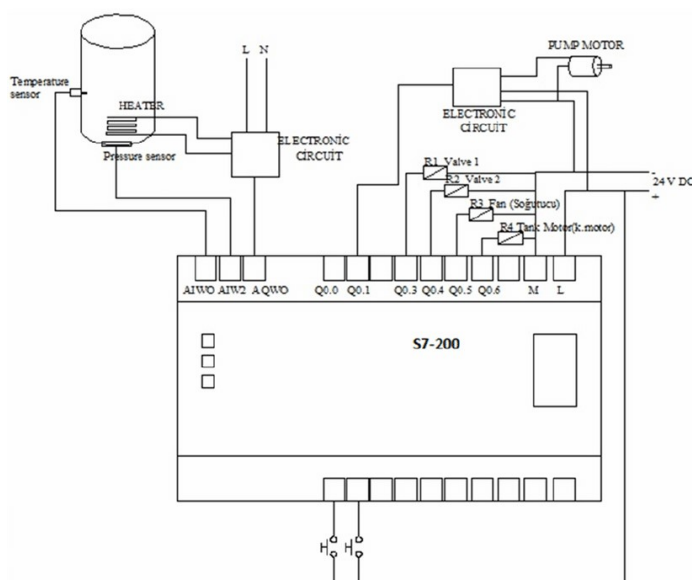
Σχήμα 4.50 Εγκατάσταση ενός gateway της ELPRO.

Κεφάλαιο 5

Πλατφόρμες και λογισμικά

5.1 Εισαγωγή

Αναφερθήκαμε μέχρι τώρα σε μία μεγάλη γκάμα υλικών και συσκευών για την δόμηση συστημάτων αυτομάτου ελέγχου, καθώς και στην φιλοσοφία των αρχιτεκτονικών δομών πίσω από αυτά. Θέσαμε τις θεωρητικές βάσεις που χρειάζεται ένας μηχανικός συστημάτων ελέγχου για να βγει στην αγορά εργασίας. Στην πραγματικότητα όμως, η δουλειά του στο κομμάτι των hardware είναι πιο περιορισμένη. Δεν πρόκειται να εγκαταστήσει ο ίδιος ενεργοποιητές ή αισθητήρες, και αν το κάνει θα είναι σε πιο μεμονωμένες περιπτώσεις μικρότερων συστημάτων. Θα χρησιμοποιήσει PLC για να εγκαταστήσει κάποιο πρόγραμμα ή για να δοκιμάσει κάποια διασύνδεση με συγκεκριμένα πρότυπα, αλλά σπάνια έως ποτέ θα τοποθετήσει ο ίδιος ένα PLC σε έναν πίνακα αυτοματισμού.



Σχήμα 5.51 Παράδειγμα ηλεκτρολογικού σχεδίου για τη σύνδεση I/O ενός PLC.

Συνήθως όλα αυτά ανήκουν στο κομμάτι του σχεδιασμού, όπου οφείλει να κατασκευάσει τα ηλεκτρολογικά σχέδια των εγκαταστάσεων, περιλαμβάνοντας τις εισόδους και εξόδους της κάθε συσκευής και PLC, τις τροφοδοσίες, τις συνδεσμολογίες, συχνά ακόμα και τα δικτυακά σχέδια με τις διευθύνσεις IP ή τα χρησιμοποιούμενα πρωτόκολλα και τα απαραίτητα καλώδια που τα συνοδεύουν.

Το μεγαλύτερο μέρος όμως της δουλειάς του κρύβεται πίσω από τα ποικίλα βιομηχανικά λογισμικά και πλατφόρμες που προγραμματίζουν τις προαναφερθείσες συσκευές, αναλύουν δεδομένα, διασφαλίζουν την ποιότητα της κατασκευής, και ενοποιούν όλο το σύστημα σε μία, ενιαία οντότητα. Με τις ψηφιακές τεχνολογίες, ένας τεράστιος όγκος των υλικών που χρησιμοποιούνταν στις βιομηχανικές διατάξεις, έχει περάσει στην ευχέρεια του υπολογιστή του. Όλη η ύλη που καλύψαμε έως τώρα λοιπόν θα ήταν ανούσια αν δεν γινόταν αναφορά και στο βασικότερο όλων: τον “βιομηχανικό προγραμματισμό”. [3]

5.2 Προγραμματισμός PLC και HMI – Πλατφόρμες ενοποίησης

Όπως έχει ήδη αναφερθεί στα κεφάλαια 2 και 4, δύο από τα βασικότερα στοιχεία που συναντώνται σχεδόν σε κάθε βιομηχανική διάταξη είναι τα PLC και τα HMI, σε οποιαδήποτε μορφή τους. Τα PLC αναλαμβάνουν τις μεγαλύτερες ανάγκες σε διατάξεις αυτοματισμού, ελέγχοντας και δίνοντας οδηγίες σύμφωνα με την κατάσταση των εισόδων τους και του προγράμματος ελέγχου. Τα HMI οπτικοποιούν τα χρήσιμα δεδομένα και στέλνουν οδηγίες από τον χειριστή στα PLC και αντιστρόφως, δεδομένα από τα PLC στον χειριστή.

Όμως, αν αγοράσουμε ένα PLC, θα συνειδητοποιήσουμε πως είναι ένα μηχάνημα χωρίς καμία χρησιμότητα από μόνο του, καμία δυνατότητα ελέγχου ή ενεργοποίησης εξόδου. Αντίστοιχα, μία οθόνη HMI μπορεί να εμπεριέχει κάποιο λειτουργικό σύστημα αλλά από μόνη της δεν έχει τρόπο να διαβάσει κανενός είδους πληροφορία, πόσο μάλλον να την οπτικοποιήσει κιάλας ή να μεταφέρει εντολές σε ελεγκτές.

Τι λείπει λοιπόν; Το απαραίτητο λογισμικό, το πρόγραμμα το οποίο θα φορτωθεί σε κάθε μία συσκευή και θα την παραμετροποιήσει κατάλληλα ώστε να επιτελεί ακριβώς την λειτουργία που χρειάζεται ανάλογα με την εκάστοτε εφαρμογή. Κάθε εταιρία κατασκευής PLC έχει τα δικά της προγράμματα για την κωδικοποίηση των συσκευών της.

Πιο συγκεκριμένα, τα PLC προγραμματίζονται με λογισμικά ανάπτυξης σε γλώσσες Ladder, Structured Text και των υπολοίπων που αναφέραμε προηγουμένως. Στο λογισμικό διαμορφώνεται το PLC ανάλογα με τις κάρτες I/O και όλου του υπόλοιπου εξοπλισμού που θα χρησιμοποιηθεί και στην φυσική εφαρμογή ώστε να δοθεί η δυνατότητα στην CPU του να διαβάζει τα υπόλοιπα μέρη του, η συνδεσμολογία του με άλλες συσκευές, καθώς και το πρόγραμμα ελέγχου, ο ακριβής τρόπος δηλαδή που θα διαχειρίζεται την κατάσταση της εσωτερικής του μνήμης, τις εισόδους του και τις τυχόν επιλογές του χρήστη, ώστε να ελέγχει τις εξόδους του.

Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί το RSLogix 500, λογισμικό της Allen Bradley για προγραμματισμό των PLC της σε γλώσσα Ladder. Λόγω της απλότητας του λογισμικού, της πολύ μικρής απαιτούμενης μνήμης του, της ταχύτητάς του και της δυνατότητας αλλαγής του προγράμματος όσο το PLC “τρέχει” το πρόγραμμα, καθίσταται ένα από τα πιο δημοφιλή εργαλεία για τους προγραμματιστές PLC, οι οποίοι συχνά προτιμούν την Allen Bradley μόνο για αυτό. Ταυτόχρονα, το εν λόγω πρόγραμμα προτιμάται συχνά και για εκπαιδευτικούς σκοπούς, λόγω της απλής και επιτυχημένης απεικόνισης του κώδικα και του ευδιάκριτου διαχωρισμού των εντολών σε εισόδους και εξόδους.

Κάθε προγραμματιστικό περιβάλλον, ανάλογα και με την έκδοσή του, μπορεί να περιλαμβάνει συγκεκριμένες σύνθετες εντολές Ladder που ένα προηγούμενό του δεν είχε. Το ίδιο ισχύει και για τα PLC τα οποία αφορά ένα λογισμικό. Για παράδειγμα, το RSLogix 500 σε παλαιότερη έκδοσή του δεν εμπεριείχε την εντολή CTP, η οποία συνδυάζει μαθηματικές πράξεις με τη μορφή μίας παράστασης, σε μία έξοδο rung. Αντίστοιχα, το RSLogix 500 χρησιμοποιείται μόνο για παλαιότερα PLC της Allen Bradley, όπως τα Micrologix 1400, ενώ πλέον διατίθεται το καινούριο RSLogix 5000 για την κωδικοποίηση της οικογένειας PLC Contrologix.

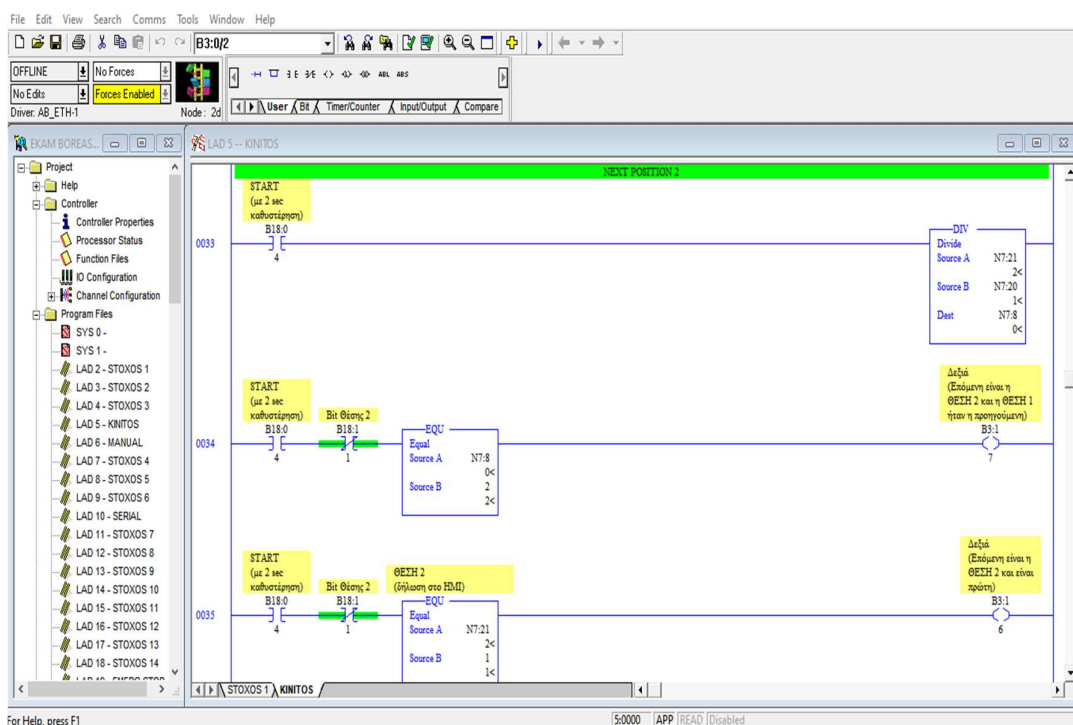
Βασικά συστατικά ενός προγράμματος κωδικοποίησης PLC αποτελούν τα εξής:

1. Μπάρα εντολών Ladder ή της εκάστοτε γλώσσας που χρησιμοποιείται εκείνη τη στιγμή.
2. Μπάρα με τα τμήματα του προγράμματος, τα δεδομένα (bits και registers) του PLC ανάλογα με τη μορφή τους (Boolean, Integer, Float, String κτλ) και τις αντίστοιχες ετικέτες τους (tags).

3. Τμήμα για την διαμόρφωση του φυσικού υλικού και τη σύνδεση του PLC με άλλα στοιχεία.

4. Πλαίσιο για τη σύνδεση του υπολογιστή με το PLC και τη συσχέτισή του με αυτό (σε σύνδεση ή όχι, “κατέβασμα” ή “ανέβασμα” προγράμματος, κατάσταση εκτέλεσης του κώδικα του PLC κτλ).

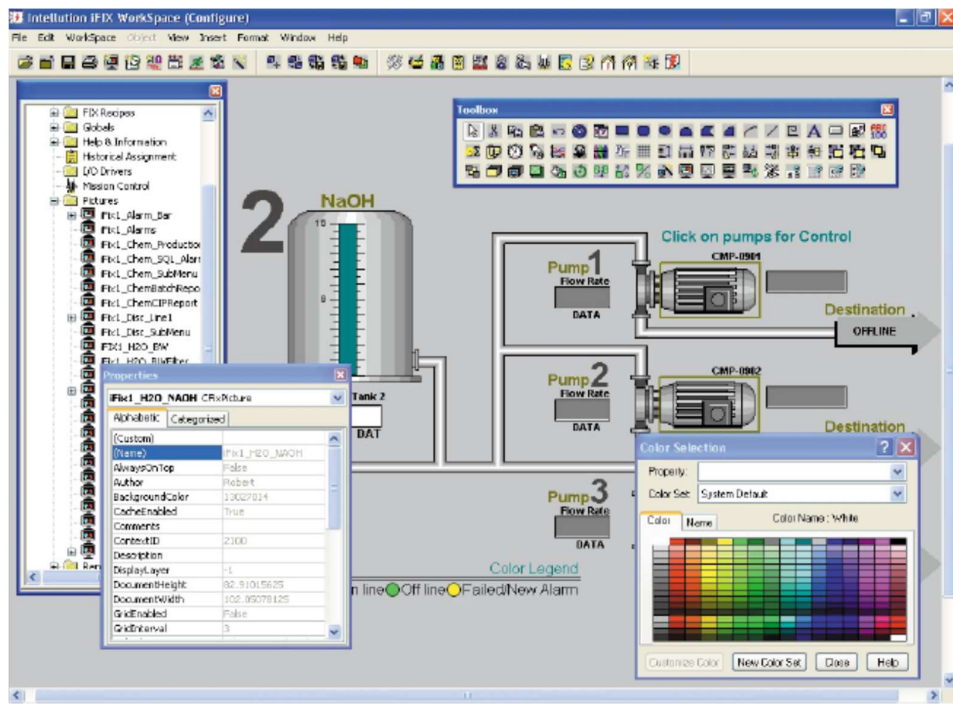
Παρόμοια συμβαίνει και με τα HMI. Υπάρχουν λογισμικά με σκοπό την διαμόρφωση του HMI όσον αφορά την οπτικοποίηση καταστάσεων και δεδομένων, καθώς και την σύνδεση και την ανταλλαγή πληροφοριών με το PLC. Για άλλη μια φορά, τα προγράμματα αυτά είναι συχνά συνυφασμένα με την εκάστοτε εταιρία, αν και στα HMI οι περιορισμοί σε αυτό το κομμάτι είναι πολύ λιγότεροι. Υπάρχουν για παράδειγμα πολλά λογισμικά όπως το FactoryTalk της Allen Bradley ή το WinCC της Siemens τα οποία είναι συνδεδεμένα με τους κατασκευαστές τους και λειτουργούν για αντίστοιχα HMI και PLC, ενώ υπάρχουν άλλα όπως το iFix της General Electric, που λειτουργεί σαν πιο “ανοικτό” λογισμικό. Πρακτικά όμως οι διαφορές τους είναι



ελάχιστες, καθώς οι βασικές λειτουργίες είναι οι:

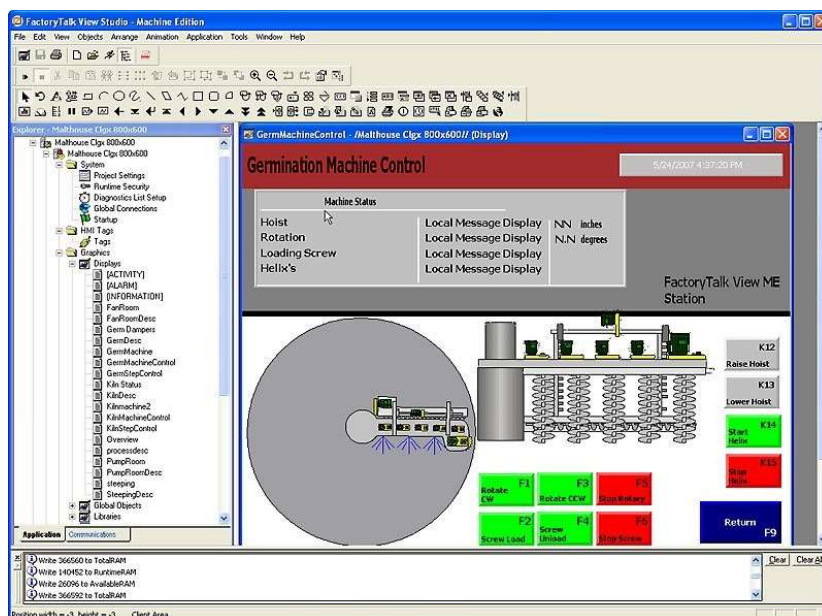
Σχήμα 5.52 Το περιβάλλον του RSLogix 500.

1. Δημιουργία γραφικού περιβάλλοντος φιλικού προς τον χρήστη για την οπτικοποίηση και ανάλυση των δεδομένων του συστήματος αυτοματισμού.
2. Χρήση εισόδων για τον έλεγχο συγκεκριμένων λειτουργιών ή τον καθορισμό καταστάσεων ή τιμών.
3. Δημιουργία συναγεμίων που ενεργοποιούνται σε συγκεκριμένες συνθήκες.



Σχήμα 5.53 Το περιβάλλον του iFix.

Προηγουμένως όμως, έγινε αναφορά και σε πλατφόρμες. Η διαφορά τους με τα λογισμικά είναι πως οι πλατφόρμες ουσιαστικά περιλαμβάνουν μέσα τους και ενοποιούν λογισμικά διαφορετικών λειτουργιών, διευκολύνοντας έτσι τον χρήστη στη δημιουργία ενός συνολικότερου συστήματος και τη διασύνδεση των επί μέρους συσκευών. Ένα πολύ χαρακτηριστικό παράδειγμα βρίσκεται στην πλατφόρμα στην οποία δημιουργήθηκε και η προσομοίωσή μας, στο TIA Portal. [3]

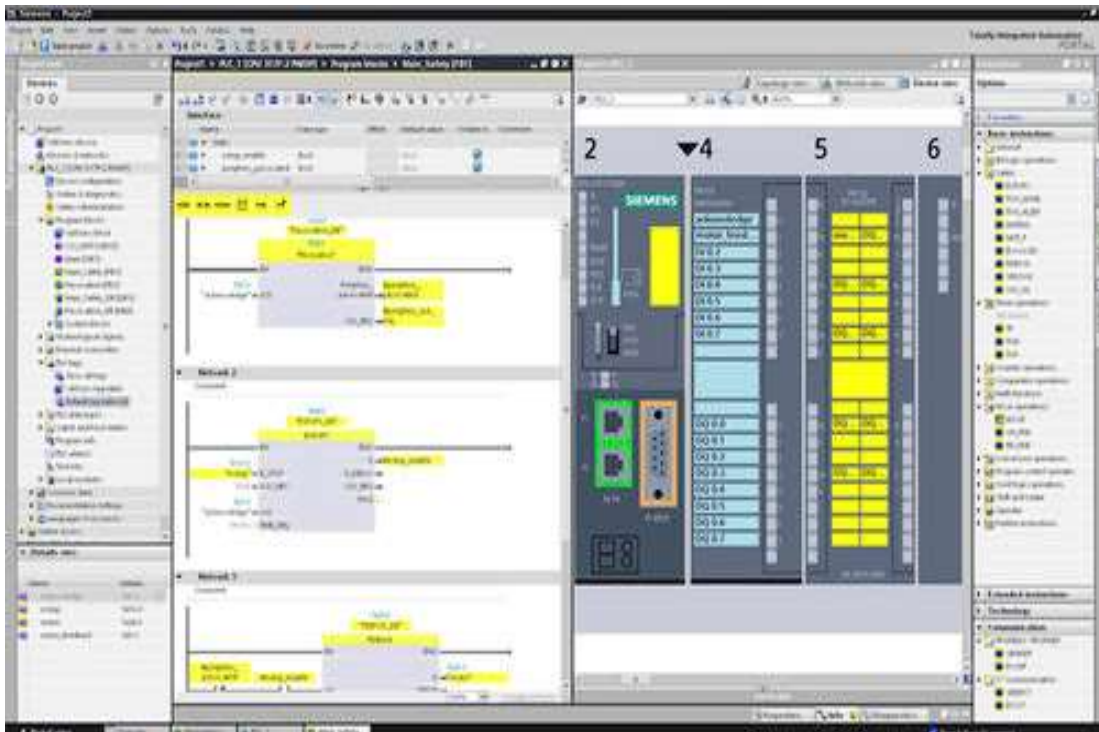


Σχήμα 5.54 Το περιβάλλον του FactoryTalk.

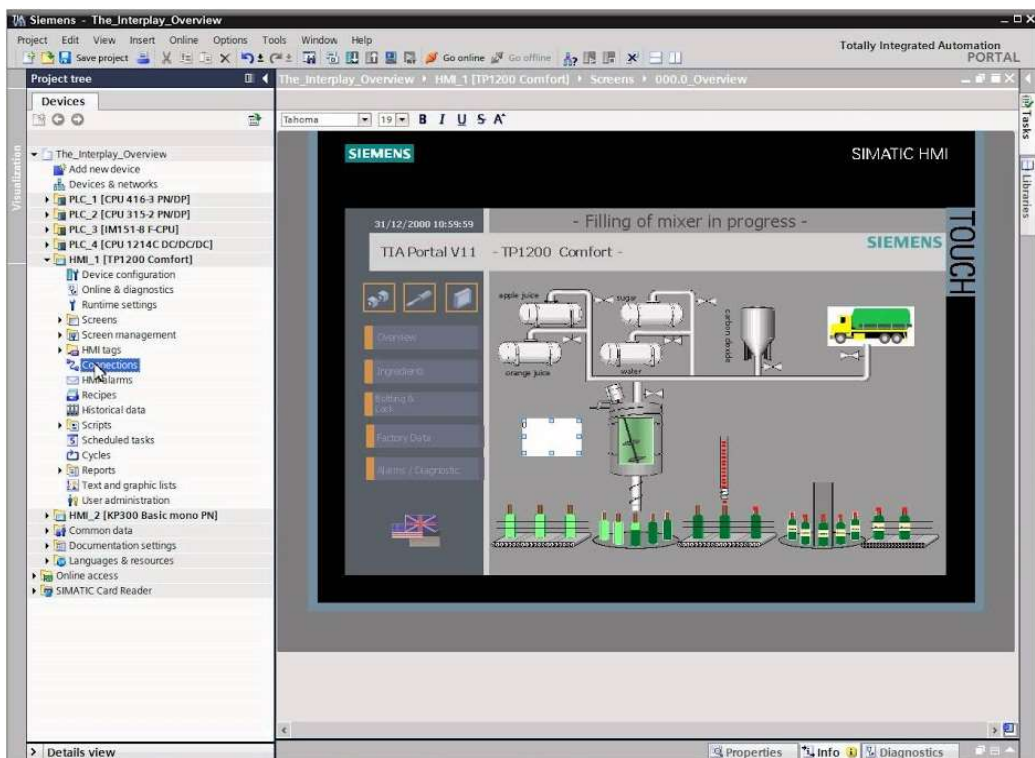
5.2.1 Η πλατφόρμα TIA Portal

Η πλατφόρμα TIA Portal (Totally Integrated Automation Portal) ανήκει στην εταιρία Siemens και σκοπός της είναι η ενοποίηση δύο εφαρμογών της, του παλαιότερου Simatic S7 για τον προγραμματισμό PLC σε γλώσσα και του WinCC για την διαμόρφωση HMI. Προσφέρει ακόμα δυνατότητα προγραμματισμού και στις γλώσσες Structured Text, Function Block Diagram και Sequential Function Chart. Ως πλατφόρμα ενοποίησης αυτοματισμών και όχι απλό λογισμικό προγραμματισμού PLC, το TIA Portal προσφέρει επίσης:

- **Ευέλικτη προσομοίωση:** Με την προσομοίωση ολόκληρης της εγκατάστασης, συμπεριλαμβανομένων του ελεγκτή και του HMI, και την αξιολόγηση βάσει ενός εικονικού μοντέλου, ο χρόνος προγραμματισμού, debugging και δοκιμών μειώνεται.
- **Απρόσκοπτη συνδεσιμότητα:** Το cloud προσφέρει νέες δυνατότητες στη μηχανική καθώς και στην λειτουργία των εργοστασίων. Το TIA Portal Cloud Connector καθιστά δυνατή την εργασία μέσω του TIA Portal ανεξάρτητα από την τοποθεσία του χρήστη ή της συσκευής. Αυτό σημαίνει μεγαλύτερη ευελιξία και λιγότερη δυσκολία εγκατάστασης. Κατά τη διάρκεια της λειτουργίας, προσφέρονται και πρόσθετες ψηφιακές υπηρεσίες χάρη στη σύνδεση των εγκαταστάσεων με το Siemens MindSphere Cloud.



Σχήμα 5.55 Το περιβάλλον του TIA Portal 1. Ladder και διαμόρφωση hardware και I/O.



Σχήμα 5.56 Το περιβάλλον του TIA Portal 2. Δημιουργία ενός HMI.

- **Ανοικτό σύστημα:** Το TIA Portal επιτρέπει την δημιουργία κώδικα χρησιμοποιώντας γεννήτριες λογισμικού, μειώνοντας έτσι τον αριθμό των περιττών ρωών εργασίας. Με το Teamcenter, συγχωνεύονται επίσης οι εκδόσεις ενός έργου σε διάφορα στάδιά του, από το σχεδιασμό, τη μηχανική και την ανασκόπηση.
- **Ενοποίηση:** Με το TIA Portal, ενσωματώνονται όλα τα σημαντικά στοιχεία ενός έργου αυτοματισμού: ασφάλεια, έλεγχος, HMI, οδήγηση, καταναμεμένα I/O, ακόμη και έλεγχος κίνησης (motion control) και διανομή ισχύος. Με λίγες μόνο καταχωρήσεις, μια κοινόχρηστη βάση δεδομένων και μια τυπική διεπαφή σε όλες τις εργασίες, ο χρόνος υλοποίησης μειώνεται σημαντικά.
- **Συντονισμένη ομαδική εργασία:** Με το TIA Portal Multiuser Engineering, πολλαπλοί χρήστες μπορούν να έχουν πρόσβαση σε ένα έργο ταυτόχρονα. Ο συγχρονισμός είναι αυτόματος, προσφέροντας μεγάλη ευελιξία στην επεξεργασία και την ολοκλήρωση των διαφόρων εργασιών.
- **Αξιόπιστη αποφυγή σφαλμάτων:** Το ποσό της επιπλέον εργασίας ελαττώνεται με τον αξιόπιστο εντοπισμό σφαλμάτων και την γρήγορη διόρθωσή τους με πολλά πρότυπα κώδικα προγραμματισμού. Επίσης, πολλά νέα και αποτελεσματικά διαγνωστικά εργαλεία καθώς και οι κυκλικές καταγραφές δοκιμών συστήματος παρέχουν βοήθεια στην ανάλυση σποραδικών σφαλμάτων κατά τη θέση λειτουργίας.
- **Αποτελεσματική διαχείριση τεχνογνωσίας:** Χάρη στην εύκολα κατανοητή ιδέα των βιβλιοθηκών, δίνεται η δυνατότητα επαναχρησιμοποίησης όλων των αντικειμένων του έργου. Η τεχνογνωσία έτσι παραμένει και προστατεύεται εύκολα, ενώ συστήματα που έχουν ξαναδημιουργηθεί επιλύονται σε ελάχιστο χρόνο.

- **Δημιουργία αντί προγραμματισμού:** Μέσω του SiVArC, παρέχεται η δυνατότητα αυτόματης δημιουργίας HMI. Το TIA Portal αποτελεί μία γρήγορη και εύκολη διαγνωστική μηχανή, αποτελεσματική εφαρμογή για συστήματα διαχείρισης ενέργειας και παρέχει και αυτόματη δημιουργία προγραμμάτων χρησιμοποιώντας γεννήτριες λογισμικού που διασυνδέονται μέσω του TIA Portal Openness interface.

Και η λίστα συνεχίζεται. Καθώς υπάρχουν τόσο πολλές εφαρμογές που μπορούν να χρησιμοποιηθούν μαζί με το TIA Portal, οι δυνατότητες είναι ατελείωτες. Για παράδειγμα με το TIA Portal Openness interface, μπορεί ένα έργο του TIA Portal να χρησιμοποιηθεί ως μπλοκ στο Simulink του Matlab ή και το αντίστροφο. Περισσότερες λεπτομέρειες για το TIA Portal βρίσκονται στο Κεφάλαιο 6, κατά την ανάλυση της προσομοίωσης. [1]

5.3 Λογισμικά ανάλυσης δεδομένων και διασφάλισης ποιότητας

Από τα παραπάνω φαίνεται ήδη πόσο σύνθετη διαδικασία αποτελεί ο σχεδιασμός και η ενοποίηση όλων όσων αναφέρθηκαν παραπάνω σε ένα ενιαίο σύστημα. Η γνώση του κατάλληλου υλικού και λογισμικού καθώς και ο οικονομικός και αποτελεσματικός σχεδιασμός αποτελεί ένα πολυδιάστατο έργο, μία απαίτηση για την οποία ένας μηχανικός αυτοματισμών και συστημάτων ελέγχου αφιερώνει πάμπολλες ώρες μελέτης καθ' όλη του την ζωή.

Μετά όμως τον σχεδιασμό ενός συστήματος, την προσομοίωσή του, τον έλεγχο της λειτουργικότητάς του, την παραμετροποίηση και το στήσιμό του, υπάρχει και η ανάγκη της διασφάλισης της ποιότητας του. Το σύστημα πρέπει να παρέχει συνεχώς δεδομένα προς εξέταση για τους διαχειριστές, οι οποίοι αφού τα αναλύσουν, μπορούν να πάρουν αποφάσεις για να βελτιστοποιήσουν την παραγωγή, να μειώσουν τα σφάλματα, και να βελτιώσουν σημαντικά τον συνολικό βαθμό απόδοσης της εγκατάστασης. Όλες αυτές οι διαδικασίες έγκεινται στον κλάδο της ανάλυσης δεδομένων, στον οποίο επίσης εμπλέκεται ένας μηχανικός συστημάτων ελέγχου. Άλλωστε, πρέπει να υπάρχει εξ αρχής γνώση της εγκατάστασης και του τρόπου λειτουργίας, να έχουν ήδη εγκατασταθεί οι απαραίτητοι αισθητήρες για τη συλλογή των σημαντικών πληροφοριών, και όλες οι πληροφορίες, με τις κατάλληλες συνδέσεις, να ενοποιούνται και να ομαδοποιούνται σε πίνακες.

Η συλλογή αυτή γίνεται συνήθως σε λογισμικά που ονομάζονται “Ιστορικοί δεδομένων” ή πιο σωστά Data Historians, Historians εν συντομία. Το historian είναι ένα πρόγραμμα λογισμικού που καταγράφει και ανακτά δεδομένα παραγωγής και επεξεργασίας ανά κάποιο συγκεκριμένο περιοδικό χρόνο. Οι πληροφορίες αποθηκεύονται σε μια χρονική βάση δεδομένων που μπορεί να αποθηκεύει αποτελεσματικά δεδομένα καταναλώνοντας ελάχιστο χώρο στο δίσκο και επιτυγχάνοντας γρήγορη ανάκτηση. Οι πληροφορίες αυτές εμφανίζονται συχνά με διαγράμματα ή ως δεδομένα πίνακα σε συγκεκριμένο χρονικό διάστημα (π.χ. την τελευταία ημέρα, τελευταίες 8 ώρες, πέρυσι).

Υπάρχουν πολλές χρήσεις για ένα historian σε ποικίλους κλάδους:

- Χώρος για καταγραφή αναγνώσεων οργάνων
- Διαδικασίες (π.χ. ρυθμός ροής, θέση βαλβίδας, επίπεδο δοχείου, θερμοκρασία, πίεση)
- Καταστάσεις παραγωγής (π.χ. μηχανή ενεργή/ανενεργή, παρακολούθηση λόγου διακοπής λειτουργίας)
- Παρακολούθηση απόδοσης (π.χ. μονάδες/ώρα, χρήση μηχανής έναντι χωρητικότητας μηχανήματος, προγραμματισμένες και μη προγραμματισμένες διακοπές λειτουργίας)

- Γενεαλογίες προϊόντων (π.χ. χρόνοι έναρξης/λήξης, ποσότητα κατανάλωσης υλικού, παρακολούθηση παρτίδας, σημεία ρύθμισης προϊόντος και πραγματικές τιμές)
- Ποιοτικοί έλεγχοι (π.χ. ποιοτικές αναγνώσεις online ή offline σε εργαστήριο για συμμόρφωση με τις προδιαγραφές)
- Κόστος κατασκευής (π.χ. κόστος μηχανής και υλικού που αναλογεί σε μια παραγωγή)
- Βοηθητικά προγράμματα (π.χ. άνθρακας, υδροηλεκτρική ενέργεια, πυρηνικά και αιολικά εργοστάσια, μετάδοση και διανομή)
- Κέντρα δεδομένων για την καταγραφή της απόδοσης της συσκευής σχετικά με το περιβάλλον του διακομιστή (π.χ. χρήση πόρων, θερμοκρασίες, ταχύτητες ανεμιστήρα), την υποδομή δικτύου (π.χ. απόδοση δρομολογητή, κατάσταση θύρας, λογιστική εύρους ζώνης) και εφαρμογές (π.χ. υγεία, στατιστικά εκτέλεσης, κατανάλωση πόρων).



Σχήμα 5.57 Το περιβάλλον του Canary Data Historian.

- Παρακολούθηση βαρέων εξοπλισμών (π.χ. καταγραφή ωρών λειτουργίας, αναγνώσεις οργάνων και εξοπλισμού για προγνωστική συντήρηση)
- Περιβαλλοντική παρακολούθηση (π.χ. καιρός, στάθμη της θάλασσας, ατμοσφαιρικές συνθήκες, μόλυνση των υπόγειων υδάτων)

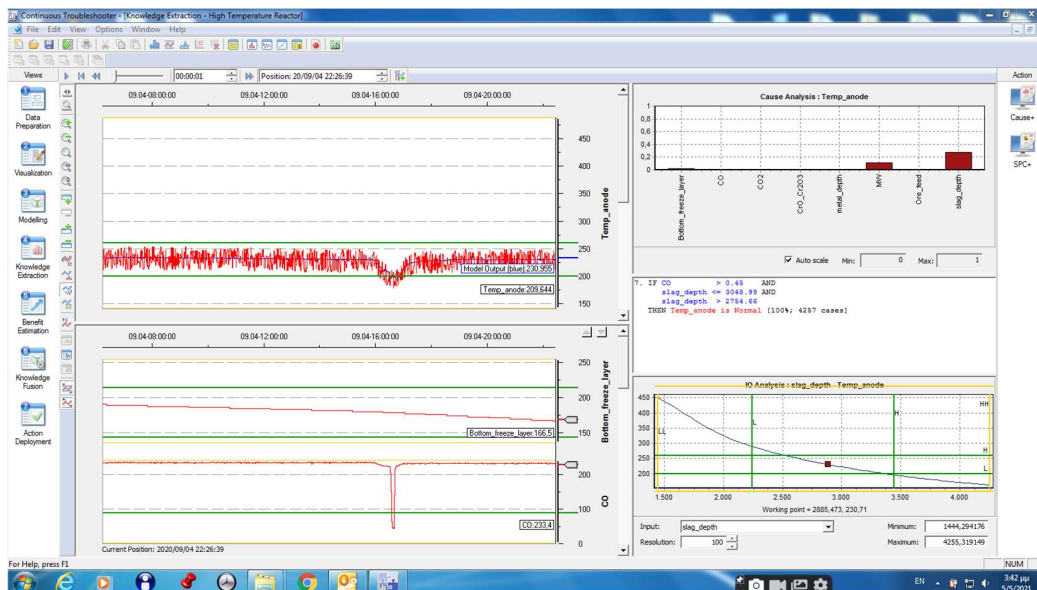
Τα historians λοιπόν, εξ ου και η ονομασία τους, δημιουργούν ένα ιστορικό δεδομένων το οποίο μπορεί κάποιος να επεξεργαστεί για οποιοδήποτε σκοπό.

Εδώ μπαίνει και μία δεύτερη κατηγορία λογισμικών, η οποία χρησιμοποιείται για την ανάλυση δεδομένων κατά τη λειτουργία σε συνδυασμό με τα δεδομένα των historians για την εξαγωγή συμπερασμάτων αναφορικά με τις διαδικασίες, βελτίωση των βαθμών απόδοσης του συστήματος, δημιουργία συναγερμών και λειτουργιών σύμφωνα με συγκεκριμένες σύνθετες συνθήκες (πχ κάποιος στατιστικής κατανομής) και ελέγχου των ροών δεδομένων κατά τη λειτουργία. Αν και εμπλέκονται κι άλλα επαγγέλματα όπως αναλυτές δεδομένων, μαθηματικοί και στατιστικοί, οι μηχανικοί κατέχουν τα πρωτεία στη διαχείριση τέτοιου τύπου δεδομένων καθώς κατανοούν καλύτερα τις δομές και τις διεργασίες που λαμβάνουν χώρα για την εξαγωγή τους. [2],[3]

Παράδειγμα μίας ενοποιητικής βιομηχανικής πλατφόρμας ανάλυσης δεδομένων αποτελεί το Proficy CSense της General Electric Digital.

5.3.1 Proficy CSense

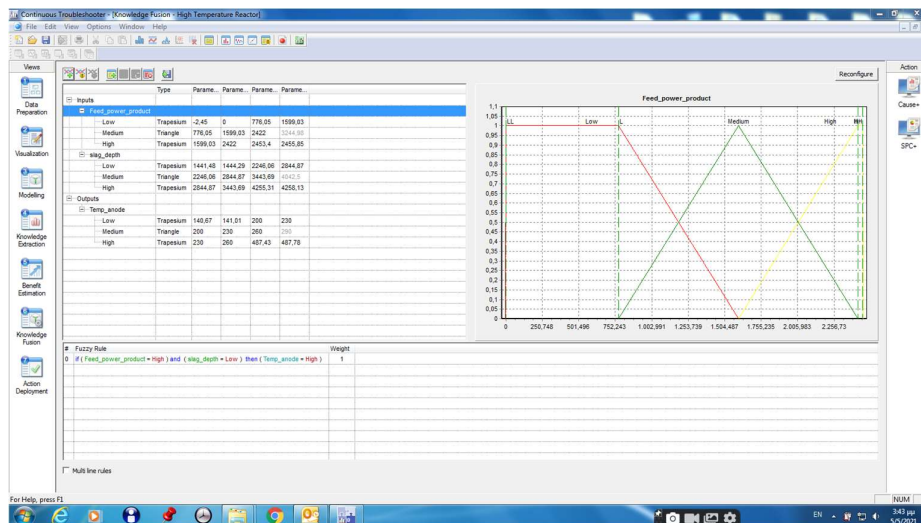
Το CSense είναι μία πλατφόρμα της General Electric Digital που παρέχει δυνατότητες μηχανικής μάθησης και ανάλυσης δεδομένων για βελτιστοποίηση διαδικασιών κλειστού κύκλου. Συγκεκριμένα προσφέρει δυνατότητες ανάλυσης, εποπτείας, πρόβλεψης, προσομοίωσης και βελτίωσης των διεργασιών μέσω μηχανικής μάθησης, δυνατότητας επεξεργασίας big data, δομών, διαγραμμάτων και πινάκων για την οπτικοποίηση, διαχείριση δομών δεδομένων μέσω διακομιστών όπως το Microsoft SQL, διασταύρωσης στοιχείων από τις δομές αυτές για τον εντοπισμό προβλημάτων και λύσεων, και πολλά άλλα.



Σχήμα 5.58 Συλλογή αποτελεσμάτων στο Continuous Troubleshooter.

Ως πλατφόρμα, αποτελείται από κάποια επί μέρους προγράμματα τα οποία λειτουργούν συνεργατικά για την παροχή μίας ολοκληρωμένης λύσης στην ανάλυση δεδομένων. Αυτά είναι τα εξής:

Continuous, and Discrete & Batch Troubleshooters: Το πρόγραμμα αυτό επιτρέπει να αντιμετωπίζονται γρήγορα διεργασίες συνεχούς, διακριτού ή περιοδικού (σε παρτίδες) χρόνου, εξετάζοντας δεδομένα παραγωγής από μια ποικιλία πηγών ιστορικών δεδομένων. Τα δεδομένα αυτά προετοιμάζονται και απεικονίζονται και βάσει αυτών κατασκευάζονται δύο μοντέλα των διεργασιών, ένα βασισμένο σε κανόνες – συνθήκες και άλλο ένα μη γραμμικό. Η γνώση που εξάγεται από αυτά μοντέλα επιτρέπει την εκτίμηση του οφέλους της προτεινόμενης αλλαγής στην εκάστοτε διαδικασία. Χρησιμοποιώντας αυτά τα μοντέλα, εντοπίζονται τα πηγαία αίτια των αποκλίσεων της διαδικασίας, κι έτσι οι διαδικασίες μπορούν να βελτιωθούν και να παράγουν ένα συνεπές προϊόν σε βέλτιστα επίπεδα απόδοσης.

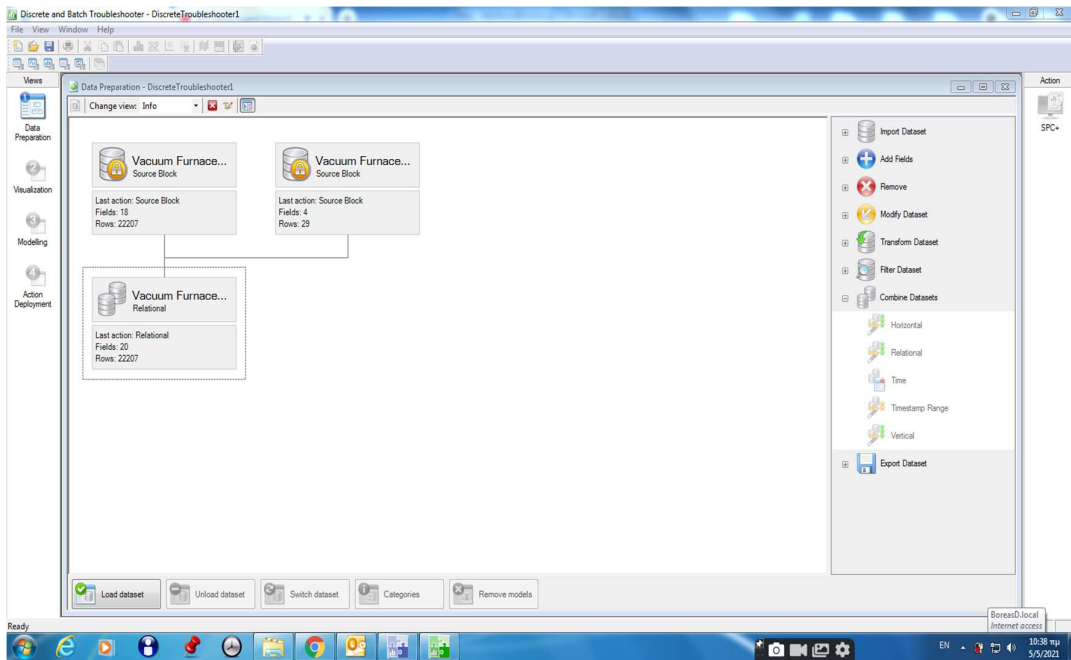


Σχήμα 5.59 Συνδυασμός γνώσεων για την οριοθέτηση επιθυμητών τιμών στο Continuous Troubleshooter.

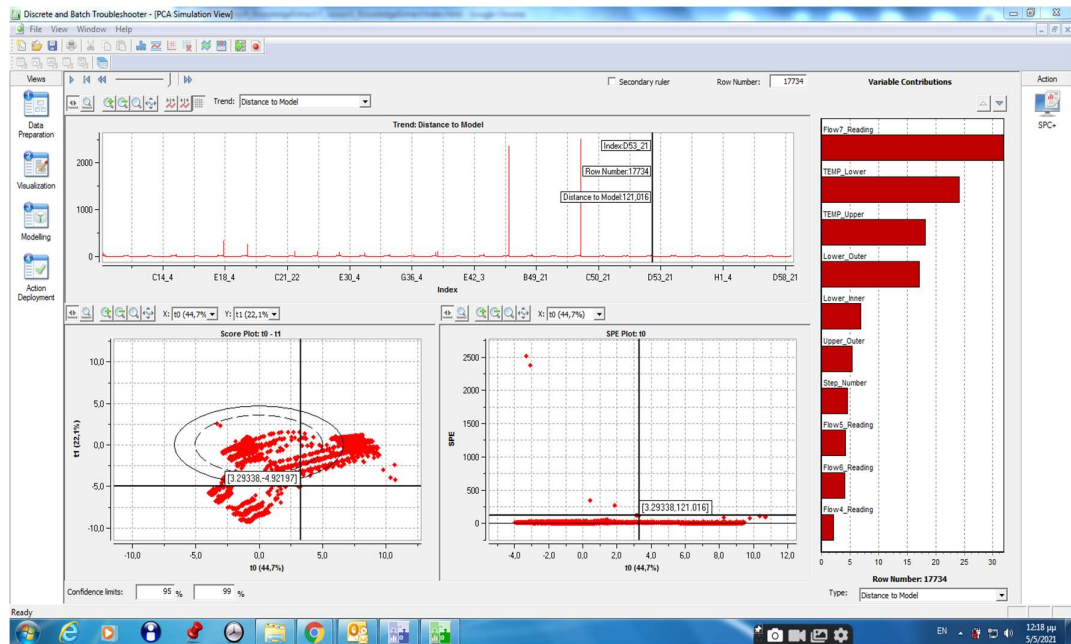
Architect: Αυτή η ολοκληρωμένη πλατφόρμα ανάπτυξης παρέχει μεταφορά και απόθεση δομικών στοιχείων για την γρήγορη ανάπτυξη επεκτάσιμων, αξιόπιστων λύσεων. Αυτές οι λύσεις μπορούν στη συνέχεια να αναπτυχθούν εν λειτουργία, είτε σε πραγματικό χρόνο είτε ως προγραμματισμένα συμβάντα, μέσω του Action Object Manager. Μία λύση μπορεί γενικά να αναπτυχθεί από έναν συνδυασμό “συνταγών” για την προετοιμασία δεδομένων, ένα προσχέδιο ενεργειών για τα δεδομένα και έναν τρόπον απόσυρσης δεδομένων για επαναχρησιμοποίηση, είτε στο Action Object Manager ή σε μια σειρά εφαρμογών άλλων εταιριών.

Action Object Services: Τα Action Object Services χρησιμοποιούνται για την ανάπτυξη και την εκτέλεση Action Objects. Η πραγματική εφαρμογή που χρησιμοποιείται για ανάπτυξη είναι το Action Object Manager. Το Action Object Manager παρέχει έναν απλό και εύκολο τρόπο ανάπτυξης και παρακολούθησης των Action Objects. Ένα Action Object είναι το όνομα που δίνεται σε μια εκτελέσιμη διαμόρφωση, η οποία θα μπορούσε να έχει δημιουργηθεί και αναπτυχθεί από διάφορες πηγές, συμπεριλαμβανομένου του Architect. Ένα Action Object που εκτελείται είναι ουσιαστικά ένας διακομιστής OPC (πρότυπο επικοινωνίας σε συστήματα SCADA) και μπορεί να συνδεθεί με πελάτες (clients) OPC. Υπάρχουν διαφορετικοί τύποι Action Objects που μπορούν να χρησιμοποιηθούν:

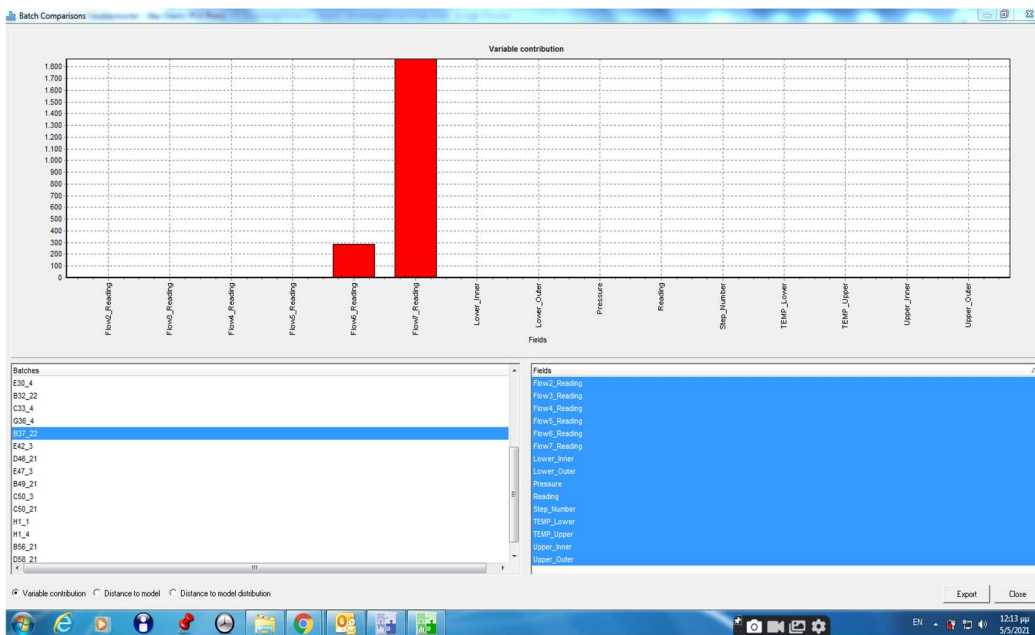
- Αντικείμενα δράσης βάσει συμβάντων
- Διαδικασία + Αντικείμενα δράσης
- Αντικείμενα δράσης σε πραγματικό χρόνο
- Προγραμματισμένα αντικείμενα δράσης



Σχήμα 5.60 Συνένωση βάσεων δεδομένων στα Troubleshooters.



Σχήμα 5.61 Προσομοίωση δεδομένων εκτός σύνδεσης.

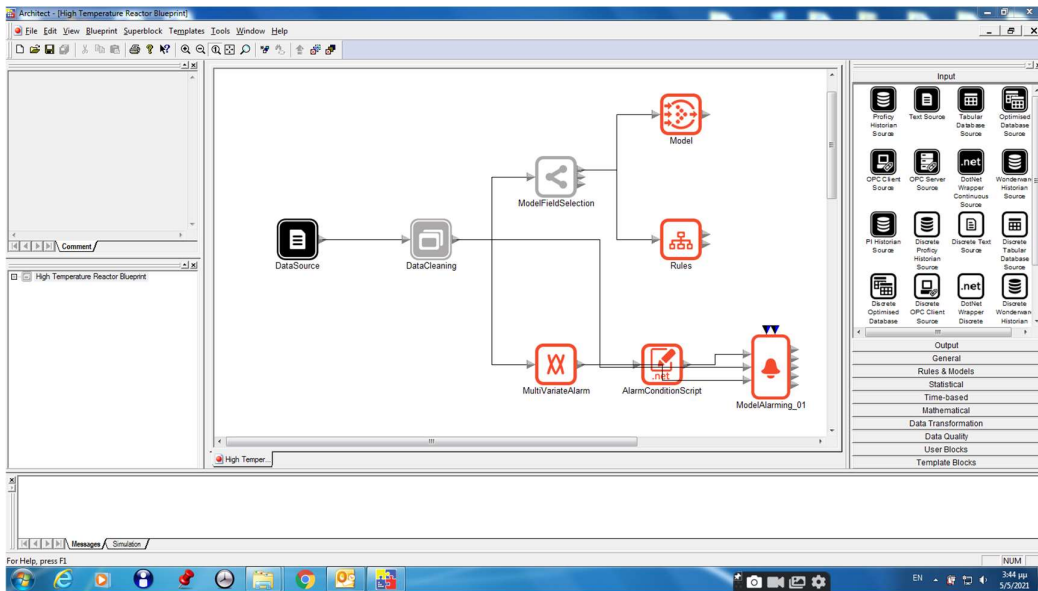


Σχήμα 5.62 Εντοπισμός μεταβλητών που προκαλούν απόκλιση από τα μοντέλα αναφοράς μέσω του *Discrete & Batch Troubleshooter*.

Action Object Toolkit: Το Action Object Toolkit έχει σχεδιαστεί για προχωρημένους χρήστες για τη δημιουργία σχεδίων και Action Objects. Αυτό το σύνολο εργαλείων λογισμικού επιτρέπει επίσης την ανάπτυξη εξελισσόμενων Action Objects, που έχουν δημιουργηθεί σε οποιονδήποτε αριθμό εφαρμογών τρίτων που μπορούν να ενσωματωθούν στο λογισμικό Proficy CSense.

MPC (Model Predictive Control) Editor: Καθορίζει και διαμορφώνει ένα μοντέλο και μία μέθοδο ελέγχου για να εκτελούνται προβλέψεις. Μόλις διαμορφωθούν, το μοντέλο MPC και η μέθοδος ελέγχου μπορούν να αποθηκευτούν σε ένα αρχείο, το οποίο στη συνέχεια χρησιμοποιείται για τη δημιουργία ενός μπλοκ MPC στο Architect για εκτός σύνδεσης προσομοίωση ή για απευθείας σύνδεση σε πραγματικό χρόνο της λύσης MPC στο σύστημα.

Τα αποτελέσματα του CSense και ανάλογων λογισμικών έχουν την δυνατότητα να βελτιώσουν κατά μεγάλο ποσοστό τον βαθμό απόδοσης των διεργασιών. Αξίζει να σημειωθεί πως η χρήση τους είναι συχνότερη σε μεγάλα συστήματα ελέγχου, όπου τα δεδομένα και οι λεπτομέρειες στις αλλαγές των εκάστοτε μεταβλητών παίζουν μεγάλο ρόλο. Στα συγκεκριμένα παραδείγματα χρησιμοποιούνται πίνακες δεδομένων πολλών χιλιάδων γραμμών.



Σχήμα 5.63 Το σχεδιαστικό περιβάλλον του Architect.

The 'ModelAlarming_01 Properties' dialog box is shown with the following settings:

- Model Settings:**
 - Model block: MultivariateAlarm
 - Display Name: Alarm_Condition_Display
 - Monitored Variable: Alarm
- Alarm Settings:**
 - Set point: 0
 - Lower bound: 0
 - Upper bound: 0.9
 - Duration (sec): 0
 - Enable checkboxes: Set point (unchecked), Lower bound (checked), Upper bound (checked), Duration (unchecked)
- View Configuration:**
 - Trend view options: Trend view + 1 (unchecked), Trend view + 2 (unchecked), Trend + messages (checked)
 - Only view adjustable input variables: unchecked
- Indicator Settings:**
 - Smoothing window size: 1 [minutes]
 - N most significant indicators: 0
 - Calculate only while alarm is active: checked

Buttons at the bottom: OK, Cancel, Apply, Help.

Σχήμα 5.63 Παραμετροποίηση μπλοκ συναγερμού στο Architect.

Κεφάλαιο 6

Προσομοίωση Συστήματος

6.1 Σκοπός

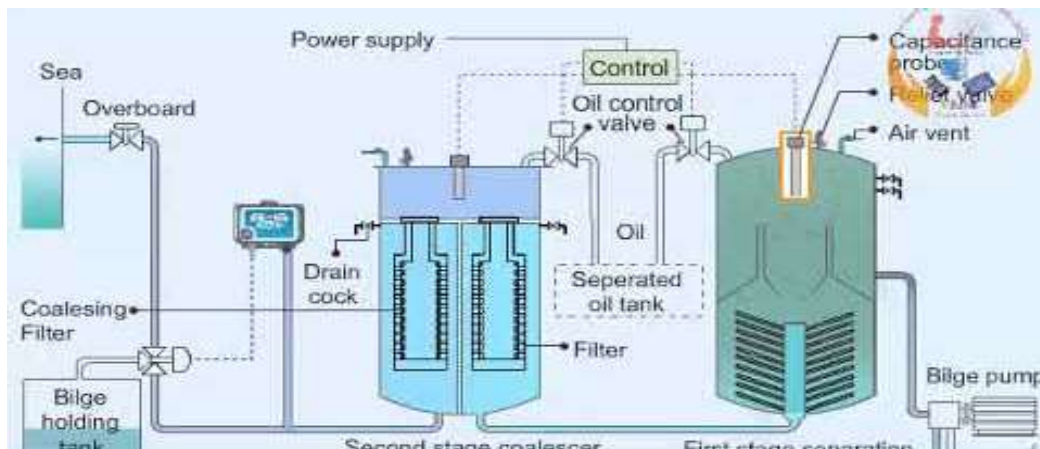
Στο παρόν κεφάλαιο θα γίνει περιγραφή της προσομοίωσης ενός φανταστικού συστήματος, ούτως ώστε να αναδειχθούν μερικές από τις προαναφερθείσες τεχνολογίες και να δειχθεί πως στο περίπου μπορεί να δημιουργηθεί ένα ολοκληρωμένο σύστημα ελέγχου. Θα χρησιμοποιηθούν, χωρίς δυστυχώς να υπάρχει η δυνατότητα πραγματικής ενοποίησης, τα:

- TIA Portal για την δημιουργία της προσομοίωσης του συστήματος αυτοματισμού μέσω δύο διασυνδεδεμένων PLC και ενός HMI που οπτικοποιεί και δίνει δυνατότητα manual ελέγχου στη διεργασία.
- Secomea LinkManager για την παραμετροποίηση ενός SiteManager IIoT Gateway ώστε να δειχθεί πως γίνεται η απομακρυσμένη σύνδεση (δεν υπάρχει πραγματικό PLC για να συνδεθούμε).
- Το λογισμικό της ELPRO Wireless Gateway για την υποτιθέμενη σύνδεση των PLC και ανταλλαγή των πληροφοριών τους ακόμα κι αν πέσει το ρεύμα.
- Proficy CSence για τη διαμόρφωση ενός θερμοστάτη με ικανότητα πρόβλεψης με απλοϊκό αλγόριθμο, αντικαθιστώντας έτσι τον θερμοστάτη με μία απλή βάνα που λόγω του λογισμικού μπορεί να βλέπει και άλλη παράμετρο εκτός της θερμοκρασίας για να κρίνει την ένταση του θερμαντικού σώματος.

Θα αναφερθούν επίσης και οι ποικίλες συσκευές που θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν στο σύστημα, ώστε ο αναγνώστης να αντιληφθεί ένα μέρος της όλης διαδικασίας. Ο αυτοματισμός αυτός θα δημιουργηθεί μόνο για το σύστημα του διαχωριστή. Κρίνοντας από τον όγκο του και τις διάφορες μεταβλητές που παραλείπονται για χάρη της απλότητας της εργασίας, κατανοεί κανείς πως ο σχεδιασμός του συστήματος ελέγχου ολόκληρου του πλοίου δεν είναι καθόλου εύκολη υπόθεση.



Σχήμα 6.64 Διαχωριστής νερού-ελαίων εντός πλοίου.



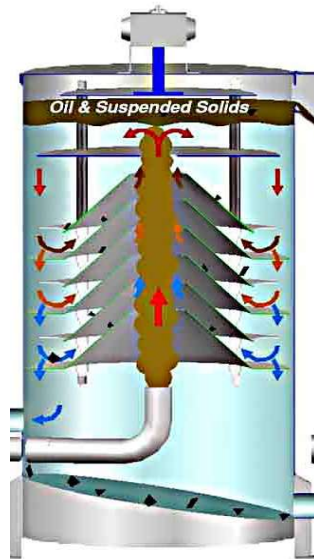
Σχήμα 6.65 Η λειτουργία του διαχωριστή.

6.2 Ο διαχωριστής νερού – ελαίων

Οι διαχωριστές λαδιού/νερού (OWS – Oil Water Separator) αποτελούν ένα βασικό κομμάτι του εξοπλισμού της ναυτιλίας και της ναυτιλιακής βιομηχανίας. Χρησιμοποιούνται για να διαχωρίζουν τα μείγματα ελαίων και νερού στα ξεχωριστά συστατικά τους. Συναντώνται συνήθως σε πλοία, στην περιοχή των υδροσυλλεκτών, η οποία βρίσκεται στον χαμηλότερο τομέα τους. Το νερό που συλλέγεται εκεί περιλαμβάνει νερό αποχέτευσης, νερό που έχει απομείνει από τους λέβητες, πόσιμο νερό και από άλλα σημεία. Ωστόσο, στο μείγμα δεν συγκαταλέγεται μόνο η αποστράγγιση του νερού. Περιέχονται και στοιχεία από άλλο σύστημα αποστράγγισης του πλοίου, τα οποία περιλαμβάνουν καύσιμα, λιπαντικά, υδραυλικά υγρά, αντιψυκτικά, διαλύτες και χημικά καθαρισμού σε μικρές ποσότητες. Το OWS έχει σκοπό να απομακρύνει ένα μεγάλο μέρος αυτών των ρύπων πριν την απόρριψή του νερού στη θάλασσα. Καθώς υπάρχουν πολύ υψηλές απαιτήσεις για την προστασία του περιβάλλοντος (βλ. Marpol 73/78), πληρούνται πολύ συγκεκριμένες διαδικασίες. Τα σύγχρονα συστήματα OWS διαθέτουν συναγερμούς και αυτόματες διατάξεις λειτουργίας που ενεργοποιούνται όταν η περιεκτικότητα των λυμάτων σε αποθέματα πετρελαίου υπερβαίνει ένα ορισμένο όριο.

Υπάρχουν διάφορα ήδη διαχωριστών. Ο τρόπος λειτουργίας του διαχωριστή που θα χρησιμοποιηθεί στην παρούσα εργασία όμως είναι αρκετά απλός: Ο διαχωριστής αποτελείται από τρεις μικρές δεξαμενές. Η πρώτη είναι συνδεδεμένη με μία μεγαλύτερη, τον υδροσυλλέκτη, στην οποία μαζεύεται το γεμάτο ρύπους νερό από το υπόλοιπα μέρη του πλοίου. Η σύνδεση μεταξύ του υδροσυλλέκτη και του OWS γίνεται μέσω μίας ρυθμιζόμενης αντλίας με ελεγχόμενη αναλογική βαλβίδα.

Κάθε δεξαμενή έχει λίγο μικρότερη χωρητικότητα από την προηγούμενη. Οι ρύποι, όταν φτάσουν στο χείλος μιας δεξαμενής, αρχίζουν να χύνονται στην επόμενη. Καθώς όμως το πετρέλαιο και τα υπόλοιπα έλαια και ρύποι επιπλέουν στο νερό, επειδή έχουν χαμηλότερη πυκνότητα, μαζεύονται κυρίως στην επιφάνεια και είναι αυτά που κυρίως “ξεχειλίζουν” τελικά στην επόμενη δεξαμενή. Κάθε δεξαμενή διαθέτει επίσης και κάποια ειδικά φίλτρα τα οποία διευκολύνουν τον διαχωρισμό των συστατικών του μείγματος καθώς αυτή γεμίζει. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα το τελικό μείγμα να έχει πολύ μεγάλη περιεκτικότητα σε έλαια και ρύπους και πολύ μικρή σε νερό. Τότε το νερό που έχει μείνει αποβάλλεται, ενώ το υπόλοιπο μείγμα συλλέγεται σε ξεχωριστή δεξαμενή για να αποτεφρωθεί επί ξηράς.



Σχήμα 6.66 Φίλτρα εντός των δεξαμενών. Τα ελαφρύτερα συστατικά διαχωρίζονται και αναδύονται προς την επιφάνεια, έτοιμα να φύγουν προς την επόμενη δεξαμενή.

Βάσει του νόμου του Stoke, η ταχύτητα διαχωρισμού των ελαίων και του νερού είναι αντίστοιχη με την ταχύτητα ανόδου των σταγόνων πετρελαίου η οποία είναι ανάλογη της διαφοράς πυκνότητας μεταξύ του νερού και των ελαίων, καθώς και του μεγέθους των σταγόνων του πετρελαίου:

$$V_t = [(g)(\rho_w - \rho_o)(d^2)] / [(18 \times \mu_w)]$$

Όπου:

V_t = ρυθμός ανόδου των σταγόνων πετρελαίου (cm/s or ft/sec)

g = επιτάχυνση της βαρύτητας (cm/s² or ft/s²)

ρ_w = πυκνότητα του νερού υπό την κατάλληλη θερμοκρασία (g/cm³ or lbm/ft³)

ρ_o = πυκνότητα του νερού υπό την κατάλληλη θερμοκρασία (g/cm³ or lbm/ft³)

d = διάμετρος σταγόνας πετρελαίου (cm or ft)

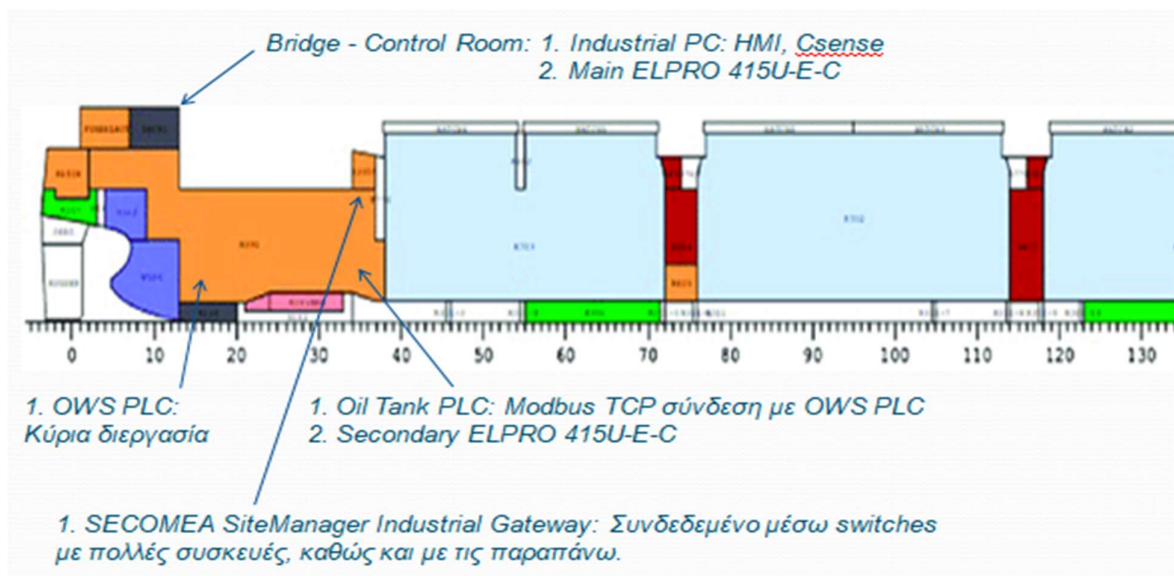
μ_w = απόλυτο ιξώδες του νερού (g/cm-s or lbm/ft-s)

Η διάμετρος των σταγόνων του πετρελαίου καθορίζεται από τα φίλτρα, ενώ οι ιδανικές πυκνότητες ρυθμίζονται από την θερμοκρασία. Η θερμοκρασία ρυθμίζει επίσης και το ιξώδες του νερού. Η χαμηλή θερμοκρασία του συνεχούς ρευστού εμποδίζει τον διαχωρισμό ενόψει του αυξημένου ιξώδους. Ο διαχωρισμός είναι αποτελεσματικότερος σε ελαφρώς μεγαλύτερες θερμοκρασίες. Η υψηλή θερμοκρασία όμως μπορεί να έχει ως αποτέλεσμα τον σχηματισμό γαλακτώματος από μηχανική ανάδευση, δηλαδή την μερική διάλυση του πετρελαίου στο νερό, και από ένα σημείο και μετά ενέχει και κίνδυνο ανάφλεξης ή επικίνδυνης αύξησης των πιέσεων εντός του συστήματος. Ανάλογα το πλοίο, το πετρέλαιο και τα υπόλοιπα έλαια και απόβλητα ποικίλουν, οπότε υποθέτουμε πως οι ιδανικές θερμοκρασίες βρίσκονται μεταξύ 35 και 55 βαθμών Κελσίου για την προσομοίωσή μας. Ρόλο μπορεί να παίξει επίσης και η ροή του μείγματος μέσα στο OWS: μεγαλύτερη ροή συνεπάγεται καλύτερο διαχωρισμό. Πολύ μεγάλη ροή όμως συνεπάγεται υπερχειλίση σε βαθμό που μεγάλες ποσότητες νερού επίσης θα εκρέουν προς τα επόμενα στάδια, καθιστώντας τον διαχωρισμό κατώτερης ποιότητας.

Σε περίπτωση που η δεξαμενή αποβλήτων γεμίζει ή η θερμοκρασία του μείγματος πλησιάζει στα ανώτερα ή κατώτερα επιθυμητά όρια ή τα ξεπερνάει, ενεργοποιούνται συναγερμοί και σε πιο ακραίες περιπτώσεις, αυτόματη απενεργοποίηση της διαδικασίας. Αυτό δίνει χρόνο στους χειριστές να αναζητήσουν την αιτία του προβλήματος χωρίς να υπάρχει κίνδυνος σοβαρότερης βλάβης και διατηρώντας το προσωπικό αλλά και τον εξοπλισμό ασφαλή. [7],[8]

6.3 Περιγραφή του συστήματος ελέγχου

Στην παρούσα προσομοίωση, ορίζεται το σύστημα ελέγχου ενός OWS. Ο διαχωριστής μας συνδέεται μέσω ελεγχόμενης αναλογικής βάνας με έναν υδροσυλλέκτη του πλοίου. Σε απόσταση γύρω στα 15m, συνδέεται μέσω σωλήνας με τη δεξαμενή πετρελαίου, στην οποία θα εκρέει το πετρέλαιο και οι λοιπές προσμίξεις, ενώ με ξεχωριστή σωλήνωση το νερό αποβάλλεται στη θάλασσα. Στο σύστημα υπάρχουν επίσης τα εξής:



Σχήμα 6.67 Σχεδιάγραμμα του συστήματος ελέγχου

Ένα PLC της οικογένειας S7-1500 compact τύπου με CPU 1512C-1, DI 16xDC24V, DQ 16xDC24V/0,5A, AI 4xU/I, AI 1xRTD 16-bit, AQ 2xU/I 16-bit ελέγχει τις διεργασίες του OWS, δηλαδή:

- Την ροή από τον υδροσυλλέκτη στον διαχωριστή.
- Την στάθμη της πρώτης δεξαμενής, όταν υπάρχει αναμονή της διεργασίας ή ανάγκη καθαρισμού των υπόλοιπων δεξαμενών (κυρίως για επίδειξη συγκεκριμένων λειτουργιών ελέγχου).
- Την εκροή του μείγματος από την μία δεξαμενή στην άλλη.
- Την εκροή του μη επεξεργασμένου μείγματος από την πρώτη και δεύτερη δεξαμενή πίσω στον υδροσυλλέκτη.
- Την θερμοκρασία του μείγματος εντός του υδροσυλλέκτη και κατ' επέκταση του διαχωριστή.

- Παλιότερα, μία αντλία σε σύνδεση με ένα ψηφιακό soft starter το οποίο έχει αφαιρεθεί και χρησιμοποιείται αλλού.
- Την Modbus TCP επικοινωνία (client) μέσω καλωδίου RJ45 με το PLC που βρίσκεται στην δεξαμενή πετρελαίου.
- Την ειδοποίηση ή και την διακοπή της λειτουργίας σε περίπτωση επικίνδυνου, υψηλού συναγερμού.

Ένα PLC της οικογένειας S7-300 με CPU 314C-2, DI24/DO16 και AI5/AO2 ενσωματωμένα και AO 4 16-bit, ελέγχει τις διεργασίες της δεξαμενής πετρελαίου, δηλαδή:

- Την Modbus TCP επικοινωνία (server) μέσω καλωδίου RJ45 με το PLC που βρίσκεται στον διαχωριστή. Στο PLC του OWS αποστέλλονται η στάθμη της δεξαμενής πετρελαίου μαζί με ένα bit που επιβεβαιώνει τη σωστή σύνδεση του TCP πρωτοκόλλου.
- Την στάθμη της δεξαμενής (διάβασμα μόνο στην προσομοίωση).

Ένας υπολογιστής βιομηχανικού τύπου με εγκατεστημένο το λογισμικό WinCC εκτελεί τον ρόλο του HMI. Ενώ τα PLC βρίσκονται στον χώρο που ελέγχουν, το HMI, καθώς συνδέεται με RJ45 με τα συστήματα του караβιού, μπορεί να βρίσκεται σχεδόν οπουδήποτε (υποθέτοντας πως η απόσταση δεν είναι τόσο μεγάλη ώστε να υπάρχει αλλοίωση των δεδομένων). Ας πούμε εδώ πως βρίσκεται στο μπροστινό μέρος, στο κέντρο ελέγχου του караβιού. Ο ίδιος υπολογιστής ή άλλος υπολογιστής του κέντρου ελέγχου εκτελεί και το λογισμικό CSense της GE για μία άλλη μορφή ελέγχου της θερμοκρασίας στο OWS, αλλά και για την βελτιστοποίηση πολλών διεργασιών του караβιού σε πραγματικό χρόνο, καθώς και για την γρήγορη εύρεση των παραμέτρων που προκαλούν τυχόν προβλήματα στις διεργασίες. Το CSense θα αντλούσε τα δεδομένα πραγματικού χρόνου από ένα Historian ή ένα OPC Server που θα αντλούσε τα δεδομένα από τις διεργασίες του πλοίου. Καθώς δεν υπάρχει δυνατότητα για άντληση τέτοιων δεδομένων ή ύπαρξη των κατάλληλων λογισμικών, τα δεδομένα θα παρθούν από πίνακες σε μορφή excel για χάρη της προσομοίωσης.

Ένα SiteManager Industrial Gateway 1149 μέσω του οποίου συνδέονται τα δύο PLC και πολλές άλλες συσκευές του караβιού, καθώς και το βιομηχανικό PC, και στο οποίο έχει πρόσβαση ένας χρήστης από τον φορητό του υπολογιστή από οπουδήποτε στον κόσμο. Στο SiteManager δημιουργούνται δύο agents, ένα για να έχει απομακρυσμένη πρόσβαση στον βιομηχανικό υπολογιστή, και ένα για να έχει πρόσβαση σε όλο το υποδίκτυο του караβιού με διεύθυνση 192.168.0.0/24, ούτως ώστε ανά πάσα στιγμή να συνδέεται σε όποια συσκευή θέλει.

Δύο συσκευές ELPRO 415U-E-C οι οποίες βρίσκονται η μία στη δεξαμενή πετρελαίου και η άλλη στο κέντρο ελέγχου στο μπροστινό μέρος του караβιού. Οι κεραίες τους εκτείνονται εξωτερικά του караβιού ώστε να υπάρχει ανταλλαγή σήματος. Έχει γίνει η κατάλληλη χαρτογράφηση ώστε να επικοινωνούν μεταξύ τους την στάθμη της δεξαμενής πετρελαίου, σε περίπτωση που διακοπεί η σύνδεση Modbus, καθώς και ένα bit που δείχνει πότε η σύνδεση είναι ενεργή. Ταυτόχρονα στέλνονται στο κέντρο ελέγχου και πολλά άλλα bits και bytes δεδομένων από άλλα ELPRO από όλο το πλοίο. Αξίζει να σημειωθεί εδώ πως το ELPRO δεν λειτουργεί παράλληλα με την κανονική Modbus TCP σύνδεση καθώς η θύρα του S7-300 θα μπορεί να εξυπηρετήσει μόνο μία σύνδεση εκ των δύο τη φορά. Στην επικοινωνία του ELPRO με το PLC παρεμβάλλεται για παράδειγμα ένας NO ρελές ο οποίος θα κλείνει όταν πέσει το ρεύμα ή γενικότερα όταν υπάρχει λόγος σύνδεσης του ELPRO.

Παρακάτω θα αναλυθεί η προσομοίωση των βασικών λειτουργιών μέσω του TIA Portal και εν συνεχεία οι περαιτέρω συνδέσεις και διαμορφώσεις των λοιπών συσκευών και λογισμικών.

6.4 Προσομοίωση στο TIA Portal

Θα ξεκινήσουμε από την σχεδίαση του HMI, καθώς αυτή μας δείχνει μια καλή εικόνα του πραγματικού συστήματος και του ελέγχου που υλοποιείται. Το HMI μας χωρίζεται σε τέσσερις διαφορετικές οθόνες. Οι τρεις σχετίζονται άμεσα με το σύστημα, ενώ η μία έχει εκπαιδευτικό σκοπό.

Στην “Oil-Water Separator” οπτικοποιείται σε πραγματικό χρόνο η λειτουργία του διαχωριστή και παρέχεται δυνατότητα χειρισμού και εποπτείας των βασικών λειτουργιών:

1. Έλεγχος της ροής του μείγματος από τον υδροσυλλέκτη μέσω χειρισμού της αναλογικής βάνας ανάμεσα στον υδροσυλλέκτη και στον διαχωριστή. Ο υδροσυλλέκτης βρίσκεται σε υψηλότερο σημείο, κι έτσι η αντλία που υπήρχε και ελεγχόταν παλιότερα από το PLC έχει αφαιρεθεί.

2. Ενεργοποίηση της απορρόφησης του μείγματος από την δεξαμενή 1 και επιστροφής του στον υδροσυλλέκτη μέσω του κουμπιού “Drain” κάτω από την δεξαμενή.

3. Ενεργοποίηση της απορρόφησης του νερού από την δεξαμενή 2 και αποβολής του στη θάλασσα μέσω του κουμπιού “Drain” κάτω από την δεξαμενή.

4. Ενεργοποίηση αντλίας που απορροφά το εναπομείναν πετρέλαιο από την τελευταία δεξαμενή μετά από κατάλληλο φιλτράρισμα και επεξεργασία του, και το κατευθύνει προς τη δεξαμενή πετρελαίου.

5. Παρακολούθηση ενδείξεων (λαμπάκια πάνω από τις δεξαμενές) για την πλήρωση των δεξαμενών.

6. Παρακολούθηση της θερμοκρασίας του μείγματος.

7. Έλεγχος της θεμιτής θερμοκρασίας από PID ελεγκτή δύο εξόδων που ελέγχει ένα ψυκτικό και ένα θερμαντικό σώμα, μέσω του “setpoint”.

8. Παρακολούθηση τυχόν συναγερμών σχετιζόμενων με τη θερμοκρασία ή τη στάθμη της δεξαμενής πετρελαίου και αναγνώρισή τους.

9. Πλοήγηση προς τις υπόλοιπες οθόνες του HMI από τα ανάλογα κουμπιά.

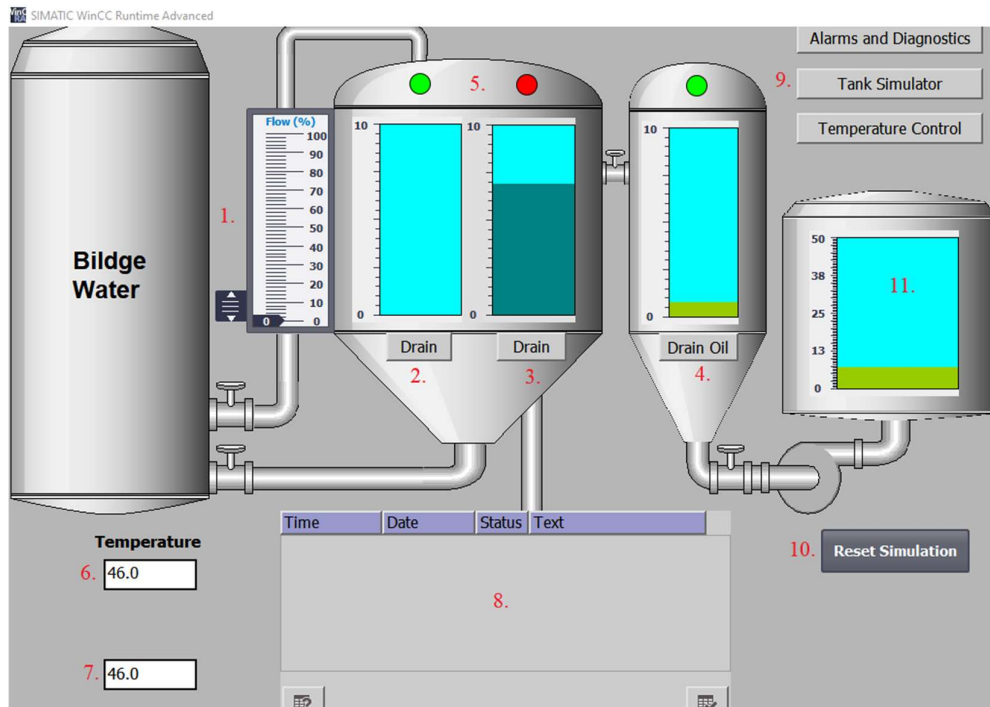
10. Επαναφορά της προσομοίωσης στις αρχικές συνθήκες μέσω του “Reset Simulation” .

11. Επίβλεψη της στάθμης της δεξαμενής πετρελαίου μέσω του άλλου PLC.

Στην “Tank Simulator” προσομοιώνεται η πρώτη δεξαμενή με διάφορους τρόπους ελέγχου της στάθμης. Δίνεται όμως ταυτόχρονα και η δυνατότητα παρακολούθησης διαγράμματος της στάθμης της δεξαμενής και της επιτρεπόμενης ροής σε συνάρτηση με τον χρόνο με σκοπό την κατανόηση των λειτουργιών.

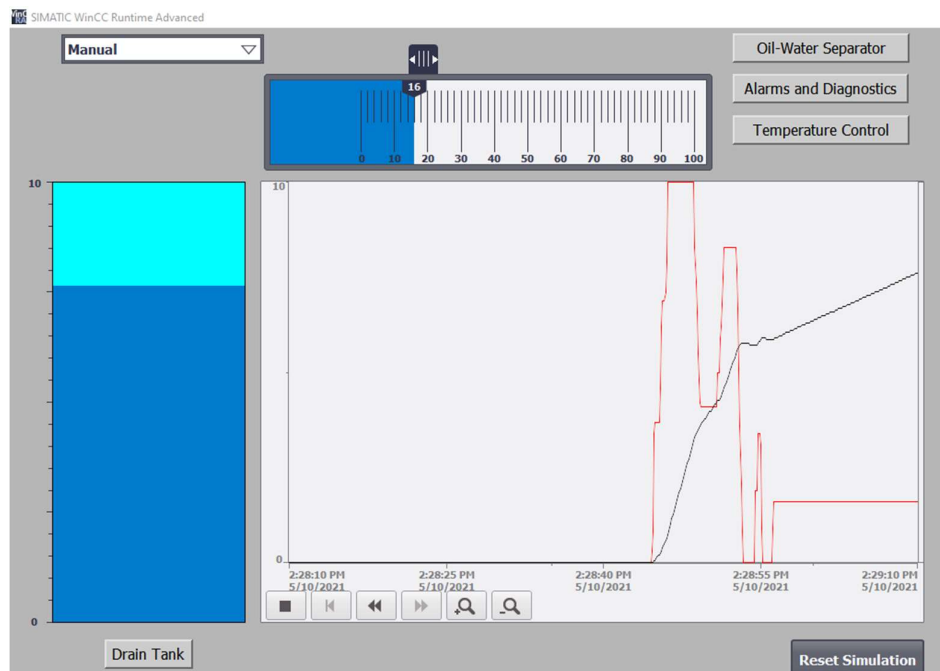
- Στην “Manual” έχουμε χειροκίνητο έλεγχο ροής, για να δούμε πως απεικονίζονται οι κινήσεις στο διάγραμμα.

- Στην “Ideal” έχουμε τον ιδανικό τρόπο λειτουργίας με ρύθμιση του “setpoint” και τέλεια σταθεροποίηση της στάθμης εκεί. Στην πραγματικότητα αυτό δεν γίνεται γιατί η βάνα θα αργήσει ελάχιστα να κλείσει μέχρι να αντιληφθεί ότι η στάθμη βρίσκεται στο θεμιτό σημείο, στη σωλήνα θα υπάρχει υπολειπόμενο νερό που θα συνεχίσει να τρέχει για ελάχιστο χρονικό διάστημα και όταν η βάνα είναι κλειστή, θα υπάρχει μικρή σταδιακή απορρόφηση του νερού από της περιβάλλουσες σωληνώσεις, που θα χαμηλώνουν τη στάθμη.

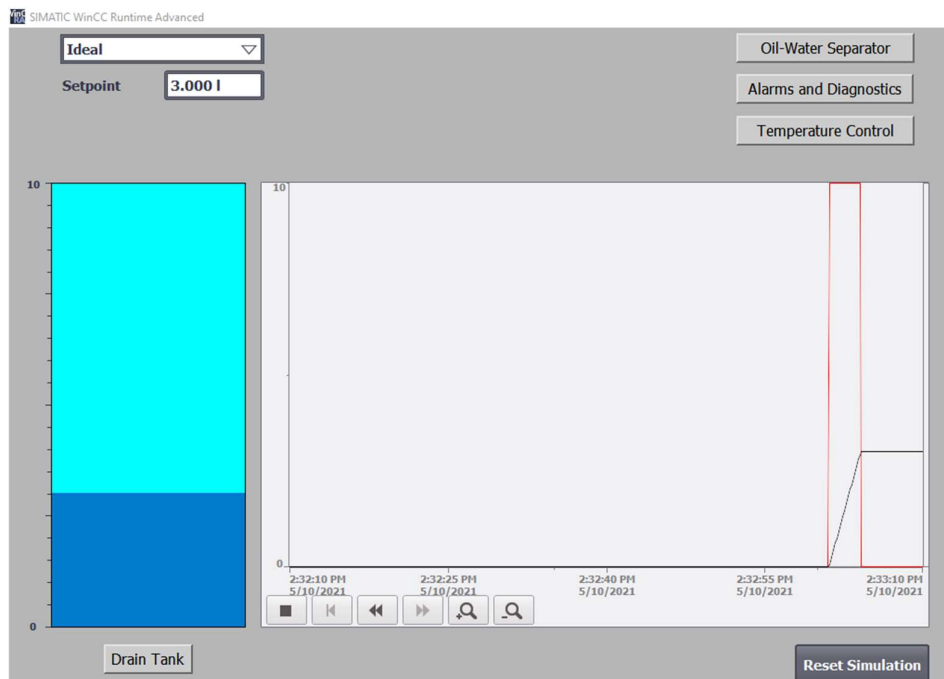


Σχήμα 6.68 Η κύρια οθόνη του OWS.

- Στην “ON/OFF with tolerance” παρέχεται μία απλή μέθοδος διατήρησης της στάθμης στο θεμιτό σημείο με μία παρεχόμενη ανοχή. Όταν πέσει η στάθμη κατά “Tolerance” κάτω από το θεμιτό σημείο, ξαναοίγει η βάννα και ξανακλείνει όταν ξεπεράσει κατά “Tolerance” τη θεμιτή στάθμη. Παρ’ ότι αποτελεσματικός έλεγχος για τέτοιου είδους εφαρμογές όπου στην πραγματικότητα δεν μας ενδιαφέρει η πολύ μεγάλη ακρίβεια, σε πιο απαιτητικές εφαρμογές όπου το κάθε χιλιοστό απόκλισης μπορεί να παίζει καθοριστικό λόγο, η μέθοδος δεν είναι



Σχήμα 6.69 “Manual” έλεγχος της στάθμης.



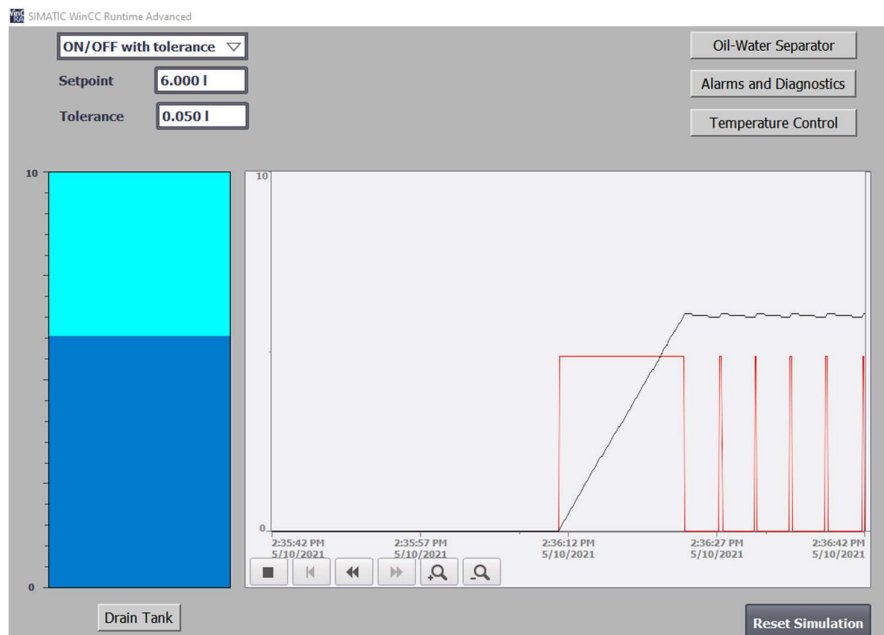
Σχήμα 6.70 "Ideal" έλεγχος της στάθμης.

εφαρμόσιμη γιατί όσο πιο μικρή η ανοχή για επίτευξη μεγαλύτερης ακρίβειας, τόσο πιο συχνά ανοίγει και κλείνει η βάννα (ή ο οποιοσδήποτε μηχανισμός εξόδου) και έτσι καταπονείται μηχανικά και ο χρόνος ζωής του μειώνεται.

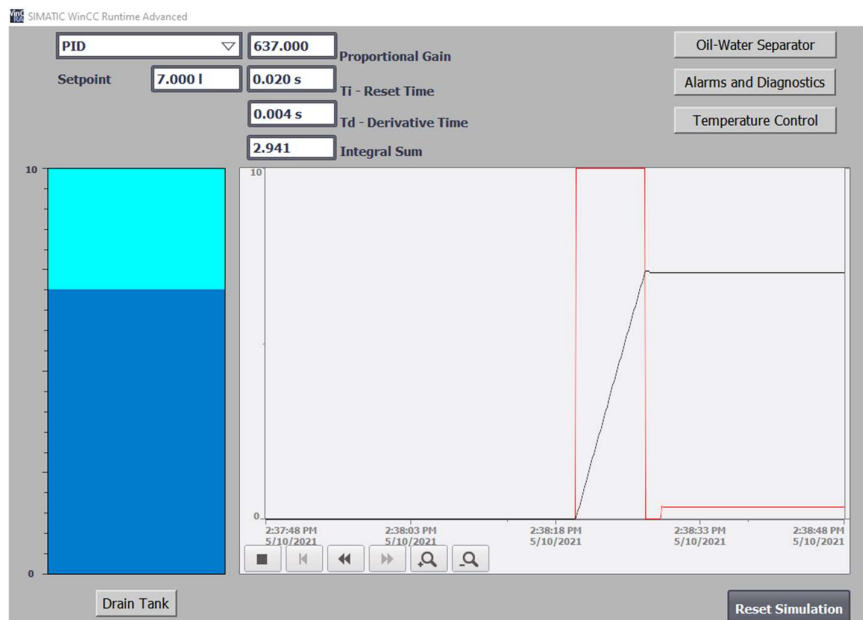
- Στην "PID" έχουμε έναν από τους πιο δημοφιλείς τρόπους ελέγχου διεργασιών κλειστού κύκλου. Μέσω παροχής πληροφοριών από αισθητήρες για την παρούσα κατάσταση και μίας μαθηματικής φόρμουλας στην οποία ορίζονται κάποιες παράμετροι, ο έλεγχος αποκτά μεγάλη ακρίβεια με ελάχιστα περιθώρια σφάλματος ή καταπόνησης μηχανισμών. Λεπτομέρειες για τη λειτουργία των PID ελεγκτών δίνονται στο επόμενο κεφάλαιο.

Πειραματιζόμενοι με τις διαφορετικές επιλογές, είναι εύκολο να καταλάβουμε την διαφορά τους, καθώς και τις δυνατότητες ενός PID ελεγκτή όταν αυτός ρυθμιστεί σωστά. Σε διεργασίες υψηλών προδιαγραφών, οι υπόλοιπες επιλογές είναι συχνά απαγορευτικές. Η διακύμανση για παράδειγμα της βάννας στην "ON/OFF with tolerance" θα μπορούσε να προκαλέσει ζημιά στη βάννα, αν σκεφτούμε πως η λειτουργία του διαχωριστή είναι σχεδόν ασταμάτητη καθ' όλη τη διάρκεια ενός ταξιδιού. Σε εικοσιτέσσερις ώρες για παράδειγμα, η βάννα θα έχει ανοιγοκλείσει περίπου 14.400 φορές (περίπου $10/s \times 60/hour \times 24 \text{ ώρες}$) για ανοχή 5 εκατοστών.

Στην "Alarms & Diagnostics" δίνεται μια καθαρή εικόνα των ενεργών συναγερμών και δυνατότητα αναγνώρισής τους ή προβολής λεπτομερειών. Ταυτόχρονα, διατηρείται και ένα μικρό αρχείο δεδομένων που (log) που προβάλλει ώρα και ημερομηνία των συναγερμών που έχουν ενεργοποιηθεί, σε περίπτωση που θέλουμε να αναγνωρίσουμε τη συχνότητα ενός σφάλματος και να διερευνήσουμε τα αίτιά του.



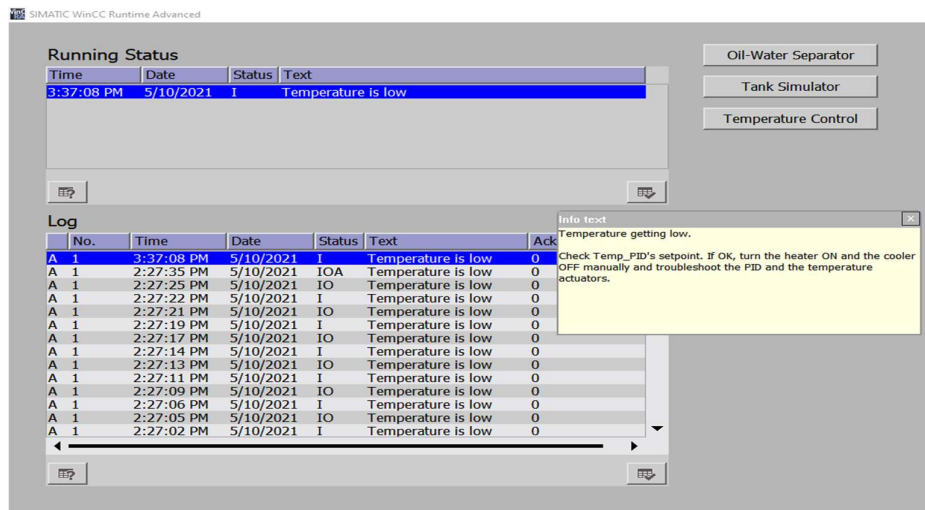
Σχήμα 6.71 "ON/OFF with tolerance" έλεγχος της στάθμης.



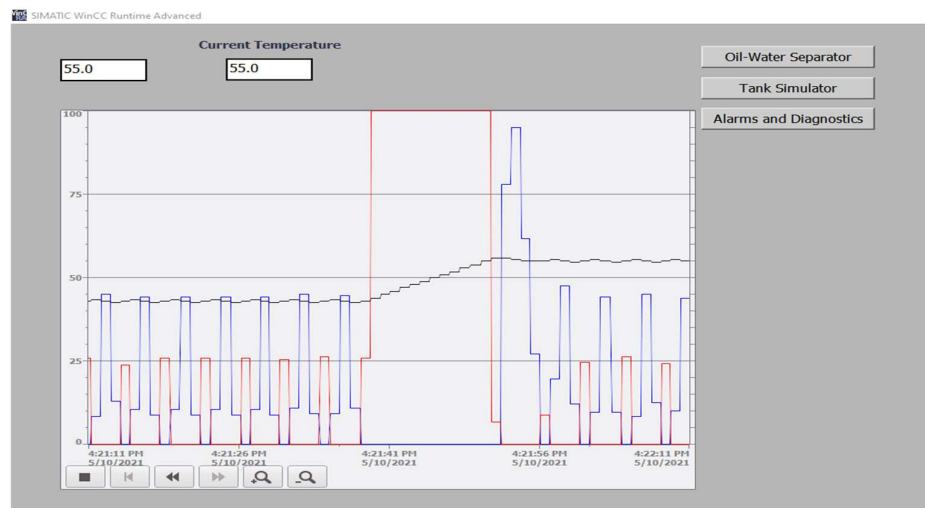
Σχήμα 6.72 "PID" έλεγχος της στάθμης.

Τέλος, στην "Temperature Control" παρουσιάζεται ο PID ελεγκτής δύο εξόδων που ελέγχει την θερμοκρασία του μείγματος, καθώς και η λειτουργία του θερμαντικού και του ψυκτικού σώματος σε συνάρτηση με τον χρόνο. Η διαρκής αυξομείωση που φαίνεται εδώ οφείλεται καθαρά σε λόγους προσομοίωσης, καθώς σε κάθε scan cycle του PLC εκτελούνται μαθηματικές πράξεις για την αυξομείωση της θερμοκρασίας, πράγμα το οποίο το PID που τρέχει σε ακόμα ταχύτερους κύκλους, βλέπει σαν διακριτές αλλαγές και τις αντιμετωπίζει ανάλογα.

Από τα παραπάνω λοιπόν, ο μηχανικός διεργασιών έχει πλήρη εικόνα του τι συμβαίνει κατά τη λειτουργία του συστήματος του διαχωριστή και μπορεί να ελέγξει όλες τις απαραίτητες λειτουργίες ώστε να διασφαλίσει ικανοποιητική απόδοση και επαρκή καθαρισμό των λυμάτων.



Σχήμα 6.73 Η οθόνη Alarms & Diagnostics.



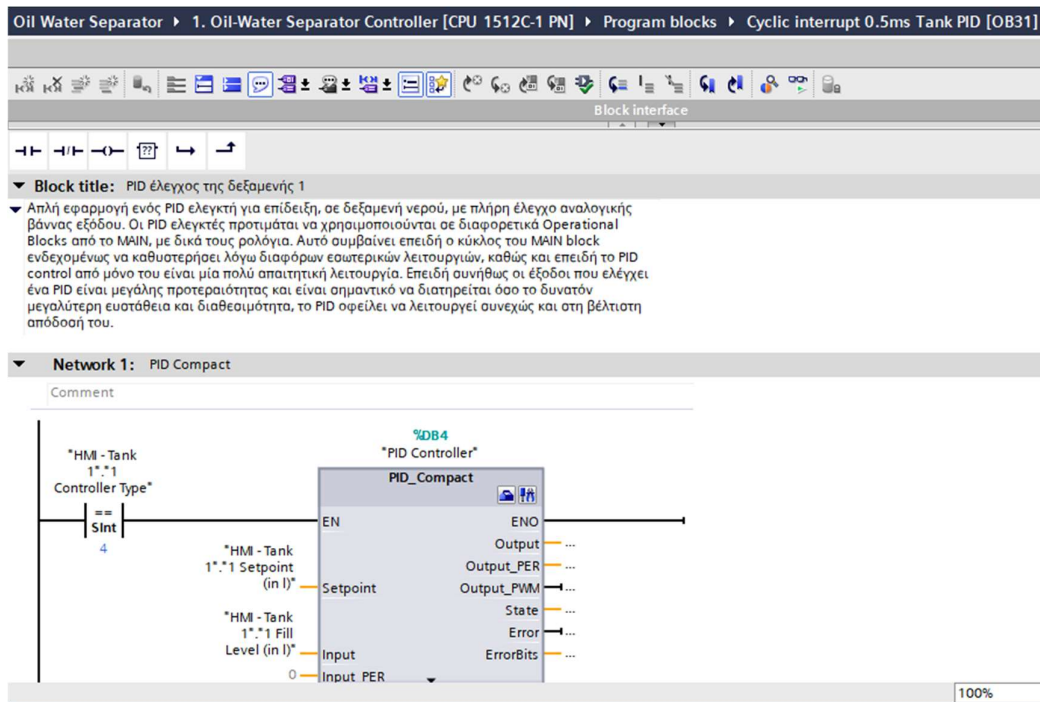
Σχήμα 6.74 Η οθόνη Temperature Control.

6.4.1 PID Ελεγκτές

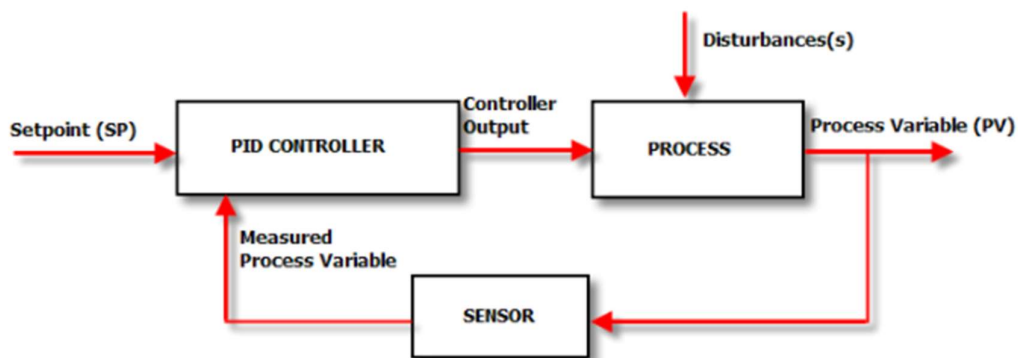
Ο PID ελεγκτής έχει διάφορα σημαντικά χαρακτηριστικά: παρέχει ανατροφοδότηση ελέγχου, έχει την ικανότητα να εξαλείφει το σφάλμα μόνιμης κατάστασης (steady – state error) μέσω του ολοκληρωτικού του όρου, μπορεί να προβλέπει το μελλοντικό σφάλμα μέσω του διαφορικού του όρου. Οι PID ελεγκτές παρέχουν ικανοποιητικό έλεγχο σε πολλά προβλήματα ελέγχου, ειδικά όταν οι δυναμικές που διέπουν τη διεργασία είναι ήπιες και οι απαιτήσεις ελέγχου μέτριες. Οι ελεγκτές αυτού του είδους έρχονται σε αρκετές διαφορετικές μορφές όπως για παράδειγμα αυτόνομα συστήματα μέσα σε κουτιά για έναν ή περισσότερους βρόχους και παράγονται εκατοντάδες χιλιάδες PID ελεγκτές κάθε χρόνο. Ο PID έλεγχος είναι σημαντικό στοιχείο ενός καταμεμημένου συστήματος ελέγχου. Οι ελεγκτές είναι επίσης ενσωματωμένοι σε πολλά, ειδικού σκοπού, συστήματα ελέγχου. Στον έλεγχο διεργασιών, η συντριπτική πλειοψηφία των βρόχων ελέγχου είναι PID τύπου (οι περισσότεροι βρόχοι είναι στην πραγματικότητα PI ελέγχου).

Στην συγκεκριμένη προσομοίωση, όπως έχει ήδη αναφερθεί, χρησιμοποιούνται δύο ξεχωριστοί PID. Ο ένας έχει σκοπό την επίδειξη της λειτουργίας ενός PID ελέγχοντας τη στάθμη

μίας δεξαμενής, ενώ ο άλλος ελέγχει ταυτόχρονα δύο εξόδους για τη ρύθμιση της θερμοκρασίας. Όσο και να απλοποιείται η λειτουργία τους όμως, παραμένει δύσκολη στην κατανόηση και ακόμα πιο δύσκολη είναι η παραμετροποίησή τους, την οποία πολλοί αποκαλούν “τέχνη”.



Σχήμα 6.75 Η απλή συνάρτηση του PID της δεξαμενής σε Ladder.



Σχήμα 6.76 Σύστημα κλειστού κύκλου με χρήση PID ελεγκτή.

Ένα μπλοκ PID ορίζεται πολύ εύκολα στην γλώσσα Ladder. Υπάρχει έτοιμο σαν συνάρτηση στα Technology Instructions του TIA Portal και λειτουργεί βάσει της παρακάτω σχέσης:

$$y = K_p \left[(b \cdot w - x) + \frac{1}{T_i \cdot s} (w - x) + \frac{T_D \cdot s}{a \cdot T_D \cdot s + 1} (c \cdot w - x) \right]$$

Όπου:

y = έξοδος του αλγορίθμου του PID

K_p = ποσοστιαίο κέρδος

s = συντελεστής Laplace

b = βαρύτητα της ποσοστιαίας δράσης

w = setpoint, θεμιτό σημείο

x = παρούσα τιμή της διεργασίας

T_I = ολοκληρωτικός ενεργός χρόνος (ή ολοκληρωτικός όρος)

T_D = διαφορικός ενεργός χρόνος (ή διαφορικός όρος)

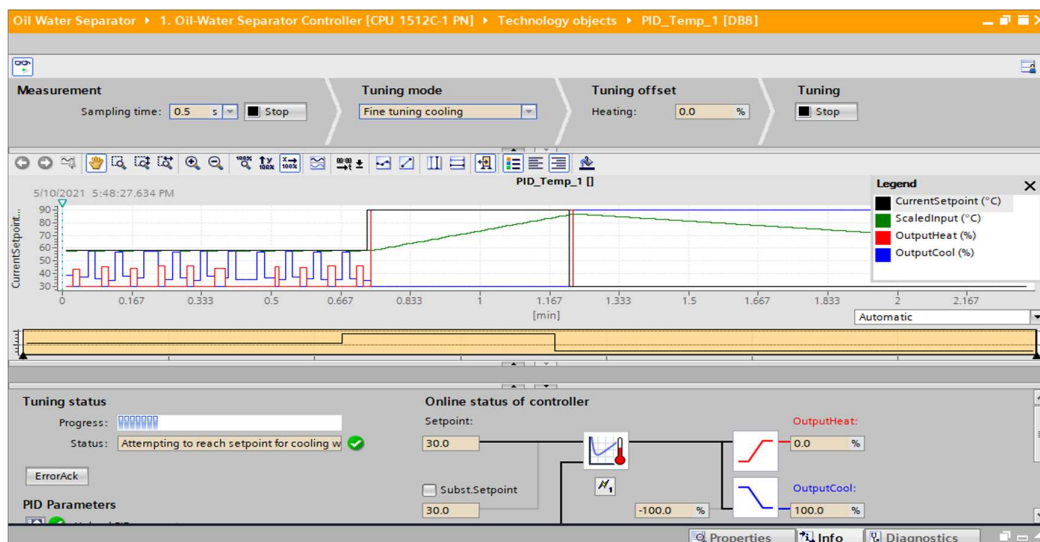
a = συντελεστής διαφορικής καθυστέρησης ($T_I = a \times T_D$)

c = βαρύτητα διαφορικής δράσης

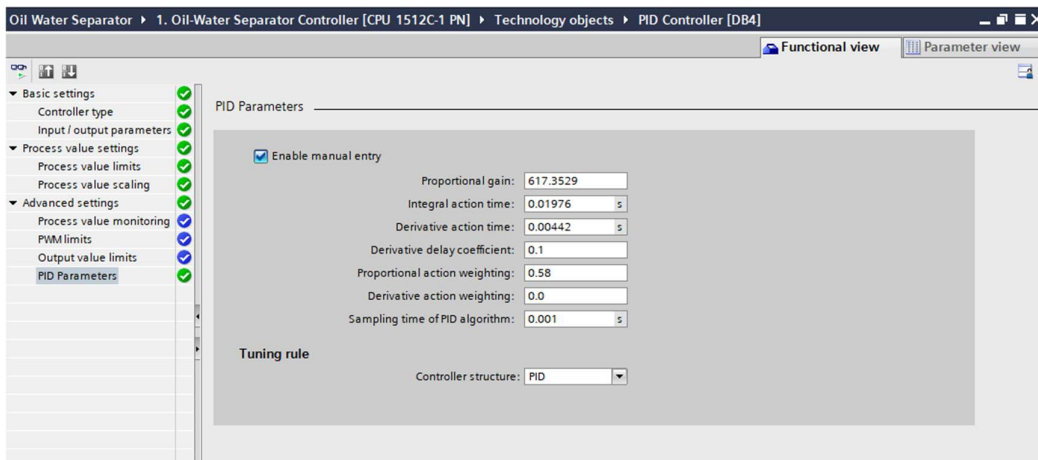
Οι σημαντικότερες παράμετροι για την ρύθμιση ενός PID εξηγούνται με απλά λόγια ως εξής:

- Το ποσοστιαίο κέρδος K_p ενσωματώνει τις κατάλληλες αναλογικές αλλαγές για το σφάλμα (που είναι η διαφορά μεταξύ του σημείου ρύθμισης και της μεταβλητής διαδικασίας) στην έξοδο ελέγχου.
- Ο ολοκληρωτικός όρος T_I εξετάζει τη μεταβλητή διαδικασίας με την πάροδο του χρόνου και διορθώνει την έξοδο μειώνοντας την μετατόπιση από τη μεταβλητή διαδικασίας
- Ο διαφορικός όρος T_D παρακολουθεί τον ρυθμό αλλαγής της μεταβλητής διαδικασίας και επομένως αλλάζει την έξοδο όταν υπάρχουν ασυνήθιστες διακυμάνσεις.

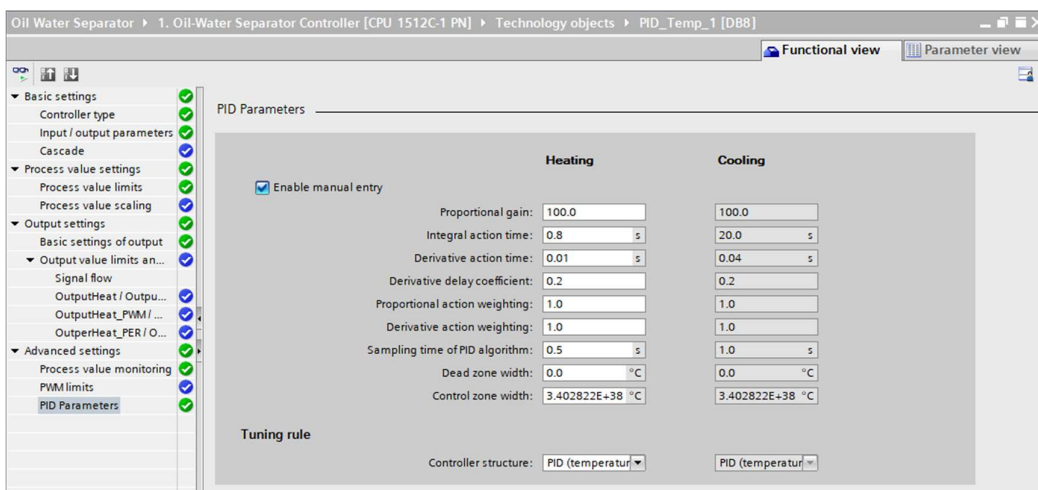
Η ρύθμιση των PID είναι μια σύνθετη διαδικασία. Έμπειροι μηχανικοί ακολουθούν συγκεκριμένες μεθόδους όπως τις δύο μεθόδους των Zeigler-Nichols, ή πειραματίζονται αλλάζοντας τις παραμέτρους οι ίδιοι και ελέγχοντας την διαδικασία πολλαπλές φορές. Με το πέρασμα του χρόνου, όλο και περισσότερα λογισμικά ενσωματώνουν τη δυνατότητα ρύθμισης PID ελεγκτών. Ένα από αυτά είναι και το TIA Portal. Δυστυχώς, λόγω της φύσης της προσομοίωσης και της προσθαφαίρεσης συγκεκριμένων τιμών για τη διαμόρφωση της συμπεριφοράς της στάθμης, οι PID ελεγκτές δεν ρυθμίζονται ή συμπεριφέρονται με ιδανικό τρόπο, αλλά ευτυχώς υπάρχουν επαρκή αποτελέσματα για να αναδειχθεί η λειτουργία τους.



Σχήμα 6.77 Ρύθμιση του PID δύο εξόδων στο TIA Portal.



Σχήμα 6.78 Παράμετροι του PID της δεξαμενής.



Σχήμα 6.79 Παράμετροι του PID της θερμοκρασίας

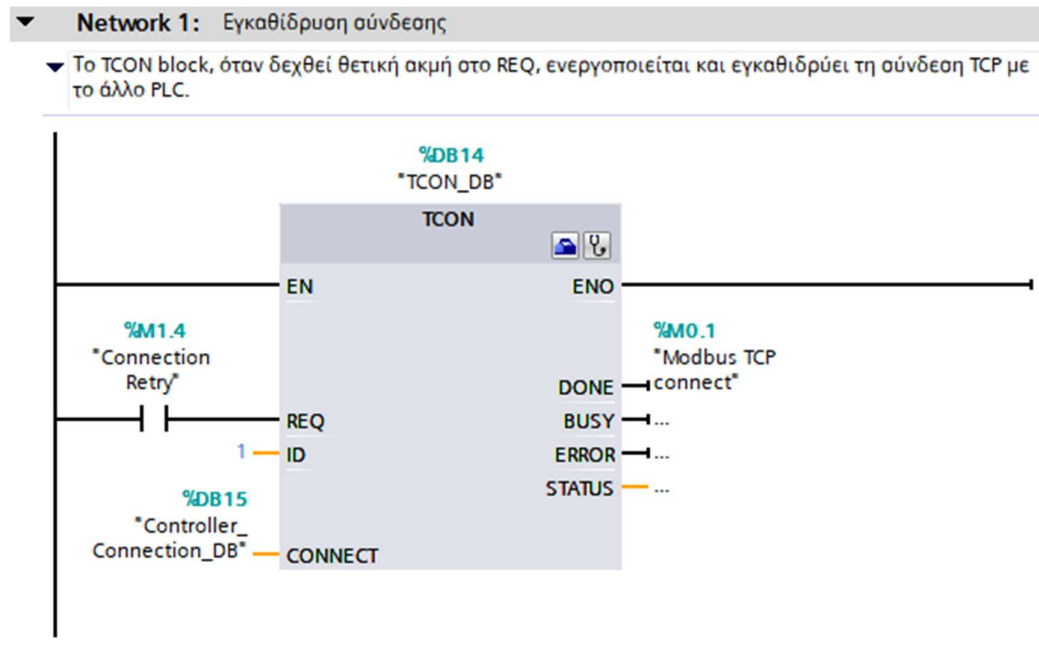
Η κλιμάκωση των μεταβλητών στα PID της Ladder μπορεί είτε να ρυθμίζεται αυτόματα, είτε να χρησιμοποιείται η συνάρτηση SCALE, ούτως ώστε οι τιμές εισόδου και εξόδου του PID να κλιμακώνονται αυτόματα. Αυτό συμβαίνει καθώς οι κάρτες εισόδων και εξόδων έρχονται με συγκεκριμένες δυνατότητες ανάλυσης αναλογικών σημάτων. Για παράδειγμα, εμείς έχουμε αναλογικές κάρτες των 16 bit. Αυτό σημαίνει πως έχουν κλίμακα από 0 έως 2^{16} ή αλλιώς 0-65536. Δηλαδή πως έχουν μεγαλύτερη ακρίβεια στις μετρήσιμες τιμές, καθώς αν αυτό αντιστοιχούσε για παράδειγμα σε θερμοκρασίες 0-100 βαθμούς Κελσίου, θα υπήρχε πολύ μεγαλύτερη ακρίβεια από ότι παραδείγματος χάριν σε μία 0-10 κλίμακα. Αυτό όμως έχει ταυτόχρονα ως αποτέλεσμα πως η και η έξοδος των PID γράφεται σε κλίμακα 0-65536. Συνεπώς χρειάζεται μετατροπή μέσω της SCALE, ούτως ώστε να χρησιμοποιηθεί ως μνήμη στο πρόγραμμα του PLC ή ως ρεύμα σε έξοδο (πχ 4-20mA όπως στην προσομοίωσή μας).

6.4.2. Modbus TCP

Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, στην προσομοίωση υπάρχει μία (θεωρητική) Modbus TCP σύνδεση μεταξύ των δύο PLC του συστήματος. Συγκεκριμένα, το PLC του διαχωριστή δρα σαν Client εγκαθιδρύοντας την TCP σύνδεση με το PLC που βρίσκεται στην δεξαμενή

πετρελαίου, το οποίο έχει τον ρόλο του Server. Έπειτα ζητάει από αυτό ένα bit επιβεβαίωσης της σύνδεσης από την διεύθυνση 1 που αντιστοιχεί στο bit εξόδου Q4.0 και έναν real που εκφράζει τη στάθμη της δεξαμενής πετρελαίου και βρίσκεται στην διεύθυνση Q0.0 με μήκος 4 words (QD0). Τα παραπάνω επιτυγχάνονται με τις παρακάτω εντολές:

- **TCON:** Δημιουργεί την σύνδεση TCP με 3-way handshake. Παραμετροποιείται ούτως ώστε να στέλνει το TCP πακέτο σε συγκεκριμένη διεύθυνση. Το πακέτο αποστέλλεται κάθε φορά που η είσοδος REQ γίνεται 1, με μία μικρή αναμονή απόκρισης. Στην προσομοίωση χρησιμοποιούνται Timers που ανανεώνουν το REQ κάθε 2s μέχρι να επιτευχθεί η σύνδεση και να γίνει 1 η έξοδος DONE ή αλλιώς εδώ το tag "Modbus TCP connect".



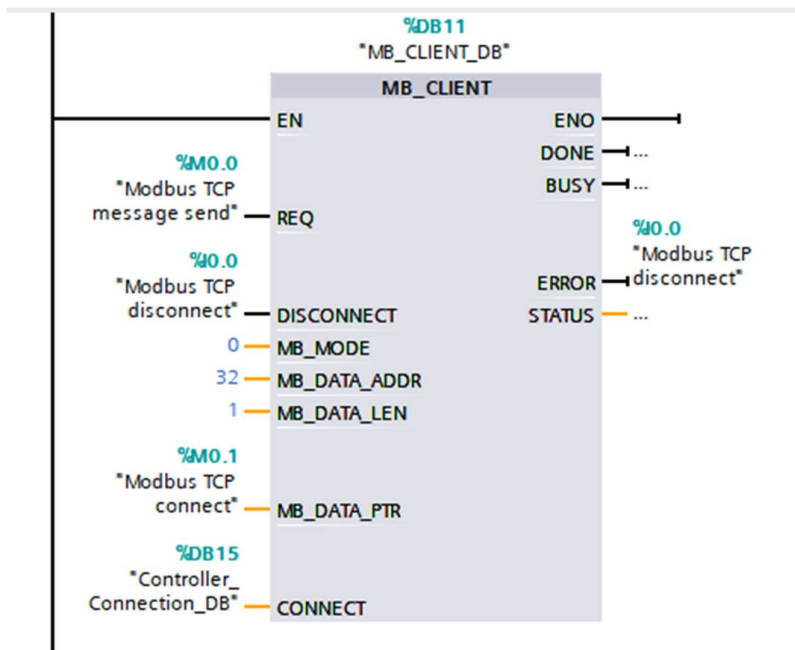
Σχήμα 6.80 TCON block

- **MB_CLIENT_DB:** Χρησιμοποιείται δύο φορές όπως αναφέρθηκε στην αρχή και είναι η εντολή που με τις κατάλληλες εισόδους εκτελεί την οποιαδήποτε READ/WRITE εντολή του Modbus πρωτοκόλλου. Την πρώτη φορά τοποθετούμε MB_MODE <- 0 (που σημαίνει read coil, MB_DATA_ADDR <- 32 (ζητώντας το 32^ο coil του PLC, δηλαδή το Q4.0) και MB_DATA_LEN <- 1 (δηλαδή 1 bit μόνο). Την δεύτερη αντίστοιχα βάζουμε MB_MODE <- 4 (που σημαίνει read holding register, MB_DATA_ADDR <- 1 (ζητώντας το 1^ο register του PLC) και MB_DATA_LEN <- 4 (δηλαδή 4 συνεχόμενα registers, άρα το QD0 όπου D σημαίνει Double Word δηλαδή 32 bits). Η είσοδος REQ πρέπει να ανανεώνεται ανά κάποια περίοδο, ούτως ώστε να λαμβάνονται οι τιμές.

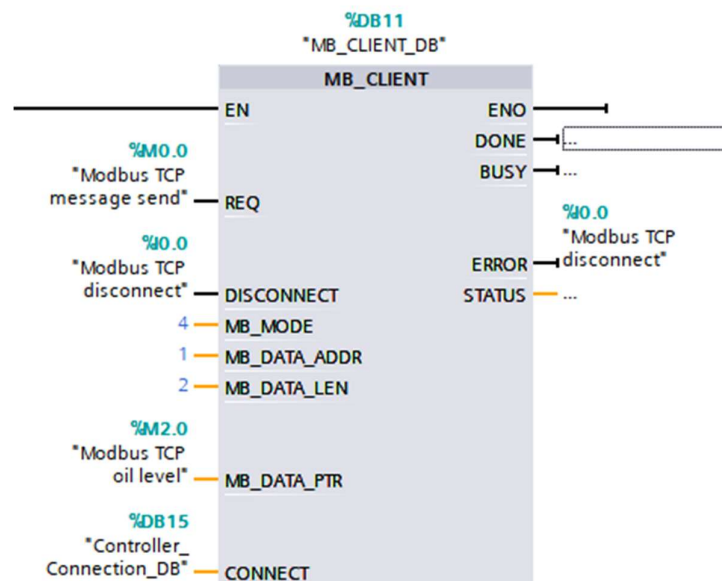
6.5 CSence

Υποθετικό Σενάριο: Στο κέντρο ελέγχου του πλοίου, εντός του βιομηχανικού υπολογιστή με το HMI της προσομοίωσης μας, χρησιμοποιήθηκε παλιότερα το λογισμικό CSence για το OWS, όπως και χρησιμοποιείται ακόμα για άλλα συστήματα του καραβιού. Όταν το OWS είχε παλιότερο PLC που δεν έδινε την δυνατότητα χρήσης συνάρτησης PID, η θερμοκρασία ήταν

πιο δύσκολα ελεγχόμενη. Χρησιμοποιήθηκε λοιπόν ένας ηλεκτρονικός θερμοστάτης αναλογικής εξόδου που έλεγχε ένα θερμαντικό σώμα. Το μειονέκτημα αυτής της εφαρμογής ήταν πως δεν μπορούσε να χρησιμοποιηθεί και ψυκτικό σώμα παράλληλα με αποδοτικό τρόπο, κι έτσι αν για κάποιο λόγο η θερμοκρασία ανέβαινε παραπάνω από τα θεμιτά όρια, αργούσε να κατέβει, καθυστερώντας την όλη διαδικασία και μειώνοντας την απόδοση.



Σχήμα 6.81 Διάβασμα του Q4.0.



Σχήμα 6.82 Διάβασμα του QD0.

Στο CSence λοιπόν χρησιμοποιήθηκε ένα πολύ μικρό αρχείο δεδομένων (ενός λεπτού) το οποίο αποδείχθηκε αρκετό για να ρυθμιστεί σωστά ο θερμοστάτης. Το αρχείο περιείχε

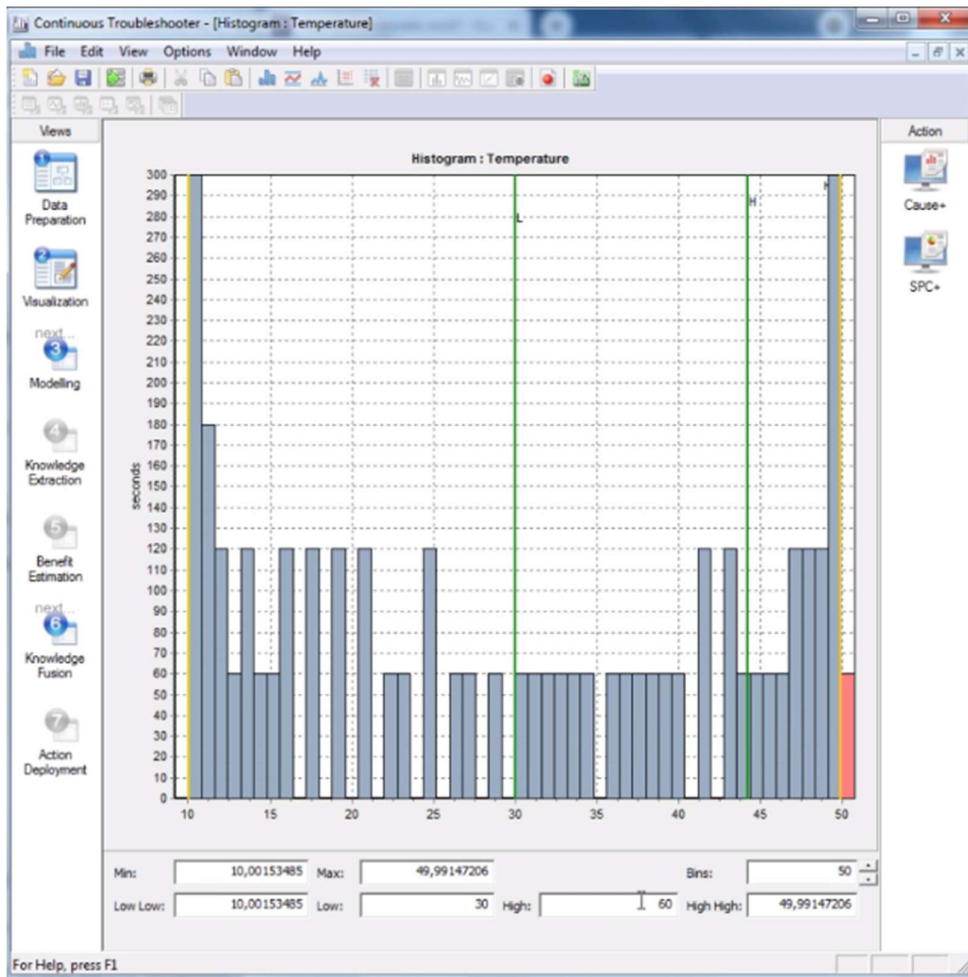
δεδομένα για την χρήση και την θερμοκρασία του OWS εντός εκείνου του λεπτού, ενώ δημιουργήθηκε άλλη μία στήλη με την ένδειξη του θερμοστάτη, αρχικά με τις ίδιες τιμές με αυτές της χρήσης του OWS ως αρχικοποίηση.

Usage	Temperature	Thermostat
5	30	30
5.499167083	31.99666833	5.499167083
5.993346654	33.97338662	5.993346654
6.477601033	35.91040413	6.477601033
6.947091712	37.78836685	6.947091712
7.397127693	39.58851077	7.397127693
7.823212367	41.29284947	7.823212367
8.221088436	42.88435374	8.221088436
8.586780454	44.34712182	8.586780454
8.916634548	45.66653819	8.916634548
9.207354924	46.8294197	9.207354924
9.4560368	47.8241472	9.4560368
9.66019543	48.64078172	9.66019543
9.817790927	49.27116371	9.817790927
9.92724865	49.7089946	9.92724865
9.987474933	49.94989973	9.987474933
9.997868015	49.99147206	9.997868015
9.956324052	49.83329621	9.956324052
9.869238154	49.47695262	9.869238154
9.731500438	48.92600175	9.731500438
9.546487134	48.18594854	9.546487134
9.316048833	47.26418733	9.316048833
9.042482019	46.16992608	9.042482019
8.728526061	44.91410424	8.728526061

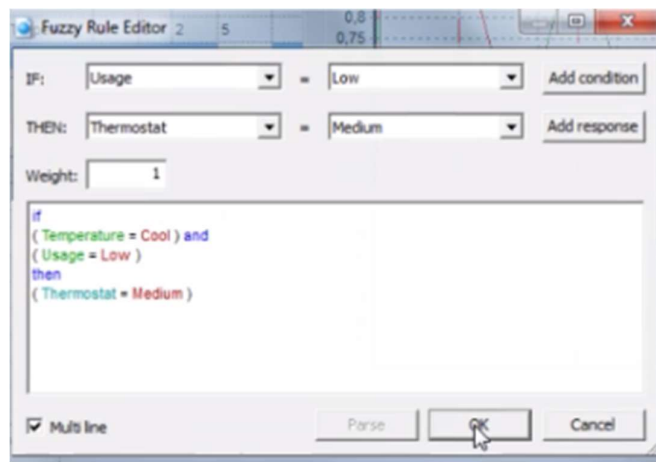
Σχήμα 6.83 Δεδομένα που εισήχθησαν στο CSense.

Τα δεδομένα αυτά εισήχθησαν στο Continuous Troubleshooter καθώς ο στόχος προς διαμόρφωση ήταν συνεχής μεταβλητή. Ορίστηκαν τα θεμιτά χαμηλά και υψηλά όρια της θερμοκρασίας στους 30 και 60 βαθμούς Κελσίου αντίστοιχα, έτσι ώστε να ταιριάζουν και με τις θερμοκρασίες των δεδομένων. Καθώς οι τιμές της χρήσης (και ομοίως του θερμοστάτη) κυμαίνονταν από 0 έως 10, δηλαδή είχαν ποσοστιαία μορφή, κρίθηκαν κατάλληλα σαν όρια το 2 για χαμηλό και το 8 για υψηλό όσον αφορά την χρήση και τον θερμοστάτη.

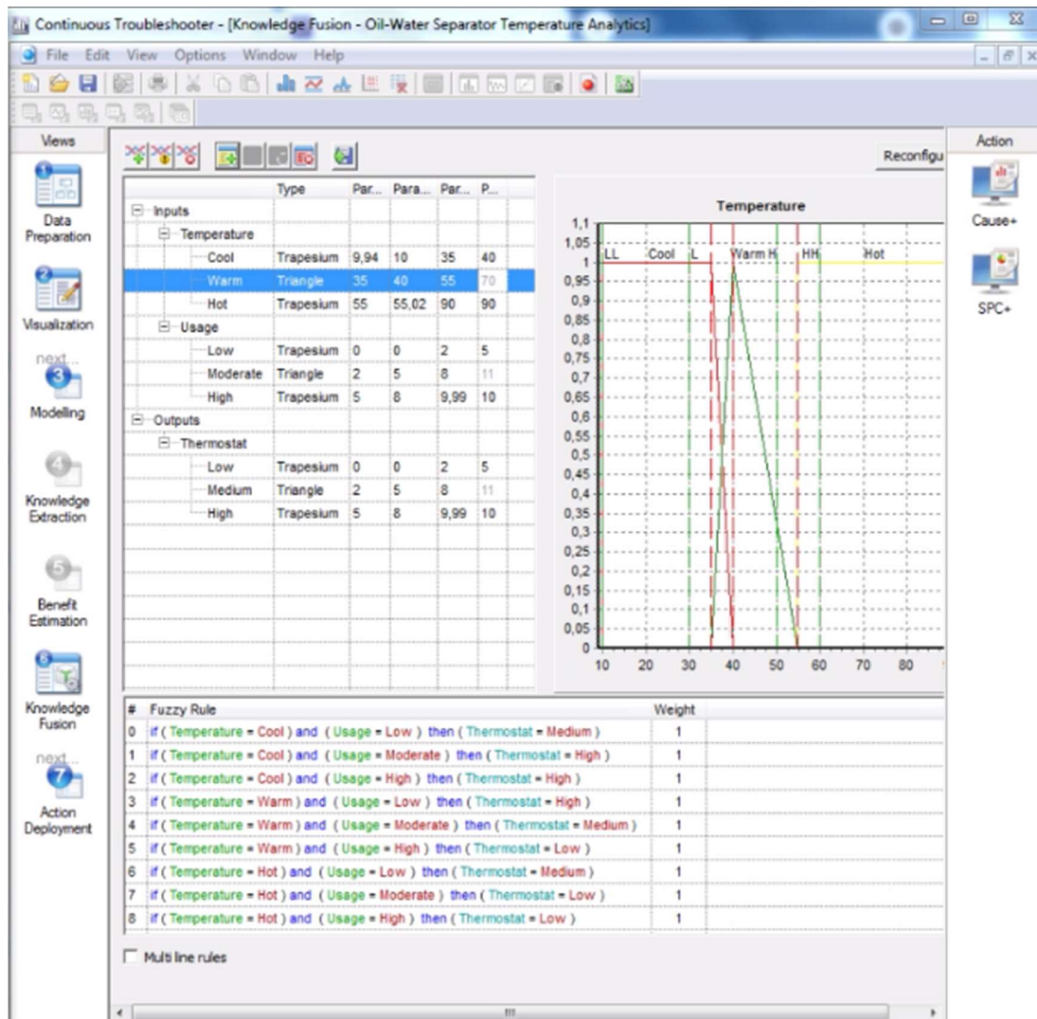
Με αυτά τα στοιχεία λοιπόν χρησιμοποιήθηκε το Knowledge Fusion, κατά το οποίο συνδυάστηκαν τα έως τότε δεδομένα και βρέθηκαν οι υψηλές και χαμηλές οριοθετήσεις που αποφασίσαμε στο ίδιο διάγραμμα. Σε αυτό το βήμα, κρίνουμε αλγοριθμικά που θέλουμε να βρίσκεται ο θερμοστάτης ανάλογα με την παρούσα χρήση και θερμοκρασία. Το πρόγραμμα έχει ήδη κατηγοριοποιήσει τις τιμές των τριών μεταβλητών ως Low, Medium και High. Μετονομάστηκαν λοιπόν οι κατηγορίες πιο αντιπροσωπευτικά και μέσω της γλώσσας Visual Basic δόθηκαν καταστάσεις βάσει των οποίων ρυθμίστηκε ο θερμοστάτης.



Σχήμα 6.84 Ιστογράμμο των δεδομένων της θερμοκρασίας και οριοθέτηση high-low ορίων.

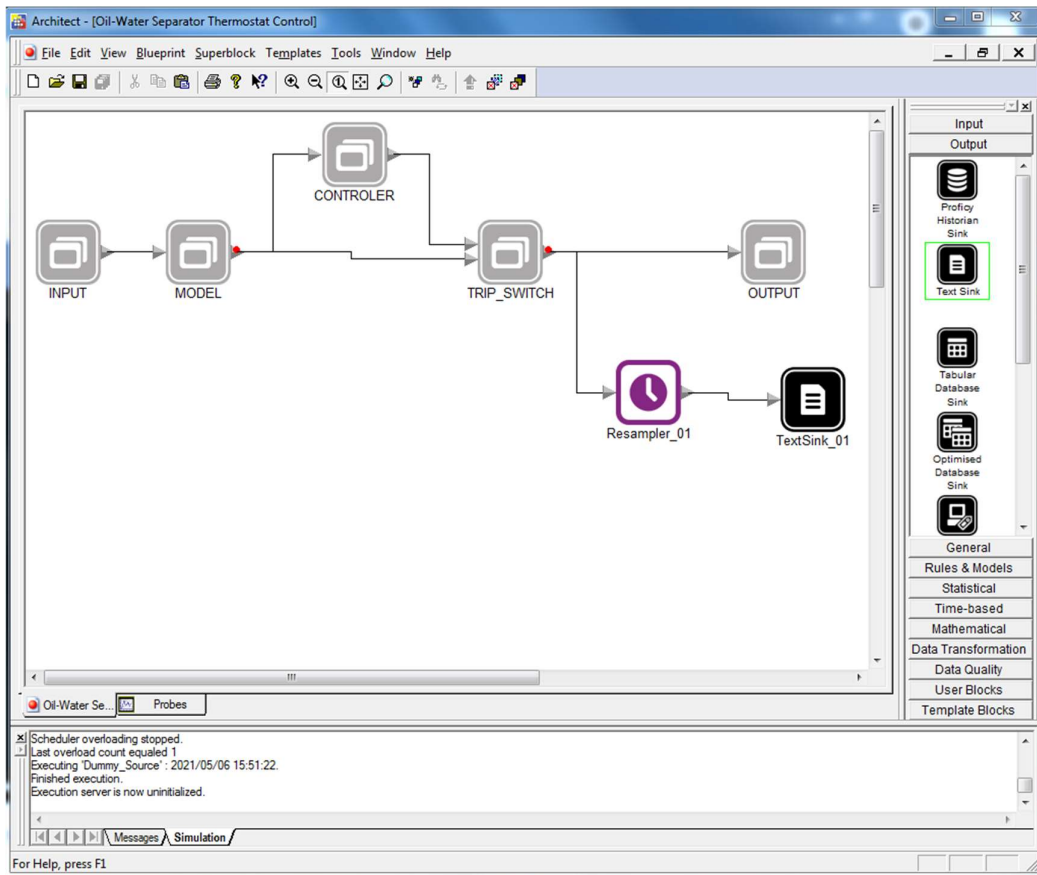


Σχήμα 6.85 Conditions σε Visual Basic.



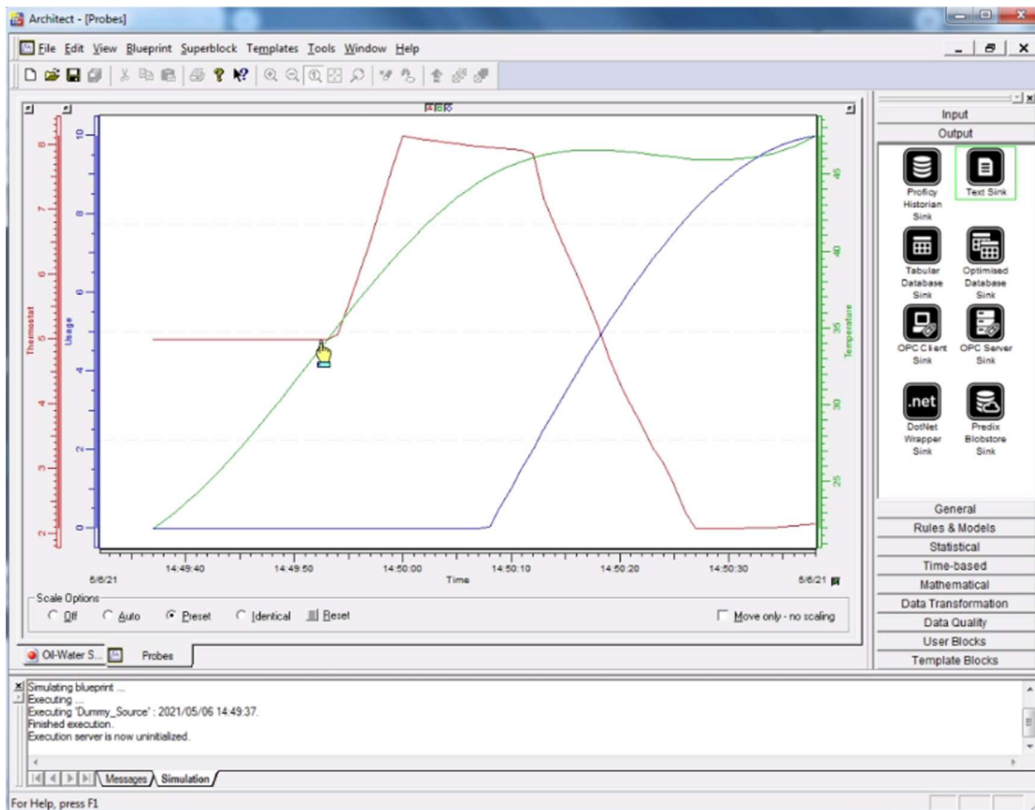
Σχήμα 6.86 Η συνδυαστική λογική, τα όρια και τα conditions.

Αυτά τα συμπεράσματα εξήχθησαν σε ένα blueprint με σκοπό τη χρήση τους στο Architect. Εκεί χρησιμοποιήθηκαν τα βασικά blocks εισόδου εξόδου (που για την προσομοίωσή μας είναι αρχεία κειμένου, ενώ στην πραγματικότητα θα ήταν ένας OPC Server ή ένα historian για παράδειγμα), η λογική που δόθηκε έτοιμη από το Continuous Troubleshooter με την μορφή blocks, ένα Trip Switch με σκοπό την χρονική μετατόπιση της εξόδου του θερμοστάτη κατά ένα δευτερόλεπτο ούτως ώστε να δοθεί η δυνατότητα πρόβλεψης, καθώς και ένα resampler, ώστε τα δεδομένα εξόδου που γράφονται επίσης σε αρχείο κειμένου για την προσομοίωση να γράφονται ανά 2s, καθώς το 1s έχει αποτέλεσμα πολλών δεδομένων για κάτι που δεν είναι τόσο σημαντικό να μετράται τόσο συχνά. Τα αποτελέσματα φαίνονται στα σχήματα 6.84 έως 6.86.

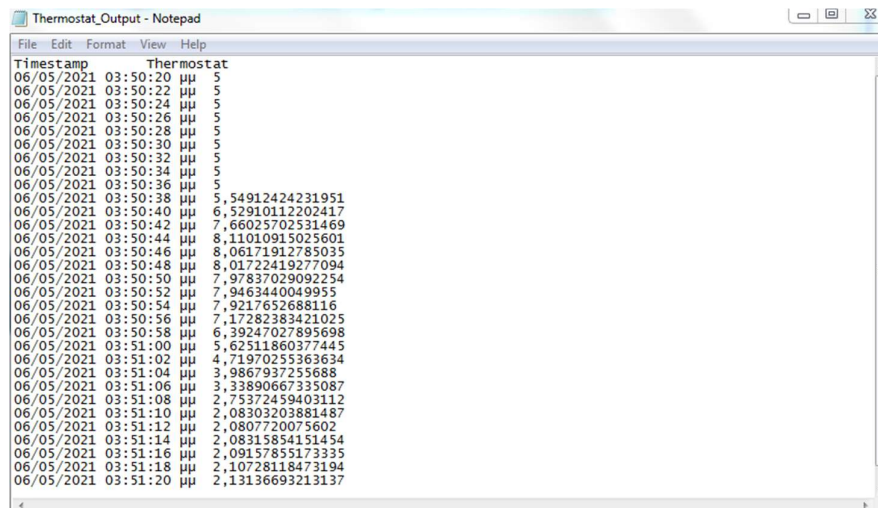


Σχήμα 6.87 Το τελικό blueprint στο Architect.

Τέλος, το blueprint ως έχει εκτελείται στο Action Object Manager ως Action Object, που λειτουργεί σαν ένα OPC Server, έτσι ώστε να μπορεί να διαβάζεται η έξοδος του από άλλες συσκευές όπως τον εν λόγω θερμοστάτη. Ο θερμοστάτης πλέον “γνωρίζει” πώς να συμπεριφερθεί ανάλογα την κατάσταση της χρήσης και της θερμοκρασίας, δύο εισόδων δηλαδή, πράγμα το οποίο ένας κοινός θερμοστάτης δεν έχει την δυνατότητα να κάνει.

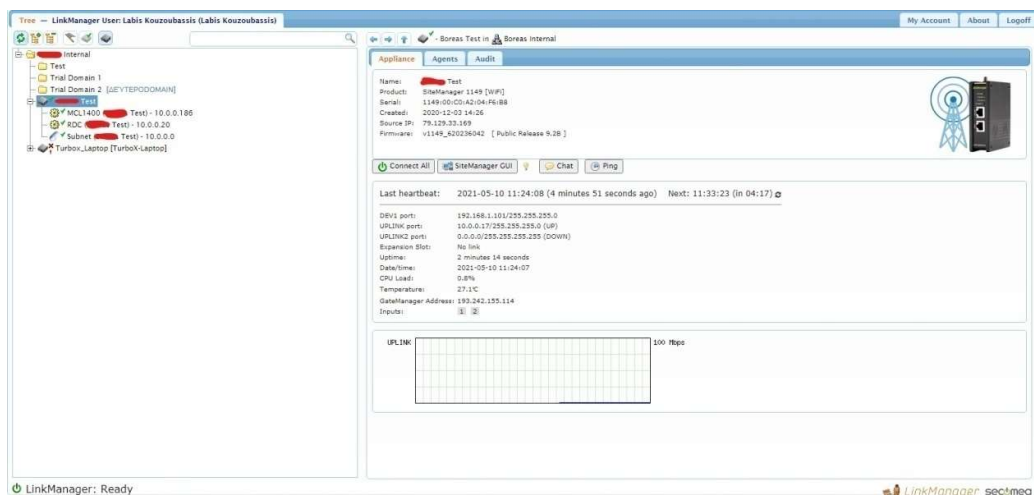


Σχήμα 6.88 Προσομοίωση της νέας συμπεριφοράς του θερμοστάτη με είσοδο τα αρχικά δεδομένα.



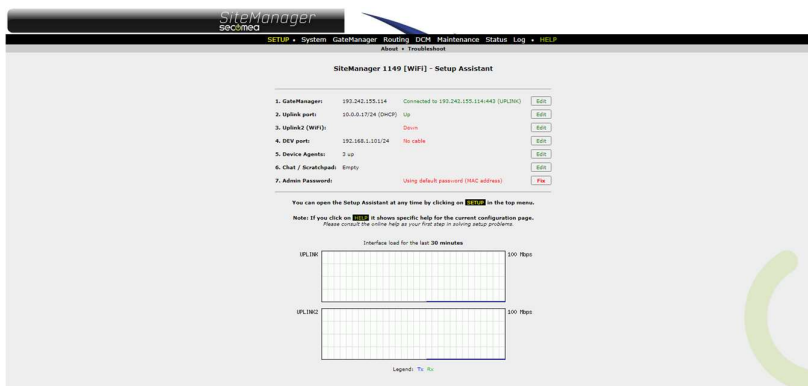
6.6 Secomea

Σε ένα σύστημα ελέγχου του βεληνεκούς ενός πλοίου η εποπτεία από χειριστές και υπεύθυνους παίζει πολύ σημαντικό ρόλο. Ο έγκαιρος εντοπισμός και η αναγνώριση των τυχόν σφαλμάτων, ο επαναπρογραμματισμός κάποιων διεργασιών, η βελτίωση των λειτουργιών μέσω αναβαθμίσεων του συστήματος, η σωστή διαχείριση, όλα απαιτούν ένα κοινό πράγμα: πρόσβαση. Η προσβασιμότητα με τα σημερινά, διαρκώς εξελισσόμενα συστήματα, είναι πιο αναγκαία από ποτέ. Ο χρόνος και οι πόροι που εξοικονομούνται είναι τεράστιοι. Στην προσομοίωσή μας λοιπόν, θα υπήρχε ανάγκη εποπτείας όλου του συστήματος από απομακρυσμένες θέσεις, οι οποίες θα μπορούσαν να βρίσκονται οπουδήποτε στον κόσμο.



Σχήμα 6.90 Το περιβάλλον του LinkManager της προσομοίωσης.

Στο πλοίο λοιπόν βρίσκεται ένα ή περισσότερα SiteManager, το οποίο μέσω switch είναι συνδεδεμένο με το PLC του OWS καθώς και με πολλές άλλες συσκευές του πλοίου. Σκοπός είναι ένας εξουσιοδοτημένος χρήστης να έχει πρόσβαση παντού, ώστε ο καθένας να εργάζεται ευκολότερα και αποδοτικότερα, χωρίς να χρειάζεται απαραίτητα να πλησιάζει βαρύ, επικίνδυνο εξοπλισμό. Έχοντας λοιπόν ο χρήστης τους απαραίτητους κωδικούς μπαίνει στο LinkManager του μέσω περιηγητή διαδικτύου και συνδέεται με το SiteManager για να παραμετροποιήσει τις συνδεδεμένες σε αυτό συσκευές μέσω agents. Η διαδικασία είναι πολύ εύκολη και γρήγορη:



Σχήμα 6.91 Εντός του SiteManager GUI.

- Μπαίνουμε στο SiteManager GUI για να αποκτήσουμε πρόσβαση στα agents του πηγαίνοντας στο μενού GateManager -> Agents. Φροντίζουμε να έχουμε βάλει στις θύρες DEV και UPLINK σωστές διευθύνσεις ώστε να ταιριάζουν με τα υποδίκτυα στα οποία είναι συνδεδεμένα. Στην προσομοίωσή μας χρησιμοποιείται η IP 192.168.0.101

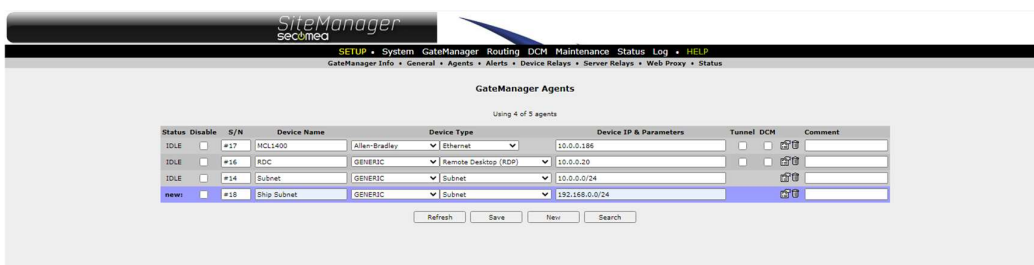
- Πατάμε New και δημιουργούμε δύο Agents: το ένα για σύνδεση remote desktop στον βιομηχανικό υπολογιστή που είχε διεύθυνση IP 192.168.0.1, και το άλλο για να έχουμε πρόσβαση σε όλο το υποδίκτυο με τις συνδεδεμένες σε αυτό συσκευές, χρησιμοποιώντας όλο το υποδίκτυο με τη διεύθυνση 192.168.0.0/24. Το πώς φτιάχνουμε agents φαίνεται στα σχήματα 6.89 και 6.90.

- Μετά από λίγα δευτερόλεπτα, όταν τα agents είναι έτοιμα, αλλάζει η ένδειξη δίπλα τους από STARTING σε IDLE. Τότε είναι έτοιμα για σύνδεση. Επιστρέφοντας στην αρχική οθόνη του LinkManager, τα επιλέγουμε από τη λίστα αριστερά που θα έχουν εμφανιστεί και πατάμε connect.

Έχουμε έτσι πρόσβαση σε όλο το υποδίκτυο 192.168.0.0/24 του πλοίου, εξερευνώντας τους server του, κάνοντας upload στον υπολογιστή μας τα προγράμματα των PLC του ή γράφοντας σε αυτά και στιδήποτε άλλο που ανήκει στο υποδίκτυο. Ένας προγραμματιστής Ladder λοιπόν θα μπορούσε εύκολα να προσθέσει λειτουργίες στο πρόγραμμα ελέγχου ενός PLC ή ένα τεχνικός IT να ελέγξει τη συνδεσιμότητα συσκευών εντός του πλοίου, χωρίς να φύγουν από την άνεση του σπιτιού ή του γραφείου τους.



Σχήμα 6.92 Remote Desktop Agent στην IP 192.168.0.1



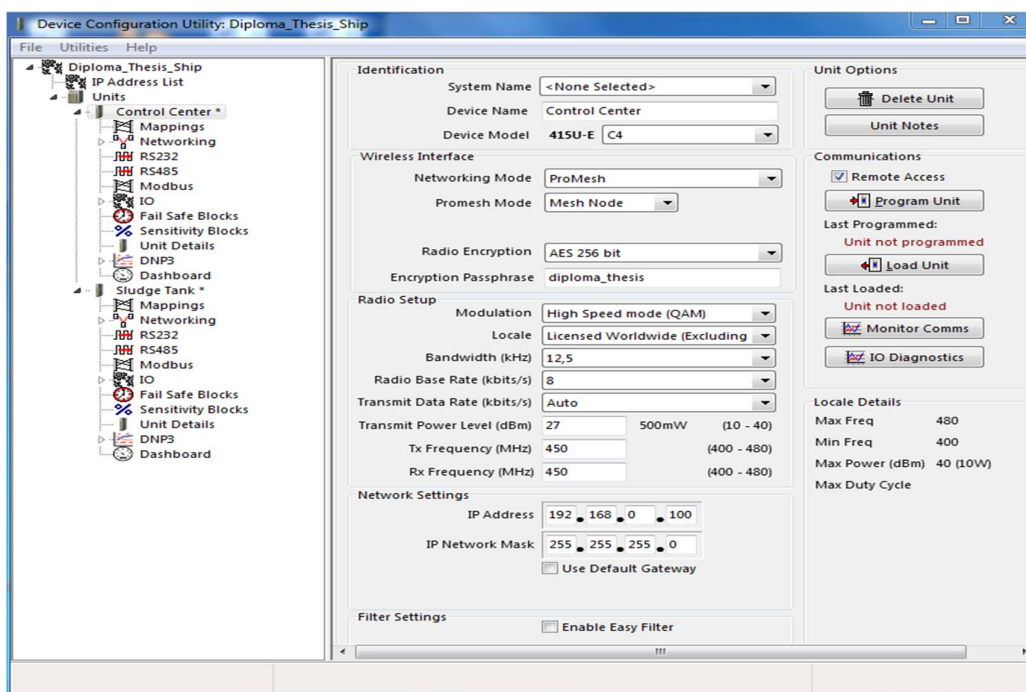
Σχήμα 6.93 Subnet Agent για το υποδίκτυο 192.168.0.0/24

Σημειώνεται εδώ πως στην DEV θύρα είναι συνδεδεμένα και τα δύο PLC της προσομοίωσής μας. Αυτό σημαίνει πως η Modbus TCP επικοινωνία λαμβάνει χώρα διαμέσου του SiteManager, σαν να ήταν unmanaged switch. Ακόμα και στο UPLINK δίκτυο να βρισκόταν ένα από τα δύο, το SiteManager επιτρέπει με πολύ απλό τρόπο λειτουργίες και επικοινωνίες μέσω πάρα πολλών πρωτοκόλλων, IP aliases για την ευκολότερη σύνδεση μεταξύ υποδικτύων, τα λεγόμενα Logtunnels για μόνιμη σύνδεση μεταξύ συσκευών, ώστε να δημιουργούνται αξιόπιστα SCADA, και πολλά άλλα.

6.7 ELPRO

Όπως έχει αναφερθεί προηγουμένως, αν ένα στοιχείο του συστήματος είναι ζωτικής σημασίας, είναι απαραίτητο να παρακολουθείται συνεχώς, παρακάμπτοντας κινδύνους όπως διακοπές ρεύματος ή κάποιο σφάλμα σε σύνδεση μέσω Ethernet για παράδειγμα, όπως ζημιά σε κάποιο καλώδιο. Στην προσομοίωσή μας, για κάποιο λόγο ο μηχανικός θεώρησε πως ένα τέτοιο σημαντικό δεδομένο είναι η στάθμη της δεξαμενής πετρελαίου. Τα δύο ELPRO 415U-E-C είναι εξοπλισμένα με μπαταρίες που διαρκούν μερικές ώρες, παρέχοντας αυτή τη συνδεσιμότητα στην δεξαμενή πετρελαίου. Οι συσκευές παραμετροποιήθηκαν έτσι ώστε αυτή που βρίσκεται στο κέντρο ελέγχου να διαβάζει από την άλλη ότι διάβαζε και το PLC του διαχωριστή: ένα bit επιβεβαίωσης της σύνδεσης και μία real μεταβλητή που δείχνει την στάθμη της δεξαμενής. Οι μεταβλητές αυτές μεταφέρονται ως είσοδοι από το PLC στην συσκευή μέσω φυσικών εισόδων. Έπειτα, μεταδίδονται μέσω ραδιοσημάτων στην συσκευή που βρίσκεται στο κέντρο ελέγχου. Η σύνδεση δεν είναι μόνιμα ενεργή. Καθώς η θύρα των PLC δεν θα μπορούσε να στηρίξει δύο συνδέσεις ταυτόχρονα, ένας NO ρελές κλείνει όταν το bit Q4.0, που δείχνει ότι η Modbus TCP σύνδεση έχει πέσει, είναι 0.

Στα ELPRO, αυτά που πρέπει να ρυθμιστούν είναι η συχνότητα, η ισχύς και το bandwidth που θα χρησιμοποιηθεί, η χαρτογράφηση των I/O που είναι συνδεδεμένα άμεσα με τη συσκευή καθώς και αυτών που αποστέλλονται και που και η διεύθυνση της κάθε συσκευής και ο καθορισμός της στο δίκτυο όμοιων συσκευών. Αν υπάρχουν πάνω από δύο, τα δεδομένα μπορούν να αναηδούν από την μία στην άλλη βρίσκοντας την βέλτιστη διαδρομή. Δηλαδή οι συσκευές δρουν ως routers και repeaters ταυτόχρονα εκτός από wireless modems, αρκεί να χαρτογραφηθούν οι κατάλληλες διαδρομές.

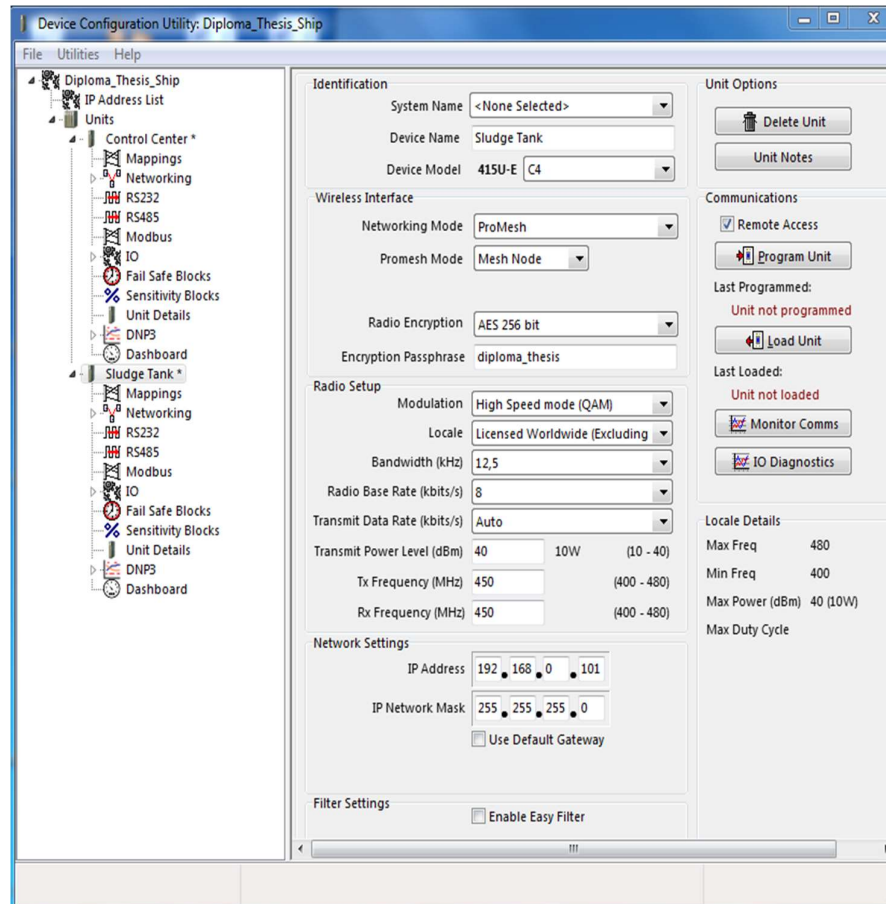


Σχήμα 6.94 Διαμόρφωση της συσκευής που βρίσκεται στο κέντρο ελέγχου.

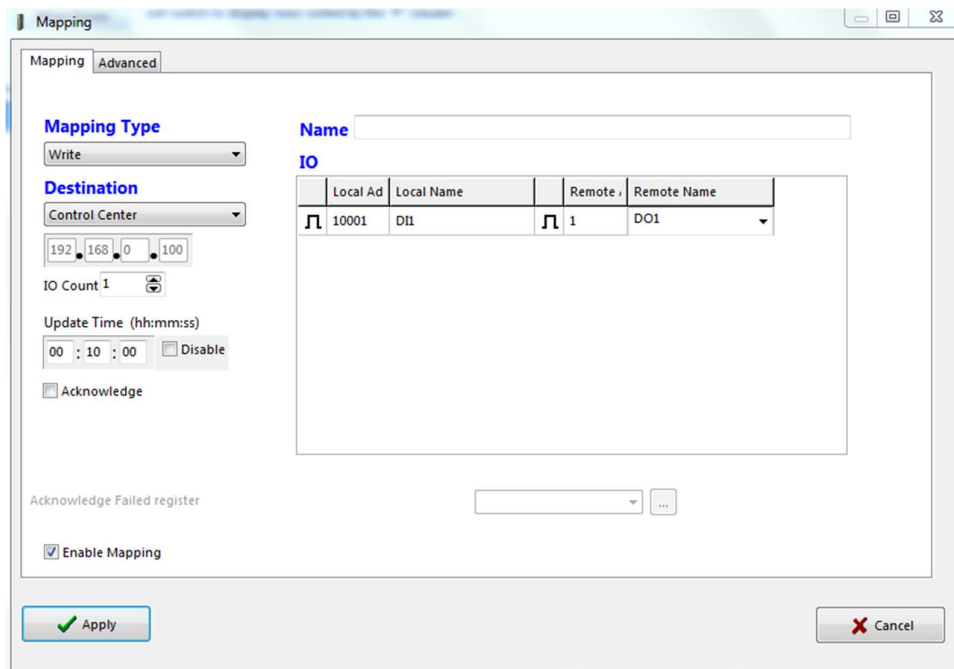
Στα σχήματα φαίνονται οι διαμορφώσεις των I/O, τα configurations και τα mappings των δύο συσκευών. Η ταχύτητα αποστολής δεδομένων δεν μας ενδιαφέρει οπότε βάζουμε την

χαμηλότερη δυνατή. Φροντίζουμε να έχουν ίδιο bandwidth και συχνότητα, και βάζουμε και την ισχύ τους σε χαμηλά επίπεδα για να μην έχουμε πολύ ισχυρό σήμα και δημιουργήσει τυχόν παρεμβολές.

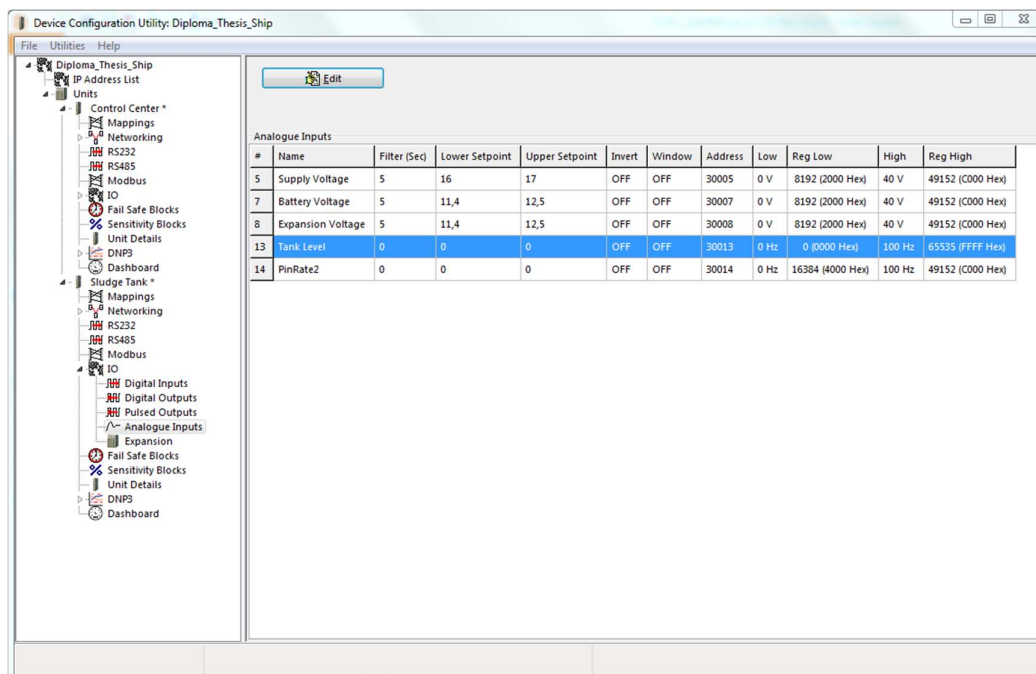
Η χαρτογράφηση των δεδομένων είναι ουσιαστικά ίδια με του Modbus, οπότε δεν θα γίνει περαιτέρω αναφορά σε αυτήν. Αξίζει απλώς να σημειωθεί πως τα DI1, DI2, DO1, DO2 είναι φυσικά pins πάνω στη συσκευή, οπότε μπορούν να χρησιμοποιηθούν ενδεικτικά LED για να υποδεικνύεται η λειτουργία τους.



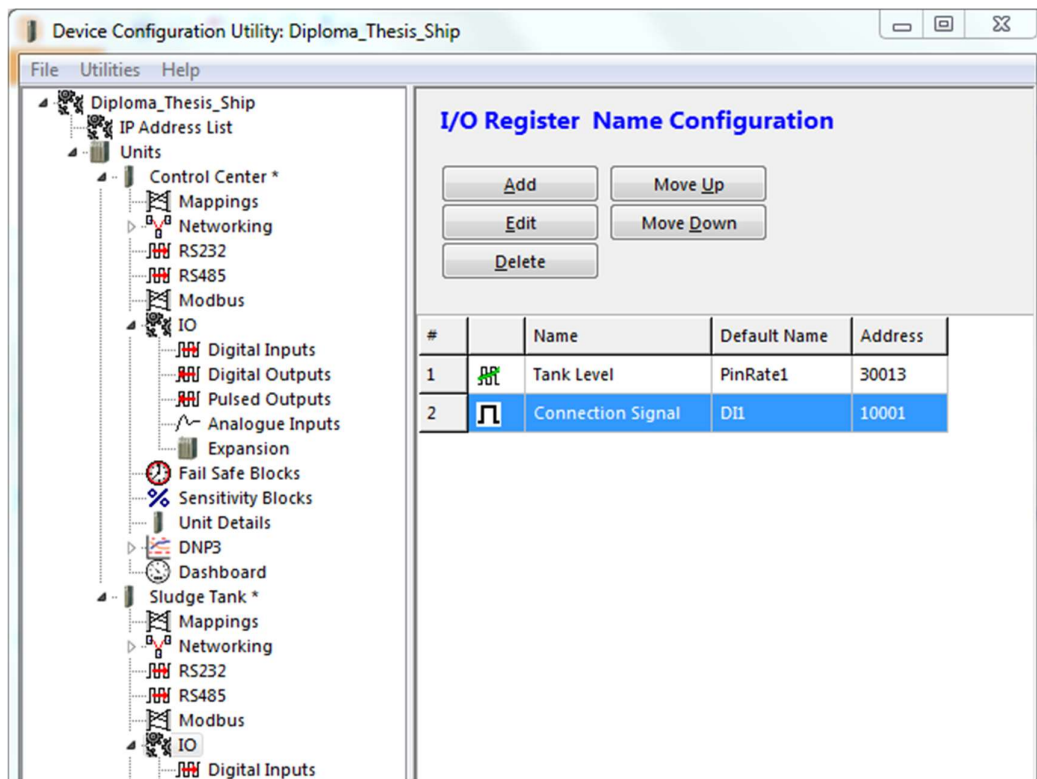
Σχήμα 6.95 Διαμόρφωση της συσκευής που βρίσκεται στην δεξαμενή πετρελαίου.



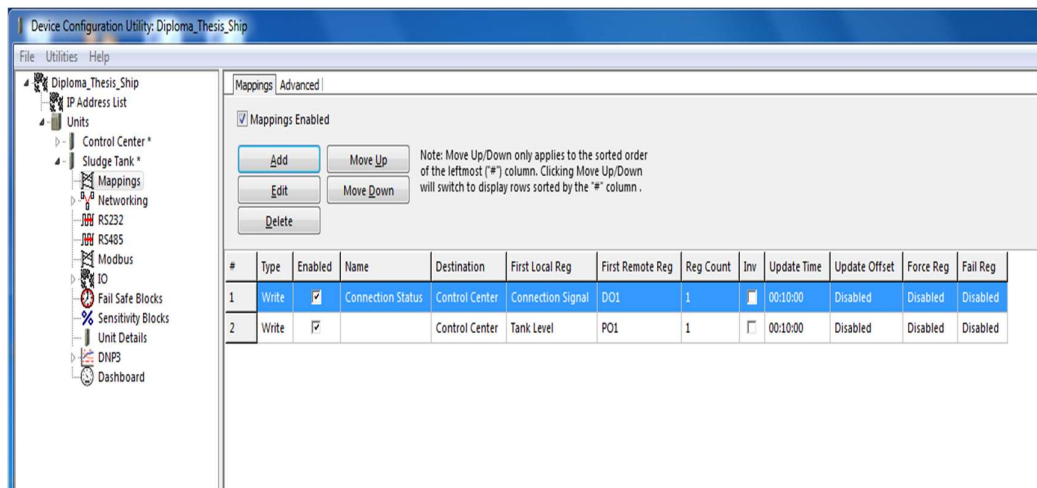
Σχήμα 6.96 Χαρτογράφηση της εισόδου DI1 στην έξοδο της συσκευής του κέντρου ελέγχου.



Σχήμα 6.97 Χαρτογράφηση της αναλογικής εισόδου που εκφράζει τη στάθμη της δεξαμενής πετρελαίου.



Σχήμα 6.98 Τα τελικά I/O στην συσκευή της δεξαμενής πετρελαίου.



6.99 Η τελική χαρτογράφηση από το ELPRO της δεξαμενής πετρελαίου προς αυτό του κέντρου ελέγχου του πλοίου.

6.8 Συμπεράσματα

Η παρούσα εργασία είχε ως σκοπό να παρουσιάσει συνοπτικά διάφορες τεχνολογίες και διαδικασίες που μπορούν να ακολουθηθούν ώστε να δημιουργηθεί ένα σύστημα αυτομάτου ελέγχου. Το φανταστικό σενάριο της προσομοίωσης είναι ένα σύστημα που δεν απέχει καθόλου από την πραγματικότητα. Οι λύσεις απομακρυσμένου ελέγχου αποτελούν πλέον αναπόσπαστο κομμάτι των αυτοματισμών σήμερα, με τη χρήση τους να αυξάνεται σταδιακά

όλο και περισσότερο. Οι συσκευές αυτοματισμού συνδέονται όλο και περισσότερο με το Cloud, μειώνοντας διαρκώς τον εξοπλισμό επί του πεδίου. Η τέταρτη βιομηχανική επανάσταση είναι γεγονός, και οι μηχανικοί οφείλουν να γνωρίζουν όσο το δυνατόν περισσότερα προτού ενταχθούν στην αγορά εργασίας των βιομηχανικών διατάξεων.

Ευελπιστώ τα παραπάνω να έδωσαν ένα έναυσμα σε φοιτητές και νέους μηχανικούς να ασχοληθούν με τα εν λόγω αντικείμενα. Οι γνώσεις που απαιτούνται από έναν ηλεκτρολόγο μηχανικό και ακόμα περισσότερο από έναν μηχανικό συστημάτων ελέγχου, καλύπτουν πολύ μεγάλο τεχνολογικό φάσμα, συνδυάζοντας πλέον τους τομείς IT και OT σε μία μεγάλη οικογένεια: του IIoT. Η μαγεία των διαρκών ανακαλύψεων στις βιομηχανικές τεχνολογίες, της δημιουργίας μεγάλων συστημάτων ελέγχου με τη χρήση συνδυαστικών γνώσεων, της αντιμετώπισης προβλημάτων και της ενίσχυσης του βαθμού απόδοσης των διεργασιών, και της διασύνδεσης των παραπάνω σε ένα παγκόσμιο περιβάλλον μέσω του διαδικτύου και του Cloud, υπήρξε παραπάνω από αρκετή για να με ελκύσει σε αυτόν τον τομέα.

Τα προγράμματα που χρησιμοποιήθηκαν σε απλοϊκό βαθμό για την προσομοίωση είναι απλά μερικά παραδείγματα από αυτά που έχω αντιμετωπίσει στον τομέα σε διάστημα μόλις λίγων μηνών. Απαιτείται πολλή ενασχόληση και τριβή με το αντικείμενο, αλλά τελικά καταλήγει μία απολαυστική ενασχόληση, ακόμα και για τον ελεύθερο χρόνο ενός μηχανικού.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

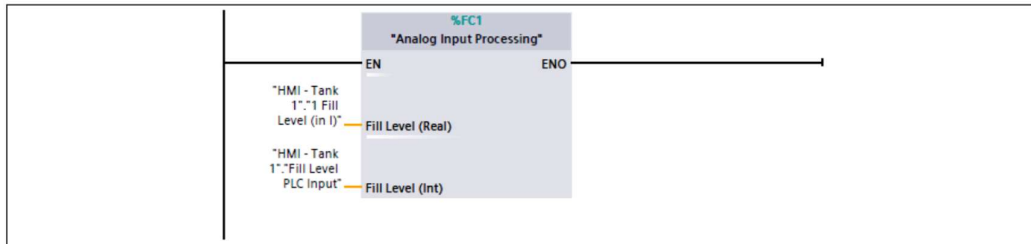
Παρατίθεται ο κώδικας σε Ladder για τον έλεγχο των δύο PLC.

OWS PLC

Main

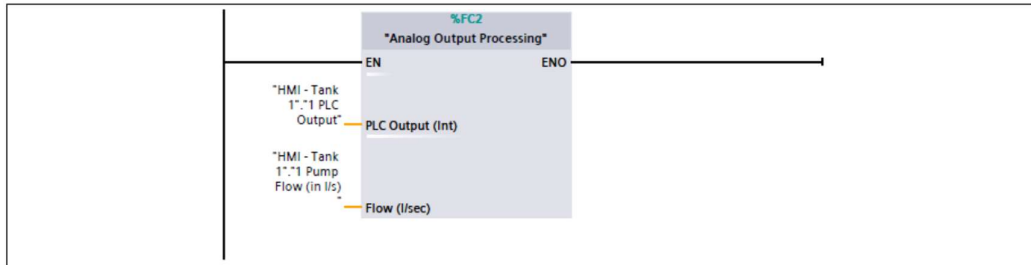
Network 1: Επεξεργασία αναλογικών εισόδων

- 1) Αναλογικοί αισθητήρες
- 2) Αναλογικά PLC Input Modules

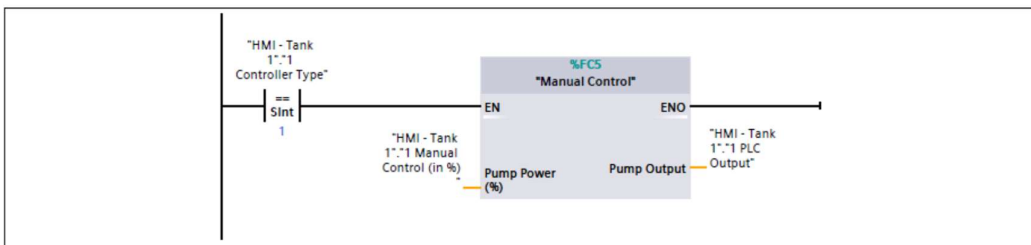


Network 2: Επεξεργασία αναλογικών εισόδων

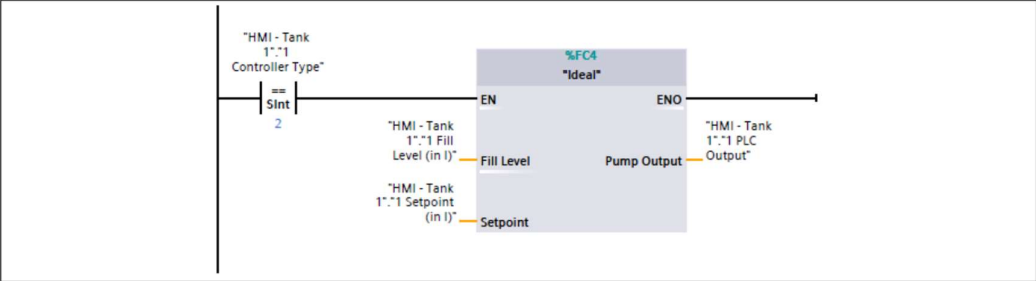
- 1) Αναλογικά PLC Output Modules
- 2) Αναλογικά στοιχεία εξόδου



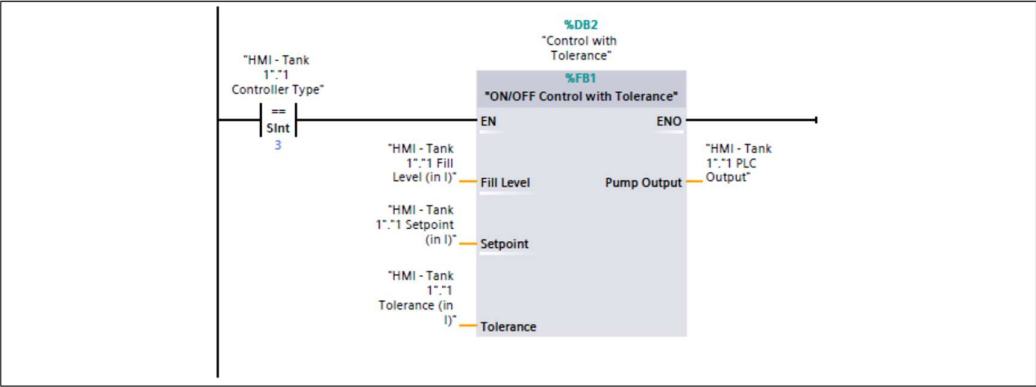
Network 3: Manual Control



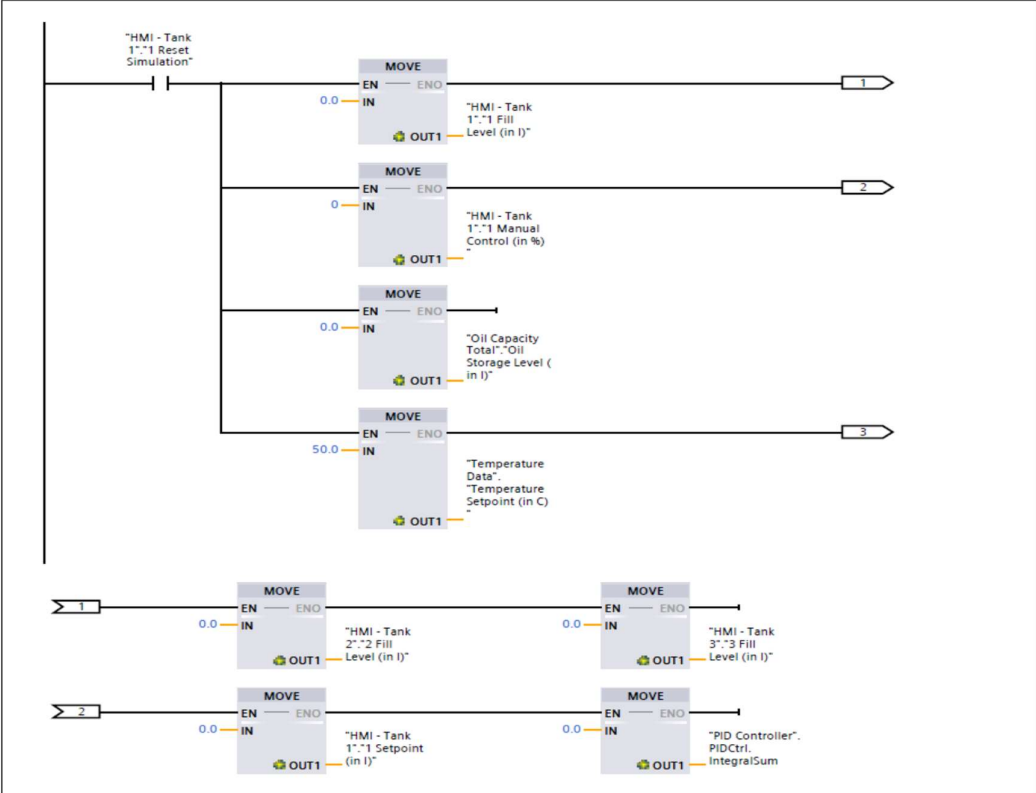
Network 4: Ideal Behaviour

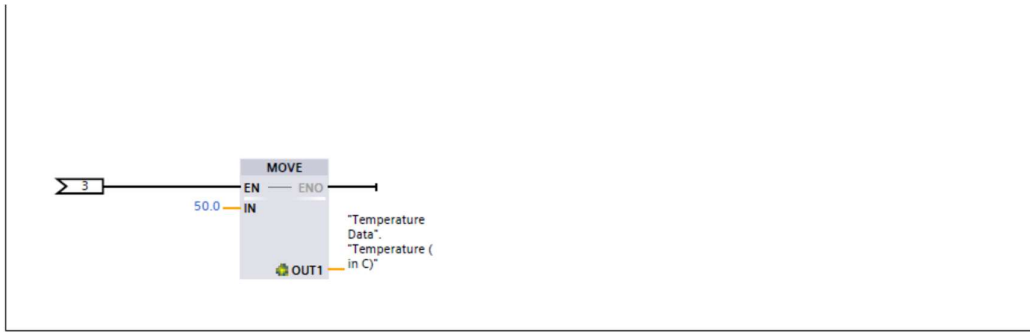


Network 5: ON/OFF Controller

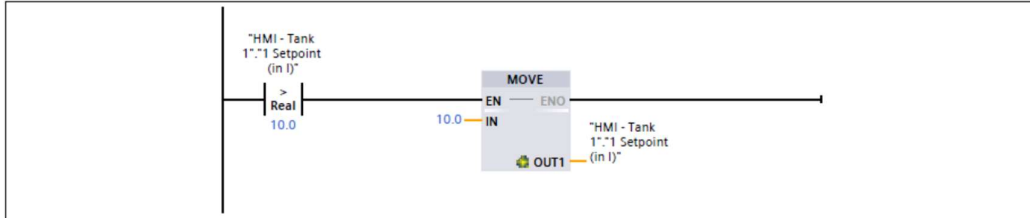


Network 6: Simulation Reset

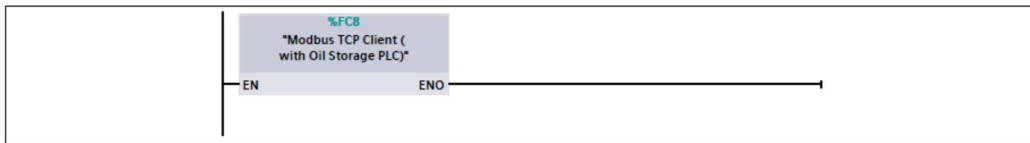




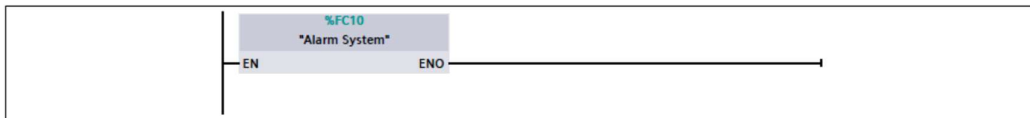
Network 7:



Network 8:



Network 9:

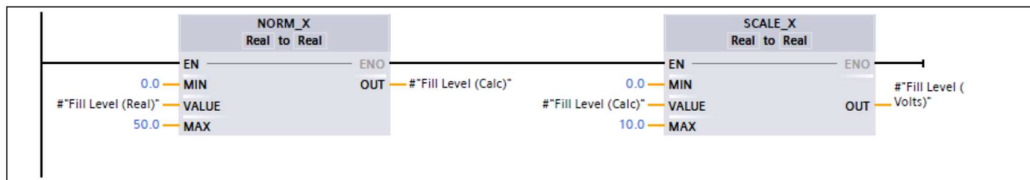


Analog Input Processing

Network 1: Τι κάνει ένας αισθητήρας?

Ένας αισθητήρας παίρνει ένα "Real Value Input" (Λίτρα, °C, m, kg,...) και το μετατρέπει σε:

- 1) 0V - 10V
- 2) -10V - 10V
- 3) -5V - 5V
- 4) 1V - 5V
- 5) 0mA - 20mA
- 6) 4mA - 20mA
- 7) -20mA - 20mA
- 8) Αντίσταση (διαφορετικά πρωτόκολλα)



Network 2: Τι κάνει ένα αναλογικό PLC Input Module?

Ένα αναλογικό PLC Input Module παίρνει τάση ή ρεύμα και τα μετατρέπει σε:

- 1) Μία τιμή 0 - 32767 ή
- 2) Μία τιμή 0 - $2^{15}-1$ (15bit resolution)

(Όπου συνήθως χρησιμοποιείται το 27648)

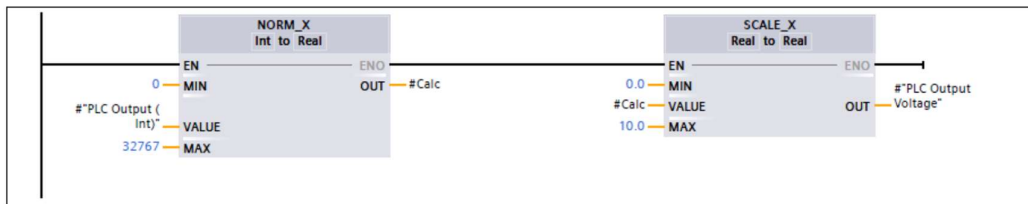


Analog Output Processing

Network 1: Τι κάνει ένα αναλογικό PLC Output Module?

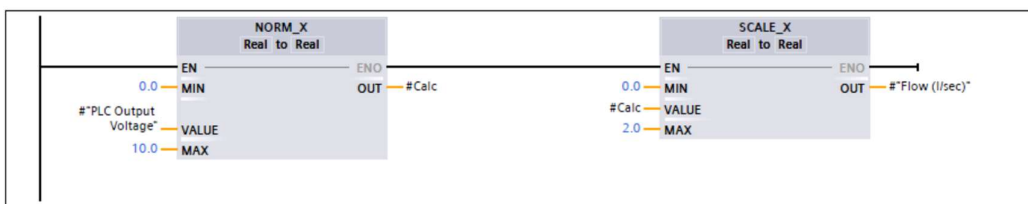
Ένα αναλογικό PLC Output Module παίρνει μία τιμή (15 bit + Sign bit) και τη μετατρέπει σε:

- 1) -10V - 10V
- 2) 0V - 10V
- 3) 1V - 5V
- 4) 4mA - 20mA
- 5) 0mA - 20mA
- 6) -20mA - 20mA



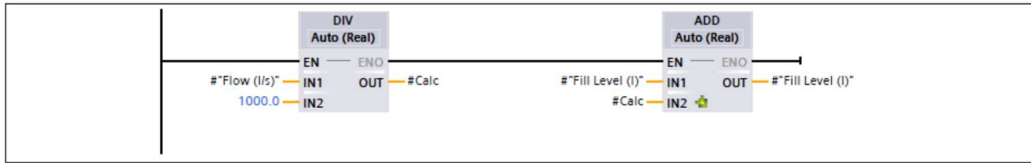
Network 2: Τι κάνει μία αναλογική συσκευή εξόδου?

Μία αναλογική συσκευή εξόδου παίρνει μία τιμή τάσης ή ρεύματος και τη μετατρέπει σε μία μεταβαλλόμενη φυσική μορφή (Ροή, θερμότητα, πίεση, φως,...)

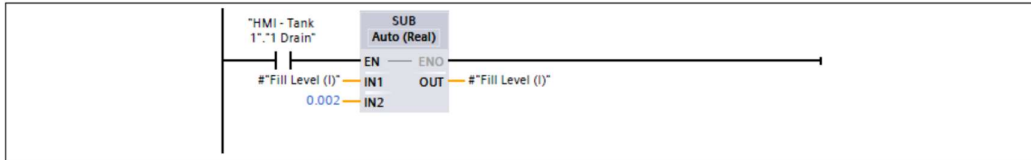


Tank 1 Behavior

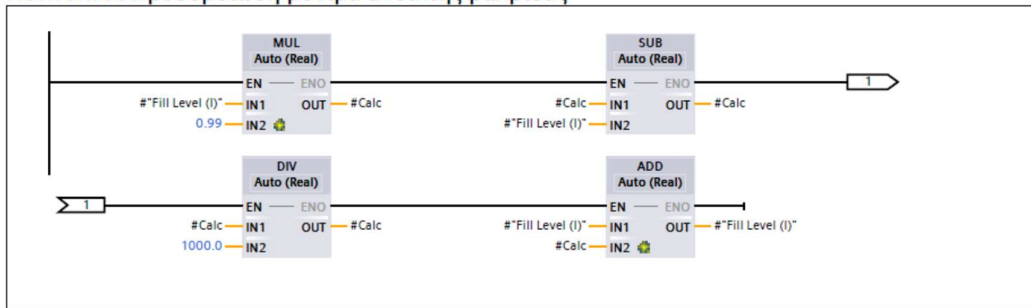
Network 1: Είσοδος δεξαμενής



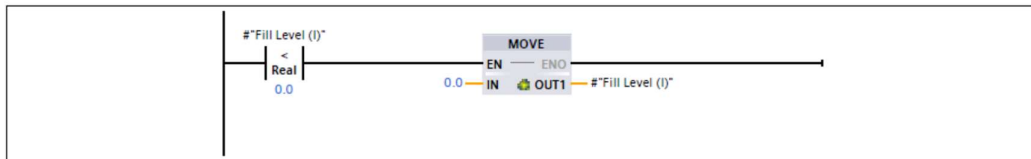
Network 2: Αποστράγγιση δεξαμενής



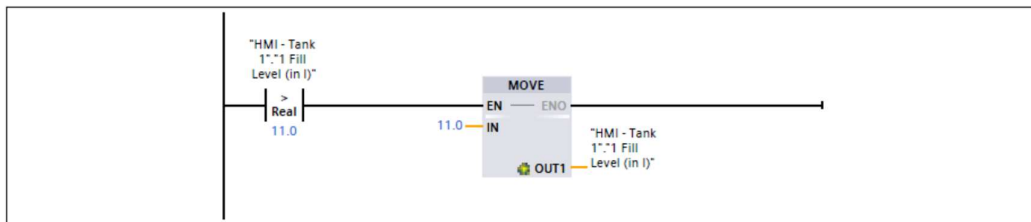
Network 3: Προσομοίωση μόνιμα ανοικτής βαλβίδας



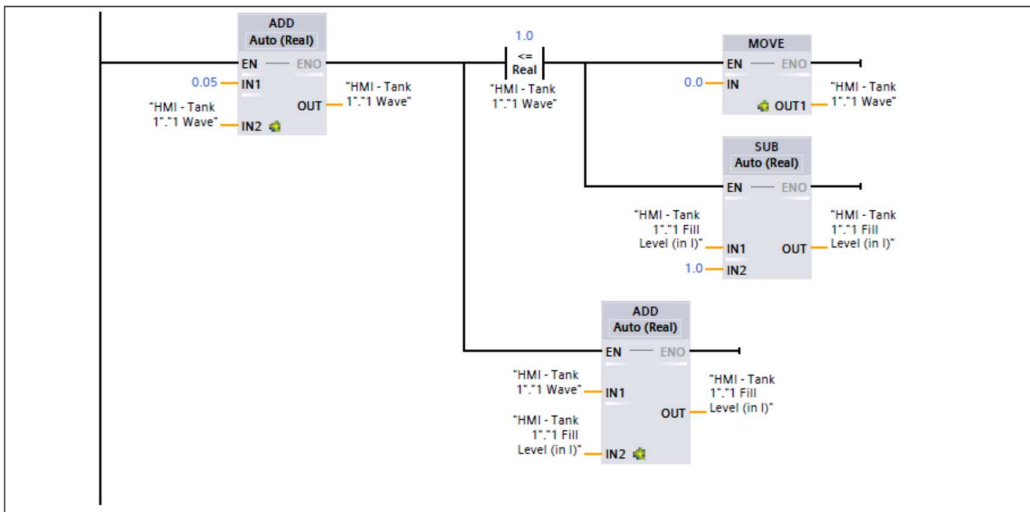
Network 4: Ελάχιστο επίπεδο δεξαμενής



Network 5: Μέγιστο επίπεδο δεξαμενής

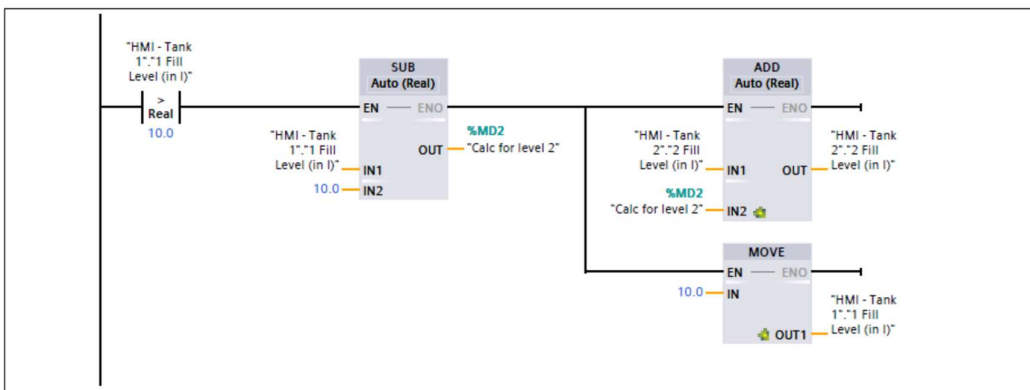


Network 6: Κυμάτωση

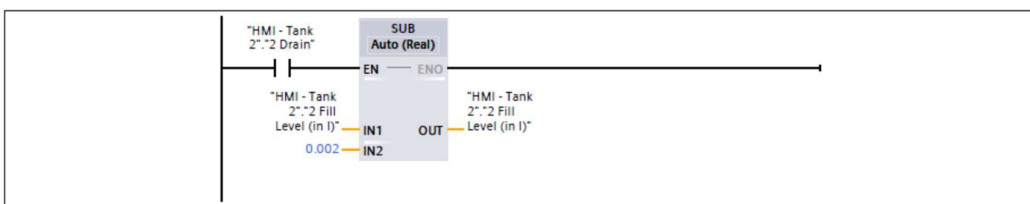


Tank 2 Behavior

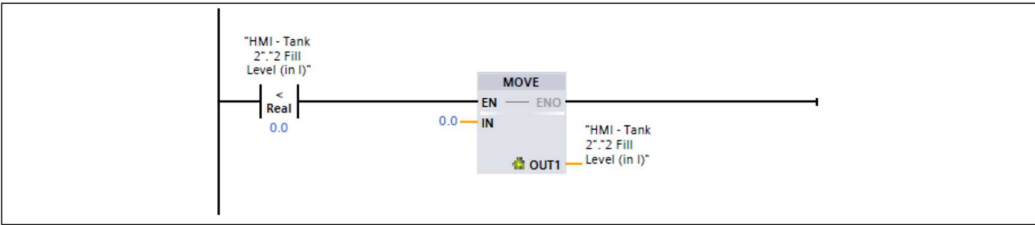
Network 1: Είσοδος δεύτερης δεξαμενής (διαφορετική προσέγγιση)



Network 2: Αποστράγγιση δεύτερης δεξαμενής

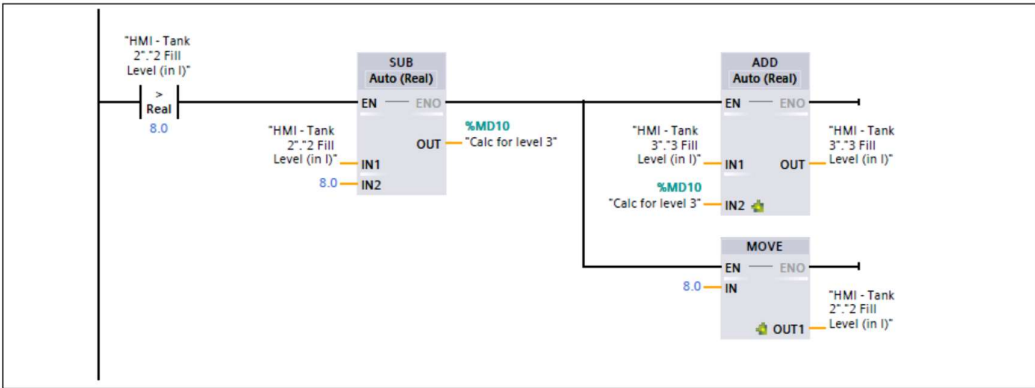


Network 3: Όρια δεύτερης δεξαμενής

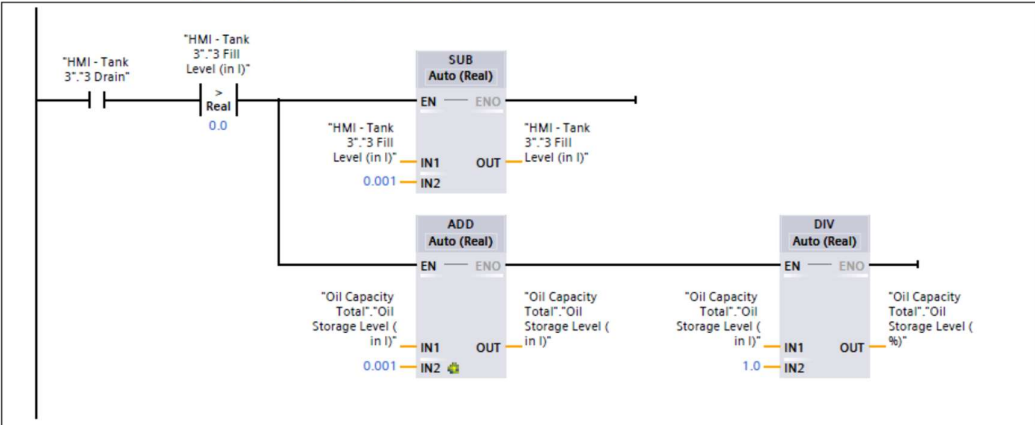


Tank 3 & Oil Storage Behavior

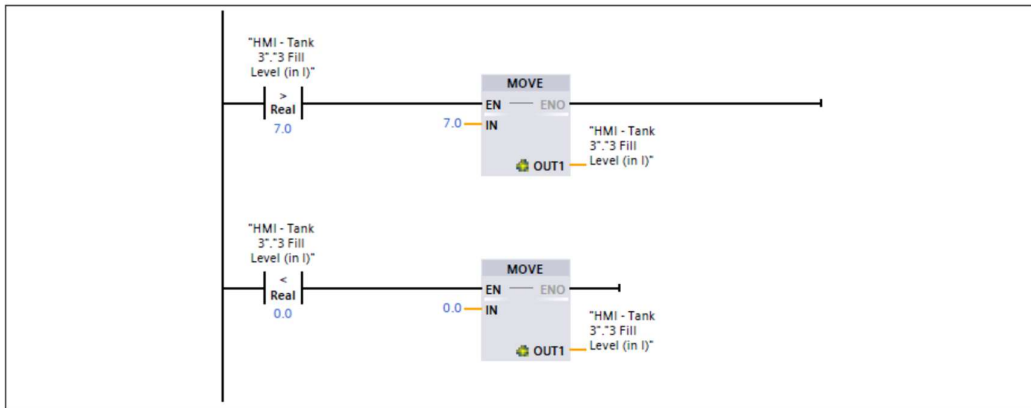
Network 1: Είσοδος τρίτης δεξαμενής



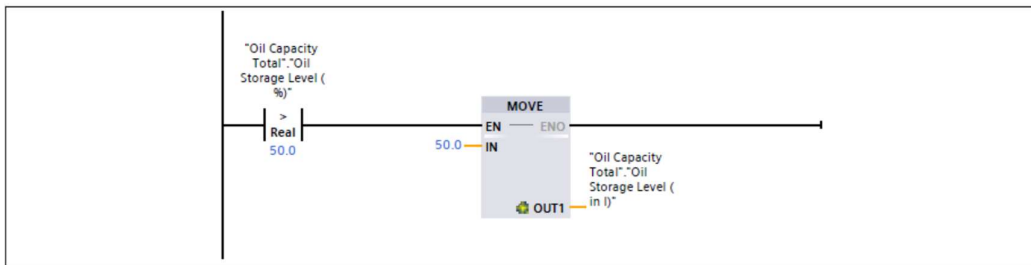
Network 2: Αποστράγγιση τρίτης δεξαμενής



Network 3: Όρια τρίτης δεξαμενής

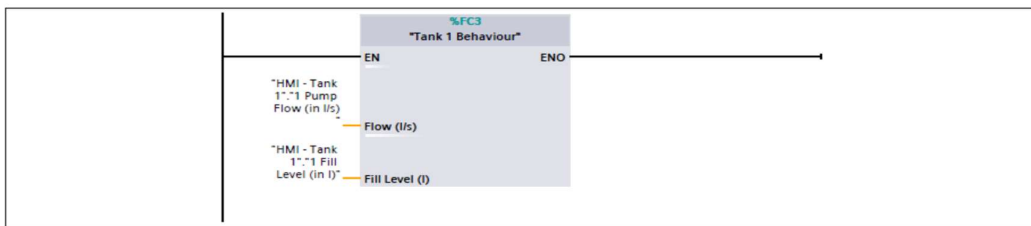


Network 4: Όρια αποθήκης ελαίων

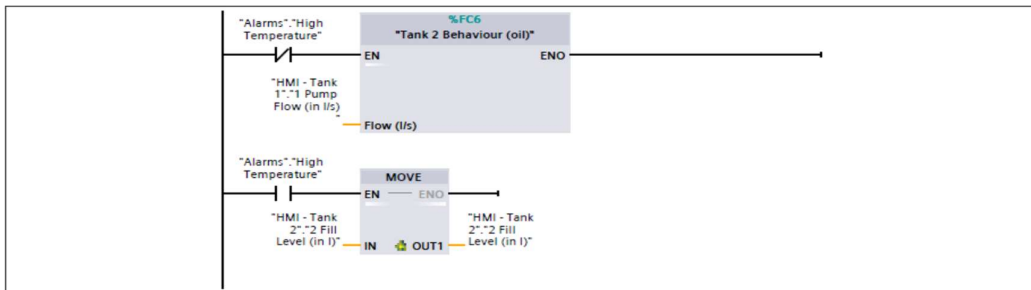


Cyclic interrupt Tank Behavior

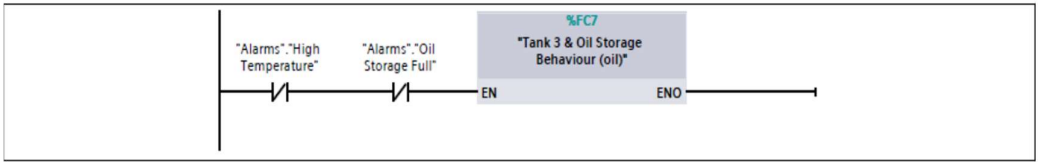
Network 1: Προσομοίωση της πρώτης δεξαμενής



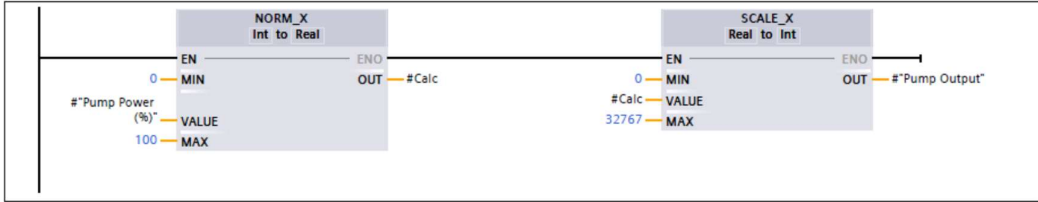
Network 2: Προσομοίωση της δεύτερης δεξαμενής



Network 3: Προσομοίωση της τρίτης δεξαμενής

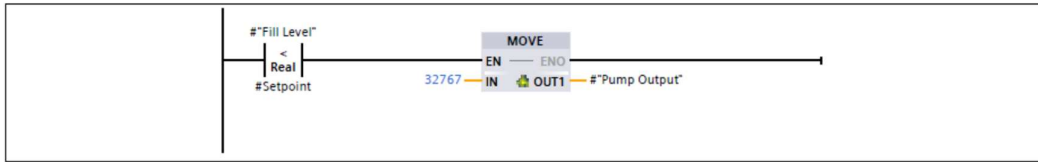


Manual Control



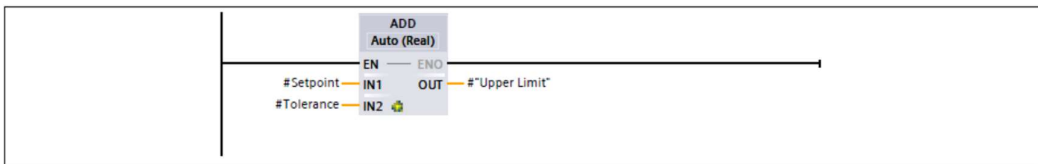
Ideal

Network 1:

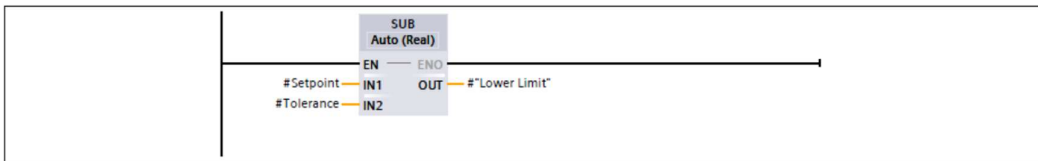


ON/OFF Control with Tolerance

Network 1: Άνω όριο

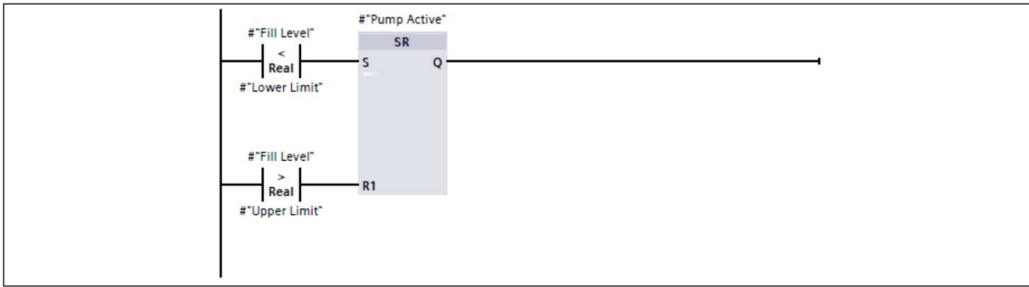


Network 2: Κάτω όριο

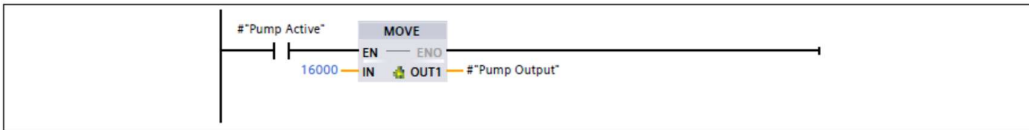


Network 3: Αναγνώριση κατάστασης

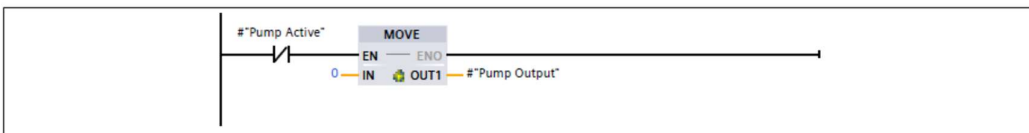
Αναγνώριση της απαιτούμενης λειτουργίας της αντλίας (ενεργή ή μη) ανάλογα τη στάθμη με χρήση ενός SR μανδαλωτή.



Network 4: Αντλία ενεργή

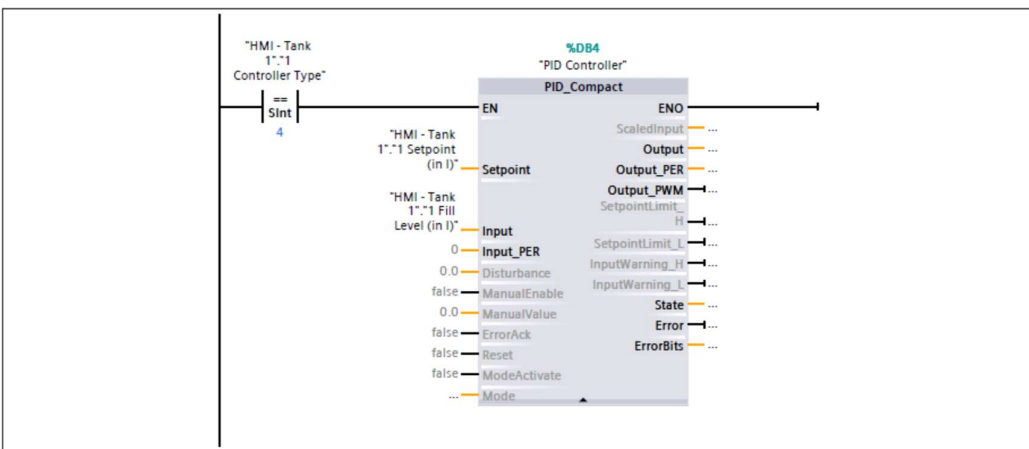


Network 5: Αντλία μη ενεργή

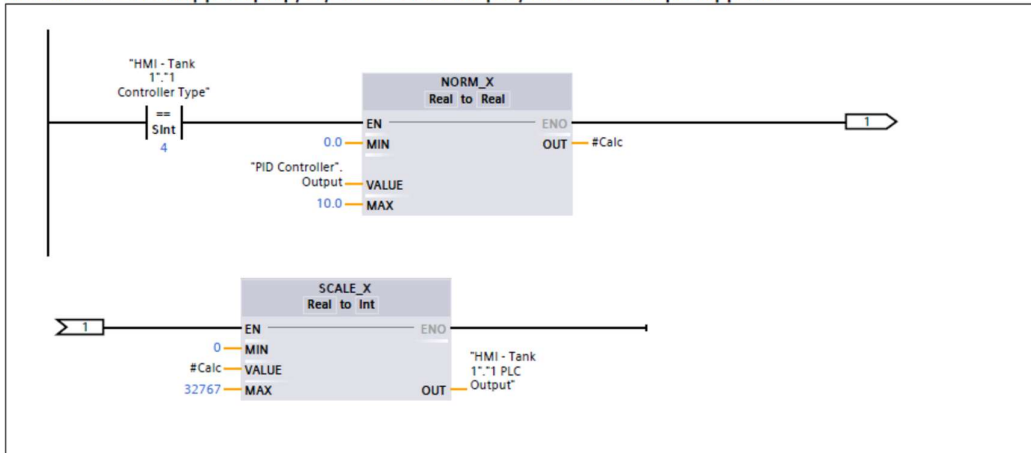


Cyclic interrupt 0.5ms Tank PID

Network 1: PID Compact



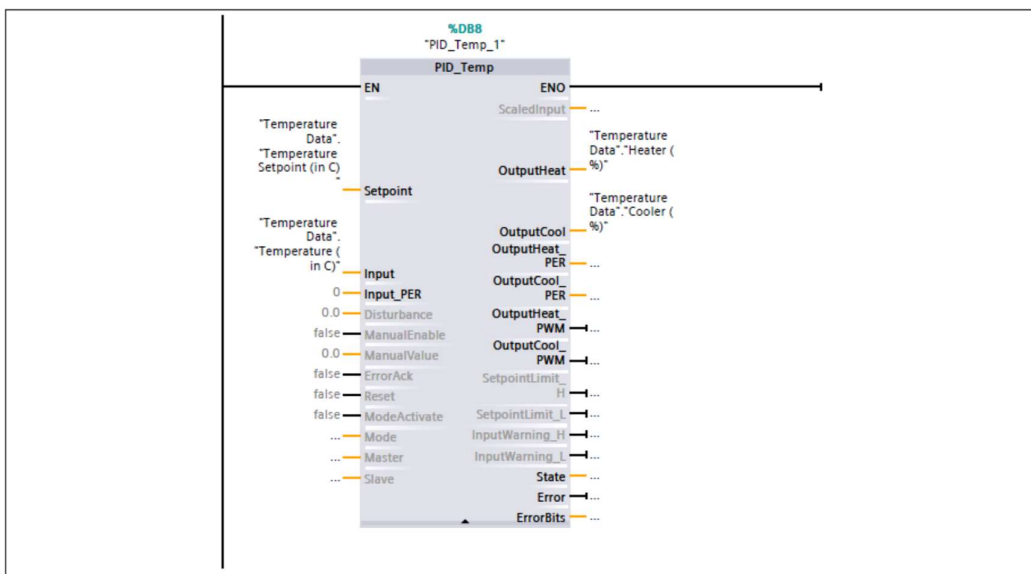
Network 2: Μετάφραση της εξόδου του PID προς επικοινωνία με τη βάνα.



Cyclic interrupt Temp Control

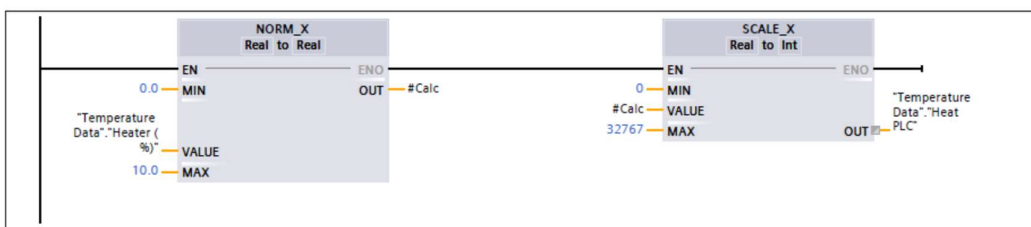
Network 1: PID Temp

Η ουσιαστική διαφορά εδώ από το PID Compact είναι το είδος του ελέγχου και η επιπλέον έξοδος.

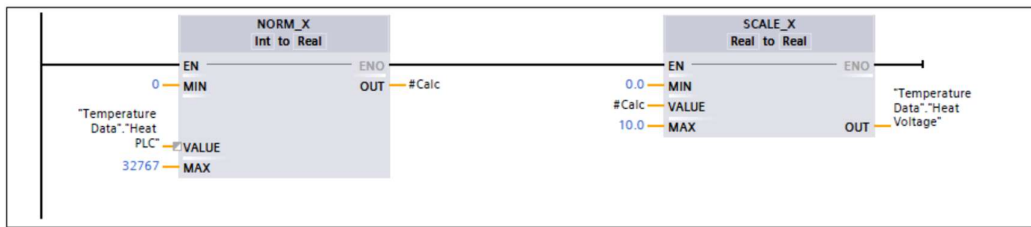


Network 2: -----ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΜΕΤΑΤΡΟΠΩΝ-----

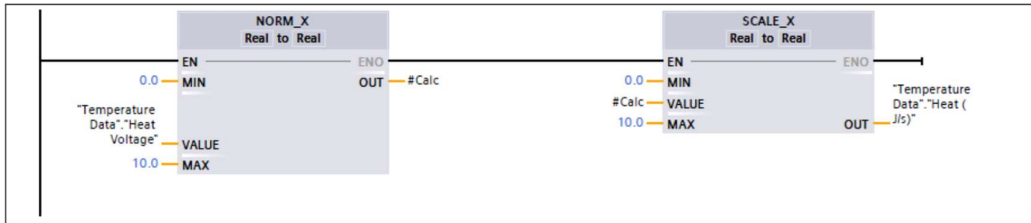
Network 3:



Network 4:



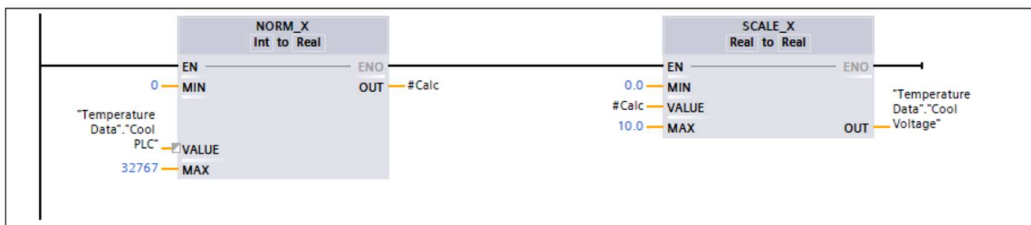
Network 5:



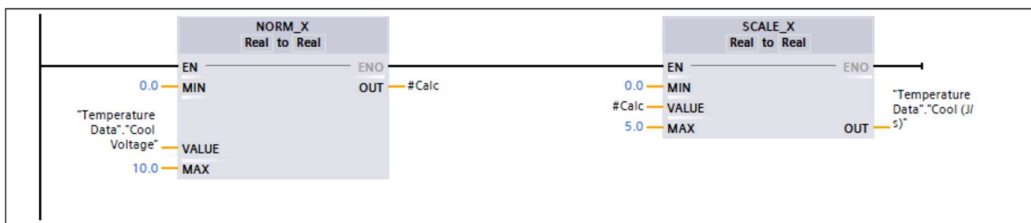
Network 6:



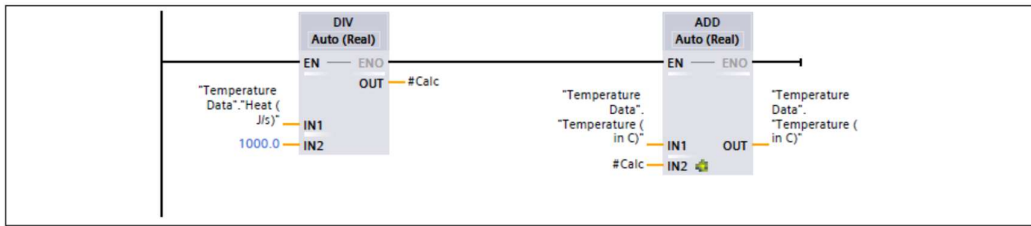
Network 7:



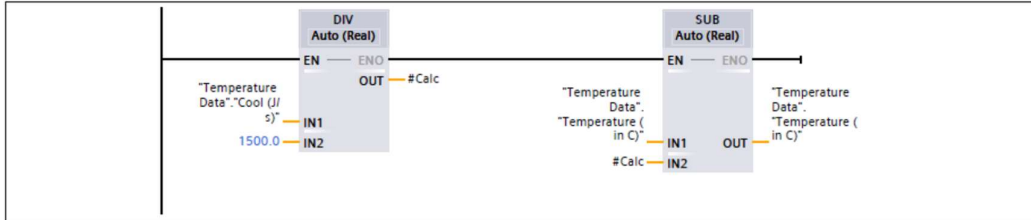
Network 8:



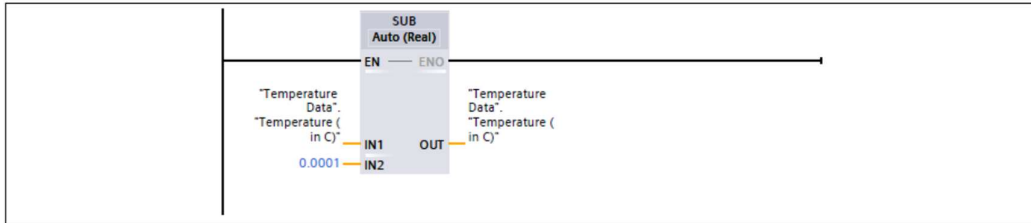
Network 9: Θέρμανση



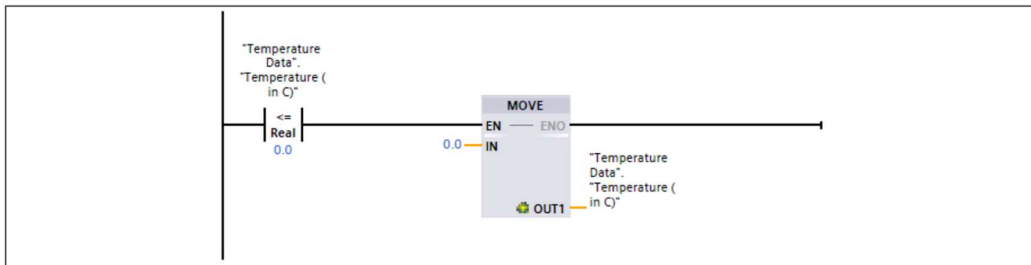
Network 10: Ψύξη



Network 11: Αυτόματη πώση θερμοκρασίας



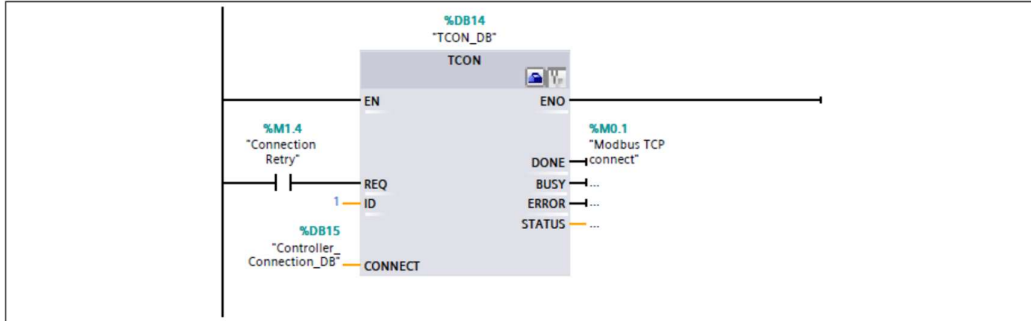
Network 12: Κάτω όριο θερμοκρασίας



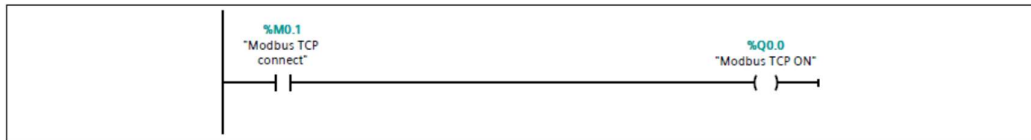
Modbus TCP Client (with Oil Storage PLC)

Network 1: Εγκαθίδρυση σύνδεσης

Το TCON block, όταν δεχθεί θετική ακμή στο REQ, ενεργοποιείται και εγκαθιδρύει τη σύνδεση TCP με το άλλο PLC.



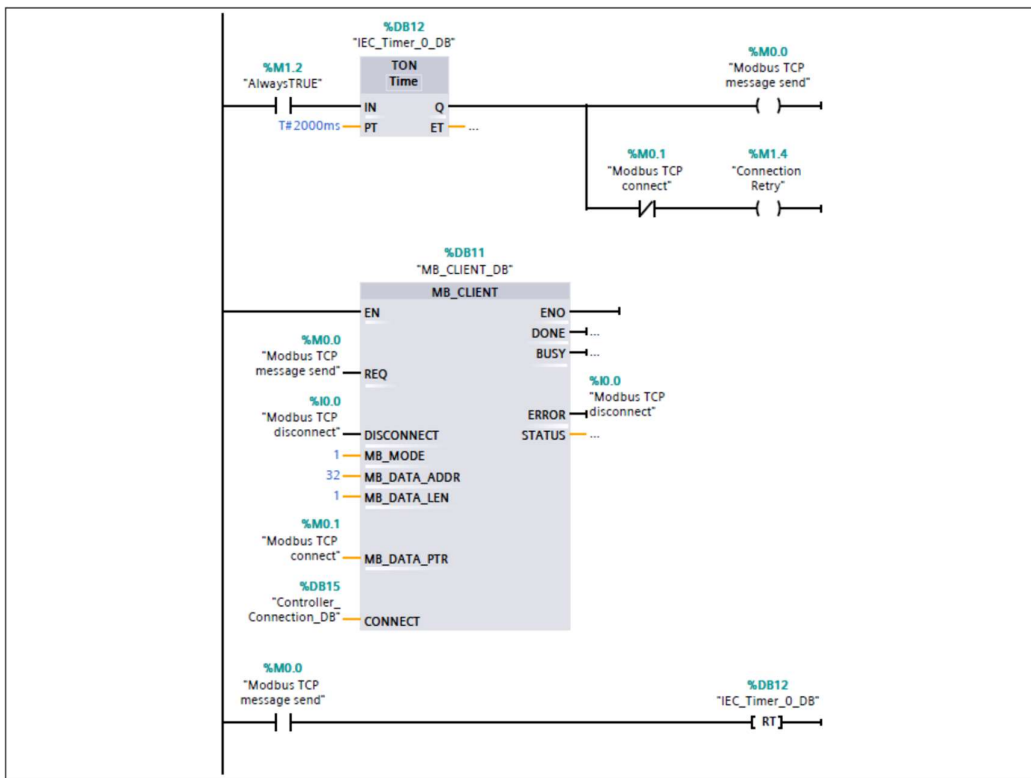
Network 2: Ένδειξη λειτουργίας της Modbus TCP σύνδεσης.



Network 3: Εντολή ως Client READ COIL

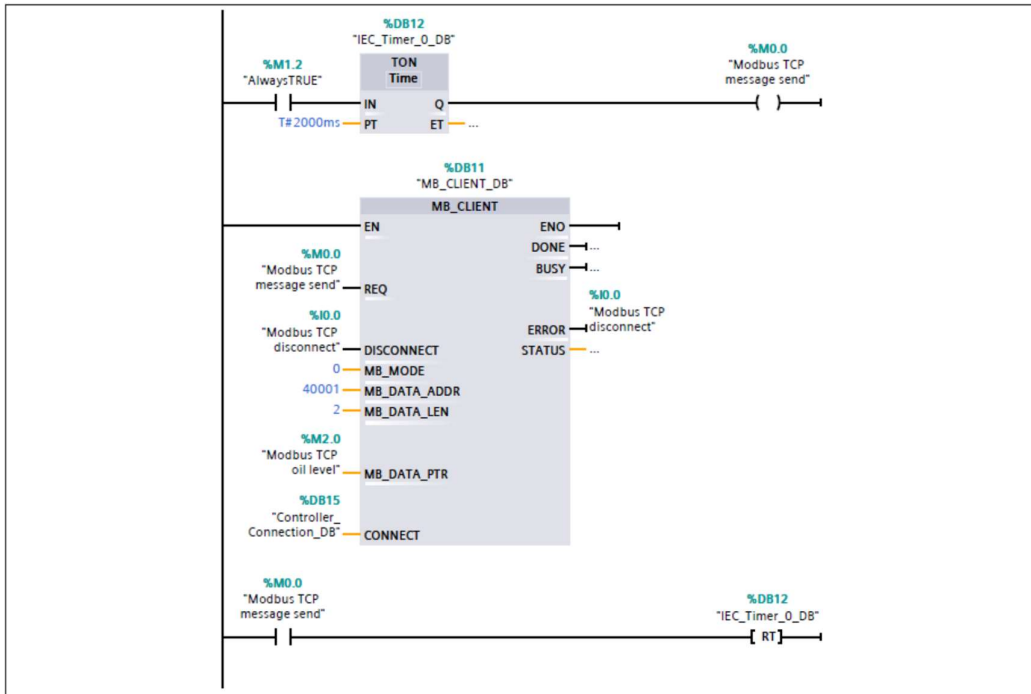
Γράφει το bit που βρίσκεται στη θέση 32 δηλαδή στο παράδειγμά μας το Q4.0.

Δείχνει ότι απλά υπάρχει επιτυχής επικοινωνία μεταξύ των δύο PLC καθώς ανταλλάσσουν πληροφορία.



Network 4: Εντολή ως Client READ HOLDING REGISTER

Διαβάζει τον real στον οποίο αναγράφεται η στάθμη (σε λίτρα) του oil storage.



Alarm System

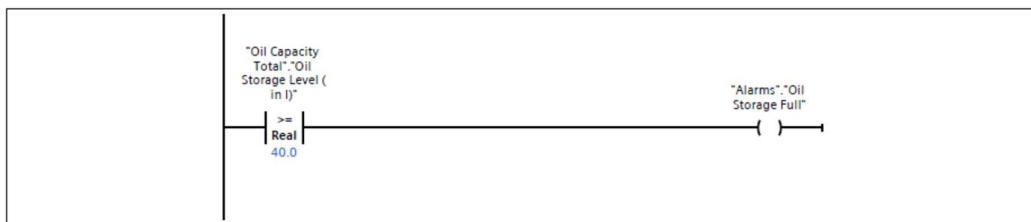
Network 1: Έλεγχος θερμοκρασίας

Όταν η θερμοκρασία ξεπεράσει τους 85 C, συναγερμός και διακοπή λειτουργίας.



Network 2: Έλεγχος στάθμης ελαίων

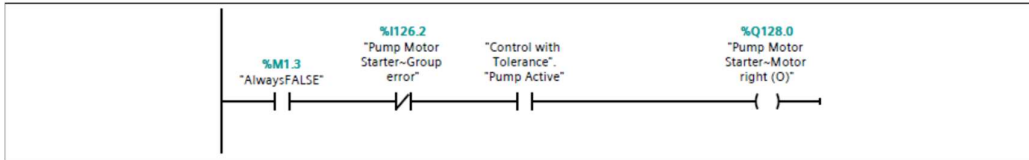
Όταν η στάθμη φτάσει σχεδόν στο μέγιστο, ειδοποίηση και διακοπή ροής ελαίου στην αποθηκευτική δεξαμενή.



Pump Control (Removed)

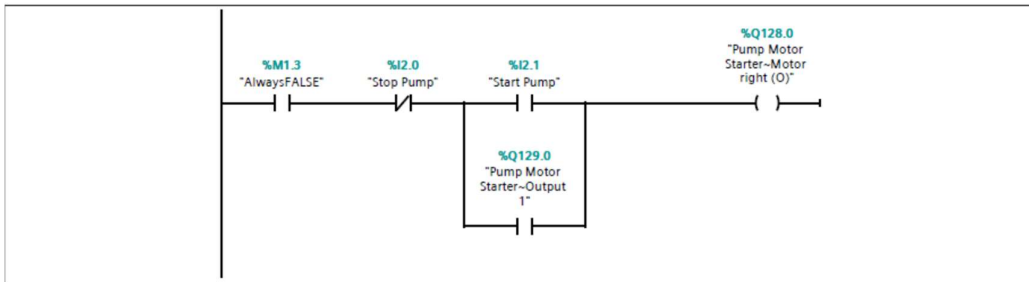
Network 1: Πράδειγμα εκκίνησης από HMI

Όταν δεν υπάρχει σφάλμα στο DSS και ενεργοποιείται από ένα κουμπί του HMI η αντλία, ενεργοποίησή της μέσω του DSS.



Network 2: Εκκίνηση από μπουτόν

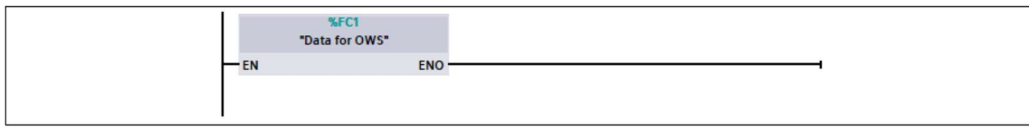
Εκκίνηση της αντλίας μέσω κλασικών μπουτόν και του DSS.



Oil Storage PLC

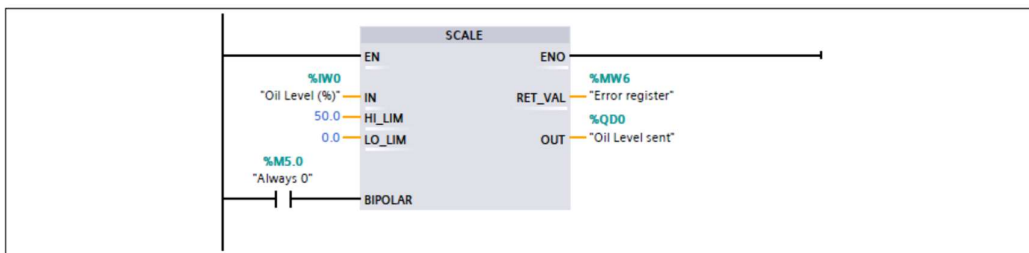
Main

Network 1: Modbus TCP block

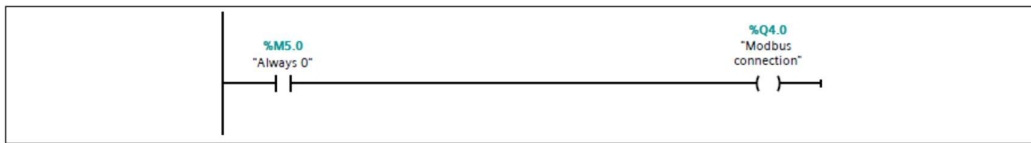


Data for OWS

Network 1: Ανάγνωση στάθμης δεξαμενής στο PLC



Network 2: Bit για επιτυχή Modbus σύνδεση



ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- 1) «Σχεδίαση Εφαρμογών Αυτοματισμού με τη γλώσσα STEP 7 σε LAD και FBD», Hans Berger, Εκδόσεις Τζιόλα, Θεσσαλονίκη 2009.
- 2) «Maynard's Industrial Engineering Handbook – 5th Edition», Kjell B. Zandin, Εκδόσεις McGraw-Hill, 2004.
- 3) «Industrial Automation Hands-On», Frank Lamb, Εκδόσεις McGraw-Hill, 2013.
- 4) «Industrial Motion Control», Hakan Gurocak, Εκδόσεις Wiley, Washington 2016.
- 5) «Sensors and Control Systems in Manufacturing – 2nd Edition», Sabrie Soloman, Εκδόσεις McGraw-Hill, 2010.
- 6) «IEC 61131-3: Programming Industrial Automation Systems», Karl-Heinz John – Michael Tiegelkamp, Εκδόσεις Springer, New York 1995.
- 7) «Development of Water Pressure and Distribution Monitoring System using PLC and SCADA», αναφορά εργασίας Shamsul Anuar Bun Abd Aziz, Πανεπιστήμιο Tun Hussein Onn, Μαλαισία 2013.
- 8) «A Guide to Operating Oil Water Separators on Ships», Mohit Sanguri, Εκδόσεις Marine Insight, 2013.

Χρησιμοποιήθηκαν επίσης τεχνικά εγχειρίδια για κάθε συσκευή και λογισμικό, καθώς και επιπλέον εγχειρίδια για ιδιαίτερες λειτουργίες όπως των PID blocks, Modbus TCP blocks και CSence Fuzzy Logic. Περαιτέρω γνώσεις για το IIoT και τα μοντέρνα συστήματα ελέγχου αντλήθηκαν από διαδικτυακά σεμινάρια των ISA, Emerson, GE Digital, PTC, Control-Engineering Europe, καθώς και από το διαδικτυακό μάθημα «Developing Industrial Internet of Things» του πανεπιστημίου του Colorado Boulder από το Coursera.