



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ  
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ  
ΤΟΜΕΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΙΣΧΥΟΣ

Κατασκευή και προγραμματισμός αυτοματοποιημένης  
εγκατάστασης χειρισμού στροφών κινητήρα με μετατροπέα  
συχνότητας μέσω βιομηχανικού δικτύου Ethernet.

## ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Κυριακή Γ. Μέρμηγκα

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

Αθήνα, Μάρτιος 2018





ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ  
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ  
ΤΟΜΕΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΙΣΧΥΟΣ

Κατασκευή και προγραμματισμός αυτοματοποιημένης  
εγκατάστασης χειρισμού στροφών κινητήρα με μετατροπέα  
συχνότητας μέσω βιομηχανικού δικτύου Ethernet.

## ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Κυριακή Γ. Μέρμηγκα

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

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την 27<sup>η</sup> Μαρτίου 2018.

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

.....  
Κωνσταντίνος Βουρνάς  
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....  
Παύλος Γεωργιλάκης  
Επίκουρος Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Μάρτιος 2018

.....  
Κυριακή Γ. Μέρμηγκα

Διπλωματούχος Ηλεκτρολόγος Μηχανικός και Μηχανικός Υπολογιστών Ε.Μ.Π.

Copyright © Κυριακή Γ. Μέρμηγκα, 2018

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 τον συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

## Περίληψη

Η παρουσία των PLCs, σήμερα, έχει επικρατήσει στον τομέα των αυτοματισμών, και γίνεται συνεχής προσπάθεια για ανάπτυξη νέων τεχνολογιών, που θα καταστήσουν ακόμα πιο αποδοτικό, εύκολο και γρήγορο τον έλεγχο βιομηχανικών εγκαταστάσεων. Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι να εξεταστεί και να αξιοποιηθεί η δυνατότητα σύνδεσης του PLC σε ένα βιομηχανικό δίκτυο Ethernet, για τον έλεγχο στροφών κινητήρα μέσω μετατροπέα συχνότητας, ο οποίος βρίσκεται στο ίδιο δίκτυο.

Για το σκοπό αυτό, κατασκευάζεται μια αυτοματοποιημένη εγκατάσταση σε μικρότερη κλίμακα. Πρόκειται για δύο δεξαμενές, τοποθετημένες με υψομετρική διαφορά, ώστε η υψηλότερη να τροφοδοτείται μέσω αντλίας (EH3, E-Tech) από τη χαμηλότερη, που λειτουργεί ως βοηθητικός χώρος αποθήκευσης του υγρού.

Σε πρώτο επίπεδο, σχεδιάστηκε και διασυνδέθηκε ο απαραίτητος ηλεκτρολογικός εξοπλισμός, αλλά και διαμορφώθηκε το Ethernet δίκτυο, δηλαδή συνδέθηκαν το PLC (MicroLogix 1400, Allen Bradley), το SCADA (CIMPLICITY, General Electric) και το inverter (D700, Mitsubishi). Στο δεύτερο στάδιο, αναπτύχθηκε το πρόγραμμα του PLC σε γλώσσα Ladder για τον έλεγχο στάθμης της κύριας (υψηλότερης) δεξαμενής. Το PLC έχει ως είσοδο έναν αισθητήρα αναλογικής μέτρησης στάθμης της κύριας δεξαμενής, και μέσω κατάλληλου ελέγχου PID εντέλει το inverter, με τα σήματα αυτά να στέλνονται μέσω Ethernet (πρωτόκολλο Modbus TCP). Το τρίτο στάδιο περιλαμβάνει την ανάπτυξη του προγράμματος επιστασίας για επίβλεψη και έλεγχο της κατασκευής από το χρήστη μέσω της οθόνης του υπολογιστή (εκκίνηση/σταμάτημα λειτουργίας, σφάλματα, ενημερώσεις κτλ.). Τέλος, φροντίζεται η συλλογή και αποθήκευση όλων των δεδομένων σε Βάση Δεδομένων για περαιτέρω ανάλυση, παρουσίαση γραφημάτων κτλ.

Η δυνατότητα σύνδεσης ενός inverter με το PLC μέσω δικτύου προσφέρει πολλά πλεονεκτήματα, καθώς με μόνο ένα καλώδιο αποστέλλεται όλη η πληροφορία. Όταν δε, το δίκτυο από σειριακό μετατρέπεται σε Ethernet τα πλεονεκτήματα αυξάνονται, καθώς επωφελούμαστε από πολύ υψηλές ταχύτητες, και δυνατότητα σύνδεσης των υλικών σε πολύ μεγάλες αποστάσεις.

Η εργασία εκπονήθηκε σε συνεργασία με την εταιρία «Αλουμίνιον της Ελλάδος» του Ομίλου Μυτιληναίος.

## Λέξεις κλειδιά

Προγραμματιζόμενος Λογικός Ελεγκτής (PLC), Σύστημα Εποπτείας Ελέγχου και Συλλογής Πληροφοριών (SCADA), Μετατροπέας συχνότητας, Έλεγχος PID, MicroLogix 1400 και RSLogix 500 (Allen Bradley), CIMPLICITY 9.5 (General Electric), Modbus RTU, Modbus TCP, Βιομηχανικό Ethernet



## Abstract

Nowadays PLCs are dominating the automation world, and there is a continuous effort in order to develop new technologies that will make the control of an industrial plant even more efficient, easy and fast. The goal of this thesis is to analyze and exploit the specification of some PLCs to connect to an industrial Ethernet network for controlling a motor speed through an inverter which is on the same network.

To achieve this goal, we built an automated plant on a smaller scale. It consists of two tanks, placed at different elevation, so that the higher is supplied by a pump (EH3, E-Tech) from the lower one, in which the liquid is stored.

At first, we designed and interconnected all the necessary electrical parts, and built the Ethernet network, by connecting the PLC (MicroLogix 1400, Allen Bradley), SCADA (CIMPLICITY, General Electric) and the inverter (D700, Mitsubishi). Secondly, we developed the PLC's program in Ladder code to control the level of the main (higher) tank. An analog level sensor is connected as an analog input to the PLC, the level of the tank is used by an embedded PID controller to send the appropriate command to the inverter. These signals are sent via Ethernet (Modbus TCP protocol). The third step involved the development of the SCADA program for supervisory and control of the project model through the computer screen (startup / shutdown, alarms, notifications, etc.). Finally, we collect and log all data in a Relational Database for further analysis, presentation of graphs etc.

The ability to connect an inverter and the PLC over a network offers many advantages, as only one cable is needed for all the information to pass through. When the serial network is converted to Ethernet, the advantages are increasing as we benefit from very high speeds and the ability to connect parts over long distances.

The project was carried out in cooperation with the company "Aluminum of Greece" of Mytilineos Group.

## Keywords

Programmable Logic Controller (PLC), Supervisory Control And Data Acquisition (SCADA), Inverter, PID control, MicroLogix 1400 and RSLogix 500 (Allen Bradley), CIMPLICITY 9.5 (General Electric), Modbus RTU, Modbus TCP, Industrial Ethernet





## Ευχαριστίες

Σε αυτό το σημείο, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον κ. Γεώργιο Κορρέ, Καθηγητή της σχολής Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών του Ε.Μ.Π., για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε με την ανάθεση του θέματος της διπλωματικής εργασίας.

Επίσης, θα ήθελα να εκφράσω τις ιδιαίτερες ευχαριστίες μου στον κ. Γεράσιμο Αντύπα, προϊστάμενο των Συστημάτων Ελέγχου του εργοστασίου «Αλουμίνιον της Ελλάδος», που με εμπιστεύτηκε, με βοήθησε και με συμβούλευσε σε όλη τη διάρκεια εκπόνησης της παρούσας διπλωματικής. Η συνεργασία μαζί του, και με όλους τους ανθρώπους του εργοστασίου που συντέλεσαν στην ολοκλήρωση της εργασίας αυτής, ήταν για μένα μεγάλη τιμή.

Το μεγαλύτερο ευχαριστώ, τέλος, θα ήθελα να το εκφράσω στους δικούς μου ανθρώπους. Στους φίλους μου που ήταν δίπλα μου σε αυτό το ταξίδι, στο Γιάννη που μου έμαθε ότι αξίζει να προσπαθείς, να περιμένεις και να επιμένεις, μα κυρίως στην οικογένειά μου για όσα μου έχουν προσφέρει και διδάξει ως σήμερα και για την υποστήριξη σε κάθε επιλογή μου με τόση υπομονή.



# Περιεχόμενα

Περίληψη .....	5
Λέξεις κλειδιά.....	5
Abstract .....	7
Keywords.....	7
Ευχαριστίες .....	9
Περιεχόμενα.....	11
Λίστα Σχημάτων .....	15
Λίστα Πινάκων .....	18
<b>1</b> Εισαγωγή.....	19
1.1 Αντικειμενικός σκοπός και στόχοι .....	19
1.2 Δομή της εργασίας.....	20
<b>2</b> Γενικές έννοιες .....	21
2.1 Inverter.....	21
2.1.1 Γενικές έννοιες .....	21
2.1.1.1 Αρχή λειτουργίας μονοφασικού αντιστροφέα .....	21
2.1.1.2 Εφαρμογές .....	22
2.1.2 Μοντέλο της διάταξης.....	23
2.1.2.1 Καλωδίωση.....	24
2.1.2.2 Παράμετροι.....	26
2.2 Κινητήρας .....	28
2.2.1 Γενικές έννοιες .....	28
2.2.1.1 Το στρεφόμενο μαγνητικό πεδίο και η ολίσθηση .....	28
2.2.1.2 Έλεγχος ταχύτητας κινητήρα.....	29
2.2.2 Χαρακτηριστικές καμπύλες αντλίας .....	30
2.2.2.1 Χαρακτηριστική καμπύλη σωληνογραμμής .....	31
2.2.3 Μοντέλο αντλίας της διάταξης .....	32
2.2.3.1 Τοποθέτηση και προετοιμασία.....	33
2.3 Αισθητήρες στάθμης.....	34
2.3.1 Αναλογική μέτρηση στάθμης.....	34
2.3.1.1 Αισθητήρες υπέρηχων .....	34
2.3.1.1.1 Αρχή λειτουργίας .....	34
2.3.1.1.2 Εύρος ανίχνευσης .....	35
2.3.1.1.3 Εφαρμογές .....	36

2.3.1.2	Μοντέλο της εργασίας .....	36
2.3.2	Ψηφιακοί οριοδιακόπτες στάθμης .....	37
2.3.2.1	Αισθητήρες αγωγιμότητας .....	37
2.3.2.1.1	Αρχή λειτουργίας για ανίχνευση low/high με ρελέ .....	37
2.3.2.2	Μοντέλο της εργασίας .....	38
2.3.2.2.1	Χαρακτηριστικά και προδιαγραφές ρελέ .....	38
2.3.2.2.2	Χαρακτηριστικά και προδιαγραφές ηλεκτροδίων .....	40
2.4	Ηλεκτροβάνες .....	40
2.4.1	Γενικές έννοιες .....	40
2.4.2	Μοντέλο της εργασίας .....	41
2.5	Έλεγχος PID .....	41
2.5.1	Αρχή λειτουργίας .....	41
2.5.2	Σύγκριση ελεγκτών P, PI, PID .....	42
2.5.3	Ρύθμιση Παραμέτρων Ελεγκτών PID .....	43
2.6	Διάγραμμα διαδικασίας και οργάνων - P & ID .....	43
2.6.1	Κανόνες συμβολισμού και συμβόλων στη σχεδίαση του P&ID .....	44
<b>3</b>	<b>PLC</b> .....	<b>46</b>
3.1	Γενικές έννοιες .....	46
3.1.1	Εισαγωγή – Ιστορική αναδρομή .....	46
3.1.2	Δομή και Λειτουργία PLC .....	47
3.1.2.1	Πλαίσιο τοποθέτησης μονάδων .....	48
3.1.2.2	Μονάδα τροφοδοσίας .....	48
3.1.2.3	Κεντρική μονάδα επεξεργασίας .....	48
3.1.2.4	Ψηφιακές και αναλογικές εισοδοί .....	49
3.1.2.5	Ψηφιακές και αναλογικές έξοδοι .....	50
3.1.3	Πλεονεκτήματα των PLC's .....	50
3.2	Μοντέλο της εργασίας .....	51
3.2.1	Είσοδοι και έξοδοι .....	52
3.2.1.1	Ενσωματωμένες εισοδοί/έξοδοι .....	53
3.2.1.2	Αναλογική κάρτα επέκτασης 1762-IF4 .....	53
3.2.1.3	Διευθυνσιοδότηση .....	54
3.3	Λογισμικό ανάπτυξης RSLogix 500 .....	55
3.3.1	Ελάχιστες απαιτήσεις συστήματος .....	55
3.3.2	Η διεπαφή του RSLogix 500 .....	56

3.3.3	RSLinx .....	56
3.3.4	Αρχεία δεδομένων - Data files .....	57
3.4	Εντολές Ladder .....	58
3.4.1	Εντολές μεταφοράς (Move) .....	58
3.4.2	Εντολές αρχείων (File).....	58
3.4.3	Εντολές χρονικών και μετρητών (Timer and Counter).....	58
3.4.4	Εντολές σύγκρισης (Compare) .....	62
3.4.5	Μαθηματικές εντολές (Math) .....	64
3.4.6	Εντολές τύπου ρελέ (relay-type, bit).....	65
3.4.7	Εντολές ελέγχου διεργασίας (Process Control) – PID εντολή.....	67
3.4.8	Εντολές επικοινωνίας (Communication) – MSG εντολή .....	68
<b>4</b>	<b>SCADA.....</b>	<b>71</b>
4.1	Γενικές έννοιες .....	71
4.1.1	Εισαγωγή – Σκοπός και στόχοι ενός SCADA συστήματος.....	71
4.1.2	Δομή και λειτουργία ενός συστήματος SCADA.....	71
4.1.3	Αποθήκευση και ανάλυση δεδομένων .....	73
4.2	Λογισμικό CIMPLICITY .....	73
4.2.1	Ελάχιστες απαιτήσεις συστήματος .....	73
4.2.2	CIMPLICITY Workbench.....	74
4.2.3	CIMPLICITY CimEdit .....	76
<b>5</b>	<b>Δίκτυα.....</b>	<b>77</b>
5.1	Ethernet.....	77
5.2	Ethernet/IP .....	77
5.2.1	CIP (Control and Information Protocol) .....	78
5.2.2	Φυσικό στρώμα.....	79
5.3	Modbus .....	80
5.3.1	Modbus RTU.....	81
5.3.1.1	Πακέτο μηνύματος.....	81
5.3.1.2	Τύποι δεδομένων και βασικές λειτουργίες Read/Write.....	82
5.3.1.3	Φυσικό στρώμα.....	83
5.3.2	Modbus TCP .....	83
5.3.2.1	Πακέτο μηνύματος – Επικεφαλίδα MBAP .....	84
5.3.2.2	Σύνδεση TCP (TCP Connection).....	84
5.3.3	Μορφοτροπέας επικοινωνίας (Gateway).....	85

5.4	Διαμόρφωση του δικτύου της εργασίας.....	87
5.4.1	Απόδοση IP διευθύνσεων .....	87
5.4.2	Ρύθμιση RSLinx και καναλιών του PLC.....	87
5.4.3	Παραμετροποίηση Digi One gateway .....	89
5.4.4	Ρύθμιση παραμέτρων δικτύου του inverter.....	91
5.4.5	Ρύθμιση OPC Client στο SIMPLICITY .....	91
<b>6</b>	<b>Αναλυτική περιγραφή διάταξης προς αυτοματοποίηση.....</b>	<b>93</b>
6.1	Συνοπτικό σχέδιο - Τρόπος λειτουργίας και ελέγχου .....	93
6.2	Ηλεκτρολογικά σχέδια .....	95
6.3	Τοπολογία δικτύου .....	101
6.4	Λίστα εισόδων – εξόδων PLC .....	102
6.5	Περιγραφή υλικού – Φωτογραφίες διάταξης.....	102
<b>7</b>	<b>Πρόγραμμα PLC.....</b>	<b>109</b>
7.1	LAD 2 – GLOBAL.....	109
7.2	LAD 3 – PID .....	109
7.3	LAD 4 – MOTOR.....	111
7.4	LAD 5 – SCALING.....	112
7.5	LAD 6 – COMMS .....	113
7.6	LAD 7 – ALARMS.....	116
7.7	LAD 8 – VANNE .....	119
<b>8</b>	<b>Πρόγραμμα επιστασίας – περιγραφή συνοπτικού.....</b>	<b>120</b>
8.1	Μενού και Σφάλματα.....	120
8.2	Αρχική Οθόνη .....	121
8.3	Οθόνη Γραφημάτων.....	123
8.4	Οθόνη Σφαλμάτων .....	125
8.5	Οθόνη Inverter .....	125
8.6	Οθόνη Πληροφοριών .....	127
<b>9</b>	<b>Συμπεράσματα δοκιμών – Προτάσεις βελτίωσης .....</b>	<b>128</b>
9.1	Δοκιμές και συμπεράσματα.....	128
9.2	Προτάσεις βελτίωσης.....	129
<b>10</b>	<b>Βιβλιογραφία .....</b>	<b>131</b>

## Λίστα Σχημάτων

Σχήμα 2.1 Βασική αρχή του συστήματος inverter .....	21
Σχήμα 2.2 Ηλεκτρονικό κύκλωμα ισχύος μονοφασικού αντιστροφέα.....	22
Σχήμα 2.3 Έλεγχος τριφασικού εναλλασσόμενου κινητήρα μέσω αντιστροφέα .....	22
Σχήμα 2.4 Mitsubishi Drive FR-D700.....	23
Σχήμα 2.5 Διάγραμμα σύνδεσης κλεμμοσειρών του Mitsubishi D-700 .....	25
Σχήμα 2.6 Συνολικό μήκος καλωδίου σύνδεσης inverter-κινητήρα.....	26
Σχήμα 2.7 Ανάπτυξη μαγνητικού πεδίου κινητήρα επαγωγής.....	29
Σχήμα 2.8 Χαρακτηριστικές καμπύλες αντλίας .....	30
Σχήμα 2.9 Καμπύλες λειτουργίας όμοιων φυγοκεντρικών αντλιών διαφορετικού μεγέθους συναρτήσει της διαμέτρου της πτερωτής .....	31
Σχήμα 2.10 Χαρακτηριστικές καμπύλες μανομετρικού αντλίας και μανομετρικού σωληνογραμμής.....	31
Σχήμα 2.11 Κινητήρας E-Tech EH3 .....	32
Σχήμα 2.12 Χαρακτηριστικές καμπύλες της αντλίας E-Tech EH3 .....	33
Σχήμα 2.13 Συνολικός χρόνος πτήσης του κύματος του αισθητήρα υπερήχων .....	35
Σχήμα 2.14 Εύρος ανίχνευσης του αισθητήρα υπερήχων.....	35
Σχήμα 2.15 Αισθητήρας SICK UM18 .....	36
Σχήμα 2.16 Περιοχή ανίχνευσης σε mm (ίντσες) του αισθητήρα υπερήχων UM-18.....	37
Σχήμα 2.17 α) Κύκλωμα με αυτοσυγκράτηση, β) Διάγραμμα χρόνου εξόδου ρελέ με αυτοσυγκράτηση.....	38
Σχήμα 2.18 Ρελέ OMRON K8AK-LS και ηλεκτρόδια με βάση PS-31.....	38
Σχήμα 2.19 Πρόσοψη ρελέ K8AK-LS .....	39
Σχήμα 2.20 Λειτουργία προμήθειας δεξαμενής του ρελέ K8AK-LS.....	39
Σχήμα 2.21 Λειτουργία αναρρόφησης από δεξαμενή του ρελέ K8AK-LS .....	40
Σχήμα 2.22 Δομή ηλεκτροβάνας και βάνα εμπορίου .....	40
Σχήμα 2.23 Ηλεκτροβάνα XHnotation 2N Series Normally Closed .....	41
Σχήμα 2.24 Σχηματικό διάγραμμα ελέγχου PID με βρόχο ανάδρασης .....	41
Σχήμα 2.25 Συμπεριφορά των ελεγκτών P, PI, PID συναρτήσει του χρόνου.....	42
Σχήμα 3.1 Σχηματικό διάγραμμα τμημάτων PLC.....	47
Σχήμα 3.2 Σχέδιο των τμημάτων του PLC πάνω στο σασί .....	47
Σχήμα 3.3 Πλαίσιο στήριξης μονάδων PLC της εταιρίας Allen Bradley .....	48
Σχήμα 3.4 Λειτουργικό διάγραμμα του επεξεργαστή ενός PLC .....	49
Σχήμα 3.5 PLC Allen Bradley MicroLogix 1400 .....	51
Σχήμα 3.6 Διάγραμμα καλωδίωσης εισόδων (Sourcing) του MicroLogix 1400.....	53
Σχήμα 3.7 Διάγραμμα καλωδίωσης εξόδων του MicroLogix 1400.....	53
Σχήμα 3.8 Διεύθυνση εισόδων/εξόδων του MicroLogix .....	54
Σχήμα 3.9 Πακέτο λογισμικού RSLogix 500 της Rockwell.....	55
Σχήμα 3.10 Τυπικό περιβάλλον λογισμικού RSLogix 500 .....	56
Σχήμα 3.11 Τυπικό περιβάλλον λογισμικού RSLinx .....	56
Σχήμα 3.12 Η εντολή PID.....	67
Σχήμα 3.13 η εντολή MSG.....	68
Σχήμα 3.14 Παράθυρο ρυθμίσεων της εντολής MSG.....	69
Σχήμα 4.1 HMI και SCADA.....	72

Σχήμα 4.2 Τυπική τοπολογία δικτύου ενός συστήματος SCADA.....	72
Σχήμα 4.3 Τυπικό περιβάλλον του εργαλείου Workbench .....	74
Σχήμα 4.4 Παραμετροποίηση ιδιοτήτων ενός ρόλου .....	75
Σχήμα 4.5 Παράθυρο ιδιοτήτων ενός Point.....	75
Σχήμα 4.6 Τυπικό περιβάλλον του εργαλείου CimEdit .....	76
Σχήμα 4.7 Παράθυρο προσθήκης Event .....	76
Σχήμα 5.1 Πλαίσιο Ethernet (Ethernet frame).....	77
Σχήμα 5.2 Ethernet/IP και CIP .....	78
Σχήμα 5.3 Τοπολογία δικτύων α) αστέρα και β) διαύλου .....	79
Σχήμα 5.4 Κύκλος μηνυμάτων ερώτησης-απάντησης Master-Slave.....	80
Σχήμα 5.5 Modbus stack επικοινωνίας.....	80
Σχήμα 5.6 Unicast και broadcast μηνύματα .....	81
Σχήμα 5.7 Πακέτο μηνύματος Modbus RTU .....	82
Σχήμα 5.8 Κατασκευή TCP/IP-Ethernet πακέτου δεδομένων Modbus .....	83
Σχήμα 5.9 Σύγκριση πακέτου Modbus RTU με πακέτο Modbus TCP .....	84
Σχήμα 5.10 Έναρξη σύνδεσης, μεταφορά δεδομένων και τερματισμός σύνδεσης TCP .....	85
Σχήμα 5.11 DigiOne IAP Haz.....	85
Σχήμα 5.12 Άποψη του Digi One από α) πάνω και β) κάτω .....	86
Σχήμα 5.13 Προσθήκη driver στον RSLinx.....	88
Σχήμα 5.14 Εμφάνιση PLC στο δίκτυο .....	88
Σχήμα 5.15 Καρτέλες (tabs) για την παραμετροποίηση του καναλιού Ethernet του ML 1400 .....	89
Σχήμα 5.16 Αρχική σελίδα web interface του gateway .....	89
Σχήμα 5.17 Παραμετροποίηση σειριακής θύρας του Digi One .....	90
Σχήμα 5.18 Ρυθμίσεις της θύρας Ethernet του Digi One.....	90
Σχήμα 5.19 Επισκόπηση ρυθμίσεων και πληροφορίες δικτύου (web interface - Digi).....	90
Σχήμα 5.20 Λειτουργία NET και PU του inverter .....	91
Σχήμα 5.21 RSLinx – OPC Topic Configuration .....	92
Σχήμα 5.22 OPC Device Settings .....	92
Σχήμα 6.1 Διάγραμμα P&ID της προς αυτοματισμό εγκατάστασης.....	94
Σχήμα 6.2 Διανομή 230 VAC .....	95
Σχήμα 6.3 Διανομή 24V Ερμάριο A1 .....	96
Σχήμα 6.4 Κύκλωμα ελέγχου- Έκτακτο σταμάτημα συστήματος .....	96
Σχήμα 6.5 Κύκλωμα σήμανσης παρουσίας τάσης.....	97
Σχήμα 6.6 Κύκλωμα τροφοδοσίας 230 VAC - MO001 αντλία κυκλοφορίας .....	97
Σχήμα 6.7 Κύκλωμα ελέγχου 24 VDC - EV001 – EV002 Ηλεκτροβάνες συστήματος.....	98
Σχήμα 6.8 Κύκλωμα μέτρησης στάθμης δεξαμενής 1 – LT001.....	98
Σχήμα 6.9 Κύκλωμα στάθμης 24 VDC - Διακόπτες στάθμης δεξαμενής 1 (LSH001/LSL002) .....	99
Σχήμα 6.10 Κύκλωμα στάθμης 24 VDC - Διακόπτες στάθμης δεξαμενής 2 (LSH003/LSL004) .....	99
Σχήμα 6.11 Διανομή 24V Ερμάριο A2 .....	100
Σχήμα 6.12 Κύκλωμα PLC 24 VDC .....	100
Σχήμα 6.13 Κύκλωμα Δικτύου.....	101
Σχήμα 6.14 Τοπολογία δικτύου LAN της διάταξης .....	101
Σχήμα 6.15 Εμπρόσθια όψη διάταξης .....	103
Σχήμα 6.16 Πλάγια όψη διάταξης.....	103
Σχήμα 6.17 Άποψη TANK1 από ψηλά.....	104



Σχήμα 6.18 (από αριστερά) Ηλεκτροβάννα, χειροκίνητη βάννα, αντλία.....	104
Σχήμα 6.19 Αρχική σύνδεση των υλικών του δικτύου.....	105
Σχήμα 6.20 Περιεχόμενο ερμαρίου A1.....	105
Σχήμα 6.21 Περιεχόμενο ερμαρίου A2.....	106
Σχήμα 7.1 Αρχεία του προγράμματος Ladder- Υπορουτίνες.....	109
Σχήμα 7.2 Παράθυρο ρύθμισης PID εντολής.....	110
Σχήμα 7.3 Παραμετροποίηση του μηνύματος MG12:26.....	114
Σχήμα 7.4 Παραμετροποίηση του μηνύματος MG12:10.....	116
Σχήμα 8.1 Μενού εφαρμογής.....	120
Σχήμα 8.2 Προσθήκη λειτουργίας πλοήγησης στις οθόνες.....	120
Σχήμα 8.3 Πλαίσιο ενεργών σφαλμάτων.....	121
Σχήμα 8.4 Αρχική οθόνη εφαρμογής.....	122
Σχήμα 8.5 Παράθυρο ρύθμισης στάθμης.....	123
Σχήμα 8.6 Οθόνη γραφήματος πραγματικού χρόνου.....	124
Σχήμα 8.7 Γράφημα στάθμης οθόνης Ιστορικού.....	124
Σχήμα 8.8 Οθόνη ιστορικού σφαλμάτων.....	125
Σχήμα 8.9 Οθόνη πληροφοριών inverter.....	126
Σχήμα 8.10 Οθόνη ρύθμισης παραμέτρων.....	127
Σχήμα 8.11 Οθόνη πληροφοριών.....	127
Σχήμα 9.1 Απόκριση εξόδου inverter σε σενάριο λειτουργίας.....	129
Σχήμα 9.2 Ασφαλής απομακρυσμένη πρόσβαση μέσω VPN.....	130
Σχήμα 9.3 HMI σε φορητές συσκευές.....	130

## Λίστα Πινάκων

Πίνακας 2-1 Ακροδέκτες κύριου κυκλώματος του Mitsubishi D-700 .....	24
Πίνακας 2-2 Λίστα παραμέτρων του Mitsubishi D-700 .....	26
Πίνακας 2-3 Υδραυλική απόδοση της αντλίας E-Tech EH3 .....	33
Πίνακας 3-1 Data File εισόδων της κάρτας 1762-IF4 .....	54
Πίνακας 3-2 Πιθανές τιμές φίλτρου της κάρτας 1762-IF4 .....	54
Πίνακας 3-3 Τύποι Data Files .....	57
Πίνακας 3-4 Κατάσταση Status Bits για την εντολή TON.....	59
Πίνακας 3-5 Κατάσταση Status Bits για την εντολή TON (κατά την επαναφορά).....	59
Πίνακας 3-6 Κατάσταση Status Bits για την εντολή TOF .....	60
Πίνακας 3-7 Κατάσταση Status Bits για την εντολή TOF (κατά την επαναφορά).....	60
Πίνακας 3-8 Κατάσταση Status Bits για την εντολή CTU .....	61
Πίνακας 3-9 Κατάσταση Status Bits για την εντολή CTU .....	62
Πίνακας 5-1 Τύποι δεδομένων Modbus .....	82
Πίνακας 5-2 Βασικές λειτουργίες των μηνυμάτων Modbus.....	83
Πίνακας 5-3 Υποστηριζόμενες μετατροπές πρωτοκόλλων του Digi One .....	86
Πίνακας 6-1 Ψηφιακές εισοδοί του PLC .....	102
Πίνακας 6-2 Ψηφιακές έξοδοι του PLC.....	102
Πίνακας 6-3 Αναλογικές εισοδοί του PLC .....	102
Πίνακας 6-4 Λίστα υλικών διάταξης .....	107
Πίνακας 7-1 Λίστα κωδικών σφαλμάτων του Mitsubishi FR-D700.....	118

# 1 Εισαγωγή

## 1.1 Αντικειμενικός σκοπός και στόχοι

Κατά την ανάπτυξη νέων τεχνολογιών στη βιομηχανία, συναντάμε προσπάθειες που συνδυάζουν τη γνώση που έχει αποκτηθεί ως σήμερα με την υιοθέτηση νέων ιδεών. Οι ιδέες αυτές στοχεύουν σε μια γρηγορότερη, αποδοτικότερη και πιο σύγχρονη παραγωγική διαδικασία, σεβόμενες πάντα την κρισιμότητα του παράγοντα της ασφάλειας αλλά και του κόστους κάθε αλλαγής.

Στα παραπάνω πλαίσια και ο τομέας της βιομηχανικής πληροφορικής, που χρησιμοποιεί ευρέως PLCs, εντάσσει διαρκώς νέες τεχνολογίες, προκειμένου να επιτύχει καλύτερο έλεγχο και αυτοματοποίηση της παραγωγικής διαδικασίας. Τα τελευταία χρόνια, τα PLCs συνοδεύονται από δυνατότητα δικτύωσης με τεχνολογία Ethernet και η ένταξη τους στο βιομηχανικό δίκτυο επικοινωνιών προσφέρει πολλά πλεονεκτήματα.

Τα πλεονεκτήματα αυτά πολλαπλασιάζονται, μάλιστα, όταν στο ίδιο δίκτυο καταφέρουν να συνδεθούν και να ανταλλάξουν δεδομένα ηλεκτρονικές διατάξεις, που ως τώρα συνδέονταν ως είσοδοι και έξοδοι σε αναλογικές και ψηφιακές κάρτες ενός PLC. Με τη χρήση πλέον ενός μόνο καλωδίου, μπορεί να μεταδοθεί όλη η διαθέσιμη πληροφορία. Εκμεταλλευόμεστε, έτσι, τις υψηλές ταχύτητες του Ethernet, εφαρμόζουμε απομακρυσμένους διαγνωστικούς ελέγχους για να διαπιστώσουμε τυχόν δυσλειτουργίες, εντέλουμε συσκευές ακόμα κι αν βρίσκονται σε μεγάλες αποστάσεις και συλλέγουμε τα δεδομένα που επιθυμούμε και τα διαμοιραζόμαστε άμεσα. Σε επίπεδο υλικού, έχουμε πολύ πιο απλές συνδεσμολογίες. Υπάρχει αμφίδρομη ανταλλαγή δεδομένων μέσω του ίδιου μέσου και δεν απαιτείται ξεχωριστή καλωδίωση για κάθε πληροφορία που χρειάζεται για τον αυτοματισμό (π.χ. έξοδος για εκκίνηση κινητήρα, είσοδος για σφάλμα κινητήρα, είσοδος επιβεβαίωσης εκκίνησης κινητήρα) και τα υλικά που χρησιμοποιούνται είναι απλές συσκευές εμπορίου κι όχι εξειδικευμένος τεχνικός εξοπλισμός υψηλού κόστους.

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η εφαρμογή αυτής της τεχνολογίας δικτύου σε πρακτικό επίπεδο για μελλοντική χρήση από την εταιρία «Αλουμίνιον της Ελλάδος». Σε συνεργασία με το εργοστάσιο, σχεδιάζεται και υλοποιείται διάταξη που αποτελεί σε μικρότερη κλίμακα μια εγκατάσταση εργοστασίου. Για την εγκατάσταση αυτή, στόχος μας είναι να την καταστήσουμε πλήρως αυτοματοποιημένη, με τα υλικά της να συνδέονται και να επικοινωνούν μέσω Ethernet.

Τα αποτελέσματα και τα συμπεράσματα μετά την ολοκλήρωση της μελέτης αυτής, θα χρησιμοποιηθούν ως τεχνογνωσία για την κατασκευή νέων ή αναβάθμιση υπάρχοντων τμημάτων του εργοστασίου, ώστε να επωφεληθούν των πλεονεκτημάτων της τεχνολογίας του Ethernet.

## 1.2 Δομή της εργασίας

Η εργασία αποτελείται από δέκα (10) κεφάλαια συνολικά, με το 1<sup>ο</sup> να αποτελεί την εισαγωγή (σκοπός και δομή της εργασίας).

Στο 2<sup>ο</sup> κεφάλαιο εξετάζονται κάποιες γενικές έννοιες, δηλαδή το θεωρητικό υπόβαθρο των υλικών που θα χρησιμοποιηθούν στην κατασκευή μας. Επίσης, αναφέρονται για κάθε ένα από τα υλικά αυτά τα τεχνικά χαρακτηριστικά και τα πλεονεκτήματα των μοντέλων που επιλέχθηκαν. Πιο συγκεκριμένα, οι ηλεκτρονικές διατάξεις με τις οποίες ασχολούμαστε στο κεφάλαιο είναι το inverter, ο κινητήρας, οι αναλογικοί και ψηφιακοί αισθητήρες στάθμης και οι ηλεκτροβάνες. Τέλος, παρέχονται γενικές πληροφορίες για τον έλεγχο PID και εξηγούνται οι αρχές για τη σχεδίαση ενός διαγράμματος P&ID.

Στο 3<sup>ο</sup> κεφάλαιο ασχολούμαστε λεπτομερώς με τη δομή και την αρχή λειτουργίας του Προγραμματιζόμενου Λογικού Ελεγκτή (PLC), και παρουσιάζουμε το μοντέλο PLC που θα χρησιμοποιηθεί στην κατασκευή μας. Επιπρόσθετα, γίνεται μια πρώτη γνωριμία με το λογισμικό ανάπτυξης του προγράμματος σε γλώσσα Ladder και με τις βασικότερες Ladder εντολές.

Στο 4<sup>ο</sup> κεφάλαιο αναλύεται η έννοια του Συστήματος Εποπτείας Ελέγχου και Συλλογής Πληροφοριών (SCADA) και παρουσιάζεται το λογισμικό με το οποίο σχεδιάστηκε και αναπτύχθηκε το πρόγραμμα διεπαφής χρήστη (HMI).

Στο 5<sup>ο</sup> κεφάλαιο αναφέρονται πληροφορίες σχετικά με τα πιο διαδεδομένα δίκτυα της βιομηχανίας. Παρέχονται λεπτομέρειες αρχικά για το Ethernet, και έπειτα για το βιομηχανικό Ethernet (Ethernet/IP), αλλά και για ένα ακόμα σημαντικό πρωτόκολλο το Modbus. Αφού παρουσιαστούν η σειριακή και η Ethernet εκδοχή του, αναλύεται το πως μπορεί να γίνει μετατροπή των πρωτοκόλλων αυτών με έναν μορφοτροπέα επικοινωνίας (gateway).

Στο 6<sup>ο</sup> κεφάλαιο γίνεται αναλυτική περιγραφή της διάταξης προς αυτοματοποίηση. Παρέχονται το συνοπτικό σχέδιο, τα ηλεκτρολογικά σχέδια, το σχέδιο της τοπολογίας του δικτύου, αλλά και φωτογραφίες από την πραγματική κατασκευή που υλοποιήθηκε. Αναφέρονται συνοπτικά όλα τα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν και η λίστα εισόδων/εξόδων του PLC.

Στο 7<sup>ο</sup> κεφάλαιο παρουσιάζεται το πρόγραμμα του PLC σε γλώσσα Ladder και εξηγείται αναλυτικά ο αυτοματισμός της εγκατάστασης.

Στο 8<sup>ο</sup> κεφάλαιο δίνονται οι τελικές εικόνες (συνοπτικά) και περιγράφεται ο τρόπος χειρισμού του γραφικού περιβάλλοντος από το χρήστη, αλλά και η διαδικασία και λεπτομέρειες σχετικές με το σχεδιασμό του HMI.

Στο 9<sup>ο</sup> κεφάλαιο εξάγονται συμπεράσματα από τις δοκιμές και την πορεία της εργασίας, και προτείνονται βελτιώσεις και νέες τεχνολογίες.

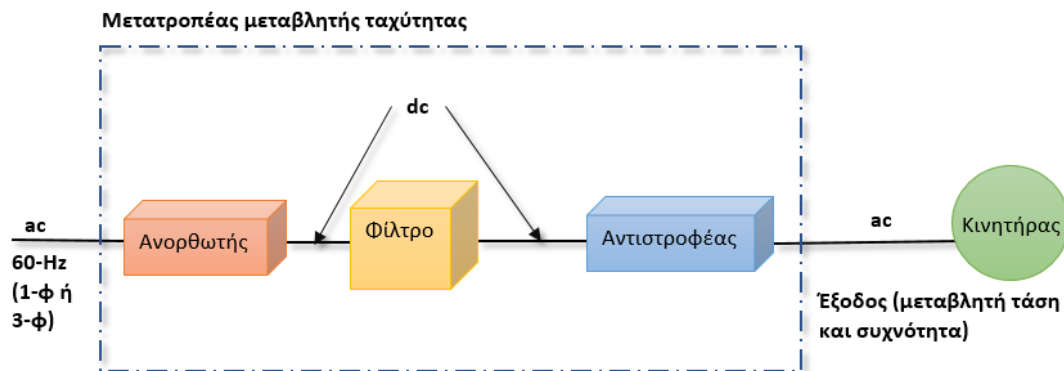
# 2 Γενικές έννοιες

## 2.1 Inverter

### 2.1.1 Γενικές έννοιες

Ο μετατροπέας συχνότητας (inverter) είναι μία διάταξη ισχύος με σκοπό τη μετατροπή μιας συνεχούς τάσης (DC) σε ημιτονοειδή AC τάση εξόδου, με ελεγχόμενα τόσο το πλάτος της όσο και τη συχνότητά της.

Ο μετατροπέας μεταβλητής συχνότητας τροφοδοτείται από πηγή συνεχούς τάσης. Πιο συγκεκριμένα, με τη βοήθεια ενός ελεγχόμενου ή μη ελεγχόμενου ανορθωτή, η τάση του δικτύου μετατρέπεται σε DC τάση. Κατόπιν, ως έξοδοι του inverter παράγονται τριφασικές τάσεις ή ρεύματα με ελεγχόμενη τάση μεταβλητής RMS τιμής και συχνότητας και παρέχονται στον κινητήρα, όπως φαίνεται στο Σχήμα 2.1.



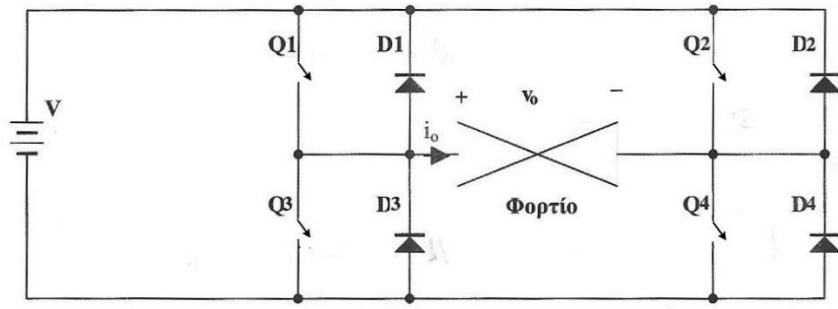
Σχήμα 2.1 Βασική αρχή του συστήματος inverter

Ένας αντιστροφέας (inverter) μπορεί να είναι μονοφασικός σε συνδεσμολογία ημιγέφυρας, μονοφασικός σε συνδεσμολογία γέφυρας ή τριφασικός σε συνδεσμολογία γέφυρας. Για την οδήγηση ενός AC τριφασικού κινητήρα χρησιμοποιείται τριφασικός σε συνδεσμολογία γέφυρας. Επίσης διαιρούνται σε αυτούς οι οποίοι τροφοδοτούνται από πηγή συνεχούς τάσης (VSI), και σε αυτούς οι οποίοι τροφοδοτούνται από πηγή συνεχούς ρεύματος (CSI), με τους δεύτερους να μην συναντώνται τόσο συχνά σε εφαρμογές. Μια ακόμα διάκριση είναι σε αντιστροφέες τετραγωνικής κυματομορφής, που ελέγχουν μόνο τη συχνότητα της τάσης εξόδου, και αντιστροφέες με την τεχνική Διαμόρφωσης Εύρους Παλμών (PWM), οι οποίοι ελέγχουν το πλάτος και τη συχνότητα της εναλλασσόμενης τάσης εξόδου, μέσω της διαμόρφωσης του εύρους των παλμών των διακοπτικών στοιχείων του αντιστροφέα.

#### 2.1.1.1 Αρχή λειτουργίας μονοφασικού αντιστροφέα

Η τεχνική PWM λειτουργεί (μονοφασικό inverter σε συνδεσμολογία γέφυρας, Σχήμα 2.2) ως εξής: παράγονται δύο σήματα ίδιας συχνότητας, το φέρον σήμα και το σήμα αναφοράς ή ελέγχου. Μέσω ενός συγκριτή, όταν το σήμα αναφοράς είναι μεγαλύτερο από το φέρον σήμα, ο διακόπτης S1 είναι ON και ο διακόπτης S2 είναι OFF και αντίστροφα όταν το σήμα αναφοράς είναι μικρότερο άγει ο S2 κι όχι ο S1. Ο διακόπτης S3 μεταβαίνει στην κατάσταση αγωγής μόνο όταν το σήμα

αναφοράς είναι θετικό και ο S4 όταν είναι αρνητικό. Οι παλμοί οδήγησης των διακοπών S3 και S4 έχουν σταθερό εύρος 180°. Έτσι, δίνοντας θετικούς παλμούς έναυσης στους ημιαγωγικούς διακόπτες S1, S4, δημιουργείται στα άκρα του φορτίου θετικός παλμός τάσης (οι διακόπτες S2, S3 δεν άγουν). Εφαρμόζοντας θετικούς παλμούς στους διακόπτες S2, S3 και ενώ δεν άγουν οι S1, S4 δημιουργείται στα άκρα του φορτίου ένας παλμός ίδιου εύρους με τον προηγούμενο, αλλά αρνητικός. Όταν άγουν τα ζευγάρια Q1-Q2 ή Q3- Q4, τότε το φορτίο βραχυκυκλώνεται. Οι διόδοι στα άκρα των διακοπών μεταφέρουν ηλεκτρική ενέργεια από το φορτίο προς την είσοδο του αντιστροφέα, κι έτσι έχουμε λειτουργία ανορθωτή.



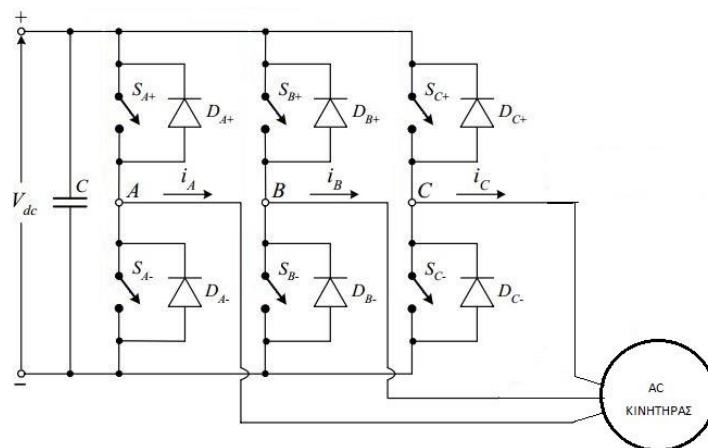
Σχήμα 2.2 Ηλεκτρονικό κύκλωμα ισχύος μονοφασικού αντιστροφέα

Παρόμοια με τους μονοφασικούς αντιστροφεείς, υλοποιείται η τεχνική PWM και σε τριφασικούς αντιστροφεείς, οι οποίοι υλοποιούνται με 6 ημιαγωγικούς διακόπτες S (μπορούν να χρησιμοποιηθούν IGBTs, MOSFETs, GTOs, θυρίστορ και άλλα). Στην περίπτωση αυτή, έχουμε τρεις κυματομορφές αναφοράς και μια τριγωνική κυματομορφή φέροντος σήματος. Τα σημεία τομής μεταξύ των κυματομορφών ορίζουν τους παλμούς οδήγησης των διακοπών.

### 2.1.1.2 Εφαρμογές

Οι ρυθμιστές στροφών παρέχουν πολλά πλεονεκτήματα και χρησιμοποιούνται συχνά σε συστήματα αδιάκοπης παροχής ηλεκτρικής ενέργειας (UPS), σε συστήματα μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας, σε συστήματα διόρθωσης συντελεστή ισχύος και αλλού.

Βρίσκουν επίσης εφαρμογή σε συστήματα ελέγχου εναλλασσόμενων ηλεκτρικών κινητήρων, με το κύκλωμα να παρουσιάζεται στο Σχήμα 2.3. Έτσι λοιπόν, στη δική μας κατασκευή χρησιμοποιείται inverter για τον έλεγχο της ταχύτητας της αντλίας, που έχει το ρυθμιστικό ρόλο στο σύστημα.



Σχήμα 2.3 Έλεγχος τριφασικού εναλλασσόμενου κινητήρα μέσω αντιστροφέα

## 2.1.2 Μοντέλο της διάταξης



**Σχήμα 2.4 Mitsubishi Drive FR-D700**

Στην παρούσα εργασία, το inverter που θα χρησιμοποιήσουμε είναι το Mitsubishi FR-D720S 1Φ 200V (Σχήμα 2.4). Από την ονομασία του καταλαβαίνουμε ότι πρόκειται για inverter μονοφασικής τροφοδοσίας (1Φ) στα 200V. Είναι ιδανικό για εφαρμογές τροφοδοσίας και μεταφοράς σε ταινιοδρόμους, για μηχανισμούς κίνησης πύλης ή θύρας και για ρύθμιση παροχής υγρών δεξαμενών. Παρέχει εύκολη συντήρηση, μεγάλη διάρκεια ζωής και χαμηλή κατανάλωση ενέργειας.

Μερικά από τα βασικά χαρακτηριστικά και πλεονεκτήματά του είναι:

- Εφαρμόσιμη ισχύς κινητήρα : 0.4 kW
- Ονομαστική ισχύς εξόδου : 1 kVA
- Ονομαστικό ρεύμα εξόδου : 2.5 A
- Τάση εξόδου, τριφασική : 200-240 V
- Αναγεννητική ροπή πέδησης : 100%
- Ονομαστική τάση εισόδου : μονοφασική AC 200-240 V
- Παροχή ισχύος : 1.5 kVA
- Βαθμός προστασίας κατασκευής : IP20
- Μέθοδος ελέγχου : τεχνική PWM
- Συχνότητα εξόδου : 0.2-400 Hz
- Ένδειξη (πραγματικού χρόνου) συχνότητας, ρεύματος, τάσης, ισχύος εξόδου
- Ένδειξη χρόνου λειτουργίας
- Ροπή εκκίνησης : 150% ή περισσότερο (στο 1 Hz)
- Με ενσωματωμένο σύστημα ψύξης
- Ρύθμιση συχνότητας εκκίνησης
- Ρύθμιση χρόνου επιτάχυνσης/επιβράδυνσης : 0.1-3600 sec
- Ρύθμιση μέγιστης/ελάχιστης συχνότητας
- Επιλογή αποφυγής προς τα εμπρός/αντίστροφης περιστροφής
- Έλεγχος PID
- Αυτόματη επανεκκίνηση μετά από στιγμιαία διακοπή ρεύματος
- Λειτουργία πολλαπλών ταχυτήτων
- Λειτουργίες προστασίας, π.χ. από υπερένταση/υπέρταση κατά την επιτάχυνση/επιβράδυνση, διακοπή υπερφόρτωσης inverter και κινητήρα (λειτουργία ηλεκτρονικού θερμικού ρελέ)

- Ιστορικό 8 σφαλμάτων, μερικά από τα σφάλματα είναι: σφάλμα CPU, σφάλμα κατά τη ρύθμιση παραμέτρων, σφάλμα κυκλώματος ασφαλείας, σφάλμα ανεμιστήρα, σφάλμα επικοινωνίας
- Υποστήριξη σειριακού πρωτοκόλλου Modbus RTU

Το inverter έχει κάποιες ιδανικές συνθήκες λειτουργίας, από τη διαμόρφωση του χώρου που θα τοποθετηθεί, μέχρι και τις συνθήκες θερμοκρασίας του χώρου τοποθέτησης του.

- Θερμοκρασία περιβάλλοντος : -10 – 50 °C
- Θερμοκρασία αποθήκευσης : -20 – 65 °C
- Υγρασία περιβάλλοντος : 90% RH ή λιγότερο
- Κραδασμοί : 5.9  $\mu/s^2$  ή λιγότερο στα 10-55 Hz
- Μέγιστο υψόμετρο για κανονική λειτουργία τα 1000μ, μείωση 3% για κάθε πρόσθετα 500μ μέχρι τα 2500μ

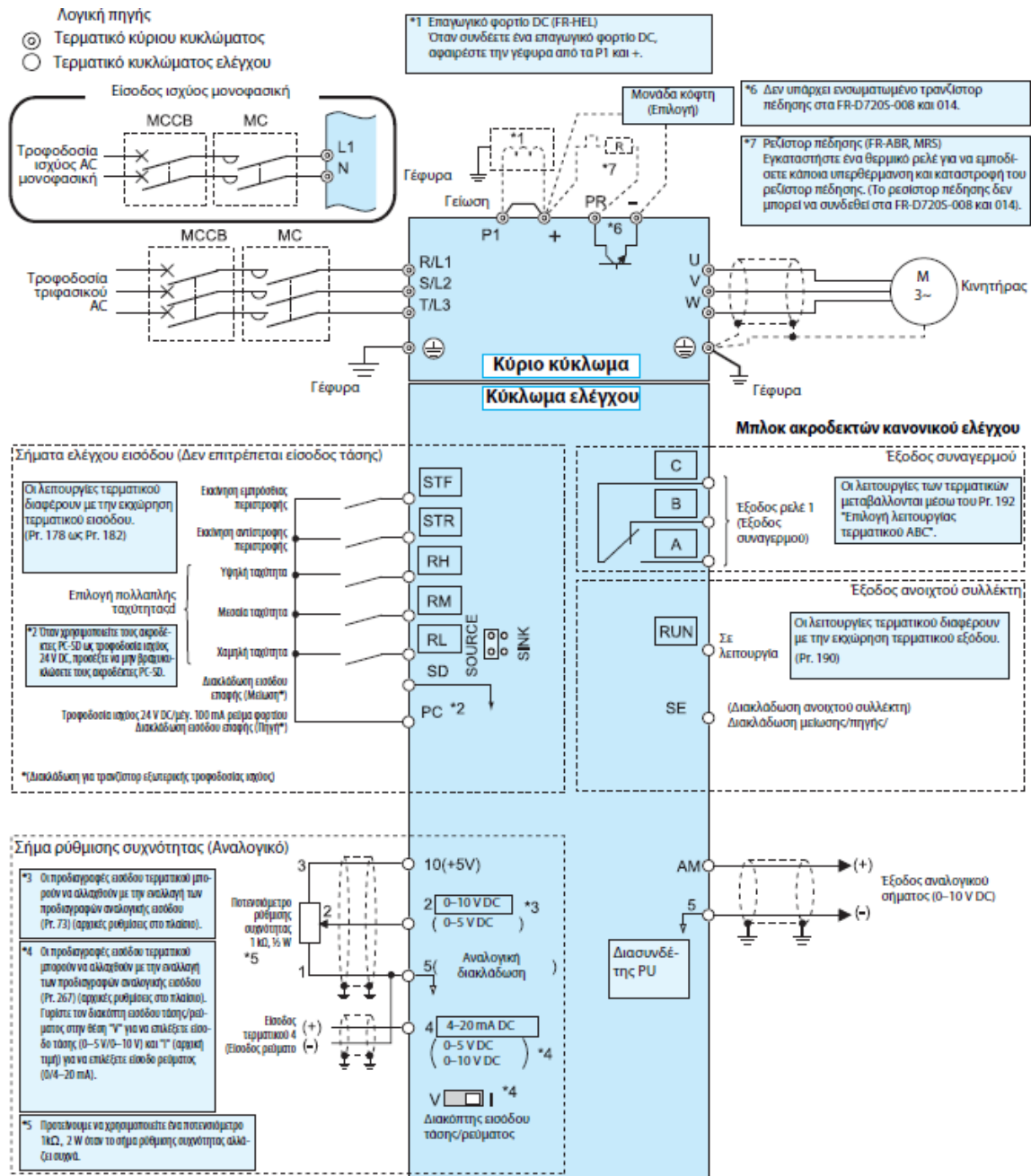
### 2.1.2.1 Καλωδίωση

Στον Πίνακα 2.1 περιγράφονται οι ακροδέκτες του κύριου κυκλώματος του drive. Επίσης, για τη συνδεσμολογία και την καλωδίωση του inverter με την αντλία και την τροφοδοσία, ακολουθεί στην επόμενη σελίδα επεξηγηματικό διάγραμμα σύνδεσης των κλεμμοσειρών, στο Σχήμα 2.5.

**Πίνακας 2-1 Ακροδέκτες κύριου κυκλώματος του Mitsubishi D-700**

Σύμβολο	Όνομα	Περιγραφή
<b>R/L1 N</b>	AC τροφοδοσία	Σύνδεση με την εξωτερική τροφοδοσία
<b>U, V, W</b>	Έξοδος αντιστροφέα	Σύνδεση με τριφασικό κινητήρα
<b>+, PR</b>	Σύνδεση ρεζιστορ πέδησης	Σύνδεση ρεζιστορ πέδησης ανάμεσα στους ακροδέκτες + και PR.
<b>+, -</b>	Μονάδα κόφτη	Σύνδεση μονάδας FR-BU2, FR-CV, ή FR-HC.
<b>+, P1</b>	Επαγωγικό φορτίο DC	Αφαίρεση της γέφυρας μεταξύ P1 και +, όταν συνδέεται επαγωγικό φορτίο DC.
	Γείωση	Το σασσί πρέπει να είναι γειωμένο.





Σχήμα 2.5 Διάγραμμα σύνδεσης κλεμμοσειρών του Mitsubishi D-700

Κατά την επιλογή του καλωδίου, θα πρέπει να διασφαλίσουμε ότι η πτώση τάσης δεν θα υπερβαίνει το 2%. Το μέγιστο επιτρεπτό μήκος των καλωδίων του κινητήρα εξαρτάται από τις προδιαγραφές του inverter και τη συχνότητα του φορέα.

$$\text{Πτώση τάσης γραμμής (V)} = \frac{\sqrt{3} * \text{αντίσταση καλωδίου} \left(\frac{\mu\Omega}{\mu}\right) * \text{απόσταση καλωδίωσης} (\mu) * \text{ρεύμα (A)}}{1000}$$



**Σχήμα 2.6 Συνολικό μήκος καλωδίου σύνδεσης inverter-κινητήρα**

Σε αυτό το σημείο πρέπει να σημειώσουμε, ότι στις περιελίξεις του κινητήρα υπάρχει μεγαλύτερη καταπόνηση σε λειτουργία μέσω inverter σε σχέση με τη λειτουργία από κεντρικούς αγωγούς.

### 2.1.2.2 Παράμετροι

Για απλή λειτουργία του αντιστροφέα, οι εργοστασιακές ρυθμίσεις των παραμέτρων μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως έχουν. Αναφέρονται κάποιες από τις βασικές παραμέτρους στον Πίνακα 2-2, οι οποίες μπορούν να αλλαχτούν από την parameter unit (PU) αλλά και από εξωτερική επικοινωνία. Μερικές παράμετροι μπορούν να αλλαχθούν και κατά διάρκεια λειτουργίας του inverter.

Οι αρχικές ρυθμίσεις μας επιτρέπουν να δούμε και να αλλάξουμε μόνο αυτές που έχουν κατηγοριοποιηθεί σαν απλού τύπου. Τροποποιώντας την παράμετρο 160, μπορούμε να εμφανίσουμε όλες τις παραμέτρους.

**Πίνακας 2-2 Λίστα παραμέτρων του Mitsubishi D-700**

Παράμετρος	Απλού Τύπου	Όνομα	Κλίμακα Ρύθμισης	Αρχική Τιμή
<b>0</b>	NAI	Ενίσχυση ροπής	0-30%	-
<b>1</b>	NAI	Μέγιστη συχνότητα	0-120 Hz	120 Hz
<b>2</b>	NAI	Ελάχιστη συχνότητα	0-120 Hz	0 Hz
<b>3</b>	NAI	Συχνότητα βάσης	0-400 Hz	50 Hz
<b>4</b>	NAI	Ρύθμιση υψηλής ταχύτητας	0-400 Hz	50 Hz
<b>5</b>	NAI	Ρύθμιση μεσαίας ταχύτητας	0-400 Hz	30 Hz
<b>6</b>	NAI	Ρύθμιση χαμηλής ταχύτητας	0-400 Hz	10 Hz
<b>7</b>	NAI	Χρόνος επιτάχυνσης	0-3600 s	-
<b>8</b>	NAI	Χρόνος επιβράδυνσης	0-3600 s	-
<b>9</b>	NAI	Ηλεκτρονικό θερμικό ρελέ	0-500 A	Ρεύμα εξόδου αντιστροφέα
<b>13</b>	OXI	Συχνότητα εκκίνησης	0-60 Hz	0.5 Hz
<b>18</b>	OXI	Μέγιστη συχνότητα υψηλής ταχύτητας	120-400 Hz	120 Hz
<b>19</b>	OXI	Τάση συχνότητας βάσης	0-1000 V, 8888, 9999	8888
<b>22</b>	OXI	Επίπεδο λειτουργίας αποφυγής διακοπής	0-200%	150%
<b>37</b>	OXI	Ένδειξη ταχύτητας	0, 0.01-9998	0
<b>47</b>	OXI	Δεύτερο V/F	0-400 Hz, 9999	9999
<b>52</b>	OXI	Επιλογή δεδομένων κύριας ένδειξης DU/PU	0, 5, 8 ως 12, 14, 20, 23 ως 25, 52	0

Παράμετρος	Απλού Τύπου	Όνομα	Κλίμακα Ρύθμισης	Αρχική Τιμή
			ως 55, 61, 62, 64, 100	
55	OXI	Συσχέτιση παρακολούθησης συχνότητας	0-400 Hz	50 Hz
56	OXI	Συσχέτιση παρακολούθησης ρεύματος	0-500 A	Ρεύμα εξόδου αντιστροφή
58	OXI	Χρόνος προστασίας επανεκκίνησης	0-60 s	1 s
72	OXI	Επιλογή συχνότητας PWM	0-15	1
77	OXI	Επιλογή για εγγραφή	0, 1, 2	0
79	NAI	Επιλογή τρόπου λειτουργίας	0, 1, 2, 3, 4, 6, 7	0
83	OXI	Ονομαστική τάση του motor	0-1000 V	200 V
84	OXI	Ονομαστική συχνότητα του motor	10-120 Hz	50 Hz
118	OXI	Ταχύτητα επικοινωνίας PU	48, 96, 192, 384	192
119	OXI	Μήκος stop bit επικοινωνίας PU	0, 1, 10, 11	1
120	OXI	Έλεγχος ισοτιμίας επικοινωνίας PU	0, 1, 2	2
122	OXI	Διάστημα χρόνου ελέγχου επικοινωνίας PU	0, 0,1-999,8 s, 9999	0
128	OXI	Επιλογή δράσης PID	0, 20, 21, 40, 41, 42, 43	0
129	OXI	Αναλογική ζώνη PID	0.1-1000%, 9999	100%
130	OXI	Ολοκληρωτικός χρόνος PID	0.1-3600 s, 9999	1 s
131	OXI	Ανώτατο όριο PID	0-100%, 9999	9999
132	OXI	Κατώτατο όριο PID	0-100%, 9999	9999
133	OXI	Set point PID	0-100%, 9999	9999
134	OXI	Διαφορικός χρόνος PID	0.01-10 s, 9999	9999
160	NAI	Επιλογή εμφάνισης εκτεταμένης λειτουργίας	0, 9999	9999
170	OXI	Μηδενισμός αθροιστικού μετρητή ισχύος	0, 10, 9999	9999
171	OXI	Μηδενισμός μετρητή ωρών λειτουργίας	0, 9999	9999
249	OXI	Ανίχνευση σφάλματος γείωσης κατά την εκκίνηση	0, 1	0
260	OXI	Αυτόματη εν αλλαγή συχνότητας PWM	0, 1	0
340	OXI	Επιλογή τύπου	0, 1, 10	0

Παράμετρος	Απλού Τύπου	Όνομα	Κλίμακα Ρύθμισης	Αρχική Τιμή
		εκκίνησης επικοινωνίας		
<b>343</b>	OXI	Μέτρηση σφαλμάτων επικοινωνίας	-	0
<b>502</b>	OXI	Επιλογή τύπου στάσης σε σφάλμα επικοινωνίας	0, 1, 2	0
<b>549</b>	OXI	Επιλογή πρωτοκόλλου	0, 1	0
<b>Pr.CL</b>	OXI	Μηδενισμός παραμέτρου	0, 1	0
<b>ALLC</b>	OXI	Μηδενισμός όλων των παραμέτρων	0, 1	0
<b>Er.CL</b>	OXI	Μηδενισμός αρχείου συναγερωμών	0, 1	0
<b>Pr.CH</b>	OXI	Κατάλογος μεταβολής αρχικής τιμής	-	-

## 2.2 Κινητήρας

### 2.2.1 Γενικές έννοιες

Οι ηλεκτρικές μηχανές είναι συσκευές που μετατρέπουν την ηλεκτρική ενέργεια σε μηχανική και αντιστρόφως και αποτελούν το βασικότερο συστατικό ενός συστήματος ηλεκτρικής κίνησης. Οι μηχανές χωρίζονται σε δύο μεγάλες κατηγορίες ανάλογα με την τροφοδοσία τους: τις μηχανές συνεχούς ρεύματος και τις μηχανές εναλλασσόμενου ρεύματος.

Οι μηχανές εναλλασσόμενου ρεύματος παρουσιάζουν αρκετά πλεονεκτήματα συγκριτικά με αυτές συνεχούς ρεύματος (π.χ. υψηλή αξιοπιστία, χαμηλό κόστος κατασκευής, απλή κατασκευή, λιγότερη συντήρηση) κι έτσι προτιμώνται και χρησιμοποιούνται ευρέως στο χώρο της βιομηχανικής παραγωγής. Διακρίνονται στις εξής κατηγορίες:

- σύγχρονες μηχανές, στις οποίες η ταχύτητα του δρομέα ισούται με την ταχύτητα που στρέφεται το πεδίο του στάτη (χρησιμοποιούνται κυρίως ως γεννήτριες),
- οι ασύγχρονες μηχανές ή επαγωγικές, όπου η ταχύτητα του δρομέα εξαρτάται από το μέγεθος του φορτίου και είναι μικρότερη από την ταχύτητα που στρέφεται το πεδίο του στάτη (χρησιμοποιούνται κυρίως ως κινητήρες).

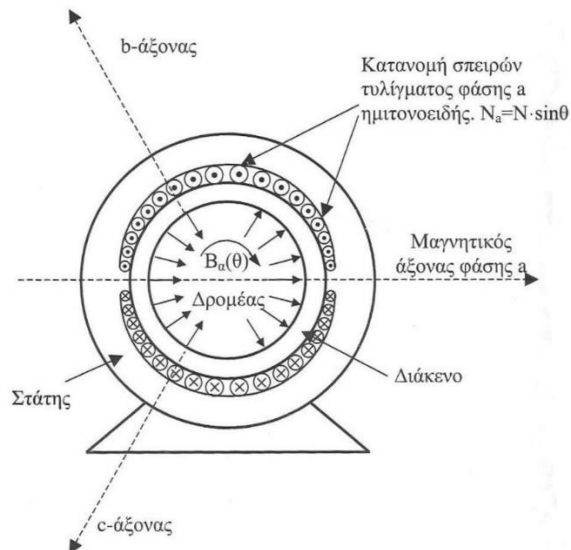
#### 2.2.1.1 Το στρεφόμενο μαγνητικό πεδίο και η ολίσθηση

Ο επαγωγικός κινητήρας αποτελείται από δύο τυλίγματα εναλλασσόμενου ρεύματος, ένα στο στάτη και ένα στο δρομέα. Τα τρία τυλίγματα του στάτη είναι μεταξύ τους μετατοπισμένα στο χώρο κατά 120°. Όταν τα τυλίγματα αυτά τροφοδοτηθούν με ένα τριφασικό σύστημα τάσεων, δημιουργούν ένα ομοιόμορφο περιστρεφόμενο και ημιτονοειδώς κατανομημένο στο στάτη μαγνητικό πεδίο (Σχήμα 2.7). Η ταχύτητα περιστροφής του πεδίου εξαρτάται από τον αριθμό των πόλων των τυλιγμάτων  $p$  και την ηλεκτρική συχνότητα τροφοδοσίας  $f$ .

$$n_s = \frac{120 * f}{p}$$

Το στρεφόμενο πεδίο επάγει τάσεις και ρεύματα στο τριφασικό τύλιγμα του δρομέα αλλά και του ίδιου του στάτη. Τα επαγόμενα ρεύματα δημιουργούν μια μαγνητική ροή στο δρομέα, η οποία ακολουθεί τη ροή του στάτη με μια καθυστέρηση. Η αλληλεπίδραση των δύο μαγνητικών πεδίων

και η διαφορά φάσης τους, προκαλούν την ανάπτυξη μιας ροπής, η οποία είναι υπεύθυνη για την περιστροφική κίνηση του δρομέα με φορά όμοια με τη φορά περιστροφής του πεδίου του στάτη. Η φορά περιστροφής του δρομέα, λοιπόν, μπορεί να αλλάξει αν αλλάξει η φορά περιστροφής του πεδίου του στάτη, εναλλάσσοντας δύο εκ των τριών συνδέσεων τροφοδοσίας των τυλιγμάτων του στάτη.



**Σχήμα 2.7 Ανάπτυξη μαγνητικού πεδίου κινητήρα επαγωγής**

Τη χρονική στιγμή  $t=0$  που τα τυλίγματα του στάτη τροφοδοτούνται με τάση και ο δρομέας είναι ακίνητος, τα επαγόμενα ρεύματα έχουν τη συχνότητα  $f$  της τάσης τροφοδοσίας. Όταν όμως ο δρομέας αποκτήσει ταχύτητα  $\omega_r=2\pi f_r$ , τα επαγόμενα ρεύματα έχουν συχνότητα  $f-f_r$  και η περιστροφική ταχύτητα του δρομέα ως προς το δρομέα είναι  $\omega-\omega_r$ . Η μηχανική ταχύτητα του δρομέα  $\omega_r$  είναι πάντα μικρότερη της σύγχρονης ταχύτητας  $\omega_s$ .

Το ποσοστό της διαφοράς ονομάζεται ολίσθηση  $s$  και συνηθισμένες τιμές της για ονομαστική λειτουργία κινητήρων είναι 2-5%.

$$s = \frac{\omega_s - \omega_r}{\omega_s}$$

### 2.2.1.2 Έλεγχος ταχύτητας κινητήρα

Μια τελευταία κατηγοριοποίηση των τριφασικών ασύγχρονων κινητήρων είναι ως προς την κατασκευή του τυλιγματος του δρομέα, σε κινητήρες τυλιγμένου δρομέα ή δακτυλιοφόροι και σε κινητήρες βραχυκυκλωμένου δρομέα ή τύπου κλωβού. Οι κινητήρες του δεύτερου τύπου είναι αυτοί που χρησιμοποιούνται ευρέως στη βιομηχανία καθώς στην περίπτωση τροφοδοσίας από αντιστροφέα δεν απαιτείται σύνδεση εξωτερικών στοιχείων στα τυλίγματα του δρομέα.

Η καλύτερη μέθοδος για τον έλεγχο της ταχύτητας των τριφασικών κινητήρων είναι με τη ρύθμιση της σύγχρονης ταχύτητας, ρυθμίζοντας τη συχνότητα τροφοδοσίας του στάτη. Με τη μέθοδο αυτή εξασφαλίζεται επίσης υψηλός βαθμός απόδοσης αφού ο κινητήρας λειτουργεί με μικρή ολίσθηση σε κάθε ταχύτητα. Η χρήση της μεθόδου έχει επικρατήσει έναντι των άλλων τα τελευταία χρόνια. Αυτό οφείλεται στην κατασκευή κατάλληλων μετατροπέων ισχύος, των ρυθμιστών στροφών (inverters), με λογικό κόστος και υψηλή αξιοπιστία.

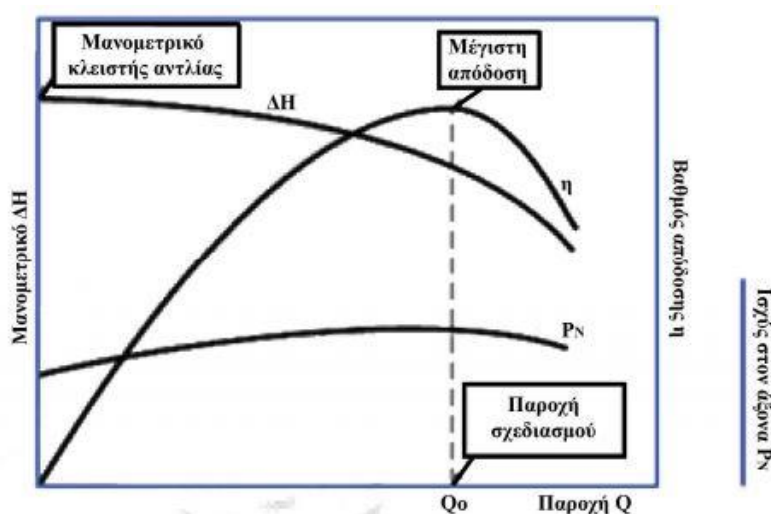
## 2.2.2 Χαρακτηριστικές καμπύλες αντλίας

Οι χαρακτηριστικές καμπύλες λειτουργίας μιας αντλίας είναι διαγράμματα στα οποία παρουσιάζεται ουσιαστικά η ταυτότητα της αντλίας αυτής. Οι καμπύλες είναι τρεις και παρουσιάζονται συνήθως στο ίδιο διάγραμμα ως συνάρτηση της παροχής  $Q$  (Σχήμα 2.8):

- Χαρακτηριστική καμπύλη για το ολικό μανομετρικό  $\Delta H$
- Χαρακτηριστική καμπύλη για την αξονική ισχύ στον άξονα της αντλίας  $P_N$
- Χαρακτηριστική καμπύλη για το βαθμό απόδοσης της αντλίας  $\eta$ .

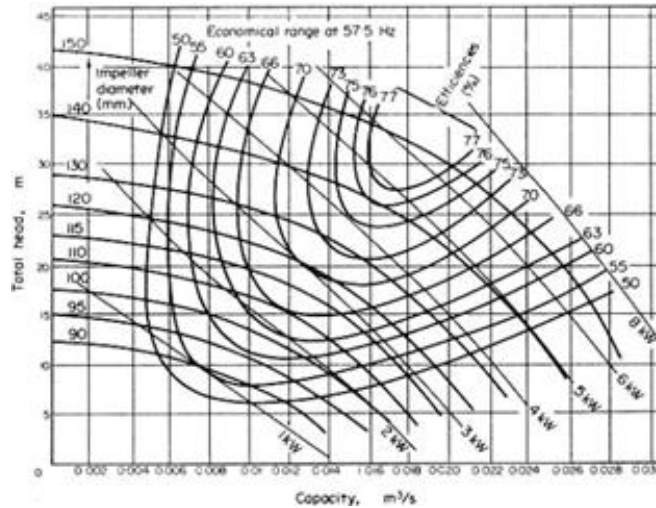
Χρησιμοποιώντας τις παραπάνω καμπύλες, δηλαδή ένα σύνολο πληροφοριών για τα βασικά χαρακτηριστικά της αντλίας, επιλέγουμε το βέλτιστο σημείο λειτουργίας της αντλίας, το σημείο εκείνο όπου ο βαθμός απόδοσής της γίνεται μέγιστος (παροχή  $Q_0$ ).

Σε περίπτωση που μια αντλία λειτουργεί αριστερά του σημείου αυτού (παροχή  $Q$ ), λειτουργεί σε συνθήκες μερικής παροχής ( $Q/Q_0$ ).



Σχήμα 2.8 Χαρακτηριστικές καμπύλες αντλίας

Τα βασικά χαρακτηριστικά της αντλίας εξαρτώνται από το είδος της (ακτινικής, αξονικής κτλ.), το είδος του ρευστού (υγρό, αέριο), την ταχύτητα περιστροφής και το μέγεθός της. Συνήθως δίνονται πολλές χαρακτηριστικές καμπύλες σε ένα μόνο διάγραμμα (Σχήμα 2.9), και αντιστοιχούν σε διαφορετικές στροφές της ίδιας αντλίας, σε διαφορετικά μεγέθη όμοιων αντλιών ή σε διαφορετικές ταχύτητες περιστροφής. Η αντλία επιλέγεται τελικά είναι αυτή που εξασφαλίζει την επιθυμητή λειτουργία ( $\Delta H$ ,  $Q$ ) με μέγιστη απόδοση  $\eta$ .



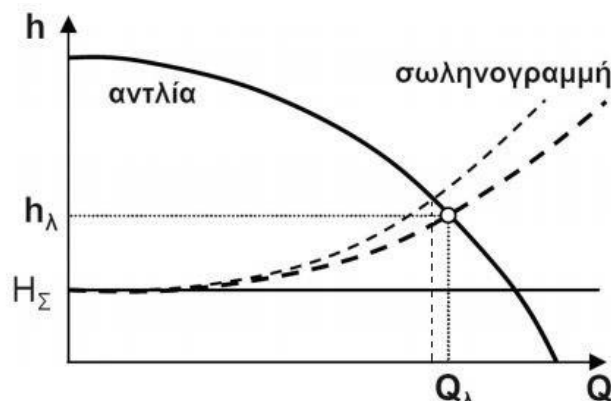
**Σχήμα 2.9** Καμπύλες λειτουργίας όμοιων φυγοκεντρικών αντλιών διαφορετικού μεγέθους συναρτήσει της διαμέτρου της πτερωτής

Μια ακόμα καμπύλη που μπορεί να συμπεριληφθεί στο διάγραμμα χαρακτηριστικών καμπυλών λειτουργίας είναι η  $NPSH_R$  (Net Positive Suction Head, Required), η οποία είναι το απαιτούμενο μανομετρικό στην αναρρόφηση προκειμένου να μην παρουσιαστεί σπηλαιώση (εξαρτάται από τη γεωμετρική μορφή της πτερωτής στην περιοχή αναρρόφησης).

### 2.2.2.1 Χαρακτηριστική καμπύλη σωληνογραμμής

Εκτός των καμπυλών την αντλία, μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε και τη χαρακτηριστική καμπύλη σωληνογραμμής (Σχήμα 2.10), προκειμένου να επιλέξουμε το σημείο λειτουργίας που η αντλία αποδίδει μέγιστα. Η σωληνογραμμή είναι το σύνολο των εξαρτημάτων και σωλήνων, που μαζί με την αντλία αποτελούν την εγκατάσταση. Το σημείο τομής της χαρακτηριστικής μανομετρικού της αντλίας με την παραπάνω χαρακτηριστική είναι το καταλληλότερο σημείο λειτουργίας. Στην παροχή αυτή η αντλία δίνει το συγκεκριμένο μανομετρικό, που προκύπτει απ' το ολικό στατικό ύψος, το ύψος διαφοράς πίεσης και ταχύτητας και τις απώλειες.

Αν το μανομετρικό της σωληνογραμμής αλλάξει, θα έχουμε διαφορετικό σημείο ισορροπίας. Αν, για παράδειγμα, το μανομετρικό αυξηθεί, θα έχουμε ισορροπία σε μικρότερη παροχή  $Q$ .



**Σχήμα 2.10** Χαρακτηριστικές καμπύλες μανομετρικού αντλίας και μανομετρικού σωληνογραμμής

Για να εξασφαλισθεί η ευστάθεια στην αντλητική εγκατάσταση και να επανέρχεται το σύστημα στην αρχική κατάσταση ισορροπίας παρά την όποια μικρή μεταβολή του φορτίου, θα πρέπει η χαρακτηριστική της αντλίας να έχει αρνητική κλίση, δηλαδή μείωση της παροχής να συνεπάγεται αύξηση του μανομετρικού και αντίστροφα.

## 2.2.3 Μοντέλο αντλίας της διάταξης



Σχήμα 2.11 Κινητήρας E-Tech EH3

Η αντλία που θα χρησιμοποιηθεί στην εργασία είναι η EH3/02 I003 T5 E0 IE2 της εταιρείας E-Tech και απεικονίζεται στο Σχήμα 2.11. Οι αντλίες της σειράς EH είναι κατάλληλες για εφαρμογές σε μικρά βιομηχανικά και οικιακά συστήματα. Χρησιμοποιούνται κυρίως για τη διανομή νερού, την επεξεργασία νερού, στην άρδευση, αλλά και σε συστήματα κλιματισμού ή πλυσίματος.

Πληροφορίες αντλίας:

- Working capacity range : 25-75 i/min
- Εύρος κεφαλής : 21-10 m
- Ρυθμός παροχής : 1.5-4.5
- Μέγιστη ισχύς απορρόφησης : 0.44 kW
- Μέγιστη πίεση υγρού : 10 bar
- Θερμοκρασία υγρού : -15 – +110 °C
- Αριθμός σταδίων : 2
- Συνδέσεις : Rp με σπείρωμα στην είσοδο και στην έξοδο
- Υλικό αντλίας : ανοξείδωτος χάλυβας AISI304
- Τοποθέτηση της αντλίας σε μέρος με θερμοκρασία : -5 – +40 °C \*
- Ανθεκτικός σχεδιασμός
- Υψηλή απόδοση
- Εύκολη συντήρηση
- Στεγανό ρουλεμάν μοτέρ

\* Σε περίπτωση που η θερμοκρασία είναι μεγαλύτερη από 40 °C τότε η αντλία δε θα πρέπει να τεθεί σε πλήρη λειτουργία λόγω υψηλού κινδύνου υπερθέρμανσης.

Τεχνικά χαρακτηριστικά κινητήρα:

- Τριφασικός διπολικός ασύγχρονος κινητήρας
- Συχνότητα : 50 Hz
- Τάση εισόδου (συνδεσμολογία τριγώνου) : 230 V
- Ρεύμα εισόδου (συνδεσμολογία τριγώνου) : 2.4 A
- Ονομαστική ισχύς : 0.33 kW
- Εκκινήσεις ανά ώρα : 60  
(χρόνος αναμονής μεταξύ δύο διαδοχικών εκκινήσεων 1 λεπτό)
- Κλάση απόδοσης : IE3
- Βαθμός προστασίας : IP55
- Insulation class F: μέγιστη θερμοκρασία μονώσεων τυλιγμάτων : 155 °C  
μέσος όρος ζωής τυλιγμάτων : 20000 ώρες

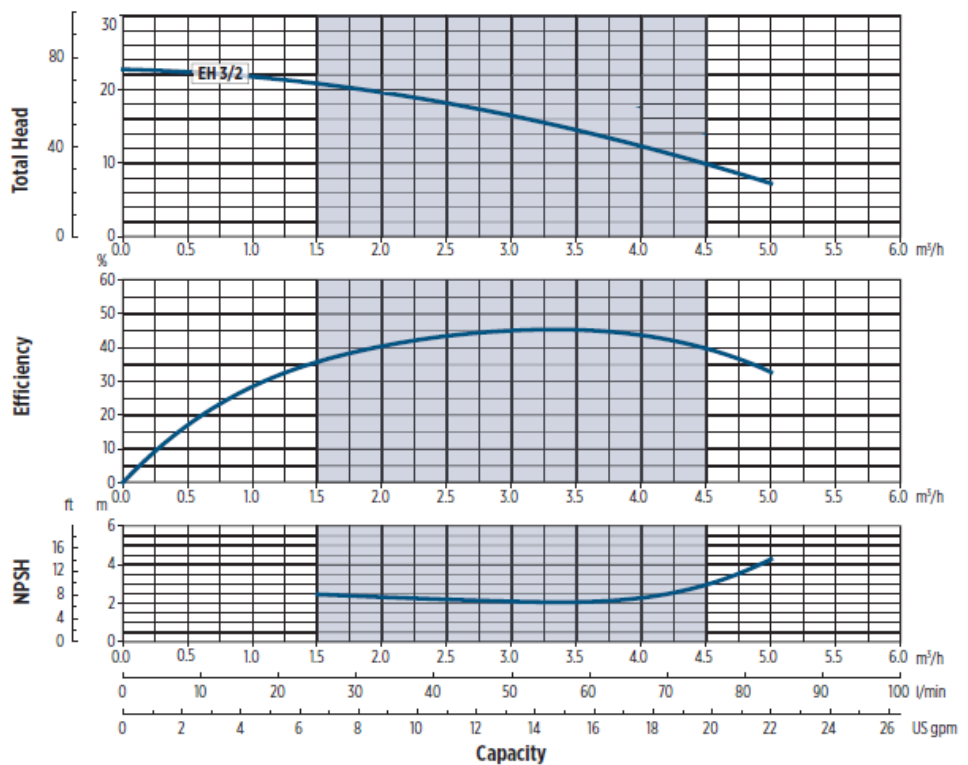


Από τον Πίνακα 2-3 αντλούνται πληροφορίες σχετικά με την υδραυλική απόδοση της αντλίας, όπως παρέχονται από τον κατασκευαστή της.

Πίνακας 2-3 Υδραυλική απόδοση της αντλίας E-Tech EH3

	I/MIN	0	25	33	42	50	58	67	75
<b>Q=DELIVERY</b>	m <sup>3</sup> /h	0	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5
	US GPM	0	6.6	8.8	11	13.2	15.4	17.6	19.8
<b>H=TOTAL M.HEAD OF WATER</b>	m	23	21	19.5	18	16.5	14.5	12.5	10

Επιπρόσθετα, θα πρέπει να αναφερθούν στο Σχήμα 2.12 οι χαρακτηριστικές καμπύλες της αντλίας E-Tech EH3, για να επιλέξουμε το σημείο που λειτουργεί βέλτιστα.



Σχήμα 2.12 Χαρακτηριστικές καμπύλες της αντλίας E-Tech EH3

### 2.2.3.1 Τοποθέτηση και προετοιμασία

Για να λειτουργήσει η αντλία μας σωστά και για την αποφυγή βλαβών που μπορεί να βλάψουν το υλικό πρέπει να τηρηθούν κάποιες βασικές συνθήκες. Συγκεκριμένα πρέπει να ελεγχθεί το NPSH και η μέγιστη πίεση. Ο έλεγχος γίνεται για την αποφυγή μεγάλης απόστασης μεταξύ αντλίας και υγρού προς άντληση αλλά και για υψηλή θερμοκρασία. Η μέγιστη απόσταση που μπορεί να έχει η αντλία από το υγρό υπολογίζεται από τον τύπο:

$$H = pb * 10.2 - NPSH - H_f - H_v - H_s$$

όπου:

- pb : Πίεση ή πίεση αναρρόφησης υγρού
- NPSH : Καθαρό Θετικό Ύψος Αναρρόφησης
- H<sub>f</sub> : Τριβή και απώλειες στις σωληνώσεις αναρρόφησης
- H<sub>v</sub> : Πίεση ατμού σε σχέση με τη θερμοκρασία του υγρού
- H<sub>s</sub> : Όριο ασφαλείας

Αν το αποτέλεσμα είναι μικρότερο του 0, τότε η αντλία θα πρέπει να τοποθετηθεί σε ύψος χαμηλότερο του υγρού.

Τέλος κατά την τοποθέτηση θα πρέπει να προσέξουμε τα εξής:

- τυχόν εμπόδια που μπορεί να φράζουν τη ροή αέρα της αντλίας,
- να υπάρχει κενό για τουλάχιστο 100m από τον ανεμιστήρα,
- οι σωληνώσεις να είναι κατάλληλες για να αντέξουν την πίεση αλλά και το είδος του υγρού προς άντληση,
- να αποφευχθούν όσο είναι αυτό δυνατό χώροι με σκόνη και δονήσεις.

## 2.3 Αισθητήρες στάθμης

Ο έλεγχος στάθμης χρησιμοποιείται ευρέως στη βιομηχανία σε συνδυασμό με τα συστήματα αυτοματισμού, ως μέσο μετάδοσης πληροφορίας για την εποπτεία και τη ρύθμιση της παραγωγικής διαδικασίας και ως μέρος των διαδικασιών ελέγχου της. Ως στάθμη, ορίζουμε την απόσταση αναφοράς του μετρούμενου υλικού (π.χ. ρευστού) από ένα επίπεδο αναφοράς (π.χ. σε μία δεξαμενή). Η συνεχής επιτήρηση της στάθμης εξασφαλίζεται χρησιμοποιώντας αισθητήρες στάθμης, οι οποίοι μετατρέπουν το φυσικό μέγεθος (εξαρτημένη μεταβλητή του συστήματος μέτρησης) σε πληροφορία ηλεκτρικού μεγέθους. Οι διάφοροι αισθητήρες ανιχνεύουν με διαφορετικές μεθόδους τη στάθμη: μέτρηση μέσω χωρητικότητας, μέσω υδροστατικής πίεσης, με μικροκύματα, με υπερήχους, με μαγνητικά στοιχεία, και άλλα. Κάποιοι από τους αισθητήρες είναι κατάλληλοι για συνεχή μέτρηση της στάθμης σε πραγματικό χρόνο. Υπάρχουν επίσης αισθητήρες διακριτής μέτρησης στάθμης, δηλαδή μιας συγκεκριμένης τιμής της στάθμης.

### 2.3.1 Αναλογική μέτρηση στάθμης

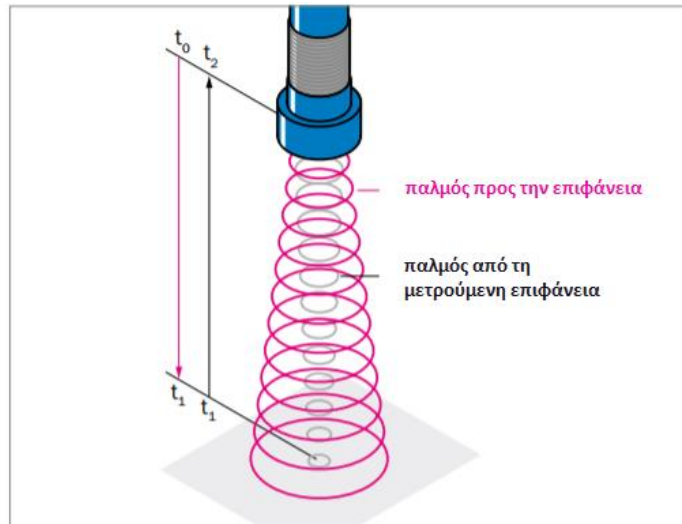
#### 2.3.1.1 Αισθητήρες υπέρηχων

Στην αναλογική μέτρηση στάθμης, η μέτρηση της τρέχουσας στάθμης πραγματοποιείται συνεχώς, καθώς αυτή αυξομειώνεται. Έτσι επιτυγχάνεται η συνεχής επιτήρηση, ο έλεγχος των διαδικασιών, η εξαγωγή στατιστικών κτλ. Από τις πιο διαδεδομένες μεθόδους αυτής της κατηγορίας είναι ο έλεγχος στάθμης μέσω αισθητήρων υπέρηχων.

##### 2.3.1.1.1 Αρχή λειτουργίας

Με τον όρο υπέρηχος (ultrasound) ορίζεται το ακουστικό κύμα με συχνότητα μεγαλύτερη των 20 kHz, δηλαδή μεγαλύτερη από αυτή που μπορεί να ακούσει ο άνθρωπος. Όταν μια σημειακή υπέρηχη πηγή εκπέμπει έναν παλμό και ο παλμός προσπέσει πάνω σε ένα αντικείμενο, τότε αυτός ανακλάται πίσω στην πηγή του (Σχήμα 2.13). Ο χρόνος που απαιτείται για να πάει παλμός από την πηγή ως την επιφάνεια του αντικειμένου και να επανέλθει στην πηγή ονομάζεται χρόνος πτήσης του κύματος (time of flight) και εξαρτάται από το μέσο διάδοσης του παλμού (αέρας ή ρευστό). Ο χρόνος αυτός μετριέται, αξιολογείται και μετατρέπεται σε απόσταση ως εξής:

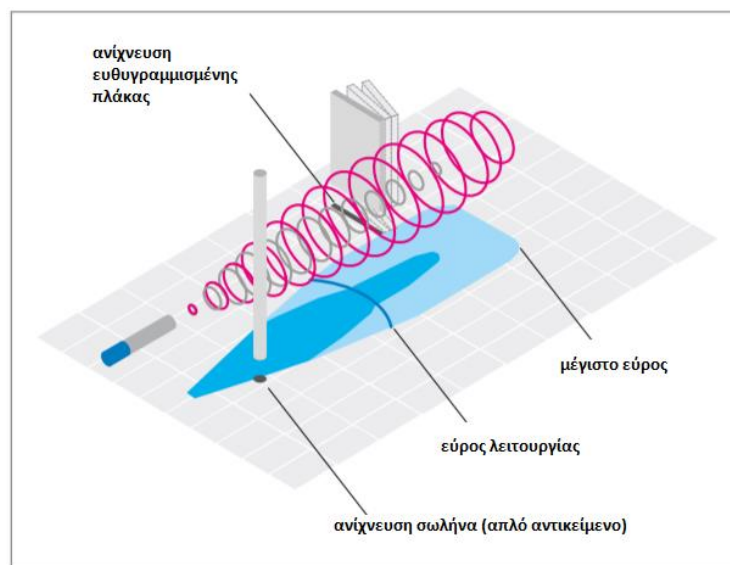
$$\text{Απόσταση} = \text{ταχύτητα του ήχου} * \frac{\text{συνολικός χρόνος πτήσης (t2)}}{2}$$



Σχήμα 2.13 Συνολικός χρόνος πτήσης του κύματος του αισθητήρα υπερήχων

### 2.3.1.1.2 Εύρος ανίχνευσης

Η ένταση της ενέργειας που ανακλάται εξαρτάται από το είδος του υλικού στο οποίο προσπίπτει ο αρχικός παλμός της πηγής. Για παράδειγμα, στην περίπτωση ενός πορώδους υλικού, η διέγερση των μορίων του θα απορροφήσει μέρος της αρχικής ενέργειας του σήματος. Όσο λιγότερη ενέργεια απορροφά το υλικό του μετρούμενου αντικείμενου (ή επιφάνειας), τόσο μεγαλύτερο είναι το πιθανό εύρος ανίχνευσης του. Επίσης, ο συντελεστής απορρόφησης εξαρτάται από τη γωνία πρόσπτωσης του παλμού πάνω στο αντικείμενο. Αυτό πρέπει να εξετάζεται ιδιαίτερα σε εφαρμογές μέτρησης της στάθμης μιας δεξαμενής σε σχέση με το υλικό που περιέχει, ώστε η ανακλώμενη ενέργεια να βρίσκεται μέσα στο εύρος ανίχνευσης του αισθητήρα υπερήχων. Κάθε αισθητήρας συνοδεύεται από ένα συγκεκριμένο εύρος ανίχνευσης, που καθορίζει την απόσταση μέχρι την οποία είναι δυνατή η μέτρηση σε συνήθη αντικείμενα. Ο αισθητήρας μπορεί να χρησιμοποιηθεί για εύρος ακόμη και μέχρι το πεδίο ορισμού του, υπό ιδανικές συνθήκες. Μια σχηματική απεικόνιση των όσων αναφέρθηκαν, σχετικά με το εύρος ανίχνευσης, αποτελεί το Σχήμα 2.14, όπου φαίνεται ο αρχικός παλμός, το εύρος λειτουργίας, αλλά και το μέγιστο εύρος.



Σχήμα 2.14 Εύρος ανίχνευσης του αισθητήρα υπερήχων

Ενώ η ανιχνευσιμότητα και το εύρος ανίχνευσης εξαρτώνται από τις ανακλαστικές ιδιότητες, το μέγεθος και τον προσανατολισμό (κατευθυντικότητα) του υλικού, είναι ανεξάρτητα από το χρώμα, τη λάμψη ή το πόσο διάφανο είναι. Αυτό αποτελεί ένα από τα σημαντικότερα πλεονεκτήματα των υπέρηχων αισθητήρων. Επίσης, η υψηλή τους ακρίβεια τους καθιστά κυρίαρχους στην κατηγορία συνεχής μέτρησης στάθμης. Προτιμώνται συχνά έναντι άλλων, σε εφαρμογές μικρών δεξαμενών, λόγω του μικρού μεγέθους και του χαμηλού κόστους τους.

### 2.3.1.1.3 Εφαρμογές

Οι κυριότερες εφαρμογές τους σε βιομηχανίες, αλλά ακόμα και στον κλάδο της ρομποτικής, είναι:

- μέτρηση στάθμης υγρών ή στερεών υλικών σε δεξαμενές,
- ανίχνευση παρουσίας αντικειμένων ή ανθρώπων για καταμέτρηση,
- μέτρηση διαστάσεων αντικειμένων,
- ως αισθήσεις ενός ρομπότ,
- ανίχνευση βλάβης (σπάσιμο) καλωδίου,
- ανίχνευση αυτοκινήτων σε πλυντήρια αυτοκινήτων.

### 2.3.1.2 Μοντέλο της εργασίας



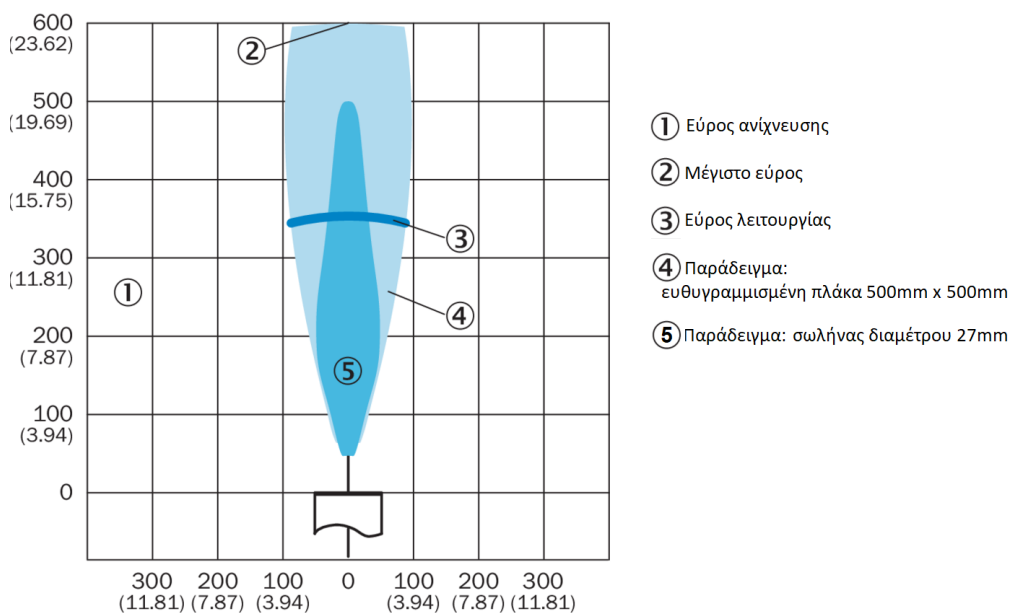
**Σχήμα 2.15 Αισθητήρας SICK UM18**

Ο ultrasonic αισθητήρας του Σχήματος 2.15 είναι αυτός που επιλέχτηκε για την εργασία μας και πρόκειται για το μοντέλο UM18-212126111 της σειράς UM18-2 Pro (εταιρία SICK). Ο UM18-2 Pro είναι ένας αισθητήρας υπερήχων για την ανίχνευση χωρίς επαφή αντικειμένων, ζώων και προσώπων. Έχει κοντό, μεταλλικό περίβλημα M18 μήκους 41 mm. Επίσης έχει υψηλή αντοχή σε ρύπους, σκόνη και υγρασία. Προσφέρει πληθώρα λύσεων σε εφαρμογές λόγω της αξιοπιστίας της τεχνολογίας των υπερήχων.

Τα βασικότερα χαρακτηριστικά του είναι:

- Τάση τροφοδοσίας : 10-30 VDC
- Κατανάλωση ισχύος : <1.2 W
- Εύρος λειτουργίας : 65-350 mm (Σχήμα 2.16)
- Μέγιστο εύρος, όριο εύρους : 65-600 mm (Σχήμα 2.16)
- Ανάλυση :  $\geq 0.069$  mm
- Επαναληψιμότητα :  $\pm 0.15$  %
- Ακρίβεια :  $\pm 1$  %
- Χρόνος απόκρισης : 64 ms
- Χρόνος output : 16 ms
- Συχνότητα : 400 kHz
- Μια αναλογική έξοδος : 4-20 mA

- Ανάλυση αναλογικής εξόδου : 12 bit
- Σύνδεση με αρσενικό M-12, 5-pin
- Ευθύς άξονας αποστολής των υπερήχων
- Διαθέσιμες λειτουργίες συγχρονισμού και πολυπλεξίας με άλλους αισθητήρες
- Έξυπνα φίλτρα μετρούμενης τιμής
- Βαθμός προστασίας κατασκευής : IP67
- Θερμοκρασία λειτουργίας : -25 – +70 °C
- Θερμοκρασία αποθήκευσης : -40 – +85 °C



Σχήμα 2.16 Περιοχή ανίχνευσης σε mm (ίντσες) του αισθητήρα υπερήχων UM-18

## 2.3.2 Ψηφιακοί οριοδιακόπτες στάθμης

### 2.3.2.1 Αισθητήρες αγωγιμότητας

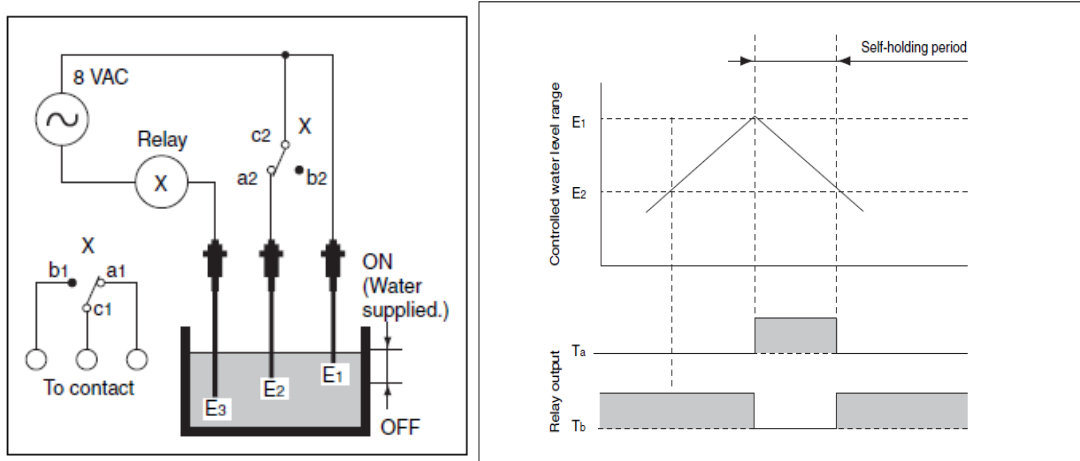
Στο παρόν κεφάλαιο εξετάζεται η αρχή λειτουργίας των αισθητήρων αγωγιμότητας, καθώς τέτοιои θα χρησιμοποιηθούν για το σημειακό έλεγχο του ανώτατου και κατώτατου ορίου της στάθμης των δεξαμενών.

Ένας αισθητήρας αγωγιμότητας χρησιμοποιείται σε διάφορες εφαρμογές οικιακού αλλά και βιομηχανικού ενδιαφέροντος, κυρίως για τον έλεγχο της στάθμης δεξαμενών που περιέχουν αγωγίμο υγρά. Όταν τα ηλεκτρόδια έρχονται σε επαφή με ένα αγωγίμο υγρό, το ρεύμα ρέει διαμέσου του υγρού και το κύκλωμα κλείνει. Μετρώντας την αντίσταση μεταξύ των ηλεκτροδίων και συγκρίνοντας την με μία αντίσταση αναφοράς, μπορεί να ανιχνευθεί η επιφάνεια του υγρού.

#### 2.3.2.1.1 Αρχή λειτουργίας για ανίχνευση low/high με ρελέ

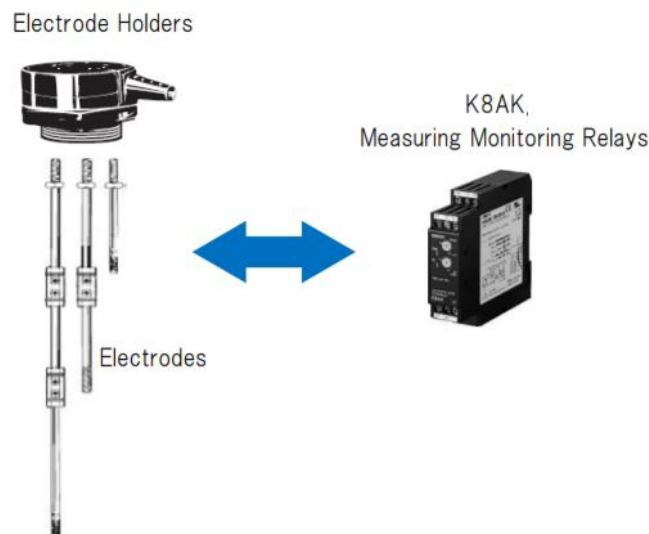
Για τον έλεγχο ελαχίστου-μεγίστου χρησιμοποιούνται διατάξεις με δύο ή περισσότερα ηλεκτρόδια. Στην περίπτωση μας προτιμάται η μέθοδος των τριών ηλεκτροδίων (Three-role Method). Όπως απεικονίζεται στο Σχήμα 2.17α, το ηλεκτρόδιο  $E_1$  βυθίζεται ως το ανώτερο σημείο που επιθυμούμε, το  $E_2$  ως το κατώτερο σημείο, και το  $E_3$  ως το σημείο αναφοράς. Τα ηλεκτρόδια  $E_1$  και  $E_2$  συνδέονται μέσω της επαφής  $a_2$ . Όταν η στάθμη του υγρού έρθει σε επαφή με το ηλεκτρόδιο  $E_1$ , τότε το ρελέ  $X$  μεταβαίνει στην επαφή  $a$ . Όσο η επαφή  $a_2$  είναι κλειστή, το

ηλεκτρικό κύκλωμα μεταξύ του υγρού και των ηλεκτροδίων  $E_2$  και  $E_3$  διατηρείται, ακόμα και αν η στάθμη του υγρού πέσει κάτω από το επίπεδο του ηλεκτροδίου  $E_1$ . Όμως όταν η στάθμη του αγώγιμου υγρού πέσει κάτω και από το  $E_2$ , τότε το κύκλωμα των ηλεκτροδίων  $E_2$ - $E_3$  ανοίγει, το ρελέ απενεργοποιείται και η  $b$  επαφή του κλείνει, ενώ φυσικά η  $a$  ανοίγει. Άρα το ρελέ  $X$ , ενεργοποιείται και απενεργοποιείται μεταξύ των  $E_1$  και  $E_2$ . Στο σχήμα 2.17β, σημειώνονται οι πιθανές τιμές της εξόδου του ρελέ, για τα πιθανά σενάρια στάθμης.



**Σχήμα 2.17 α) Κύκλωμα με αυτοσυγκράτηση, β) Διάγραμμα χρόνου εξόδου ρελέ με αυτοσυγκράτηση**  
Σημειώνεται ότι μη αγώγιμα υγρά, όπως το λάδι, δεν μπορούν να ελεγχθούν με αυτή τη μέθοδο.

### 2.3.2.2 Μοντέλο της εργασίας



**Σχήμα 2.18 Ρελέ OMRON K8AK-LS και ηλεκτρόδια με βάση PS-31**

Για τον έλεγχο υψηλής και χαμηλής στάθμης των δύο δεξαμενών μας, χρησιμοποιούνται τέσσερις οριοδιακόπτες στάθμης K8AK-LS1 της εταιρίας OMRON, και ηλεκτρόδια τύπου PS-31 της ίδιας εταιρίας, τα οποία μπορούμε να διακρίνουμε στο Σχήμα 2.18.

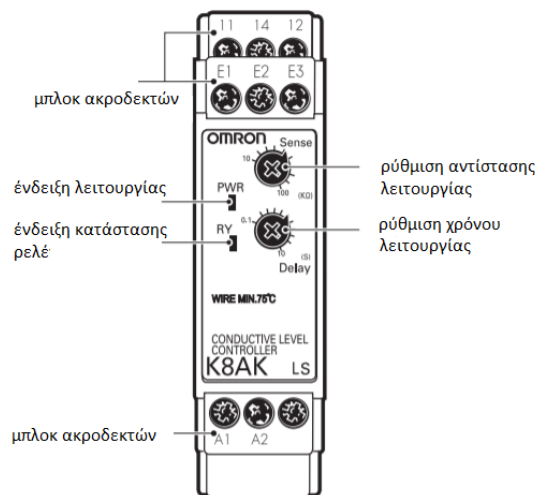
#### 2.3.2.2.1 Χαρακτηριστικά και προδιαγραφές ρελέ

Το ρελέ K8AK-LS συμπεριλαμβάνει διακόπτη για επιλογή μεταξύ τροφοδοσίας νερού ή αναρρόφησης νερού από μια δεξαμενή. Επίσης, η αντίσταση λειτουργίας του μπορεί να ρυθμιστεί από 10 έως 100 kΩ για εφαρμογή σε μεγάλη ποικιλία υγρών. Οι επιλογές αυτές φαίνονται στο Σχήμα 2.19 με την πρόσοψη του ρελέ. Είναι έτσι σχεδιασμένο, ώστε να αποφεύγεται το chattering

του ρελέ (συνεχές άνοιγμα-κλείσιμο επαφών) από τον κυματισμό που μπορεί να δημιουργηθεί στην επιφάνεια του υγρού της δεξαμενής. Το κύκλωμα αυτοσυγκράτησης είναι ανεξάρτητο από την εξωτερική καλωδίωση.

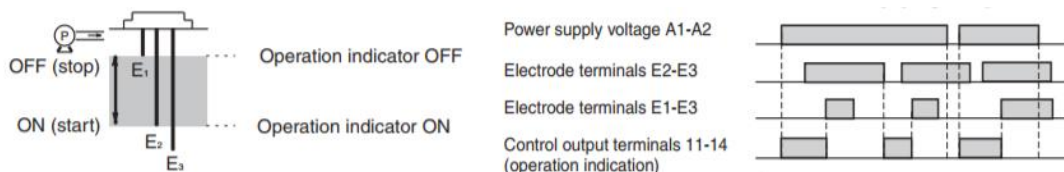
Επιπρόσθετα χαρακτηριστικά του ρελέ στάθμης:

- Τροφοδοσία : 24 VDC
- Εύρος τάσης λειτουργίας : 85%-110%
- Αντίσταση επαναφοράς : 250 kΩ max
- Χρόνος απόκρισης : 0.1-10 sec
- Ενδείξεις για PWR (πράσινο) και κατάσταση του ρελέ (κίτρινο)
- Θερμοκρασία λειτουργίας : -20 – +60 °C
- Τοποθέτηση σε θερμοκρασία : -25 – +65 °C
- Υγρασία περιβάλλοντος : 25%-85%
- Διαστάσεις : 22.5 × 90 × 100 mm (W×D×H)
- Εγκεκριμένα πρότυπα : EN 61010-1
- Διηλεκτρική αντοχή 2,000 VAC για 1 λεπτό
- Βαθμός προστασίας : IP20
- Διάρκεια ζωής μηχανικών μερών : 10<sup>7</sup> εργασίες (ελάχιστη)
- Συμπαγές καλώδιο 2 x 2.5 mm<sup>2</sup> max



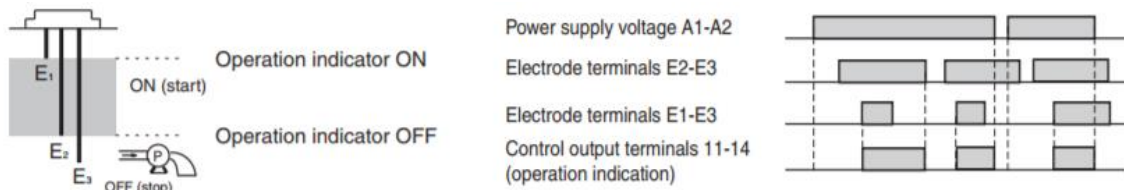
Σχήμα 2.19 Πρόσωση ρελέ K8AK-LS

Όταν το ρελέ λειτουργεί για την προμήθεια μιας δεξαμενής (Σχήμα 2.20), η αντλία ξεκινά όταν η στάθμη του υγρού πέσει στο E<sub>2</sub> (ένδειξη ON) και σταματά όταν η στάθμη είναι ψηλότερα του E<sub>1</sub> (η ένδειξη σβήνει).



Σχήμα 2.20 Λειτουργία προμήθειας δεξαμενής του ρελέ K8AK-LS

Όταν το ρελέ λειτουργεί για την αυτόματη αναρρόφηση από μια δεξαμενή (Σχήμα 2.21), η αντλία ξεκινά όταν η στάθμη του υγρού φτάσει το E<sub>1</sub> (ένδειξη ON) και σταματά όταν η στάθμη είναι πέσει κάτω από το E<sub>2</sub> (η ένδειξη σβήνει).



Σχήμα 2.21 Λειτουργία αναρρόφησης από δεξαμενή του ρελέ K8AK-LS

### 2.3.2.2.2 Χαρακτηριστικά και προδιαγραφές ηλεκτροδίων

Για τη βάση ηλεκτροδίων, δηλαδή το μοντέλο PS-31, αξίζει να αναφέρουμε:

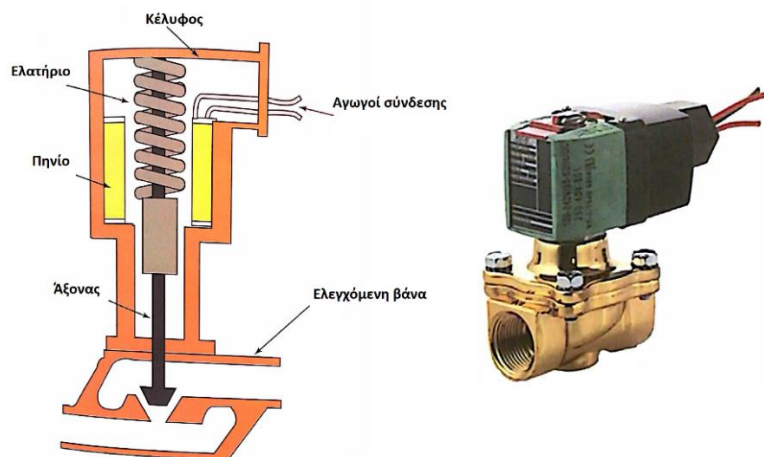
- Μήκος : 300 mm
- Ηλεκτρόδια : 3, ενσωματωμένα στη βάση
- Θερμοκρ. λειτουργίας : -10 – +70 °C
- Πίεση λειτουργίας : ατμοσφαιρική πίεση
- Υλικό : PBT (τερεφθαλικό πολυβουτυλένιο)

## 2.4 Ηλεκτροβάνες

### 2.4.1 Γενικές έννοιες

Μια ηλεκτροβάνα (solenoid valve) αποτελείται από ένα σπειροειδές πηνίο, με τον πυρήνα του να συνδέεται με το στέλεχος της βάνας, όπως βλέπουμε στο Σχήμα 2.22. Στις βάνες δύο θυρών οι οποίες είναι οι πιο συνηθισμένες, αν η βάνα είναι ανοιχτή τότε οι δύο θύρες επικοινωνούν, αν η βάνα είναι κλειστή τότε είναι απομονωμένες. Σε περίπτωση που οι δύο θύρες επικοινωνούν σε κατάσταση ηρεμίας τότε η βάνα είναι τύπου normally open (NO), ενώ όταν η επικοινωνία τους επιτρέπεται υπό τάση είναι τύπου normally closed (NC).

Για μία NC ηλεκτροβάνα, διέγερση του πηνίου από ηλεκτρικό ρεύμα συνεπάγεται έλξη του πυρήνα προς τα πάνω μαζί με το στέλεχος της βάνας, που όπως αναφέρθηκε συνδέονται. Ως αποτέλεσμα, η βάνα ανοίγει, δηλαδή οι δύο θύρες επικοινωνούν και έχουμε ελεύθερη διέλευση υγρού. Όταν σταματήσει να υπάρχει ρεύμα στο πηνίο, δεν ασκείται ηλεκτρομαγνητική δύναμη και το ελατήριο σπρώχνει πια το στέλεχος προς τα κάτω, έτσι η βάνα κλείνει. Για μεγαλύτερη ασφάλεια η βάνα έχει έναν μοχλό ελέγχου για χειροκίνητο χειρισμό.



Σχήμα 2.22 Δομή ηλεκτροβάνας και βάνα εμπορίου

Η χρήση των βανών στη βιομηχανία συνθίζεται λόγω της υψηλής τους αξιοπιστίας, της γρήγορης και ασφαλούς εναλλαγής και της μεγάλης διάρκειας ζωής, του μεγέθους και της χαμηλής



κατανάλωσης ισχύος. Εξυπηρετούν στη συγκράτηση ή απελευθέρωση, στη διανομή αλλά και στην ανάμιξη υγρών ή αερίων.

## 2.4.2 Μοντέλο της εργασίας



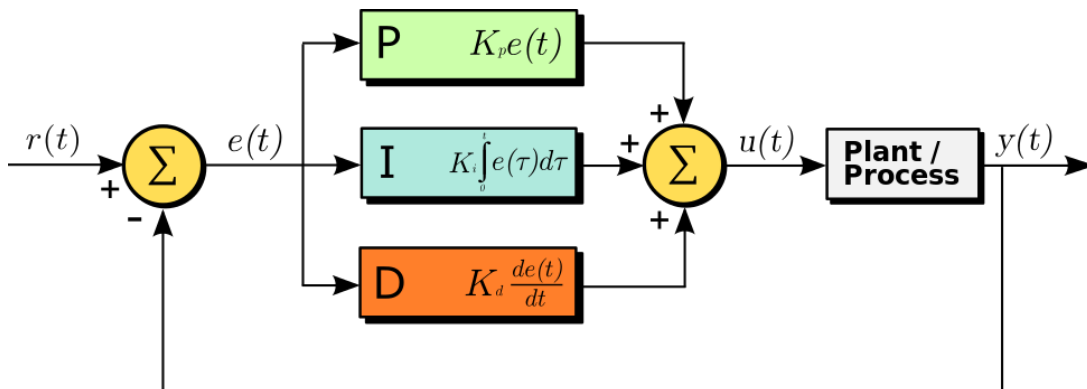
Σχήμα 2.23 Ηλεκτροβάννα XHnotation 2N Series Normally Closed

Στην διάταξη που κατασκευάστηκε για την εργασία, χρησιμοποιούνται δύο όμοιες ηλεκτροβάνες τύπου Normally Closed της εταιρίας XHnotation (Σχήμα 2.23). Ο βαθμός προστασίας τους είναι IP 65, είναι αδιάβροχες και με αντοχή στη σκόνη. Ακόμη, έχουν καλή αντοχή σε υψηλή θερμοκρασία (βαθμός μόνωσης H). Χρησιμοποιούνται ευρέως και είναι κατάλληλες και για εφαρμογές εξωτερικού χώρου. Επίσης, έχουν μεγάλη ροή, σε συνδυασμό με συμπαγές μέγεθος. Λειτουργεί ως direct βάννα, δηλαδή δε χρειάζεται ελάχιστη πίεση για τη λειτουργία της. Το μοντέλο 2N400-40B είναι φτιαγμένο από ανοξείδωτο ατσάλι, με διάμετρο 40 mm και δουλεύει για αέρια και νερό με πίεση 0-7 bar. Η τροφοδοσία της είναι 24 VDC.

## 2.5 Έλεγχος PID

Οι ελεγκτές PID χρησιμοποιούνται και έχουν καθιερωθεί στα βιομηχανικά συστήματα ελέγχου. Αρχικά είχαν πνευματικό τρόπο λειτουργίας, αργότερα αποτελούσαν ένα κύκλωμα ηλεκτρονικών διατάξεων και σήμερα υλοποιούνται και προγραμματίζονται σε κάθε ψηφιακό σύστημα ελέγχου, συμπεριλαμβανομένων των PLC. Οι ελεγκτές αυτοί προτιμώνται λόγω της απλής αλλά και παράλληλα σθεναρής τους λειτουργίας, κάτω από διαφορετικές συνθήκες. Πιο συγκεκριμένα, έχουμε ομαλή μετάβαση από/σε χειροκίνητο έλεγχο, ευρεία προσαρμοστικότητα και εύκολη βελτίωση λόγω των ρυθμιζόμενων παραμέτρων.

### 2.5.1 Αρχή λειτουργίας



Σχήμα 2.24 Σχηματικό διάγραμμα ελέγχου PID με βρόχο ανάδρασης

Ένας PID controller παράγει το σήμα διέγερσης για το ελεγχόμενο σύστημα. Το διάγραμμα του PID ελέγχου με βρόχο ανάδρασης απεικονίζεται στο Σχήμα 2.24, και η λειτουργία του επεξηγείται ακολούθως: ο ελεγκτής υπολογίζει συνεχώς το σφάλμα (error), δηλαδή τη διαφορά ανάμεσα στην επιθυμητή τιμή (SetPoint) και τη μετρούμενη τιμή (Process Variable), και προσπαθεί να το διορθώσει βάσει του αθροίσματος τριών όρων: ενός όρου P (Proportional-Αναλογικού), ενός όρου I (Integral-Ολοκληρωτικού) και ενός D (Derivative-Διαφορικού).

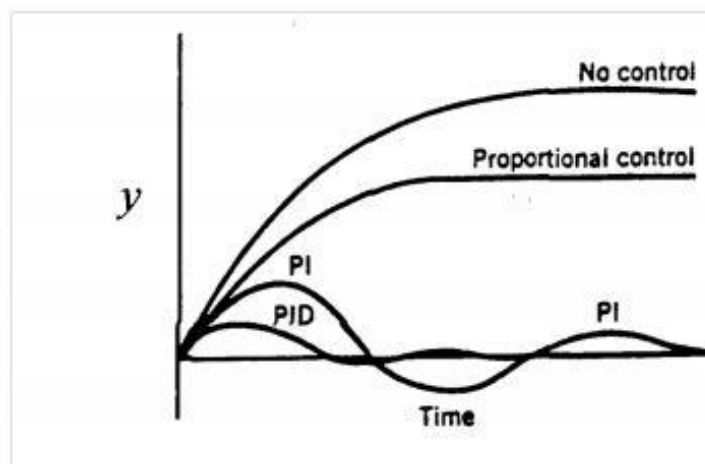
$$u(t) = K_p e(t) + K_i \int_0^t e(t) dt + K_d \frac{de(t)}{dt}$$

όπου  $K_p$  = αναλογικό κέρδος,  $K_i$  = ολοκληρωτικό κέρδος,  $K_d$  = διαφορικό κέρδος,  $e(t)$  = σφάλμα

Ο αναλογικός όρος P περιλαμβάνει το παρόν και βελτιώνει τη απόκριση του συστήματος στη μεταβατική αλλά και τη μόνιμη κατάσταση, αλλά δεν είναι ικανός να μηδενίσει πλήρως το σφάλμα μόνιμης κατάστασης, επειδή χωρίς σφάλμα, δε θα υπάρχει και αναλογική απόκριση. Συνήθως συνδυάζεται μαζί με άλλους όρους. Ο ολοκληρωτικός όρος I αντιπροσωπεύει το παρελθόν με την ολοκλήρωση του σφάλματος, η έξοδος αυξάνεται και έτσι επιτυγχάνεται μηδενισμός του σφάλματος. Ο ολοκληρωτής όμως, προσθέτει κάποια -μη επιθυμητή για τη μεταβατική κατάσταση- ταλάντωση στο σύστημα επηρεάζοντας αρνητικά την ευστάθεια και την ταχύτητα απόκρισής του. Τέλος, ο διαφορικός όρος D κάνει ουσιαστικά προβλεπτικό έλεγχο, δηλαδή προβλέπει μη επιθυμητές μεταβολές κι έτσι αυξάνει την απόσβεση του συστήματος και βελτιώνει την ευστάθεια χωρίς να επηρεάζει το μόνιμο σφάλμα. Επιβάλλει περιορισμό της εξόδου, και για το λόγο αυτό δε χρησιμοποιείται ποτέ μόνος του.

## 2.5.2 Σύγκριση ελεγκτών P, PI, PID

Μερικοί ελεγκτές ειδικού τύπου συνδυάζουν μόνο έναν ή δύο όρους για να επιτύχουν τον κατάλληλο έλεγχο. Μερικά παραδείγματα, πέραν του αναλογικού P ελεγκτή (αφήνει μόνιμο σφάλμα), είναι ο PI ελεγκτής (αφαιρεί το offset αλλά προκαλεί ταλάντωση) και ο PD ελεγκτής. Ωστόσο, ο PID controller αποτελεί τον καλύτερο συνδυασμό των δομικών όρων, αφού εκμεταλλεύεται τρεις βαθμούς ελευθερίας προς καθορισμό. Έτσι, ο ελεγκτής P αποτελεί την πρώτη και σημαντικότερη ώθηση προς την επιθυμητή τιμή, ο ελεγκτής I αναλαμβάνει να κρατήσει το σύστημα σε σταθερή κατάσταση, με ταλάντωση γύρω από το SetPoint και ο D ελεγκτής μειώνει την ταλάντωση. Το σύστημα αποκτά την επιθυμητή κατάσταση αποδοτικά και γρήγορα. Στο Σχήμα 2.25 συγκρίνεται η συμπεριφορά των ελεγκτών P, PI, PID και φαίνεται πως επιδρά κάθε όρος στη μετρούμενη τιμή.



Σχήμα 2.25 Συμπεριφορά των ελεγκτών P, PI, PID συναρτήσει του χρόνου

### 2.5.3 Ρύθμιση Παραμέτρων Ελεγκτών PID

Για την επιλογή των παραμέτρων P, I, D χρησιμοποιούνται διάφοροι τρόποι. Μερικοί από αυτούς είναι:

- Απευθείας σύνθεση (Direct Synthesis-DS). Λαμβάνει υπ' όψιν τις επιθυμητές προδιαγραφές του τελικού συστήματος.
- Μέθοδος ρύθμισης εσωτερικού μοντέλου (Internal Model Control-PID\_IMC) για ελεγκτές PI, PID. Ο ελεγκτής κατασκευάζεται σε συνδυασμό με ένα μοντέλο, που εκτιμάται για την περιγραφή του υπό έλεγχο συστήματος.
- Πειραματικές μέθοδοι, μετά την εγκατάσταση του ελεγκτή στο σύστημα. Σε αυτές τις μεθόδους συγκαταλέγονται οι μέθοδοι των Ziegler-Nichols (Z-N), Cohen-Coon (C-C) καθώς και η autorelay.
- Μέθοδοι απόκρισης συχνότητας (frequency response). Οι προδιαγραφές εκφράζονται στο πεδίο της συχνότητας.
- Ρύθμιση σε πραγματικό χρόνο μετά την εγκατάσταση του συστήματος ρύθμισης και κατά τη λειτουργία του συνολικού συστήματος (self-tuning/adaptive control).
- Καθορισμός των παραμέτρων ενίσχυσης μετά από προσομοίωση του συνολικού μοντέλου κλειστού βρόχου. Για να υπάρχει ακρίβεια στην τήρηση των προδιαγραφών και τη σχεδίαση του ελεγκτή, πρέπει να είναι ακριβές το μοντέλο περιγραφής.

### 2.6 Διάγραμμα διαδικασίας και οργάνων - P & ID

Το διάγραμμα διαδικασίας και οργάνων (Process and Instrumentation Diagram, P & ID) είναι ένα εξειδικευμένο έγγραφο που λειτουργεί ως οδηγός στο σχεδιασμό μιας νέας εγκατάστασης ή την αναβάθμιση σε μια υπάρχουσα μονάδα.

Το P&ID περιλαμβάνει τα χρησιμοποιούμενα μηχανήματα-συσσκευές (αντλίες, φίλτρα, δεξαμενές κτλ.) και πως συνδέονται μεταξύ τους (σωληνώσεις), τα όργανα μέτρησης και ρύθμισης της μονάδας (τα οποία απαιτούν καλωδίωση σήματος), τις κατευθύνσεις ροής καθώς και τη διαδοχή των φάσεων της παραγωγικής διαδικασίας. Επίσης περιέχει πληροφορίες για τα όργανα και τα σήματα κινδύνου για την ασφάλεια της εγκατάστασης, και όλους τους βρόχους ρύθμισης.

Συνήθως αποτελούν σχέδια που χρησιμοποιούνται για να δώσουν τις απαραίτητες λεπτομέρειες, προκειμένου να λειτουργήσει η διαδικασία όπως είχε προβλεφθεί. Σε μερικές περιπτώσεις αναπτύσσεται προς τη μέση ή προς το τέλος του έργου μαζί με το ηλεκτρολογικό σχέδιο και την επιλογή των οργάνων. Σε άλλες, ολοκληρώνεται πρώτα το P&ID και βάσει αυτού εργάζονται οι λοιποί εμπλεκόμενοι.

Μια προσέγγιση για την ανάπτυξη του P&ID είναι να γίνεται αρχικά η δρομολόγηση των διαδικασιών, στη συνέχεια να επιλέγεται ο εξοπλισμός της εγκατάστασης και έπειτα το πώς αυτή θα απεικονίζεται και θα ελέγχεται. Σε αυτή την περίπτωση, απαιτείται συνεργασία από όλους τους εμπλεκόμενους και διαρκής ανταλλαγή δεδομένων, καθώς σε κάθε φάση το P&ID θα πρέπει να αντανακλά όσο το δυνατόν περισσότερες απαιτήσεις τόσο ηλεκτρολογικά, όσο και σε όργανα. Με αυτόν τον τρόπο όλα τα μέλη της σχεδιαστικής ομάδας λαμβάνουν υπ' όψιν όλα εκείνα τα γεγονότα που θα οδηγήσουν στην επιτυχή ολοκλήρωση του σχεδιασμού. Εάν υπάρχουν σημαντικές αναθεωρήσεις του έργου κατά τη διάρκεια της λεπτομερούς ανάπτυξης του P&ID, τότε θα πρέπει να τροποποιηθεί.

## 2.6.1 Κανόνες συμβολισμού και συμβόλων στη σχεδίαση του P&ID

Η σχεδίαση ενός P&ID ακολουθεί κάποιους κανόνες συμβολισμού. Κάθε ηλεκτρική ή μηχανολογική συσκευή έχει ένα αναγνωριστικό όνομα που αποτελείται από ένα γράμμα και έναν αριθμό, ο οποίος μπορεί υποδηλώνει και την περιοχή του εργοστασίου στην οποία βρίσκεται η συσκευή. Το γράμμα\* υποδηλώνει το είδος του μηχανήματος, για παράδειγμα:

Mo – Αντλία, Κινητήρας (Motor)









EV – Ηλεκτροβάννα (Electrovanne)

F – Φίλτρο (Filter)



A – Αναδευτήρας (Agitator)

\*υπάρχουν διαφοροποιήσεις στις διάφορες υλοποιήσεις

Για τον εξοπλισμό χρησιμοποιούνται προκαθορισμένα σύμβολα. Πιο συγκεκριμένα:

	REGULATION VALVE ΡΥΘΜΙΣΤΙΚΗ ΒΑΝΑ
	MOTOR VALVE ΗΛΕΚΤΡΟΚΙΝΗΤΗ ΒΑΝΑ
	HAND OPERATED VALVE ΧΕΙΡΟΚΙΝΗΤΗ ΒΑΝΑ ΑΠΟΜΟΝΩΣΗΣ
	ELECTROVALVE ΗΛΕΚΤΡΟΒΑΝΑ
	FAN MOTOR ΑΝΕΜΙΣΤΗΡΑΣ
	PUMP ΥΔΡΑΥΛΙΚΗ ΑΝΤΛΙΑ
	MOTOR ΚΙΝΗΤΗΡΑΣ
	AIR COMPRESSOR ΑΕΡΟΣΥΜΠΙΕΣΤΗΣ

Επίσης, υπάρχει σύμβαση για τον τύπο των συνδέσεων των οργάνων.

	PIPE ΣΩΛΗΝΩΣΗ
	ELECTRICAL SIGNAL-CONNECTION ΗΛΕΚΤΡΙΚΟ ΣΗΜΑ

Για το συμβολισμό και την αρίθμηση των οργάνων μέτρησης και ρύθμισης χρησιμοποιείται ένας κύκλος στον οποίο αναγράφεται το είδος και ο αριθμός του οργάνου. Για το είδος έχουμε 2 ή 3 γράμματα, με το πρώτο να αφορά τη μετρούμενη μεταβλητή:

T – Θερμοκρασία (Temperature)













P – Πίεση (Pressure)

L – Στάθμη (Level)

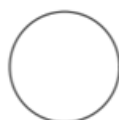
F – Παροχή (Flow)

Το δεύτερο και το τρίτο γράμμα (αν υπάρχει) προσδιορίζουν το λειτουργικό σκοπό του οργάνου:

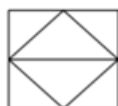
- T – Μεταδότης (Transmitter)
- I – Ενδεικτικό όργανο (Indicator)
- SH – Υψηλή θέση διακόπτη (Switch High)
- SL – Χαμηλή θέση διακόπτη (Switch Low)

	<b>PRESSURE TRANSMITTER ΜΕΤΑΔΟΤΗΣ ΠΙΕΣΗΣ</b>		<b>CURRENT TRANSMITTER ΑΜΠΕΡΟΜΕΤΡΟ</b>
	<b>TEMPERATURE TRANSMITTER ΜΕΤΑΔΟΤΗΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ</b>		<b>ROTATION DETECTION ΕΛΕΓΚΤΗΣ ΠΕΡΙΣΤΡΟΦΗΣ</b>
	<b>LIMIT SWITCH (LOW POSITION) ΟΡΙΟΔΙΑΚΟΠΤΗΣ (ΧΑΜΗΛΑ ΚΛΕΙΣΤΑ)</b>		<b>EMERGENCY STOP ΑΜΕΣΗ ΣΤΑΣΗ ΚΙΝΔΥΝΟΥ</b>
	<b>LIMIT SWITCH (HIGH POSITION) ΟΡΙΟΔΙΑΚΟΠΤΗΣ (ΥΨΗΛΑ ΑΝΟΙΧΤΑ)</b>		<b>LEVEL TRANSMITTER ΜΕΤΑΔΟΤΗΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΣΤΑΘΜΗΣ</b>
	<b>LOW PRESSURE DETECTION ΠΡΕΣΣΟΣΤΑΤΗΣ ΧΑΜΗΛΑ</b>		<b>MOTOR WITH INVERTER ΚΙΝΗΤΗΡΑΣ ΜΕ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΟ ΡΥΘΜΙΣΤΗ ΣΤΡΟΦΩΝ</b>
	<b>HIGH PRESSURE DETECTION ΠΡΕΣΣΟΣΤΑΤΗΣ ΥΨΗΛΑ</b>		

Όταν ένα σήμα ή alarm επηρεάζει ένα άλλο κομμάτι του εξοπλισμού, μπορούμε να απεικονίσουμε αυτή την αλληλεπίδραση (χειρισμός μέσω αυτοματισμού).



**LOCALLY OPERATED  
ΤΟΠΙΚΟΣ ΧΕΙΡΙΣΜΟΣ**



**REMOTE OPERATED  
ΧΕΙΡΙΣΜΟΣ ΜΕΣΩ ΑΥΤΟΜΑΤΙΣΜΟΥ**

# 3 PLC

## 3.1 Γενικές έννοιες

### 3.1.1 Εισαγωγή – Ιστορική αναδρομή

Ο Προγραμματιζόμενος Λογικός Ελεγκτής (Programmable Logic Controller) είναι ένα ψηφιακό ηλεκτρονικό σύστημα, σχεδιασμένο για χρήση σε βιομηχανικό περιβάλλον, το οποίο χρησιμοποιεί μία προγραμματιζόμενη μνήμη για την αποθήκευση εντολών ώστε να επιτελούνται διάφορες λειτουργίες, όπως λογικές, χρονικές, μετρητικές και αριθμητικές πράξεις, και να ελέγχονται μέσω αναλογικών και ψηφιακών μονάδων διάφορες μηχανές ή διαδικασίες.<sup>1</sup>

Τα PLC χρησιμοποιήθηκαν στις αρχές της δεκαετίας του '70, προκειμένου να υλοποιούν και να ελέγχουν σύνθετα κυκλώματα αυτοματισμού, αντικαθιστώντας έτσι τα συστήματα που βασίζονταν σε ηλεκτρομηχανικούς ηλεκτρονόμους (relays). Η ανάγκη για αντικατάσταση των κυκλωμάτων κλασσικού αυτοματισμού προήλθε από τα μειονεκτήματά τους, όπως η περιορισμένη διάρκεια ζωής και η μεγάλη κατανάλωση ενέργειας. Επίσης, σε ένα τέτοιο σύστημα υπάρχει δυσκολία σχεδιασμού και υλοποίησης αλλά και εντοπισμού και διόρθωσης λαθών του συστήματος.

Στην αρχή της δεκαετίας του '80 παρατηρήθηκε η μεγάλη απαίτηση για μείωση του κύκλου παραγωγής. Οι απαιτήσεις του χρήστη για αυξημένη ποιότητα και οι πιο σύνθετες διαδικασίες παραγωγής αναπτύσσονταν συνεχώς. Όσο η τεχνολογία προχωρά, με τα πρώτα συστήματα δικτύωσης οι συσκευές επεξεργάζονται πλέον δεδομένα και ανταλλάσσουν πληροφορίες μεταξύ τους ή με υπολογιστές, και ο ρόλος του ανθρώπου στη παραγωγική διαδικασία αλλάζει-το φάσμα της εργασίας μεταφέρεται από το μυϊκό στο πνευματικό επίπεδο.

Στη δεκαετία του '90 πλέον, σημειώνεται το μεγάλο άλμα που οδηγεί σε μικρότερο μέγεθος των PLC's και στην ανάπτυξη λογισμικού για τον προγραμματισμό τους από προσωπικό υπολογιστή, και όχι από τερματικά σχεδιασμένα αποκλειστικά για τον προγραμματισμό των PLC's. Ο χρήστης συνθέτει το πρόγραμμά του, έχοντας γνώση μόνο της παραγωγικής διαδικασίας, μέσω βιβλιοθηκών του λογισμικού και τα υπόλοιπα γίνονται αυτόματα στο «παρασκήνιο» για λογαριασμό του. Τέλος, υποστηρίζονται γλώσσες προγραμματισμού (Pascal, C++) για χρήστες που είναι εξοικειωμένοι σε τέτοια περιβάλλοντα, παρέχοντας πρόσθετη ευελιξία στον προγραμματισμό του ελεγκτή.

Τα PLC σήμερα έχουν επικρατήσει, και χρησιμοποιούνται πλέον σε πολύ πιο σύνθετες εφαρμογές, καθώς ελέγχουν μεγάλο αριθμό διαφορετικών σημάτων και παρακολουθούν παραγωγικές διαδικασίες σε πραγματικό χρόνο. Μια άλλη εφαρμογή είναι ως ελεγκτές κλειστού βρόχου PID, PD, PI.

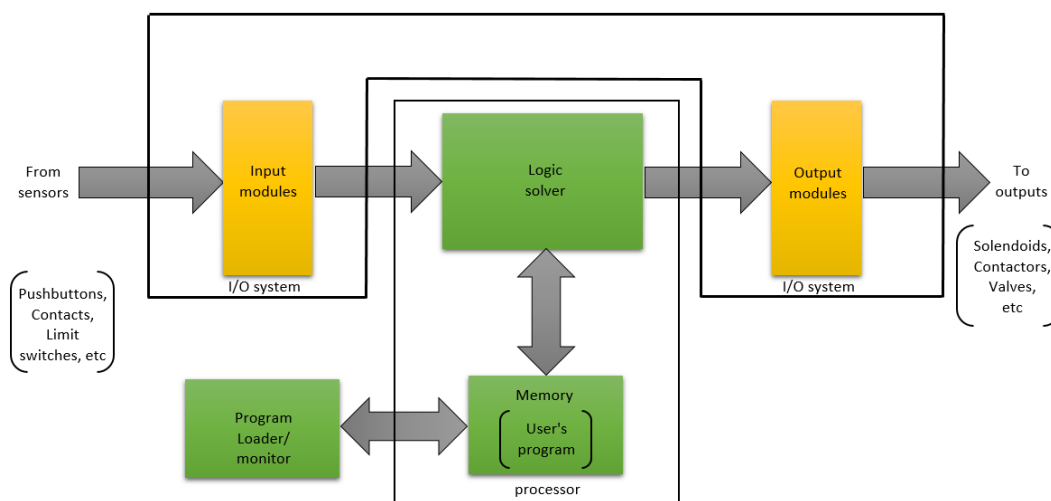
---

<sup>1</sup> Ακριβής ορισμός από το βιβλίο «Εποπτεία και Διαχείριση Ενεργειακών Συστημάτων», Κορρές Γεώργιος

### 3.1.2 Δομή και Λειτουργία PLC

Το PLC αποτελείται από έναν μικροελεγκτή, δηλαδή μια Κεντρική Μονάδα Επεξεργασίας (CPU), περιοχές μνήμης και κατάλληλα κυκλώματα για τη λήψη σημάτων εισόδου και την αποστολή σημάτων εξόδου (Σχήμα 3.1).

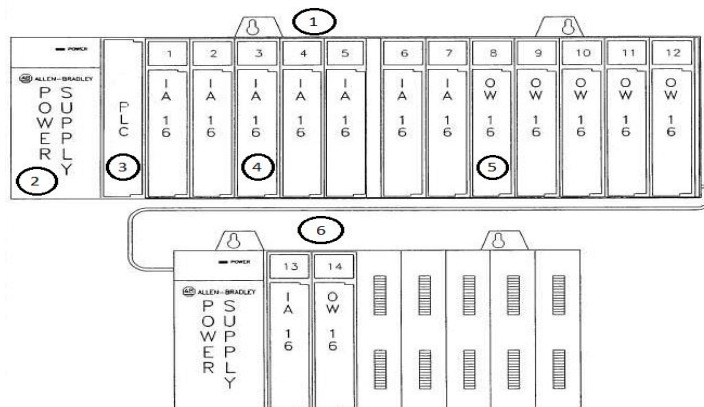
Το PLC, λοιπόν, είναι συνδεδεμένο σε διάφορα σημεία της παραγωγής, απ' όπου λαμβάνει σήματα από αισθητήρες και μεταλλάκτες στην είσοδό του. Η CPU αναλαμβάνει την επεξεργασία αυτών των δεδομένων σύμφωνα με το set εντολών που έχουμε αποθηκεύσει στη μνήμη, εκτελεί δηλαδή λογικές και αριθμητικές πράξεις. Έπειτα, τα αποτελέσματα των πράξεων (RLO) στέλνονται στις εξόδους του PLC, οι οποίες με τη σειρά τους συνδέονται με ηλεκτρονόμους, διακόπτες και άλλα σημεία της παραγωγής. Η διαδικασία αυτή επαναλαμβάνεται περιοδικά κι έτσι επιτυγχάνεται συνεχής έλεγχος και επίβλεψη της παραγωγής.



Σχήμα 3.1 Σχηματικό διάγραμμα τμημάτων PLC

Ειδικότερα, τα μέρη που διακρίνουμε σε κάθε προγραμματιζόμενο ελεγκτή, όπως διακρίνονται και στο Σχήμα 3.2, είναι:

- πλαίσιο τοποθέτησης μονάδων (1)
- μονάδα τροφοδοσίας (2)
- κεντρική μονάδα επεξεργασίας (CPU) (3)
- μονάδες εισόδου (4) / μονάδες εξόδου (5)

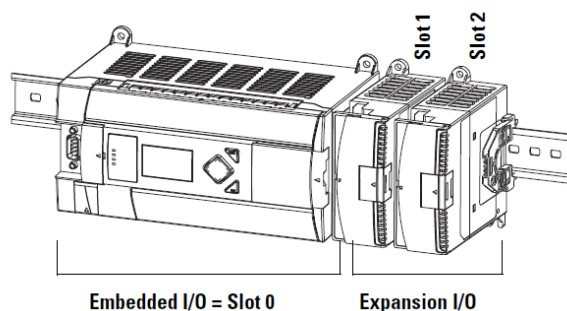


Σχήμα 3.2 Σχέδιο των τμημάτων του PLC πάνω στο σασσί<sup>2</sup>

<sup>2</sup> Πηγή: [http://constructionasphalt.tpub.com/TM-5-3895-374-24-1/css/TM-5-3895-374-24-1\\_320.htm](http://constructionasphalt.tpub.com/TM-5-3895-374-24-1/css/TM-5-3895-374-24-1_320.htm)

### 3.1.2.1 Πλαίσιο τοποθέτησης μονάδων

Οι μονάδες τοποθετούνται σε ειδικά πλαίσια, στα οποία ενσωματώνεται σύστημα αγωγών για την επικοινωνία τους. Στο κεντρικό πλαίσιο τοποθετούνται η CPU, η μονάδα τροφοδοσίας και οι μονάδες εισόδων/εξόδων (Σχήμα 3.3). Αν οι εισοδοί/έξοδοι είναι περισσότερες των θέσεων που απομένουν στο κεντρικό πλαίσιο, τότε οι περισσευούμενες τοποθετούνται σε πλαίσιο επέκτασης (Σχήμα 3.2, (6)). Τα πλαίσια επέκτασης συνδέονται με το κεντρικό με ειδική μονάδα διασύνδεσης και καλωδίου και μπορεί να απέχουν από αυτό έως και 600 μέτρα.



Σχήμα 3.3 Πλαίσιο στήριξης μονάδων PLC της εταιρίας Allen Bradley

### 3.1.2.2 Μονάδα τροφοδοσίας

Η μονάδα τροφοδοσίας συνδέεται με το δίκτυο της ΔΕΗ και μετατρέπει την τάση του δικτύου στην κατάλληλη τάση για τη λειτουργία των κυκλωμάτων του PLC (τυπικές τιμές 5 VDC, 12 VDC, 24 VDC). Το ονομαστικό ρεύμα του τροφοδοτικού πρέπει φυσικά να είναι μεγαλύτερο από το ρεύμα που καταναλώνουν οι μονάδες του PLC. Στη μονάδα τροφοδοσίας, συνήθως, ενσωματώνεται και μια μπαταρία, προκειμένου να μη χαθεί το πρόγραμμα από τη μνήμη για κάποιο χρονικό διάστημα, σε περίπτωση διακοπής της τάσης που παρέχεται από το δίκτυο.

### 3.1.2.3 Κεντρική μονάδα επεξεργασίας

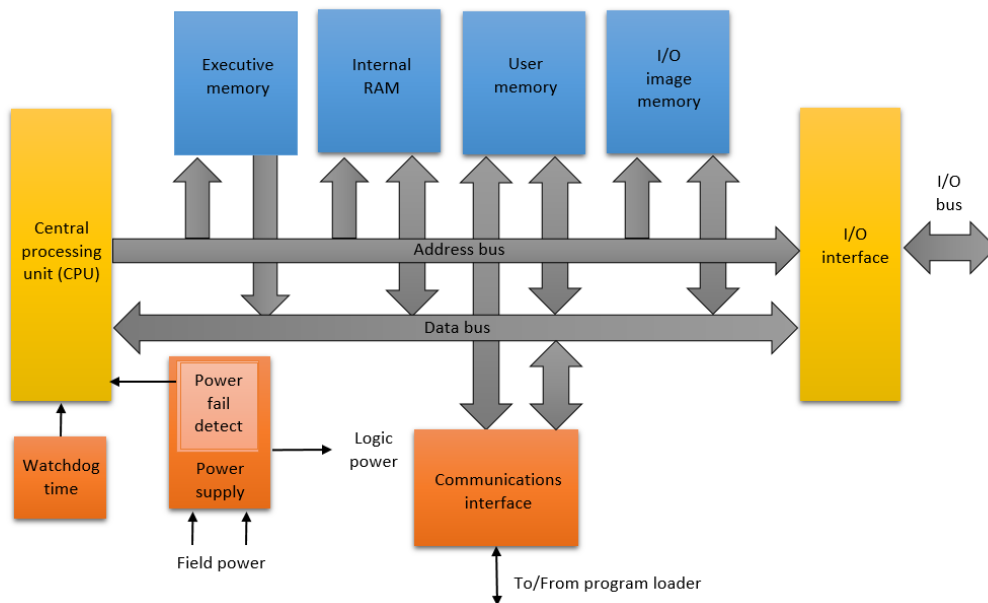
Η CPU ελέγχει και εκτελεί όλες τις λειτουργίες του PLC. Ένα εσωτερικό κανάλι επικοινωνίας (bus system) μεταφέρει πληροφορίες από την CPU στη μνήμη και στις μονάδες I/O και αντίστροφα. Η ταχύτητα του επεξεργαστή εκφράζεται από το ρυθμό σάρωσης (scan rate) δεδομένης περιοχής μνήμης. Η CPU αποτελείται από τα ακόλουθα τμήματα (Σχήμα 3.4):

- Αριθμητική Μονάδα (Arithmetic Logical Unit - ALU): Αποτελείται από τους κεντρικούς καταχωρητές, στους οποίους αποθηκεύονται οι πληροφορίες από τις εισόδους και εξόδους και εκτελούνται οι λογικές και αριθμητικές πράξεις.
- Επεξεργαστής (Processor): Καλεί στη μνήμη εντολές και τις εκτελεί σειριακά, σύμφωνα με τη ροή του προγράμματος. Επεξεργάζεται τις πληροφορίες από τη μνήμη απεικόνισης εισόδων (PII), υπολογίζοντας ταυτόχρονα τα χρονικά, τους ενεργούς απαριθμητές και τα σήματα από βοηθητικές μονάδες.
- Λειτουργικό Σύστημα (ROM): Περιέχει τα προγράμματα του συστήματος. Τα προγράμματα αυτά καθορίζουν τον τρόπο εκτέλεσης του προγράμματος ελέγχου, την κατανομή της μνήμης, τον τρόπο διαχείρισης των μονάδων I/O και τη διακίνηση δεδομένων. Το λειτουργικό σύστημα καλεί το πρόγραμμα της εφαρμογής, ανιχνεύει διακοπές και καλεί τα αντίστοιχα Obs, ανιχνεύει και διαχειρίζεται σφάλματα. Τέλος, το λειτουργικό σύστημα δε μπορεί να τροποποιηθεί.
- Εσωτερική Μνήμη Προγράμματος (Program Memory): Πρόκειται για μια περιοχή της RAM, στην οποία αποθηκεύεται το πρόγραμμα ελέγχου, το οποίο τροποποιείται εύκολα.



Το πρόγραμμα αυτό πρέπει να αποθηκεύεται σε μία εξωτερική μονάδα μνήμης, EPROM ή EEPROM, επειδή χάνεται, αν δεν υπάρχει μπαταρία και σταματήσει η τροφοδοσία του PLC.

- Μνήμη απεικόνισης εισόδων (PII - Process Image Input Table): Πρόκειται για μια περιοχή της RAM, όπου αποθηκεύονται τα ψηφιακά σήματα των εισόδων του plc.
- Μνήμη απεικόνισης εξόδων (PIQ - Process Image Output Table): Πρόκειται για μια προκαθορισμένη περιοχή της RAM, όπου αποθηκεύονται τα ψηφιακά σήματα προς τις εξόδους του ελεγκτή.



Σχήμα 3.4 Λειτουργικό διάγραμμα του επεξεργαστή ενός PLC

### 3.1.2.4 Ψηφιακές και αναλογικές εισοδοι

Οι μονάδες εισόδου λαμβάνουν σήματα και τα μεταφέρουν στην CPU. Διακρίνονται σε ψηφιακές και αναλογικές:

- οι κάρτες ψηφιακών εισόδων ενημερώνουν τη CPU με ψηφιακή πληροφορία από αισθητήρια και επαφές, δηλαδή αυτή που παίρνει τις τιμές 0 ή 1. Η πληροφορία αυτή, για παράδειγμα η ενεργοποίηση ενός τερματικού διακόπτη ή το πάτημα ενός μπουτόν, μεταφέρεται ηλεκτρικά σε κλέμμα της κάρτας εισόδων, ψηφιοποιείται και αποθηκεύεται στη μνήμη απεικόνισης εισόδων.  
Η λογική τιμή 1 αντιστοιχεί σε τάση 13-30 VDC ενώ η λογική τιμή 0 αντιστοιχεί σε 0-5 VDC. Η κάρτα δεν αντιλαμβάνεται την ενδιάμεση περιοχή τάσεων 6-12 VDC και την αγνοεί. Οι κάρτες που χρησιμοποιούνται είναι 8, 16, 32 εισόδων (bits).  
Οι κάρτες εισόδου διαθέτουν γαλβανική απομόνωση, δηλαδή η τάση εισόδου δεν οδηγεί απευθείας τα κυκλώματα της CPU. Το πλεονέκτημα της γαλβανικής απομόνωσης είναι ότι παρέχει προστασία στα κυκλώματα της CPU έναντι τυχόν υπερτάσεων ή εσφαλμένων τροφοδοτήσεων στην κάρτα εισόδων.
- Οι κάρτες αναλογικών εισόδων έχουν την ίδια λειτουργία με τις μονάδες ψηφιακών εισόδων. Η διαφορά τους είναι ότι οι αναλογικές κάρτες διαβάζουν συνεχείς τιμές είτε συνεχούς τάσης 0-10 V είτε συνεχούς ρεύματος εύρους 0-20 mA ή 4-20 mA, και τις μετατρέπουν σε έναν ακέραιο αριθμό με έναν ενσωματωμένο A/D transducer.

Πριν την κάρτα αναλογικών εισόδων υπάρχει κατάλληλος transducer, ο οποίος μετατρέπει το σήμα στις αποδεκτές τιμές τάσης ή ρεύματος που αναφέρθηκαν.

Κάθε κανάλι της κάρτας μετράει τάση ή ρεύμα με την κατάλληλη συνδεσμολογία και δήλωση στο περιβάλλον προγραμματισμού του PLC. Έχουμε κάρτες με 2, 4 ή 8 κανάλια και κάθε κανάλι καταλαμβάνει 12 ή 14 bits, ανάλογα με την ακρίβεια και το είδος του A/D transducer.

Τέλος, διαθέτουν γαλβανική απομόνωση για την ασφάλεια της CPU.

### 3.1.2.5 Ψηφιακές και αναλογικές έξοδοι

Οι μονάδες εξόδου στέλνουν σήματα εντολών προς το ελεγχόμενο σύστημα. Διακρίνονται επίσης, σε αναλογικές και ψηφιακές.

- Οι κάρτες ψηφιακών εξόδων αυτές έχουν ως ρόλο να μετατρέπουν τα σήματα που έχει ήδη επεξεργαστεί η CPU σε κατάλληλες τάσεις προς την εγκατάσταση. Οι κάρτες αυτές λειτουργούν ως διακόπτες, οι οποίοι όταν κλείσουν διοχετεύουν την τάση προς το υπόλοιπο κύκλωμα.

Όταν η κάρτα είναι ανενεργή έχει τάση 0 VDC, ενώ όταν είναι ενεργοποιημένη 24 VDC (δυαδικό 1). Οι κάρτες που χρησιμοποιούνται είναι 8, 16, 32 εισόδων (bits).

Τέλος, διαθέτουν γαλβανική απομόνωση για την ασφάλεια της CPU.

- Οι κάρτες αναλογικών εξόδων λειτουργούν αντίστοιχα με τις ψηφιακές κάρτες, με τη διαφορά ότι η έξοδος είναι ένα συνεχές σήμα τάσης εύρους 0-10 V ή ρεύματος (0-20 mA ή 4-20 mA). Το σήμα αυτό, που έχει προκύψει από τις εισόδους και το Ladder, ρυθμίζει και οδηγεί διάφορες διατάξεις της εγκατάστασης.

Για τη μετατροπή της ψηφιακής πληροφορίας (12 ή 14 bits) σε συνεχές σήμα, οι κάρτες αναλογικών εξόδων διαθέτουν ένα μετατροπέα ψηφιακού σε αναλογικό (D/A). Και σε αυτήν την περίπτωση εξασφαλίζεται η προστασία της CPU με γαλβανική απομόνωση.

### 3.1.3 Πλεονεκτήματα των PLC's

Τα βασικά πλεονεκτήματα ενός PLC είναι:

- ευκολία στον προγραμματισμό: τροποποιήσεις ελέγχου με αλλαγή στο λογισμικό (πρόγραμμα) κι όχι στη συνδεσμολογία,
- πολλές δυνατότητες που παρέχονται από τη γλώσσα προγραμματισμού (υπάρχουν έτοιμες προγραμματιζόμενες ρουτίνες),
- μικρές διαστάσεις και βάρος,
- σχετικά χαμηλό κόστος αγοράς αλλά και αποκατάστασης βλαβών,
- μεγάλη διάρκεια ζωής,
- αύξηση της αξιοπιστίας.

## 3.2 Μοντέλο της εργασίας



**Σχήμα 3.5 PLC Allen Bradley MicroLogix 1400**

Ο μικροελεγκτής MicroLogix 1400 του Σχήματος 3.5 ανήκει στην οικογένεια των επεξεργαστών MicroLogix 1000 της Rockwell Automation. Είναι σχεδιασμένος ώστε να παρέχει ενσωματωμένες αναλογικές εισόδους, επικοινωνία Ethernet, υψηλής ταχύτητας μετρητές (HSC) και δυνατότητα τροποποίησης του προγράμματος online. Ο συγκεκριμένος μικροελεγκτής χρησιμοποιείται για μικρού μεγέθους εφαρμογές που απαιτούν μέχρι 256 ψηφιακές I/O.

Κάθε MicroLogix 1400 περιλαμβάνει 20 ψηφιακές εισόδους και 12 ψηφιακές εξόδους και μπορεί να επεκτείνει τις δυνατότητες εισόδων και εξόδων, χρησιμοποιώντας μέχρι και εφτά 1762 I/O Modules. Έχει δύο σειριακές θύρες με υποστήριξη DF1/DH485/Modbus RTU/DNP3/ASCII πρωτοκόλλων, καθώς και μια θύρα Ethernet 10/100 Mbps, η οποία υποστηρίζει τα πρωτόκολλα EtherNet/IP, Modbus TCP/IP και DNP3 over IP.

Μέσω της LCD οθόνης του, μπορεί να γίνει παραμετροποίηση του δικτύου Ethernet, έλεγχος της κατάστασης των I/O και του μικροελεγκτή, αλλά και να πραγματοποιηθούν αλλαγές σε bit και integer δεδομένα.

Ο προγραμματισμός του PLC γίνεται μέσω της τελευταίας έκδοσης (Version 8.1 +) του λογισμικού RSLogix 500.

Το μοντέλο που έχουμε στη διάθεσή μας είναι το 1766-L32BXB:

- Τάση εισόδου : 24 VDC
- Θερμοκρασία λειτουργίας : -20°C – 60°C
- Θερμοκρασία αποθήκευσης : -45°C – 85°C
- Διαστάσεις : 9 x 18 x 8.7 cm
- Είσοδοι (sinking/sourcing) : 12 Fast 24 VDC  
: 8 Normal 24 VDC
- Έξοδοι : 6 Relay (τύπου ρελέ)  
: 3 Fast 24 VDC  
: 3 Normal 24 VDC
- Κατανάλωση ενέργειας : 7.5-53 W
- 10 KB πρόγραμμα χρήστη
- 10 KB μνήμη δεδομένων χρήστη που μπορούν να ρυθμιστούν
- Χρόνος επεξεργασίας, 1 KB word προγράμματος χρήστη, 0.7 ms
- Online τροποποίηση του προγράμματος, συμπεριλαμβανομένου του PID
- Διακόπτης εναλλαγής λειτουργίας Run/Remote/Program (και από την οθόνη)

- Καταγραφή δεδομένων ανά συγκεκριμένο χρονικό διάστημα ή λόγω κάποιου συμβάντος σε 128 KB περιοχή μνήμης
- Μέχρι 64 KB Recipe storage, αφού αφαιρεθεί ο χώρος του data logging
- Επέκταση μέχρι και 7 κάρτες I/O
- 12 high-speed εισόδους που μπορούν να χρησιμοποιηθούν ξεχωριστά ως εισοδοί μανδάλωσης, διακοπές συμβάντος, ή εναλλακτικά, συνδυασμένες ως 3 high-speed counters 100 kHz με 10 τρόπους λειτουργίας
- 3 high-speed outputs που μπορούν να λειτουργήσουν ως 100 kHz PTO (Pulse Outputs) και ως 40 kHz PWM (Pulse Width Modulated) outputs
- Προγραμματιζόμενα χρονικά interrupt με 1 msec set point
- Χρονικά ανάλυσης 1 msec
- Ενσωματωμένο ρολόι πραγματικού χρόνου
- Ενσωματωμένος web server
- Διαθέτει μπαταρία λιθίου για ασφάλεια του προγράμματος και των δεδομένων χρήστη
- Δυνατότητα αποθήκευσης προγράμματος σε εξωτερική μνήμη για μεταφορά σε άλλο PLC
- Προστασία δεδομένων για αποτροπή αλλαγής σημαντικών δεδομένων από download
- Δύο ενσωματωμένα ποτενσιόμετρα για άμεση μεταβολή εσωτερικών καταχωρητών της CPU
- Υποστήριξη 32 bit προσημασμένων ακέραιων, αριθμών κινητής υποδιαστολής και double ακεραίων
- Ενσωματωμένος PID αλγόριθμος
- Δυνατότητα διαχείρισης ASCII χαρακτήρων
- Από την ενσωματωμένη LCD οθόνη, παρέχεται πρόσβαση σε δυαδικά και ακέραια δεδομένα, είτε για εγγραφή, ή για ανάγνωση μόνο
- Με την LCD εντολή, εμφανίζονται μηνύματα στην LCD οθόνη
- Εμφάνιση και ρύθμιση IP διεύθυνσης απευθείας από την LCD οθόνη

Τα χαρακτηριστικά που αφορούν τα κανάλια επικοινωνίας του MicroLogix 1400 είναι:

- Το κανάλι επικοινωνίας 0 παρέχει απομονωμένο RS-232 ή RS-485. Μέσω του RS-232, υποστηρίζονται όλα τα αντίστοιχα σειριακά πρωτόκολλα. Μέσω του RS-485 υποστηρίζονται απευθείας: DH-485, DF1 Half-Duplex Master/Slave, ASCII, και Modbus RTU Master/Slave, και DNP 3 Slave χρησιμοποιώντας τη διεπαφή 1763-NC.
- Η ενσωματωμένη RJ-45 πόρτα του καναλιού 1 υποστηρίζει τα πρωτόκολλα EtherNet/IP, Modbus TCP/IP και DNP3 over IP. Υποστηρίζει επίσης, BOOTP and DHCP.
- Το κανάλι επικοινωνίας 2 παρέχει μια μη-απομονωμένη θύρα RS-232 9 pins, που υποστηρίζει όλα τα σειριακά πρωτόκολλα.
- Ταχύτητα μετάδοσης μέχρι 38.4 Kbps.
- RTS/CTS handshake σήματα.
- Προγραμματισμός προτεραιότητας των συσκευών, για αποφυγή συγκρούσεων σε ταυτόχρονη εκπομπή.

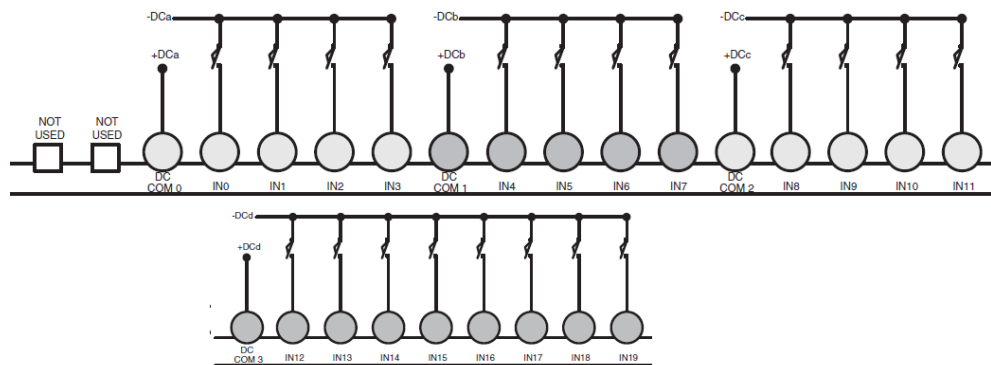
### 3.2.1 Είσοδοι και έξοδοι

Ο MicroLogix 1400 παρέχει ψηφιακές εισόδους/εξόδους ενσωματωμένες (Embedded I/O). Αν η εφαρμογή μας χρειάζεται αναλογικές I/O ή παραπάνω ψηφιακές I/O τότε μπορούμε να προσθέσουμε κάρτες στο πλαίσιο επέκτασης. Ο μέγιστος αριθμός καρτών που μπορούμε να προσθέσουμε είναι 7.

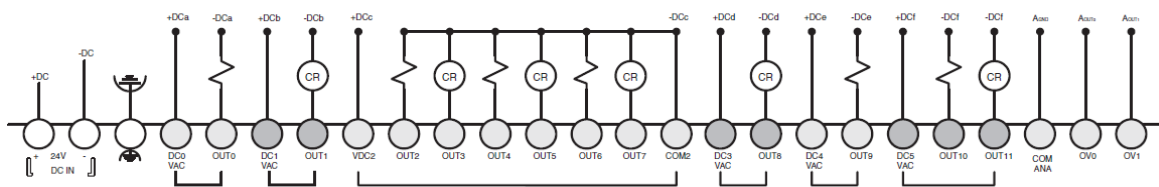
Το MicroLogix 1400 επιτρέπει στο χρήστη να διαμορφώσει το χρόνο απόκρισης κάθε εισόδου. Αυτό σημαίνει ότι μπορεί να θέσει το χρόνο για το πόσο το σήμα εισόδου πρέπει να είναι ON ή OFF μέχρι ο ελεγκτής μας να αναγνωρίσει αυτή την κατάσταση. Όσο μεγαλύτερη τιμή θέσει τόσο περισσότερο χρόνο χρειάζεται ο ελεγκτής για να αναγνωρίσει την κατάσταση αυτή. Για παράδειγμα σε ένα περιβάλλον με υψηλό θόρυβο θα πρέπει να θέσουμε υψηλή τιμή.

### 3.2.1.1 Ενσωματωμένες εισοδοί/έξοδοι

Για τις ενσωματωμένες ψηφιακές εισόδους και εξόδους του MicroLogix 1400, τα διαγράμματα καλωδίωσης δίνονται στα Σχήματα 3.6 και 3.7. Οι ψηφιακές εισοδοί συνδέονται ως Sourcing μετά από επιλογή μας.



Σχήμα 3.6 Διάγραμμα καλωδίωσης εισόδων (Sourcing) του MicroLogix 1400



Σχήμα 3.7 Διάγραμμα καλωδίωσης εξόδων του MicroLogix 1400

### 3.2.1.2 Αναλογική κάρτα επέκτασης 1762-IF4

Ως κάρτα επέκτασης, χρησιμοποιούμε την αναλογική κάρτα 4 εισόδων 1762-IF4. Πάνω στην κάρτα υπάρχει διακόπτης για να επιλέξουμε αν θα λειτουργεί για -10...10 VDC ή για 4...20 mA.

Για κάθε τέτοια κάρτα, οι λέξεις 0-3 περιέχουν τις αναλογικές τιμές των τεσσάρων (4) εισόδων. Η κάρτα μπορεί να παραμετροποιηθεί για αναλογικά δεδομένα (0-32760) ή scaled απευθείας για PID (0-16380). Το Data File των εισόδων και για τις δύο παραμετροποιήσεις, φαίνεται στον Πίνακα 3-1. Το Sx είναι το γενικό bit κατάστασης για τα κανάλια 0-3, το Ox είναι σημαία για εκτός εύρους (προς τα πάνω) τιμές, το Uix είναι σημαία για εκτός εύρους (προς τα κάτω) τιμές και το SGNx είναι το bit προσήμου. Οι εισοδοί έχουν φίλτρο 50 ή 60 Hz και ακρίβεια  $\pm 0.12\%$ .

**Πίνακας 3-1 Data File εισόδων της κάρτας 1762-IF4**

Word	Bit														
	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
0	SGN0	Κανάλι 0 Δεδομένα													
1	SGN1	Κανάλι 1 Δεδομένα													
2	SGN2	Κανάλι 2 Δεδομένα													
3	SGN3	Κανάλι 3 Δεδομένα													
4	Δεσμευμένη											S3	S2	S1	S0
5	U0	U0	U1	U1	U2	U2	U3	U3	Δεσμευμένη						
6	Δεσμευμένη														

Η παραμετροποίηση της μορφής των αναλογικών εισόδων γίνεται κατά τη μετάβαση σε RUN. Αλλαγές ενώ είμαστε σε λειτουργία RUN δε γίνονται δεκτές.

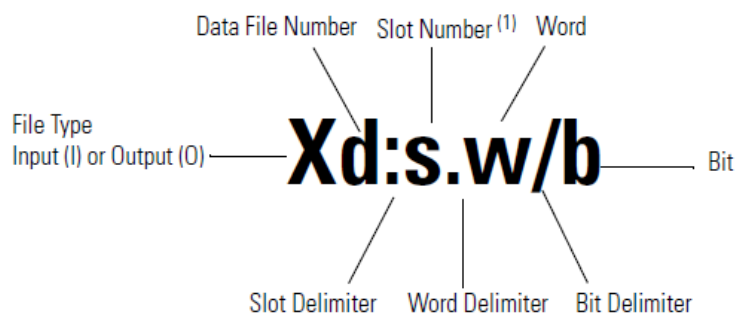
Στα bits 14, 13, 12 επιλέγεται αν τα δεδομένα θα γίνονται είναι σε raw/proportional μορφή (000) ή scaled για PID (010). Στα bits 11, 10, 9, 8 δηλώνεται αν τα δεδομένα είναι σήματα τάσης -10 – 10 VDC (0000) ή αν είναι σήματα ρεύματος 4-20 mA (0011). Τα bits 7, 6, 5, 4 είναι δεσμευμένα και δε μπορούν να παραμετροποιηθούν και τα bits 3, 2, 1, 0 υποδηλώνουν το φίλτρο. Οι τιμές που μπορούν να πάρουν παρατίθενται στον Πίνακα 3-2.

**Πίνακας 3-2 Πιθανές τιμές φίλτρου της κάρτας 1762-IF4**

Ρυθμίσεις Bit				Συχνότητα Φίλτρου	4-Channel Χρόνος Μετατροπής	Απόσβεση στη Συχνότητα Φίλτρου
3	2	1	0			
0	0	0	0	60 Hz	450 ms	>55dB
0	0	0	1	50 Hz	530 ms	>55dB
0	0	1	0	60 Hz	250 ms	>20dB
0	0	1	1	50 Hz	290 ms	>20dB
0	1	0	0	Χωρίς φίλτρο	130 ms	—

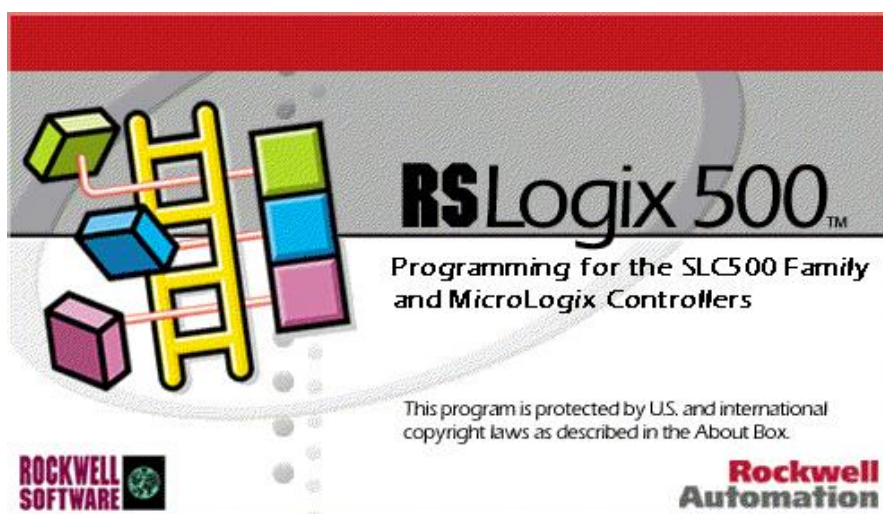
### 3.2.1.3 Διευθυνσιοδότηση

Για τη διευθυνσιοδότηση των καρτών ακολουθούνται κάποιοι κανόνες. Το πρώτο γράμμα του ονόματος δηλώνει αν είναι είσοδος (I) ή έξοδος (O), ακολουθούμενο από τον αριθμό του Data File. Ο επόμενος αριθμός αφορά τη θέση στο σασσί. Ο προτελευταίος αριθμός δείχνει τη λέξη και ο τελευταίος το bit. Η γενική μορφή μας διεύθυνσης φαίνεται στο Σχήμα 3.8. Τα ενδιάμεσα σύμβολα λειτουργούν ως οριοθέτες.



**Σχήμα 3.8 Διεύθυνση εισόδων/εξόδων του MicroLogix**

### 3.3 Λογισμικό ανάπτυξης RSLogix 500



Σχήμα 3.9 Πακέτο λογισμικού RSLogix 500 της Rockwell

Ο προγραμματισμός του MicroLogix 1400 γίνεται με το πακέτο λογισμικού RSLogix 500 της εταιρείας Rockwell. Το RSLogix 500 προσφέρει ένα πακέτο προγραμματισμού με λογική Ladder, διαθέσιμο μόνο για το λειτουργικό σύστημα Microsoft Windows. Απευθύνεται για προγράμματα που έχουν κατασκευαστεί για τους επεξεργαστές των οικογενειών SLC 500 και MicroLogix.

Μερικά από τα χαρακτηριστικά του πακέτου λογισμικού είναι:

- Έναν free form Ladder editor που βοηθάει τον προγραμματιστή να συγκεντρωθεί στη λογική του προγράμματος και όχι στη σύνταξη των εντολών.
- Διαθέτει ισχυρό και εύκολο στην περιήγηση έλεγχο σφαλμάτων του project για τυχόν διορθώσεις.
- Οδηγό διευθύνσεων, που διευκολύνει την εισαγωγή τους και ελαχιστοποιεί την πιθανότητα λάθους λόγω του ότι δεν χρειάζεται πληκτρολόγηση.
- Αναζήτηση & Αντικατάσταση, γρήγορη εύρεση και άμεση αντικατάσταση συμβόλων και διευθύνσεων.
- Διεπαφή point & click, η οποία ονομάζεται δένδρο έργου και μας δίνει την δυνατότητα να έχουμε πρόσβαση σε όλα τα αρχεία και τους φακέλους του project.
- Εργαλείο σύγκρισης project, ένα πολύ χρήσιμο εργαλείο για εύρεση διαφορών ανάμεσα σε δύο projects.
- Δυνατότητα επεξεργασίας του προγράμματος με μεταφορά & απόθεση (Drag & Drop Editing).
- Δυνατότητα εισαγωγής/εξαγωγής της βάσης δεδομένων.

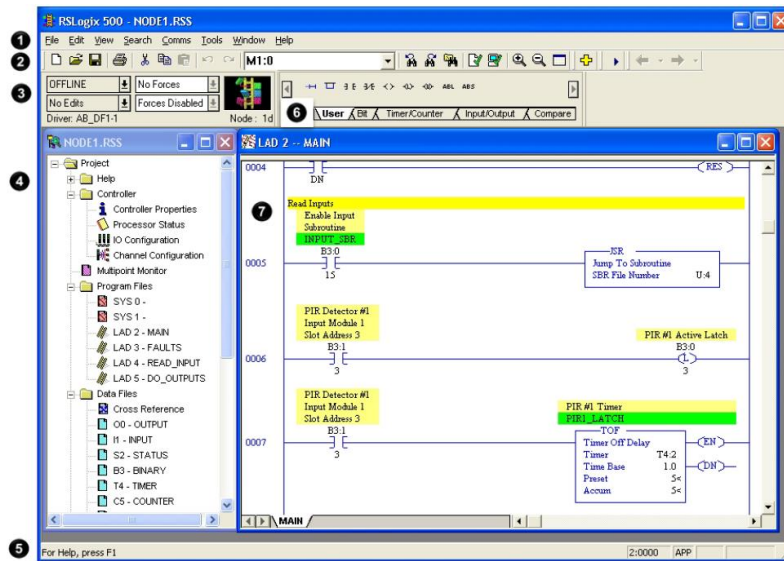
#### 3.3.1 Ελάχιστες απαιτήσεις συστήματος

Για την έκδοση v8.3 οι απαιτήσεις σε hardware και software είναι:

- Επεξεργαστής : Intel Pentium II ή νεότερος
- Μνήμη RAM : 128 MB
- Χώρος στο δίσκο : 40 MB
- Λειτουργικό σύστημα : Microsoft Windows 2000, Windows XP, Windows Server 2003
- Λογισμικό επικοινωνίας : RSLinx Classic 2.51 ή νεότερο

### 3.3.2 Η διεπαφή του RSLogix 500

Σύμφωνα με το Σχήμα 3.10, κάνουμε μια πλοήγηση στο περιβάλλον του RSLogix 500.

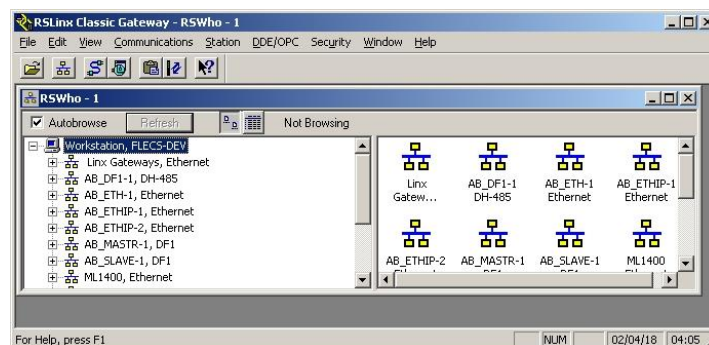


Σχήμα 3.10 Τυπικό περιβάλλον λογισμικού RSLogix 500

- 1 Menu bar: Επιλογή λειτουργιών από τα menu ανάλογα την περιοχή που θα επιλέξουμε.
- 2 Icon bar: Εικονίδια συντομεύσεων που αντιστοιχούν σε ενέργειες που θα χρειαστούμε κατά τη διάρκεια ανάπτυξης του project.
- 3 Online bar: Γρήγορη προεπισκόπηση της κατάστασης του επεξεργαστή, αν είναι Online, αν υπάρχουν forces κτλ. Μέσω αυτού μπορούμε επίσης να κάνουμε download/upload του προγράμματος.
- 4 Project tree: Όλοι οι φάκελοι και τα αρχεία που περιέχονται στο project, φαίνονται από αυτή την προβολή. Με δεξί κλικ μπορούμε να δούμε τις ενέργειες που είναι διαθέσιμες για κάθε αντικείμενο.
- 5 Status bar: Πληροφορίες κατάστασης.
- 6 Instruction Toolbar: Εντολές κατηγοριοποιημένες σε καρτέλες.
- 7 Ladder view: Το παράθυρο όπου συγγράφεται ο κώδικας Ladder.

### 3.3.3 RSLinx

Ο RSLinx είναι το απαραίτητο λογισμικό για την επικοινωνία μεταξύ του υπολογιστή που γίνεται η ανάπτυξη και του PLC, επιλέγοντας ανάλογα τον κατάλληλο driver. Ο driver εξαρτάται από το φυσικό δίκτυο που συνδέει υπολογιστή με PLC. Μια ενδεικτική άποψη του περιβάλλοντος του RSLinx φαίνεται στο Σχήμα 3.11.



Σχήμα 3.11 Τυπικό περιβάλλον λογισμικού RSLinx



Στην εργασία μας η συμβατή έκδοση που χρησιμοποιείται είναι η RSLinx Classic Gateway 2.57.

### 3.3.4 Αρχεία δεδομένων - Data files

Η μνήμη του ελεγκτή περιλαμβάνει τα Data Files, Function Files και τα Program Files. Ως μνήμη χρήστη (η μνήμη δηλαδή που είναι διαθέσιμη στο χρήστη) αναφέρουμε το διαθέσιμο χώρο στον ελεγκτή που μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε για αποθήκευση δεδομένων τέτοιων όπως κώδικας Ladder, data tables, διαμόρφωση I/O. Τα δεδομένα που χρησιμοποιούνται σε ένα πρόγραμμα έχουν έναν τύπο δεδομένων, άρα και συγκεκριμένο μέγεθος (χώρος στη μνήμη χρήστη). Τα Data Files (αρχεία δεδομένων) περιέχουν πληροφορίες κατάστασης σχετικά με τις εισόδους/εξόδους, με βοηθητικά bits και με εντολές του προγράμματος. Οι κυριότεροι τύποι Data Files παρατίθενται στον Πίνακα 3-3.

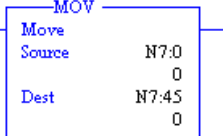
Πίνακας 3-3 Τύποι Data Files

Όνομα	ID	Προκαθ. αριθμός	Λέξεις ανά στοιχείο	Σύντομη περιγραφή
<b>Output</b>	O	0	1	Αποθηκεύεται η κατάσταση των φυσικών εξόδων
<b>Input</b>	I	1	1	Αποθηκεύεται η κατάσταση των φυσικών εισόδων.
<b>Status</b>	S	2	1	Αποθηκεύονται πληροφορίες για τη λειτουργία του μικροελεγκτή για την επιδιόρθωση σφαλμάτων.
<b>Bit</b>	B	3	1	Αποθηκεύονται βοηθητικά εσωτερικά bit.
<b>Timer</b>	T	4	3	Χρονικά και προκαθορισμένες τιμές τους.
<b>Counter</b>	C	5	3	Απαριθμητές /μετρητές και προκαθορισμένες τιμές τους.
<b>Control</b>	R	6	3	Αποθηκεύεται το μήκος, η θέση δείκτη και τα bit κατάστασης συγκεκριμένων εντολών.
<b>Integer</b>	N	7	1	Αποθηκεύονται αριθμητικές τιμές ή bit πληροφορίας (16-bit word).
<b>Floating Point</b>	F	8	2	Αποθηκεύονται αριθμητικές τιμές κινητής υποδιαστολής (32-bit word).
<b>String</b>	ST	9	42	Αποθηκεύονται ASCII χαρακτήρες.
<b>Long Word</b>	L	9	2	Αποθηκεύονται προσημασμένοι ακέραιοι (32-bit word, double words).
<b>Message</b>	MG	9	25	Αποθηκεύονται πληροφορίες σχετικές με τα μηνύματα.
<b>PID</b>	PD	9	23	Αποθηκεύονται πληροφορίες σχετικές με τις εντολές PID.
<b>Routing Information</b>	RI	9	20	Αποθηκεύονται πληροφορίες για τη λειτουργία multihop της εντολής MSG.

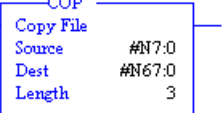
### 3.4 Εντολές Ladder

Οι εντολές που χρησιμοποιούνται συνήθως περισσότερο σε ένα πρόγραμμα Ladder, αναφέρονται σε αυτή την ενότητα, με ταξινόμηση ως προς το είδος λειτουργίας τους.

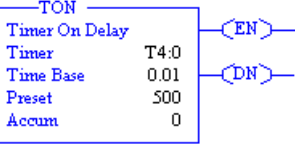
#### 3.4.1 Εντολές μεταφοράς (Move)

<b>MOV – Move</b>	<p>Η εντολή MOV αντιγράφει μια τιμή σε μία διεύθυνση προορισμού από μια διεύθυνση πηγής. Η εντολή μετακινεί τα δεδομένα σε κάθε σκανάρισμα, εφ' όσον παραμένει άσσος στην είσοδο της εντολής. Η εντολή αυτή δεν επηρεάζει την τιμή πηγής στη διεύθυνσή της, αλλά δημιουργεί ένα αντίγραφο αυτής στη διεύθυνση προορισμού.</p> <p>Η MOV μπορεί να χρησιμοποιηθεί και σε λέξη (word). Το πεδίο Source μπορεί να είναι είτε σταθερά ή μια διεύθυνση από τον πίνακα δεδομένων. Το πεδίο Dest είναι μια διεύθυνση από τον πίνακα δεδομένων στην οποία η MOV θα αποθηκεύσει την τιμή, αντικαθιστώντας όποια τιμή βρει εκεί.</p>
	

#### 3.4.2 Εντολές αρχείων (File)

<b>COP – Copy</b>	<p>Η COP εντολή αντιγράφει τις τιμές από το αρχείο πηγής, στις ίδιες λέξεις στο αρχείο προορισμού. Τα δεδομένα της πηγής δε μεταβάλλονται.</p> <p>Η εντολή αυτή δε χρησιμοποιεί bit κατάστασης. Αν χρειαστούμε bit ενεργοποίησης, θα πρέπει να προγραμματίσουμε μια παράλληλη έξοδο, η οποία χρησιμοποιεί μια διεύθυνση για αποθήκευση.</p> <p>Με την COP τα δεδομένα υπερχείλισης χάνονται. Επίσης, πρέπει οι τύποι δεδομένων πηγής και προορισμού να είναι ίδιοι, αφού η εντολή δε μετατρέπει έναν τύπο δεδομένων σε άλλον.</p> <p>Ο τύπος του αρχείου προορισμού είναι αυτός που καθορίζει τον αριθμό λέξεων ανά στοιχείο που μεταφέρει η εντολή. Για παράδειγμα, εάν ο τύπος αρχείου προορισμού είναι μετρητής και ο τύπος αρχείου πηγής είναι ακέραιος, τότε μεταφέρονται τρεις ακέραιες λέξεις για κάθε στοιχείο στο αρχείο τύπου μετρητή.</p>
	

#### 3.4.3 Εντολές χρονικών και μετρητών (Timer and Counter)

<b>TON - Timer On Delay</b>	<p>Η εντολή TON (Χρονοδιακόπτης) χρησιμοποιείται για να οριστεί μία έξοδος 1 ή 0 μετά την ενεργοποίηση του χρονοδιακόπτη για ένα προκαθορισμένο χρονικό διάστημα. Η εντολή αυτή ξεκινά τη χρονομέτρηση (σε διαστήματα του ενός ή ενός εκατοστού του δευτερολέπτου) όταν το rung είναι αληθές και συνεχίζει μέχρι να συμβεί ένα από τα παρακάτω:</p> <ul style="list-style-type: none"><li>• Όταν οι δύο ορισμένες τιμές γίνουν ίσες</li><li>• Η κατάσταση του rung είναι ψευδής.</li><li>• Η εντολή επανεκκίνησης επανεκκινήσει το χρονοδιακόπτη.</li><li>• Η εντολή SFC γίνει inactive.</li></ul>
	

Το PLC αλλάζει την κατάσταση αυτών των bits, όπως φαίνεται στον Πίνακα 3-4, όταν τρέχει την εντολή TON.

**Πίνακας 3-4 Κατάσταση Status Bits για την εντολή TON**

<b>Αυτό το bit</b>	<b>Γίνεται 1 όταν:</b>	<b>Υποδηλώνοντας:</b>	<b>Παραμένει ενεργό μέχρι:</b>
<b>Timer Enable .EN (bit 15)</b>	το rung γίνεται αληθές	ότι ο χρονοδιακόπτης είναι ενεργός	το rung να γίνει ψευδές να γίνει επανεκκίνηση του χρονοδιακόπτη το βήμα SFC να γίνει ανενεργό
<b>Timer Timing .TT (bit 14)</b>	το rung γίνεται αληθές	ότι η χρονομέτρηση είναι σε εξέλιξη	το rung να γίνει ψευδές το .DN bit να οριστεί (.ACC = .PRE).Γίνεται επανεκκίνηση του χρονοδιακόπτη το βήμα SFC να γίνει ανενεργό
<b>Timer Done .DN (bit 13)</b>	η accum τιμή είναι ίση με την προκαθορισμένη τιμή	ότι η χρονομέτρηση έχει ολοκληρωθεί	το rung να γίνει ψευδές να γίνει επανεκκίνηση του χρονοδιακόπτη το βήμα SFC να γίνει ανενεργό

Αν ορίσουμε το done bit (.DN) χρησιμοποιώντας για παράδειγμα μια εντολή OTE (Examine If Open), μπορούμε να σταματήσουμε προσωρινά το χρόνο (rause). Τα .EN και .TT παραμένουν ενεργά αλλά η υπολογιζόμενη τιμή δεν αυξάνεται. Ο χρόνος ξαναξεκινά όταν γίνεται εκκαθάριση του .DN bit.

Αν οριστεί το PLC σε κατάσταση Program Mode ή σε περίπτωση απώλειας τροφοδοσίας η συμπεριφορά των bits είναι η εξής:

- Το bit ενεργοποίησης του χρονοδιακόπτη (.EN) παραμένει ενεργό.
- Το bit χρονοδιακόπτη (.TT) παραμένει ενεργό.
- Η τρέχουσα τιμή (.ACC) παραμένει σταθερή.

Στον Πίνακα 3-5, φαίνεται η κατάσταση των bits κατά την επαναφορά.

**Πίνακας 3-5 Κατάσταση Status Bits για την εντολή TON (κατά την επαναφορά)**

<b>Κατάσταση</b>	<b>Αποτέλεσμα:</b>
<b>Αν το rung είναι αληθές:</b>	.EN bit παραμένει ενεργό .TT bit παραμένει ενεργό .DN bit παραμένει ανενεργό .ACC μηδενίζει και αρχίζει να αυξάνεται
<b>Αν το rung is είναι ψευδές:</b>	.EN bit γίνεται reset .TT bit γίνεται reset .DN bit γίνεται reset .ACC γίνεται reset

<p><b>TOF - Timer Off Delay</b></p>	<p>Ξεκινά τη χρονομέτρηση όταν το rung γίνει ψευδές και συνεχίζει τη χρονομέτρηση μέχρι να συμβεί ένα από τα παρακάτω:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Η συσσωρευμένη τιμή γίνει ίση με την ορισμένη τιμή.</li> <li>• Το rung γίνει αληθές.</li> <li>• Γίνει επανεκκίνηση του χρονοδιακόπτη.</li> <li>• Το βήμα SFC γίνεται ανενεργό.</li> </ul> <p>Ο επεξεργαστής επαναφέρει τη συσσωρευμένη τιμή όταν οι συνθήκες του rung γίνουν αληθείς, ανεξάρτητα αν ο χρονοδιακόπτης τελείωσε τη χρονομέτρηση ή όχι.</p>
-------------------------------------	--

Το PLC αλλάζει την κατάσταση αυτών των bits, όπως φαίνεται στον Πίνακα 3-6, όταν τρέχει την εντολή TOF.

**Πίνακας 3-6 Κατάσταση Status Bits για την εντολή TOF**

Αυτό το bit	Γίνεται 1 όταν:	Υποδηλώνοντας	Παραμένει ενεργό μέχρι:
<b>Timer Enable .EN (bit 15)</b>	το rung γίνεται αληθές	ότι ο χρονοδιακόπτης έχει ενεργοποιηθεί	το rung να γίνει ψευδές να γίνει επανεκκίνηση του χρονοδιακόπτη το βήμα SFC να γίνει ανενεργό
<b>Timer Timing .TT (bit 14)</b>	το rung γίνεται ψευδές και η accumulated τιμή είναι μικρότερη από την preset	ότι η χρονομέτρηση είναι σε εξέλιξη	το rung να γίνει αληθές το .DN bit οριστεί (.ACC = .PRE). να γίνει επανεκκίνηση του χρονοδιακόπτη το βήμα SFC να γίνει ανενεργό
<b>Timer Done .DN (bit 13)</b>	το rung γίνεται αληθές	ότι η χρονομέτρηση έχει ολοκληρωθεί	η συσσωρευμένη (accumulated) τιμή είναι ίση με την ορισμένη (preset)

Αν οριστεί το PLC σε κατάσταση Program Mode ή σε περίπτωση απώλειας τροφοδοσίας η συμπεριφορά των bits είναι η εξής:

- Το bit ενεργοποίησης του μετρητή (.EN) παραμένει reset.
- Το bit χρονοδιακόπτη (.TT) παραμένει ενεργό.
- Η υπολογιζόμενη τιμή (.ACC) παραμένει σταθερή.

Στον Πίνακα 3-7, φαίνεται η κατάσταση των bits κατά την επαναφορά.

**Πίνακας 3-7 Κατάσταση Status Bits για την εντολή TOF (κατά την επαναφορά)**

Κατάσταση	Αποτέλεσμα:
<b>Αν το rung είναι αληθές:</b>	.EN bit είναι ενεργό .TT bit είναι ανενεργό .DN bit παραμένει ενεργό .ACC τιμή μηδενίζεται
<b>Αν το rung είναι ψευδές:</b>	.EN bit είναι ανενεργό .T.T bit είναι ανενεργό DN bit είναι ανενεργό .ACC τιμή ίση με την .PRE τιμή (ο χρονομετρητής δεν ξεκινά)

	<p>Μετρά προς τα πάνω στο εύρος +32767, -32768. Κάθε φορά που το rung γίνεται από ψευδές σε αληθές τότε η εντολή CTU αυξάνει την Accum τιμή κατά 1 προς τα πάνω. Το done bit (.DN) είναι ενεργό εφόσον η Accum τιμή είναι μεγαλύτερη ή ίση με την προκαθορισμένη (Preset) τιμή, το οποίο και μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε για να ξεκινήσουμε μια ενέργεια.</p> <p>Οι εντολές CTU απαιτούν μία RES εντολή για να γίνουν reset. Επίσης θα συμβεί το ίδιο αν ο μετρητής πάρει τιμή κάτω από την Preset τιμή.</p>
--	---

Τα Status bits αλλάζουν σύμφωνα με τον Πίνακα 3-8, όταν τρέχει την εντολή CTU.

**Πίνακας 3-8 Κατάσταση Status Bits για την εντολή CTU**

Αυτό το Bit:	Γίνεται 1 όταν:	Γίνεται 0 όταν:
<b>Count Up Enable Bit .CD (bit 15)</b>	το rung γίνεται αληθές για να δηλώσει ότι η εντολή αύξησε τη μέτρηση κατά 1. Κατά τη διάρκεια του prescan αυτό το bit είναι 1 για να εμποδίσει μια λαθεμένη μέτρηση όταν το πρόγραμμα ξεκινήσει.	το rung γίνεται ψευδές μια RES εντολή κάνει reset το CTU .DN bit
<b>Count Up Done Bit .DN (bit 13)</b>	όταν η τρέχουσα τιμή είναι μεγαλύτερη ή ίση με την προκαθορισμένη τιμή	η accum τιμή μετράει κάτω από την προκαθορισμένη
<b>Count Up Overflow .UN (bit 12)</b>	ο CTU μετρητής έχει ξεπεράσει το πάνω όριο +32767 και ξαναξεκινά την προς τα πάνω μέτρηση από το -32768	μία RES εντολή με την ίδια διεύθυνση της CTD εντολής επαναφέρει το .DN bit

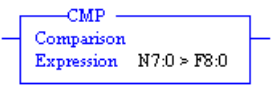
	<p>Μετρά προς τα κάτω στο εύρος +32767, -32768. Κάθε φορά που το rung γίνεται από ψευδές σε αληθές τότε η εντολή CTD μειώνει την Accum τιμή κατά 1 προς τα κάτω. Το done bit (.DN) είναι ενεργό εφόσον η Accum τιμή είναι μεγαλύτερη ή ίση με την προκαθορισμένη (Preset) τιμή. Όταν η Accum τιμή είναι μικρότερη από την προκαθορισμένη τιμή τότε η CTD επαναφέρει το done bit, το οποίο και μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε για να ξεκινήσουμε μια ενέργεια, για παράδειγμα για να ελέγξουμε ένα bit αποθήκευσης ή μία συσκευή εξόδου.</p> <p>Οι εντολές CTD απαιτούν μία RES εντολή για να γίνουν reset, επίσης θα συμβεί το ίδιο αν ο μετρητής αυξηθεί πάνω από την Preset τιμή.</p>
--	---

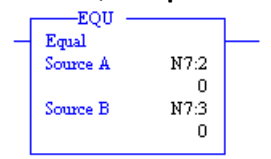
Τα Status bits αλλάζουν σύμφωνα με τον Πίνακα 3-9, όταν τρέχει την εντολή CTD.

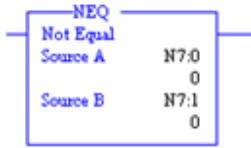
**Πίνακας 3-9 Κατάσταση Status Bits για την εντολή CTU**

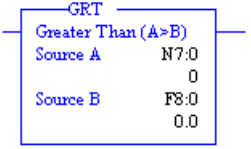
<b>Αυτό το Bit:</b>	<b>Γίνεται 1 όταν:</b>	<b>Γίνεται 0 όταν:</b>
<b>Count Down Enable Bit .CD (bit 14)</b>	το rung γίνεται αληθές για να δηλώσει ότι η εντολή είναι ενεργοποιημένη σαν προς τα κάτω μετρητής. Κατά τη διάρκεια του prescan αυτό το bit είναι 1 για να εμποδίσει μια λαθεμένη μέτρηση όταν το πρόγραμμα ξεκινήσει.	το rung γίνεται ψευδές μια RES εντολή κάνει reset το CTD .DN bit
<b>Count Down Done Bit .DN (bit 13)</b>	όταν η τρέχουσα τιμή είναι μεγαλύτερη ή ίση με την προκαθορισμένη τιμή	η accum τιμή μετράει κάτω από την προκαθορισμένη
<b>Count Down Underflow .UN (bit 11)</b>	ο CTD μετρητής έχει ξεπεράσει το κατώτερο όριο -32768 και ξαναξεκινά την προς τα κάτω μέτρηση από το +32767	μία RES εντολή με την ίδια διεύθυνση της CTU εντολής επαναφέρει το .DN bit

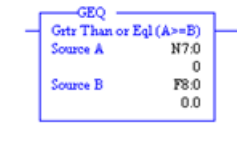
### 3.4.4 Εντολές σύγκρισης (Compare)

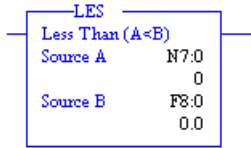
	<p>Η εντολή COMP συγκρίνει τιμές και πραγματοποιεί λογικές συγκρίσεις. Είναι μία εντολή εισόδου η οποία εκτελεί αριθμητικές και λογικές πράξεις ανάλογα με το τι έχουμε ορίσει στο πεδίο Expression.</p> <p>Όταν το πεδίο Expression είναι αληθές το rung γίνεται αληθές. Ο χρόνος εκτέλεσης της CMP είναι μεγαλύτερος από τις άλλες συγκριτικές εντολές όπως η GRT, LEQ κτλ.</p>
---	---

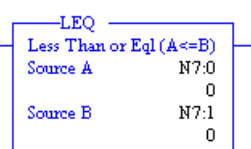
	<p>Αυτή η εντολή εισόδου συγκρίνει δύο τιμές ή δύο διευθύνσεις ορισμένες από το χρήστη. Αν η τιμή της Source A είναι ίση με αυτή της Source B τότε το rung γίνεται αληθές και η έξοδος ενεργοποιείται (με την προϋπόθεση ότι δεν επηρεάζουν άλλοι παράγοντες το rung).</p> <p>Στο παραπάνω παράδειγμα, η τιμή που είναι αποθηκευμένη στο N7:2 θα συγκριθεί με την τιμή στο N7:3. Η τρέχουσα τιμή θα απεικονίζεται κάτω από κάθε διεύθυνση.</p> <p>Για αριθμούς κινητής υποδιαστολής, που είναι σπάνια ίσοι προτείνεται η εντολή LIM, αντί της EQU.</p>
---	--

<p><b>NEQ - Not Equal</b></p>  <p>The diagram shows a rectangular logic symbol with two input lines on the left and one output line on the right. Inside the box, the text reads: 'NEQ' at the top, 'Not Equal' below it, 'Source A' followed by 'N7:0' and '0', and 'Source B' followed by 'N7:1' and '0'.</p>	<p>Η εντολή NEQ συγκρίνει δύο τιμές ή δύο διευθύνσεις ορισμένες από το χρήστη. Αν η τιμή που είναι αποθηκευμένη στην Source A δεν είναι ίση με αυτή της Source B τότε το rung γίνεται αληθές και η έξοδος ενεργοποιείται (με την προϋπόθεση ότι δεν επηρεάζουν άλλοι παράγοντες το rung).</p>
--	---

<p><b>GRT - Greater Than</b></p>  <p>The diagram shows a rectangular logic symbol with two input lines on the left and one output line on the right. Inside the box, the text reads: 'GRT' at the top, 'Greater Than (A&gt;B)' below it, 'Source A' followed by 'N7:0' and '0', and 'Source B' followed by 'F8:0' and '0.0'.</p>	<p>Αυτή η εντολή εισόδου συγκρίνει δύο τιμές ή δύο διευθύνσεις ορισμένες από το χρήστη. Αν η τιμή της Source A είναι μεγαλύτερη από αυτή της Source B τότε το rung γίνεται αληθές και η έξοδος ενεργοποιείται.</p>
---	--

<p><b>GEQ - Greater Than or Equal</b></p>  <p>The diagram shows a rectangular logic symbol with two input lines on the left and one output line on the right. Inside the box, the text reads: 'GEQ' at the top, 'Gtr Than or Eq (A&gt;=B)' below it, 'Source A' followed by 'N7:0' and '0', and 'Source B' followed by 'F8:0' and '0.0'.</p>	<p>Συγκρίνει δύο τιμές ή δύο διευθύνσεις ορισμένες από το χρήστη. Αν η τιμή που είναι αποθηκευμένη στο Source A είναι μεγαλύτερη ή ίση με αυτή του Source B τότε το rung γίνεται αληθές και η έξοδος ενεργοποιείται.</p>
--	--

<p><b>LES - Less Than</b></p>  <p>The diagram shows a rectangular logic symbol with two input lines on the left and one output line on the right. Inside the box, the text reads: 'LES' at the top, 'Less Than (A&lt;B)' below it, 'Source A' followed by 'N7:0' and '0', and 'Source B' followed by 'F8:0' and '0.0'.</p>	<p>Συγκρίνει δύο τιμές ή δύο διευθύνσεις ορισμένες από το χρήστη. Αν η τιμή που είναι αποθηκευμένη στο Source A είναι μικρότερη με αυτή του Source B τότε το rung γίνεται αληθές και η έξοδος ενεργοποιείται.</p>
---	---

<p><b>LEQ - Less Than or Equal</b></p>  <p>The diagram shows a rectangular logic symbol with two input lines on the left and one output line on the right. Inside the box, the text reads: 'LEQ' at the top, 'Less Than or Eq (A&lt;=B)' below it, 'Source A' followed by 'N7:0' and '0', and 'Source B' followed by 'N7:1' and '0'.</p>	<p>Συγκρίνει δύο τιμές ή δύο διευθύνσεις ορισμένες από το χρήστη. Αν η τιμή που είναι αποθηκευμένη στο Source A είναι μικρότερη ή ίση με αυτή του Source B τότε το rung γίνεται αληθές και η έξοδος ενεργοποιείται.</p>
---	---

### 3.4.5 Μαθηματικές εντολές (Math)

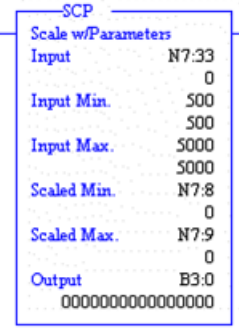
<p><b>ADD - Addition</b></p>	<p>Πραγματοποιεί την πρόσθεση δύο αριθμών ή διευθύνσεων και αποθηκεύει το αποτέλεσμα στη διεύθυνση προορισμού που του έχουμε ορίσει. Ο επεξεργαστής μετατρέπει αυτόματα τον τύπο των δεδομένων που βρίσκει στο Source A και B ώστε να είναι ίδιος με αυτόν της διεύθυνσης προορισμού.</p>
------------------------------	---

<p><b>SUB - Subtract</b></p>	<p>Η εντολή αυτή αφαιρεί την τιμή που βρίσκεται στο Source B από αυτή της Source A και αποθηκεύει το αποτέλεσμα στην διεύθυνση προορισμού. Η αφαίρεση εκτελείται κάθε φορά που το runq είναι αληθές, αν θέλουμε να εκτελεστεί μόνο μια φορά τότε χρησιμοποιείται σε συνδυασμό με την εντολή ONS που θα δούμε παρακάτω. Όπως συμβαίνει και στην περίπτωση της πρόσθεσης, έτσι κι εδώ ο επεξεργαστής μετατρέπει τον τύπο των δεδομένων που βρίσκει στις δύο πηγές ώστε να είναι ίδιος με τον τύπο δεδομένων της διεύθυνσης προορισμού.</p>
------------------------------	--


<p><b>MUL – Multiply</b></p>	<p>Πολλαπλασιάζει την τιμή της Source A με αυτή της Source B και αποθηκεύει το αποτέλεσμα στο πεδίο Dest. Τα Source A και B μπορεί να είναι σταθερές ή διευθύνσεις. Η MUL εκτελείται όσο το runq είναι αληθές (για εκτέλεση μόνο μια φορά πρέπει να συνδυαστεί με μια ONS εντολή). Ο επεξεργαστής μετατρέπει τον τύπο των δεδομένων που βρίσκει στις δύο πηγές ώστε να είναι ίδιος με τον τύπο δεδομένων της διεύθυνσης προορισμού.</p>
------------------------------	---


<p><b>CPT - Compute</b></p>	<p>Η εντολή CPT εκτελεί την πράξη που δίνεται στο Expression, και αποθηκεύει το αποτέλεσμα στη διεύθυνση προορισμού που δίνεται επίσης από το χρήστη. Επίσης αντιγράφει δεδομένα από μία διεύθυνση σε μια άλλη, και μετατρέπει αυτόματα τον τύπο της Source διεύθυνσης, στον τύπο της Destination διεύθυνσης. Ο χρόνος εκτέλεσης της εντολής αυτής είναι μεγαλύτερος από τον αντίστοιχο χρόνο μιας αριθμητικής, λογικής ή μιας MOV εντολής και χρησιμοποιεί περισσότερες λέξεις στο program file.</p> <p>Η έκφραση που ορίζεται προς εκτέλεση αποτελείται από τελεστές, διευθύνσεις και σταθερές. Πρέπει να ισχύουν τα ακόλουθα:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Περιέχει το πολύ 80 χαρακτήρες.</li> <li>• Οι τελεστές ορίζουν τις πράξεις.</li> <li>• Οι διευθύνσεις μπορούν να είναι άμεσες ή έμμεσες λογικές διευθύνσεις.</li> <li>• Οι σταθερές μπορούν να είναι ακέραιες ή κινητής υποδιαστολής.</li> <li>• Μπορεί να περιέχει και τριγωνομετρικές πράξεις.</li> </ul>
-----------------------------	---




<p style="text-align: center;"><b>SCP – Scale with Parameters</b></p> 	<p>Η SCP είναι μία εντολή εξόδου που παίρνει ως ορίσματα έξι παραμέτρους. Αυτές οι παράμετροι μπορούν να είναι ακέραιες τιμές ή αριθμοί κινητής υποδιαστολής. Η τιμή εισόδου κλιμακώνεται σε εύρος που προσδιορίζεται από τη γραμμική σχέση μεταξύ των τιμών min-max της εισόδου και των min-max τιμών της κλιμακούμενης τιμής. Το αποτέλεσμα επιστρέφει στην διεύθυνση που έχει οριστεί ως παράμετρος εξόδου.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Input: Η τιμή που θα κλιμακωθεί. Μπορεί να είναι λέξη ή διεύθυνση.</li> <li>• Input Min: Η ελάχιστη τιμή εμβέλειας για την είσοδο. Μπορεί να είναι μια διεύθυνση λέξης, ακέραιος αριθμός, αριθμός κινητής υποδιαστολής κ.α.</li> <li>• Input Max: Η μέγιστη τιμή εμβέλειας για την είσοδο. Μπορεί να είναι μια διεύθυνση λέξης, ακέραιος αριθμός, αριθμός κινητής υποδιαστολής κ.α.</li> <li>• Scaled Min: Ελάχιστη τιμή της κλίμακας. Η σχέση κλιμάκωσης είναι γραμμική. Μπορεί να είναι μια διεύθυνση λέξης, ακέραιος αριθμός, αριθμός κινητής υποδιαστολής κ.α.</li> <li>• Scaled Max: Μέγιστη τιμή της κλίμακας. Η σχέση κλιμάκωσης είναι γραμμική. Μπορεί να είναι μια διεύθυνση λέξης, ακέραιος αριθμός, αριθμός κινητής υποδιαστολής κ.α.</li> <li>• Output: Η διεύθυνση για την κλιμακωτή τιμή που επιστρέφεται μετά την εκτέλεση της εντολής.</li> </ul>
---	---

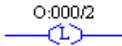
### 3.4.6 Εντολές τύπου ρελέ (relay-type, bit)


<p><b>XIC - Examine If Closed</b></p> 	<p>Η XIC (normally open επαφή) λειτουργεί ως bit εισόδου ή αποθήκευσης.</p> <p>Αν το bit της μνήμης είναι δυαδικό 1, τότε το rung θα είναι διαρκώς αληθές και οι έξοδοι ενεργοποιούνται (εκτός αν άλλοι παράγοντες το επηρεάζουν διαφορετικά).</p> <p>Αν το bit είναι 0, τότε δεν περνάει ρεύμα και οι έξοδοι είναι απενεργοποιημένες, εκτός αν επηρεάζουν άλλοι παράγοντες.</p> <p>Αν χρησιμοποιηθεί σαν bit εισόδου, πρέπει να έχει αντιστοιχηθεί σε πραγματική συσκευή εισόδου (παράδειγμα I:12/03).</p>
---	---

<p><b>XIO - Examine If Open</b></p> 	<p>Η XIO (normally closed επαφή) λειτουργεί ως bit εισόδου ή αποθήκευσης.</p> <p>Αν το bit μνήμης είναι 1, τότε δεν περνάει ρεύμα και οι έξοδοι είναι απενεργοποιημένες, εκτός αν επηρεάζουν άλλοι παράγοντες.</p>
---	--

	<p>Αν το bit είναι δυαδικό 0, τότε το rung θα είναι διαρκώς αληθές και οι έξοδοι ενεργοποιούνται (εκτός αν άλλοι παράγοντες το επηρεάζουν διαφορετικά).</p> <p>Αν χρησιμοποιηθεί σαν bit εισόδου, πρέπει να έχει αντιστοιχηθεί σε πραγματική συσκευή εισόδου (παράδειγμα I:12/03).</p>
--	--

<p><b>OPE - Output Energize</b></p> 	<p>Η OPE χρησιμοποιείται για να ελέγχει ένα bit στη μνήμη. Αν το bit αντιστοιχεί σε μια συσκευή εξόδου, η συσκευή αυτή ενεργοποιείται όταν η αντίστοιχη OPE έχει την τιμή 1 και απενεργοποιείται στο 0. Αν οι συνθήκες εισόδου πριν την OPE είναι αληθείς, τότε η OPE ενεργοποιείται παίρνοντας την τιμή 1. Αν είναι ψευδείς, τότε έχει την τιμή 0 και η συσκευή απενεργοποιείται.</p> <p>Μια εντολή OPE είναι παρόμοια με ένα πηνίο ρελέ, όμως ελέγχεται από τις προηγούμενες εντολές εισόδου.</p>
---	---

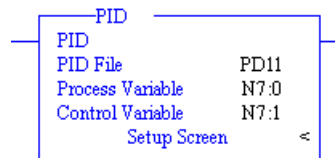
<p><b>OTL - Output Latch</b></p> 	<p>Η λειτουργία της εντολής αυτής είναι κατά κύριο λόγο ίδια με τη λειτουργία της OPE με μια σημαντική διαφορά: άπαξ και το bit τεθεί και χρησιμοποιείται OTL, παραμένει 1 ακόμα και αν το rung γίνει ψευδές, δηλαδή έχουμε μανδάλωση (latched on). Το bit πρέπει να επαναφερθεί με μια OTU εντολή.</p> <p>Όταν ο επεξεργαστής περάσει σε Program Mode από Run Mode ή χάσει την ισχύ και υπάρχει μπαταρία, η τελευταία αληθής OTL εντολή συνεχίζει να ελέγχει το bit στη μνήμη. Έτσι η μανδαλωμένη έξοδος παραμένει ενεργή παρ' όλο που έχουν σταματήσει να ισχύουν οι συνθήκες ενεργοποίησης της. Έτσι κατά την επιστροφή σε Run Mode, η προηγούμενη τιμή διατηρείται και δεν έχουμε reset όπως στην OPE.</p>
--	--

<p><b>OTU - Output Unlatch</b></p> 	<p>Πρόκειται για εντολή η οποία μπορεί μόνο να σβήσει ένα bit. Χρησιμοποιείται συνήθως ζευγάρι με την OTL, και με τις δύο να δείχνουν στο ίδιο bit. Ουσιαστικά η OTU σβήνει το bit, το οποίο είχε ενεργοποιήσει η OTL.</p> <p>Όταν ο επεξεργαστής περάσει σε Program Mode από Run Mode ή χάσει την ισχύ και υπάρχει μπαταρία, το bit κρατάει την κατάσταση που είχε τεθεί από την τελευταία φορά που το ζευγάρι latch/unlatch ήταν αληθές.</p> <p>Το bit παραμένει σβηστό, ακόμα κι αν οι συνθήκες ενεργοποίησης του είναι αληθείς. Η κατάσταση του αλλάζει μόνο από μια OTL εντολή.</p>
--	--

<p><b>ONS - One-Shot</b></p> <p><small>B3/B3</small></p> <p>— [ ONS ] —</p>	<p>Η ONS εντολή είναι μια εντολή εισόδου, η οποία κάνει το rung αληθές για μία μόνο σάρωση του προγράμματος και αφού έχει προηγηθεί μια ψευδής-σε-αληθή μετάβαση της κατάστασης των συνθηκών που προηγούνται της ONS.</p> <p>Πρέπει να εισαχθεί μια bit διεύθυνση (τύπου N7 ή B3).</p> <p><b>Σημείωση:</b> Κατά τη διάρκεια του prescan, η διεύθυνση bit έχει ρυθμιστεί ώστε να εμποδίζει την εσφαλμένη ενεργοποίηση κατά την πρώτη σάρωση.</p>
---	---

### 3.4.7 Εντολές ελέγχου διεργασίας (Process Control) – PID εντολή

Η εντολή PID μπορεί να είναι λειτουργική με δύο τρόπους. Σε timed mode όπου η εντολή ανανεώνει την έξοδο της σε μια ορισμένη από το χρήστη περίοδο και σε STI (Selectable Time Interrupt) mode. Η εντολή τοποθετείται σε μια STI υπορουτίνα και ανανεώνει την έξοδο κάθε φορά που γίνεται scan της υπορουτίνας αυτής. Το χρονικό διάστημα του STI και ο ρυθμός ανανέωσης του βρόχου PID πρέπει να είναι συγχρονισμένα.



**Σχήμα 3.12 Η εντολή PID**

Η υλοποίηση της εντολής PID στο MicroLogix 1400 γίνεται δημιουργώντας ένα νέο Data File και ορίζοντας τον τύπο του σαν PD. Κάθε PD Data File έχει σαν μέγιστο όριο τα 255 στοιχεία ενώ κάθε εντολή PID απαιτεί ένα μοναδικό PD file (Σχήμα 3.12).

Οι παράμετροι που μπορούν και χρειάζεται να τροποποιηθούν για να γίνει ρύθμιση του PID αναφέρονται στη συνέχεια με τη μορφή **Όνομα** [Διεύθυνση, Τύπος δεδομένων, Εύρος, Δικαιώματα].

**SetPoint (SPS)** [PDXX:X.SPS, Word (INT), 0-16383, Read/Write] :

Η επιθυμητή τιμή για την process variable.

**Process Variable (PV)** [Ορίζεται από χρήστη, Word (INT), 0-16383, Read/Write] :

Η αναλογική τιμή εισόδου.

**SetPoint MAX (MAXS)** [PDXX:X.MAXS, Word (INT), -32768 - +32767, Read/Write] :

Αντιστοιχεί στην τιμή του SetPoint σε engineering units όταν η είσοδος ελέγχου έχει τη μέγιστη της τιμή.

**SetPoint MIN (MINS)** [PDXX:X.MINS, Word (INT), -32768 - +32767, Read/Write] :

Αντιστοιχεί στην τιμή του SetPoint σε engineering units όταν η είσοδος ελέγχου έχει την ελάχιστη της τιμή.

**Control Variable (CV)** [Ορίζεται από χρήστη, Word (INT), 0-16383, Read/Write]

**Scaled Process Variable (SPV)** [PDXX:X.SPV, Word (INT), 0-16383, Read only] :

Αναλογική είσοδος, αν το scaling είναι ενεργοποιημένο τότε το εύρος της είναι η scaled τιμή MinS ως τη scaled τιμή MaxS.

**Controller Gain (K<sub>c</sub>)** [PDXX:X.KC, Word (INT), 0-32767, Read/Write] :

Αναλογικό κέρδος.

**Reset Term (T<sub>i</sub>)** [PDXX:X.TD, Word (INT), 0-32767, Read/Write] :

Το ολοκληρωτικό κέρδος ή λεπτά ανά επανάληψη.

**Rate Term (T<sub>d</sub>)** [PDXX:X.Td, Word (INT), 0-32767, Read/Write] :

Παραγωγικό κέρδος. Πρέπει να οριστεί στο 1/8 της τιμής του T<sub>i</sub>.

**Time Mode (TM)** [PDXX:X.TM, binary, 0 ή 1, Read/Write] :

Αν το bit αυτό είναι 1 τότε το PID είναι σε timed mode.

**Loop Update Time (LUT)** [PDXX:X.LUT, Word (INT), 1-1024, Read/Write] :

Το χρονικό διάστημα μεταξύ δύο υπολογισμών του PID. Αν το PID είναι σε STI mode τότε η τιμή πρέπει να είναι ίση με του χρόνου STI.

**Scaled Error (SE)** [PDXX:X.SE, Word (INT), -32768 – +32767, Read only] :

Η διαφορά μεταξύ της process variable και του SetPoint (E=SP-PV, E=PV-SP ανάλογα τη λειτουργία ελέγχου που καθορίζεται από το CM (Control Mode) bit.

**Automatic/Manual (AM)** [PDXX:X.AM, binary, 0 ή 1, Read /Write] :

Όταν η τιμή είναι 0 τότε είναι σε αυτόματη λειτουργία ενώ όταν η τιμή του είναι 1 σε χειροκίνητη.

**Control Mode (CM)** [PDXX:X.CM, binary, 0 ή 1, Read /Write] :

Κανονική ή reverse λειτουργία. Στην κανονική λειτουργία (E=PV-SP) προκαλεί την αύξηση της τιμής της control variable όταν η process variable είναι μεγαλύτερη από το SetPoint. Στην ανάποδη λειτουργία (E=SP-PV) προκαλεί τη μείωση της τιμής της control variable όταν η process variable είναι μεγαλύτερη από το SetPoint.

**CV Upper Limit Alarm (UL)** [PDXX:X.UL, binary, 0 ή 1, Read /Write] :

Το πάνω όριο της control variable, γίνεται 1 όταν η τιμή της CV το ξεπεράσει.

**CV Lower Limit Alarm (LL)** [PDXX:X.LL, binary, 0 ή 1, Read /Write] :

Το κάτω όριο της control variable, γίνεται 1 όταν η τιμή της CV το ξεπεράσει.

**Done (DN)** [PDXX:X/DN, binary, 0 ή 1, Read] :

Το bit αυτό γίνεται 1 στην ολοκλήρωση του PID αλγόριθμου.

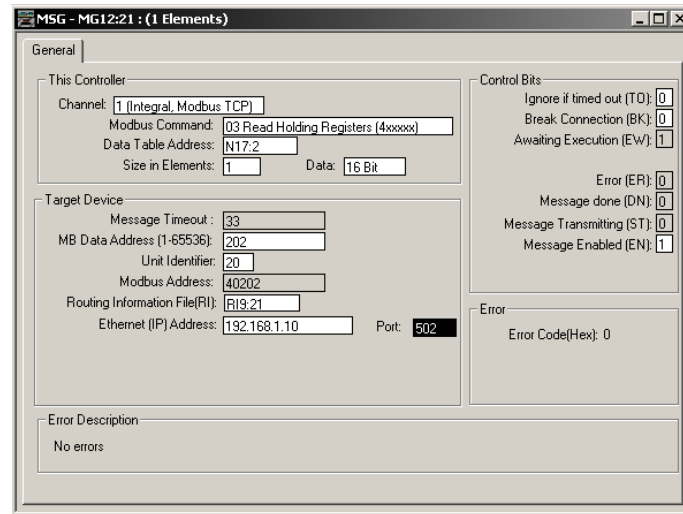
### 3.4.8 Εντολές επικοινωνίας (Communication) – MSG εντολή

Η εντολή MSG (Σχήμα 3.13) είναι εντολή εξόδου η οποία μεταφέρει δεδομένα από έναν κόμβο του δικτύου επικοινωνίας σε άλλον. Όταν ενεργοποιηθεί, η μεταφορά των μηνυμάτων μπαίνει σε εκκρεμή κατάσταση. Η πραγματική μεταφορά των δεδομένων πραγματοποιείται στο τέλος της σάρωσης. Μπορεί να προγραμματιστεί είτε ως μήνυμα εγγραφής είτε ως μήνυμα ανάγνωσης, έχοντας ως συσκευή προορισμού έναν άλλο επεξεργαστή που βρίσκεται στο δίκτυο.



Σχήμα 3.13 η εντολή MSG

Η παραμετροποίηση (π.χ. για Modbus TCP μήνυμα) γίνεται πατώντας στο Setup Screen (Σχήμα 3.14).



Σχήμα 3.14 Παράθυρο ρυθμίσεων της εντολής MSG

Εκεί μπορούν να οριστούν τα εξής:

- Channel: Επιλογή μεταξύ των Channel 0, 1, 2
- Modbus Command: Προσδιορισμός του τύπου των μηνυμάτων.
  - 01 Read Coil Status (0xxxxx)
  - 02 Read Input Status (1xxxxx)
  - 03 Read Holding Registers (4xxxxx)
  - 04 Read Input Registers (3xxxxx)
  - 05 Write Single Coil (0xxxxx)
  - 06 Write Single Register (4xxxxx)
  - 15 Write Multiple Coils (0xxxxx)
  - 16 Write Multiple Registers (4xxxxx)
- Data Table Address: Πρόκειται για την διεύθυνση της CPU που περιέχει την εντολή MSG. Αν η εντολή είναι τύπου WRITE τότε η διεύθυνση αυτή η πρώτη λέξη του αρχείου πηγής, ενώ αν είναι τύπου READ τότε η διεύθυνση αντιστοιχεί στην πρώτη λέξη του αρχείου προορισμού.
- Size in Elements: πόσα δεδομένα (στοιχεία) θα ανταλλαχθούν με τη συσκευή προορισμού.
- Message Timeout: Ο χρόνος που περιμένει για απάντηση πριν επιστρέψει σφάλμα, μετριέται σε δευτερόλεπτα.
- Data Table Address: Η διεύθυνση εκκίνησης του αρχείου προέλευσης ή προορισμού στον επεξεργαστή προορισμού.
- MB Data Address: Καθορίζει τη διεύθυνση Modbus στη συσκευή προορισμού. Τιμές μεταξύ 1-65536.
- Slave Node Address: Ο αριθμός κόμβου της συσκευής που παραλαμβάνει το μήνυμα.
- Modbus Address: Το πεδίο αυτό δεν είναι παραμετροποιήσιμο. Οι Modbus διευθύνσεις έχουν προθέματα βάσει της εντολής Modbus. Αυτό το πεδίο προβολής συνδυάζει αυτό το πρόθεμα με τη διεύθυνση δεδομένων MB που καταχωρήθηκε προηγουμένως. Για παράδειγμα, οι καταχωρητές Holding έχουν πρόθεμα 4 και εμφανίζονται εδώ ως 40001-49999 και 410000-465536.

- Routing Information File: RI File για το Channel 1.
- Ethernet IP Address: Αποθηκεύει την IP διεύθυνση σε λέξεις 1 και 2 του RI File.
- Port: Η πόρτα του Modbus TCP.

Στο δεξιό μέρος του παραθύρου Setup Screen διακρίνεται η κατάσταση των Control Bits του μηνύματος. Πρόκειται για τα:

- Ignore if timed out (TO): Αν τεθεί αυτό το bit τότε η CPU σταματάει την επεξεργασία του μηνύματος και θέτει 1 το ER bit.
- Break Connection (BK): Αυτό το bit χρησιμοποιείται για τον έλεγχο της διακοπής ή μη, της εξερχόμενης σύνδεσης Ethernet που σχετίζεται με ένα συγκεκριμένο μήνυμα μετά την ολοκλήρωση του. Αν το bit τεθεί 1, η σύνδεση διακόπτεται κατά την ολοκλήρωση του μηνύματος. Εάν το bit είναι 0, τότε η σύνδεση παραμένει ενεργή κατά την ολοκλήρωση του μηνύματος.
- Awaiting Execution (EW): Το bit γίνεται 1 όταν η CPU ανιχνεύσει ότι ένα message request μπαίνει στην ουρά.
- Error (Err): Αυτό το bit ορίζεται 1, όταν ο επεξεργαστής εντοπίσει ότι η μεταφορά μηνυμάτων απέτυχε.
- Message Done (DN): Γίνεται 1, όταν μεταφερθεί και το τελευταίο πακέτο του μηνύματος.
- Message Transmitting (ST): Είναι 1 καθ' όλη τη διάρκεια εκτέλεσης της MSG.
- Message enabled (EN): Παίρνει την τιμή 1, όταν το rung είναι αληθές.

Τέλος, στο κάτω μέρος του παραθύρου υπάρχουν διαθέσιμες πληροφορίες σχετικά με τα σφάλματα που μπορεί να προέκυψαν κατά τη μεταφορά των μηνυμάτων:

- Error: Ο κωδικός σφάλματος αν έχει υπάρξει κάποιο πρόβλημα.
- Error Description: Η διαθέσιμη περιγραφή για τον κωδικό σφάλματος που εμφανίστηκε.

# 4 SCADA

## 4.1 Γενικές έννοιες

### 4.1.1 Εισαγωγή – Σκοπός και στόχοι ενός SCADA συστήματος

**SCADA: Supervisory Control And Data Acquisition, Σύστημα Εποπτείας Ελέγχου και Συλλογής Πληροφοριών.**

Θα μπορούσαμε να πούμε, ότι το SCADA είναι η τεχνολογία που επιτρέπει στο χρήστη να στέλνει εντολές ελέγχου αλλά και να συλλέγει δεδομένα από μία ή και περισσότερες απομακρυσμένες εγκαταστάσεις.

Ένα σύστημα SCADA επιτρέπει στο χειριστή να έχει τον απομακρυσμένο έλεγχο (άνοιγμα-κλείσιμο βανών, ξεκίνημα-σταμάτημα κινητήρων, εισαγωγή set point, παρακολούθηση συναγερωμένων κ.α.) πολλών εγκαταστάσεων από μία κεντρική θέση. Η κρίσιμη σημασία χρησιμότητα ενός τέτοιου συστήματος μπορεί να γίνει αντιληπτή, αν σκεφτούμε μεγάλες σε μέγεθος εγκαταστάσεις οι οποίες απέχουν μεταξύ τους αρκετά χιλιόμετρα ή-και βρίσκονται σε δυσπρόσιτες περιοχές, είναι απλές στον έλεγχο και το χειρισμό τους και απαιτούν παρακολούθηση αλλά και επεμβάσεις σε τακτά χρονικά διαστήματα.

Παραδείγματα τέτοιων εγκαταστάσεων είναι:

- οι αγωγοί φυσικού αερίου και πετρελαίου στους οποίους η παροχή τους ελέγχεται με αντλίες ή βάνες και πρέπει να είναι ικανές να ανταποκρίνονται γρήγορα στις νέες συνθήκες,
- εγκαταστάσεις παραγωγής αλουμίνας, οι οποίες περιλαμβάνουν πηγάδια, μετρήσεις υγρών αλλά και αντλίες. Απαιτούν συχνή παρακολούθηση συνθηκών λειτουργίας, ενεργοποίηση και απενεργοποίηση κινητήρων.

Στόχος του συστήματος SCADA είναι:

- η μεγιστοποίηση παραγωγής,
- η ελαχιστοποίηση της ενέργειας,
- η διασφάλιση ποιότητας του προϊόντος που παράγεται,
- η ασφάλεια του εξοπλισμού και κυρίως του ανθρώπινου δυναμικού.

Η πολυπλοκότητα του απομακρυσμένου ελέγχου αυξάνεται όσο ωριμάζει η τεχνολογία. Προσφέρεται πλέον:

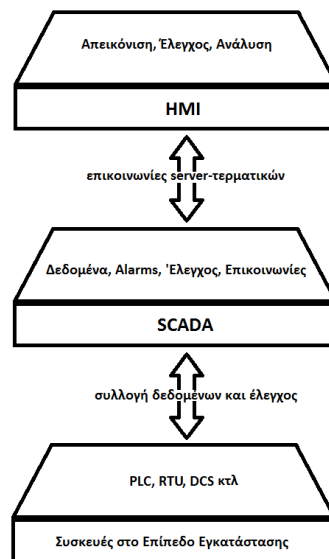
- άμεση πληροφόρηση για την κατάσταση κάποιας διεργασίας,
- άμεση επέμβαση για διατήρηση της ομαλής λειτουργίας της εγκατάστασης,
- έγκαιρη ειδοποίηση βλαβών και ανάγκης αντικατάστασης υλικών,
- αποθήκευση και ανάλυση πληροφοριών σχετικά με την παραγωγική διαδικασία,
- διάγνωση βλαβών και δυσλειτουργιών.

### 4.1.2 Δομή και λειτουργία ενός συστήματος SCADA

Τα τυπικά σήματα τα οποία λαμβάνονται από μία απομακρυσμένη τοποθεσία περιλαμβάνουν συναγερωμούς, αναλογικές τιμές, ενδείξεις κατάστασης κινητήρων, μετρητές ενώ οι εντολές

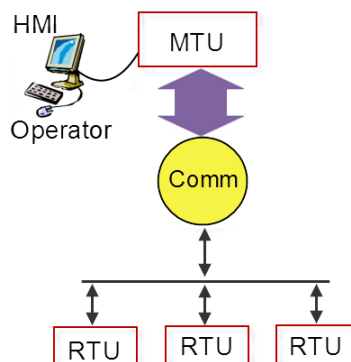
ελέγχου που στέλνονται διακρίνονται σε δυαδικές ή αναλογικές τιμές που απευθύνονται σε κάποια συσκευή.

Ένα SCADA σύστημα αποτελείται από ένα σύνολο αισθητήρων και διατάξεων που είναι συνδεδεμένα με απομακρυσμένες τερματικές μονάδες, οι μονάδες αυτές ονομάζονται RTUs (Remote Terminal Units). Πρόκειται για μικρά εξειδικευμένα συστήματα τα οποία έχουν ως κύρια λειτουργία τον έλεγχο του εξοπλισμού, τη λήψη δεδομένων απ' αυτόν και τη μεταβίβαση τους στο κεντρικό σύστημα SCADA. Κάθε RTU επικοινωνεί με έναν ή και περισσότερους κεντρικούς εξυπηρετητές (MTU- Master Terminal Unit) στους οποίους βρίσκεται εγκατεστημένο το λογισμικό του συστήματος SCADA. Με τη σειρά της, μία MTU επικοινωνεί με τους σταθμούς εργασίας των χειριστών πάνω στους οποίους βρίσκεται το HMI (Human Machine Interface). Το HMI παρέχει στο χρήστη ένα γραφικό περιβάλλον που απεικονίζει τις τρέχουσες συνθήκες λειτουργίας, παράλληλα δέχεται την αλληλεπίδραση από το χρήστη την οποία και στέλνει στο SCADA. Στο Σχήμα 4.1 απεικονίζεται σχηματικά η ταξινόμηση των επιπέδων αυτών. Η σχέση μεταξύ του SCADA και του HMI είναι σχέση πελάτη-εξυπηρετητή (Client-Server).



Σχήμα 4.1 HMI και SCADA

Η επικοινωνία μεταξύ των μπορεί να είναι είτε ενσύρματη είτε ασύρματη. Η ενσύρματη επικοινωνία θα μπορούσε να είναι σειριακή (RS232, RS485), δίκτυα ControlNet, Ethernet, ενώ η ασύρματη κάποια δορυφορική ζεύξη. Μια τέτοια τοπολογία βλέπουμε στο Σχήμα 4.2.



Σχήμα 4.2 Τυπική τοπολογία δικτύου ενός συστήματος SCADA<sup>3</sup>

<sup>3</sup> Πηγή: [https://www.researchgate.net/figure/Block-diagram-of-standard-SCADA-system\\_fig1\\_259673932](https://www.researchgate.net/figure/Block-diagram-of-standard-SCADA-system_fig1_259673932)



Είναι εύκολα αντιληπτό από την παραπάνω εικόνα ότι πρόκειται για δύο διαφορετικά δίκτυα, με την MTU να αποτελεί το συνδετικό κρίκο μεταξύ αυτών. Το βιομηχανικό δίκτυο περιλαμβάνει τις RTUs και το πληροφοριακό δίκτυο περιέχει τους σταθμούς εργασίας και τη σύνδεσή του με την MTU.

#### 4.1.3 Αποθήκευση και ανάλυση δεδομένων

Οι πληροφορίες οι οποίες μεταφέρονται από τις RTUs προς την MTU, αναλύονται και επεξεργάζονται ώστε να παρουσιαστούν στους σταθμούς εργασίας σε φιλική προς τους χειριστές μορφή. Τα δεδομένα αυτά όπως αναλύονται, αποθηκεύονται σε σχεσιακή βάση δεδομένων. Πέρα από την εγγενή της ικανότητα να αποθηκεύει δεδομένα, η βάση δεδομένων παρέχει μέσω του σχεδιασμού και του τρόπου ιεράρχησης των δεδομένων, τα αποκαλούμενα συστήματα διαχείρισης περιεχομένου, δηλαδή τη δυνατότητα γρήγορης άντλησης και ανανέωσης των δεδομένων. Οι σχεσιακές βάσεις βρίσκονται στην κορυφή των επιλογών για τις περισσότερες βιομηχανίες, καθώς η ανάλυση και η άντληση δεδομένων από αυτές πραγματοποιείται σχετικά εύκολα με τη χρήση της γλώσσας SQL. Το λογισμικό της βάσης δεδομένων μπορεί να εγκατασταθεί είτε σε ξεχωριστό υπολογιστή όπου θα αναλάβει μόνο αυτή την εργασία (Data Center) είτε και στην ίδια την MTU μαζί με το λογισμικό του SCADA.

## 4.2 Λογισμικό CIMPLICITY

Για τις ανάγκες τις εργασίας χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό CIMPLICITY 9.5 της εταιρείας General Electric. Το CIMPLICITY είναι βασισμένο στο μοντέλο πελάτης-εξυπηρετητής, αποτελούμενο από τους Servers και τους Viewers (πελάτες). Οι Servers είναι υπεύθυνοι για τη συλλογή και διανομή των δεδομένων ενώ οι Viewers συνδέονται στους Servers και έχουν πλήρη πρόσβαση στα δεδομένα αυτά τόσο για ανάγνωση όσο και για τροποποίηση. Τα δεδομένα διακινούνται στο δίκτυο μεταξύ των εφαρμογών μέσω Ethernet/IP. Ο Server επικοινωνεί με τις RTUs χρησιμοποιώντας τις OPC δυνατότητες που έχει, όπως OPC DA Server, OPC AE Server, ενώ ο Viewer συλλέγει αυτά τα δεδομένα έχοντας εγκατεστημένη τη δυνατότητα του OPC Client . Για την αμφίδρομη σύνδεση με τη βάση δεδομένων υπάρχει η δυνατότητα χρήσης ODBC. Σύγχρονες τεχνολογίες όπως τα ActiveX αντικείμενα χρησιμοποιούνται για τη σχεδίαση των γραφικών μιας εγκατάστασης. Η αρχιτεκτονική των γραφικών και των στοιχείων είναι αντικειμενοστραφής με υποστήριξη COM/DCOM αλλά και VB scripting.

### 4.2.1 Ελάχιστες απαιτήσεις συστήματος

Οι ελάχιστες απαιτήσεις που απαιτούνται σε υλικό (hardware) είναι:

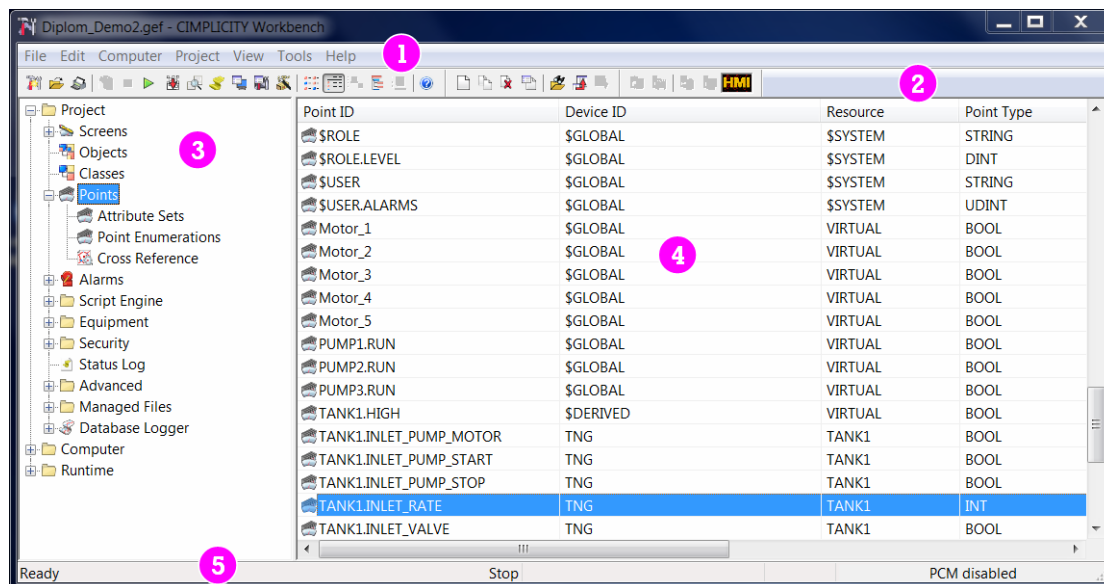
- Επεξεργαστής : Intel Core 2 Duo 3.0 GHz
- Μνήμη RAM : 4 GB
- Χώρος στο δίσκο : 40 GB

Απαιτήσεις σε λογισμικό:

- Λειτουργικό σύστημα : Microsoft Windows 10, Microsoft Windows Server 2012 και R2, Microsoft Windows Server 2008 R2 SP1, Microsoft Windows 8, Microsoft Windows 8.1, Windows 7 SP1
- Βάσεις δεδομένων : Microsoft SQL Server 2014-2012-2008 R2, SQL Express 2014 και 2012, Oracle 12C

## 4.2.2 CIMPLICITY Workbench

Το κεντρικό εργαλείο με το οποίο χτίζουμε το project μας ονομάζεται Workbench. Αυτό μας δίνει την δυνατότητα για να δούμε, να τροποποιήσουμε, να οργανώσουμε και να διαχειριστούμε κάθε συνιστώσα του project.



Σχήμα 4.3 Τυπικό περιβάλλον του εργαλείου Workbench

Οι αριθμοί του Σχήματος 4.3, που αποτυπώνεται ένα στιγμιότυπο του περιβάλλοντος του Workbench, εξηγούνται παρακάτω:

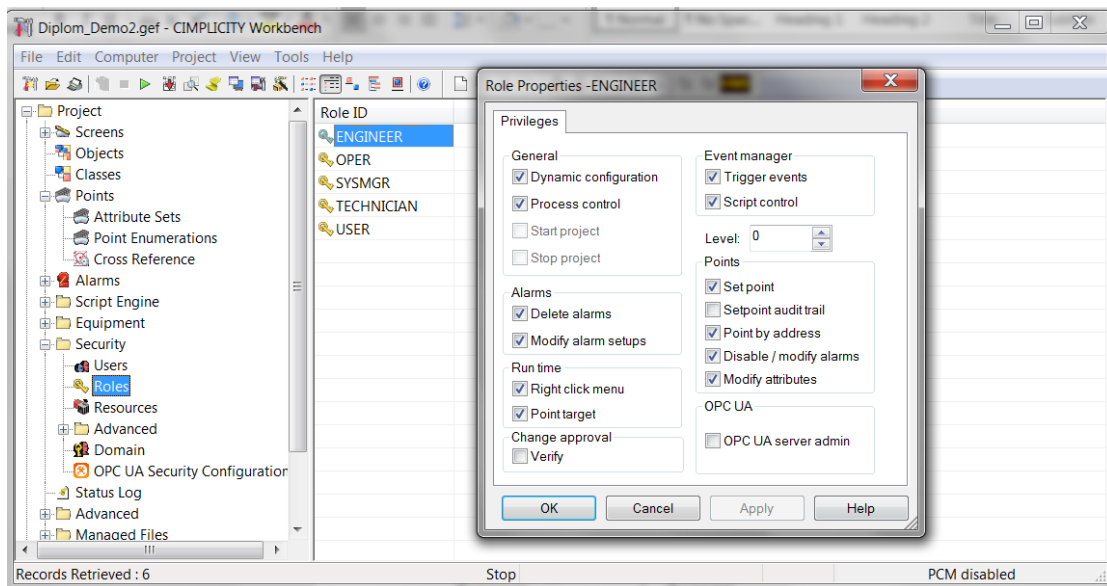
1. Μενού
2. Γραμμή εργαλείων
3. Φάκελοι, εφαρμογές, αντικείμενα
4. Εγγραφές που σχετίζονται με τα αντικείμενα των φακέλων
5. Γραμμή κατάστασης

Το CIMPLICITY διαχωρίζει την ασφάλεια του project βάσει 3 κατηγοριών :

**Roles:** Με τους ρόλους ανατίθενται σε χρήστες τα κατάλληλα προνόμια και η πρόσβαση που θέλουμε να έχουν. Ένα παράδειγμα παραμετροποίησης ιδιοτήτων παραθέτουμε στο Σχήμα 4.4.

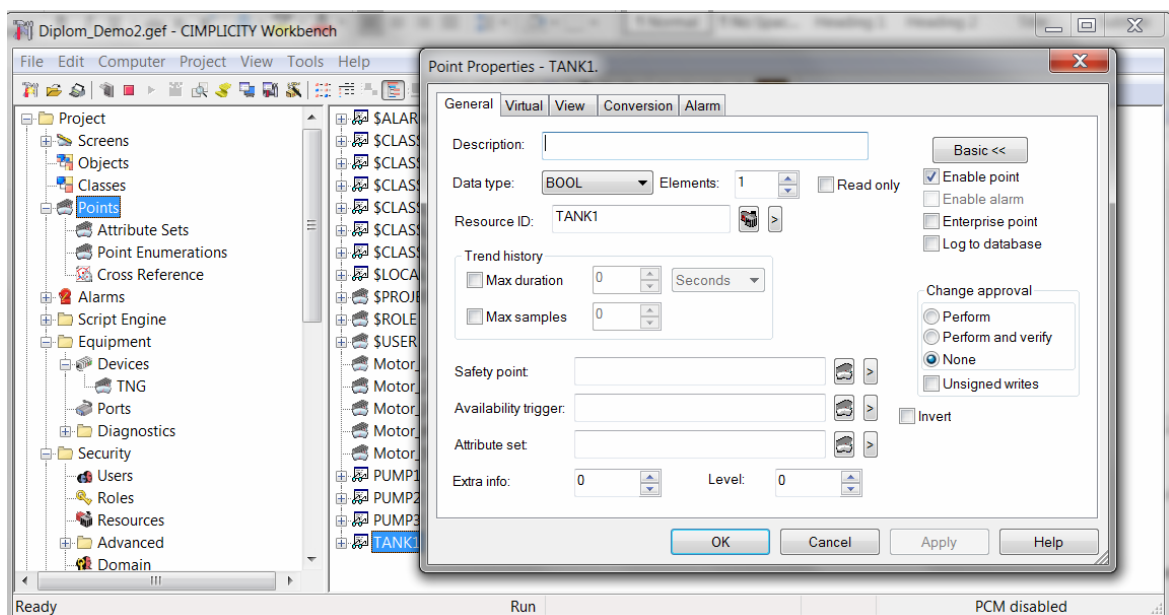
**Users:** Κάθε χειριστής του project.

**Resources:** Είναι οι φυσικές μονάδες που περιλαμβάνει η εγκατάσταση. Τέτοιες μπορεί να είναι όργανα, μηχανήματα, τοποθεσίες. Η παραμετροποίηση αυτή είναι σημαντική για την δρομολόγηση των σφαλμάτων σε ορισμένους χρήστες και για το φιλτράρισμα των δεδομένων που λαμβάνουν.



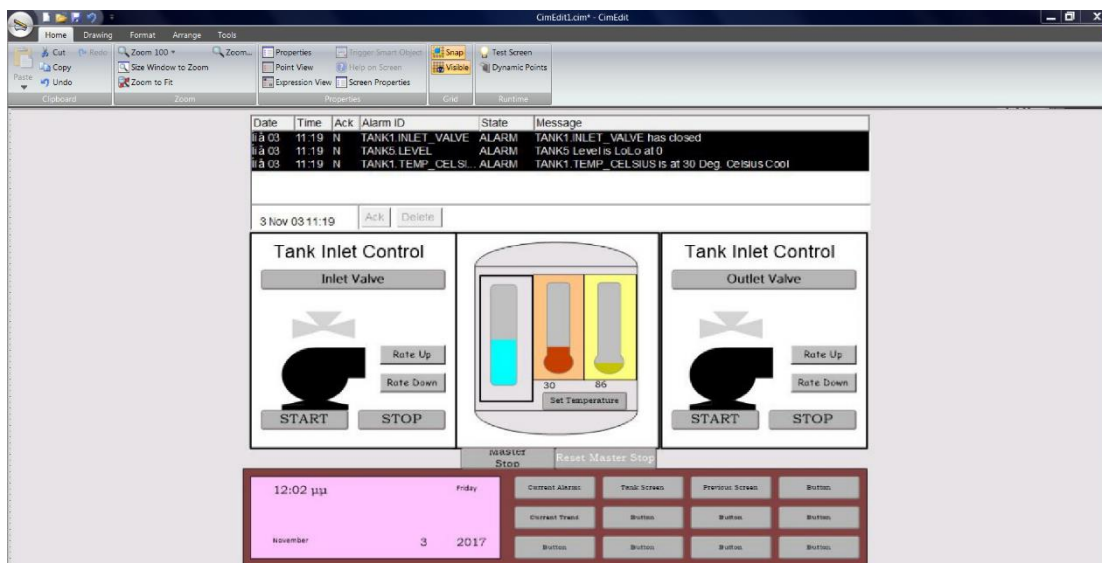
**Σχήμα 4.4 Παραμετροποίηση ιδιοτήτων ενός ρόλου**

Το configuration είναι βασισμένο στα αποκαλούμενα Points. Περιγράφονται από τον τύπο (Device ή Virtual) και την κλάση τους (Analog, Boolean, Text). Η επιλογή κλάσης, αλλά και άλλων ιδιοτήτων, ενός Device Point γίνεται από το παράθυρο του Σχήματος 4.5. Το CIMPLICITY συλλέγει ή υπολογίζει τα δεδομένα των Points και τα διανέμει στις οθόνες χρήστη, στις οθόνες σφαλμάτων, στους πίνακες καταγραφών αλλά και σε εκτυπωτές. Όλες οι πληροφορίες όπως η διεύθυνση, η καταγραφή (ή όχι) και το alarming περιέχονται στα attributes του Point.



**Σχήμα 4.5 Παράθυρο ιδιοτήτων ενός Point**

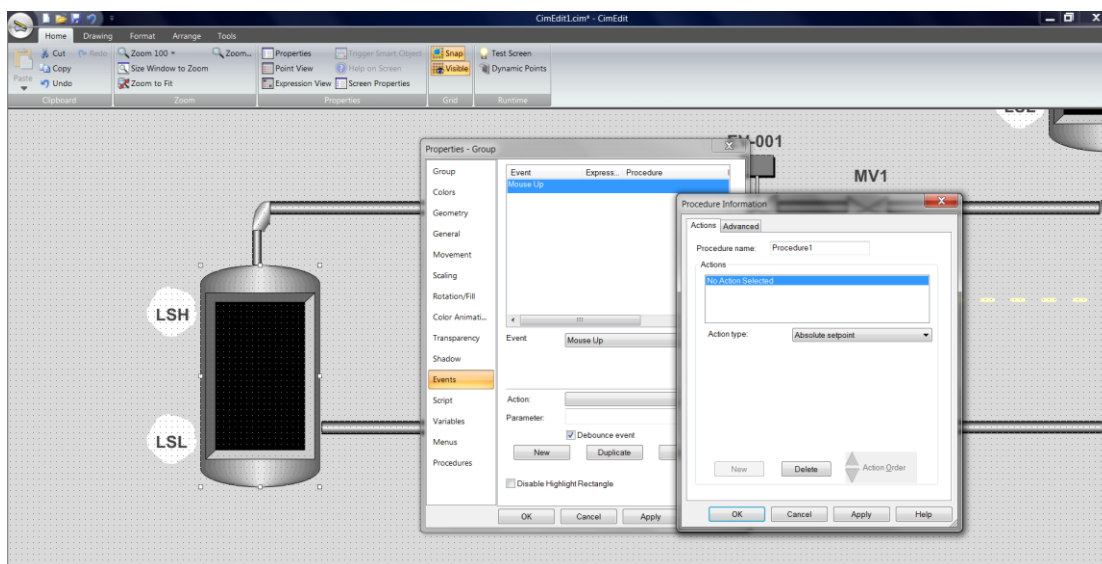
## 4.2.3 CIMPLICITY CimEdit



Σχήμα 4.6 Τυπικό περιβάλλον του εργαλείου CimEdit

Η σχεδίαση των εικόνων εγκατάστασης γίνεται στο CimEdit (Σχήμα 4.6). Οι δυνατότητες ευελιξίας που δίνει στον προγραμματιστή που τις σχεδιάζει περιλαμβάνουν:

- Δυναμική παραμετροποίηση: Επιτρέπει την προσθήκη, μετατροπή των Points
- Βιβλιοθήκη Points: Δυνατότητα πρόσβασης σε κάθε Point που βρίσκεται στο δίκτυο
- OLE και ActiveX αντικείμενα: Εύκολος τρόπος δημιουργίας εικόνων με γραφήματα, πολυμέσα, σφάλματα, φύλλα εργασίας Excel
- Animations: Μπορούν να εφαρμοστούν σε κάθε αντικείμενο (χρώμα, κίνηση, ορατότητα)
- Υποστήριξη Events, Scripts (C#, VB.NET). Στο Σχήμα 4.7 διακρίνουμε ένα παράδειγμα προσθήκης event.



Σχήμα 4.7 Παράθυρο προσθήκης Event

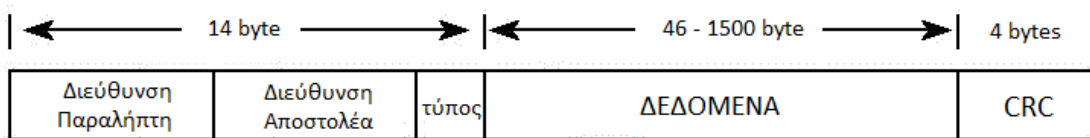
Ό, τι σχεδιαστεί στο CimEdit γίνεται ορατό στους χειριστές μέσω του CimView.

# 5 Δίκτυα

## 5.1 Ethernet

Το σύστημα δικτύων Ethernet είναι σήμερα το δημοφιλέστερο και πιο εύχρηστο δίκτυο για προσωπικούς υπολογιστές. Δημιουργήθηκε το 1970 από την εταιρεία Xerox και το 1980 η ίδια εταιρεία σε συνεργασία με τις Intel και DEC ανέπτυξαν το πρώτο πρότυπο. Το IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers) λίγο αργότερο θέσπισε το πρότυπο 802.3, μια ελαφριά παραλλαγή του προηγούμενου, που λόγω δημοφιλίας αναγνωρίστηκε και σαν ISO (International Organization of Standardization). Το μέγιστο μήκος καλωδίου για το συγκεκριμένο πρότυπο είναι 500 μέτρα, μπορεί βέβαια να γίνει επέκταση μέχρι τα 2.5 χλμ με κατάλληλους επαναλήπτες. Οι προδιαγραφές που ορίζει το Ethernet αφορούν το φυσικό επίπεδο και το επίπεδο ζεύξης δεδομένων του μοντέλου των 7 επιπέδων-OSI.

Τα δεδομένα μεταδίδονται σε μορφή πακέτων (packet switching) μεγέθους 46 ως 1500 bytes. Τα δεδομένα που έχουν μέγεθος μεγαλύτερο από το μέγιστο επιτρεπτό (Maximum Transmission Unit, MTU), στέλνονται κατακερματισμένα και διαδοχικά στον προορισμό. Αν ένα πακέτο είναι μικρότερο των 46 bytes, τότε προστίθενται κενά bytes μέχρι το μέγεθος του να γίνει ίσο με το ελάχιστο επιτρεπτό. Τα δεδομένα ενθυλακώνονται σε ένα πλαίσιο που τελικά στέλνεται και περιλαμβάνει πληροφορίες όπως τη φυσική διεύθυνση (MAC address) αποστολέα και παραλήπτη, το μήκος των δεδομένων και δεδομένα για έλεγχο σφαλμάτων (CRC), όπως βλέπουμε και στο Σχήμα 5.1.



Σχήμα 5.1 Πλαίσιο Ethernet (Ethernet frame)

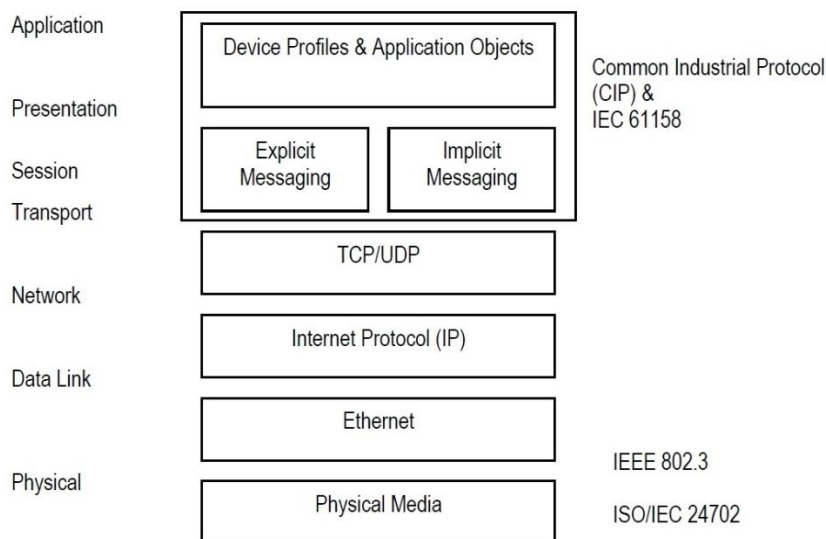
Το Ethernet έχει επικρατήσει στα ενσύρματα δίκτυα λόγω χαμηλού κόστους εγκατάστασης και συντήρησης, ενώ ταυτόχρονα προσφέρει υψηλές ταχύτητες που φτάνουν τα 10 Gbps. Τόσο οι ταχύτητες, όσο και η αξιοπιστία που προσφέρει, φέρνουν το Ethernet όλο κ περισσότερο στον τομέα της βιομηχανίας για τον έλεγχο και την εποπτεία. Με ένα μόνο δίκτυο, έχουμε άμεση και εύκολη ανταλλαγή όλων των απαραίτητων πληροφοριών.

## 5.2 Ethernet/IP

Ένα δίκτυο στο τομέα του αυτοματισμού πρέπει να παρέχει στους χρήστες του δυνατότητες ελέγχου, για ανταλλαγή δεδομένων μεταξύ PLCs, SCADA, I/O συσκευών και δυνατότητες απεικόνισης, συλλογής και επεξεργασίας των δεδομένων που συλλέγονται. Το Ethernet/IP (IP: Industrial Protocol) είναι το πιο ώριμο και αξιόπιστο βιομηχανικό Ethernet δίκτυο. Αξιοποιεί όλα τα πρωτόκολλα μεταφοράς και ελέγχου του τυπικού Ethernet όπως τα TCP (Transport Control Protocol) και IP (Internet Protocol). Αυτό σημαίνει ότι το Ethernet/IP μπορεί να υποστηριχθεί από κλασικά PCs αλλά και όλες τις συσκευές Ethernet που υπάρχουν στο εμπόριο.

### 5.2.1 CIP (Control and Information Protocol)

Το Ethernet/IP βασίζεται σε ένα πρωτόκολλο επικοινωνίας-επιπέδου εφαρμογής που ονομάζεται CIP (Control and Information Protocol). Το πρωτόκολλο CIP λειτουργεί πάνω από τα πρωτόκολλα μεταφοράς TCP (Transmission Control Protocol) και UDP (User Datagram Control), σύμφωνα με το Σχήμα 5.2, και είναι βασισμένο στα πρότυπα των DeviceNet και ControlNet.



**Σχήμα 5.2 Ethernet/IP και CIP**

Χρησιμοποιείται για τη μεταφορά δεδομένων αυτοματισμού μεταξύ συσκευών. Κάθε συσκευή αντιμετωπίζεται σαν ένα αντικείμενο (object). Το αντικείμενο είναι μία συλλογή πληροφοριών που αφορούν την εκάστοτε συσκευή. Υπάρχουν 3 τύποι αντικειμένων που ορίζονται από το CIP.

1. Αντικείμενα που απαιτούνται: Είναι τα αντικείμενα εκείνα που πρέπει να περιλαμβάνονται σε κάθε CIP συσκευή. Το αντικείμενο ταυτότητας (Identity Object) που περιέχει χαρακτηριστικά όπως το αναγνωριστικό προμηθευτή, την ημερομηνία κατασκευής, το σειριακό αριθμό της συσκευής κ.α. Το αντικείμενο Message Router, το οποίο μεταφέρει μηνύματα αίτησης από συσκευή σε συσκευή. Τέλος είναι το αντικείμενο δικτύου (Network Object) που περιέχει τα δεδομένα σχετικά με την φυσική σύνδεση όπως τη διεύθυνση IP και άλλα δεδομένα σχετικά με τη θύρα Ethernet της συσκευής.
2. Αντικείμενα εφαρμογής: Τα αντικείμενα αυτά έχουν πληροφορίες ειδικά για τον τύπο της συσκευής.
3. Ειδικά αντικείμενα: Τα πρόσθετα χαρακτηριστικά της συσκευής.

Για να επικοινωνήσουν οι συσκευές μεταξύ τους, πρέπει να δοθεί από την κάθε μία το αντικείμενο ταυτότητας στο δίκτυο. Όταν μία σύνδεση πραγματοποιηθεί, ανατίθεται στις μεταφορές που είναι σχετικές με αυτή τη σύνδεση ένα αναγνωριστικό σύνδεσης (Connection ID-CID) και αν χρειάζεται αμφίδρομη ανταλλαγή δεδομένων τότε έχουμε δύο αναγνωριστικά σύνδεσης.

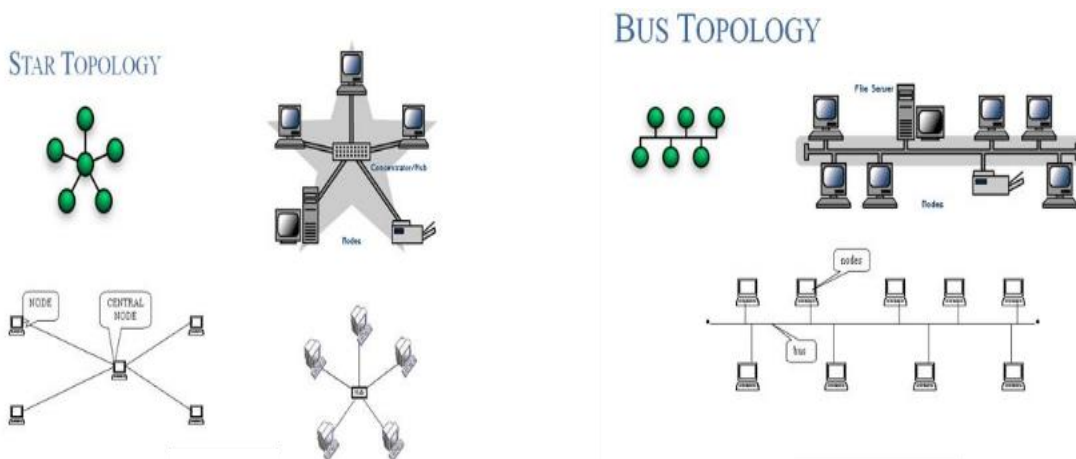
Η χρησιμοποίηση του CIP στο Ethernet/IP προσδίδει πολλά πλεονεκτήματα. Πέρα από την ωριμότητα του πρωτοκόλλου, καθώς υπάρχει για χρόνια στα δίκτυα DeviceNet και ControlNet, μπορούμε να πραγματοποιήσουμε άμεση και εύκολη παραμετροποίηση διαφορετικών CIP συσκευών που βρίσκονται σε διαφορετικά δίκτυα από ένα κεντρικό σημείο, χωρίς την ανάγκη χρήσης εξειδικευμένων λογισμικών για την κάθε συσκευή.

## 5.2.2 Φυσικό στρώμα

Η χρήση του Ethernet στο βιομηχανικό έλεγχο δέχτηκε έντονη κριτική, κυρίως λόγω ότι δεν είναι ντετερμινιστικό. Με την εισαγωγή όμως της τεχνολογίας των switches, η πιθανότητα διένεξης (collision) δεδομένων ελαχιστοποιείται. Σε αυτές τις συσκευές κάθε πόρτα έχει το δικό της collision domain, με αποτέλεσμα να μην υπάρχει διένεξη δεδομένων μεταξύ συσκευών που συνδέονται στο switch. Επιπλέον μπορεί να γίνει παραμετροποίηση της κάθε πόρτας ξεχωριστά σε Half-Duplex ή Full-Duplex, ανεβάζοντας το ρυθμό μετάδοσης των δεδομένων μέχρι και τα 200 Mbit/sec. Τέλος η υποστήριξη των εικονικών τοπικών δικτύων (Virtual LAN - LAN) από τα switches, όπου οι πόρτες του switch ομαδοποιούνται έτσι ώστε η μεταφορά των πακέτων από μια πόρτα σε μια άλλη να γίνεται εντός του εικονικού δικτύου, πρακτικά μηδενίζει την πιθανότητα συγκρούσεων.

Στο φυσικό επίπεδο το Ethernet/IP υποστηρίζει δύο τοπολογίες δικτύων. Την τοπολογία αστέρα (Star Topology) και την τοπολογία διαύλου (Active Linear Bus), Σχήμα 5.3. Στην τοπολογία αστέρα κάθε κόμβος συνδέεται σε έναν κεντρικό κόμβο και από αυτόν περνάνε όλες οι πληροφορίες που στέλνει ένας περιφερειακός κόμβος σε έναν άλλο. Σε αυτή την τοπολογία μπορούμε να αφαιρέσουμε ή να προσθέσουμε έναν περιφερειακό κόμβο χωρίς να επηρεαστεί το υπόλοιπο δίκτυο. Η ομαλή λειτουργία του δικτύου εξαρτάται σε πολύ μεγάλο βαθμό από τη λειτουργία του κεντρικού κόμβου.

Στην περίπτωση του διαύλου έχουμε σύνδεση όλων των κόμβων σε ένα κορμό (backbone ή bus). Οι πληροφορίες-πακέτα που στέλνονται από έναν κόμβο σε έναν άλλο, περνούν από όλους τους κόμβους διαδοχικά, οι οποίοι εξετάζουν αν η διεύθυνση παραλήπτη ταιριάζει με τη δική τους. Για την προσθήκη ή αφαίρεση ενός κόμβου χρειάζεται να τεθεί όλο το δίκτυο εκτός λειτουργίας.



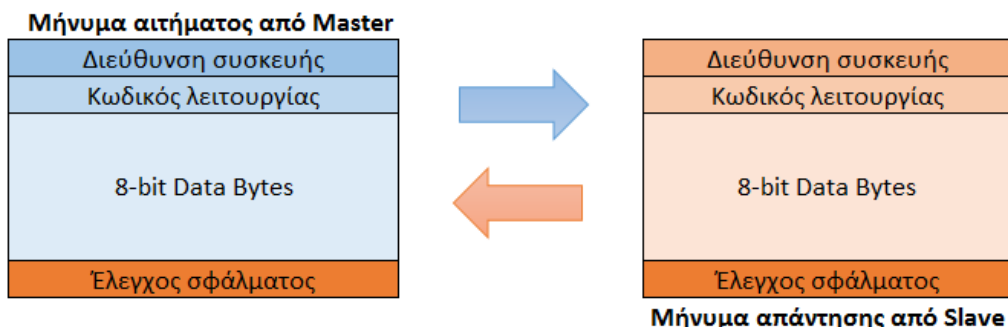
Σχήμα 5.3 Τοπολογία δικτύων α) αστέρα και β) διαύλου<sup>4</sup>

Εν κατακλείδι, η χρήση του Ethernet/IP βοήθησε τους χρήστες να επικοινωνούν με σύνθετες και πολύπλοκες συσκευές χωρίς τη χρήση εξειδικευμένου λογισμικού για την κάθε μία. Οι υψηλές ταχύτητες που παρέχει το Ethernet, η εισαγωγή των switches με Full Duplex λειτουργία όπου εκμηδένισε σχεδόν την πιθανότητα διενέξεων και συγκρούσεων, καθιστούν τον έλεγχο σε εγκαταστάσεις αυτοματισμού με χρήση βιομηχανικού Ethernet την καταλληλότερη επιλογή, επιτρέποντας επίσης στις βιομηχανίες να συνδέσουν τις βιομηχανικές συσκευές με τα εταιρικά δίκτυα LAN για βέλτιστη διαχείριση δεδομένων.

<sup>4</sup> Πηγή: <http://vidarbhastudents.com/note/network-topology/>

### 5.3 Modbus

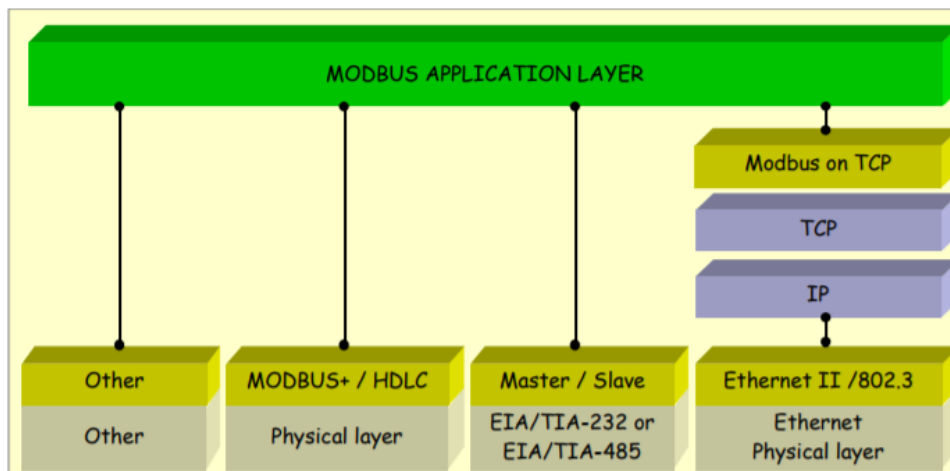
Το Modbus είναι ένα πρωτόκολλο επικοινωνίας, που αναπτύχθηκε από την εταιρία Modicon (σήμερα Schneider Electric) το 1979 για PLC. Ανήκει στο επίπεδο εφαρμογής (επίπεδο 7) του μοντέλου OSI και πρόκειται για μέθοδο ανταλλαγής μηνυμάτων μεταξύ ηλεκτρονικών συσκευών (Master/Slave ή Server/Client) χρησιμοποιώντας συνήθως ως φυσικό μέσο, σειριακές γραμμές. Μια συσκευή Master ζητάει πληροφορίες στέλνοντας κατάλληλα μηνύματα και οι Slaves τις παρέχουν, πραγματοποιείται δηλαδή ανάγνωση, όμως μπορεί να γίνει και εγγραφή πληροφοριών στις συσκευές Slaves (Σχήμα 5.4). Σε ένα τυπικό δίκτυο Modbus, υπάρχει ένας Master και 1-247 Slaves.



Σχήμα 5.4 Κύκλος μηνυμάτων ερώτησης-απάντησης Master-Slave

Το πρωτόκολλο αυτό αποτελεί πλέον ένα από τα βασικά πρωτόκολλα που συναντάμε στη βιομηχανία. Έχει καθιερωθεί, καθώς αναπτύχθηκε κυρίως για βιομηχανική χρήση, είναι εύκολο ως προς την υλοποίηση και αποτελεί ανοιχτό πρωτόκολλο που χρησιμοποιείται ελεύθερα. Χρησιμοποιείται για τη μετάδοση σημάτων από όργανα και συσκευές ελέγχου στο PLC ή κάποιον άλλον ελεγκτή. Ως συσκευή Master επιλέγεται το PLC και τα όργανα συμπεριφέρονται ως Slaves, και απαντούν στο Master PLC. Επίσης, συχνά χρησιμοποιείται για σύνδεση μιας RTU με ένα σύστημα SCADA, δηλαδή για την παρακολούθηση των συσκευών του πεδίου χρησιμοποιώντας HMI's.

Οι εκδόσεις του πρωτοκόλλου που αφορούν σειριακή επικοινωνία, με RS-232 ή RS-485, είναι το Modbus RTU και το Modbus ASCII. Όμως, ο ανερχόμενος τύπος του είναι το Modbus over Ethernet, που ονομάζεται Modbus TCP και υλοποιεί την επικοινωνία με τα πλεονεκτήματα ενός Ethernet δικτύου. Τις διαφοροποιήσεις στα διάφορα στρώματα ανάλογα με την έκδοση του πρωτοκόλλου, τις βλέπουμε στο Σχήμα 5.5.



Σχήμα 5.5 Modbus stack επικοινωνίας



### 5.3.1 Modbus RTU

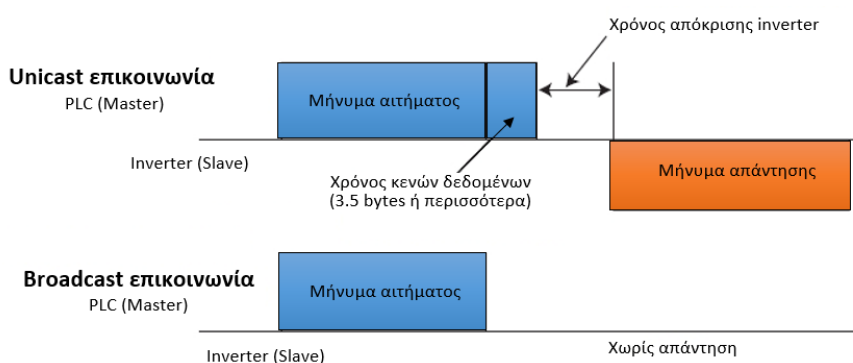
Το σειριακό πρωτόκολλο Modbus RTU είναι ένα Master/Slave πρωτόκολλο, όπως ορίζεται από τις αρχές του Modbus. Το ρόλο του Client παίζει ο Master (π.χ. PLC) και οι Slaves αντιδρούν ως Servers (π.χ. inverter, αισθητήρια κτλ.). Κάθε επικοινωνία ξεκινάει πάντα από τον Master, άρα οι Slaves δεν μεταδίδουν ποτέ δεδομένα αν δε λάβουν το αίτημα (request) του Master, ούτε και επικοινωνούν μεταξύ τους. Μια συναλλαγή στο πρωτόκολλο (transaction) αποτελείται από δύο μέρη, το αίτημα του Master και την απάντηση από τον Slave, και μπορεί να αρχικοποιηθεί μόνο μια τη φορά.

Ο Master στέλνει το request σε έναν Slave σταθμό και περιμένει για την απάντηση (reply) ξεκινώντας να μετράει χρόνο για τη λήξη του αιτήματος (Response Time-out). Όταν λαμβάνεται η απάντηση, ελέγχεται για σφάλματα, όπως απάντηση από λάθος Slave ή κάποιο λάθος στο πακέτο που λήφθηκε. Αν υπάρχει κάποιο λάθος, ή αν δε ληφθεί απάντηση προτού λήξει ο χρόνος του αιτήματος, τότε ο Master προσπαθεί να στείλει το request ξανά. Διαφορετικά, αν λάβει κανονική απάντηση, ξεκινά την επεξεργασία του πλαισίου.

Ο Slave, από την άλλη, όταν λάβει το πακέτο request, το ελέγχει για τυχόν λάθη, π.χ. για την εγκυρότητα του κωδικού λειτουργίας, και στη συνέχεια το επεξεργάζεται και αποστέλλει στον Master την κατάλληλη απάντηση. Αν βρεθεί κάποιο λάθος στο ληφθέν πακέτο, αποστέλλει απάντηση αναφέροντας τον κωδικό σφάλματος που συνέβη.

Οι σταθμοί των Slaves έχουν μοναδική ταυτότητα (id) 1-247. Όταν ο Master στέλνει ένα πακέτο ορίζοντας ως διεύθυνση τη 0, το πακέτο στέλνεται broadcast, και όλοι οι σταθμοί εκτελούν τη λειτουργία που ζητείται. Στις broadcast αιτήσεις, δε στέλνεται απάντηση, πρόκειται απαραίτητα για αιτήματα για εγγραφή στους Slaves.

Η σχηματική απεικόνιση των συναλλαγών unicast και broadcast μηνυμάτων παρέχεται στο Σχήμα 5.6.



Σχήμα 5.6 Unicast και broadcast μηνύματα

#### 5.3.1.1 Πακέτο μηνύματος

Το πακέτο του μηνύματος (Σχήμα 5.7), που αποστέλλει ο Master, αποτελείται από τέσσερα πεδία. Με την προσθήκη του κενού τουλάχιστον 3.5 χαρακτήρων (T1: Έναρξη, Τέλος) στην αρχή και στο τέλος του μηνύματος δεδομένων, ο Slave λαμβάνει ένα πακέτο που αναγνωρίζει ως ένα μήνυμα. Η ροή των δεδομένων πρέπει να είναι συνεχόμενη. Αν υπάρξει κενό διάστημα για μεγαλύτερο χρόνο από 1.5 χαρακτήρα, η Slave συσκευή υποθέτει ότι το επόμενο bit αποτελεί την αρχή νέου μηνύματος. Επίσης, αν ξεκινήσει νέο μήνυμα νωρίτερα από το χρόνο μηδενικών δεδομένων 3.5

χαρακτήρων, τη θεωρεί ως συνέχεια του μηνύματος. Σε αυτές τις περιπτώσεις, τίθεται σφάλμα. Τα πεδία είναι:

1. Διεύθυνση: το πρώτο πεδίο περιλαμβάνει τη διεύθυνση και έχει μέγεθος 1 byte. Μπορεί να είναι 1-247, υποδεικνύοντας την ταυτότητα (id) συγκεκριμένου παραλήπτη Slave, ή είναι 0 για broadcast αποστολή. Οι συσκευές παρακολουθούν διαρκώς το δίκτυο μετάδοσης, και κάθε φορά που φτάνει το πρώτο πεδίο με τη διεύθυνση, το αποκωδικοποιούν για να ελέγξουν αν προορίζεται γι' αυτές.
2. Λειτουργία: έχει μέγεθος 1 byte, και μπορεί να πάρει τις τιμές 1-255. Κάθε μια από τις τιμές αυτές, αποτελεί μια συγκεκριμένη λειτουργία την οποία ζητά ο Master να εκτελεστεί. Αν ο κωδικός που αποστέλλεται δεν είναι αποδεκτός, ο Slave αποστέλλει μήνυμα λάθους.
3. Δεδομένα: αναλόγως τη λειτουργία, περιέχουν σημαντικές πληροφορίες, όπως τον αριθμό των bytes, περιγραφή της πρόσβασης σε καταχωρητές κτλ.
4. CRC (Cyclical Redundancy Check-Κυκλικός Έλεγχος Πλεονασμού) Check: το τελευταίο πεδίο αφορά τον έλεγχο για σφάλματα. Η τιμή CRC υπολογίζεται από τον αποστολέα και τον παραλήπτη. Αν οι δύο τιμές ταιριάζουν, το ληφθέν πακέτο δεν περιέχει κάποιο σφάλμα.

Start	ADDRESS	FUNCTION	DATA	CRC CHECK		End
T1	8 bit	8 bit	n x 8 bit	L 8 bit	H 8 bit	T1

Σχήμα 5.7 Πακέτο μηνύματος Modbus RTU

Κατά την αποστολή ενός μηνύματος απάντησης από τον Slave, το πρώτο πεδίο περιέχει τη δική του διεύθυνση για να γνωρίζει ο Master από ποιον έλαβε την απάντηση, στο δεύτερο πεδίο επιβεβαιώνεται ο κωδικός λειτουργίας που του ζητήθηκε να επιτελέσει ή αναφέρεται ο κωδικός λάθους, στο τρίτο πεδίο παρέχει τα αιτούμενα απαραίτητα δεδομένα ή πληροφορίες σχετικές με το σφάλμα και ακολουθεί ο CRC έλεγχος.

### 5.3.1.2 Τύποι δεδομένων και βασικές λειτουργίες Read/Write

Πριν αναφερθούν κάποιες από τις λειτουργίες που θα συναντηθούν στο πεδίο 2 ενός μηνύματος, παρατίθενται στον Πίνακα 5-1 οι τύποι δεδομένων που ορίζει το Modbus. Τα δεδομένα αποθηκεύονται με διαφορετικούς τρόπους σε κάθε συσκευή, σύμφωνα με την εφαρμογή για την οποία προορίζεται.

Πίνακας 5-1 Τύποι δεδομένων Modbus

Ονομασία	Περιοχή αριθμών	Τύπος δεδομένων	Δικαιώματα	Περιγραφή
Discretes Input	10001-19999	bit	Μόνο ανάγνωση	Παρέχεται από I/O σύστημα
Coils	1-9999	bit	Ανάγνωση-Εγγραφή	Μεταβάλλεται από πρόγραμμα εφαρμογής
Input Registers	30001-39999	16-bit λέξη	Μόνο ανάγνωση	Παρέχεται από I/O σύστημα
Holding Registers	40001-49999	16-bit λέξη	Ανάγνωση-Εγγραφή	Μεταβάλλεται από πρόγραμμα εφαρμογής

Μια λίστα βασικών λειτουργιών που μπορεί να συναντηθεί στο πεδίο 2, που υποστηρίζονται από τα υλικά της εργασίας μας, και που εξετάστηκε προηγουμένως φαίνονται στον Πίνακα 5-2.

Πίνακας 5-2 Βασικές λειτουργίες των μηνυμάτων Modbus

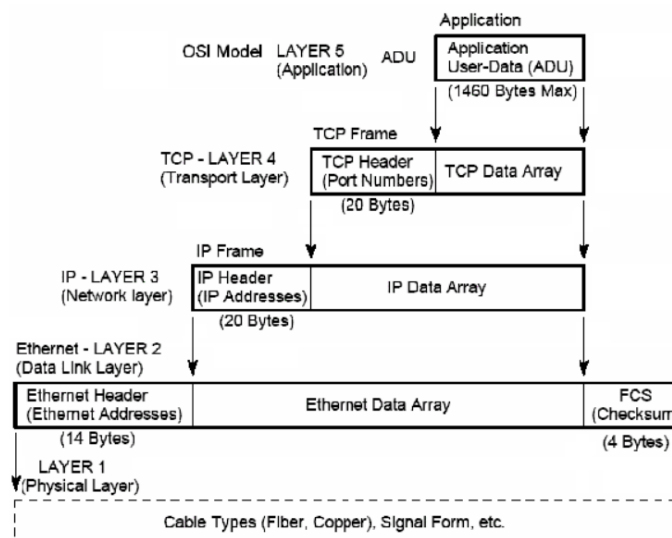
Κωδικός	Όνομα λειτουργίας	Broadcast εκπομπή
01	Read Coil Status (0xxxx)	Δεν επιτρέπεται
02	Read Input Status (1xxxx)	Δεν επιτρέπεται
03	Read Holding Registers (4xxxx)	Δεν επιτρέπεται
04	Read Input Registers (3xxxx)	Δεν επιτρέπεται
05	Write Single Coil (0xxxx)	Επιτρέπεται
06	Write Single Register (4xxxx)	Επιτρέπεται
15	Write Multiple Coils (0xxxx)	Επιτρέπεται
16	Write Multiple Registers (4xxxx)	Επιτρέπεται
08	Διαγνωστικά	Δεν επιτρέπεται

### 5.3.1.3 Φυσικό στρώμα

Σε ό,τι αφορά το φυσικό στρώμα, μια σύνδεση Modbus πρέπει να ακολουθεί το πρότυπο EIA/TIA-485 (RS485). Το πρότυπο αυτό επιτρέπει point-to-point (μεταξύ 2 σημείων) και multipoint (πολλαπλών σημείων: σύνδεση όπου πολλοί πομποί μπορούν να συνδεθούν σε πολλαπλούς δέκτες) συστήματα 2 αγωγών για Half-Duplex (μονόδρομη) σειριακή επικοινωνία. Με το RS485 μπορούμε να κατασκευάσουμε φθηνά τοπικά δίκτυα, κυρίως με τοπολογία διαύλου (bus), με τις ταχύτητες μεταφοράς δεδομένων να φθάνουν μέχρι και τα 35 Mbit/s για μέχρι 10 m και 100 Kbit/s για έως 1200 m. Η καλωδίωση γίνεται με RJ-45 ή D-Shell 9 ακροδέκτες.

### 5.3.2 Modbus TCP

Όταν τα μηνύματα Modbus στέλνονται χρησιμοποιώντας TCP (Transmission Control Protocol) και IP (Internet Protocol), υλοποιείται το πρωτόκολλο Modbus TCP. Το TCP προσθέτει πληροφορίες στο πακέτο του Modbus, και το IP με τη σειρά του τα οργανώνει σε ένα πακέτο το οποίο αποστέλλεται μέσω Ethernet (Σχήμα 5.8).

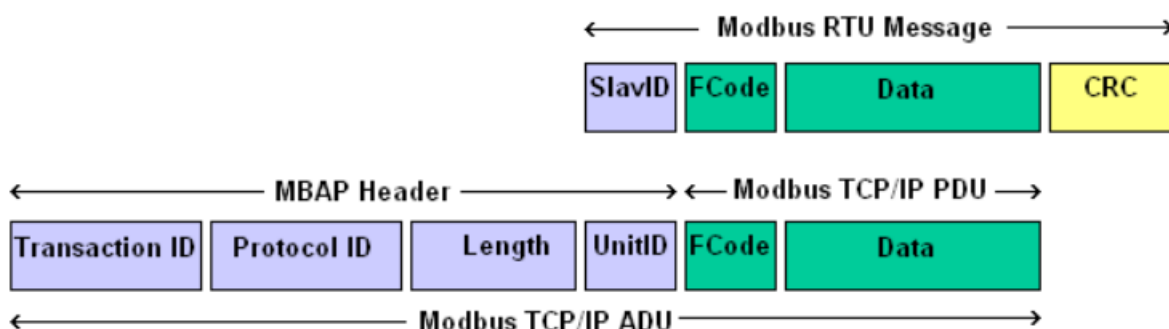


Σχήμα 5.8 Κατασκευή TCP/IP-Ethernet πακέτου δεδομένων Modbus

Η επικοινωνία μέσω Modbus TCP περιλαμβάνει δύο συσκευές Client-Server, που είτε είναι συνδεδεμένες και οι δύο σε ένα TCP/IP δίκτυο, ή η μια βρίσκεται σε υποδίκτυο σειριακής γραμμής και τα δύο δίκτυα συνδέονται με συσκευές όπως gateway (πύλη) ή bridge (γέφυρα).

### 5.3.2.1 Πακέτο μηνύματος – Επικεφαλίδα MBAP

Το Modbus TCP δεν είναι απλά ενθυλάκωση του Modbus/RTU πακέτου σε TCP και αποστολή μέσω Ethernet, αντί σειριακής γραμμής. Οι δύο τύποι του πρωτοκόλλου παρουσιάζουν διαφορές και στο περιεχόμενο του μηνύματος που θα σταλεί, όπως φαίνεται στο Σχήμα 5.9. Πιο συγκεκριμένα, αφαιρείται το πεδίο με το id του Slave, και το CRC. Το αποτέλεσμα που παράγεται ονομάζεται PDU (Protocol Data Unit). Στο PDU προστίθεται μια επικεφαλίδα, μεγέθους 7 bytes, η MBAP (Modbus Application Header) και έτσι προκύπτει το μήνυμα στο στρώμα εφαρμογής (ADU-Application Data Unit).



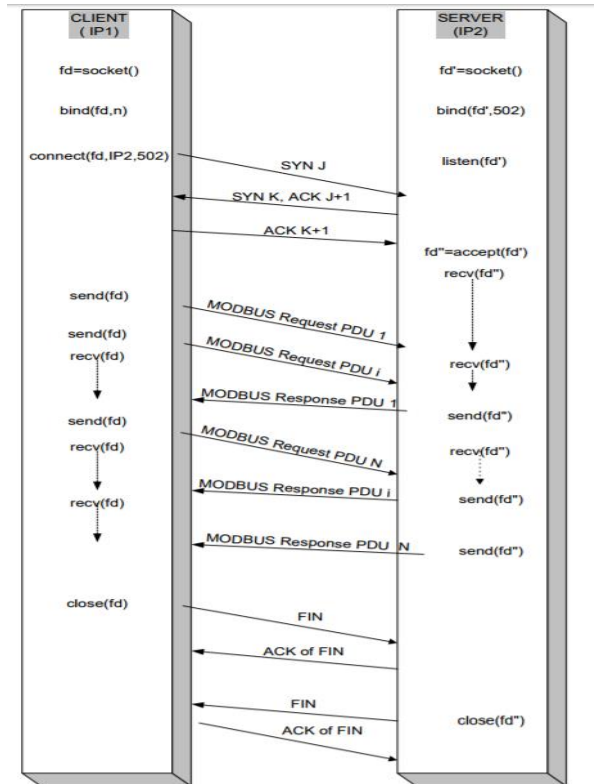
Σχήμα 5.9 Σύγκριση πακέτου Modbus RTU με πακέτο Modbus TCP

Η MBAP επικεφαλίδα αποτελείται από τα παρακάτω πεδία:

- Transaction Identifier (2 bytes): αρχικοποιούνται από τον Client, για να αναγνωρίζεται μοναδικά κάθε αίτημα. Ο Server αντιγράφει τα 2 bytes, καθώς η απάντηση μπορεί να μην παραληφθεί με την ίδια σειρά που στάλθηκε το αίτημα.
- Protocol Identifier (2 bytes): αρχικοποιούνται από τον Client στο 0, που είναι το πρωτόκολλο Modbus. Ο Server το αντιγράφει κατά την απάντηση.
- Length (2 bytes): σε αυτό το πεδίο ο Client καθορίζει το πόσα είναι τα bytes στα πεδία που ακολουθούν, συμπεριλαμβανομένου του πεδίου Unit Identifier και των πεδίων δεδομένων.
- Unit Identifier (1 byte): Αρχικοποιείται από τον Client και πρέπει να επιστραφεί από τον Server η ίδια τιμή. Χρησιμοποιείται για να επικοινωνήσει ένας Slave ενός σειριακού Modbus πρωτοκόλλου μέσω μορφοτροπέα (gateway) ανάμεσα σε ένα Ethernet TCP δίκτυο και μία σειριακή γραμμή Modbus.

### 5.3.2.2 Σύνδεση TCP (TCP Connection)

Ο Master δημιουργεί μια σύνδεση με τον Slave, με το δεύτερο να περιμένει πλέον αιτήσεις και να τις απαντάει μέχρι ο Master να αποστείλει σήμα διακοπής της σύνδεσης (Σχήμα 5.10). Αυτό οφείλεται στο ότι το TCP πρωτόκολλο είναι connection oriented. Κάθε Modbus κίνηση πραγματοποιείται μέσω TCP στην πόρτα 502.



Σχήμα 5.10 Έναρξη σύνδεσης, μεταφορά δεδομένων και τερματισμός σύνδεσης TCP

### 5.3.3 Μορφοτροπέας επικοινωνίας (Gateway)



Σχήμα 5.11 DigiOne IAP Haz

Το Digi One IAP Haz (Σχήμα 5.11, 5.12) υποστηρίζει πλήθος σειριακών και Ethernet πρωτοκόλλων, επιτρέποντας έτσι τη γεφύρωση σειριακών και Ethernet συσκευών. Επιτυγχάνει τη διασύνδεση Serial-to-Ethernet με μετατροπή πρωτοκόλλου. Έτσι, οποιαδήποτε σειριακή συσκευή μπορεί να αποκτήσει IP διεύθυνση και να αποτελέσει μέρος ενός Ethernet δικτύου. Το Digi One IAP Haz συνδυάζει έναν σειριακό Server με μια γέφυρα πρωτοκόλλου (protocol bridge). Οι εφαρμογές επικοινωνούν με τις σειριακές συσκευές είτε κάνοντας χρήση TCP/UDP, ή της θύρας COM RealPort της Digi, δηλαδή μιας εικονικής σειριακής θύρας, που δημιουργείται μέσω λογισμικού που προσφέρει το μοντέλο.

Τα χαρακτηριστικά του είναι:

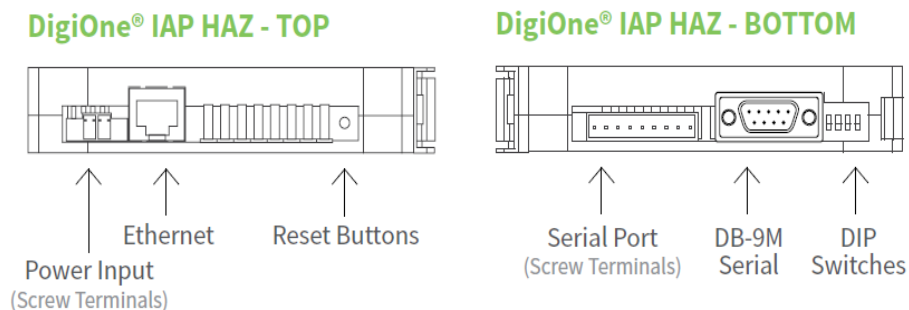
- Τάση εισόδου : 9-30 VDC
- Ρεύμα εισόδου : 0.5 A μέγιστο
- Διαχείριση : παραμετροποίηση μέσω HTTP
- Πρωτόκολλα : Telnet, Reverse Telnet, RFC2217, TCP/UDP Socket Services, PPP, DHCP/RARP, ARP-Ping, στατική IP για IP ανάθεση, υποστήριξη για 64 ταυτόχρονες συνδέσεις socket, ASCII, DF1, Modbus RTU/ASCII, Modbus/TCP, EtherNet/IP, Allen-Bradley Ethernet. Όλες οι υποστηριζόμενες μετατροπές πρωτοκόλλων παρατίθενται στον Πίνακα 5-3.
- Λογισμικό : RealPort® για COM/TTY θύρες
- Ασφάλεια : SSHv2, SSL, TLS, HTTPS
- Λειτουργικό σύστημα: AIX, HP-UX, Solaris, Linux, και η οικογένεια συστημάτων Windows.
- Έλεγχος ροής μέσω Hardware
- 6 ms χρόνος καθυστέρησης για serial over Ethernet
- Θερμοκρασία λειτουργίας : -35 °C – +74 °C

Διεπαφές:

- Σειριακές πόρτες: 1 RS-232/422/485, επιλογή με διακόπτη
- Ρυθμός απόδοσης (throughput) σειριακού μέχρι 230 Kbps
- Ethernet φυσικό επίπεδο: 10/100Base-T

**Πίνακας 5-3 Υποστηριζόμενες μετατροπές πρωτοκόλλων του Digi One**

Slave \ Master	Modbus RTU	Modbus serial	Modbus TCP	DF1	A-B Ethernet	Ethernet/IP	ASC11
Modbus serial	-	NAI	NAI	NAI	NAI	NAI	NAI
Modbus TCP	NAI	NAI	-	NAI	NAI	NAI	NAI
DF1	NAI	NAI	NAI	-	NAI	NAI	NAI
A-B Ethernet	NAI	NAI	NAI	NAI	-	NAI	NAI
Ethernet/IP	NAI	NAI	NAI	NAI	NAI	-	NAI
ASC11	OXI	OXI	OXI	OXI	OXI	OXI	-



**Σχήμα 5.12 Άποψη του Digi One από α) πάνω και β) κάτω**

## 5.4 Διαμόρφωση του δικτύου της εργασίας

### 5.4.1 Απόδοση IP διευθύνσεων

Η διαμόρφωση των συσκευών για τη μεταξύ τους επικοινωνία περιλαμβάνει αρχικά την ένταξη τους στο LAN. Ορίζουμε αυθαίρετα ως σύμβαση ότι οι συσκευές θα πάρουν διεύθυνση στο εύρος 192.168.1.1 ως 192.168.1.255.

Σαν πρώτο βήμα, ορίζουμε τη διεύθυνση του MicroLogix 1400 σε 192.168.1.12 από την LCD οθόνη που έχει ενσωματωμένη.

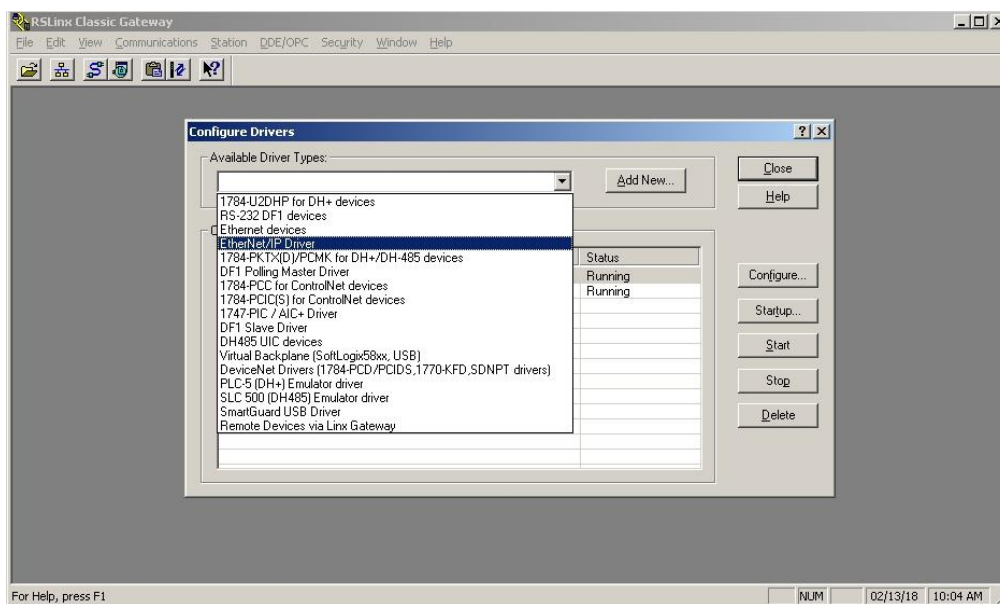
➤ ESC → Advanced Settings → ENET Configuration → IP Address

Αμέσως μετά θέτουμε τη διεύθυνση στο laptop pc, στο οποίο υπάρχουν εγκατεστημένα τα λογισμικά: CIMPLICITY, RSLogix 500 και RSLinx. Δίνουμε σε αυτό την διεύθυνση 192.168.1.15. Τέλος μέσω PUTTY ορίζουμε την διεύθυνση του Digi One IAP Haz σε 192.168.1.10. Ανακεφαλαιώνοντας έχουμε:

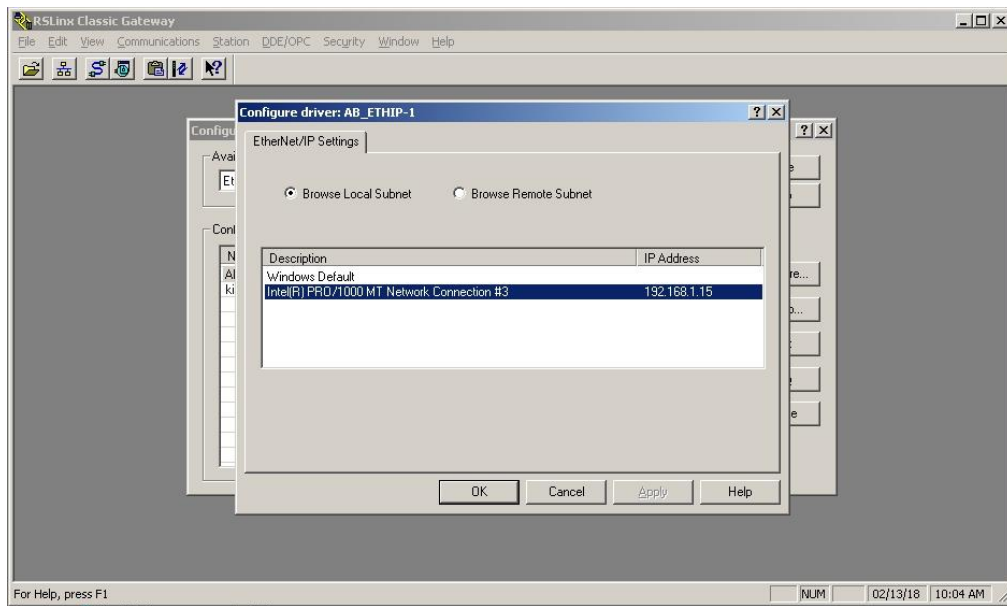
- Laptop PC: 192.168.1.15
- MicroLogix 1400: 192.168.1.12
- DigiOne IAP Haz: 192.168.1.10

### 5.4.2 Ρύθμιση RSLinx και καναλιών του PLC

Για να πραγματοποιηθεί η σύνδεση με το MicroLogix, χρειάζεται η παραμετροποίηση του RSLinx. Όπως φαίνεται στο Σχήμα 5.13, πατάμε στο Menu Communications → Configure Drivers... και στη συνέχεια επιλέγουμε τον Driver για Ethernet/IP, και πατάμε το button Add New...

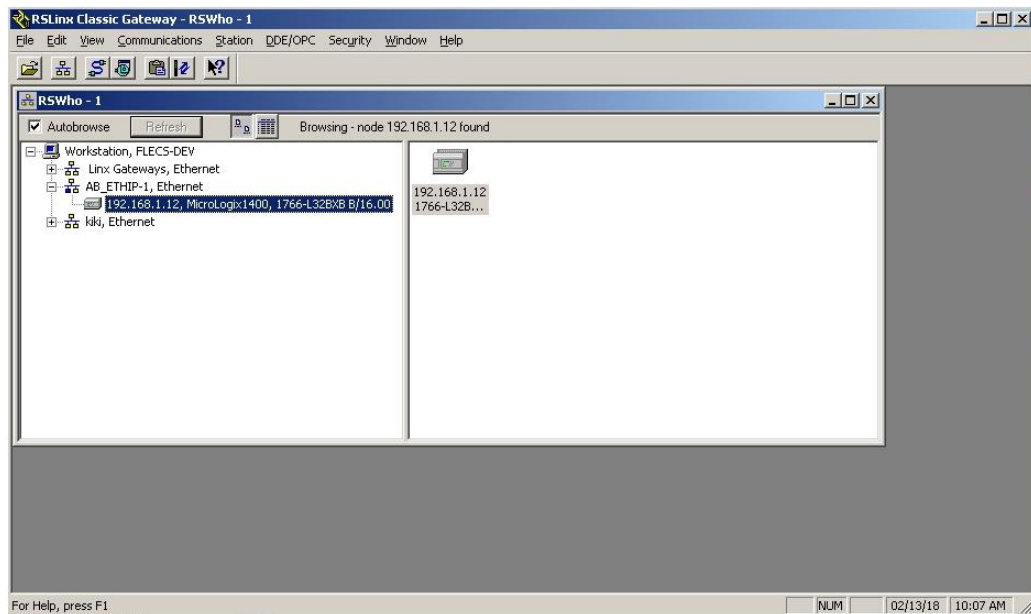


Σχήμα 5.13α Προσθήκη driver στον RSLinx



**Σχήμα 5.13β Προσθήκη driver στον RSLinx**

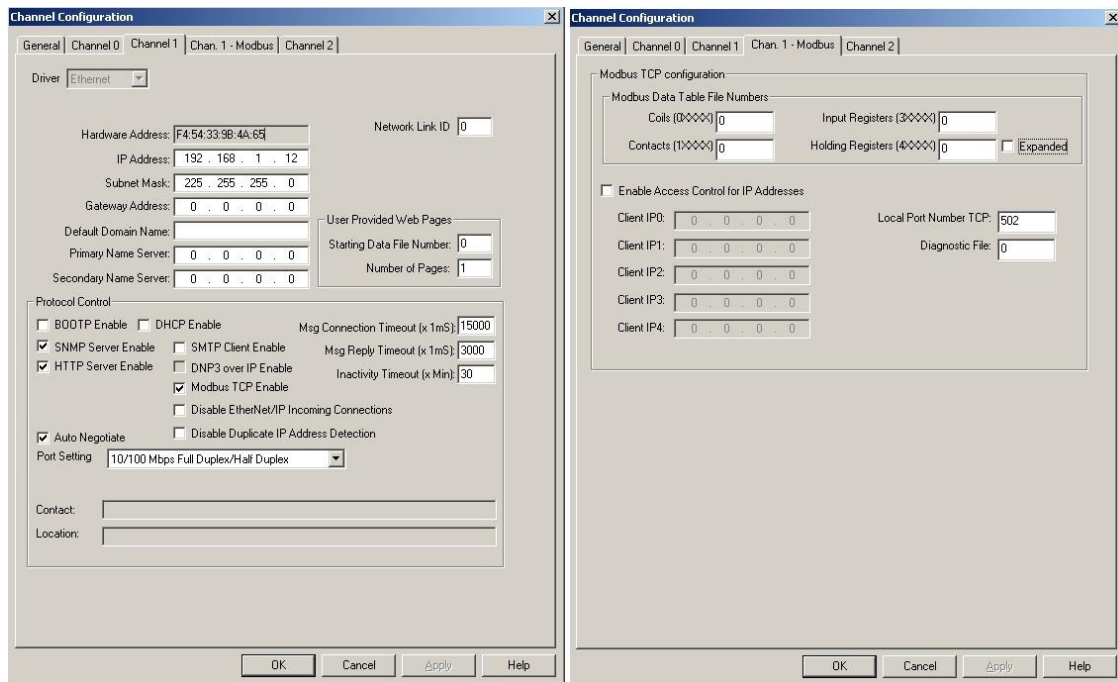
Το MicroLogix είναι πλέον ορατό στο λογισμικό, όπως βλέπουμε στο Σχήμα 5.14.



**Σχήμα 5.14 Εμφάνιση PLC στο δίκτυο**

Στη συνέχεια παραμετροποιούμε τα κανάλια του PLC για επικοινωνία μέσω του RSLogix 500. Στο Channel 1, που αφορά την επικοινωνία στη θύρα Ethernet, θα πρέπει να ενεργοποιήσουμε το Modbus TCP, για την επικοινωνία με το inverter. Θα εμφανιστεί μια νέα καρτέλα με όνομα Chan.1-Modbus. Όλες οι ρυθμίσεις φαίνονται στο Σχήμα 5.15.

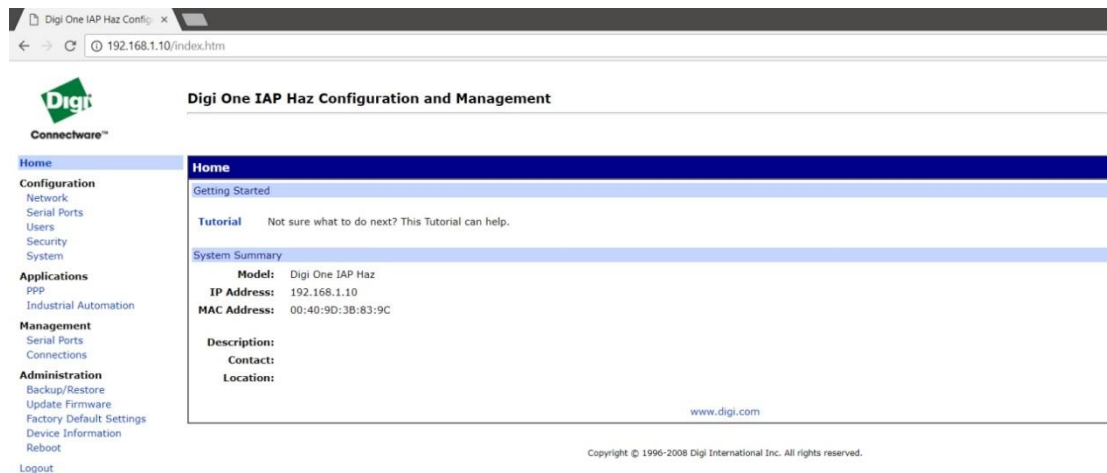




Σχήμα 5.15 Καρτέλες (tabs) για την παραμετροποίηση του καναλιού Ethernet του ML 1400

### 5.4.3 Παραμετροποίηση Digi One gateway

Συνεχίζουμε με την παραμετροποίηση του gateway. Το Digi One IAP έχει τη δυνατότητα διαμόρφωσης μέσω web interface. Πληκτρολογούμε στον browser της επιλογής μας την διεύθυνση του και μεταβαίνουμε στην αρχική του σελίδα (Σχήμα 5.16).



Σχήμα 5.16 Αρχική σελίδα web interface του gateway

Σετάρουμε τις κατάλληλες ρυθμίσεις για τη σειριακή θύρα η οποία θα συνδεθεί με το inverter, αλλά και τη θύρα Ethernet που συνδέεται με το MicroLogix 1400. Ορίζουμε λοιπόν ρυθμίσεις για Slave (Σχήμα 5.17) και Master (Σχήμα 5.18).

Home

**Configuration**  
 Network  
 Serial Ports  
 Users  
 Security  
 System

**Applications**  
 PPP  
**Industrial Automation**

**Management**  
 Serial Ports  
 Connections

**Administration**  
 Backup/Restore  
 Update Firmware  
 Factory Default Settings  
 Device Information  
 Reboot

### Serial Slave Configuration - Port 1

**Port Settings**

Protocol: Modbus/RTU

Description:

Baud Rate: 19200

Data Size: 8

Parity: Even

Stop Bits: 1

Flow Control: None

[Protocol Settings](#)

[Advanced Settings](#)

Σχήμα 5.17 Παραμετροποίηση σειριακής θύρας του Digi One

Home

**Configuration**  
 Network  
 Serial Ports  
 Users  
 Security  
 System

**Applications**  
 PPP  
**Industrial Automation**

**Management**  
 Serial Ports  
 Connections

**Administration**  
 Backup/Restore  
 Update Firmware  
 Factory Default Settings  
 Device Information  
 Reboot

### Industrial Automation

[Serial Slaves](#)

[Serial Masters](#)

**Network Masters**

Enable	Protocol	Transport	Port	Action
<input type="checkbox"/>	Allen-Bradley Ethernet	TCP	2222	Reset
<input type="checkbox"/>	EtherNet/IP	TCP	44818	Reset
<input checked="" type="checkbox"/>	Modbus/TCP	TCP	502	Reset
<input type="checkbox"/>	<span style="border: 1px solid gray; padding: 2px;">Modbus/RTU</span>	<span style="border: 1px solid gray; padding: 2px;">TCP</span>	<span style="border: 1px solid gray; padding: 2px;">0</span>	<input type="button" value="Add..."/>

[Destination Tables \(Packet Routing\)](#)

Σχήμα 5.18 Ρυθμίσεις της θύρας Ethernet του Digi One

Από το web interface παίρνουμε τελικά τις πληροφορίες όπως τις ορίσαμε για τη διαμόρφωση της πόρτας, για τα πακέτα, καθώς και κάποια στατιστικά (Σχήμα 5.19).

### Serial Port Diagnostics - Port 1

**Configuration**

<b>Profile:</b> Industrial Automation	<b>Port Type:</b> RS-422/RS-485
<b>Baud Rate:</b> 19200 bps	<b>Duplex:</b> Half
<b>Data Bits:</b> 8	<b>Mode:</b> Two-wire
<b>Parity:</b> Even	<b>Termination:</b> Un-terminated
<b>Stop Bits:</b> 1	
<b>Flow Control:</b> None	

**Signals**

RTS	CTS	DTR	DSR	DCD	IFC	OFC
<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

**Serial Statistics**

<b>Total Data In:</b> 5612 bytes	<b>Parity Errors:</b> 0
<b>Total Data Out:</b> 5744 bytes	<b>Framing Errors:</b> 0
	<b>Overrun Errors:</b> 0

Σχήμα 5.19 Επισκόπηση ρυθμίσεων και πληροφορίες δικτύου (web interface - Digi)

#### 5.4.4 Ρύθμιση παραμέτρων δικτύου του inverter

Τέλος, αντίστοιχες ρυθμίσεις πραγματοποιούνται στις παραμέτρους του drive. Για την έναρξη της επικοινωνίας με το δίκτυο δίνουμε τιμή στις παραμέτρους από το operation panel. Μετά την επίτευξη της επικοινωνίας, κάθε άλλη παράμετρος ρυθμίζεται από το HMI.

Παράμετρος 549 – επιλογή πρωτοκόλλου: 1 (Modbus RTU)

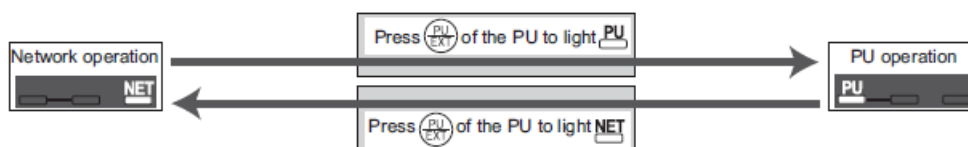
Παράμετρος 117 – ID Slave: 20 (θα μπορούσε να έχει οποιαδήποτε τιμή 1-247, λόγω δοκιμών επιλέχτηκε η τιμή 20)

Παράμετρος 118 – ταχύτητα επικοινωνίας: 192 (19.2 Kbps)

Παράμετρος 120 – Parity Check: 2 (even parity check – 1 bit stop bit)

Οι υπόλοιπες παράμετροι που αφορούν Modbus RTU επικοινωνία (122 – check time interval, 343 – error count, 502 – επιλογή λειτουργίας μετά από σφάλμα επικοινωνίας) παραμένουν στις αρχικές τους τιμές.

Επίσης, φροντίζουμε κατά την έναρξη τροφοδοσίας του inverter, να περιμένει εντολές και ρυθμίσεις μέσω δικτύου και όχι μέσω του operation panel, θέτοντας την παράμετρο 340 ίση με 10 και την 79 ίση με 6 για να μπορεί να γίνεται εναλλαγή NET και operation panel κατά τη λειτουργία του inverter (Σχήμα 5.20).



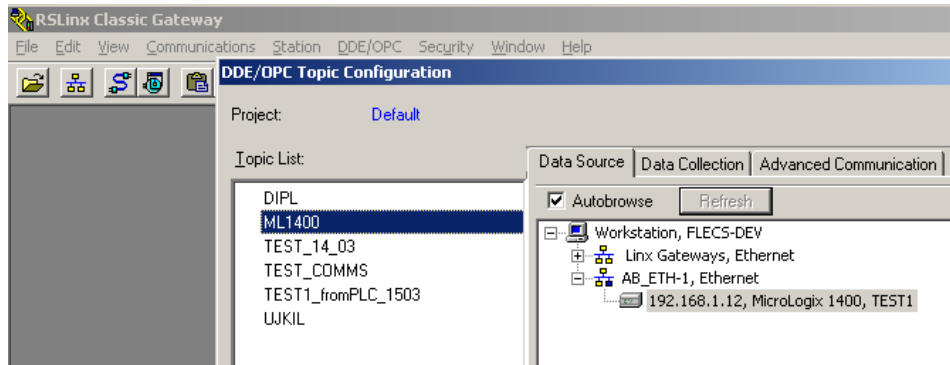
Σχήμα 5.20 Λειτουργία NET και PU του inverter

#### 5.4.5 Ρύθμιση OPC Client στο SIMPLICITY

Για να γίνουν τα δεδομένα διαθέσιμα στο HMI επιλέχθηκε το πρότυπο OPC (Open Platform Communications), ένα πρότυπο αρκετά διαδεδομένο στον τομέα των βιομηχανικών αυτοματισμών το οποίο προσφέρει ασφαλή και αξιόπιστη ανταλλαγή δεδομένων μεταξύ των συσκευών του δικτύου. Αποτελείται από μια σειρά από προδιαγραφές οι οποίες αναπτύχθηκαν τόσο από τους προμηθευτές και τους προγραμματιστές αλλά και τους τελικούς χρήστες. Οι προδιαγραφές αυτές, ορίζουν τη διεπαφή μεταξύ Client-Server (μοντέλο εργασίας) ή Server-Server και περιλαμβάνουν την πρόσβαση σε real-time δεδομένα, την παρακολούθηση ενεργών σφαλμάτων, την πρόσβαση σε ιστορικά δεδομένα κ.α.

Η εμφάνιση του OPC έγινε το 1996 και στόχευε στην τυποποίηση ορισμένων πρωτοκόλλων όπως τα Modbus, Profibus ώστε να γίνει επιτρεπτό σε ένα HMI/SCADA σύστημα, να συνδέεται με έναν ενδιάμεσο OPC Server ο οποίος θα μετατρέπει τα σήματα ανάγνωσης/εγγραφής από και προς τη συσκευή. Ενώ η αρχική σκέψη ήταν να καλύψει τις ανάγκες μόνο για το λειτουργικό σύστημα Windows της εταιρείας Microsoft, πλέον με την δημιουργία του προτύπου OPC UA επεκτείνεται η χρήση του και σε άλλες πλατφόρμες, ειδικά σχεδιασμένες για τον τομέα των αυτοματισμών.

Το ρόλο του OPC Server θα παίξει ο RSLinx. Από το μενού επιλέγουμε DDE/OPC → Topic Configuration. Στο νέο παράθυρο που θα ανοίξει (Σχήμα 5.21), επιλέγουμε το PLC και δίνουμε το όνομα (ML1400) το οποίο θα βλέπει ο OPC Client για να πραγματοποιήσει σύνδεση.

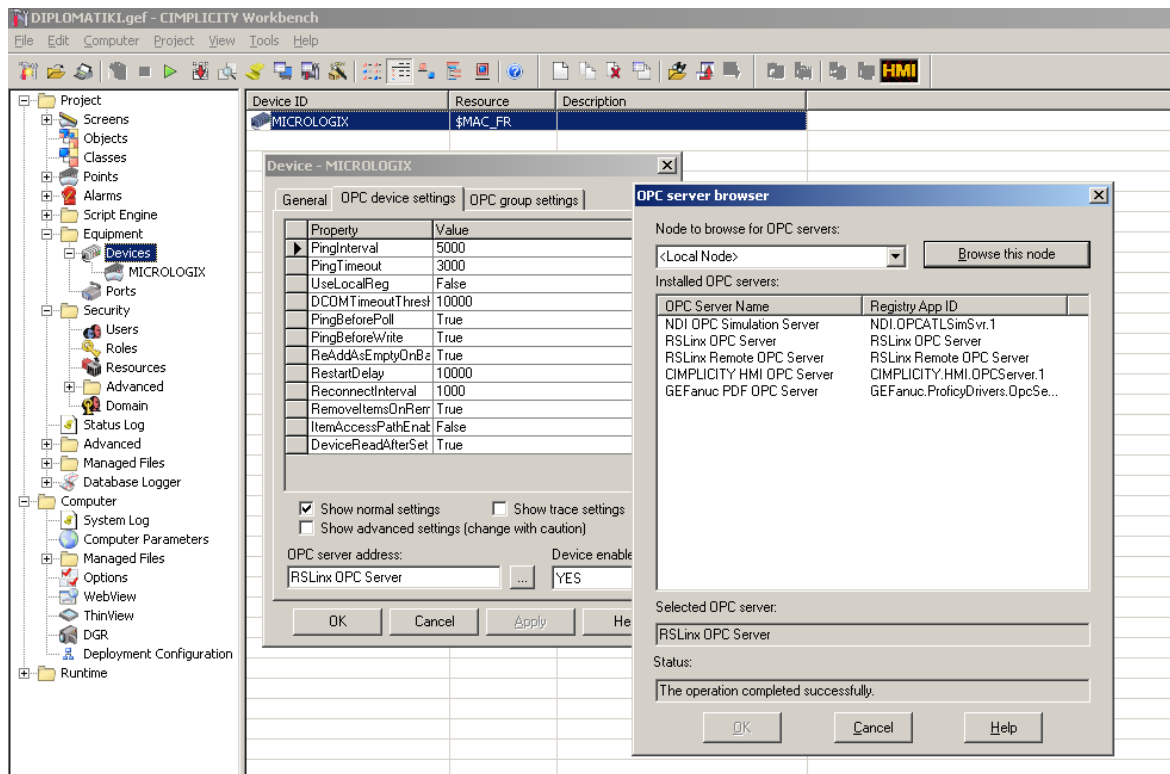


Σχήμα 5.21 RSLinx – OPC Topic Configuration

Ο OPC Client είναι το ίδιο το CIMPLICITY. Αρχικά θα πρέπει να γίνει ορισμός του Port, δηλαδή του τρόπου επικοινωνίας για σύνδεση μιας συσκευής στο CIMPLICITY.

➤ Equipment → Ports → New → Protocol: OPCCLIENT

Έπειτα στο Port που δημιουργήσαμε, θα συνδέσουμε μια Συσκευή (Device). Στο νέο Device δίνουμε όνομα (MICROLOGIX) και προσδιορίζουμε μέσω ποιου OPC Server θα ανταλλάσσουμε δεδομένα, από το OPC Device Settings. Οι ρυθμίσεις αυτές συνοψίζονται στο Σχήμα 5.22.



Σχήμα 5.22 OPC Device Settings

Η σύνδεση πλέον είναι επιτυχής: CIMPLICITY (OPC Client) ↔ RSLinx Gateway (OPC Server) ↔ PLC.

# 6 Αναλυτική περιγραφή διάταξης προς αυτοματοποίηση

## 6.1 Συνοπτικό σχέδιο - Τρόπος λειτουργίας και ελέγχου

Για τις ανάγκες της εργασίας και προκειμένου να βρουν εφαρμογή ο αυτοματισμός αλλά και η απεικόνιση των συστημάτων σε HMI, έχει υλοποιηθεί κατασκευή η οποία αποτελείται από δύο δεξαμενές, μία αντλία με inverter, καθώς και τις απαραίτητες βάνες. Η μία δεξαμενή έχει βοηθητικό ρόλο για την αποθήκευση του υγρού και είναι υπεύθυνη για την τροφοδοσία της κύριας δεξαμενής μέσω του αυτοματισμού. Στο Σχήμα 6.1 παρουσιάζεται το διάγραμμα P&ID της διάταξης μας.

Οι δύο δεξαμενές είναι τοποθετημένες έχοντας υψομετρική διαφορά με τη βοηθητική (TANK2) να βρίσκεται χαμηλότερα. Η τροφοδοσία της κύριας δεξαμενής (TANK1) γίνεται μέσω της αντλίας (Mo1) η οποία αναρροφά από τη δεξαμενή TANK2. Η λειτουργία της αντλίας Mo1 γίνεται με κινητήρα ρυθμιζόμενων στροφών ο οποίος εντέλλεται βάσει του μεταδότη στάθμης (LT001 – Level Transmitter) της δεξαμενής TANK1, στέλνοντας στο inverter σήμα ώστε να ρυθμιστούν κατάλληλα οι στροφές του κινητήρα. Παράλληλα με την αντλία Mo1, υπάρχει χειροκίνητη βάνα για μηχανική ρύθμιση παροχής της αντλίας ώστε να ρυθμιστεί η μηχανική απόδοσή της για να ταιριάζει στο δοκίμιο.

Στις περιπτώσεις που πρέπει να μειωθεί το υγρό της δεξαμενής TANK1, αυτό επιστρέφει στη δεξαμενή TANK2 μέσω της ρυθμιστικής βάνας MV1 (παίζει το ρόλο κατανάλωσης νερού), ορίζοντας επιθυμητή παροχή αδειάσματος χειροκίνητα. Άδειασμα της δεξαμενής TANK1 πραγματοποιείται είτε όταν η TANK1 γεμίσει ή όταν θέλουμε στα πλαίσια του πειράματος να κατεβάσουμε το επίπεδο της στάθμης για να ελέγξουμε τη σωστή λειτουργία του αυτοματισμού.

Ο χρήστης μπορεί να εκκινήσει την αντλία από την οθόνη, μόνο αν δεν υπάρχει γενικό σφάλμα στην αντλία και αν η στάθμη της TANK1 δεν έχει περάσει το υψηλό όριο. Για όση διάρκεια λειτουργεί η αντλία, ο χειριστής επιλέγει το επίπεδο στάθμης που επιθυμεί (σε cm) και η στάθμη ελέγχεται αυτόματα (μέσω αλγορίθμου PID). Συγκεκριμένα, ο αλγόριθμος υπολογίζει την κατάλληλη συχνότητα με την οποία θα πρέπει να δουλεύει η αντλία, για να διατηρείται η στάθμη στο ορισμένο από το χειριστή επίπεδο. Όμως, ο χρήστης έχει και τη δυνατότητα, να ορίσει τις στροφές του κινητήρα πληκτρολογώντας τιμή επί τοις εκατό. Σε αυτή την περίπτωση, ο αλγόριθμος PID σταματά (βρισκόμαστε σε χειροκίνητη λειτουργία). Για λόγους ασφαλείας και ομαλής λειτουργίας, η αντλία θα δουλεύει στο 40-90%. Η αντλία θα σταματά είτε από εντολή του χρήστη, είτε λόγω σφάλματος. Σε περίπτωση σφάλματος θερμικού του κινητήρα, η λειτουργία του θα επιτρέπεται να ξεκινήσει μόνο αφού γίνει εκκαθάριση του σφάλματος.

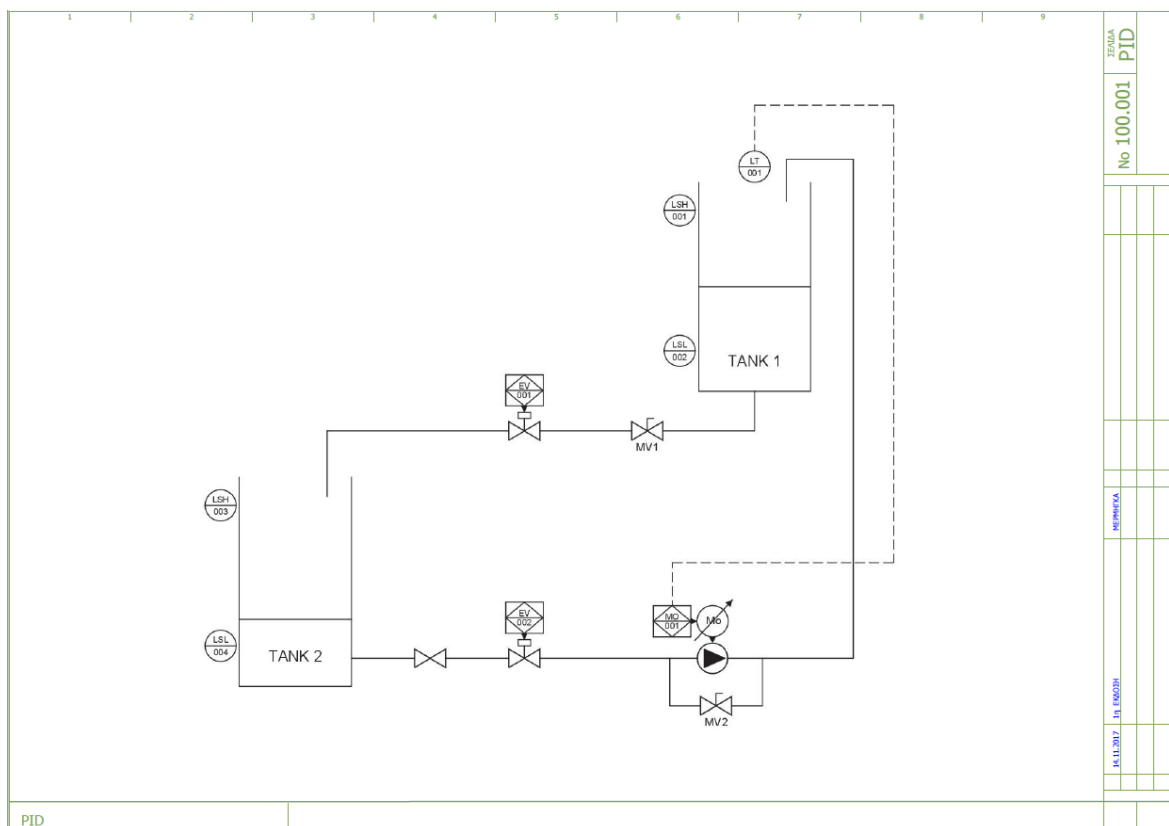
Φυσικά ο χρήστης μπορεί μέσω οθόνης να ρυθμίσει όλες τις παραμέτρους του inverter, οι οποίες βρίσκονται στον Πίνακα 2-2.

Για την ασφάλεια της εγκατάστασης ακολουθούνται και εφαρμόζονται τα εξής μέτρα:

- LSH001 - Διακόπτης πολύ υψηλής στάθμης TANK1: Όταν ενεργοποιηθεί ο διακόπτης τότε εμφανίζεται κόκκινο σφάλμα «Πολύ υψηλή στάθμη δεξαμενής TANK1» και χρωματίζεται κόκκινο το εικονίδιο στην οθόνη, ενώ δίνεται εντολή σταματήματος της αντλίας και

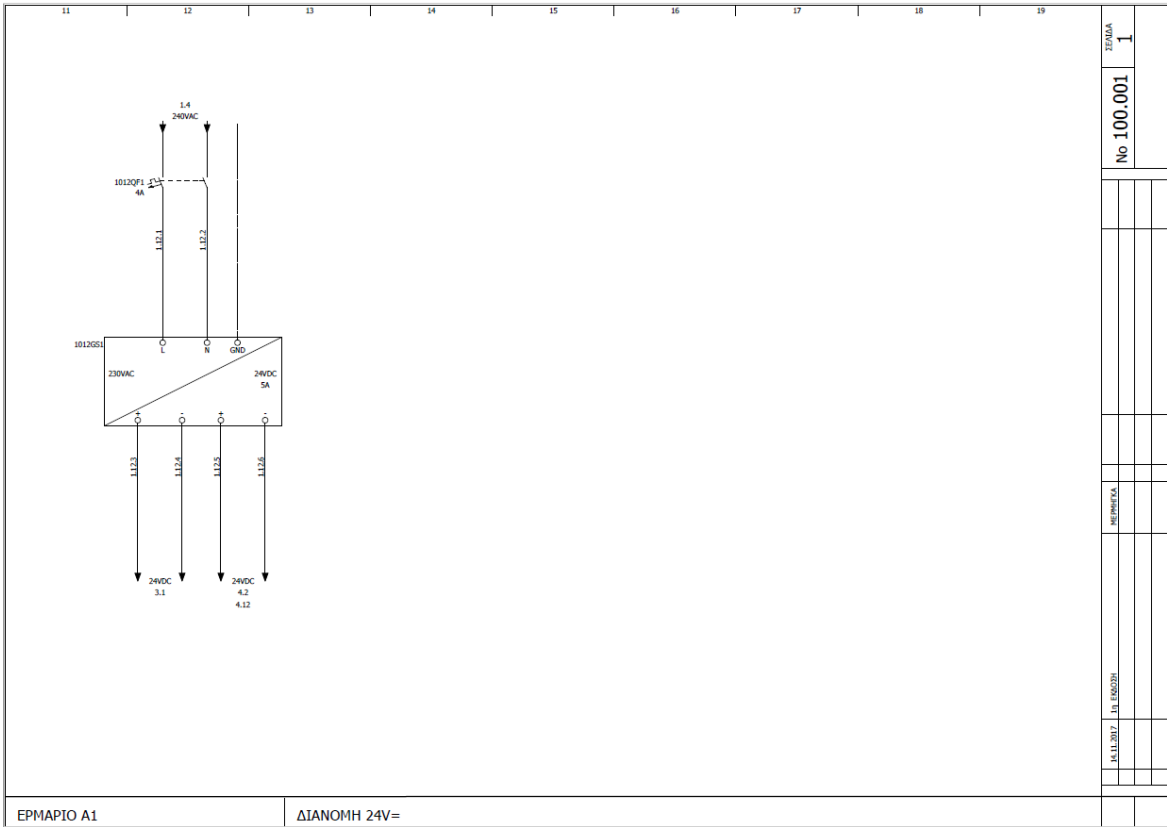
κλεισίματος της βάνας ασφαλείας EV002. Ο χειριστής θα μπορεί να ξεκινήσει την αντλία και τη βάνα αφού το σφάλμα σταματήσει να υφίσταται.

- LSL002 - Διακόπτης πολύ χαμηλής στάθμης TANK1: Όταν ενεργοποιηθεί ο διακόπτης τότε εμφανίζεται κόκκινο σφάλμα «Πολύ χαμηλή στάθμη δεξαμενής TANK1» και χρωματίζεται κόκκινο το εικονίδιο στην οθόνη.
- LSH003 - Διακόπτης πολύ υψηλής στάθμης TANK2: Όταν ενεργοποιηθεί ο διακόπτης τότε εμφανίζεται κόκκινο σφάλμα «Πολύ υψηλή στάθμη δεξαμενής TANK2» και χρωματίζεται κόκκινο το εικονίδιο στην οθόνη, ενώ δίνεται εντολή κλεισίματος της βάνας ασφαλείας EV001. Ο χειριστής θα μπορεί να ανοίξει τη βάνα μόνο όταν δεν υπάρχει το σφάλμα.
- LSL004 - Διακόπτης πολύ χαμηλής στάθμης TANK2: Όταν ενεργοποιηθεί ο διακόπτης τότε εμφανίζεται κόκκινο σφάλμα «Πολύ χαμηλή στάθμη δεξαμενής TANK2» και χρωματίζεται κόκκινο το εικονίδιο στην οθόνη, ενώ θα δίνεται εντολή σταματήματος της αντλίας και κλεισίματος της βάνας ασφαλείας EV002. Ο χειριστής θα μπορεί να ξεκινήσει την αντλία και να ανοίξει τη βάνα αφού σταματήσει να υφίσταται.
- LT001 - Αναλογική μέτρηση στάθμης. Ορίζουμε υψηλό και χαμηλό όριο και εμφανίζεται κίτρινο σφάλμα «Υψηλή στάθμη δεξαμενής TANK1» «Χαμηλή στάθμη δεξαμενής TANK1» αντίστοιχα.
- Βάνα απομόνωσης TANK2 – Με το κλείσιμο της γίνεται απομόνωση της δεξαμενής TANK2 από το υπόλοιπο δίκτυο. Χρησιμοποιείται για λόγους συντήρησης και ασφάλειας.
- EV001, EV002 – Μπορούμε μέσω HMI να εντέλουμε τις βάνες αυτές όταν κριθεί απαραίτητο σαν μια πρόσθετη δικλείδα ασφαλείας.

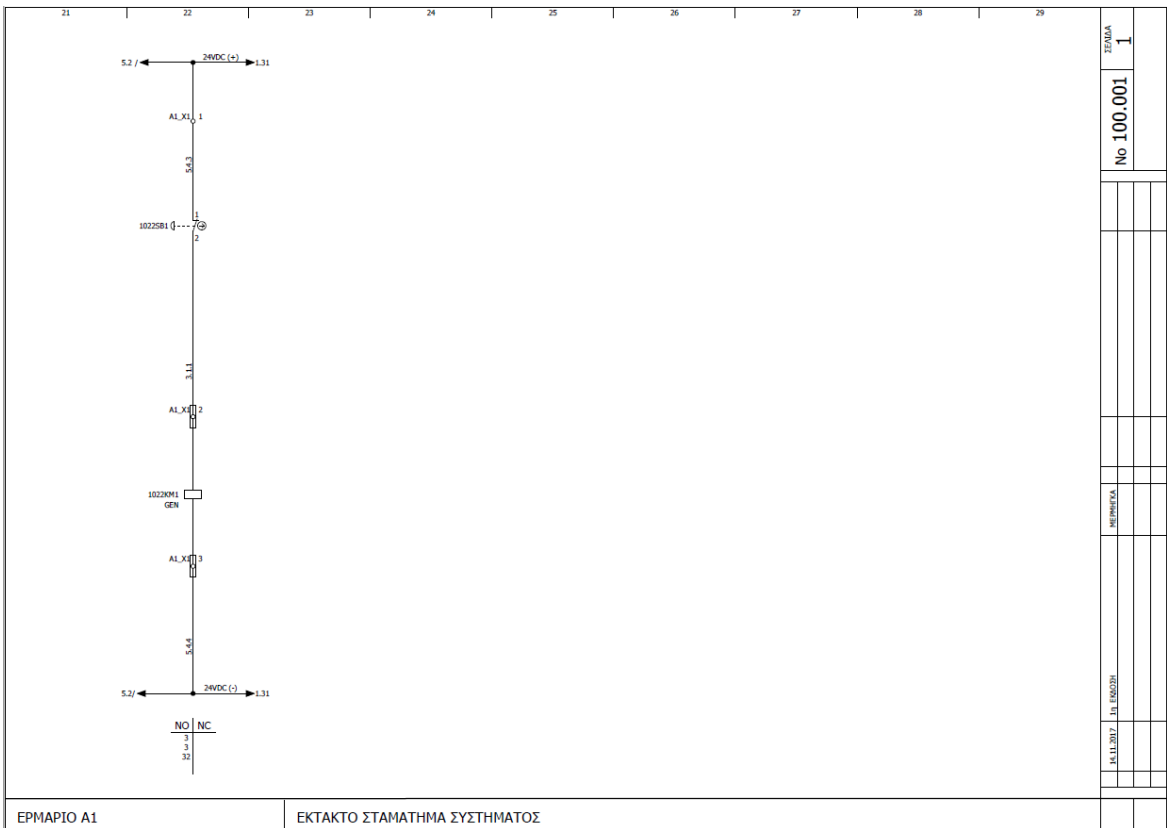


Σχήμα 6.1 Διάγραμμα P&ID της προς αυτοματισμό εγκατάστασης



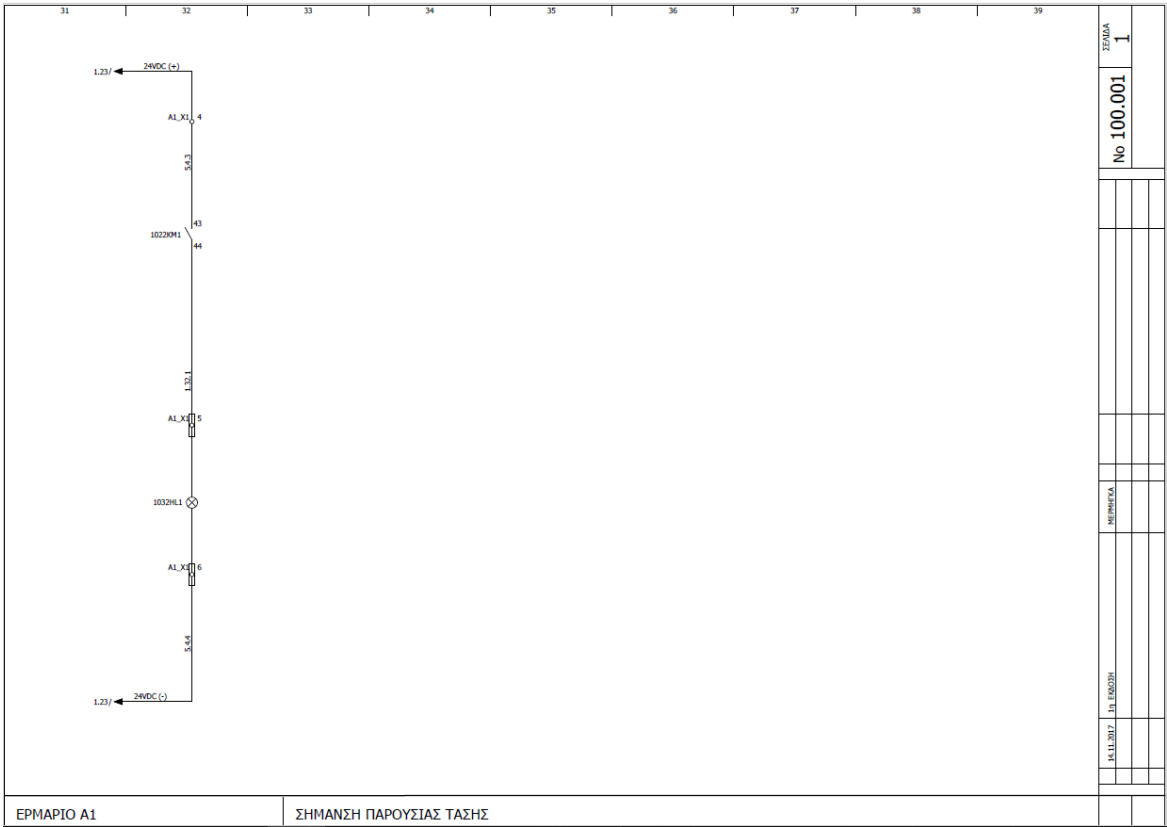


**Σχήμα 6.3 Διανομή 24V Ερμάριο Α1**

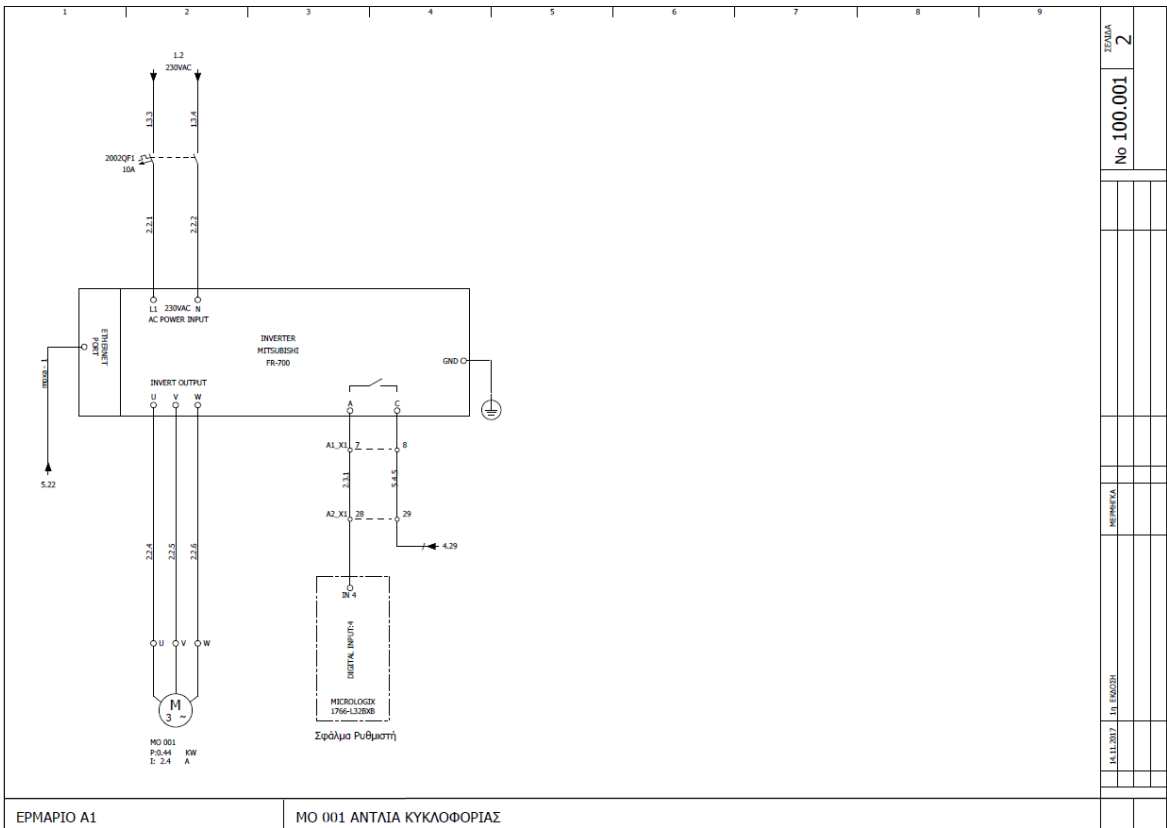


**Σχήμα 6.4 Κύκλωμα ελέγχου- Έκτακτο σταμάτημα συστήματος**

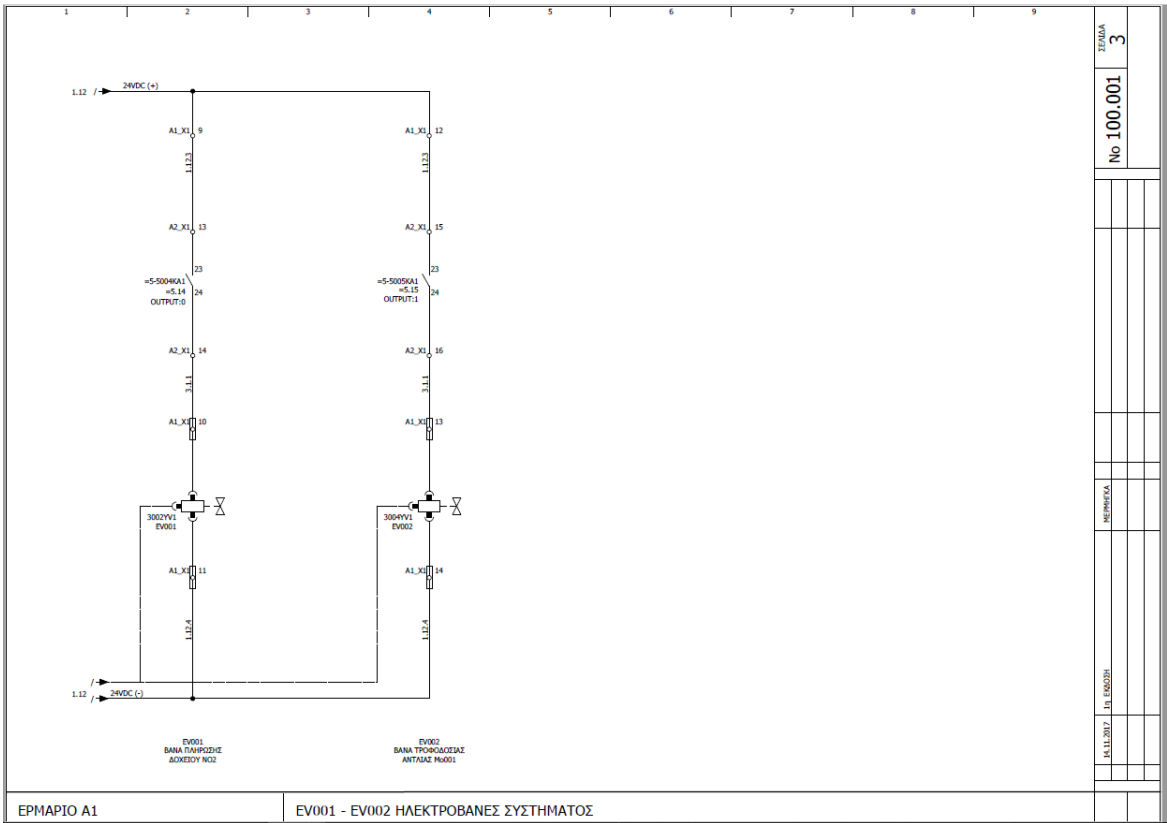




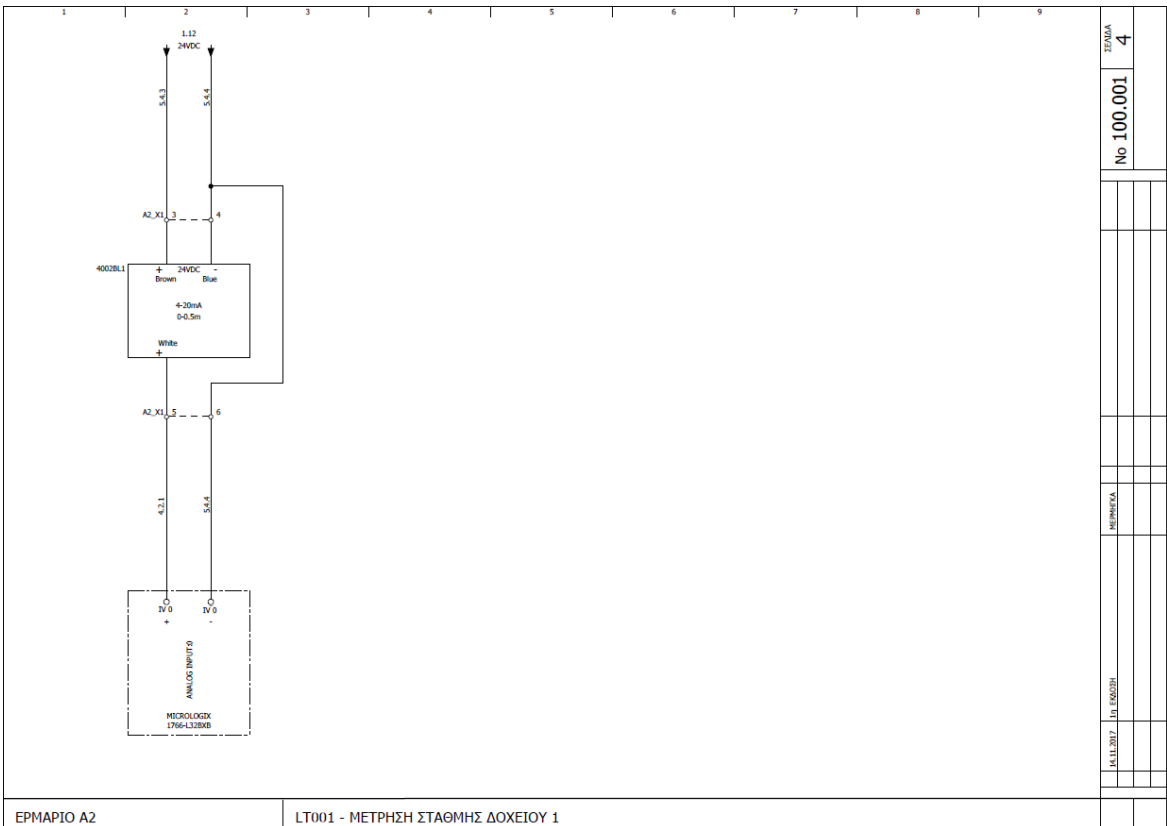
Σχήμα 6.5 Κύκλωμα σήμανσης παρουσίας τάσης



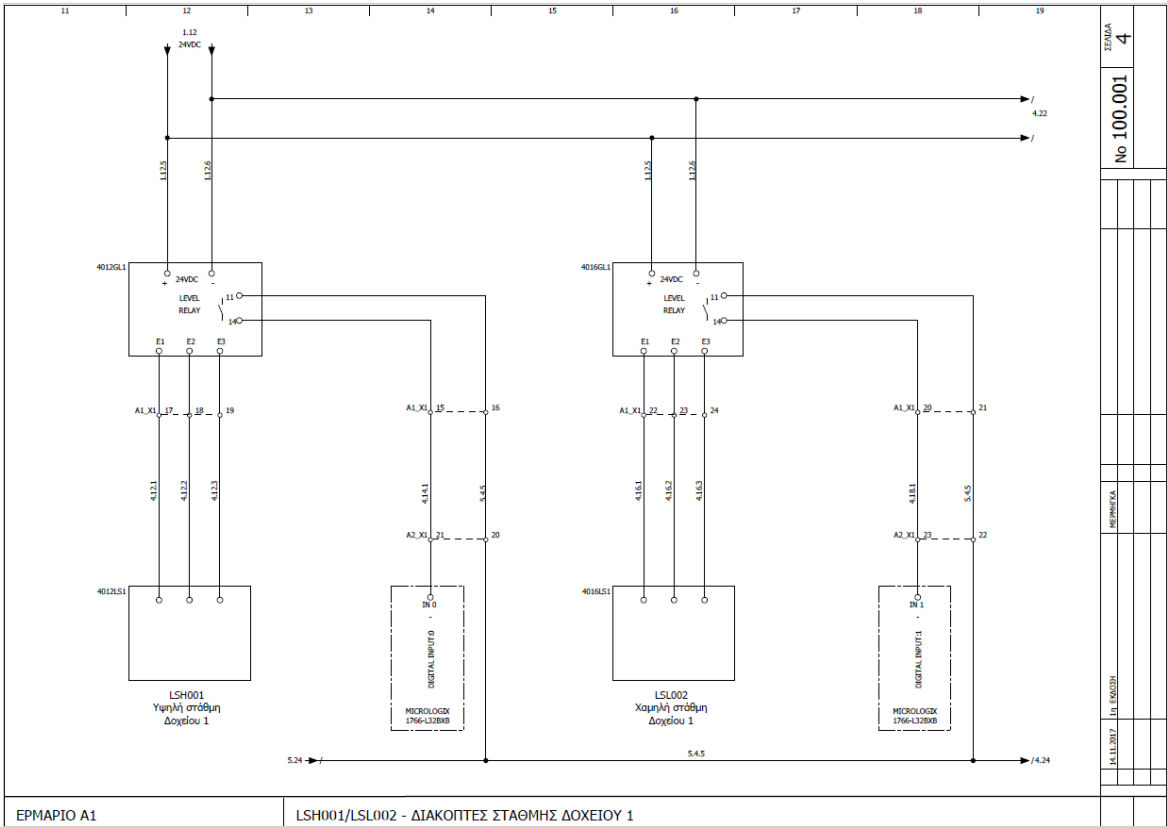
Σχήμα 6.6 Κύκλωμα τροφοδοσίας 230 VAC - ΜΟ001 αντλία κυκλοφορίας



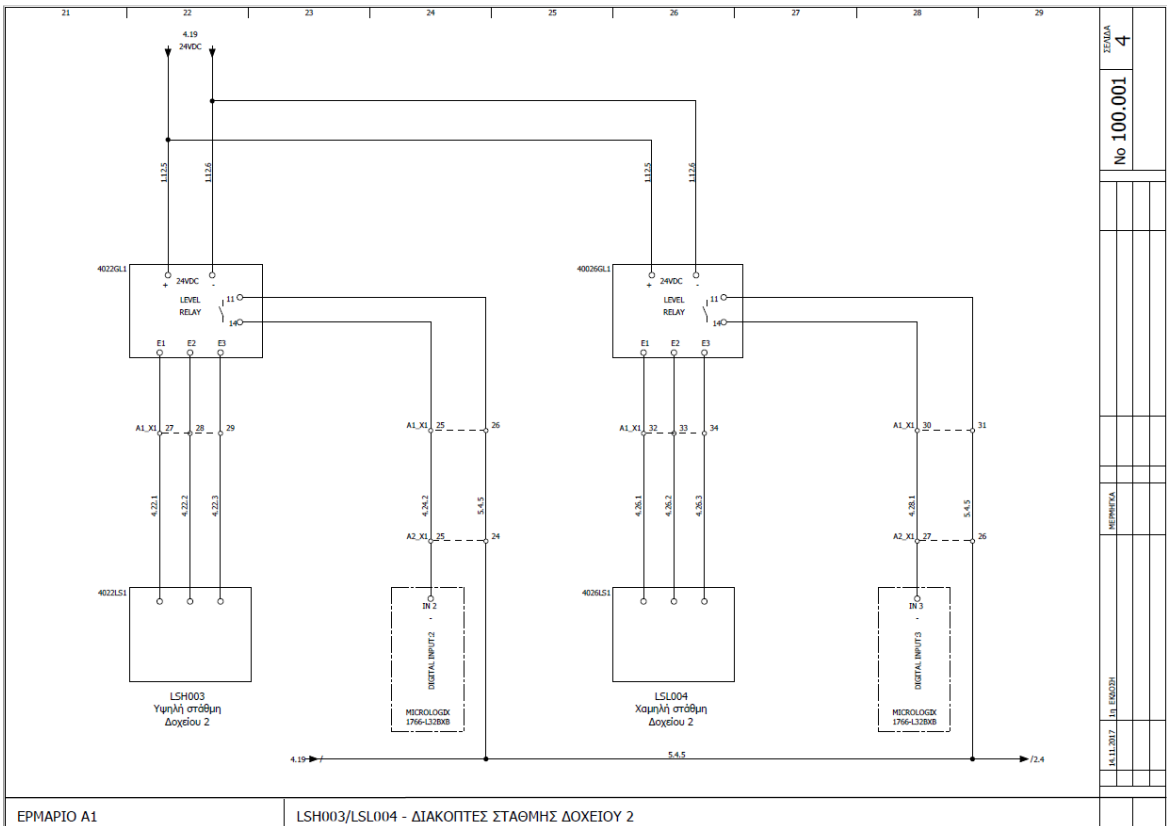
**Σχήμα 6.7 Κύκλωμα ελέγχου 24 VDC - EV001 – EV002 Ηλεκτροβάνες συστήματος**



**Σχήμα 6.8 Κύκλωμα μέτρησης στάθμης δεξαμενής 1 – LT001**

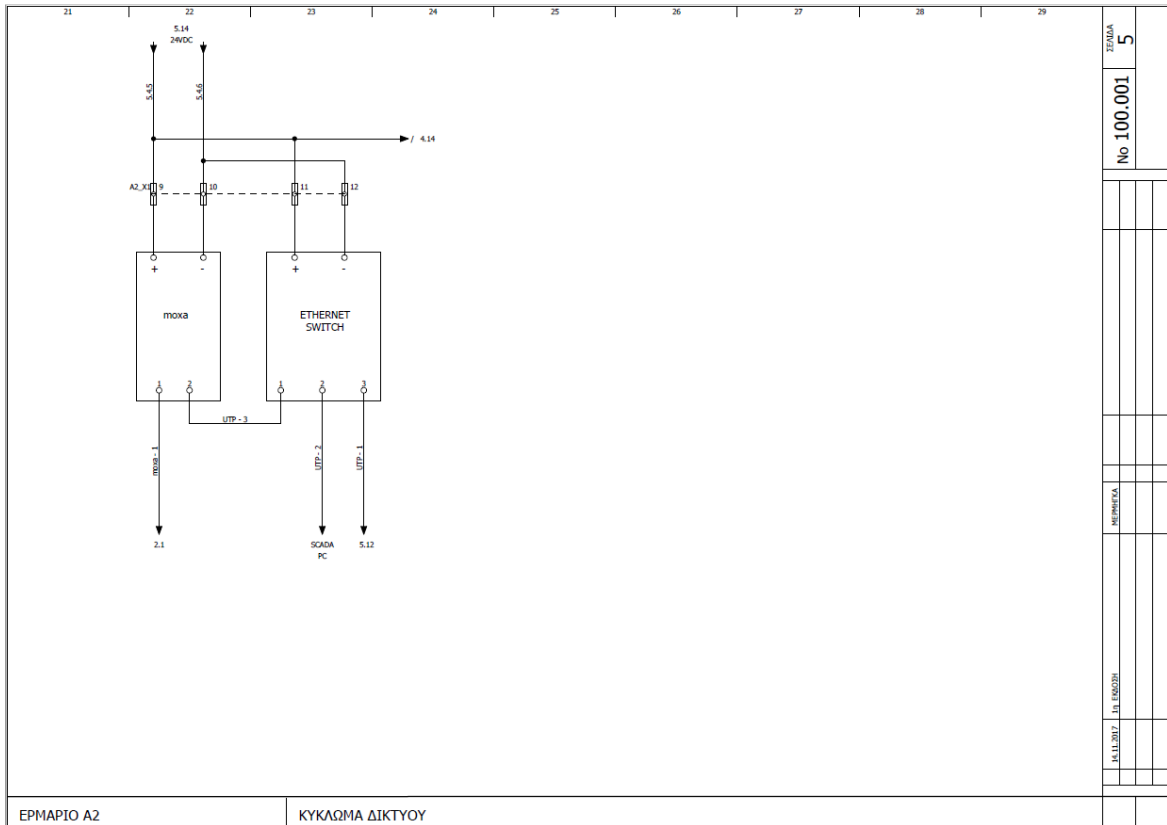


**Σχήμα 6.9 Κύκλωμα στάθμης 24 VDC - Διακόπτες στάθμης δεξαμενής 1 (LSH001/LSL002)**



**Σχήμα 6.10 Κύκλωμα στάθμης 24 VDC - Διακόπτες στάθμης δεξαμενής 2 (LSH003/LSL004)**

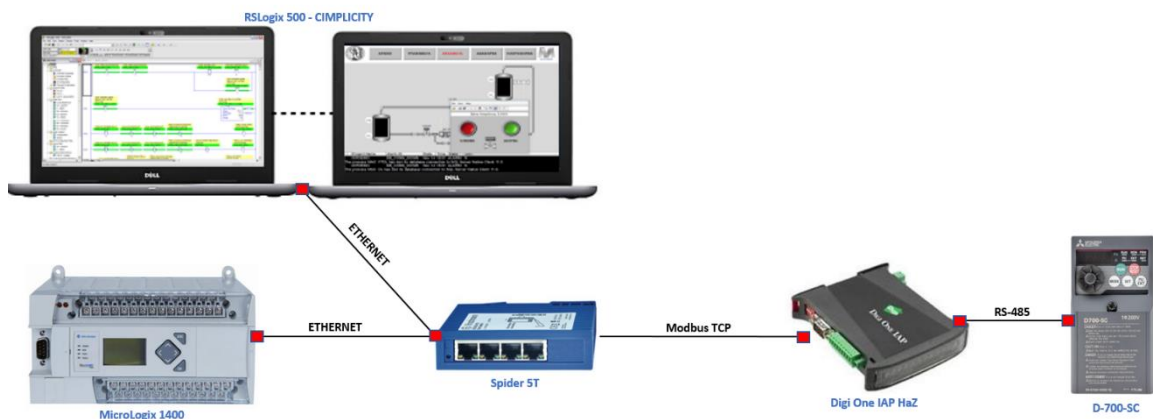




**Σχήμα 6.13 Κύκλωμα Δικτύου**

### 6.3 Τοπολογία δικτύου

Το δίκτυο της εργασίας είναι ένα απλό LAN (Local Area Network). Οι συσκευές συνδέονται μεταξύ τους με καλώδιο CAT 5e T568A UTP. Μέσω της συγκεκριμένης συνδεσμολογίας (Σχήμα 6.14), επιτυγχάνεται εύκολα η επικοινωνία του inverter μέσω Ethernet με το PLC. Για να φτάσει μια πληροφορία στο PLC, αρχικά το gateway αναλαμβάνει τη μετατροπή της σειριακής πληροφορίας σε Ethernet πακέτο. Στο ίδιο δίκτυο βρίσκεται το SCADA/HMI, που επικοινωνεί με το PLC για αποστολή και λήψη πληροφοριών. Για ευκολία αλλά και για λόγους που αφορούν το κόστος, το HMI συνυπάρχει στον ίδιο υπολογιστή με το SCADA. Αλλαγές στο πρόγραμμα του PLC (download του νέου προγράμματος) γίνονται επίσης μέσω του υπολογιστή μας, άρα μέσω του LAN μας.



**Σχήμα 6.14 Τοπολογία δικτύου LAN της διάταξης**

## 6.4 Λίστα εισόδων – εξόδων PLC

Τα σήματα που σχετίζονται με το inverter στέλνονται μέσω του δικτύου. Συνεπώς ως εισοδοί του PLC συνδέονται τα σήματα των ψηφιακών διακοπών στάθμης και το γενικό σφάλμα του inverter. Οι λεπτομέρειες σχετικά με τις ψηφιακές εισόδους δίνονται στον Πίνακα 6-1.

**Πίνακας 6-1 Ψηφιακές εισοδοί του PLC**

I:W/B	ΑΝΑΓΝΩΡΙΣΤΙΚΟ	P&ID	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ	ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΕΝΕΡΓΟΠΟΙΗΣΗΣ
I:0/0	LSH	LSH001	Διακόπτης υψηλής στάθμης TANK1	1
I:0/1	LSL	LSL002	Διακόπτης χαμηλής στάθμης TANK1	1
I:0/2	LSH	LSH003	Διακόπτης υψηλής στάθμης TANK2	1
I:0/3	LSL	LSL004	Διακόπτης χαμηλής στάθμης TANK2	1
I:0/4	DEFG	INV001	Γενικό σφάλμα inverter	1

Στους Πίνακες 6-2 και 6-3 δίνονται αντιστοίχως, οι πληροφορίες που απαιτούνται για τη σύνδεση των ψηφιακών εξόδων και της αναλογικής εισόδου στην κάρτα 1762-IF4 του PLC.

**Πίνακας 6-2 Ψηφιακές έξοδοι του PLC**

O:W/B	ΑΝΑΓΝΩΡΙΣΤΙΚΟ	P&ID	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ	ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΕΝΕΡΓΟΠΟΙΗΣΗΣ
O:1/0	SR	EV001	Βάνα ασφαλείας EV001 – εντολή ανοίγματος/κλεισίματος	1
O:1/1	SR	EV002	Βάνα ασφαλείας EV002 – εντολή ανοίγματος/κλεισίματος	1

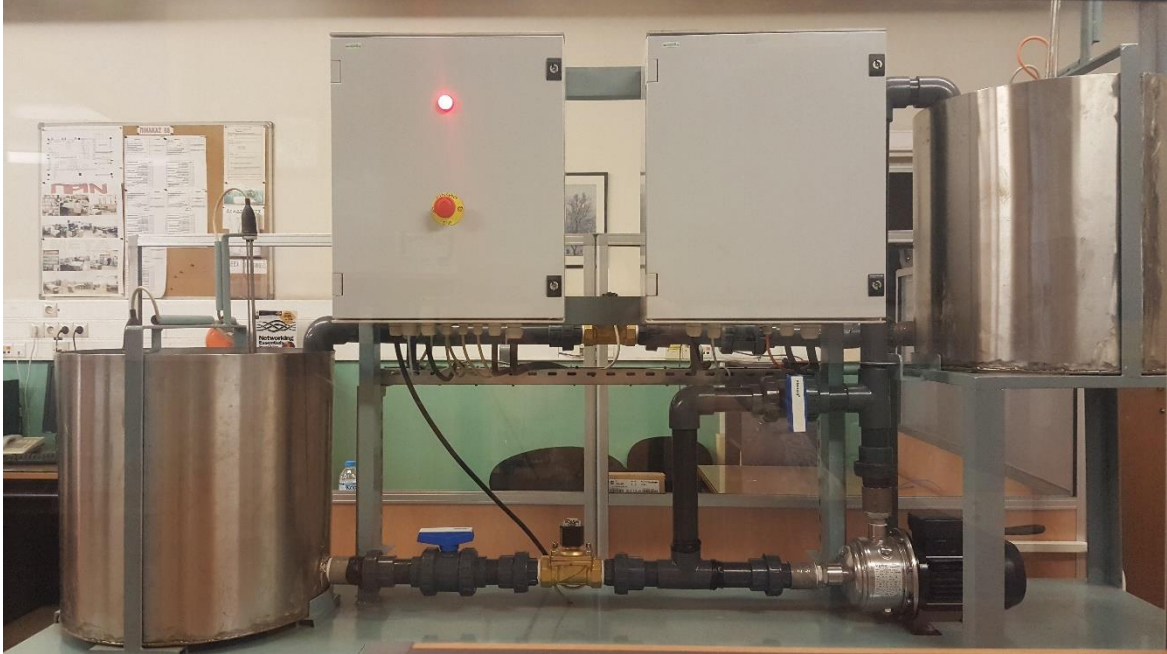
**Πίνακας 6-3 Αναλογικές εισοδοί του PLC**

I:W/B	ΑΝΑΓΝΩΡΙΣΤΙΚΟ P&ID	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ	ΣΗΜΕΙΑ		ΦΥΣΙΚΗ ΚΛΙΜΑΚΑ		
			ΚΛΙΜΑΚΑ	ΣΗΜΑ	ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ	ΚΛΙΜΑΚΑ	ΜΟΝΑΔΑ
I:1.0	LT001	Στάθμη TANK1	0-16383	0-20 mA	F8:0	0-50	cm

## 6.5 Περιγραφή υλικού – Φωτογραφίες διάταξης

Για την κατασκευή χρησιμοποιήθηκαν δύο όμοιες δεξαμενές, ίδιας χωρητικότητας, ύψους 50 cm και διαμέτρου επίσης 50 cm. Στο Σχήμα 6.17, φαίνεται η TANK1 αλλά και ο αναλογικός αισθητήρας. Αρχικά σχεδιάστηκε να προέρχονται από πλαστικό διάφανο υλικό, για γίνονται εύκολα ορατά τα αποτελέσματα των δοκιμών. Όμως για λόγους σταθερότητας των σωλήνων, που δεν συγκρατούνταν επαρκώς, αντικαταστάθηκαν από ανοξείδωτες μεταλλικές δεξαμενές. Οι

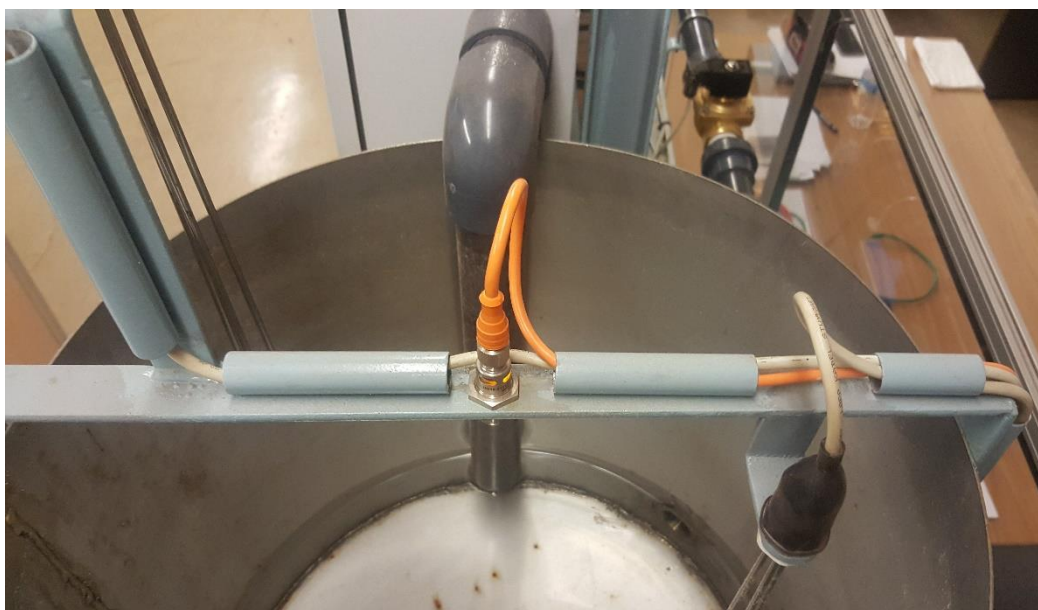
σωλήνες (Σχήμα 6.18) είναι πλαστικοί διαμέτρου 5 cm (Φ50). Χρησιμοποιούνται επίσης τρεις (3) πνευματικές βάνες (Σχήμα 6.18) για την απομόνωση του δικτύου σε περίπτωση συντήρησης αλλά και για τις πειραματικές ανάγκες. Η μικρής κλίμακας εγκατάσταση συγκολλήθηκε σε μεταλλική τροχήλατη βάση (μήκος 2.2 m και πλάτος 0.6 m). Η κατασκευή απεικονίζεται από διαφορετικές οπτικές γωνίες στα Σχήματα 6.15 και 6.16.



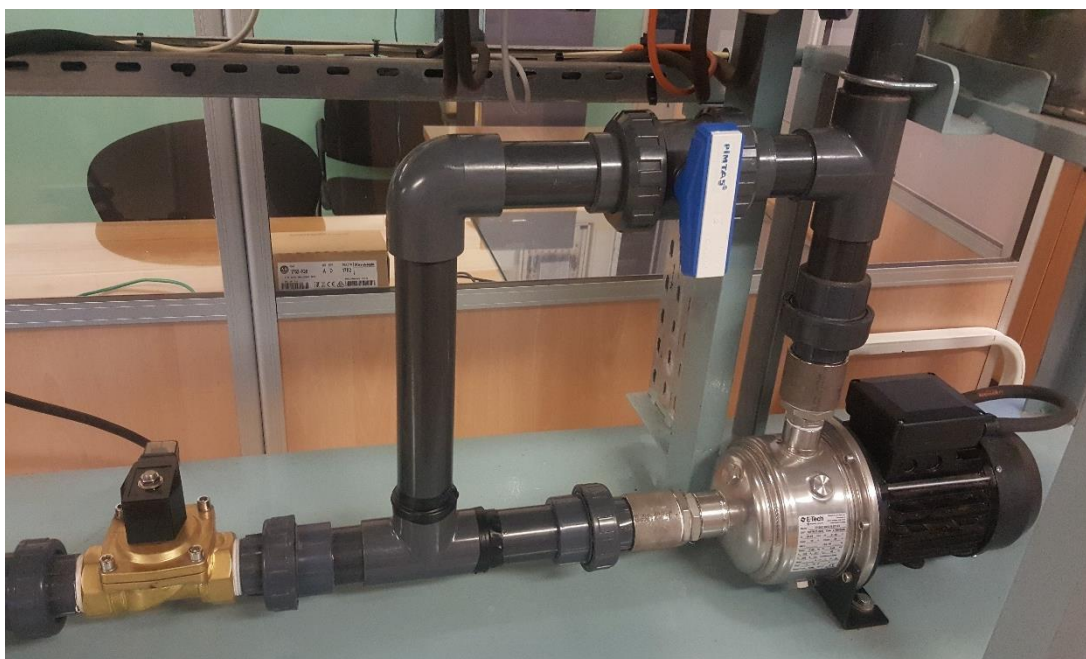
**Σχήμα 6.15** Εμπρόσθια όψη διάταξης



**Σχήμα 6.16** Πλάγια όψη διάταξης



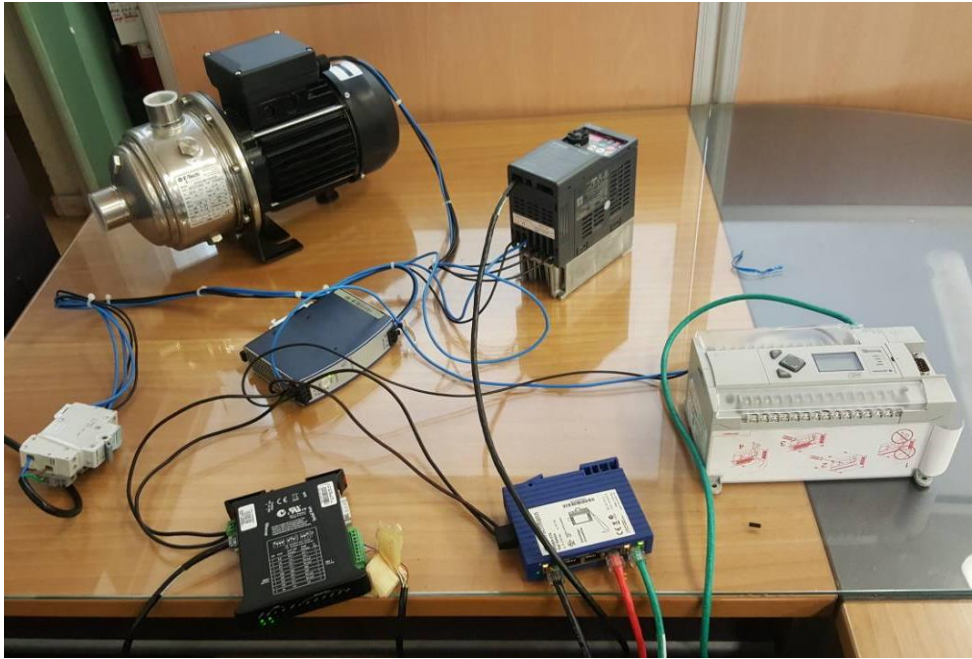
**Σχήμα 6.17 Άποψη TANK1 από ψηλά**



**Σχήμα 6.18 (από αριστερά) Ηλεκτροβάννα, χειροκίνητη βάννα, αντλία**

Τα υλικά του δικτύου αρχικά συνδέθηκαν για την επίτευξη της επικοινωνίας (Σχήμα 6.19). Στη συνέχεια αποσυνδέθηκαν και τοποθετήθηκαν στα ερμάρια της κατασκευής. Πρόκειται για επίτοιχα πολυεστερικά ερμάρια της Schneider Electric, με τρεις (3) ράγες το καθένα και διαστάσεις 42x20x52 cm. Στο πρώτο ερμάριο A1 (Σχήμα 6.20) τοποθετήθηκαν τα 4 ρελέ στάθμης, το inverter και ένα τροφοδοτικό με τάση εισόδου 230 VAC και τάση εξόδου 24 VDC, 4-pins. Το τροφοδοτικό αυτό, παρέχει την απαιτούμενη τάση (24 VDC) στα ρελέ στάθμης και τις βάνες ασφαλείας.





**Σχήμα 6.19 Αρχική σύνδεση των υλικών του δικτύου**



**Σχήμα 6.20 Περιεχόμενο ερμαρίου A1**

Στο A2 ερμάριο (Σχήμα 6.21) ένα ίδιο τροφοδοτικό παρέχει τάση 24 VDC στο PLC, στο gateway επικοινωνίας, στο unmanaged switch και στα ρελέ για τις εξόδους του PLC που βρίσκονται επίσης στο ερμάριο A2, αλλά και στον αναλογικό αισθητήρα στάθμης.



**Σχήμα 6.21 Περιεχόμενο ερμαρίου A2**

Για την ασφάλεια του κυκλώματος επιλέχθηκαν:













- διπολικός μικροαυτόματος διακόπτης υπερεντάσεως και υπερφορτίσεως 16 A στη γραμμή τροφοδοσίας του δικτύου,
- μικροαυτόματος διακόπτης 2 πόλων υπερεντάσεως και υπερφορτίσεως 10 A για το inverter,
- μικροαυτόματος διακόπτης 2 πόλων υπερεντάσεως και υπερφορτίσεως 4 A για το τροφοδοτικό του ερμαρίου A1,
- διπολικός μικροαυτόματος διακόπτης υπερεντάσεως και υπερφορτίσεως 6 A για το τροφοδοτικό του ερμαρίου A2,
- μπουτόν NC έκτακτης ανάγκης τύπου μανιτάρι: το μπουτόν συνδέεται με ρελέ ισχύος τριών NO και δύο NC επαφών για έκτακτο σταμάτημα λειτουργίας του ερμαρίου A1 και της ενδεικτικής λυχνίας λειτουργίας του ερμαρίου.

Τέλος, έχουν χρησιμοποιηθεί διάφορων ειδών καλώδια και κλέμμες ράγας και 14 ασφαλειοθήκες με γυάλινο φυσίγγιο.

Τα ακριβή μοντέλα όλων των υλικών καταγράφονται και φαίνονται συγκεντρωμένα στον Πίνακα 6-4.

Πίνακας 6-4 Λίστα υλικών διάταξης

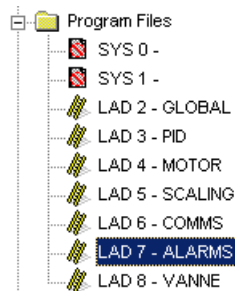
Υλικό	Ποσότητα	Μοντέλο	Φωτογραφία
PLC	1	AB MicroLogix 1766-L32BXB	
Inverter	1	Mitsubishi FR-D720S	
Αντλία	1	E-Tech EH3/02 I003 T5 E0 IE2	
Αναλογικός αισθητήρας στάθμης	1	SICK UM-212126111	
Ψηφιακός αισθητήρας Στάθμης (ρελέ και ηλεκτρόδια)	4	OMRON K8AK-LS και ηλεκτρόδια με βάση PS-31	
Μορφοτροπέας επικοινωνίας	1	Digi One IAP-Haz	
Ηλεκτροβάννα	2	XHnotation 2N400-40	
Πνευματική βάννα	3	PIMTAS	
Τροφοδοτικό	2	Hirschmann RPS80 EEC	
Switch	1	Schneider 5TX Spider	
Μικραυτόματος διακόπτης	1	Schneider IC60HD16A	
Μικραυτόματος διακόπτης	1	Schneider IC60HD10A	

Υλικό	Ποσότητα	Μοντέλο	Φωτογραφία
Μικραυτόματος διακόπτης	1	Schneider IC60NC6A	
Μικραυτόματος διακόπτης	1	Schneider IC60NC4A	
Ρελέ ισχύος (έκτακτο σταμάτημα)	1	Schneider CAD32BC	
Ρελέ (για ηλεκτροβάνες)	2	Schneider ABR1S402B	
Button έκτακτου σταματήματος	1	Schneider (NC ZBE 102)	
Ενδεικτική λυχνία	1	Schneider ZBN-B4	
Ερμάριο	2	Schneider NSYPLM	
Καλώδια ρεύματος	-	UNTRONIC LIYY4x0.75	
Καλώδια δικτύου	-	CAT 5e T568A UTP	
Σωλήνες	-	DRIVA PLAST	
Ασφαλειοθήκη/ κλέμμα	-	-	
Γυάλινη ασφάλεια	-	-	

# 7 Πρόγραμμα PLC

Το πρόγραμμα που δημιουργήθηκε για να υλοποιήσει τον αυτοματισμό, γράφτηκε σε γλώσσα Ladder στο περιβάλλον RSLogix 500, που παρουσιάστηκε στην Ενότητα 3.3. Η ανάπτυξη του προγράμματος έγινε βάσει του επιθυμητού τρόπου λειτουργίας και ελέγχου της πειραματικής αυτής εγκατάστασης, όπως περιγράφηκε στην Ενότητα 6.1 και ακολουθώντας στις περισσότερες περιπτώσεις τα πρότυπα τυποποίησης και ασφάλειας του εργοστασίου.

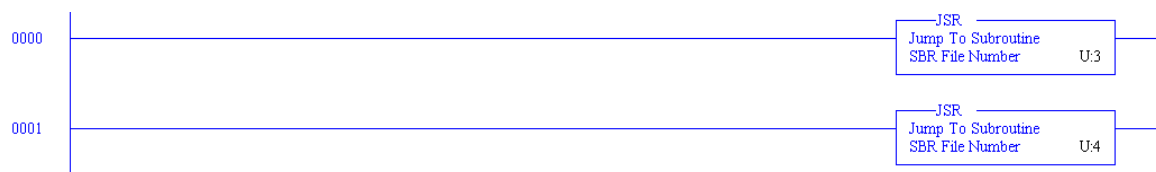
Δημιουργήθηκαν αρχικά τα απαιτούμενα Data Files με επαρκή χώρο στο καθένα, και υπορουτίνες για να κατηγοριοποιηθούν εν μέρει οι εντολές. Το πρόγραμμα που προκύπτει έτσι είναι καλύτερα οργανωμένο και πιο ευανάγνωστο. Οι υπορουτίνες φυσικά, αλληλεξαρτώνται και αλληλοσυνδέονται. Στις Ενότητες αυτού του Κεφαλαίου θα παρουσιαστεί ο κώδικας που αναπτύχθηκε ανά υπορουτίνα (Σχήμα 7.1).



Σχήμα 7.1 Αρχεία του προγράμματος Ladder- Υπορουτίνες

## 7.1 LAD 2 – GLOBAL

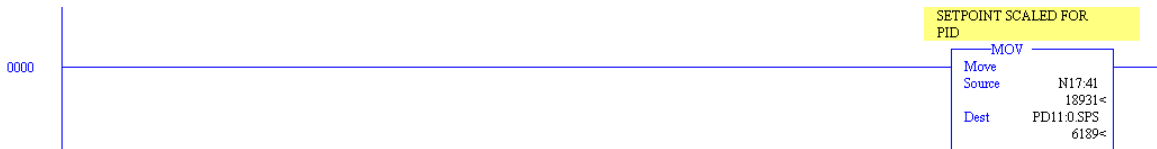
Αρχικά πρέπει να καλέσουμε τις υπορουτίνες. Με την εντολή JSR (Jump to SubRoutine), το πρόγραμμα μεταβαίνει και εκτελεί την κάθε υπορουτίνα, ξεκινώντας από το πρώτο rung της. Η σάρωση του προγράμματος ξεκινάει από αυτό το Program File, κι αν δεν κάνουμε jump στις άλλες υπορουτίνες, ο κώδικας τους δε θα εκτελείται.



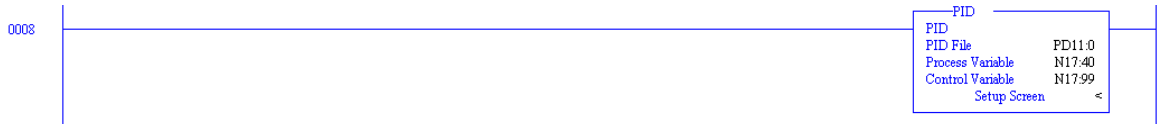
Ομοίως χρησιμοποιείται η JSR για τις υπόλοιπες υπορουτίνες.

## 7.2 LAD 3 – PID

Σε αυτή την υπορουτίνα υλοποιείται ο έλεγχος PID. Υλοποιείται μόνο τοπικά κι όχι απομακρυσμένα, δηλαδή το Ladder δεν περιέχει εντολές που να ορίζουν την επιθυμητή τιμή της στάθμης σύμφωνα με προϋποθέσεις. Ο χρήστης δίνει την εντολή από το HMI, και η scaled τιμή σε σημεία (0-16383) του SetPoint, που βρίσκεται στο word N17:41, μετακινείται στο PD11:0.SPS (επιθυμητή τιμή για την process variable).

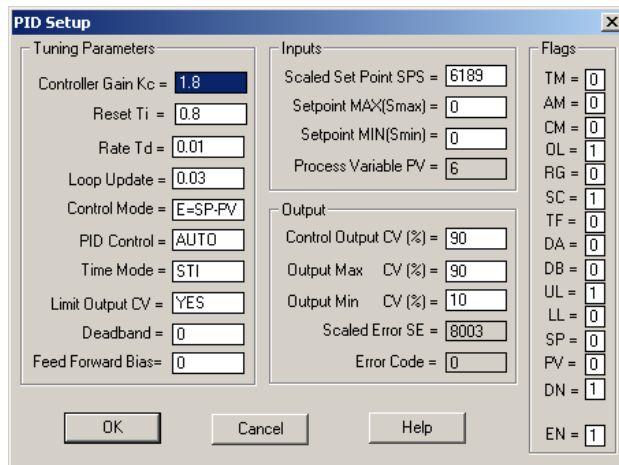


Εισάγουμε την εντολή PID και ορίζουμε ως Process Variable τη scaled τιμή της πραγματικής στάθμης σε σημεία (0-16383) που βρίσκεται στην N17:40 και ως Control Variable την N17:99, όπου αποθηκεύεται η απαιτούμενη συχνότητα που πρέπει να στείλει το inverter στην αντλία για να κρατηθεί η στάθμη στην επιθυμητή τιμή. Η τιμή αυτή είναι ουσιαστικά το αποτέλεσμα του αλγορίθμου.



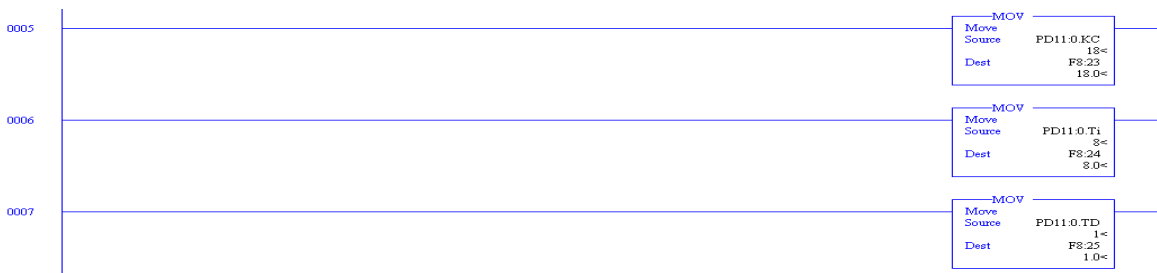
Περισσότερες ρυθμίσεις γίνονται από το παράθυρο της εντολής (Σχήμα 7.2). Ορίζουμε δύο υπολογισμοί να απέχουν χρονικά 0.03 και η έξοδος να ενημερώνεται σε κάθε κύκλο του προγράμματος (STI). Επιπρόσθετα, θέλουμε να προκαλείται μείωση της τιμής της control variable όταν η process variable είναι μεγαλύτερη από το SetPoint (Control Mode: E=SP-PV), αφού προμηθεύουμε τη δεξαμενή με νερό. Για λόγους ασφαλείας και για αποφυγή υπερθέρμανσης ορίζουμε όριο 10-90% για τις στροφές της αντλίας, ενώ έχουμε ήδη περιορίσει τη συχνότητα με την οποία θα την τροφοδοτήσει το drive, ρυθμίζοντας τις παραμέτρους του για min-max συχνότητα εξόδου.

Η επιλογή των παραμέτρων P, I, D έγινε πειραματικά με προσέγγιση της μεθόδου Ziegler- Nichols.

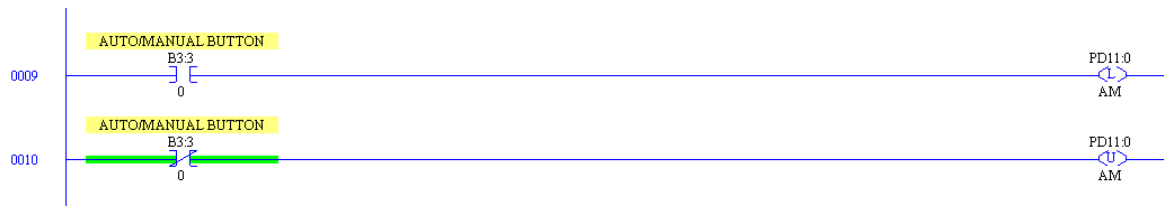


Σχήμα 7.2 Παράθυρο ρύθμισης PID εντολής

Οι τιμές Kc, Ti, Td μεταφέρονται σε αριθμούς κινητής υποδιαστολής για να απεικονιστούν στην οθόνη.



Η επιλογή για το αν η έξοδος θα ρυθμίζεται μέσω του PID (Auto) ή αν θα ορίζει ο χειριστής τις στροφές της αντλίας, γίνεται από κουμπί και δίνεται στο bit της εντολής PID, PD11:0.AM.

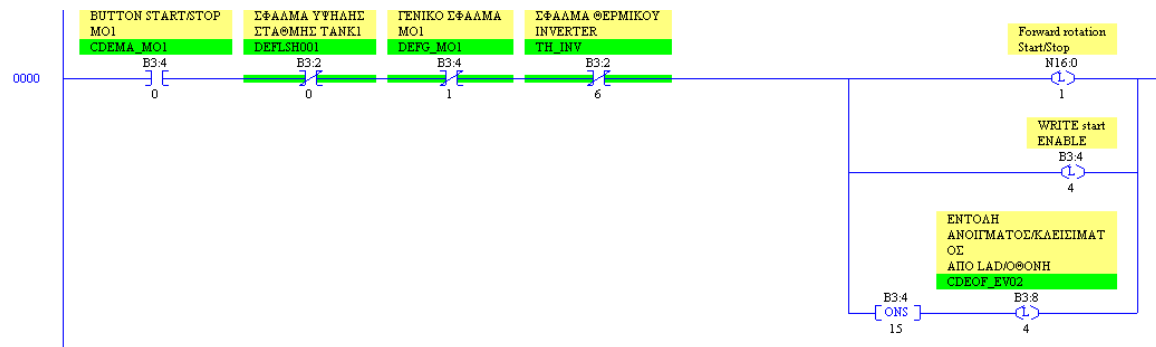


Η στάθμη ελέγχεται από τον αλγόριθμο μόνο εάν ο χρήστης έχει εκκινήσει από την οθόνη την αντλία.

### 7.3 LAD 4 – MOTOR

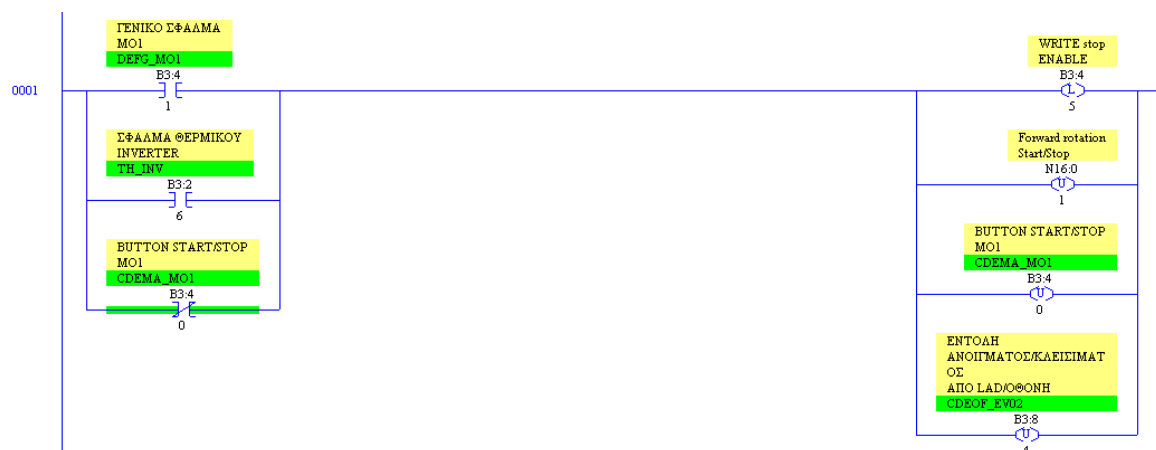
Σε αυτή την υπορουτίνα ορίζεται η συμπεριφορά της αντλίας.

Για να ξεκινήσει η αντλία θα πρέπει ο χρήστης να πατήσει το πράσινο μπουτόν εκκίνησης (CDEMA\_MO1), να μην υπάρχει γενικό σφάλμα στον κινητήρα (DEFG\_MO1), να μην έχει σφάλμα θερμικού το inverter (TH\_INV) και να μην έχει υψηλό σφάλμα η κύρια δεξαμενή (DEFLSH001). Αν οι παραπάνω προϋποθέσεις ισχύουν, δίνεται στο inverter εντολή για ευθεία περιστροφή μέσω μηνύματος εγγραφής στην παράμετρο κατάσταση του inverter. Επίσης, ανοίγει η βάνα ασφαλείας η οποία λόγω της ONS θα μπορεί να χειρίζεται από το χρήστη.

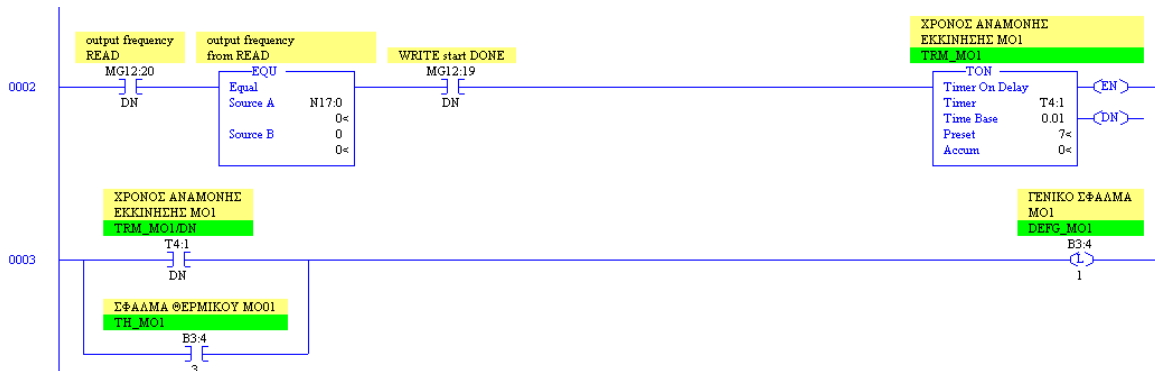


Ο κινητήρας και η βάνα ασφαλείας EV002 κλείνουν, αν πατηθεί το κουμπί σταματήματος κινητήρα από το χρήστη. Για το σταμάτημα του μοτέρ, στέλνεται φυσικά μήνυμα στο ρυθμιστή στροφών.

Αν το μοτέρ σταμάτησε λόγω σφάλματος θερμικού του inverter ή λόγω γενικού σφάλματος του MO1, τότε το κουμπί της οθόνης γίνεται reset.



Το γενικό σφάλμα της αντλίας εμφανίζεται αν δοθεί εντολή (έχει σταλεί μήνυμα για εγγραφή) να ξεκινήσει, αλλά η συχνότητα εξόδου του inverter διαβάζεται ακόμα 0, ακόμα και μετά από 0.07 sec (αναμονή απόκρισης) ή το μοτέρ έχει σταματήσει λόγω σφάλματος θερμικού, που διαβάστηκε από το inverter.



Όταν γίνει εκκαθάριση σφαλμάτων, το γενικό σφάλμα παύει να υπάρχει και το MO1 επιτρέπεται να ξεκινήσει ξανά.



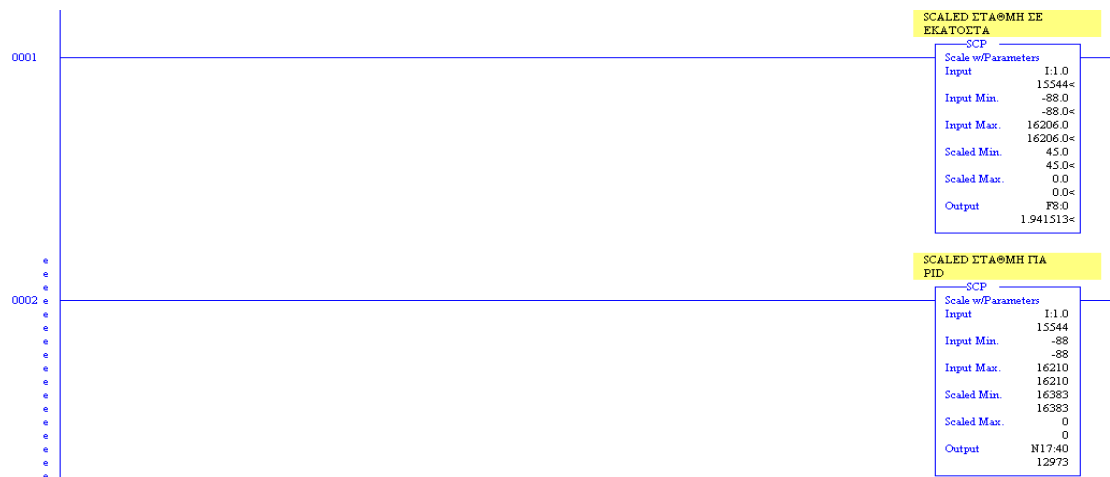
## 7.4 LAD 5 – SCALING

Το scaling γίνεται για να μπορέσουμε να δούμε τις μετρήσεις μας σε φυσική κλίμακα, αλλά και για να δώσουμε κατάλληλες τιμές στην εντολή PID. Η εντολή εκτελεί την εξίσωση:

$$\text{Output} = [(\text{Scaled Max} - \text{Scaled Min}) / (\text{Input Max} - \text{Input Min})] (\text{Input} - \text{Input Min}) + \text{Scaled Min}$$

Η αναλογική είσοδος (I:1.0), παρ' ότι έγινε configured για PID, δίνει σαν μέτρηση -88–16206 σημεία. Πρέπει λοιπόν να την μετατρέψουμε σε 0-16383 σημεία για την εντολή PID. Επίσης μετατρέπουμε στο rung 0001 την τιμή της εισόδου I:1.0 σε 0-45 cm, που είναι η μέτρηση για παρουσίαση στο χρήστη.

Ο αισθητήρας φυσικά, μετράει τη στάθμη, ως απόσταση από εκείνον, και όχι ως απόσταση από τον πάτο της δεξαμενής. Στις δυο αυτές εντολές SCP, μετατρέπουμε ταυτόχρονα σε μέτρηση από τα χαμηλά προς τα υψηλά.

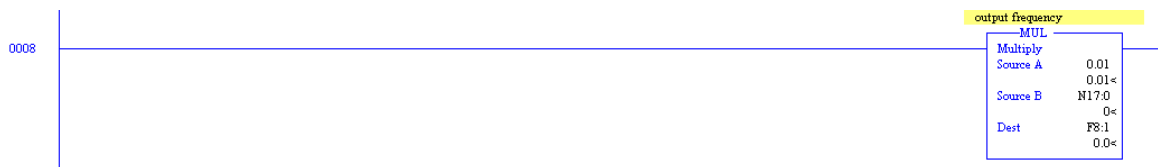




Μετατρέπονται επίσης:

- η εντολή επιθυμητής στάθμης από HMI: 0-45 cm → 0-16383 σημεία (για PID),
- έξοδος (συχνότητα κινητήρα): 0 – [παράμετρος 1 (μέγιστη συχνότητα)] → 0-100 % (για SCADA),
- η έξοδος όταν είμαστε σε χειροκίνητη λειτουργία μετατρέπεται από ποσοστό, σε σημεία και έπειτα σε τιμή κατάλληλη για να γραφτεί στο inverter (στο N17:0),
- η έξοδος όταν είμαστε σε αυτόματη λειτουργία, δηλαδή το αποτέλεσμα της εντολής PID, μετατρέπεται από σημεία σε τιμή κατάλληλη για να γραφτεί στο inverter (στο N17:0).

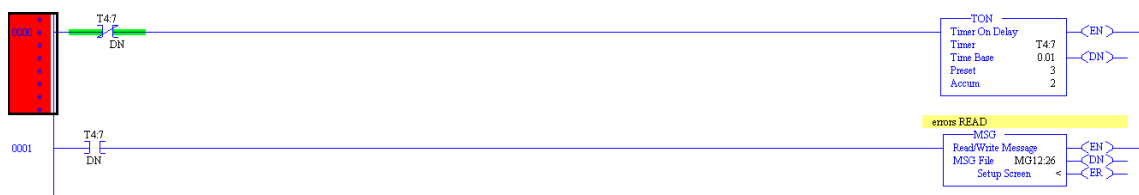
Σε αυτή την υπορουτίνα μετατρέπονται επίσης, οι τιμές που θέλουμε να γραφτούν στο inverter αλλά και οι τιμές που διαβάζονται από αυτό. Αυτό οφείλεται στο τρόπο με τον οποίο αποθηκεύονται οι τιμές στους καταχωρητές του inverter. Για παράδειγμα, για να γραφτεί στην παράμετρο 7 του inverter (χρόνος επιβράδυνσης) τιμή ίση με 3 sec, πρέπει να πολλαπλασιάσουμε με το 10, κι αν θέλουμε να διαβάσουμε να διαιρέσουμε με το 10. Επίσης όταν διαβάζεται η συχνότητα εξόδου, πρέπει να γίνει διαίρεση με το 100, για να δοθεί σωστή τιμή στο χρήστη.



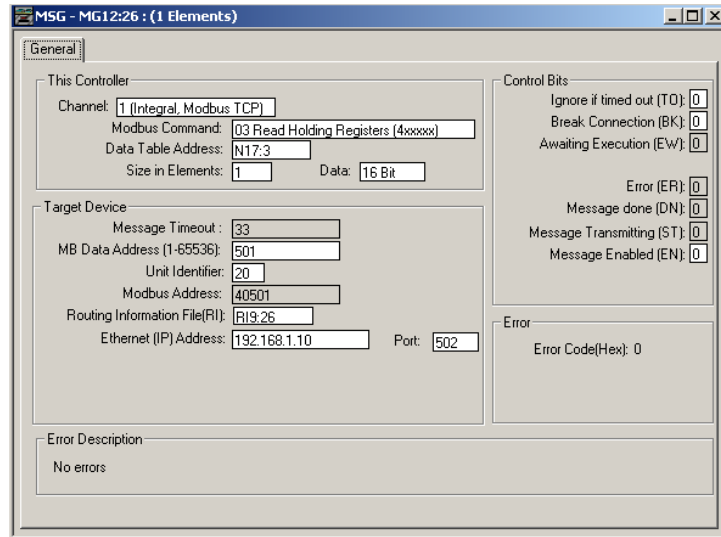
## 7.5 LAD 6 – COMMS

Η σημαντικότερη υπορουτίνα του προγράμματος είναι αυτή της επικοινωνίας, καθώς σε αυτή χτίζονται όλα τα μηνύματα για επικοινωνία με το inverter. Τα μηνύματα που στέλνονται είναι δύο τύπων: READ μηνύματα που αιτούμαστε να διαβάσουμε από το inverter παραμέτρους και WRITE μηνύματα όπου θέλουμε να γράψουμε σε παραμέτρους του inverter. Αξίζει να υπενθυμίσουμε, ότι ένα μήνυμα μπορεί να σταλεί, όταν η κατάσταση στο rung μεταβεί από ψευδής σε αληθής.

Ενεργοποιούμε τα μηνύματα που θέλουμε να διαβάζουμε ή να γράφουμε σε όλη τη διάρκεια, μέσω ενός χρονικού TON (T4:7), ανά 0.03 sec. Το μήνυμα MG12:26, για παράδειγμα, είναι υπεύθυνο για την ανάγνωση σφαλμάτων από το inverter, και θέλουμε να στέλνεται συνεχώς, και ως απάντηση να λαμβάνουμε τον κωδικό σφάλματος που προέκυψε (είναι 0, αν δεν υπάρχει σφάλμα).



Στην οθόνη παραμετροποίησης του μηνύματος, ορίζουμε το κανάλι επικοινωνίας (κανάλι 1 Ethernet, Modbus TCP), ότι θέλουμε να διαβάσουμε από τους καταχωρητές του inverter (03 Read Holding Registers, βλ. Πίνακα 5-2) ένα στοιχείο (Size in Elements=1) και να το αποθηκεύσουμε στο word N17:3. Ο καταχωρητής αυτός (διεύθυνση 40501) ζητείται από το inverter μας (αναγνωριστικό 20) μέσω του gateway που έχει διεύθυνση 192.168.1.10. Πληροφορίες σχετικά με το Routing αποθηκεύονται στο RI9:26.



Σχήμα 7.3 Παραμετροποίηση του μηνύματος MG12:26

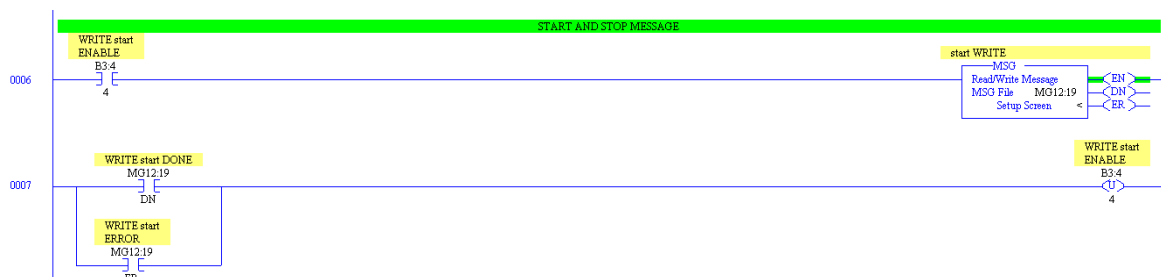
Διαβάζουμε επίσης με το χρονικό:

- MG12:20 : τη συχνότητα εξόδου (40201) και αποθηκεύουμε στο N17:0
- MG12:21 : το ρεύμα εξόδου (40202) και αποθηκεύουμε στο N17:2
- MG12:30 : το status του inverter (40009) και αποθηκεύουμε στο N16:1

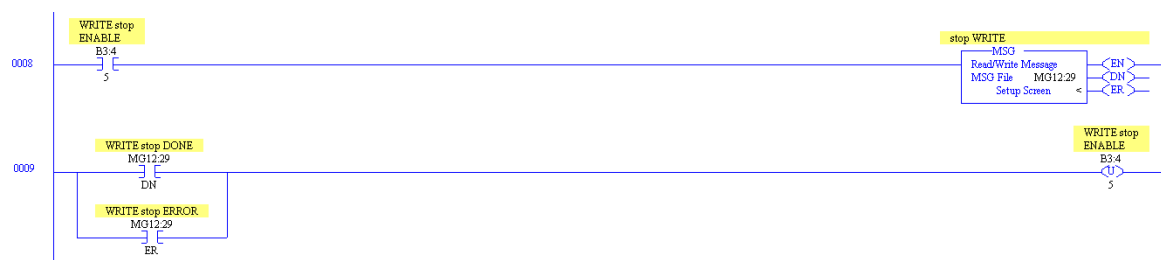
Και γράφουμε με το χρονικό:

- MG12:22 : τη επιθυμητή συχνότητα εξόδου (40014) από το N17:0. Το N17:0 παίρνει τιμή είτε από την έξοδο της εντολής PID ή από εντολή του χρήστη αν η λειτουργία είναι χειροκίνητη (λειτουργία Modbus: 06 Write Single Register (4xxxx))

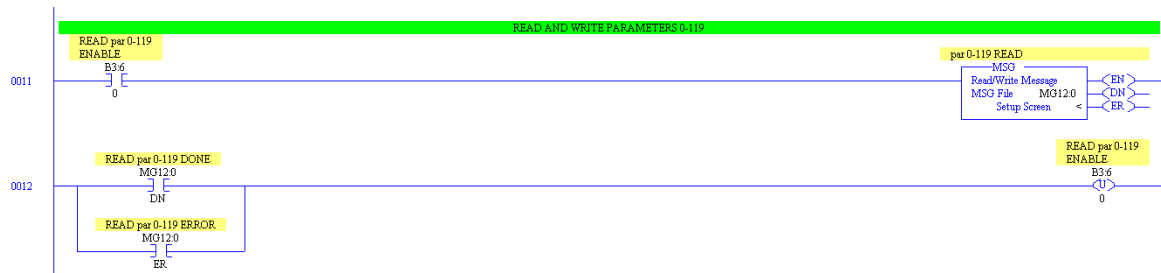
Όταν δοθεί από την οθόνη εντολή για ξεκίνημα και ισχύουν οι προϋποθέσεις ( $B3:4/4=1$ ), το μήνυμα MG12:19 γίνεται triggered και αποστέλλεται για να γραφτεί στη διεύθυνση 40009 εντολή για ευθεία περιστροφή του MO1 ( $N16:0/1= 1$ ). Όταν το μήνυμα ολοκληρωθεί είτε επιτυχώς είτε με σφάλμα, το βοηθητικό bit επαναφέρεται στην προηγούμενη κατάσταση ώστε να μπορεί γίνει επανάληψη της διαδικασίας με το ίδιο bit σαν trigger.



Με την ίδια διαδικασία στέλνεται εντολή για να σταματήσει η αντλία ( $N16:0/1= 0$ ), με το μήνυμα MG12:29 (στέλνουμε το N16:0 στο 40009).



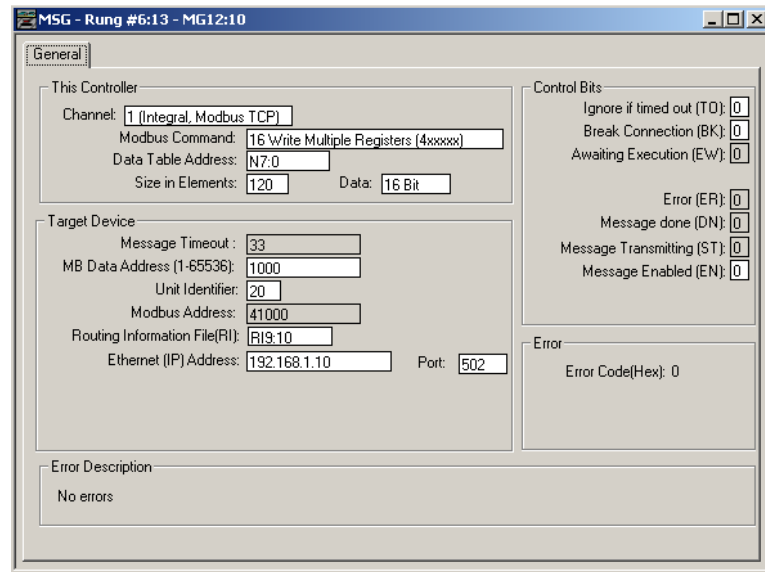
Οι παράμετροι 0-119 του inverter διαβάζονται όταν το βοηθητικό bit γίνεται 1 από το SCADA. Το MG12:0 διαβάζει 120 words ξεκινώντας από την παράμετρο 41000 και τα αποθηκεύει στα N7:0-N7:119. Όπως προηγουμένως, όταν το μήνυμα ολοκληρωθεί, το βοηθητικό bit γίνεται 0.



Με ανάλογο τρόπο διαβάζουμε:

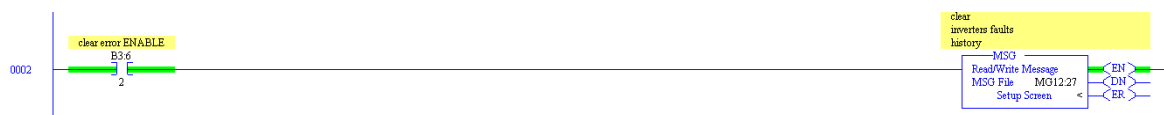
- MG12:1 : τις παραμέτρους 120-239, ζητώντας 120 καταχωρητές και ξεκινώντας από τη διεύθυνση 41120) και αποθηκεύουμε στο N17:120 - N17:239
- MG12:2 : τις παραμέτρους 240-359, ζητώντας 120 καταχωρητές και ξεκινώντας από τη διεύθυνση 41240) και αποθηκεύουμε στο N10:0 - N10:119
- MG12:3 : τις παραμέτρους 360-479, ζητώντας 120 καταχωρητές και ξεκινώντας από τη διεύθυνση 41360) και αποθηκεύουμε στο N10:120 - N10:239
- MG12:4 : τις παραμέτρους 480-599, ζητώντας 120 καταχωρητές και ξεκινώντας από τη διεύθυνση 41480) και αποθηκεύουμε στο N13:0 - N13:119
- MG12:5 : τις παραμέτρους 600-719, ζητώντας 120 καταχωρητές και ξεκινώντας από τη διεύθυνση 41600) και αποθηκεύουμε στο N13:120 - N13:239
- MG12:6 : τις παραμέτρους 720-839, ζητώντας 120 καταχωρητές και ξεκινώντας από τη διεύθυνση 41720) και αποθηκεύουμε στο N14:0 - N14:119
- MG12:7 : τις παραμέτρους 840-959, ζητώντας 120 καταχωρητές και ξεκινώντας από τη διεύθυνση 41840) και αποθηκεύουμε στο N14:120 - N14:239
- MG12:8 : τις παραμέτρους 960-999, ζητώντας 40 καταχωρητές και ξεκινώντας από τη διεύθυνση 41960) και αποθηκεύουμε στο N15:0 - N15:39

Για την εγγραφή των 999 παραμέτρων (όσων φυσικά δεν είναι read only) είναι υπεύθυνα αντιστοίχως τα μηνύματα MG12:10-MG12:18. Ενδεικτικά φαίνεται το παράθυρο παραμετροποίησης του μηνύματος MG12:10 (Σχήμα 7.4). Η λειτουργία του είναι «16 Write Multiple Registers (4xxxxx)» και μεταφέρει τις τιμές N7:0 – N7:119 στο inverter. Έστω και μία από τις τιμές να αλλάξει το WRITE Enable bit γίνεται 1, και όλο το block στέλνεται στο inverter.



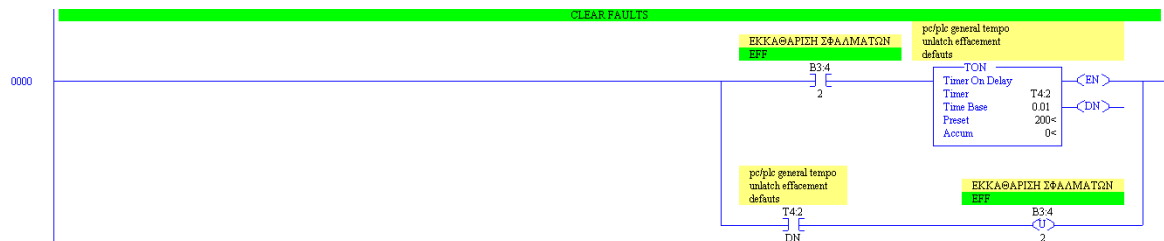
Σχήμα 7.4 Παραμετροποίηση του μηνύματος MG12:10

Τέλος, υπάρχει μήνυμα που καθαρίζει το ιστορικό σφαλμάτων του inverter, όταν αυτά σταματήσουν να υπάρχουν. Στέλνουμε την τιμή 0, στη διεύθυνση 40501 (Fault History).

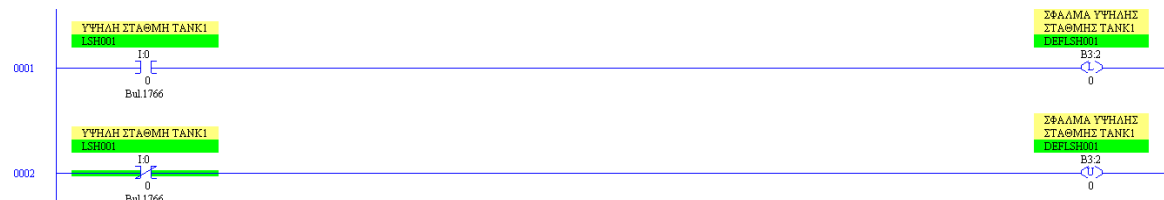


## 7.6 LAD 7 – ALARMS

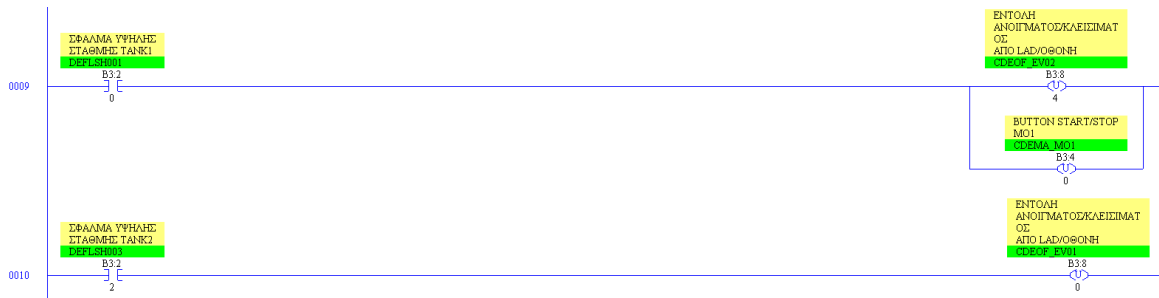
Στο LAD 7 διαχειριζόμαστε τα σφάλματα που προκύπτουν. Για να μπορεί να ξεκινήσει το σύστημα μετά από κρίσιμο σφάλμα, πρέπει να πατηθεί το κουμπί αναγνώρισης/εκκαθάρισης σφαλμάτων. Για λόγους ασφαλείας, 2 sec μετά το πάτημά του, επαναφέρουμε την τιμή του στο 0.



Όταν κάποια από τις 4 ψηφιακές εισόδους (LSH001, LSL002, LSH003, LSL004) γίνει ίση με 1, τότε το αντίστοιχο σφάλμα τίθεται ίσο με 1, ενώ όταν η είσοδος γίνει 0, το σφάλμα γίνεται 0.

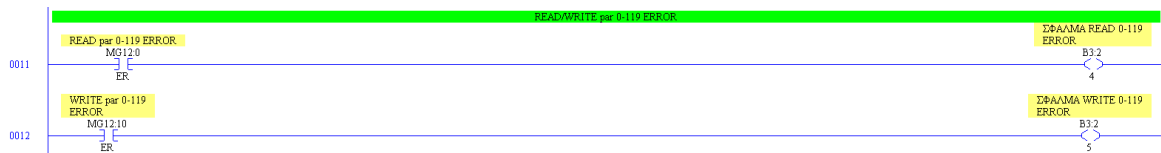


Το σφάλμα υψηλής στάθμης TANK1 προκαλεί την εντολή σταματήματος της αντλίας και εντολή κλεισίματος της EV002. Όταν τεθεί το σφάλμα υψηλής στάθμης TANK2, δίνεται εντολή κλεισίματος της EV001.

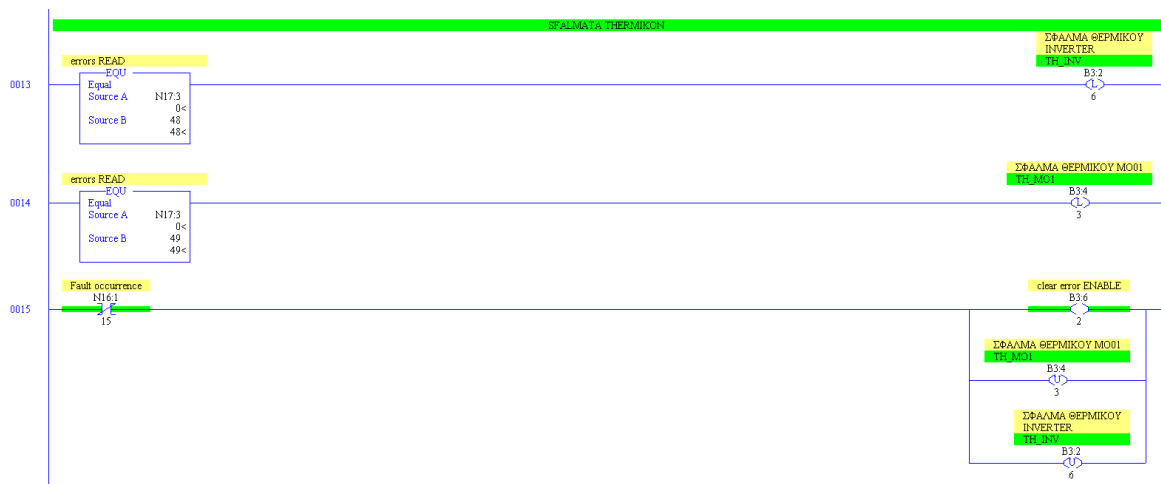


Με ανάλογο τρόπο χτίζεται ο αυτοματισμός για το σφάλμα πολύ χαμηλής στάθμης της TANK2 (LSL004) όπως περιγράφεται στον τρόπο λειτουργίας και ελέγχου (Ενότητα 6.1).

Όταν παρουσιάζεται σφάλμα κατά τη μετάδοση των μηνυμάτων (ER=1), στέλνουμε αντίστοιχο alarm στο SCADA. Όταν το μήνυμα ξαναγίνει enable, το σφάλμα παύει να υπάρχει, εκτός φυσικά αν το μήνυμα τελειώσει με ER=1 ξανά. Τέτοια alarms υπάρχουν για την ανάγνωση και την εγγραφή των παραμέτρων του inverter.



Σημαντικές πληροφορίες για σφάλματα του inverter λαμβάνουμε και από τον καταχωρητή ιστορικού σφαλμάτων του inverter. Το inverter αποθηκεύει σε αυτόν τα σφάλματα σε δεκαεξαδική μορφή. Η αντιστοιχία σφαλμάτων-κωδικών όπως ορίζεται από το μοντέλο του inverter βρίσκεται στον Πίνακα 7-1. Βάσει αυτών των αντιστοιχιών μπορούμε να ελέγξουμε ποιο ακριβώς είναι το σφάλμα που εμφανίστηκε και να το χειριστούμε. Για παράδειγμα ελέγχουμε αν η τιμή του ιστορικού σφαλμάτων είναι δεκαδικό 49, δηλαδή 31H, και αν είναι, αντιστοιχίζουμε τη διακοπή που παρουσιάστηκε σε σφάλμα θερμικού κινητήρα. Αν από την κατάσταση του inverter έρχεται ξανά 0 στο bit παρουσίας σφάλματος, τότε ενεργοποιούμε το μήνυμα για εγγραφή 0 στο ιστορικό σφαλμάτων, και κάνουμε reset το σφάλμα θερμικού του κινητήρα.

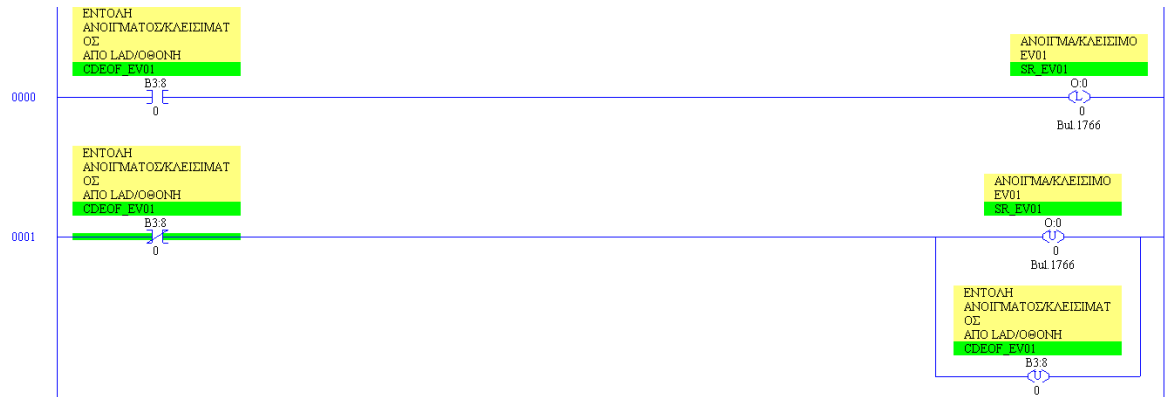


**Πίνακας 7-1 Λίστα κωδικών σφαλμάτων του Mitsubishi FR-D700**

Κωδικός Hex	Κωδικός Dec	Ένδειξη inverter	Περιγραφή
<b>00</b>	0	-	Κανένα σφάλμα
<b>10</b>	16	<b>E.OC1</b>	Διακοπή λόγω υπερέντασης κατά την επιτάχυνση
<b>11</b>	17	<b>E.OC2</b>	Διακοπή λόγω υπερέντασης κατά τη σταθερή ταχύτητα
<b>12</b>	18	<b>E.OC3</b>	Διακοπή λόγω υπερέντασης κατά την επιβράδυνση ή τη στάση
<b>20</b>	32	<b>E.OV1</b>	Διακοπή λόγω υπέρτασης κατά την επιτάχυνση
<b>21</b>	33	<b>E.OV2</b>	Διακοπή λόγω υπέρτασης κατά τη σταθερή ταχύτητα
<b>22</b>	34	<b>E.OV3</b>	Διακοπή λόγω υπέρτασης κατά την επιβράδυνση ή τη στάση
<b>30</b>	48	<b>E.THT</b>	Διακοπή υπερφόρτωσης ρυθμιστή στροφών (θερμικό)
<b>31</b>	49	<b>E.THM</b>	Διακοπή υπερφόρτωσης κινητήρα (θερμικό)
<b>40</b>	64	<b>E.FIN</b>	Υπερθέρμανση πτερυγίου
<b>52</b>	82	<b>E.ILF</b>	Απώλεια φάσεως εισόδου
<b>60</b>	96	<b>E.OLT</b>	Αποφυγή στάσης
<b>70</b>	112	<b>E.BE</b>	Ανίχνευση συναγερμού τρανζίστορ διακοπής
<b>80</b>	128	<b>E.GF</b>	Προστασία βλάβης υπερέντασης γείωσης πλευράς εξόδου
<b>81</b>	129	<b>E.LF</b>	Απώλεια φάσεως εξόδου
<b>90</b>	144	<b>E.OHT</b>	Λειτουργία εξωτερικού θερμικού ρελέ
<b>91</b>	145	<b>E.PTC</b>	Λειτουργία θερμίστορ PTC
<b>B0</b>	176	<b>E.PE</b>	Σφάλμα διάταξης αποθήκευσης παραμέτρου
<b>B1</b>	177	<b>E.PUE</b>	Αποσύνδεση PU
<b>B2</b>	178	<b>E.RET</b>	Υπέρβαση αριθμού επαναλήψεων προσπάθειας
<b>C0</b>	192	<b>E.CPU</b>	Σφάλμα CPU
<b>C4</b>	196	<b>E.CDO</b>	Υπέρβαση τιμής ανίχνευσης ρεύματος εξόδου
<b>C5</b>	197	<b>E.IOH</b>	Σφάλμα κυκλώματος περιορισμού ρεύματος εισροής
<b>C7</b>	199	<b>E.AIE</b>	Σφάλμα αναλογικής εισόδου

## 7.7 LAD 8 – VANNE

Όταν δίνεται εντολή για άνοιγμα από την οθόνη ή από το Ladder, το bit γίνεται 1, και τίθεται η έξοδος της βάνας. Όταν δίνεται εντολή για κλείσιμο από την οθόνη ή από το Ladder, το bit είναι ίσο με 0, και γίνεται 0 η έξοδος, άρα η βάνα κλείνει. Για περισσότερη ασφάλεια, επαναφέρουμε και το bit σε 0. Η λειτουργία είναι ίδια και για τις δύο ηλεκτροβάνες.



# 8

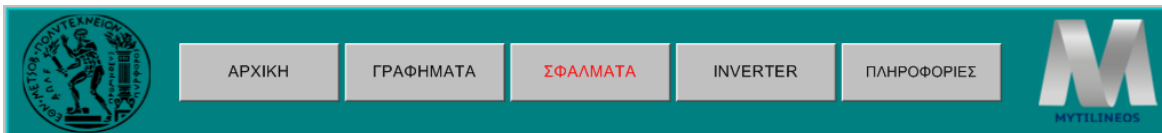
## Πρόγραμμα επιστάσιας – περιγραφή συνοπτικού

Για το χειρισμό της κατασκευής και τη συλλογή δεδομένων, σχεδιάστηκε κατάλληλο HMI/SCADA με χρήση του λογισμικού SIMPLICITY της GE, το οποίο γνωρίσαμε στην Ενότητα 4.2. Επίσης, δημιουργήθηκε και παραμετροποιήθηκε κατάλληλα, βάση δεδομένων Microsoft SQL Server για την αποθήκευση στοιχείων ιστορικού.

### 8.1 Μενού και Σφάλματα

Αρχικά παρουσιάζονται τα μέρη που είναι κοινά σε όλες τις οθόνες, δηλαδή το Μενού και το πλαίσιο ενεργών σφαλμάτων.

Το Μενού του προγράμματος (Σχήμα 8.1) αποτελείται από πέντε (5) κουμπιά συνολικά. Κάθε κουμπί (Text Button) οδηγεί το χρήστη στην αντίστοιχη οθόνη (Screen).

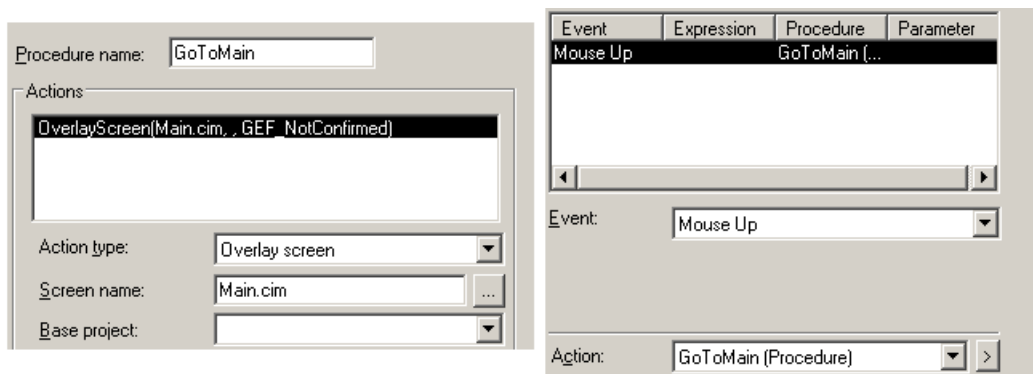


Σχήμα 8.1 Μενού εφαρμογής

Οι βασικές οθόνες διαστάσεων 960x768 pts που δημιουργήθηκαν είναι οι εξής:

- ΑΡΧΙΚΗ: Main.cim
- ΓΡΑΦΗΜΑΤΑ: Trend.cim
- ΣΦΑΛΜΑΤΑ: Alarms.cim
- INVERTER: inv\_main.cim
- ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΕΣ: about.cim

Η πλοήγηση προς αυτές μπορεί να γίνει μέσω των 5 κουμπιών του μενού που αναφέρθηκαν προηγουμένως. Για να πραγματοποιηθεί αυτό, έχει δημιουργηθεί μία συνάρτηση (Procedure) η οποία αντιστοιχίζεται σε ένα γεγονός (Event). Η δράση (Action Type) της συνάρτησης είναι τύπου Overlay Screen και παίρνει σαν όρισμα το όνομα της οθόνης προορισμού, η εκτέλεση της γίνεται στο OnMouseUp Event του κουμπιού. Στο Σχήμα 8.2 γίνεται επισκόπηση των επιλογών αυτών.



Σχήμα 8.2 Προσθήκη λειτουργίας πλοήγησης στις οθόνες



Με τον ίδιο τρόπο υλοποιείται και η πλοήγηση προς τις δευτερεύουσες οθόνες:

- ΓΡΑΦΗΜΑΤΑ (ΙΣΤΟΡΙΚΟ): Trend\_Hist.cim, Trend\_HistCV.cim
- ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ INVERTER: inv\_params1.cim, inv\_params2.cim, inv\_params3.cim
- ΠΑΡΑΘΥΡΟ ΡΥΘΜΙΣΗΣ ΣΤΑΘΜΗΣ: PD.cim

Στο κάτω μέρος κάθε οθόνης, βλέπουμε τα ενεργά σφάλματα (Σχήμα 8.3) μέσω Active-X Control (Alarm Viewer) αλλά και το κουμπί εκκαθάρισης σφαλμάτων. Ο Alarm Viewer υπάρχει σε όλες τις οθόνες λόγω χρησιμότητας και κρισιμότητας των πληροφοριών που απεικονίζει.

Data	Time	Ack	Alarm ID	Error Message
18-Mar-18	08:02:57 PM	N	OPC B3_23	TANK2 ALMOST EMPTY
18-Mar-18	07:57:30 PM	N	OPC B3_20	TANK1 OVERFLOW DANGER

2 Mar 18 20:02

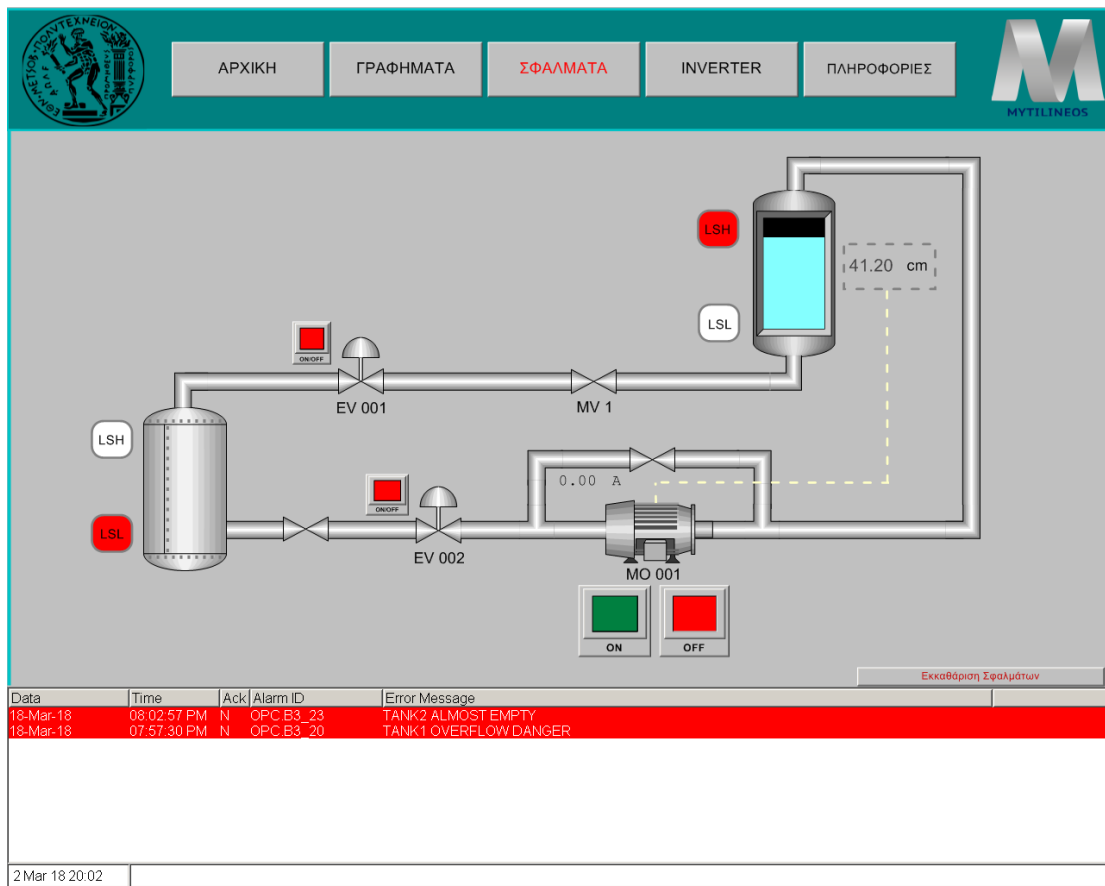
**Σχήμα 8.3 Πλαίσιο ενεργών σφαλμάτων**

Η λίστα σφαλμάτων παρουσιάζεται παρακάτω:

- Σφάλμα ανάγνωσης παραμέτρων 0-119 (όμοια για όλα τα μπλοκ)
- Σφάλμα εγγραφής παραμέτρων 0-119 (όμοια για όλα τα μπλοκ)
- Πολύ υψηλή στάθμη TANK1 (ψηφιακό)
- Πολύ υψηλή στάθμη TANK2 (ψηφιακό)
- Πολύ χαμηλή στάθμη TANK1 (ψηφιακό)
- Πολύ χαμηλή στάθμη TANK2 (ψηφιακό)
- Υψηλή στάθμη TANK1 (προσαρμοσμένα όρια αναλογικής μέτρησης)
- Χαμηλή στάθμη TANK1 (προσαρμοσμένα όρια αναλογικής μέτρησης)
- Θερμικό σφάλμα Inverter
- Γενικό σφάλμα αντλίας Mo1
- Θερμικό σφάλμα αντλίας Mo1
- Σφάλμα inverter - Status bit

## 8.2 Αρχική Οθόνη

Η αρχική οθόνη του προγράμματος (Σχήμα 8.4) απεικονίζει συνοπτικά την εικόνα ολόκληρης της κατασκευής και αποτελεί την κύρια οθόνη χειρισμού. Από αυτή ο χειριστής μπορεί να εκκινήσει ή να σταματήσει τη λειτουργία των δύο ηλεκτροβανών (EV001, EV002) και της αντλίας (Mo1), να δώσει εντολή για το επίπεδο της στάθμης αλλά και να έχει οπτική απεικόνιση της κατάστασης των ψηφιακών οριοδιακοπών των δεξαμενών (LSL, LSH), καθώς και των αναλογικών μετρήσεων (στάθμη δεξαμενής 1, ένταση αντλίας Mo1).



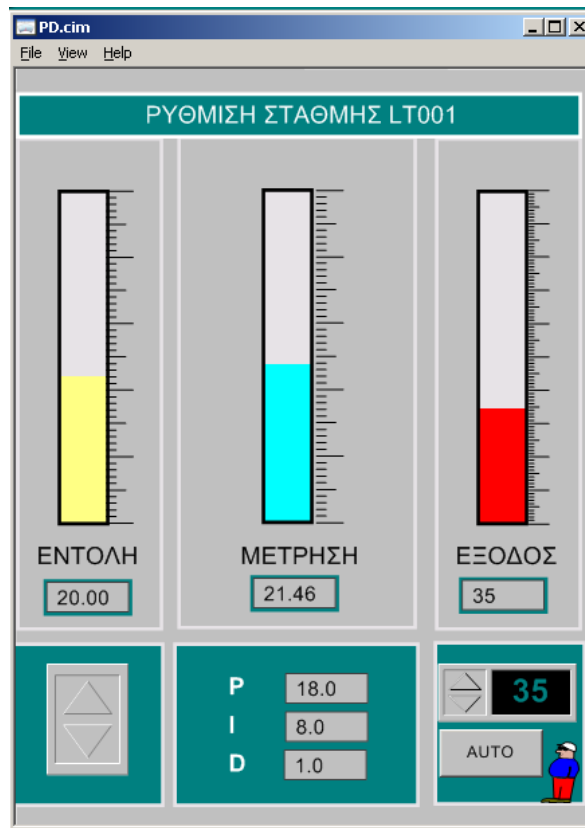
Σχήμα 8.4 Αρχική οθόνη εφαρμογής

Αποτελείται από 5 Smart Objects και Objects (π.χ. σωλήνες, εικονίδια βανών, αντλία) της βιβλιοθήκης του CIMPLICITY. Τα δύο Smart Object που χρησιμοποιούνται για το άνοιγμα/κλείσιμο των ηλεκτροβανών είναι τύπου Toggle Point, δηλαδή εναλλάσσουν το bit εκκίνησης της βάνας στον αυτοματισμό από 0 σε 1 και το αντίστροφο σε κάθε κλικ του χρήστη. Για την αντλία χρησιμοποιήθηκαν δύο Smart Objects έτσι ώστε τα κουμπιά εκκίνησης και σταματήματος λειτουργίας να είναι διαφορετικά. Το Smart αντικείμενο για την δεξαμενή λαμβάνει πληροφορίες από τη διεύθυνση του PLC και την απεικονίζει βάσει της κλίμακας (0-50 cm) που ορίστηκε στα animation properties του αντικειμένου.

Σχεδιάστηκαν ακόμα 4 ορθογώνια αντικείμενα με σκοπό την απεικόνιση της κατάστασης των ψηφιακών διακοπών χαμηλής και υψηλής στάθμης των δύο δεξαμενών. Στο Color Animation του κάθε ορθογώνιου προστίθεται η συνθήκη που πρέπει να γίνει αληθής για να ισχύει το animation αυτό, στην περίπτωση μας αναβοσβήνουν σε κόκκινο χρώμα όταν η είσοδος έχει τιμή 1.

Δίπλα από τη χρωματιζόμενη δεξαμενή υπάρχει αριθμητική απεικόνιση της στάθμης, με χρήση αντικειμένου Text String. Ως Display Value ορίζεται η διεύθυνση του PLC που αντιστοιχεί στη μέτρηση. Με το ίδιο τρόπο απεικονίζεται και η αριθμητική τιμή της έντασης της αντλίας.

Πατώντας πάνω στη μέτρηση της στάθμης, εμφανίζεται παράθυρο διαστάσεων 320x400 pts, μέσω του οποίου γίνεται η ρύθμιση της στάθμης της δεξαμενής.

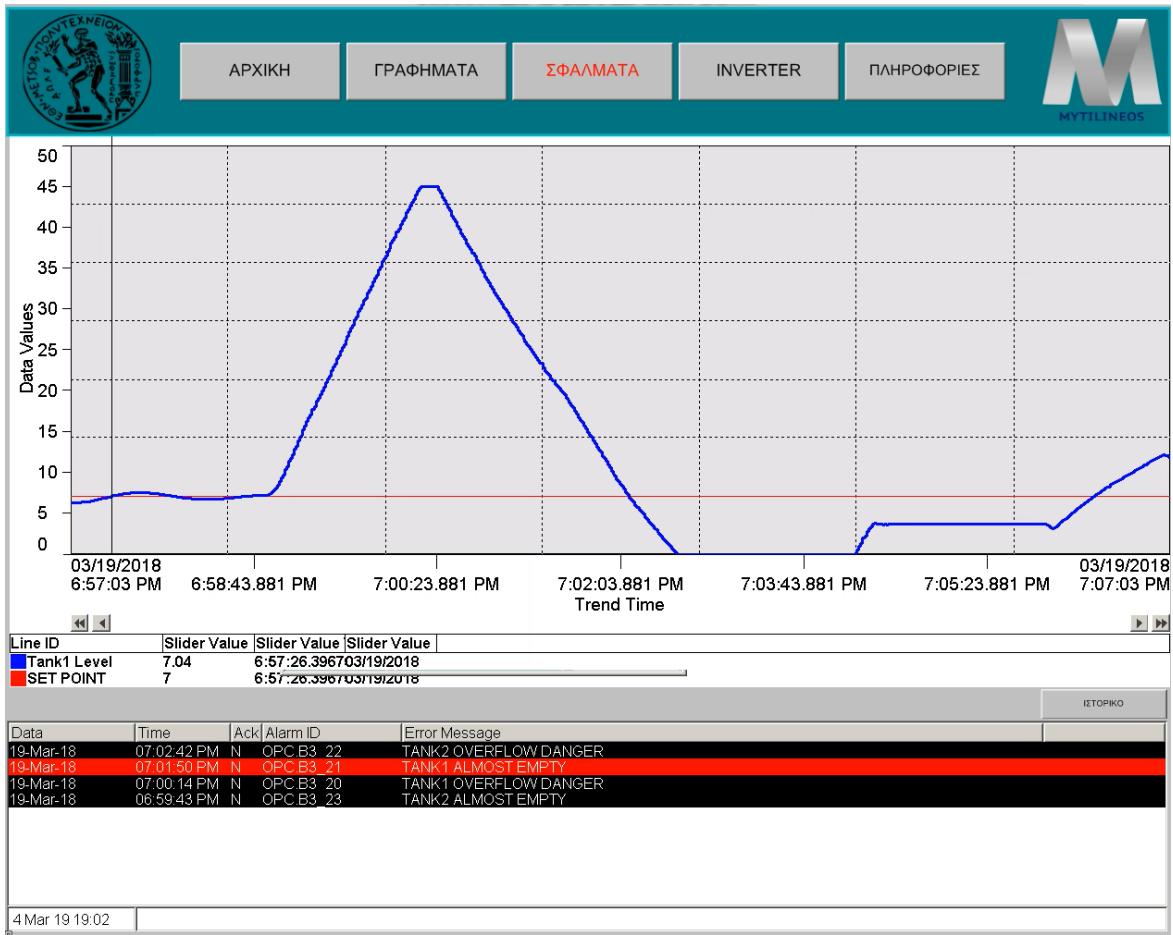


Σχήμα 8.5 Παράθυρο ρύθμισης στάθμης

Υπάρχουν τρεις αριθμητικές ενδείξεις αλλά και απεικόνιση τους σε bar animation. Αριστερά απεικονίζεται η ΕΝΤΟΛΗ επιθυμητής στάθμης που δίνει ο χειριστής μέσω του κουμπιού που είναι τοποθετημένο από κάτω. Στο κέντρο βρίσκεται η μέτρηση πραγματικού χρόνου και οι τιμές των  $K_p$ ,  $T_i$  και  $T_d$ . Δεξιά σχεδιάστηκε η ΕΞΟΔΟΣ λειτουργίας του κινητήρα σε ποσοστό επί τοις εκατό, την οποία ο χειριστής μπορεί να ορίσει, αν επιλέξει από το κουμπί τη Manual λειτουργία.

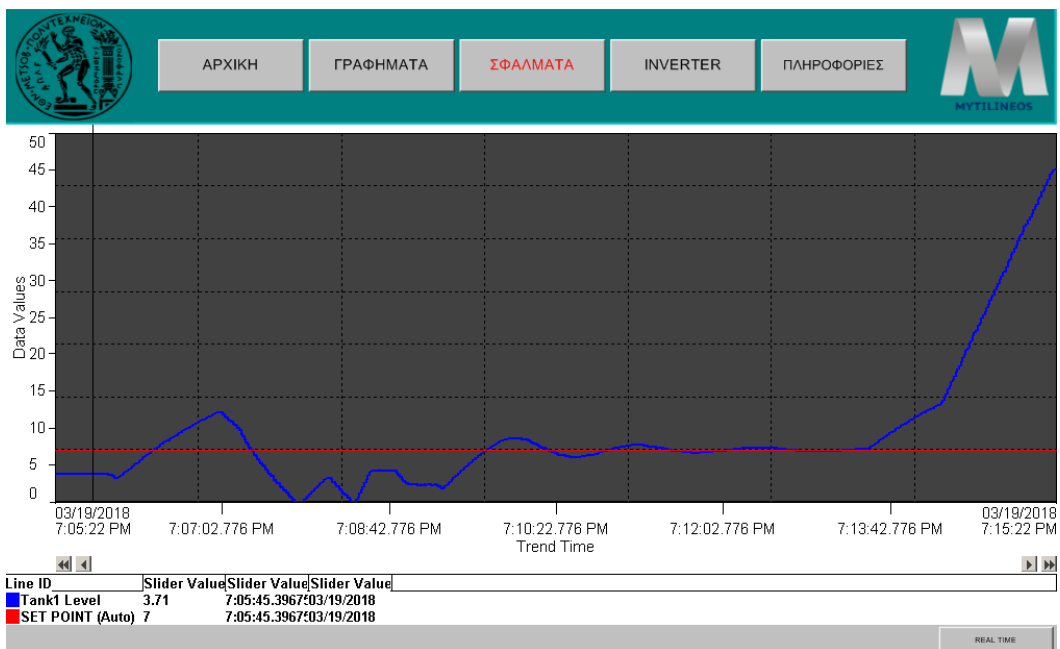
### 8.3 Οθόνη Γραφημάτων

Η οθόνη γραφήματος Trend.cim (Σχήμα 8.6) περιέχει ένα Active-X Control για γράφημα πραγματικού χρόνου όπου διακρίνονται οι τρέχουσες τιμές της στάθμης αλλά και των ΕΝΤΟΛΩΝ, ανάλογα με το αν η ρύθμιση είναι αυτόματη ή χειροκίνητη.



Σχήμα 8.6 Οθόνη γραφήματος πραγματικού χρόνου

Σε αυτή τη οθόνη υπάρχει κουμπί, το οποίο μεταφέρει το χρήστη σε αντίστοιχη οθόνη, με τη διαφορά ότι τα δεδομένα του γραφήματος προέρχονται από τον πίνακα DATA\_LOG της SQL βάσης δεδομένων που δημιουργήσαμε. Στο Σχήμα 8.7 βλέπουμε το γράφημα της οθόνης ιστορικού.



Σχήμα 8.7 Γράφημα στάθμης οθόνης Ιστορικού

## 8.4 Οθόνη Σφαλμάτων

Σε αυτή την οθόνη (Σχήμα 8.8) είναι ορατό το ιστορικό σφαλμάτων λειτουργίας μέσω Active-X object. Τα δεδομένα προέρχονται από τον πίνακα ALARM\_LOG της βάσης δεδομένων, με τα παρακάτω πεδία να δίνουν όλες τις απαραίτητες πληροφορίες για κάθε σφάλμα ξεχωριστά.

Ώρα καταγραφής σφάλματος	ID σφάλματος	Καταγραφέας	Ενέργεια καταγραφής	Ημερομηνία σφάλματος	Μήνυμα σφάλματος
--------------------------	--------------	-------------	---------------------	----------------------	------------------

time when logged	alarm_id	logged_by	log_action	generation_time	alarm_message
2018-03-19 19:18:14.6780000	OPC.B3_22	MASTER_PTMD_RP	G	2018-03-19 19:18:14.6780000	TANK2 OVERFLOW DANGER
2018-03-19 19:17:23.6623750	OPC.B3_21	MASTER_PTMD_RP	G	2018-03-19 19:17:23.6623750	TANK1 ALMOST EMPTY
2018-03-19 19:16:21.5373750	OPC.B3_20	MASTER_PTMD_RP	G	2018-03-19 19:16:21.5373750	TANK1 OVERFLOW DANGER
2018-03-19 19:14:50.5217500	OPC.B3_23	MASTER_PTMD_RP	G	2018-03-19 19:14:50.5217500	TANK2 ALMOST EMPTY
2018-03-19 19:02:42.0217500	OPC.B3_22	MASTER_PTMD_RP	G	2018-03-19 19:02:42.0217500	TANK2 OVERFLOW DANGER
2018-03-19 19:01:50.0217500	OPC.B3_21	MASTER_PTMD_RP	G	2018-03-19 19:01:50.0217500	TANK1 ALMOST EMPTY
2018-03-19 19:00:14.9436250	OPC.B3_20	MASTER_PTMD_RP	G	2018-03-19 19:00:14.9436250	TANK1 OVERFLOW DANGER
2018-03-19 18:59:43.9436250	OPC.B3_23	MASTER_PTMD_RP	G	2018-03-19 18:59:43.9436250	TANK2 ALMOST EMPTY
2018-03-19 18:42:16.4436250	OPC.B3_22	MASTER_PTMD_RP	G	2018-03-19 18:42:16.4436250	TANK2 OVERFLOW DANGER
2018-03-19 18:41:25.4280000	OPC.B3_21	MASTER_PTMD_RP	G	2018-03-19 18:41:25.4280000	TANK1 ALMOST EMPTY
2018-03-19 18:38:46.3342500	OPC.B3_20	MASTER_PTMD_RP	G	2018-03-19 18:38:46.3342500	TANK1 OVERFLOW DANGER

0 Mar 19 23:58

Σχήμα 8.8 Οθόνη ιστορικού σφαλμάτων

## 8.5 Οθόνη Inverter

Η οθόνη του inverter φαίνεται στο Σχήμα 8.9. Περιέχει βασικές πληροφορίες για την κατάσταση του inverter όπως η συχνότητα εξόδου, το ρεύμα εξόδου αλλά και η τιμή της εντολής επιθυμητής συχνότητας. Επιπλέον διακρίνεται η κατάσταση των Status bits αλλά και κουμπί μεταφοράς στην οθόνη ρύθμισης παραμέτρων του.

RUN	FR	REV	SU	OL	FU	ABC	FAULT
1	1	0	1	0	1	0	0

Συχνότητα εξόδου: 25.00 Hz  
 Ρεύμα εξόδου: 2.02 A  
 Εντολή επιθυμητής συχνότητας: 25 Hz

ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ      ΓΡΑΦΗΜΑ ΣΥΧΝΟΤΗΤΑΣ

Data	Time	Ack	Alarm ID	Error Message
19-Mar-18	05:14:15 PM	N	OPC_B3_20	TANK1 OVERFLOW DANGER
19-Mar-18	05:15:02 PM	N	OPC_B3_23	TANK1 ALMOST EMPTY
19-Mar-18	04:43:00 PM	N	OPC_B3_22	TANK1 OVERFLOW DANGER
19-Mar-18	04:43:09 PM	N	OPC_B3_21	TANK1 ALMOST EMPTY
19-Mar-18	04:36:19 PM	N	OPC_B3_41	M001 GENERAL ERROR
19-Mar-18	04:36:19 PM	N	OPC_B3_43	M001 thermal error

6 Mar 19 17:14

Σχήμα 8.9 Οθόνη πληροφοριών inverter

Πατώντας το κουμπί ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ, ο χειριστής μπορεί να δει και να τροποποιήσει βασικές παραμέτρους του inverter, στη νέα οθόνη που ανοίγει. Η οθόνη που παρατίθεται αφορά τις παραμέτρους 0-35 (Σχήμα 8.10). Υπάρχουν αντίστοιχες οθόνες για τις υπόλοιπες παραμέτρους.

The screenshot shows the 'ΣΦΑΛΜΑΤΑ' (Alarms) tab of the MYTILINEOS control system. It features a grid for configuring 35 parameters, each with a description, a value input field, and a unit. Below the grid is a table of recent alarms.

ΠΑ.	Περιγραφή	Τιμή	Unit
0	Ενίσχυση ροής (0 ως 30 %):	6	
1	Μέγιστη συχνότητα (0 ως 120 Hz)	60	
2	Ελάχιστη συχνότητα (0 ως 120 Hz)	10	
3	Συχνότητα βάσεως (0 ως 400 Hz)	50	
4	Υψηλή ταχύτητα (0 ως 400 Hz)	50	
5	Μεσαία ταχύτητα (0 ως 400 Hz)	30	
6	Χαμηλή ταχύτητα (0 ως 400 Hz)	10	
7	Χρόνος επιτάχυνσης (0 ως 3600 s)	4	
8	Χρόνος επιβράδυνσης (0 ως 3600 s)	4	
9	Ηλεκτρονικό θερμικό ρελέ O/L 0 ως 500A)	2	
10	Συχνότητα λειτ. έγχυσης επιβρ. DC (0 ως 120 Hz)	3	
11	Χρόνος λειτ. έγχυσης επιβράδυνσης DC (0 ως 10 s)	0	
12	Τάση λειτ. έγχυσης επιβράδυνσης DC (0 ως 30 %)	4	
13	Συχνότητα εκκίνησης (0 ως 60 Hz):	10	
14	Επιλογή σχεδίου (φόρτωσης 0 ως 3)	0	
15	Συχνότητα αργού ρυθμού (0 ως 400 Hz)	10	
16	Χρόνος επιτάχ./επιβρ. αργού ρυθμού (0 ως 3600 s)	0	
17	Επιλογή εισόδου MRS (0, 2, 4)	0	
18	Μέγιστη συχν. υψηλής ταχύτητας (120 ως 400 Hz)	60	
19	Τάση συχνότητας βάσης (0 ως 1000)	-1	
20	Συχνότητα συσχέτισης επιτ./επιβρ. (1 ως 400 Hz))	50	
22	Επίπεδο λειτουργίας αποφυγής διακοπής (0 ως 200 %)	150	
23	Παράγοντας αντισταθ. επιπέδου λειτ. αποφ. διακοπής σε διπλάσια ταχύτητα	0	
29	Επιλογή σχεδίου επιτάχ./επιβρ. (0, 1, 2)	0	
30	Επιλογή ανανεωτικής εντολής (0, 1, 2)	0	
31	Αναπήδηση συχνότητας 1A (0 ως 400 Hz)	0	
32	Αναπήδηση συχνότητας 1B (0 ως 400 Hz)	0	
33	Αναπήδηση συχνότητας 2A (0 ως 400 Hz)	0	
34	Αναπήδηση συχνότητας 2B (0 ως 400 Hz)	0	
35	Αναπήδηση συχνότητας 3A (0 ως 400 Hz)	0	

Data	Time	Ack	Alarm ID	Error Message
19-Mar-18	04:57:09 PM	N	OPC.B3_23	TANK2 ALMOST EMPTY
19-Mar-18	04:49:00 PM	N	OPC.B3_22	TANK2 OVERFLOW DANGER
19-Mar-18	04:48:09 PM	N	OPC.B3_21	TANK1 ALMOST EMPTY
19-Mar-18	04:36:19 PM	N	OPC.B3_41	Mo01 GENERAL ERROR
19-Mar-18	04:36:19 PM	N	OPC.B3_43	Mo01 thermal error

Σχήμα 8.10 Οθόνη ρύθμισης παραμέτρων

## 8.6 Οθόνη Πληροφοριών

Η τελευταία οθόνη έχει πληροφορίες σχετικά με την εργασία και link για το pdf της εργασίας (Σχήμα 8.11).

The screenshot shows the 'ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΕΣ' (Information) tab of the MYTILINEOS control system. It contains a detailed text report about the PLC configuration and a PDF icon for downloading the document.

Η παρουσία των PLCs, σήμερα, έχει επικρατήσει στον τομέα των αυτοματισμών, και γίνεται συνεχής προσπάθεια για ανάπτυξη νέων τεχνολογιών, που θα καταστήσουν ακόμα πιο αποδοτικό, εύκολο και γρήγορο τον έλεγχο βιομηχανικών εγκαταστάσεων.

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι να εξεταστεί και να αξιοποιηθεί η δυνατότητα σύνδεσης του PLC σε ένα βιομηχανικό δίκτυο Ethernet, για τον έλεγχο στροφών κινητήρα μέσω μετατροπέα συχνότητας, ο οποίος βρίσκεται στο ίδιο δίκτυο.

Για το σκοπό αυτό, κατασκευάζεται μια αυτοματοποιημένη εγκατάσταση σε μικρότερη κλίμακα. Πρόκειται για δύο δεξαμενές, τοποθετημένες με υψομετρική διαφορά, ώστε η υψηλότερη να τροφοδοτείται μέσω αντλίας (EH3, E-Tech) από τη χαμηλότερη, που λειτουργεί ως βοηθητικός χώρος αποθήκευσης του υγρού.

Σε πρώτο επίπεδο, σχεδιάστηκε και διασυνδέθηκε ο απαραίτητος ηλεκτρολογικός εξοπλισμός, αλλά και διαμορφώθηκε το Ethernet δίκτυο, δηλαδή συνδέθηκαν το PLC (Micrologix 1400, Allen Bradley), το SCADA (Cimplicity, GE) και το inverter (D700, Mitsubishi). Στο δεύτερο στάδιο, αναπτύχθηκε το πρόγραμμα του PLC σε γλώσσα Ladder για τον έλεγχο στάθμης της κύριας (υψηλότερης) δεξαμενής. Το PLC έχει ως είσοδο έναν αισθητήρα αναλογικής μέτρησης στάθμης της κύριας δεξαμενής, και μέσω κατάλληλου ελέγχου PID εντλεί το inverter, με τα σήματα αυτά να στέλνονται μέσω Ethernet (πρωτόκολλο Modbus TCP). Το τρίτο στάδιο περιλαμβάνει την ανάπτυξη του προγράμματος επιστάσιας για επίβλεψη και έλεγχο της κατασκευής από το χρήστη μέσω της οθόνης του υπολογιστή. Τέλος, φροντίζεται η συλλογή και αποθήκευση όλων των δεδομένων σε Βάση Δεδομένων για παρουσίαση γραφημάτων κτλ. Η δυνατότητα σύνδεσης ενός inverter με το PLC μέσω δικτύου προσφέρει πολλά πλεονεκτήματα, καθώς με μόνο ένα καλώδιο αποστέλλεται όλη η πληροφορία. Όταν δε, το δίκτυο από σειριακό μετατρέπεται σε Ethernet τα θετικά αυξάνονται, καθώς επωφελομαστε από πολύ υψηλές ταχύτητες, και δυνατότητα σύνδεσης των υλικών σε πολύ μεγάλες αποστάσεις.

Η εργασία εκπονήθηκε σε συνεργασία με την εταιρία «Αλουμίνιο της Ελλάδος» του Ομίλου Μυτιληναίος.

Σχήμα 8.11 Οθόνη πληροφοριών

# 9

## Συμπεράσματα δοκιμών – Προτάσεις βελτίωσης

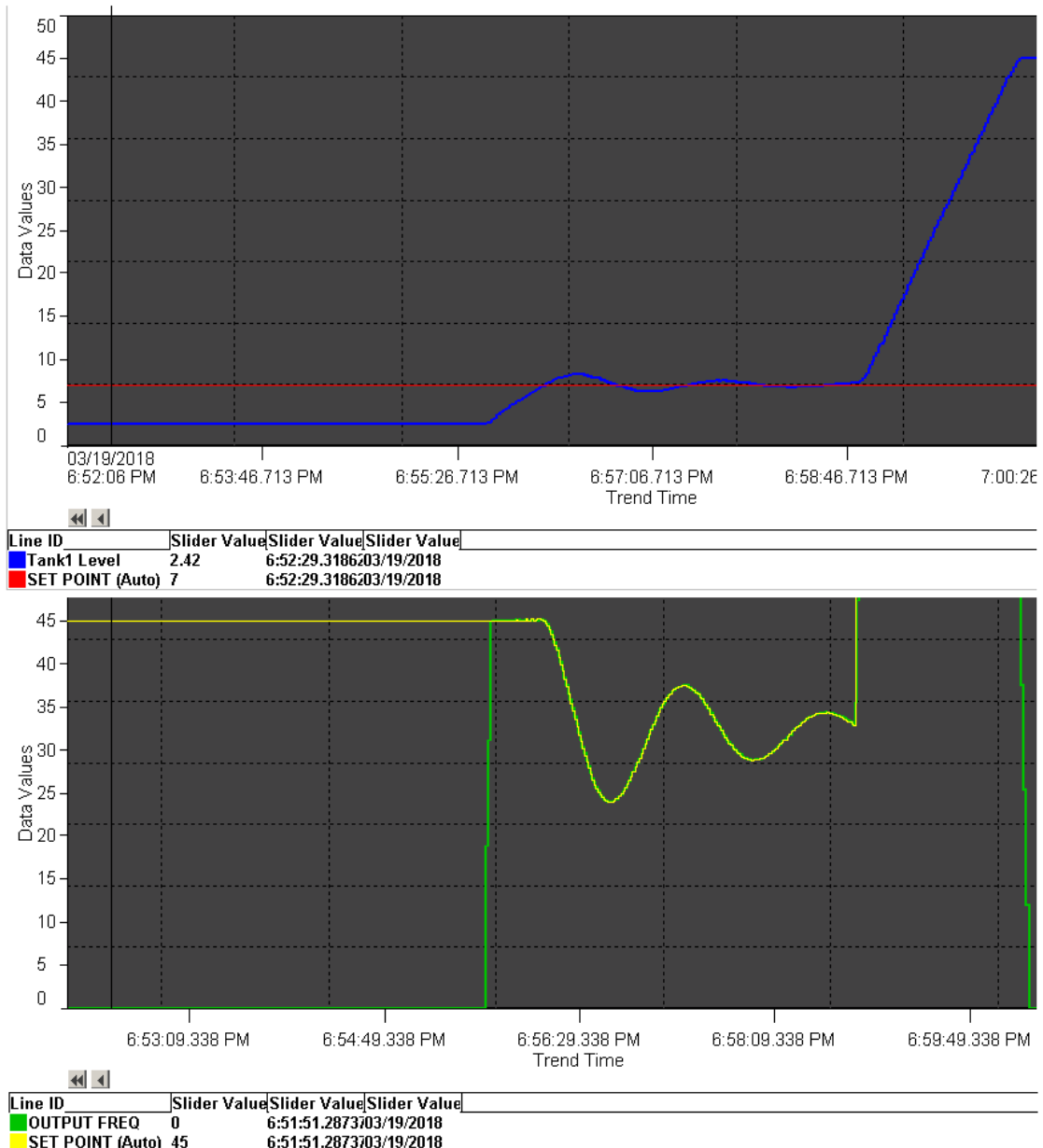
### 9.1 Δοκιμές και συμπεράσματα

Αφού ολοκληρώθηκαν επιτυχώς η φάση κατασκευής της διάταξης και του δικτύου, η φάση προγραμματισμού του PLC και η φάση δημιουργίας προγράμματος επιστασίας, ελέγχθηκε η λειτουργία της αυτοματοποιημένης διάταξης για να επικυρωθεί η σωστή υλοποίηση του δικτύου της διάταξης και να αποτυπωθούν στην πράξη τα πλεονεκτήματα σύνδεσης μιας συσκευής, όπως το inverter, στο ίδιο Ethernet δίκτυο με το PLC.

Δοκιμάστηκαν πολλά και διαφορετικά σενάρια χρήσης, με το αποτέλεσμα να είναι πάντα επιτυχές. Διαβάζουμε και ορίζουμε (σύμφωνα με το ζητούμενο του αυτοματισμού) τις παραμέτρους του PLC από το σταθμό εργασίας μας, κι όχι από το χώρο που βρίσκεται το inverter, πληροφορούμαστε σφάλματα που έχουν προκύψει στη συσκευή και φυσικά δίνουμε εντολές για εκκίνηση/σταμάτημα και τιμές της επιθυμητής εξόδου των στροφών του κινητήρα. Όλες αυτές οι δυνατότητες, μάλιστα, παρέχονται με τους χρόνους απόκρισης που προσφέρει ένα Ethernet δίκτυο. Επιπρόσθετα, η σύνδεση ανάμεσα στο PLC και το inverter με ξεχωριστά καλώδια ρεύματος για κάθε μια πληροφορία και κάθε μια εντολή αποφεύγεται και είναι περιττή, καθώς η σύνδεση ανάμεσα τους προκύπτει ουσιαστικά με τη χρήση ενός μόνο καλωδίου δικτύου. Ένα ακόμη πλεονέκτημα που προκύπτει από τη χρήση του ενός μονάχα καλωδίου είναι, η εύκολη και χωρίς πρόσθετο κόστος, μεταφορά όχι μόνο των απαραίτητων σημάτων, αλλά όλης της πληροφορίας που προσφέρει μια τέτοια συσκευή.

Ένα από τα σενάρια δοκιμών εξηγείται στο Σχήμα 9.1. Στο πρώτο διάγραμμα απεικονίζεται με μπλε χρώμα η πραγματική μέτρηση της στάθμης σε cm, και με κόκκινο χρώμα η επιθυμητή τιμή του επιπέδου της στάθμης, επίσης σε cm. Στο δεύτερο διάγραμμα, βλέπουμε την πραγματική συχνότητα εξόδου του inverter σε Hz με πράσινο χρώμα, και τη συχνότητα που θέτουμε με κίτρινο χρώμα (Hz). Τα στοιχεία της πράσινης και της κίτρινης γραμμής προέρχονται από μηνύματα επικοινωνίας του PLC με το inverter. Αρχικά, θα πρέπει να παρατηρήσουμε ότι από τη στιγμή που εκκινούμε τον κινητήρα η τιμή συχνότητας που επιθυμούμε γράφεται άμεσα στο inverter, αφού η τιμή της ταυτίζεται με την πραγματική συχνότητα εξόδου του ανά πάσα στιγμή. Ενώ η στάθμη βρίσκεται στα 2.42 cm και ενώ βρισκόμαστε σε αυτόματη λειτουργία, δηλαδή η στάθμη ρυθμίζεται μέσω του PID, δίνεται εντολή εκκίνησης του κινητήρα. Η συχνότητα του κινητήρα αυξάνεται και μειώνεται αναλόγως, προκειμένου η στάθμη να σταθεροποιηθεί στο επίπεδο που έχει ζητηθεί. Μόλις η στάθμη περνά την επιθυμητή τιμή, ο ρυθμιστής στροφών μειώνει επιτυχώς τη συχνότητα του κινητήρα, και το αντίστροφο. Στη συνέχεια του σεναρίου, ορίζουμε χειροκίνητη λειτουργία, και θέτουμε τη συχνότητα του κινητήρα στη μέγιστη τιμή της. Έχουμε πολύ μεγαλύτερη παροχή νερού στην TANK1, και η στάθμη ανεβαίνει με πολύ γρήγορους ρυθμούς. Τελικά, η στάθμη ξεπερνά τα επιτρεπτά όρια, προκύπτει σφάλμα υψηλής στάθμης της δεξαμενής, και δίνεται εντολή σταματήματος της αντλίας από τον αυτοματισμό.





**Σχήμα 9.1 Απόκριση εξόδου inverter σε σενάριο λειτουργίας**

Η εκπόνηση της διπλωματικής αυτής εργασίας συντέλεσε στην εξαγωγή των ανωτέρω σημαντικών συμπερασμάτων σχετικά με τις δυνατότητες ευελιξίας που παρέχει το Ethernet με σκοπό την αύξηση της παραγωγικότητας αλλά και τη βελτίωση της λειτουργικότητας. Πέραν τούτου, η εργασία αυτή αποτέλεσε οδηγό εκμάθησης της διαδικασίας για την ολοκλήρωση κατασκευής μιας πραγματικής εγκατάστασης, από το επίπεδο σχεδιασμού μέχρι και την τελική λειτουργία της.

## 9.2 Προτάσεις βελτίωσης

Τα οφέλη που προκύπτουν απ' τη χρήση δικτύου Ethernet σε βιομηχανικό περιβάλλον είναι πολλά και σημαντικά. Εκμεταλλεύομενοι περαιτέρω τα εργαλεία που παρέχει το Ethernet, μπορούμε μελλοντικά να προβούμε σε διαδικασίες βελτίωσης και επέκτασης της λειτουργίας της διάταξης μας.

Η χρήση του Ethernet, και κατά συνέπεια του πρωτοκόλλου TCP/IP που αποτελεί τη ραχοκοκαλιά του Διαδικτύου (Internet), καθιστά εύκολη τη δυνατότητα σύνδεσης διαφορετικών βιομηχανικών δικτύων μεταξύ τους (μέσω του Internet). Δίκτυα τα οποία βρίσκονται σε απομακρυσμένες τοποθεσίες, ακόμα και σε διαφορετικά μέρη του πλανήτη είναι δυνατόν να συνδεθούν μεταξύ τους, επιτρέποντας την κοινή χρήση δεδομένων, ακόμα και τον τηλεχειρισμό εγκαταστάσεων. Λόγω των ευαίσθητων πληροφοριών που περιέχονται σε αυτά τα δεδομένα, μπορούν να δημιουργηθούν VPN (Virtual Private Network) συνδέσεις point-to-point, έτσι ώστε όλη η κίνηση μεταξύ των απομακρυσμένων βιομηχανικών δικτύων να είναι κρυπτογραφημένη και ασφαλής, προσβάσιμη μόνο από εξουσιοδοτημένο προσωπικό (Σχήμα 9.2).



**Σχήμα 9.2 Ασφαλής απομακρυσμένη πρόσβαση μέσω VPN<sup>5</sup>**

Μία ακόμα τεχνολογία που μπορεί να υιοθετηθεί με ευκολία λόγω του βιομηχανικού Ethernet, είναι η εκμετάλλευση των τηλεφωνικών δικτύων για επικοινωνία με το βιομηχανικό εξοπλισμό. Τα τηλεφωνικά δίκτυο GPRS, 3G/4G βασίζονται στο IP, που σημαίνει ότι η σύνδεση με μία βιομηχανική συσκευή μπορεί να είναι συνεχής και αδιάληπτη. Τα σύγχρονα συστήματα SCADA δίνουν πλέον τη δυνατότητα χρήσης mobile εφαρμογών για απεικόνιση του HMI σε μικρότερου μεγέθους συσκευές (Σχήμα 9.3), βάζοντας τέλος στο πρόβλημα του scaling της εικόνας.



**Σχήμα 9.3 HMI σε φορητές συσκευές<sup>6</sup>**

Ακόμα κι αν απαιτείται πρόσβαση μόνο μέσα όρια ενός εργοστασίου, τότε τα εσωτερικά ασύρματα δίκτυα μέσω Wi-Fi προσφέρουν μια μεγαλύτερη ευελιξία και χρησιμότητα. Τα ασύρματα δίκτυα μπορούν να “ενωθούν” με τα υπάρχοντα ενσύρματα με χρήση Access Points βιομηχανικού τύπου χωρίς πολύπλοκες διαδικασίες και χωρίς χρήση εξειδικευμένων υλικών όπως Serial σε Wi-Fi μετατροπείς αμφιβόλου αποτελέσματος.

Πέραν των βελτιώσεων σε επίπεδο μορφής του δικτύου, προτείνεται η απ’ ευθείας σύνδεση βιομηχανικών συσκευών του δικτύου όπως το inverter, με τον SCADA Server (μέσω switch). Ως αποτέλεσμα, μπορούμε να επωφεληθούμε με την άμεση διαθεσιμότητα των πληροφοριών που περιέχουν και μπορούν να μας παρέχουν οι συσκευές αυτές, με την επεξεργασία των δεδομένων σε κατάλληλη οπτική παρουσίαση για το χειριστή, και ως ένα επίπεδο με τον προγραμματισμό τους από το SCADA, χωρίς τη χρήση επιπλέον εξοπλισμού.

<sup>5</sup> Πηγή: [https://www.tofinosecurity.com/press\\_tofino\\_vpn\\_release](https://www.tofinosecurity.com/press_tofino_vpn_release)

<sup>6</sup> Πηγή: <http://blog.wonderware.com/2013/08/wonderware-intouch-access-anywhere.html>

# 10 Βιβλιογραφία

- [1] Γ. Κορρές, Εποπτεία και Διαχείριση Ενεργειακών Συστημάτων, Εκδόσεις Ε.Μ.Π., 2008.
- [2] S. A. Boyer, SCADA : Supervisory Control And Data Acquisition, 1993.
- [3] Κ. Καλοβρέκτης and Ν. Κατέβας, Αισθητήρες Μέτρησης και Ελέγχου, Εκδόσεις Τζιόλα, 2013.
- [4] Σ. Ν. Μανιάς, Ηλεκτρονικά Ισχύος, Εκδόσεις Συμεών, 2004.
- [5] Σ. Ν. Μανιάς and Α. Καλετσάνος, Βιομηχανικά Ηλεκτρονικά, Εκδόσεις Συμεών, 2003.
- [6] Mohan, Undeland and Robbins, Εισαγωγή στα Ηλεκτρονικά Ισχύος, Εκδόσεις Τζιόλα, 2010.
- [7] General Electric, Proficy CIMPLICITY Fundamentals (Course Manual), General Electric.
- [8] General Electric, Proficy CIMPLICITY Advanced (Course Manual), General Electric.
- [9] Γ. Κορρές, "Προγραμματιζόμενοι Λογικοί Ελεγκτές (PLC)," [Online]. Available: [http://mycourses.ntua.gr/courses/ECE1254/document/Chapter\\_2\\_PLC\\_Basics.pdf](http://mycourses.ntua.gr/courses/ECE1254/document/Chapter_2_PLC_Basics.pdf).
- [10] "MicroLogix Selection Guide," [Online]. Available: [http://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/sg/1761-sg001\\_-en-p.pdf](http://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/sg/1761-sg001_-en-p.pdf).
- [11] "MicroLogix 1400 User Manual," [Online]. Available: [http://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/um/1766-um001\\_-en-p.pdf](http://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/um/1766-um001_-en-p.pdf).
- [12] "MicroLogix 1400 Instruction Set Reference Manual," [Online]. Available: [http://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/rm/1766-rm001\\_-en-p.pdf](http://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/rm/1766-rm001_-en-p.pdf).
- [13] "Allen Bradley RSLogix 500 Getting Results Guide," [Online]. Available: [http://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/gr/lg500-gr002\\_-en-e.pdf](http://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/gr/lg500-gr002_-en-e.pdf).
- [14] "Mitsubishi Inverter D-700 User's Manual," [Online]. Available: <https://www.vfds.com/manuals/mitsubishi-d700-manual.pdf>.
- [15] «Mitsubishi Inverter FR\_D700 Οδηγίες Εγκατάστασης,» [Ηλεκτρονικό]. Available: [http://www.uteco.gr/files/pdfs/mini\\_manuals/mini\\_manual\\_mitsubishi\\_fr\\_d700\\_el.pdf](http://www.uteco.gr/files/pdfs/mini_manuals/mini_manual_mitsubishi_fr_d700_el.pdf).
- [16] "E-Tech EH - EHsp SERIES Product Guide," [Online]. Available: [http://franklinwater.eu/media/382966/00103890en-ct-etech-eh\\_rev02\\_05-2017\\_web.pdf](http://franklinwater.eu/media/382966/00103890en-ct-etech-eh_rev02_05-2017_web.pdf).
- [17] "E-Tech Operating Manual," 2016. [Online]. Available: [http://www.etechpumps.com/pdf/operatingmanuals/00102519%20OPM\\_EH\\_3-5-9-15-20.pdf](http://www.etechpumps.com/pdf/operatingmanuals/00102519%20OPM_EH_3-5-9-15-20.pdf).
- [18] "Product Information about SICK Ultrasonic Sensors," [Online]. Available: [https://www.sick.com/de/en/distance-sensors/ultrasonic-sensors/um18/c/g185679?sort=Def\\_Name-asc&q=#](https://www.sick.com/de/en/distance-sensors/ultrasonic-sensors/um18/c/g185679?sort=Def_Name-asc&q=#).

- [19] "Datasheet SICK UM18-212126111," [Online]. Available: [https://www.sick.com/media/pdf/5/65/765/dataSheet\\_UM18-212126111\\_6048398\\_en.pdf](https://www.sick.com/media/pdf/5/65/765/dataSheet_UM18-212126111_6048398_en.pdf).
- [20] "Technical Explanation for Level Controllers OMRON," [Online]. Available: [https://www.ia.omron.com/data\\_pdf/guide/33/levelapparatus\\_tg\\_e\\_6\\_3.pdf](https://www.ia.omron.com/data_pdf/guide/33/levelapparatus_tg_e_6_3.pdf).
- [21] "Conductive Level Controller OMRON K8AK-LS," [Online]. Available: [http://www.ia.omron.com/data\\_pdf/cat/k8ak-ls\\_n188-e1\\_4\\_5\\_csm1020918.pdf?id=3240](http://www.ia.omron.com/data_pdf/cat/k8ak-ls_n188-e1_4_5_csm1020918.pdf?id=3240).
- [22] "CIMPLICITY 9.5 from GE Digital Datasheet," [Online]. Available: <https://www.ge.com/digital/sites/default/files/cimplicity-from-ge-digital-datasheet.pdf>.
- [23] "Modbus," [Online]. Available: <http://www.simplymodbus.ca>.
- [24] "Modbus Application Protocol Specification," [Online]. Available: [http://www.modbus.org/docs/Modbus\\_Application\\_Protocol\\_V1\\_1b3.pdf](http://www.modbus.org/docs/Modbus_Application_Protocol_V1_1b3.pdf).
- [25] "Modbus Messaging on TCP/IP Implementation Guide," [Online]. Available: [http://www.modbus.org/docs/Modbus\\_Messaging\\_Implementation\\_Guide\\_V1\\_0b.pdf](http://www.modbus.org/docs/Modbus_Messaging_Implementation_Guide_V1_0b.pdf).
- [26] "Modbus over Serial Line Specification and Implementation Guide," [Online]. Available: [http://www.modbus.org/docs/Modbus\\_over\\_serial\\_line\\_V1\\_02.pdf](http://www.modbus.org/docs/Modbus_over_serial_line_V1_02.pdf).
- [27] "Digi One IAP Haz Datasheet," [Online]. Available: <https://www.digi.com/products/serial-servers/industrial-hardened-serial-servers/digioneiapfamily#resources>.
- [28] P. Brooks, "EtherNet/IP: Industrial Protocol White Paper," [Online]. Available: [http://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/wp/enet-wp001\\_en-p.pdf](http://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/wp/enet-wp001_en-p.pdf).
- [29] S. J. Marrano, "Process and Instrumentation Diagram Development In Water and Waste Water Treatment Plants," [Online]. Available: <https://www.isa.org/pdfs/divisions1/process-and-instrumentation-diagram-development/>.
- [30] "Διαγράμματα Ροής Χημικών Βιομηχανιών," [Online]. Available: <http://www.chemeng.ntua.gr/courses/sme/files/diafaneies2.pdf>.
- [31] Κ. Γαύρος, "Εισαγωγικές έννοιες θεωρίας Συστημάτων Αυτομάτου Ελέγχου," [Online]. Available: <https://goo.gl/TTXV6d>.
- [32] Γ. Παπαλάμπρου. [Online]. Available: [http://www.lme.ntua.gr:8080/academic-info-1/prospheromena-mathemata/eisagoge-ston-automato-elegkho/files/cs11\\_book\\_gr\\_xe\\_p3.pdf](http://www.lme.ntua.gr:8080/academic-info-1/prospheromena-mathemata/eisagoge-ston-automato-elegkho/files/cs11_book_gr_xe_p3.pdf).
- [33] Δ. Κατσαπρακάκης, "Χαρακτηριστικές Καμπύλες Αντλιών," [Online].
- [34] Α. Βελώνη, "Συστήματα Εποπτικού Ελέγχου και Συλλογής Δεδομένων," [Online]. Available: <http://eclass.teipir.gr/openeclass/modules/document/?course=HYS100>.
- [35] "Ethernet," Wikipedia, [Online]. Available: <https://el.wikipedia.org/wiki/Ethernet>.
- [36] "PID controller," Wikipedia, [Online]. Available: [https://en.wikipedia.org/wiki/PID\\_controller](https://en.wikipedia.org/wiki/PID_controller).
- [37] Σ. Ρήγας, Ανάπτυξη Αυτοματισμού Συστήματος Άρδευσης Πρασίνου της ΤΡΑΜ Α.Ε., Διπλωματική Εργασία Ε.Μ.Π., 2007.
- [38] Ν. Μπεκιάρης, Κατασκευή Εκπαιδευτικού Μοντέλου Ελέγχου Στάθμης Δεξαμενών, Διπλωματική Εργασία Ε.Μ.Π., 2010.

