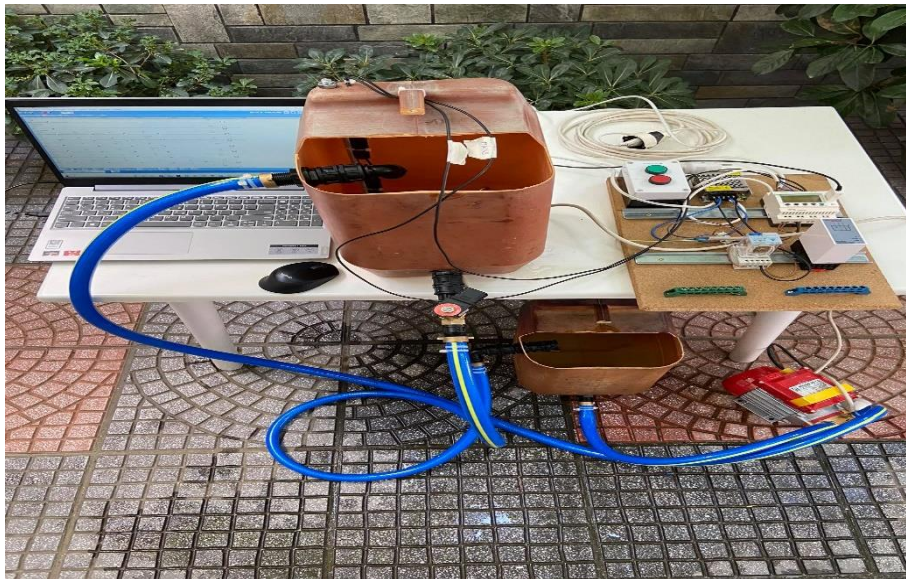


ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ
ΚΑΙ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

«Μοντελοποίηση και προσομοίωση
ελέγχου στάθμης δεξαμενών σε
οικιακό συγκρότημα ελεγχόμενο με P.L.C»



Του φοιτητή
Ζωγράφου Δημητρίου
Αρ. Μητρώου: 512036

Επιβλέπων
Χρήστος Κ. Μανάνης
Βαθμίδα: Λέκτορας

Θεσσαλονίκη, Σεπτέμβριος 2021

Τίτλος Π.Ε.: Μοντελοποίηση και προσομοίωση ελέγχου στάθμης δεξαμενών σε οικιακό συγκρότημα ελεγχόμενο με PLC
Κωδικός Π.Ε.: 16199M
Όνοματεπώνυμο φοιτητή : Ζωγράφος Δημήτριος
Όνοματεπώνυμο εισηγητή : Μανάβης Χρήστος
Ημερομηνία ανάληψης Π.Ε. : Απρίλιος 2019
Ημερομηνία περάτωσης Π.Ε. : Σεπτέμβριος 2021

Βεβαιώνω ότι είμαι ο συγγραφέας αυτής της εργασίας και ότι κάθε βοήθεια την οποία είχα για την προετοιμασία της είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην εργασία. Επίσης, έχω καταγράψει τις όποιες πηγές από τις οποίες έκανα χρήση δεδομένων, ιδεών, εικόνων και κειμένου, είτε αυτές αναφέρονται ακριβώς είτε παραφρασμένες. Επιπλέον, βεβαιώνω ότι αυτή η εργασία προετοιμάστηκε από εμένα προσωπικά, ειδικά ως διπλωματική εργασία, στο Τμήμα Μηχανικών Πληροφορικής και Ηλεκτρονικών Συστημάτων του ΔΙ.ΠΑ.Ε.

Η παρούσα εργασία αποτελεί πνευματική ιδιοκτησία του φοιτητή Ζωγράφου Δημήτριο που την εκπόνησε. Στο πλαίσιο της πολιτικής ανοικτής πρόσβασης, ο συγγραφέας/δημιουργός εκχωρεί στο Διεθνές Πανεπιστήμιο της Ελλάδος άδεια χρήσης του δικαιώματος αναπαραγωγής, δανεισμού, παρουσίασης στο κοινό και ψηφιακής διάχυσης της εργασίας διεθνώς, σε ηλεκτρονική μορφή και σε οποιοδήποτε μέσο, για διδακτικούς και ερευνητικούς σκοπούς, άνευ ανταλλάγματος. Η ανοικτή πρόσβαση στο πλήρες κείμενο της εργασίας, δεν σημαίνει καθ' οιονδήποτε τρόπο παραχώρηση δικαιωμάτων διανοητικής ιδιοκτησίας του συγγραφέα/δημιουργού, ούτε επιτρέπει την αναπαραγωγή, αναδημοσίευση, αντιγραφή, πώληση, εμπορική χρήση, διανομή, έκδοση, μεταφόρτωση (downloading), ανάρτηση (uploading), μετάφραση, τροποποίηση με οποιονδήποτε τρόπο, τμηματικά ή περιληπτικά της εργασίας, χωρίς τη ρητή προηγούμενη έγγραφη συναίνεση του συγγραφέα/δημιουργού.

Η έγκριση της διπλωματικής εργασίας από το Τμήμα Μηχανικών Πληροφορικής και Ηλεκτρονικών Συστημάτων του Διεθνούς Πανεπιστημίου της Ελλάδος, δεν υποδηλώνει απαραίτητως και αποδοχή των απόψεων του συγγραφέα, εκ μέρους του Τμήματος.

Πρόλογος

Η παρούσα εργασία επιλέχτηκε διότι αφορούσε τον αυτοματισμό και όπως γνωρίζουμε ο αυτοματισμός αποτελεί ένα αναπόσπαστο κομμάτι στη καθημερινότητα μας. Επιπλέον, πολλές βιομηχανίες σήμερα λειτουργούν με τη βοήθεια των PLC, οπότε ήταν μιας πρώτης τάξεως ευκαιρία να ασχοληθώ με το συγκεκριμένο ελεγκτή.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κ. Μανάβη, διότι χάρις το μάθημα που διδάσκει, με ενέπνευσε να ασχοληθώ και να μελετήσω τα PLC εκτενέστερα. Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον πατέρα μου για την συμπαράσταση του και τη βοήθεια που μου πρόσφερε λόγω των γνώσεων του στα ηλεκτρολογικά.

Τέλος, θα ήθελα να αναφερθώ στις δυσκολίες που αντιμετώπισα, που έχουν να κάνουν με τη δημιουργία ενός ηλεκτρολογικού πίνακα και τις συνδέσεις που απαιτούσε η εφαρμογή του αυτοματισμού. Τελικά, με την εντατική μελέτη και τις γνώσεις που απέκτησα, επιλύθηκαν.

Περίληψη

Ο σκοπός της παρούσας πτυχιακής εργασίας είναι, η υλοποίηση ενός αυτόματου συστήματος ελέγχου της στάθμης δεξαμενής νερού, με τη χρήση του PLC. Η κατασκευή αποτελεί μια «μικρογραφία» ενός αντλιοστασίου ύδρευσης που αποτελείται από δεξαμενές, ηλεκτροβάνες και αντλίες που μεταφέρουν το νερό στον τελικό προορισμό τους, που μπορεί να είναι η ύδρευση κατοικιών.

Η κατασκευή περιλαμβάνει δύο δεξαμενές, η πρώτη ως δεξαμενή αποθήκευσης νερού και η δεύτερη ως δεξαμενή ελέγχου. Οι δύο δεξαμενές συνδέονται μέσω μιας αντλίας που χρησιμοποιείται για τη μεταφορά του νερού, δύο αισθητηρίων στάθμης για τον έλεγχο της πληρότητας της δεύτερης δεξαμενής και μιας ηλεκτροβαλβίδας, όπου χάρις αυτήν πραγματοποιείται ανακυκλοφορία στο σύστημα.

Αποτελεί μια βασική εφαρμογή, που βρίσκει πραγματική χρήση και δίνει τη δυνατότητα στον προπτυχιακό φοιτητή, να ασχοληθεί με τον αυτοματισμό, όπως επίσης και με διάφορα ηλεκτρολογικά στοιχεία.

Abstract

The purpose of this thesis is to implement an automatic water tank level control system, using the PLC. The construction is a “miniature” of a water pumping station, consisting of tanks, solenoid valves and pumps that carry water to their final destination, which can be the water supply of homes.

The construction includes two tanks, the first as a water storage tank and the second as a control tank. The two tanks are connected via a pump used to transport water, two level sensors to check the fullness of the second tank and a solenoid valve, which is used to recirculate the system.

It is a basic application, which finds real use and enables the undergraduate student to deal with automation, as well as various electrical components.

Περιεχόμενα

Πρόλογος.....	3
Περίληψη.....	4
Abstract	5
Περιεχόμενα.....	6
Κατάλογος Σχημάτων.....	8
Κατάλογος Πινάκων.....	8
Εισαγωγή.....	9
Κεφάλαιο 1ο: Εισαγωγή στον αυτοματισμό	
1.1 Ο αυτοματισμός.....	10
1.2 Ιστορική εξέλιξη του αυτοματισμού.....	11
1.3 Ο αυτοματισμός στη ζωή μας.....	14
Κεφάλαιο 2ο: Συστήματα αυτόματου ελέγχου	
2.1 Εισαγωγή.....	16
2.2 Ταξινόμηση των συστημάτων ελέγχου.....	16
2.3 Σύγκριση μέσων λειτουργίας των συστημάτων αυτοματισμού.....	18
2.3.1 Πνευματικά συστήματα.....	18
2.3.2 Υδραυλικά συστήματα.....	20
2.3.3 Ηλεκτρικά συστήματα.....	21
2.3.4 Ηλεκτρονικά συστήματα.....	23
2.3.5 Σύνθετα συστήματα.....	24
Κεφάλαιο 3ο: Προγραμματιζόμενος λογικός ελεγκτής	
3.1 Ιστορική αναδρομή.....	25
3.2 Ορισμός PLC.....	26
3.3 Δομή ενός PLC.....	28
3.4 Τύποι PLC.....	33
3.5 Εναλλακτικές λύσεις έναντι του PLC.....	37
3.5.1 Arduino.....	37
3.5.2 Raspberry Pi.....	39
3.5.3 ESP32.....	40
Κεφάλαιο 4ο: Αρχή λειτουργίας και προγραμματισμός του PLC	
4.1 Κύκλος λειτουργίας.....	42

4.2 Γλώσσες προγραμματισμού του PLC.....	43
4.2.1 Ladder Diagram (LD) ή Σχέδιο Επαφών.....	44
4.2.2 Function Block (FBD) ή Λογικό Διάγραμμα.....	46
4.2.3 Sequential Function Chart (SFC) ή Διάγραμμα Ροής.....	49
4.2.4 Instruction List (IL) ή Λίστα Επαφών.....	50
4.2.5 Structured Text (ST) ή Δομημένο Κείμενο.....	51
Κεφάλαιο 5ο: Συστήματα βιομηχανικού ελέγχου HMI και SCADA	
5.1 Εισαγωγή στις HMI (Human Machine Interface).....	53
5.2 Συστήματα εποπτικού ελέγχου SCADA.....	54
5.3 Εξέλιξη των συστημάτων SCADA.....	55
5.3.1 Μονολιθικά συστήματα SCADA.....	55
5.3.2 Κατανεμημένα συστήματα SCADA.....	56
5.3.3 Δικτυακά συστήματα SCADA.....	57
5.3.4 Industry 4.0 και SCADA.....	58
5.4 Πρωτόκολλα επικοινωνίας SCADA.....	60
5.5 Οφέλη και προβλήματα των συστημάτων SCADA.....	65
Κεφάλαιο 6ο: Υλοποίηση της εφαρμογής	
6.1 Περιγραφή.....	67
6.2 Επιλογή υλικών.....	68
6.3 Προσομοίωση εφαρμογής.....	72
Κεφάλαιο 7ο: Συμπεράσματα και προτάσεις βελτίωσης.....	78
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	79
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α: ΚΩΔΙΚΑΣ ΤΟΥ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ.....	81

Κατάλογος Σχημάτων

Σχήμα 2.1: Σύστημα μεταφοράς.....	16
Σχήμα 2.2: Γραφική απεικόνιση συστήματος ανοικτού βρόχου.....	17
Σχήμα 2.3: Γραφική απεικόνιση συστήματος κλειστού βρόχου.....	17
Σχήμα 2.4: Μπλοκ διάγραμμα ηλεκτρονικού συστήματος.....	23
Σχήμα 2.5: Σήμα συνεχούς και διακριτού χρόνου.....	24
Σχήμα 3.1: Μπλοκ διάγραμμα ενός σταθερού PLC.....	34
Σχήμα 3.2: Μπλοκ διάγραμμα ενός δομοστοιχειωτού PLC.....	34
Σχήμα 4.1: Ο κύκλος λειτουργίας ενός PLC.....	42
Σχήμα 4.2: Χρόνος σάρωσης σε συνάρτηση με τα 3 στάδια λειτουργίας.....	43
Σχήμα 4.3: Προγραμματιστικές γλώσσες PLC.....	44
Σχήμα 4.4: Σύγκριση μεταξύ ηλεκτρολογικού σχεδίου και διαγράμματος Ladder.....	45
Σχήμα 4.5: Ισοδύναμο κύκλωμα της λογικής πράξης AND.....	46
Σχήμα 4.6: Σύμβολο κατά ANSI και κατά DIN της πύλης AND.....	47
Σχήμα 4.7: Ισοδύναμο κύκλωμα της λογικής πράξης OR.....	47
Σχήμα 4.8: Σύμβολο κατά ANSI και κατά DIN της πύλης OR.....	48
Σχήμα 4.9: Ισοδύναμο κύκλωμα της λογικής πράξης NOT.....	48
Σχήμα 4.10: Σύμβολο κατά ANSI και κατά DIN της πύλης NOT.....	49
Σχήμα 4.11: Η δομή του SFC και η ισοδύναμη λογική σε ladder.....	49
Σχήμα 4.12: Δομή μίας γραμμής.....	50
Σχήμα 4.13: Απόδοση της LD με χρήση της List.....	51
Σχήμα 4.14: Απόδοση της Ladder με χρήση της γλώσσας ST.....	52

Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 4.1: Πίνακας Αληθείας της Πύλης AND.....	46
Πίνακας 4.2: Πίνακας Αληθείας της Πύλης OR.....	47
Πίνακας 4.3: Πίνακας Αληθείας της Πύλης NOT.....	48

Εισαγωγή

Η παρούσα πτυχιακή εργασία αποτελείται από 7 κεφάλαια. Στη συνέχεια δίδεται μια συνοπτική αναφορά στο κάθε κεφάλαιο και στο περιεχόμενο του.

Κεφάλαιο 1^ο

Εισάγεται η έννοια του αυτοματισμού και γίνεται μια λεπτομερής περιγραφή της εξέλιξης του αυτοματισμού, από την αρχαιότητα μέχρι και σήμερα.

Κεφάλαιο 2^ο

Γίνεται αναφορά στα συστήματα αυτόματου ελέγχου και πως κατατάσσονται αναλόγως με τα χαρακτηριστικά που διαθέτουν.

Κεφάλαιο 3^ο

Αναλύεται λεπτομερώς τι είναι το PLC, από τι μέρη αποτελείται, καθώς και τους διαφορετικούς τύπους PLC που βρίσκουν χρήση, αναλόγως την εφαρμογή τους. Επίσης, στο τέλος γίνεται μια αναφορά σε άλλα συστήματα αυτοματισμού, που προσφέρονται ως εναλλακτική λύση.

Κεφάλαιο 4^ο

Θα μπορούσε να αποτελεί κομμάτι του 3^{ου} κεφαλαίου, αλλά επιλέχθηκε ως ξεχωριστό για να προσδώσει βαθύτερη έμφαση στις γλώσσες προγραμματισμού του PLC.

Κεφάλαιο 5^ο

Αναφέρεται στη χρησιμότητα των βιομηχανικών συστημάτων ελέγχου HMI και SCADA. Επιπροσθέτως, στην τεχνολογική εξέλιξη που είχε το SCADA μέσα στα χρόνια και τέλος, στα πρωτόκολλα επικοινωνίας του.

Κεφάλαιο 6^ο

Πραγματοποιείται αναλυτική περιγραφή της εφαρμογής. Αναφέρεται το λογισμικό που επιλέχθηκε, τα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν, τα τεχνικά χαρακτηριστικά τους, καθώς και ο τρόπος κατασκευής της εφαρμογής.

Κεφάλαιο 7^ο

Τα τελικά συμπεράσματα της κατασκευής, βελτιώσεις και προβληματισμοί.

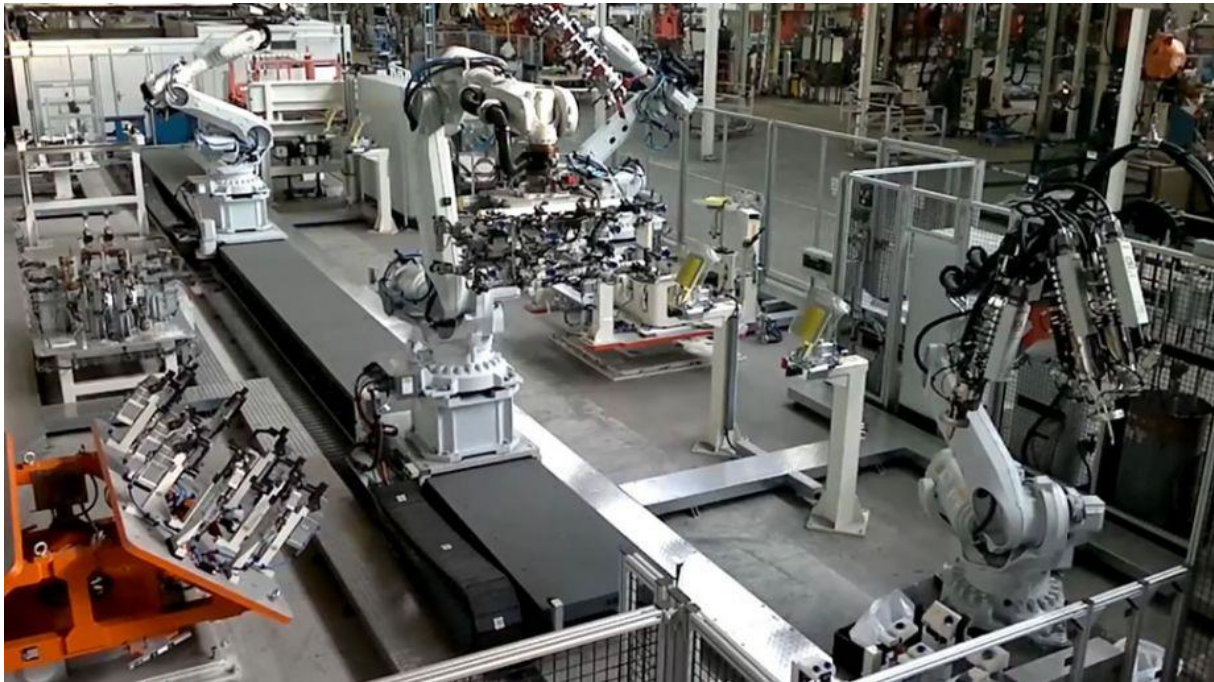
Παράρτημα

Παρατίθεται ο κώδικας που χρησιμοποιήθηκε για την εφαρμογή, με τη βοήθεια της γλώσσας προγραμματισμού Ladder.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1ο: Εισαγωγή στον αυτοματισμό

1.1 Ο αυτοματισμός

Ο αυτοματισμός (ή αυτοματοποίηση) αφορά δύο έννοιες σχετιζόμενες μεταξύ τους. Αρχικά, σημαίνει την τυποποίηση μίας διαδικασίας μέσω της εύρεσης καλώς ορισμένων βημάτων τα οποία πρέπει να ακολουθηθούν για να παραχθεί κάποιο επιθυμητό αποτέλεσμα. Έτσι, ο αυτοματισμός δεν είναι τίποτα άλλο παρά η εύρεση ενός αλγορίθμου για την επίλυση ενός προβλήματος, ή η κατασκευή ενός αυτόνομου μηχανισμού που εκτελεί αυτόν τον αλγόριθμο για κάποια είσοδο χωρίς ανθρώπινη παρέμβαση.



Εικόνα 1.1 : Ένα πλήρως αυτοματοποιημένο εργοστάσιο της Mercedes

Ο αυτοματισμός επαναπροσδιορίστηκε μέσα από τη μηχανολογία και την ηλεκτρολογία κατά τον 20^ο αιώνα, ως ένα πεδίο της επιστήμης μηχανικού ασχολούμενο με τον έλεγχο διεργασιών και τη διατήρηση τους σε καθορισμένη κατάσταση. Παραδείγματος χάριν ο αυτοματισμός στοχεύει στη διατήρηση σε σταθερά επίπεδα της θερμοκρασίας ενός θερμοστάτη, της πορείας ενός αεροπλάνου, της ταχύτητας ενός αυτοκινήτου κλπ.

Στηρίζεται εννοιολογικά στη θεωρία ελέγχου και στους μηχανισμούς ανάδρασης, επομένως αποτέλεσε μία κύρια αφετηρία της κυβερνητικής (η επιστήμη που μελετά τα συστήματα ελέγχου και επικοινωνίας). Σε αντίθεση με την τελευταία όμως, ο αυτοματισμός έχει έναν αυστηρά εφαρμοσμένο χαρακτήρα και στην πράξη αξιοποιεί ποικιλία εξειδικευμένων προϊόντων ηλεκτρονικής και τεχνολογίας πληροφοριών (π.χ. μικροελεγκτές, συστήματα πραγματικού χρόνου, τεχνολογίες CAx). Η σημασία του αυτοματισμού είναι μεγάλη στη βιομηχανία, όπου μειώνει σημαντικά την ανάγκη για ανθρώπινη παρέμβαση.

Συναντάμε μερικά παραδείγματα όπως:

- **Παραγωγή**, συμπεριλαμβανομένων τροφίμων και φαρμακευτικών προϊόντων, χημικών και πετρελαίου, χαρτοπολτού και χαρτιού.

- **Μεταφορές**, συμπεριλαμβανομένης της αυτοκινητοβιομηχανίας, της αεροδιαστημικής και των σιδηροδρόμων.
- **Λειτουργίες εγκαταστάσεων**, όπως ασφάλεια, περιβαλλοντικός έλεγχος, διαχείριση ενέργειας, ασφάλεια και άλλοι αυτοματισμοί κτιρίων.

Εξειδικευμένοι υπολογιστές υψηλής αντοχής, οι προγραμματιζόμενοι λογικοί ελεγκτές (PLC), χρησιμοποιούνται για να συγχρονίσουν τη ροή εισόδων από φυσικούς αισθητήρες με τη ροή εντολών προς συσκευές εξόδου (π.χ. βραχίονες). Η αναδραστική και ντετερμινιστική λειτουργία του συστήματος οδηγεί σε αυστηρά ελεγχόμενες διεργασίες, κατάλληλες για χρήση σε βιομηχανικές μονάδες. Η εργασία του αυτοματιστή στο προηγούμενο παράδειγμα συνίσταται στον κατάλληλο προγραμματισμό του PLC (συνήθως σε συμβολική γλώσσα).

Επίσης ερευνά τη συμπεριφορά δυναμικών συστημάτων, μοντελοποιώντας τα με τα μεθοδολογικά και μαθηματικά εργαλεία της επεξεργασίας σήματος. Έτσι μεταχειρίζεται τα συστήματα ως μαύρα κουτιά με είσοδο και έξοδο. Ως είσοδος θεωρείται ένα σήμα, αναλογικό ή ψηφιακό, συλλεγόμενο από κάποιο σημείο του συστήματος. Τα ενδιάμεσα κουτιά αναπαριστούν τις διάφορες διαταράξεις που επηρεάζουν το σήμα, όπως τριβές στους ενεργοποιητές, αποτέλεσμα των στοιχείων του ελέγχου που παρεμβάλλονται, στους ελεγκτές.

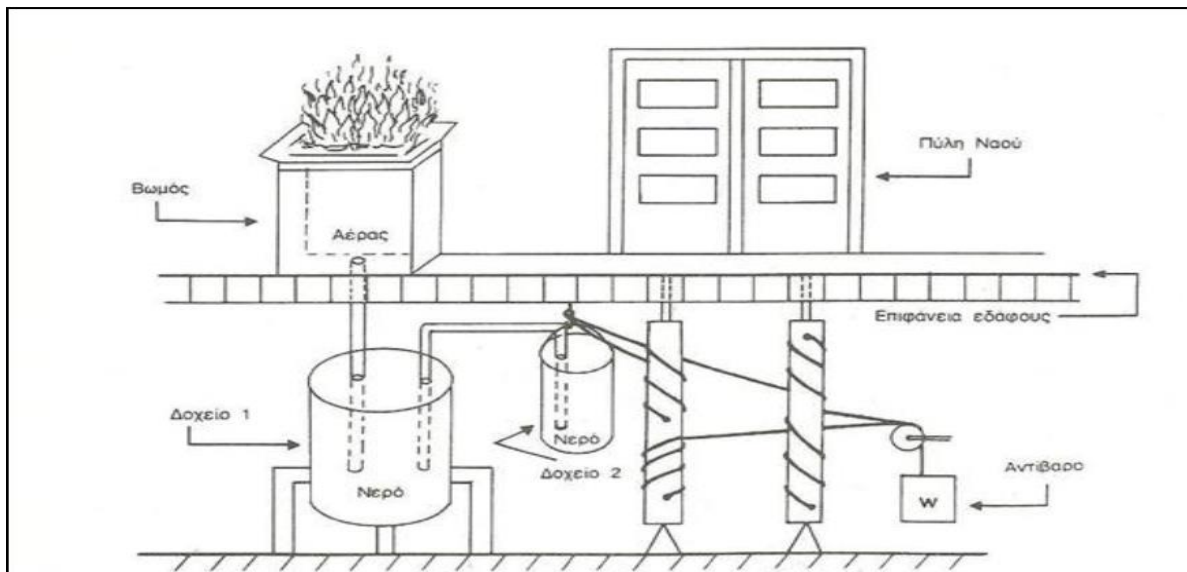
Τα αποτελέσματα αυτά συνήθως αναπαρίστανται με μαθηματικές συναρτήσεις, τις συναρτήσεις μεταφοράς. Μία συνάρτηση μεταφοράς, προσδιορίζει ένα σύστημα και τον τρόπο που μεταβάλλει κάθε σήμα εισόδου. Η έξοδος του συστήματος ονομάζεται αναφορά και ανταποκρίνεται στην τιμή του σήματος κατόπιν ενεργοποίησης των προηγούμενων συναρτήσεων μεταφορών σε αυτήν. Όταν μια ή περισσότερες μεταβλητές εξόδου ενός συστήματος πρέπει να ακολουθήσουν την τιμή κάποιας αναφοράς που μεταβάλλεται με τον χρόνο, χρειάζεται να προστεθεί ένας ελεγκτής που να χειρίζεται τις τιμές των σημάτων εισόδου έως ότου επιτευχθεί η επιθυμητή έξοδος.

1.2 Ιστορική εξέλιξη του αυτοματισμού

Συστήματα και διαδικασίες αυτοματισμού φαίνεται ότι είχαν επινοηθεί από την αρχαιότητα. Σαν πρώτη συσκευή αυτοματισμού μπορεί να θεωρηθεί ο ρυθμιστής του Ήρωνος του Αλεξανδρέως (περί το 130 π.Χ.) η οποία καθόριζε της πύλης ενός ναού με αυτόματο τρόπο χρησιμοποιώντας τα μέσα εκείνης της εποχής.

Η παρακάτω διάταξη λειτουργούσε ως εξής:

Ανάβοντας φωτιά στο βωμό, ο αέρας που ήταν εγκλωβισμένος κάτω από αυτόν ζεσταινόταν, με αποτέλεσμα να ωθεί το νερό που βρισκόταν από το δοχείο 1 στο άδειο δοχείο 2. Το δοχείο αυτό ήταν κρεμασμένο με σχοινιά τυλιγμένα κατάλληλα σε ένα μηχανισμό με ένα αντίβαρο. Όσο γέμιζε το δοχείο 2 με νερό, αυξάνονταν το βάρος του και κατέβαινε προς τα κάτω ενώ το αντίβαρο ανέβαινε προς τα πάνω με αποτέλεσμα τα σχοινιά να ανοίγουν τις πύλες. Μόλις έσβηνε η φωτιά το νερό επέστρεφε στο δοχείο 1 και το αντίβαρο κατέβαινε προς τα κάτω, ενώ το δοχείο 2 ανέβαινε προς τα πάνω, με αποτέλεσμα η πύλη να κλείνει.

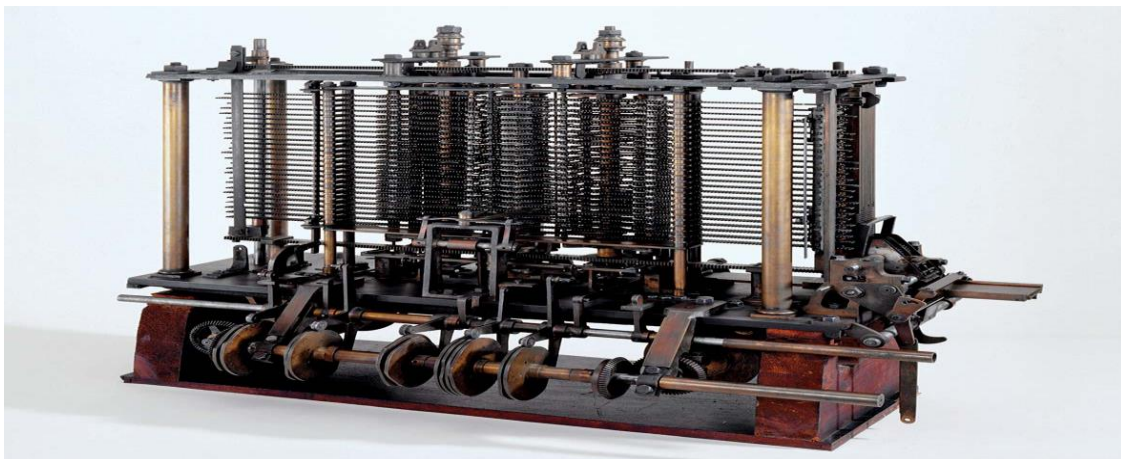


Εικόνα 1.2 : Ο ρυθμιστής του Ήρωνος του Αλεξανδρέως

Συνεχίζοντας την αναδρομή, συναντάμε τον φυγόκεντρο ρυθμιστή του James Watt το 1776, έναν μηχανισμό που ήταν αρκετά σημαντικός για την βιομηχανική επανάσταση. Χρησιμοποιήθηκε για να ελέγχει την ταχύτητα των ατμομηχανών. Ο τρόπος με το οποίο μεταβάλλονταν η ταχύτητα καθοριζόταν από τη ποσότητα του ατμού που θα περνούσε στη μηχανή. Συγκεκριμένα, όσο η ταχύτητα περιστροφής αυξανόταν, οι σφαίρες από τον άξονα του συστήματος απομακρυνόταν λόγω της φυγόκεντρου δύναμης, οπότε έκλεινε και η βαλβίδα και η μηχανή επιβράδυνε.

Μια άλλη σημαντική εξέλιξη στην ιστορία του αυτοματισμού ήταν ο αργαλειός του Jacquard, ο οποίος απέδειξε την ιδέα μιας προγραμματιζόμενης μηχανής. Περίπου το 1801, ο Γάλλος εφευρέτης Joseph-Marie Jacquard επινόησε έναν αυτόματο αργαλειό ικανό να παράγει πολύπλοκα μοτίβα σε υφάσματα, ελέγχοντας τις κινήσεις διάτρητων καρτών. Αυτές οι κάρτες ήταν οι πρόγονοι των χάρτινων καρτών και ταινιών που ελέγχουν τις σύγχρονες αυτόματες μηχανές.

Η ιδέα του προγραμματισμού μιας μηχανής αναπτύχθηκε περαιτέρω αργότερα τον 19^ο αιώνα, όταν ο Charles Babbage, ένας Άγγλος μαθηματικός, πρότεινε μια πολύπλοκη, μηχανική «αναλυτική μηχανή» που θα μπορούσε να εκτελεί αριθμητική και επεξεργασία δεδομένων. Αν και ο Babbage δεν μπόρεσε ποτέ να το ολοκληρώσει, αυτή η συσκευή ήταν ο πρόδρομος του σύγχρονου ψηφιακού υπολογιστή.



Εικόνα 1.3 : Η αναλυτική μηχανή του Babbage, 1834 – 1871

Ορισμένες σημαντικές ανακαλύψεις σε διάφορους τομείς σημειώθηκαν τον 20^ο αιώνα όπως ο ψηφιακός υπολογιστής, οι βελτιώσεις στη τεχνολογία αποθήκευσης δεδομένων, το λογισμικό για τη σύνταξη προγραμμάτων υπολογιστών, οι εξελίξεις στη τεχνολογία αισθητήρων και η παραγωγή μιας μαθηματικής θεωρίας ελέγχου, γνωστή και ως ανάδραση.

Ένας σημαντικός παράγοντας που συνέβαλε σημαντικά στη πρόοδο της τεχνολογίας και του αυτοματισμού ήταν ο 2^{ος} Παγκόσμιος Πόλεμος. Παρόλο που στις αρχές του αιώνα εμφανίστηκαν οι πρώτες ηλεκτρονικές συσκευές όπως το ραδιόφωνο και λίγο αργότερα τα ραντάρ, όπου το κύριο εξάρτημα αυτών ήταν η ηλεκτρονική λυχνία, ο πόλεμος «απαιτούσε» ταχεία πρόοδο τέτοιου είδους τεχνολογιών. Ένα τέτοιο παράδειγμα ήταν ο ENIAC, ο πρώτος ηλεκτρονικός υπολογιστής. Με δυνατότητα χιλιάδων υπολογισμών σε ένα δευτερόλεπτο, ο ENIAC σχεδιάστηκε αρχικά για στρατιωτικούς σκοπούς, αλλά δεν ολοκληρώθηκε μέχρι το 1945. Κατά τη διάρκεια των εξελίξεων στη τεχνολογία των ηλεκτρονικών υπολογιστών στη διάρκεια του πολέμου, η κυβέρνηση των ΗΠΑ κυκλοφόρησε τον ENIAC στο ευρύ κοινό στις αρχές του 1946, παρουσιάζοντας τον υπολογιστή ως ένα εργαλείο που θα φέρει την επανάσταση στον τομέα των μαθηματικών.

Μετά τη λήξη του 2^{ου} Παγκοσμίου Πολέμου και με την ανακάλυψη των τρανζίστορ το 1947, από μια μικρή ομάδα ερευνητών, μεταβαίνουμε στην ηλεκτρονική επανάσταση των ημιαγωγών και πιθανώς στη πιο σημαντική εφεύρεση του 20^{ου} αιώνα. Είναι το κυριότερο συστατικό όλων σχεδόν των σύγχρονων ηλεκτρονικών κατασκευών και η πλατιά χρήση του, οφείλεται κυρίως στη δυνατότητα παραγωγής του σε τεράστιες ποσότητες που μειώνουν το κόστος ανά μονάδα.

Η ανάπτυξη των τρανζίστορ οδήγησε στην αντικατάσταση της ηλεκτρονικής λυχνίας και είχε ως αποτέλεσμα σημαντικά μικρότερους υπολογιστές. Στην αρχή, ήταν λιγότερο αξιόπιστοι από τις λυχνίες που αντικατέστησαν, αλλά καταλάωναν επίσης σημαντικά λιγότερη ισχύ.

Οι πρώτοι διαθέσιμοι στο εμπόριο ηλεκτρονικοί υπολογιστές ήρθαν το 1950, οι οποίοι χρησιμοποιούνται κυρίως στην αποθήκευση και διαχείριση μεγάλων αρχείων δεδομένων και σχεδιάστηκαν για επιχειρηματικές λειτουργίες όπως τραπεζικές και λογιστικές.



Εικόνα 1.4 : Ο UNIVAC ήταν ο πρώτος υπολογιστής μαζικής παραγωγής

Το μικροτσιπ (ή ολοκληρωμένο κύκλωμα) είναι μια από τις σημαντικότερες εξελίξεις στην τεχνολογία των υπολογιστών. Στην ιστορία, υπήρχαν πολλές αλληλεπικαλύψεις μεταξύ υπολογιστών που βασίζονται σε μικροτσιπ και υπολογιστών που βασίζονται σε τρανζίστορ κατά τη διάρκεια της δεκαετίας του 1960, ακόμη και στις αρχές της δεκαετίας του 1970.

Επίσης, ώθησαν στη παραγωγή μινι-υπολογιστών και μικροϋπολογιστών, οι οποίοι ήταν μικροί ως προς το μέγεθος και αρκετά φθηνοί για τις μικρές επιχειρήσεις. Η διαφορά τους ήταν ότι οι πρώτοι χρησιμοποιήθηκαν κυρίως για τον έλεγχο της διαδικασίας και την εκτέλεση οικονομικών και διοικητικών εργασιών, ενώ οι μικροϋπολογιστές χρησιμοποιούνται κυρίως για την επεξεργασία κειμένου, τη διαχείριση βάσεων δεδομένων και γενικά εφαρμογές γραφείου. Το μικροτσιπ οδήγησε τέλος στον μικροεπεξεργαστή, μια άλλη πρωτοποριακή τεχνολογία που ήταν σημαντική για την ανάπτυξη του προσωπικού υπολογιστή.

Η υλοποίηση των αυτοματισμών στη βιομηχανία, εκείνη τη χρονική περίοδο στηρίζονταν ως επί το πλείστον στη χρήση του ηλεκτρισμού και πιο συγκεκριμένα στη λογική του ρελέ, δηλαδή ένα ενσύρματο σύστημα ελέγχου που χρησιμοποιεί όργανα, διακόπτες, χρονοδιακόπτες, ηλεκτρονόμους, επαφές, κινητήρες και ενεργοποιητές. Για να επιτευχθεί ο αυτοματισμός ενός μηχανήματος, απαιτούσε τη καλωδίαση όλων αυτών των συσκευών μεταξύ τους, ακόμη και για την εκτέλεση των απλών εργασιών.

Ωστόσο, η εμφάνιση του μικροεπεξεργαστή σήμαινε ότι η λειτουργία ελέγχου της λογικής ρελέ θα μπορούσε να προγραμματιστεί και να αποθηκευτεί σε έναν υπολογιστή. Στα τέλη της δεκαετίας του 1960, δημιουργήθηκε ο πρώτος προγραμματιζόμενος λογικός ελεγκτής. Αυτή ήταν μια τεράστια πρόοδος στη βιομηχανία του αυτοματισμού, που τελικά θα καθιστούσε τα συστήματα ελέγχου λογικής ρελέ σχεδόν περιττή.

1.3 Ο αυτοματισμός στη ζωή μας

Με την έλευση της μηχανικής μάθησης, της ρομποτικής, του Διαδικτύου των Πραγμάτων και των δεδομένων, η κοινωνία βρέθηκε στη μέση μιας ταχύτατης τεχνολογικής επανάστασης. Καθώς η τεχνολογία συνεχίζει να εξελίσσεται, είναι πιθανό να δούμε όλο και περισσότερα λογισμικά, μηχανήματα και ρομπότ να αυτοματοποιούν καθημερινές εργασίες που κάποτε εκτελούσαν άνθρωποι.

Αυτοματισμούς μπορούμε να συναντήσουμε τόσο στη καθημερινή μας ζωή, όσο και στη βιομηχανική παραγωγή, στις επιστημονικές δραστηριότητες και αλλού. Τα συστήματα αυτοματισμού ή συστήματα αυτόματου ελέγχου λειτουργούν χωρίς να χρειάζονται ανθρώπινη επιτήρηση ή παρέμβαση και δρουν κατά προκαθορισμένο τρόπο, έτσι ώστε να επιτευχθεί κάποιο επιθυμητό αποτέλεσμα, με συγκεκριμένη ακρίβεια.

Όπως για παράδειγμα, το σύστημα ελέγχου του κλιματιστικού μας είναι σε θέση, μετά την αρχική του ρύθμιση, να ελέγχει τη λειτουργία του κλιματιστικού μας, ώστε στο περιβάλλον που βρισκόμαστε να έχουμε μια σταθερή θερμοκρασία, ανεξαρτήτως από τις μεταβολές της εξωτερικής θερμοκρασίας ή των ατόμων που βρίσκονται μέσα στον χώρο και χωρίς να απαιτείται εκ νέου ρύθμιση.

Ιδιαίτερη σημασία έχουν οι αυτοματισμοί στη βιομηχανική παραγωγή. Με την αυτοματοποίηση της παραγωγής, οι επιχειρήσεις προσπαθούν να βελτιώσουν την παραγωγικότητα τους μειώνοντας ταυτόχρονα το κόστος παραγωγής. Αυτό επιτυγχάνεται μέσω εξοικονόμησης ενέργειας, καλύτερης διαχείρισης των πρώτων υλών, βελτίωσης της ποιότητας των προϊόντων και μείωσης του κόστους εργασίας.

Τα πλεονεκτήματα που αποδίδονται συνήθως στην αυτοματισμό, περιλαμβάνουν υψηλότερους ρυθμούς παραγωγής, αυξημένη παραγωγικότητα, αποτελεσματικότερη χρήση των υλικών, καλύτερη ποιότητα ενός προϊόντος, βελτιωμένη ασφάλεια, λιγότερη εργασία και μειωμένο χρόνο παράδοσης σε μια επιχείρηση.

Η καλύτερη παραγωγή και η αυξημένη παραγωγικότητα ήταν δύο από τους κυριότερους παράγοντες για να δικαιολογήσουν τη χρήση του αυτοματισμού. Τα αυτοματοποιημένα συστήματα συνήθως εκτελούν μια διαδικασία με λιγότερη μεταβλητότητα, με αποτέλεσμα μεγαλύτερο έλεγχο και συνέπεια της ποιότητας του προϊόντος. Επίσης, ο αυξημένος έλεγχος της διαδικασίας κάνει πιο αποτελεσματική τη χρήση υλικών που χρησιμοποιούνται.

Ένας εξίσου σημαντικός λόγος για την αυτοματοποίηση μιας βιομηχανίας ήταν και η ασφάλεια των εργαζομένων. Με τη βοήθεια της χρήσης των συστημάτων αυτοματισμού, τις περισσότερες φορές δεν υπήρχε λόγος για την ταυτόχρονη παρουσία του ανθρώπινου παράγοντα στο χώρο εργασίας, προστατεύοντας τον έτσι από τους κινδύνους του εργοστασιακού περιβάλλοντος.

Άλλο ένα όφελος του αυτοματισμού είναι η μείωση του αριθμού των ωρών εργασίας κατά μέσο όρο ανά εβδομάδα. Περίπου το 1900, η μέση εβδομαδιαία εργασία ήταν 70 ώρες, σταδιακά μειώθηκε σε 40 ώρες και ένας από τους καθοριστικούς παράγοντες αυτής της μείωσης ήταν ο αυτοματισμός. Τέλος, ο χρόνος που απαιτείται για την επεξεργασία μιας τυπικής παραγγελίας, γενικά μειώνεται με την αυτοματοποίηση.

Παρά τα πολλά θετικά που αναφέρθηκαν παραπάνω, υπάρχουν και μερικά μειονεκτήματα. Ένα από αυτά είναι ότι καθώς αυξάνεται η αυτοματοποίηση, απαιτούνται όλο και λιγότεροι εργαζόμενοι, προκαλώντας υψηλά ποσοστά ανεργίας.

Άλλα μειονεκτήματα του αυτοματοποιημένου εξοπλισμού περιλαμβάνουν τις υψηλές δαπάνες που απαιτούνται για την επένδυση στον αυτοματισμό, όπως το κόστος έρευνας και ανάπτυξης της αυτοματοποίησης μια διαδικασίας, το προληπτικό κόστος συντήρησης του και η εκπαίδευση των εργαζομένων για τη λειτουργία του. Όπως επίσης έχουμε και λιγότερη ευελιξία, επειδή ένα μηχάνημα έχει προγραμματιστεί για να εκτελέσει ένα συγκεκριμένο εύρος εργασίας, σε αντίθεση με τον άνθρωπο.

Λαμβάνοντας όλα τα δεδομένα υπόψιν, οδηγούμαστε στο συμπέρασμα ότι αν ο αυτοματισμός χρησιμοποιηθεί με σύνεση και αποτελεσματικότητα, μπορεί να αποφέρει σημαντικές ευκαιρίες για το μέλλον, κάνοντας έτσι την ζωή ενός ανθρώπου αρκετά πιο εύκολη και αποφέροντας του, ένα υψηλότερο βιοτικό επίπεδο και έναν καλύτερο τρόπο ζωής.

Κεφάλαιο 2ο: Συστήματα αυτόματου ελέγχου

2.1 Εισαγωγή

Ως σύστημα αυτόματου ελέγχου, ονομάζεται ένα σύνολο φυσικών ή τεχνητών στοιχείων τα οποία είναι συνδεδεμένα μεταξύ τους με τέτοιο τρόπο έτσι ώστε να καθοδηγούν, ελέγχουν ή ρυθμίζουν τον εαυτό τους ή άλλα συστήματα και να λειτουργούν με ένα προκαθορισμένο τρόπο.

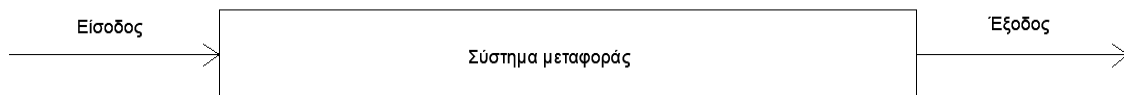
Όπως δείχνει το Σχήμα 2.1 τα τρία βασικά του μέρη είναι :

- Η Είσοδος
- Η Έξοδος
- Το σύστημα μεταφοράς

Είσοδος σε ένα σύστημα αυτόματου ελέγχου είναι μια διέγερση, εντολή ή αιτία, η οποία εφαρμόζεται στο σύστημα από εξωτερική πηγή ώστε να επιτελεστεί το ζητούμενο έργο.

Έξοδος ορίζεται το πραγματικό αποτέλεσμα ή απόκριση, η οποία προκύπτει από την εφαρμογή της εισόδου στο σύστημα.

Για τη μελέτη ενός συστήματος χρειάζεται η μαθηματική μοντελοποίηση του, που αποτελεί και το σύστημα μεταφοράς.



Σχήμα 2.1: Σύστημα μεταφοράς

Με συνάρτηση μεταφοράς: $Kέρδος = \frac{Έξοδος}{Είσοδος}$

2.2 Ταξινόμηση των συστημάτων ελέγχου

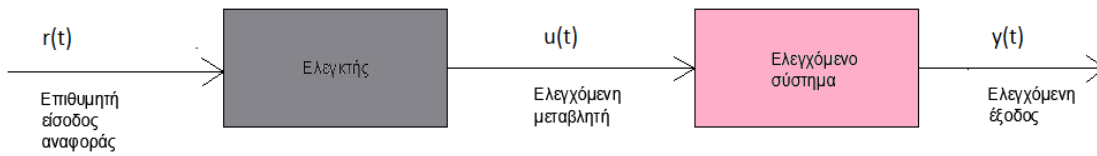
Τα συστήματα αυτόματου ελέγχου διακρίνονται σε δύο μεγάλες κατηγορίες ανάλογα με το αν έχουν ανατροφοδότηση (feedback) ή όχι.

Συγκεκριμένα υπάρχουν:

- ✓ Τα ανοιχτά συστήματα ή συστήματα ανοιχτού βρόχου ή συστήματα χωρίς ανάδραση (open-loop systems)
- ✓ Τα κλειστά συστήματα ή συστήματα κλειστού βρόχου ή συστήματα με ανάδραση (closed-loop systems)

Στα **ανοιχτά συστήματα αυτομάτου ελέγχου** (Σχήμα 2.2) η είσοδος (αίτιο) είναι ανεξάρτητη της εξόδου του (αποτέλεσμα). Επίσης δεν υπάρχει ανατροφοδότηση, αλλά αντίθετα χρησιμοποιεί μία ενεργό συσκευή (που παράγει το σήμα εισόδου) για να ελέγξει απευθείας τη διεργασία.

Οι περισσότεροι ηλεκτρικοί σηματοδότες ελέγχου κυκλοφορίας, αποτελούν ένα παράδειγμα συστήματος ελέγχου ανοιχτού βρόχου που βασίζονται στο χρόνο. Κάθε σήμα διαθέτει μια συγκεκριμένη χρονική περίοδο κατά την οποία λειτουργεί, ανεξάρτητα από τη ποσότητα της κίνησης.



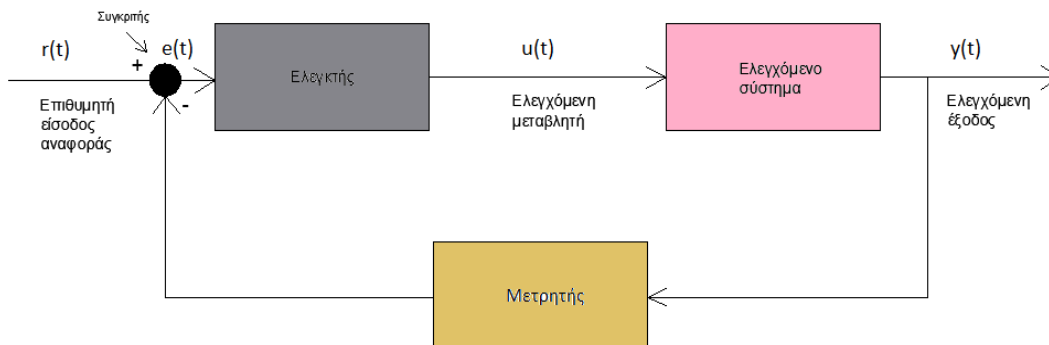
Σχήμα 2.2: Γραφική απεικόνιση συστήματος ανοικτού βρόχου

Είναι δηλαδή από εκείνα τα συστήματα, στα οποία το σύστημα αυτοματισμού δίνει μια εντολή αφού δεχτεί το κατάλληλο σήμα, αλλά αμέσως μετά δεν ενδιαφέρεται να παρακολουθήσει το αποτέλεσμα της εντολής που έδωσε ή να κάνει κάποια διορθωτική κίνηση.

Τα κύρια χαρακτηριστικά των συστημάτων χωρίς ανάδραση είναι:

- Η ακρίβεια τους εξαρτάται από τη ρύθμιση διαφόρων στοιχείων
- Πρόκειται για απλούστερα συστήματα σε σχέση με του κλειστού τύπου
- Δεν παρουσιάζουν προβλήματα αστάθειας

Στα **κλειστά συστήματα** (Σχήμα 2.3) η είσοδος συγκρίνεται με την έξοδο του. Έχουμε δηλαδή εδώ και έναν αντίστροφο δρόμο από την έξοδο προς την είσοδο, δηλαδή από το αποτέλεσμα στην αιτία. Ο αντίστροφος αυτός δρόμος λέγεται ανάδραση (ανατροφοδότηση).



Σχήμα 2.3: Γραφική απεικόνιση συστήματος κλειστού βρόχου

Η ανάδραση επιτρέπει τη μέτρηση της ελεγχόμενης εξόδου του συστήματος, την επαναφορά της στην είσοδο και τη σύγκριση της με την επιθυμητή είσοδο αναφοράς. Δημιουργεί έτσι, έναν κύκλο ελέγχου, σχηματίζοντας το σφάλμα ελέγχου (e) καθ'όλη τη διάρκεια της διαδικασίας.

Το σφάλμα ελέγχου είναι το αποτέλεσμα της συγκρίσεως ανάμεσα στη πραγματική ελεγχόμενη έξοδο και την επιθυμητή είσοδο αναφοράς ενός συστήματος ελέγχου και αποτελεί τη διέγερση στον ελεγκτή του συστήματος.

Ο συγκριτής, συγκρίνει αλγεβρικά (+ και -) το σήμα εισόδου με το σήμα ανάδρασης. Ένα σύστημα ονομάζεται αρνητικής ανάδρασης (negative feedback), όταν το σήμα της ανάδρασης αφαιρείται κατά τη σύγκριση του από το σήμα της εισόδου, από την άλλη όταν το σήμα της ανάδρασης προστίθεται στο σήμα εισόδου, έχουμε θετική ανάδραση (positive feedback).

Ένα παράδειγμα είναι το κλιματιστικό inverter, όπου ρυθμίζει τη θερμοκρασία του ανάλογα με τη θερμοκρασία του δωματίου.

Τα πιο σημαντικά χαρακτηριστικά ενός συστήματος με ανάδραση:

- Παρουσιάζουν αυξημένη σταθερότητα και μειωμένη ευαισθησία
- Έχουν μεγάλη ακρίβεια και είναι λιγότερο επιρρεπή σε σφάλματα
- Μπορούν να διορθώσουν αυτόματα τα σφάλματα, μέσω του σήματος ανάδρασης
- Αυξημένο εύρος ζώνης (παρουσιάζουν επιθυμητή λειτουργία σε ένα μεγαλύτερο εύρος συχνοτήτων)

2.3 Σύγκριση μέσων λειτουργίας των συστημάτων αυτοματισμού

Ανάλογα με τα μέσα που είναι αναγκαία για τη λειτουργία τους, τα διάφορα συστήματα αυτοματισμού κατατάσσονται στις εξής κατηγορίες:

- Πνευματικά συστήματα αυτοματισμού
- Υδραυλικά συστήματα αυτοματισμού
- Ηλεκτρικά συστήματα αυτοματισμού
- Ηλεκτρονικά συστήματα αυτοματισμού
- Συνδυασμός των ανωτέρω συστημάτων (π.χ. Ηλεκτρο-πνευματικά συστήματα)

2.3.1 Πνευματικά συστήματα

Η αναγκαιότητα για τη λειτουργία εφαρμογών αυτοματισμού με χαμηλό κόστος και η αξιοποίηση της δυναμικής ενέργειας που δημιουργείται από τη συμπίεση του πεπιεσμένου αέρα με κατάλληλη διαταξη, ώθησαν την εξέλιξη των πνευματικών συστημάτων αυτοματισμού. Η αρχή λειτουργίας αυτών των συστημάτων βασίζεται στην ενέργεια που αποκτά ο ατμοσφαιρικός αέρας, όταν συμπιέζεται και αποθηκεύεται σε αεροθάλαμο.

Γενικά, τα περισσότερα πνευματικά συστήματα αποτελούνται από:

1. Αεροσυμπιεστή
2. Αεροφυλάκιο
3. Βαλβίδες
4. Πνευματικός κύλινδρος

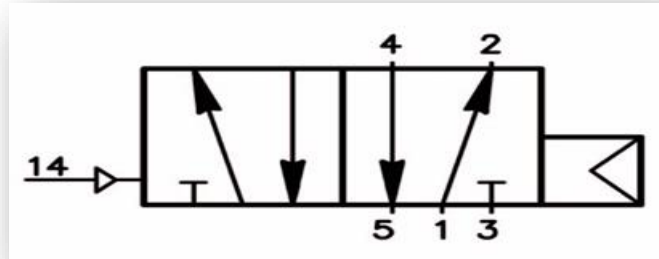
Ο **αεροσυμπιεστής** ή «**κομπρεσέρ**», είναι η μηχανή που συγκεντρώνει σε έναν κλειστό χώρο (συνήθως δοχείο) ένα αέριο και συμπιέζοντάς το, αυξάνεται η πίεση του και ταυτόχρονα μειώνεται ο όγκος του. Με αυτόν τον τρόπο επιτυγχάνεται η αποθήκευση μεγάλων ποσοτήτων αέρα, σε μικρά δοχεία.

Το **αεροφυλάκιο** ή **αεροθάλαμος** μια αποθήκη αέρος για ολόκληρο το δίκτυο και συμβάλλει συμπληρωματικά στη ψύξη του πεπιεσμένου αέρα, ώστε να διαχωρίζονται οι τυχόν συμπυκνώσεις.

Οι **πνευματικές βαλβίδες** ή **βαλβίδες αέρος**, είναι ουσιαστικά η «καρδιά» των πνευματικών συστημάτων, διότι αποτελούν τα πνευματικά στοιχεία εκείνα που είναι υπεύθυνα για τον έλεγχο του πεπιεσμένου αέρα στα πνευματικά κυκλώματα.

Η περιγραφή μιας βαλβίδας εξαρτάται από δύο παράγοντες: α) τον αριθμό των συνδέσεων που ελέγχει η βαλβίδα (θύρες εισόδου και εξόδου) και β) τον αριθμό των καταστάσεων λειτουργίας (ανοιχτή και κλειστή).

Για παράδειγμα, μια βαλβίδα διεύθυνσης ροής 5/2, αποτελείται από 5 συνδέσεις και 2 θέσεις. Τα δύο κουτάκια παριστάνουν τις θέσεις λειτουργίας, μέσα στα τετράγωνα σχεδιάζονται ευθύγραμμες γραμμές, που δείχνουν τη πορεία και τα αντίστοιχα βέλη την κατεύθυνση της ροής του πεπιεσμένου αέρα. Τέλος, οι αριθμοί συμβολίζουν τις υποδοχές της βαλβίδας.



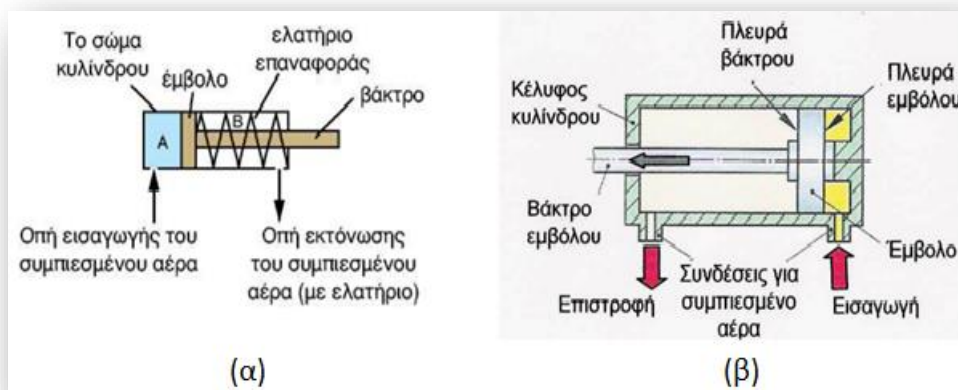
Εικόνα 2.1: 5/2 βαλβίδα

Για παράδειγμα, μια βαλβίδα διεύθυνσης ροής 5/2, αποτελείται από 5 συνδέσεις και 2 θέσεις. Τα δύο κουτάκια παριστάνουν τις θέσεις λειτουργίας, μέσα στα τετράγωνα σχεδιάζονται ευθύγραμμες γραμμές που δείχνουν τη πορεία και τα αντίστοιχα βέλη την κατεύθυνση της ροής του πεπιεσμένου αέρα. Τέλος, οι αριθμοί συμβολίζουν τις υποδοχές της βαλβίδας.

Επίσης η κατάταξη των βαλβίδων γίνεται σύμφωνα με το μέγεθος, το οποίο είναι κατάλληλο για συγκεκριμένη παροχή του αέρα. Έτσι, υπάρχουν βαλβίδες με μέγεθος σε ίντσες: 1/8, 1/4, 3/8, 1/2, 3/4, 1.

Ο **πνευματικός κύλινδρος** ή **έμβολο**, είναι ένα εξάρτημα το οποίο μετατρέπει την ενέργεια που είναι αποθηκευμένη στον πεπιεσμένο αέρα σε μηχανική ισχύ και ανάλογα με τη κατασκευαστική διαμόρφωσή του διακρίνεται σε απλής και διπλής ενέργειας.

Ο κύλινδρος απλής ενέργειας μπορεί να παράγει κίνηση μόνο προς τη μία κατεύθυνση (κατά την έκταση), ενώ ο διπλής ενέργειας μπορεί να παράγει κίνηση και προς τις δύο κατευθύνσεις (έκταση – σύμπτυξη).



Εικόνα 2.2: α) πνευματικός κύλινδρος απλής ενέργειας, β) διπλής ενέργειας

Τα πλεονεκτήματα των πνευματικών συστημάτων είναι:

Κεφάλαιο 2

- Ο ατμοσφαιρικός αέρας είναι άφθονος και άμεσα διαθέσιμος.
- Ο αέρας μπορεί να χρησιμοποιηθεί με ευελιξία σε οποιαδήποτε θερμοκρασία κι αν ζητηθεί μέσω ειδικού εξοπλισμού.
- Ένα πνευματικό σύστημα είναι εύκολο στη συντήρηση και εύκολο στη χρήση.
- Μπορεί να αποθηκευτεί και να χρησιμοποιηθεί όποτε ζητηθεί.

Τα μειονεκτήματα των πνευματικών συστημάτων είναι:

- Ο πεπιεσμένος αέρας είναι ακριβότερος από το ηλεκτρικό ρεύμα
- Τα πνευματικά συστήματα είναι γνωστά για τον δυνατό θόρυβο τους.
- Είναι απαραίτητο να διασφαλιστεί ότι δεν υπάρχουν διαρροές σε ένα πνευματικό σύστημα, διότι ο χαμένος αέρας οδηγεί σε απώλεια ενέργειας.
- Χρειάζεται επεξεργασία πριν εισχωρήσει σε ένα σύστημα με ορισμένες απαιτήσεις (π.χ. η αφαίρεση της υγρασίας ή η αύξηση της πίεσης).

2.3.2 Υδραυλικά συστήματα

Υδραυλική είναι η επιστήμη που ασχολείται με τη μετάδοση και τον έλεγχο των κινήσεων με τη βοήθεια ρευστών (π.χ. το νερό, το ορυκτέλαιο ή άλλα συνθετικά υγρά) υπό πίεση. Έχουν τη δυνατότητα ανάπτυξης μεγάλων δυνάμεων και γι' αυτό τα συναντάμε σε εφαρμογές που απαιτείται η μετάδοση ισχυρών δυνάμεων.

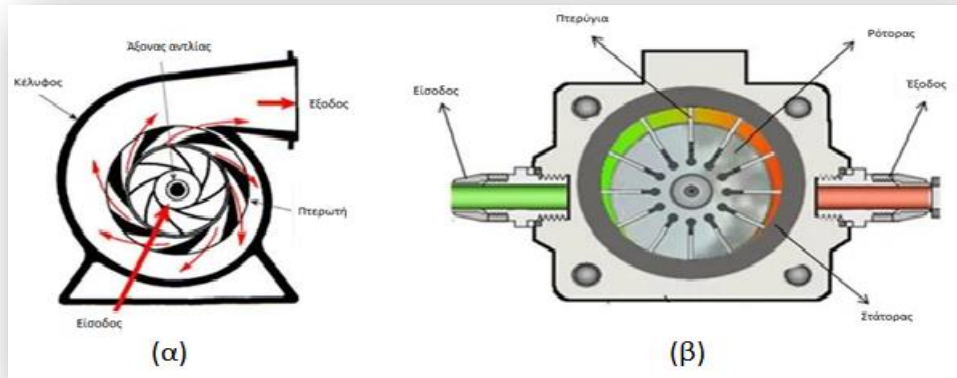
Καθώς η πολυπλοκότητα ενός υδραυλικού συστήματος μπορεί να ποικίλει, τα βασικά στοιχεία του περιλαμβάνουν:

1. Δεξαμενή
2. Αντλία
3. Βαλβίδες
4. Υδραυλικούς κυλίνδρους

Η **δεξαμενή** είναι το μέρος όπου συγκρατείται το υγρό, επίσης μεταφέρει θερμότητα στο υδραυλικό σύστημα και βοηθά στην απομάκρυνση του αέρα και διαφορετικών τύπων υγρασίας από το αποθηκευμένο υγρό.

Η **υδραυλική αντλία** είναι μια μηχανική πηγή ισχύος που μετατρέπει τη μηχανική ισχύ σε υδραυλική ενέργεια. Στις υδραυλικές αντλίες εισάγεται ρευστό στην αντλία. Το ρευστό απομονώνεται με μηχανικό τρόπο από το ρευστό της εισόδου. Ο όγκος του ρευστού αυξάνεται μέσω ενός περιστροφικού ή γραμμικού μηχανισμού και στη συνέχεια οδηγείται στην έξοδο, παράγοντας μια σχετικά ομαλή και συνεχή ροή εξόδου.

Οι αντλίες κατηγοριοποιούνται ανάλογα με τη βασική τους λειτουργία σε φυγοκεντρικές αντλίες και αντλίες θετικής μετατόπισης.



Εικόνα 2.3: α) δομή φυγοκεντρικής αντλίας, β) αντλία θετικής εκτόπισης

Στις φυγοκεντρικές αντλίες η πτερωτή (το στρεφόμενο μέρος μιας αντλίας), μεταβάλλει το πεδίο ροής, προσδίδοντας περιστροφή στο υγρό.

Ενώ στις αντλίες θετικής εκτόπισης, το ρευστό αναγκάζεται σε κίνηση με απευθείας μηχανική δράση κάποιου μηχανισμού (π.χ. έμβολο), και επιτυγχάνεται μια σταθερή παροχή όγκου.

Σε ένα υδραυλικό σύστημα, οι **βαλβίδες** έχουν πολλαπλές λειτουργίες, ανάλογα με τη χρήση τους:

- 1) Η βαλβίδα ελέγχου κατεύθυνσης, επιτρέπει τη ροή ρευστού σε διαφορετικές διαδρομές, από μία ή περισσότερες πηγές.
- 2) Η βαλβίδα ελέγχου πίεσης, παρακολουθεί και ρυθμίζει την πίεση των ρευστών.
- 3) Η βαλβίδα ελέγχου ροής, ελέγχει τη ροή του ρευστού μέσω του συστήματος.

Οι **υδραυλικοί κύλινδροι** είναι το βασικό δομικό στοιχείο των υδραυλικών συστημάτων αυτόματου ελέγχου, με την βοήθεια των οποίων επιτυγχάνεται η μετατροπή της υδραυλικής ενέργειας σε μηχανική κίνηση.

Όπως και στη περίπτωση των πνευματικών συστημάτων, υπάρχουν δύο βασικοί τύποι κυλίνδρων: απλής και διπλής ενέργειας.

Χρησιμοποιούνται κυρίως σε εγκαταστάσεις αυτοματισμού όπου απαιτείται η παραγωγή πολύ μεγάλου μηχανικού έργου. Με τη βοήθεια ενός υδραυλικού κυλίνδρου, είναι δυνατή η μετακίνηση μεγάλων φορτίων.

Ορισμένα από τα πλεονεκτήματα των υδραυλικών συστημάτων είναι:

- Ο εντοπισμός διαρροών στο υδραυλικό σύστημα είναι πολύ εύκολος.
- Επηρεάζονται λιγότερο από εξωτερικούς παράγοντες, όπως η υγρασία και οι τις μεταβολές της θερμοκρασίας.
- Η χρήση της υδραυλικής ισχύος, μπορεί να μεταφερθεί εύκολα χρησιμοποιώντας σωλήνες υψηλής πίεσης.
- Ο σχεδιασμός και η κατασκευή των υδραυλικών συστημάτων γίνονται εύκολα, διότι πολλά στοιχεία είναι τυποποιημένα.

Τα μειονεκτήματα των υδραυλικών συστημάτων είναι:

- Η υδραυλική ενέργεια δεν μπορεί να αποθηκευτεί και να μεταφερθεί σε μεγάλες ποσότητες.
- Η διαρροή μερικών υγρών (π.χ. ορυκτέλαιο), μπορεί να δημιουργήσει περιβαλλοντικά προβλήματα.
- Τα υδραυλικά συστήματα απαιτούν εντατική και περιοδική συντήρηση.
- Η υψηλή πίεση που δέχεται το ρευστό μπορεί να προκαλέσει κάποιο ατύχημα, εάν η ισχύς είναι πολύ υψηλή και ο αγωγός δεν μπορέσει να αντέξει την ισχύ που παρέχεται από το ρευστό.

2.3.3 Ηλεκτρικά συστήματα

Οι ηλεκτρικοί αυτοματισμοί είναι τα κυκλώματα, που πραγματοποιούν μια προκαθορισμένη εργασία ή σύνολο εργασιών, που έχουν μια λογική ακολουθία. Ο έλεγχος τους γίνεται μέσω ηλεκτρικών εντολών με την ενεργοποίηση κατάλληλων ηλεκτρολογικών εξαρτημάτων.

Ένα ηλεκτρικό κύκλωμα αυτοματισμού, χωρίζεται σε δύο μέρη, το καθένα με διαφορετική αποστολή στη λειτουργία της.

Το πρώτο μέρος, περιλαμβάνει τις καταναλώσεις της εγκατάστασης που παράγουν έργο και τα τμήματα εκείνα του κυκλώματος της εγκατάστασης που διαρρέονται από μεγάλα ρεύματα των καταναλώσεων αυτών. Το μέρος αυτό ονομάζεται κύκλωμα ισχύος ή αλλιώς κύριο κύκλωμα.

Το δεύτερο μέρος, περιλαμβάνει τις καταναλώσεις της εγκατάστασης αυτοματισμού, που έχουν ως αποστολή το συντονισμό, τον έλεγχο της λειτουργίας και την ένδειξη της κατάστασης λειτουργίας των καταναλώσεων ισχύος της εγκατάστασης. Το μέρος αυτό περιλαμβάνει τα τμήματα του κυκλώματος που διαρρέονται από μικρά ρεύματα και ονομάζεται κύκλωμα ελέγχου ή βοηθητικό κύκλωμα.

Τα βασικά στοιχεία ενός ηλεκτρικού κυκλώματος περιλαμβάνουν:

1. Πηγή ενέργειας
2. Αγωγούς
3. Ηλεκτρονόμους
4. Φορτίο

Σε ένα ηλεκτρικό κύκλωμα, η **πηγή ισχύος** παρέχει την τάση (τη δύναμη που ωθεί τα ηλεκτρόνια μέσω ενός αγωγού) και το ρεύμα (ο ρυθμός ροής των ηλεκτρονίων), για να ενεργοποιήσει μια συσκευή συνδεδεμένη στο κύκλωμα.

Ο **αγωγός** χαρακτηρίζεται ως ένα σύρμα γυμνό ή μονωμένο το οποίο χρησιμοποιείται για τη μεταφορά του ηλεκτρικού ρεύματος. Η ποσότητα ενέργειας που απαιτείται στο κύκλωμα, καθορίζει το εύρος του σύρματος που αποτελεί τον αγωγό του κυκλώματος.

Ο **ηλεκτρονόμος** είναι ένας διακόπτης, που κλείνει ή ανοίγει όταν του δοθεί ηλεκτρική εντολή. Ο πιο συνήθως χρησιμοποιούμενος ηλεκτρονόμος ανοιγοκλείνει με τη βοήθεια ενός ηλεκτρομαγνήτη που είναι ενσωματωμένος στο μηχανισμό του. Στον χώρο της βιομηχανίας, η ονομασία που έχει επικρατήσει για τους ηλεκτρονόμους είναι «ρελέ»..

Ως **ηλεκτρικό φορτίο**, ορίζεται οποιοδήποτε στοιχείο ενός κυκλώματος που καταναλώνει ενέργεια. Σε ένα οικιακό περιβάλλον, το πιο εμφανή παράδειγμα ηλεκτρικού φορτίου είναι οι ηλεκτρικές λάμπες.

Γενικά, κάθε αντίσταση ή ηλεκτρικός κινητήρας που μετατρέπει την ηλεκτρική ενέργεια σε φως, θερμότητα ή κίνηση αποτελεί φορτίο στο κύκλωμα.

Πλεονεκτήματα ηλεκτρικού συστήματος ελέγχου:

- Είναι οικονομικά στη κατανάλωση ενέργειας και αξιόπιστα στη λειτουργία τους.
- Είναι φθηνά και απλά στη κατασκευή τους.
- Επηρεάζονται πολύ λίγο από τις κανονικές διακυμάνσεις της θερμοκρασίας.
- Μπορεί να μεταφερθεί σε μεγάλες αποστάσεις μέσω των καλωδίων.

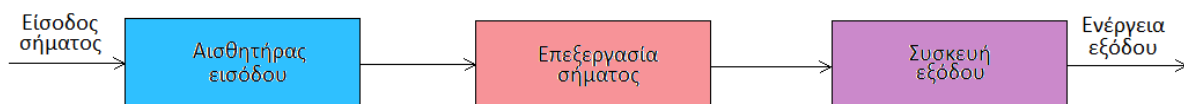
Μειονεκτήματα ηλεκτρικού συστήματος ελέγχου:

- Ένα βραχυκύκλωμα μπορεί να προκαλέσει πυρκαγιές σε κατοικίες και μεγάλα εργοστάσια.
- Η υγρασία μπορεί να προκαλέσει προβλήματα στο σύστημα.
- Σε περίπτωση πυρκαγιάς, προκαλείται άμεση ζημιά.

2.3.4 Ηλεκτρονικά συστήματα

Τα ηλεκτρικά σήματα με τη κατάλληλη λογική ακολουθία ή πρόγραμμα (λογισμικό), σε συνδυασμό με τα ηλεκτρονικά κυκλώματα, που αποτελούνται σχεδόν αποκλειστικά από ημιαγωγούς ηλεκτρικού ρεύματος και τις προσμίξεις τους, συνθέτουν τα ηλεκτρονικά κυκλώματα αυτοματισμού.

Στην απλούστερη μορφή του, ένα ηλεκτρονικό σύστημα μπορεί να αναπαρασταθεί με το ακόλουθο μπλοκ διάγραμμα του Σχήματος 2.4.



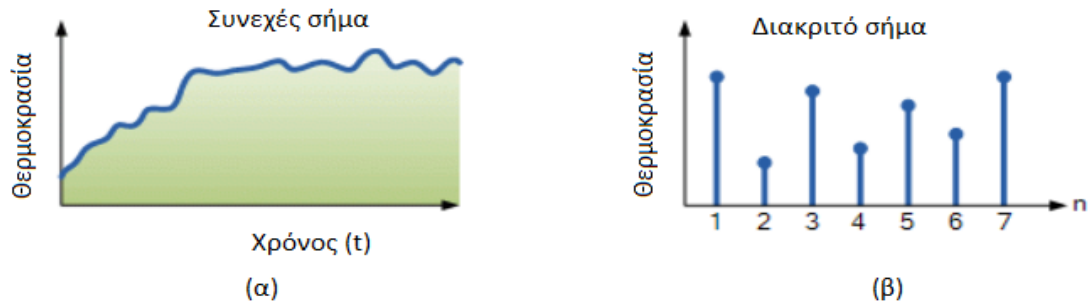
Σχήμα 2.4: Μπλοκ διάγραμμα ηλεκτρονικού συστήματος

Για παράδειγμα, ένα ηχοσύστημα διαθέτει μικρόφωνο ως συσκευή εισόδου, το οποίο προκαλεί τη μετατροπή των ηχητικών σημάτων σε ηλεκτρικό σήμα. Αυτό το σήμα υποβάλλεται σε επεξεργασία από τον ενισχυτή, που με τη σειρά του ενισχύει το ηλεκτρικό σήμα. Στη συνέχεια το ηλεκτρικό σήμα τροφοδοτείται στο μεγάφωνο (συσκευή εξόδου), που παράγει ηχητικά κύματα ως αποτέλεσμα αυτής της διαδικασίας.

Τα ηλεκτρονικά συστήματα λειτουργούν είτε με σήματα συνεχούς χρόνου, είτε με σήματα διακριτού χρόνου (Σχήμα 2.5).

Ένα σήμα που μπορεί θεωρητικά να οριστεί σε κάθε χρονική στιγμή ονομάζεται συνεχούς χρόνου, ενώ αν ορίζεται σε συγκεκριμένες – διακριτές χρονικές τιμές ονομάζεται διακριτού χρόνου. Ένα σήμα διακριτού χρόνου συνήθως δημιουργείται με δειγματοληψία ενός σήματος συνεχούς χρόνου. Για παράδειγμα, η θερμοκρασία ενός δωματίου που έχει μετρηθεί ανά χρονικά διαστήματα.

Τα αναλογικά σήματα αποτελούν παράδειγμα του σήματος συνεχούς χρόνου. Σε ένα θερμομέτρο υδραργύρου, καθώς η θερμοκρασία αυξάνεται, ο υδράργυρος διαστέλλεται με αναλογικό τρόπο, εκτελώντας μια ομαλή, συνεχή κίνηση ως προς μία βαθμονομημένη κλίμακα μέτρησης σε βαθμούς.



Σχήμα 2.5: α) συνεχούς χρόνου, β) διακριτού χρόνου

Οι ηλεκτρονικοί αυτοματισμοί είναι ένα από τα πλέον αναπτυσσόμενα πεδία «υψηλής τεχνολογίας». Οι τεράστιες δυνατότητες των ημιαγωγών με τη χρησιμοποίησή τους στα ηλεκτρονικά κυκλώματα βρίσκουν ένα ευρύ πεδίο εφαρμογών στον τομέα του αυτοματισμού.

2.3.5 Σύνθετα συστήματα

Η πολυπλοκότητα των εφαρμογών και η τάση για λιγότερη χειρωνακτική εργασία, μεγαλύτερη ασφάλεια, ορθότερη διαχείριση της ηλεκτρικής ενέργειας, το μικρότερο κόστος κατασκευής υλικών και εξαρτημάτων προκάλεσε τη χρήση σύνθετων συστημάτων αυτοματισμού, όπως ηλεκτρο – υδραυλικά, ηλεκτρο – πνευματικά κ.α.

Με τον συνδυασμό των σύνθετων συστημάτων, τα πλεονεκτήματα των δύο κατηγοριών ενσωματώνονται και τα μειονεκτήματα μειώνονται.

Η ηλεκτροϋδραυλική βαλβίδα αποτελεί ένα βασικό στοιχείο μικτής τεχνολογίας, η οποία ελέγχει τη ροή ενός υγρού όταν δέχεται ηλεκτρικό ρεύμα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3ο: Προγραμματιζόμενος λογικός ελεγκτής

3.1 Ιστορική αναδρομή

Στις αρχές της δεκαετίας του 1980, πρωτοεμφανίζεται μία μονάδα αυτοματισμού με την ονομασία PLC, με στόχο τον έλεγχο και την επιτήρηση των ανωτέρω. Η πλήρης ονομασία του PLC είναι Programmable Logic Controller, που σημαίνει «Προγραμματιζόμενος Λογικός Ελεγκτής».

Ο στόχος των PLC ήταν να αντικαταστήσουν τους πίνακες με ηλεκτρονόμους, που την θέση τους θα έπαιρναν «κομμάτια» κώδικα. Την δεδομένη χρονική περίοδο όμως οι άνθρωποι, και ειδικότερα αυτοί που δούλευαν στην βιομηχανία, δεν ήταν εξοικειωμένοι με τους υπολογιστές και με τον όρο προγραμματισμός. Για αυτό το λόγο προσπάθησαν να προσαρμόσουν τον τρόπο χρήσης των PLC σε ένα παρόμοιο τρόπο με τον οποίο δούλευε μέχρι τότε η βιομηχανία. Αυτός ήταν στο να σχεδιάζουν τα ηλεκτρικά κυκλώματά και να αντιγράφουν το ηλεκτρολογικό σχέδιο στο PLC.

Ελεγκτές χρησιμοποιούνται επί του παρόντος σε πολλά αυτοματοποιημένα συστήματα, μερικά παραδείγματα είναι τα παρακάτω:

- **Σύγχρονα συστήματα κατασκευών**, σε ακριβείς διεργασίες τοποθέτησης εξαρτημάτων από ρομποτικούς βραχίονες σε γραμμές συναρμολόγησης.
- **Συστήματα αυτοκινήτου**, όπως ο κινητήρας, η μετάδοση της κίνησης και τα χειριστήρια του συστήματος πέδησης.
- **Αεροσκάφη**, στα χειριστήρια κινητήρα και πτήσης.
- **Χημικές διεργασίες**, όπως είναι ο έλεγχος της θερμοκρασίας μιας παρτίδας αντιδρώντων χημικών ουσιών.

Ο «έλεγχος» είναι στη πραγματικότητα ένας πολύ γενικός όρος που χρησιμοποιείται με πολλούς τρόπους στον αυτοματισμό και στη καθημερινή ζωή. Για παράδειγμα, υπάρχουν «μικροελεγκτές» που είναι τσιπ πολλαπλών λειτουργιών υπολογιστών και χρησιμοποιούνται σε μια μεγάλη ποικιλία βιομηχανικών και εμπορικών εφαρμογών. Μερικές φορές, στα συστήματα ηλεκτρονικών υπολογιστών, ένας «ελεγκτής» αποτελεί μέρος του λογισμικού ή του υλικού που επηρεάζει ή καθοδηγεί τη συμπεριφορά άλλων υποσυστημάτων.

Επιπλέον, συναντάμε τη λειτουργία των ελεγκτών αρκετά συχνά στη καθημερινότητα μας. Υπάρχουν ελεγκτές για τη διανομή αναψυκτικών όταν έχουν τοποθετηθεί αρκετά χρήματα σε μια μηχανή και υπάρχουν οι ελεγκτές κυκλοφορίας (φανάκια) που αποφασίζουν πως να αλλάξουν τα φωτεινά σήματα με δεδομένο την κίνηση στον δρόμο. Σε κάθε περίπτωση χρειάζεται ο ελεγκτής για να κάνει το σύστημα να λειτουργεί σωστά και διαδραματίζει κεντρικό ρόλο στην υλοποίηση του συστήματος.

Στη πρώτη ενότητα παρατέθηκαν κάποιες πολύ απλές εφαρμογές αυτοματισμού. Υπάρχουν και πιο απαιτητικές εφαρμογές που καθιστούν αναγκαία τη χρήση προηγμένων μαθηματικών και υπολογιστικών τεχνικών. Ο σημερινός κόσμος είναι γεμάτος με περίπλοκα συστήματα που παρουσιάζουν μη γραμμική συμπεριφορά. Οι μηχανικοί που αντιμετωπίζουν τον έλεγχο αυτών των συστημάτων, απαιτείται να σχεδιάσουν τέτοιους μηχανισμούς που θα ικανοποιούσαν τα επιθυμητά χαρακτηριστικά μέσω της περιοχής λειτουργίας. Σε πολλές καταστάσεις, ένα πρόβλημα εντοπισμού μπορεί να περιλαμβάνει πολλαπλές μεταβλητές που αλληλεπιδρούν μεταξύ τους αλλά στη παρούσα αναφορά δεν θα μας απασχολήσουν περίπλοκοι ελεγκτές παρά μόνο ο έλεγχος που μπορεί να υλοποιηθεί μέσω PLC και που είναι ο πιο ευρέως χρησιμοποιούμενος στη βιομηχανία.

3.2 Ορισμός PLC

Ο προγραμματιζόμενος λογικός ελεγκτής ή αλλιώς PLC, δεν είναι άλλο παρά ένας ψηφιακός υπολογιστής που χρησιμοποιείται για τον έλεγχο ενός μηχανήματος. Σε αντίθεση με τον προσωπικό υπολογιστή, έχει σχεδιαστεί για να λειτουργεί σε βιομηχανικό περιβάλλον και είναι εξοπλισμένο με ειδικές διεπαφές εισόδου / εξόδου και μια γλώσσα προγραμματισμού.

Αρχικά το το PLC χρησιμοποιήθηκε για την αντικατάσταση των ηλεκτρομηχανικών ρελέ και χρονοδιακοπών, αλλά το ολόένα και αυξανόμενο εύρος λειτουργίας του, βρήκε εφαρμογή σε πολλές και πιο περίπλοκες εφαρμογές. Επειδή η δομή του βασίζεται στις ίδιες αρχές με την αρχιτεκτονική των υπολογιστών, δεν χρησιμοποιείται μόνο για την αντικατάσταση των ρελέ αλλά και για την χρονομέτρηση, την καταμέτρηση, την σύγκριση και την επεξεργασία αναλογικών σημάτων.

Οι προγραμματιζόμενοι λογικοί ελεγκτές προσφέρουν πολλά πλεονεκτήματα απ'ότι τα συμβατικά ρελέ ελέγχου. Οι ηλεκτρονόμοι για να εκτελέσουν κάποια συγκεκριμένη λειτουργία πρέπει να έχει προηγηθεί καλωδίωση πρώτα και όταν προκύψει κάποια αλλαγή στο σύστημα πρέπει αυτή κάθε φορά να αλλάζει. Σε ακραίες περιπτώσεις, όπως στην αυτοκινητοβιομηχανία οι πίνακες ελέγχου πρέπει να αντικαθίστανται εντελώς επειδή δεν είναι οικονομικά εφικτό να πραγματοποιείται επανασύνδεση των παλαιών πινάκων, με κάθε αλλαγή του μοντέλου. Έχουν εξαλείψει ένα μεγάλο μέρος της καλωδίωσης, είναι μικρά σε μέγεθος και φθηνά σε σύγκριση με την αντίστοιχη διαδικασία που βασίζεται σε συστήματα ελέγχου με ηλεκτρονόμους.



Εικόνα 3.1: PLC (Προγραμματιζόμενος Λογικός Ελεγκτής)

Πιο συγκεκριμένα, τα οφέλη των PLC είναι:

- **Αυξημένη αξιοπιστία:** Καθώς το πρόγραμμα έχει γραφτεί και δοκιμαστεί, μπορεί πολύ εύκολα να μεταφορτωθεί σε άλλα PLC. Δεδομένου ότι όλη η λογική περιέχεται στη μνήμη του PLC, δεν υπάρχει πιθανότητα σφάλματος στη καλωδίωση. Το πρόγραμμα αντικαθιστά μεγάλο μέρος της εξωτερικής καλωδίωσης που κανονικά απαιτείται για τον έλεγχο μιας διαδικασίας.

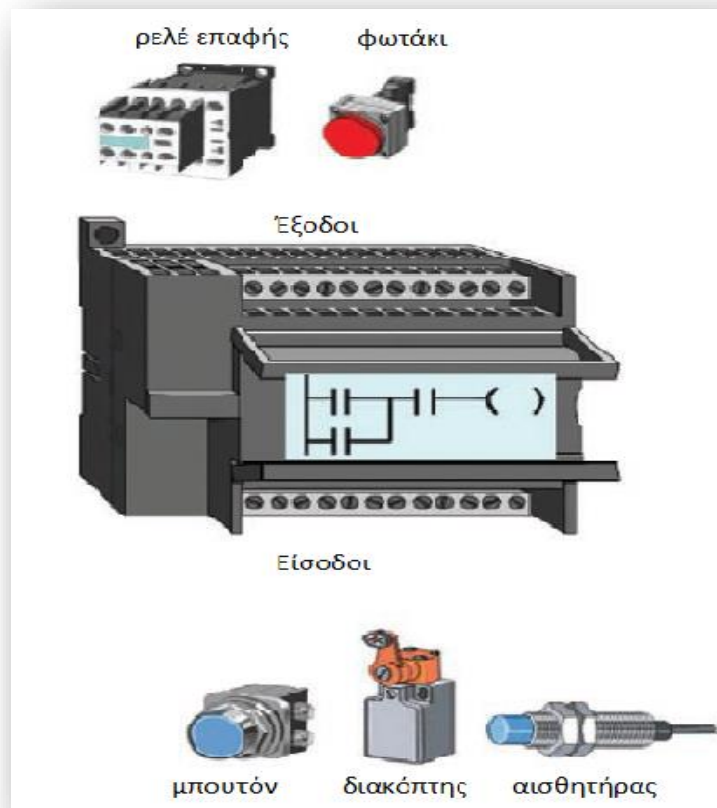


(α) Πίνακας αυτοματισμού με τη λογική ρελέ (β) Πίνακας αυτοματισμού βασισμένος στο PLC

Εικόνα 3.2: Σύγκριση αυτοματισμών

- **Χαμηλότερο κόστος:** Τα PLC αρχικά σχεδιάστηκαν για να αντικαταστήσουν τους ηλεκτρονόμους και η εξοικονόμηση του κόστους ήταν τόσο σημαντική που οι ηλεκτρονόμοι πλέον καθίστανται παρωχημένα και χρησιμοποιούνται κυρίως σε εφαρμογές ισχύος. Γενικά, αν κάποια εφαρμογή δεν απαιτεί πολλά ρελέ ελέγχου, πιθανότατα η εγκατάσταση ενός PLC να είναι ακριβή.
- **Δυνατότητα επικοινωνίας.** Ένα PLC μπορεί να επικοινωνήσει με άλλους ελεγκτές ή εξοπλισμό υπολογιστή για να εκτελέσει λειτουργίες όπως ο οπτικός έλεγχος, συλλογή δεδομένων, παρακολούθηση συσκευών, παραμετροποίηση διαδικασιών, λήψη και αποστολή προγραμμάτων.
- **Γρηγορότερο χρόνο απόκρισης.** Τα PLC έχουν σχεδιαστεί για εφαρμογές σε πραγματικό χρόνο, δηλαδή αν κάποιο γεγονός λάβει χώρα στο πεδίο, θα έχει ως αποτέλεσμα την εκτέλεση μιας λειτουργίας. Ακόμα, οι μηχανές που επεξεργάζονται χιλιάδες αντικείμενα ανά δευτερόλεπτο απαιτούν την ικανότητα γρήγορης απόκρισης ενός προγραμματιζόμενου ελεγκτή.
- **Ευκολότερη αντιμετώπιση προβλημάτων.** Οι προγραμματιζόμενοι λογικοί ελεγκτές, χάρις το λογισμικό τους, επιτρέπουν στον χρήστη να εντοπίσουν και να διορθώσουν κάποια δυσλειτουργία στο πρόγραμμα τους. Για παράδειγμα, σε ένα εργοστάσιο παραγωγής μπορεί να υπάρχουν εκατοντάδες συσκευές ελέγχου. Έτσι, θα χρειαζόταν πολύς χρόνος για να γίνει έλεγχος σε κάθε συσκευή ξεχωριστά αλλά και στη θέση στην οποία βρίσκεται. Έχοντας τις συσκευές συνδεδεμένες με ένα PLC, αυτή η διαδικασία μπορεί να γίνει αρκετά γρήγορα και στον χώρο στον οποίο βρισκόμαστε.
- **Περισσότερη ευελιξία.** Είναι ευκολότερο να δημιουργηθεί και να τροποποιηθεί ένα πρόγραμμα σε PLC παρά να πραγματοποιηθεί αυτή η διαδικασία σε ένα κύκλωμα. Με ένα PLC οι σχέσεις μεταξύ των εισόδων και εξόδων καθορίζονται από το ίδιο το πρόγραμμα, σε αντίθεση με τους ηλεκτρονόμους που βασίζονται ανάλογα με τον τρόπο που συνδέονται μεταξύ τους. Επίσης οι κατασκευαστές (π.χ. Siemens), παρέχουν ενημερώσεις του συστήματος στέλνοντας

απλώς ένα νέο πρόγραμμα και οι χρήστες μπορούν να το τροποποιήσουν, όπως για παράδειγμα να του βάλουν κάποιο κωδικό αν απαιτηθεί.



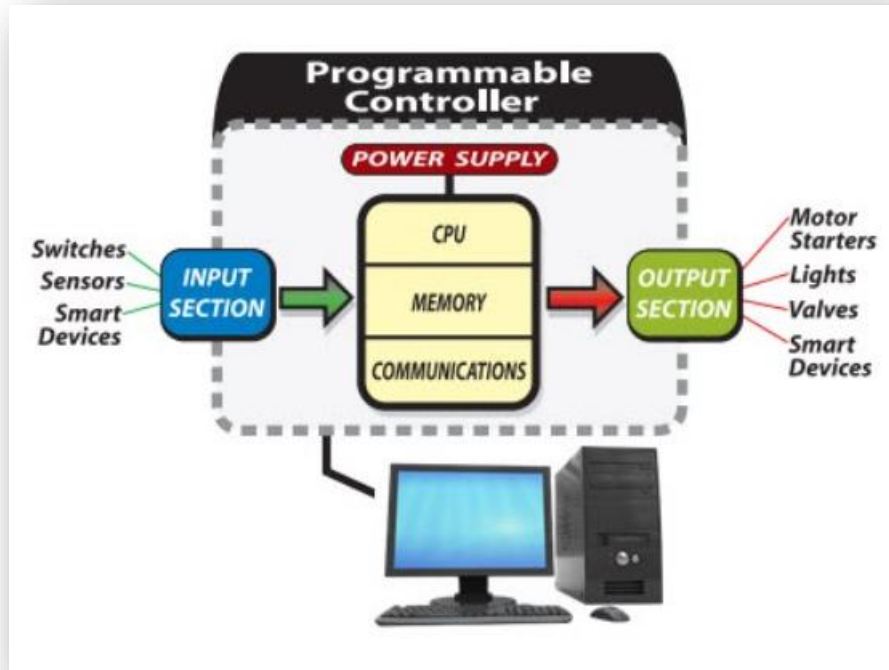
Εικόνα 3.3: Σχέση μεταξύ των εισόδων και εξόδων

- **Μικρότερο μέγεθος.** Τα περισσότερα από τα ρελέ, όπως οι χρονοδιακόπτες, οι μετρητές και οι ελεγκτές περιέχονται όλα στο ίδιο το PLC. Οπότε γίνεται εύκολα αντιληπτό ότι ο χώρος που καταλαμβάνει είναι αρκετά μικρότερος απ' ό τι ένα σύστημα με ηλεκτρονόμους.
- **Εύκολος προγραμματισμός.** Το PLC μας παρέχει τη δυνατότητα να επιλέξουμε μέσα από ένα μικρό πλήθος επιλογών, την γλώσσα στην οποία είμαστε καλύτερα εξοικειωμένοι.

3.3 Δομή ενός PLC

Το μπλοκ διάγραμμα του PLC αποτελείται από διαφορετικά στοιχεία. Κάθε στοιχείο έχει συγκεκριμένες λειτουργίες και οι πιο βασικές είναι οι εξής:

- Μονάδες εισόδου και εξόδου (I/O)
- Κεντρική μονάδα επεξεργασίας (CPU)
- Τροφοδοτικό
- Σύστημα μνήμης
- Πρωτόκολλα επικοινωνίας
- Συσκευές προγραμματισμού



Εικόνα 3.4: Τα βασικά μέρη του PLC

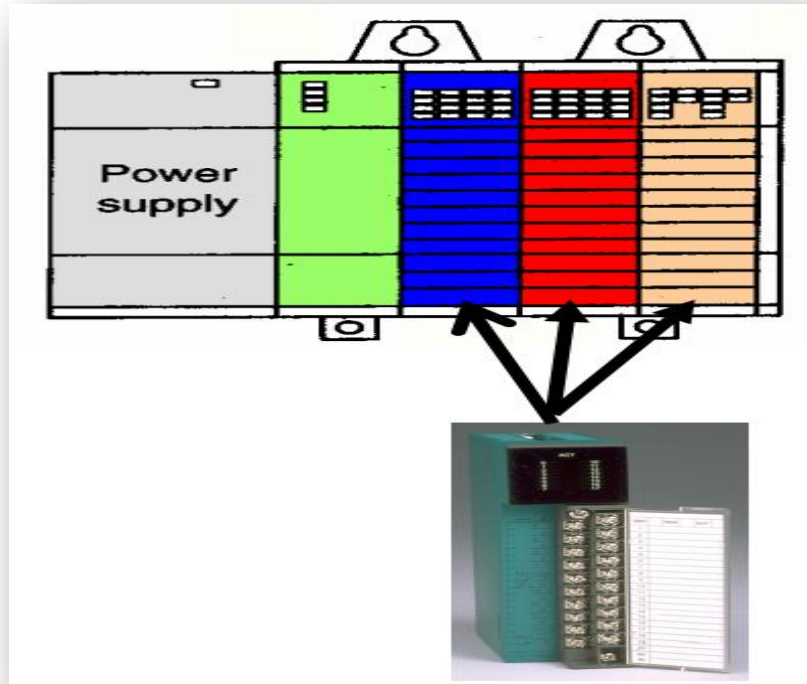
Μονάδες εισόδων. Αποτελούν τις μονάδες επικοινωνίας της κεντρικής μονάδας με τον έξω κόσμο. Υπάρχουν δύο τύποι τέτοιων μονάδων, οι ψηφιακές και οι αναλογικές.

- Οι ψηφιακές εισοδοί αναγνωρίζουν μόνο δύο τιμές τάσης (υψηλή – χαμηλή). Η τάση αυτή μπορεί να δημιουργείται είτε από το τροφοδοτικό του PLC είτε από δικό μας εξωτερικό τροφοδοτικό.
- Οι αναλογικές εισοδοί «αναγνωρίζουν» όχι δύο διακριτές καταστάσεις όπως στην περίπτωση των ψηφιακών εισόδων, αλλά μια κατάσταση που συνεχώς μεταβάλλεται. Ένα κλασσικό παράδειγμα είναι η μέτρηση στάθμης ενός υγρού υλικού σε μια δεξαμενή. Η μεταβαλλόμενη στάθμη του υγρού «μεταφράζεται» από το αισθητήριο σε ένα αντίστοιχα μεταβαλλόμενο ηλεκτρικό σήμα που κυμαίνεται σε μια τυποποιημένη κλίμακα έντασης ρεύματος (π.χ. 4 έως 20 mA) ή τάσης ρεύματος (π.χ. 0 έως 10V). Η ειδική τύπου αναλογική είσοδος του PLC «αντιλαμβάνεται» τις διαφοροποιήσεις (αυξομειώσεις του ηλεκτρικού ρεύματος ή τάσης) και τις «μεταφράζει» σε μεταβολές του φυσικού φαινομένου, δηλαδή της στάθμης του νερού.

Οι εισοδοί έχουν τον ρόλο να διαβάζουν ένα ηλεκτρικό μέγεθος και να το μετατρέπουν σε έναν αριθμό ο οποίος πλέον μπορεί να αναγνωριστεί και να επεξεργαστεί από την CPU. Σε αυτές συνδέονται εξαρτήματα ελέγχου του αυτοματισμού, όπως μπουτόν και αισθητήρια (θερμοκρασίας, στάθμης κλπ). Η τάση τροφοδοσίας τους είναι 24V DC, αλλά μερικές φορές και 110 ή 230V AC, αναλόγως τον τύπο του PLC.

Μονάδες εξόδων. Είναι οι μονάδες με τις οποίες συνδέεται το PLC με τα φορτία της εκάστοτε εφαρμογής και μπορούμε επίσης να τις διακρίνουμε σε ψηφιακές και αναλογικές.

- Οι ψηφιακές εξόδους έχουν δύο καταστάσεις, ON ή OFF. Στις μονάδες αυτές συνδέουμε διατάξεις όπως π.χ. λυχνίες. Η σύνδεση των στοιχείων αυτών με τις εξόδους γίνεται είτε απ'ευθείας είτε μέσω κατάλληλων μικρορελέ.
- Στις αναλογικές εξόδους, υπάρχουν περισσότερες από δύο καταστάσεις και μεταβάλλονται συνεχώς.

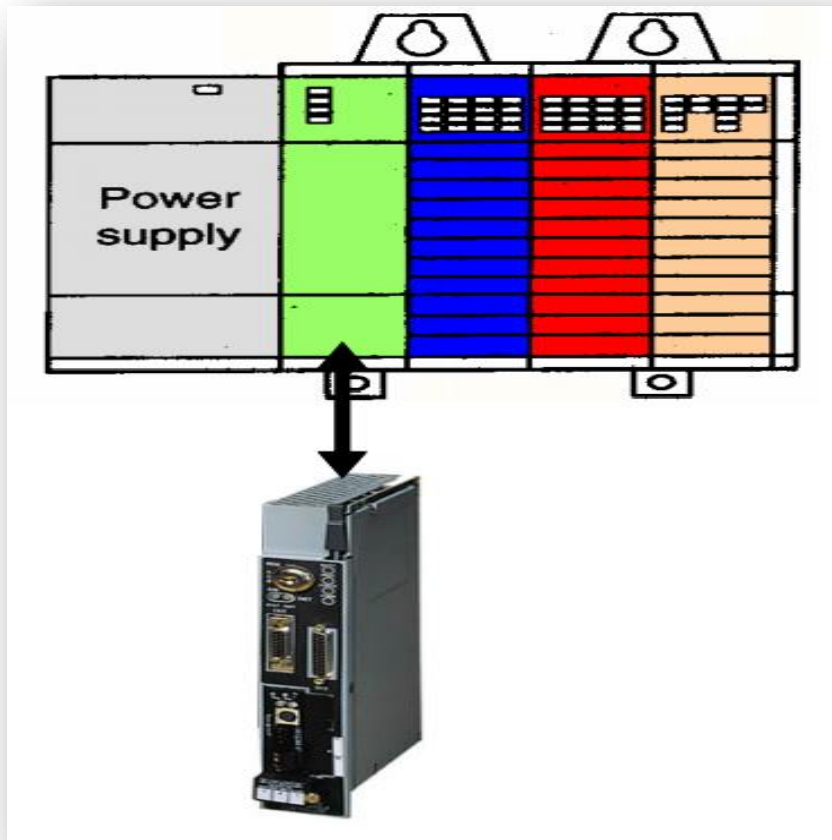


Εικόνα 3.5: Μονάδες εισόδου και εξόδου

Κεντρική μονάδα επεξεργασίας. Είναι ένα ψηφιακό κύκλωμα που αποτελεί τον εγκέφαλο του PLC. Εδώ εκτελούνται τόσο το λειτουργικό πρόγραμμα του χρήστη όσο και το πρόγραμμα του PLC.

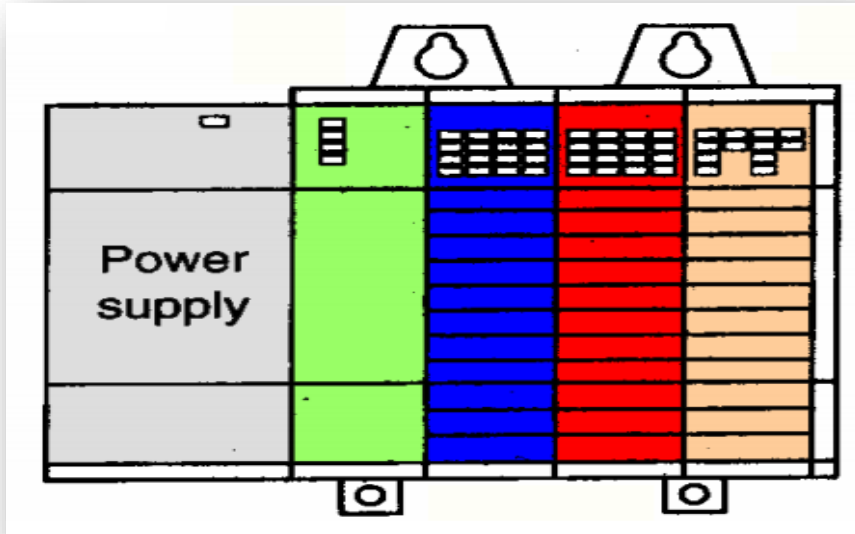
- Το λειτουργικό σύστημα οργανώνει όλες τις συναρτήσεις, τις λειτουργίες και τις ακολουθίες της CPU που δεν σχετίζονται με μια εργασία ελέγχου και αυτές περιλαμβάνουν:
 - Ενημέρωση των πινάκων εικόνας διεργασίας εισόδου και εξόδου
 - Εκτέλεση του προγράμματος του χρήστη
 - Ανίχνευση και κλήση των διακοπών
 - Διαχείριση των περιοχών μνήμης
 - Δημιουργία επικοινωνίας με προγραμματιζόμενες συσκευές
- Το πρόγραμμα χρηστών είναι ένας συνδυασμός διαφόρων λειτουργιών που απαιτούνται για την επεξεργασία μιας αυτοματοποιημένης εργασίας. Πρέπει να δημιουργηθεί από τους ίδιους τους χρήστες και να ληφθεί στη κεντρική μονάδα επεξεργασίας του PLC. Ορισμένες από τις εργασίες του προγράμματος χρήστη είναι οι εξής:
 - Εκκίνηση όλων των συνθηκών για την έναρξη της καθορισμένης εργασίας.
 - Ανάγνωση και αξιολόγηση όλων των δυαδικών και αναλογικών σημάτων εισόδου.

- Καθορισμός σημάτων εξόδου σε όλα τα δυαδικά και αναλογικά σήματα εξόδου.
- Εκτέλεση διακοπών και χειρισμός σφαλμάτων.



Εικόνα 3.6: Η κεντρική μονάδα επεξεργασίας

Τροφοδοτικό. Η μονάδα τροφοδοσίας ενός PLC έχει σκοπό να δημιουργήσει τις αναγκαίες εσωτερικές τάσεις που απαιτούνται για την τροφοδοσία των ηλεκτρονικών στοιχείων (π.χ. τρανζίστορ, ολοκληρωμένα κυκλώματα κ.λ.π.) του PLC. Σε ορισμένα μοντέλα, όταν ο ελεγκτής δεν τροφοδοτείται από το δίκτυο, η μονάδα τροφοδοσίας διατηρεί το περιεχόμενο της μνήμης του PLC με τη βοήθεια μιας μπαταρίας (συνήθως λιθίου), που διαθέτει. Σε άλλα μοντέλα η παραπάνω μπαταρία βρίσκεται στην CPU.



Εικόνα 3.7: Μονάδα τροφοδοσίας

Σύστημα μνήμης. Ο ρόλος της μνήμης συνίσταται κυρίως, στην αποθήκευση, την ανάκτηση δεδομένων και πληροφοριών. Η μνήμη της CPU διακρίνεται σε RAM, ROM, EEPROM και μνήμη Flash. Σε κάθε μία από αυτές, οι οποίες έχουν διαφορετικό τρόπο λειτουργίας, γίνεται η αποθήκευση των δεδομένων ακόμα και αν γίνει διακοπή της τροφοδοσίας.

Στη **μνήμη RAM** (Random Access Memory), μπορούμε να γράφουμε και να σβήνουμε. Όταν όμως έχουμε έλλειψη ηλεκτρικής τροφοδοσίας, αυτή σβήνει. Η κεντρική μονάδα αποθηκεύει μια σειρά από πληροφορίες σε ξεχωριστές περιοχές εργασίας, όπως:

- Περιοχή μνήμης όπου αποθηκεύονται οι ενδιάμεσες πληροφορίες που αφορούν τη λειτουργία του αυτοματισμού
- Περιοχή μνήμης όπου αποθηκεύονται οι καταστάσεις των εισόδων και των εξόδων
- Περιοχή μνήμης των απαριθμητών
- Περιοχή μνήμης των χρονικών
- Περιοχή μνήμης όπου αποθηκεύονται τα προγράμματα του χρήστη, δηλαδή τα προγράμματα που πραγματοποιούν μια συγκεκριμένη εφαρμογή αυτοματισμού

Στη **μνήμη ROM** (Read Only Memory), αποθηκεύεται το λειτουργικό σύστημα του PLC, δηλαδή οι οδηγίες για όλες τις βασικές λειτουργίες που είναι απαραίτητες για τη λειτουργία του PLC.

Η **μνήμη EEPROM** (Electrically Erasable Programmable Read Only Memory) χρησιμοποιείται από τα PLC λόγω ότι διατηρεί τα δεδομένα της, ακόμα και αν το PLC χάσει την ηλεκτρική τροφοδοσία του, πράγμα που σημαίνει ότι θα σβηστούν τα δεδομένα από τη μνήμη RAM όταν δεν υπάρχει μπαταρία. Η μνήμη EEPROM σβήνεται και γράφεται μέσω ενός ειδικού μηχανήματος.

Η **μνήμη Flash** λειτουργεί σχεδόν σαν τη μνήμη RAM, αλλά αντί να χρησιμοποιεί συνεχώς ηλεκτρική ισχύ για να διατηρήσει τα δεδομένα, τα αποθηκεύει στους πυκνωτές. Το πλεονέκτημα της δυνατότητας διατήρησης των δεδομένων ακόμα και όταν δεν τροφοδοτείται, είναι μεγάλο. Το μειονέκτημα είναι η ταχύτητα καθώς απαιτείται περισσότερος χρόνος για την αποθήκευση δεδομένων.

Πρωτόκολλα επικοινωνίας. Είναι ένα σύνολο κανόνων που στέλνουν ή λαμβάνουν δεδομένα μεταξύ τους, δύο ή περισσότερες συσκευές επικοινωνίας. Χρησιμοποιώντας τα πρωτόκολλα επικοινωνίας, οι συσκευές μπορούν να συνδεθούν και να επικοινωνήσουν μεταξύ τους, ενώ χωρίς το πρωτόκολλο αυτό, μπορούν να συνδεθούν μόνο, αλλά να μην επικοινωνούν μεταξύ τους. Τα πιο βασικά πρωτόκολλα που χρησιμοποιούνται στη βιομηχανία είναι:

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

Συσκευή προγραμματισμού. Χρησιμοποιούνται διάφοροι τύποι συσκευών προγραμματισμού για την εισαγωγή, την τροποποίηση και την αντιμετώπιση προβλημάτων ενός προγράμματος PLC. Αυτές οι τεμαχικές συσκευές, περιλαμβάνουν τις συσκευές βασισμένες στον υπολογιστή και τις χειρός.



Εικόνα 3.8: Συσκευές προγραμματισμού

- Στη μέθοδο της φορητής συσκευής προγραμματισμού, μια ιδιόκτητη συσκευή συνδέεται στο PLC μέσω ενός καλωδίου σύνδεσης. Αυτή η συσκευή αποτελείται από ένα σύνολο κλειδιών που επιτρέπει την εισαγωγή, επεξεργασία και απόρριψη του κώδικα στο PLC και επίσης συμπεριλαμβάνουν μια μικρή οθόνη για να κάνουν ορατές τις οδηγίες που έχουν προγραμματιστεί. Είναι εύχρηστες στη χρήση τους, αλλά έχουν περιορισμένες δυνατότητες.
- Η πιο δημοφιλής μονάδα είναι ο προσωπικός υπολογιστής (H/Y) και χρησιμοποιείται για τον προγραμματισμό του PLC σε συνδυασμό με το λογισμικό που παρέχεται από τον κατασκευαστή. Αξιοποιώντας αυτόν τον υπολογιστή, μπορούμε να εκτελέσουμε το πρόγραμμα είτε σε λειτουργία σύνδεσης είτε εκτός, όπως επίσης να επεξεργαστούμε, να παρακολουθήσουμε, να διαγνώσουμε και να αντιμετωπίσουμε τυχόν προβλήματα του προγράμματος του PLC. Για να μεταφερθεί το πρόγραμμα από τον υπολογιστή στη CPU του PLC, χρησιμοποιούμε ένα καλώδιο προγραμματισμού.

3.4 Τύποι PLC

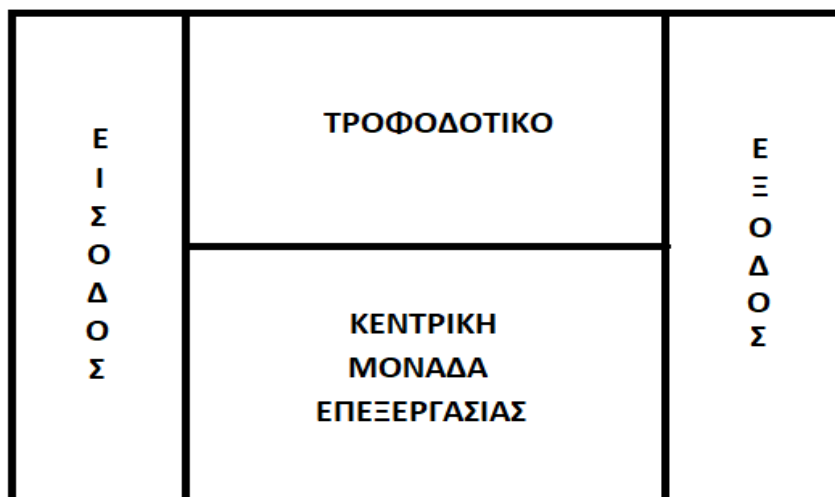
Όπως συμβαίνει με κάθε τεχνολογία στον κόσμο, κάθε συσκευή πρέπει να τροποποιηθεί και να σχεδιαστεί για να υποστηρίζει πιο συγκεκριμένες εφαρμογές αναλόγως το μέγεθος, το ρεύμα που το διαπερνά και το σήμα (π.χ. αναλογικό ή ψηφιακό).

Ο προγραμματιζόμενος λογικός ελεγκτής έχει προσαρμοστεί σε αυτές τις τεχνολογικές εξελίξεις, διαχωρίζοντας τον σε διαφορετικούς τύπους που ταιριάζουν σε κάθε συγκεκριμένη εφαρμογή και κατά συνέπεια, μεγιστοποιώντας τους οικονομικούς πόρους κάθε καταναλωτή.

Οι δύο πιο διαδεδομένοι και ευρέως γνωστοί τύποι που κυκλοφορούν στο εμπόριο είναι τα σταθερά (fixed) και τα δομοστοιχειωτά (modular) PLC.

Σταθερά PLC

Έχουν πάρει αυτή την ονομασία διότι τα τμήματα εισόδου και εξόδου του PLC είναι ενσωματωμένα στον ίδιο τον μικροελεγκτή (Σχήμα 3.1). Αυτό σημαίνει ότι η κάθε μονάδα είναι σταθερή, όπως ορίζεται από τον εκάστοτε κατασκευαστή και ο αριθμός εισόδων - εξόδων ενδέχεται να μην επεκταθεί σε αυτόν τον τύπο PLC.



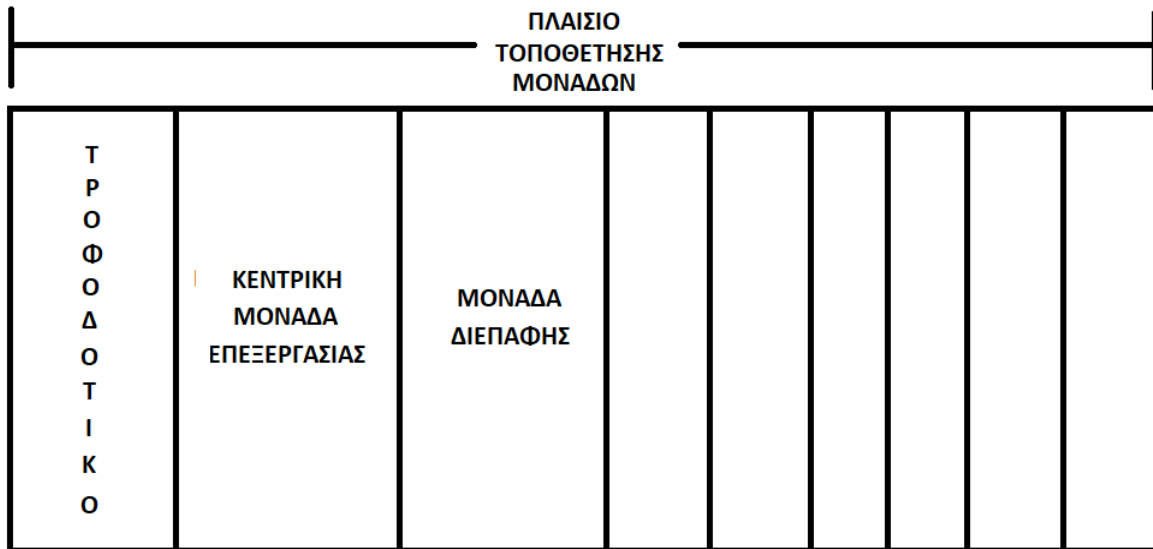
Σχήμα 3.1: Μπλοκ διάγραμμα ενός σταθερού PLC

Δομοστοιχειωτά PLC

Ο τύπος αυτού του PLC, επιτρέπει πολλαπλές επεκτάσεις του συστήματος μέσω της χρήσης ενοτήτων, εξ ου και ο όρος «δομοστοιχειωτός».

Οι μονάδες παρέχουν στον προγραμματιζόμενο λογικό ελεγκτή πρόσθετα χαρακτηριστικά, όπως αυξημένο αριθμό μονάδων εισόδων – εξόδων και είναι συνήθως πιο εύκολο στη χρήση, επειδή κάθε στοιχείο είναι ανεξάρτητο το ένα από το άλλο.

Το τροφοδοτικό, η μονάδα επεξεργασίας, η μονάδα εισόδου – εξόδου είναι όλα ξεχωριστά από τον πραγματικό μικροελεγκτή (Σχήμα 3.2), οπότε πρέπει να συνδεθούν χειροκίνητα όλα μεταξύ τους πάνω στο πλαίσιο τοποθέτησης μονάδων (rack).



Σχήμα 3.2: Μπλοκ διάγραμμα ενός δομοστοιχειωτού PLC

Το δομοστοιχειωτό PLC, είναι ο πιο επιθυμητός τύπος ειδικά για μεγάλα βιομηχανικά συστήματα με πολλές συσκευές εισόδου ή ελέγχου. Τα πλεονεκτήματα που παρουσιάζει έναντι των σταθερών είναι τα παρακάτω:

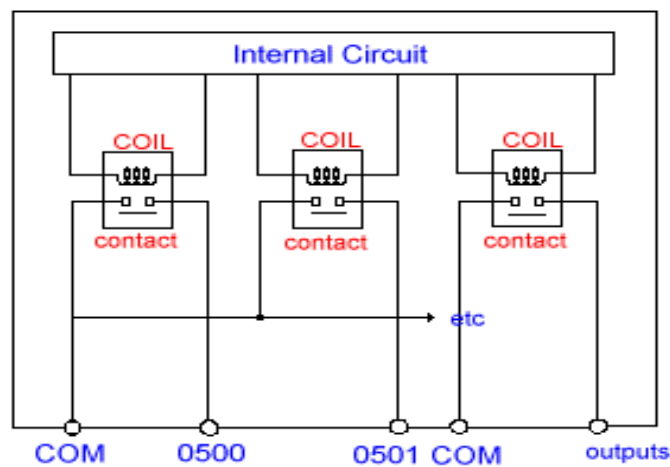
- **Επεκτασιμότητα.** Σε μεγάλα συστήματα ελέγχου όπου οι απαιτήσεις, σε συναρτήσε του χρόνου, όλο και αυξάνονται, το δομοστοιχειωτό PLC μας παρέχει τη δυνατότητα να προσθέτουμε επιπλέον μονάδες. Κάτι τέτοιο δεν συμβαίνει με του άλλου τύπου PLC, ωστόσο, μπορεί να προτιμηθεί για μικρές εφαρμογές όπου στο μέλλον δεν θα χρειαστεί να πραγματοποιήσουμε αλλαγές, επειδή είναι πιο οικονομικό.
- **Ευκολότερη επίλυση προβλημάτων.** Επειδή οι μονάδες είναι διαιρεμένες μεταξύ τους και η κάθε μονάδα αντιστοιχεί σε κάποια λειτουργία, μπορεί πολύ εύκολα το οποιοδήποτε πρόβλημα κι αν προκύψει να αντιμετωπιστεί ανεξάρτητα από ολόκληρο το σύστημα του PLC.
- **Μνήμη.** Όπως και στους υπολογιστές γραφείου (desktop), τα Modular PLC μπορούν να πάρουν επεκτάσεις μνήμης, με αποτέλεσμα να έχουν μεγαλύτερη χωριτικότητα αποθήκευσης.
- **Λιγότερες διακοπές (Downtime).** Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, το δομοστοιχειωτό PLC είναι πιο εύκολο να επισκευαστεί επειδή οι μονάδες έχουν ξεχωριστά συστήματα. Αυτό σημαίνει και λιγότερο χρόνο διακοπής της λειτουργίας για τις γραμμές συναρμολόγησης που ελέγχονται από το PLC, επειδή η αντιμετώπιση προβλημάτων θα διαρκέσει λιγότερο χρόνο. Καθώς οι μονάδες μπορούν να αγοραστούν ξεχωριστά, ένα σημαντικό πλεονέκτημα αυτού είναι ότι μπορεί να χρησιμοποιηθεί ένα εφεδρικό σετ λειτουργικών μονάδων για άμεση αντικατάσταση. Όπως γίνεται αντιληπτό, μια τέτοιου είδους αλλαγή δεν μπορεί να γίνει στα σταθερά PLC και θα πρέπει να αντικατασταθεί εξ ολοκλήρου με κάποιο καινούριο.

Επίσης μια άλλη κατηγορία όπου διακρίνουμε τα PLC, είναι σύμφωνα με την έξοδο τους (output). Οι λειτουργίες αναλογίας στα αρχικά στάδια του PLC, ήταν τύπου ρελέ. Αυτό σημαίνει ότι υπάρχει ένας ηλεκτρομηχανικός διακόπτης, που ελέγχεται χρησιμοποιώντας τον προγραμματιζόμενο λογικό ελεγκτή για τη τροφοδοσία των συσκευών εξόδου.

Μέσα από χρόνια ανάπτυξης, οι προγραμματιστές έχουν βρει μεγαλύτερα πλεονεκτήματα στη χρήση άλλων μεθόδων ελέγχου των εξόδων, χρησιμοποιώντας διαφορετικά στοιχεία μεταγωγής όπως τα θυρίστορ Τραϊακ (TRIAC) και τα τρανζίστορ.

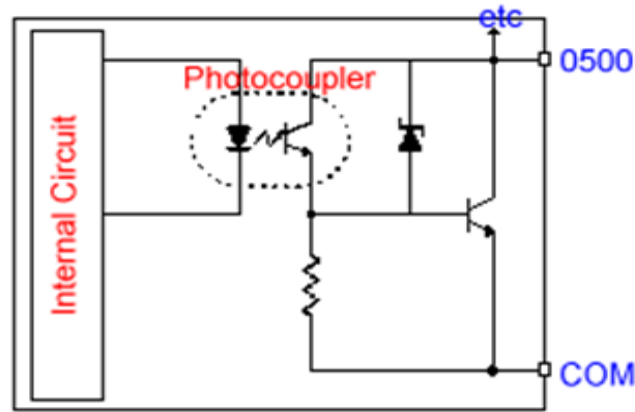
Ωστόσο, πρέπει πρώτα να ληφθεί υπόψη, ο τύπος του φορτίου προτού γίνει η επιλογή του τύπου εξόδου που πρέπει να έχει το PLC. Οι εξοδοί ορίζονται ως εξής:

- **Τύπου ρελέ**, όπου είναι κατάλληλες τόσο για συσκευές εναλλασσόμενου (AC) ρεύματος, όσο και για συσκευές εξόδου συνεχούς (DC) ρεύματος. Επιτρέπει την εναλλαγή μικρών ρευμάτων, σε πολύ μεγαλύτερα ρεύματα, όπως επίσης απομονώνει το PLC από το εξωτερικό κύκλωμα. Ωστόσο, ένα από τα προβλήματα με τα ρελέ, είναι η μηχανική φθορά που αντιμετωπίζει κατά τη διάρκεια επαναλαμβανόμενων εργασιών. Ως εκ τούτου, η έξοδος ρελέ είναι πιο κατάλληλη για όχι τόσο συχνές λειτουργίες εναλλαγής (switching operations), για παράδειγμα η ενεργοποίηση μιας συνεχούς λειτουργίας, όπως ένας κινητήρας.



Εικόνα 3.9: Έξοδος ρελέ

- **Triac**, είναι μια συσκευή στερεάς κατάστασης (solid-state), που ισοδυναμεί με δύο «κρυσταλλολυχνίες» τρανζίστορ και πιο συγκεκριμένα, το διπολικό τρανζίστορ διασταύρωσης (bipolar junction transistor).
- **Ο τύπος τρανζίστορ**, μπορεί να χειριστεί μόνο DC ρεύμα. Το PLC εφαρμόζει ένα μικρό ρεύμα στη βάση του τρανζίστορ και η έξοδος του τρανζίστορ «κλείνει». Όταν είναι κλειστή, η συσκευή που είναι συνδεδεμένη στην έξοδο του PLC ενεργοποιείται. Οι πιο συνηθισμένοι τύποι τρανζίστορ είναι τα BJT και τα MOSFET. Ένας τύπος BJT, έχει λιγότερη ικανότητα μεταγωγής από έναν τύπο MOSFET, όπως επίσης και ελαφρώς ταχύτερο χρόνο εναλλαγής. Εν αντιθέση με τα ρελέ, δεν μπορεί να ελέγξει ένα πολύ μεγάλο φορτίο αλλά λειτουργεί πιο γρήγορα και έχει μεγαλύτερη διάρκεια ζωής.



Εικόνα 3.10: Έξοδος τρανζίστορ

- **Αναλογικού τύπου.** Οι προαναφερθέντες τύποι εξόδων PLC, έχουν σχεδιαστεί για εναλλαγές λειτουργιών. Αυτό σημαίνει ότι είναι ψηφιακού χαρακτήρα, επειδή λειτουργούν μόνο σε κατάσταση ON ή OFF. Συνήθως, οι αναλογικές εξόδους PLC ελέγχουν την ταχύτητα συνεχούς λειτουργίας συσκευών όπως οι κινητήρες ή οι τουρμπίνες. Το εύρος τάσης και ρεύματος ποικίλλει ανάλογα με τον κατασκευαστή.

Τέλος, κατηγοριοποιούμε τα PLC σύμφωνα με το μέγεθος τους. Τα μεγαλύτερα PLC έχουν συνήθως σχεδιαστεί για να διαχειρίζονται αρκετά σημαντικό αριθμό συσκευών. Ωστόσο, η χρήση αυτών ενδέχεται να μην είναι πάντα η πιο αποτελεσματική για την εκτέλεση όλων των εφαρμογών, γι' αυτό οι κατασκευαστές έχουν δημιουργήσει μικρότερα PLC για να ταιριάζουν σε λιγότερο σύνθετες εφαρμογές. Ακολούθως, διακρίνουμε τις κατηγορίες:

- Τα **Mini PLC**, περιλαμβάνουν συνήθως από 128 έως 512 σημεία I/O που είναι πολλά για ένα σύστημα ελέγχου. Για μια μεσαίας κλίμακας εφαρμογή, όπου οι απαιτήσεις δεν προβλέπεται να αυξηθούν πολύ στο μέλλον, αυτή η κατηγορία είναι η ιδανική.
- Τα **Micro PLC**, έχουν από 15 έως 128 σημεία I/O. Συνήθως χρησιμοποιούνται σε πολύ μικρά συστήματα αυτοματισμού ή ελέγχου, όπως σ' αυτά των θεματικών πάρκων. Δεν απαιτείται η χρήση ενός κεντρικού PLC, όπου θα πρέπει να ελέγχει όλες τις δραστηριότητες του χώρου (π.χ. συγκρουόμενα αυτοκίνητα) ταυτόχρονα, αλλά η κάθε μία έχει το δικό της σύστημα ελέγχου. Επιπλέον, επειδή σε κάθε δραστηριότητα χρησιμοποιούνται δύο συσκευές για λόγους ασφαλείας, δεν απαιτείται μεγάλος αριθμός εισόδων και εξόδων.
- Τα **Pico** ή **Nano PLC** έχουν λιγότερες από 15 εισόδους – εξόδους. Συνήθως, τα συναντάμε σε εκπαιδευτικού είδους εργασίες, επειδή είναι πολύ εύκολα στη χρήση τους και συνήθως περιλαμβάνουν και μια οθόνη.
- Τα **Safety PLC** είναι ένας ειδικός τύπος μικροελεγκτή ασφαλείας. Λειτουργεί ακριβώς όπως και ένα κανονικό PLC, αλλά περιλαμβάνει ένα ειδικό σύστημα ασφαλείας, όπου είναι εξαιρετικά ευέλικτο. Μπορεί πολύ εύκολα να τροποποιηθεί, κάνοντας αλλαγές στο προγραμματιστικό περιβάλλον του συστήματος και δεν απαιτείται κάποια τροποποίηση στη καλωδίωση ή για ένα επιπλέον ρελέ ασφαλείας. Ωστόσο, υπάρχουν και ορισμένα μειονεκτήματα, όπως το αρχικό κόστος που δεν το χρήζει ιδανικό για μικρότερες, απλούστερες εφαρμογές. Επίσης, επειδή είναι ένα σχετικά νέο προϊόν, με καινούρια τεχνολογία, οι μηχανικοί δεν είναι ακόμα εξοικειωμένοι ή δεν εμπιστεύονται πλήρως την αξιοπιστία και την ακεραιότητα του συστήματος ασφαλείας.

3.5 Εναλλακτικές λύσεις έναντι του PLC

Τα PLC είναι σχεδιασμένα ώστε να λειτουργούν άριστα σε βιομηχανικά συστήματα ελέγχου και σε άλλα συστήματα όπου απαιτείται υψηλή αξιοπιστία. Παρ' όλα αυτά λόγω του κόστους τους, είναι ασύμφορο να χρησιμοποιούνται σε κάθε εφαρμογή ελέγχου και γι' αυτό τον λόγο έχουν κυκλοφορήσει στην αγορά αναπτυξιακές πλακέτες ή μικροελεγκτές, οι οποίοι χάρις το κόστους τους είναι πιο προσιτοί σε μικρότερης κλίμακας πρότζεκτ.

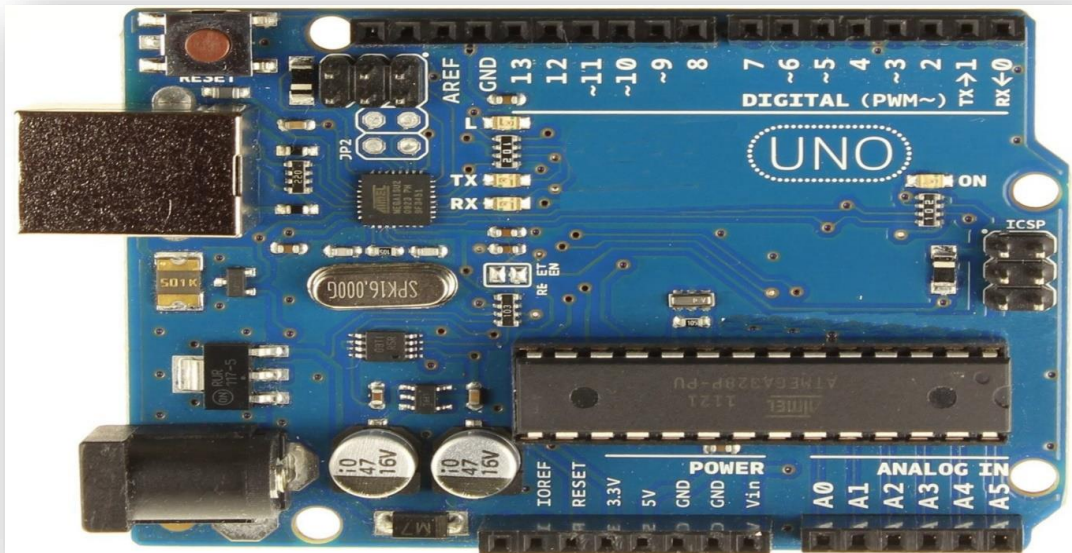
Τα πιο διαδεδομένα συστήματα είναι τα εξής:

- Arduino
- Raspberry Pi
- ESP32

3.5.1 Arduino

Το Arduino είναι ένας μικροελεγκτής μονής πλακέτας, δηλαδή μια απλή μητρική πλακέτα ανοικτού κώδικα με ενσωματωμένο μικροελεγκτή και I/O, η οποία μπορεί να προγραμματιστεί με το γλώσσα Wiring (πρόκειται για τη γλώσσα προγραμματισμού C++ και ένα σύνολο από βιβλιοθήκες, υλοποιημένες επίσης στην C++). Το Arduino μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την ανάπτυξη ανεξάρτητων διαδραστικών αντικειμένων αλλά και να συνδεθεί με υπολογιστή μέσω προγραμμάτων σε Processing, Max/MSP, Pure Data, Supercollider.

Η πρώτη πλακέτα Arduino παρουσιάστηκε το 2005, στο Ινστιτούτο Σχεδιασμού και Αλληλεπίδρασης της Ιβρέας, από τους Massimo Banzi και David Cueartielles, ως ένα εύκολο εργαλείο για γρήγορη δημιουργία πρωτοτύπων, απευθυνόμενο σε μαθητές χωρίς υπόβαθρο ηλεκτρονικών και προγραμματισμού.



Εικόνα 3.11: Το Arduino UNO αποτελεί τη βασική πλακέτα εκμάθησης

Αργότερα, έχοντας γίνει γνωστό σε μια ευρύτερη κοινότητα, η πλακέτα του Arduino άρχισε να αλλάζει και να προσαρμόζεται στις καινούριες τεχνολογικές ανάγκες που προέκυψαν (π.χ. εφαρμογές IoT, τρισδιάστατη εκτύπωση και ενσωματωμένα περιβάλλοντα).

Ένας μικροελεγκτής Arduino αποτελείται από αρκετά μέρη. Τα κυριότερα εξ' αυτών είναι:

- Μικροεπεξεργαστής (με ταχύτητα ρολογιού 16MHz)
- Ψηφιακές είσοδοι/έξοδοι (0 - 13)
- Αναλογικές είσοδοι (A0 – A5)
- Εξωτερική τροφοφοσία
- Θύρα USB
- Τάσεις τροφοδοσίας 3.3V, 5V, GND
- Reset button

Οι εφαρμογές που υλοποιούνται με τη χρήση του Arduino είναι πολλές, γεγονός που οφείλεται σε συγκεκριμένα χαρακτηριστικά της πλατφόρμας.

- ✓ **Οικονομική.** Έχει αρκετά χαμηλό κόστος σε σχέση με άλλες πλατφόρμες και μπορεί κάποιος να την προμηθευτεί με πλήθος εξαρτημάτων.
- ✓ **Είναι ανεξαρτήτου πλατφόρμας.** Το περιβάλλον προγραμματισμού του Arduino είναι συμβατό με τα λειτουργικά συστήματα Windows, MacOS και Linux.
- ✓ **Φιλικό ως προς τον χρήστη περιβάλλον προγραμματισμού.** Ίσως από τα πιο σημαντικά πλεονεκτήματα του Arduino είναι το περιβάλλον εργασίας του και ενδείκνυται για νέους χρήστες, δίχως να έχουν κάποια προηγούμενη εμπειρία στο συγκεκριμένο πεδίο.
- ✓ **Οι εκδόσεις του Arduino.** Κάθε έκδοση καλύπτει διαφορετικές ανάγκες και έχει διαφορετικές δυνατότητες από τη προηγούμενη. Επίσης υπάρχουν και οι πλακέτες επέκτασης (shield's) που έρχονται να ενισχύσουν και να δώσουν νέες δυνατότητες στις πλατφόρμες του Arduino. Όπως γίνεται κατανοητό, πάντα θα υπάρχουν διάφορες εκδόσεις που θα καλύπτουν τη τρέχουσα τεχνολογία.
- ✓ **Πλατφόρμα ανοικτού κώδικα.** Υπάρχουν διάφορα forum, μέσα από τα οποία ο καθένας μπορεί να βρει τον πηγαίο κώδικα, να τον μελετήσει και να τον τροποποιήσει σύμφωνα με τις ανάγκες του.

3.5.2 Raspberry Pi

Το Raspberry Pi είναι ένας μικροσκοπικός υπολογιστής στο μέγεθος περίπου μιας πιστωτικής κάρτας. Κάνει χρήση του λεγόμενου System On a Chip (SoC), που ενσωματώνει CPU και GPU σε ένα τσιπάκι, μαζί με τη RAM τις θύρες USB και όλα τα υπόλοιπα εξαρτήματα να βρίσκονται κολλημένα πάνω στο PCB (Printed Circuit Board).

Παρά τον ελάχιστο όγκο του, το Raspberry Pi στη μεγαλύτερη του έκδοση (Pi 4), διαθέτει:

- Τετραπύρρηνο επεξεργαστή 1.5GHz
- 4GB RAM
- 4 θύρες USB (3.0 και 2.0)
- Θύρα micro-HDMI
- Θύρα Gigabit Ethernet

- Ασύρματο LAN
- Bluetooth 5.0
- Τροφοδοσία με USB-C
- 40 pins γενικής χρήσης για σύνδεση με άλλα ηλεκτρονικά και περιφερειακά.



Εικόνα 3.12: Το μοντέλο Raspberry Pi 4

Το 2006, μια μικρή ομάδα από το εργαστήριο υπολογιστών του Πανεπιστημίου Cambridge, συνειδητοποίησαν ότι το ενδιαφέρον για την επιστήμη των υπολογιστών μειωνόταν. Σκέφτηκαν ότι η εύκολη, χαμηλού κόστους πρόσβαση σε έναν υπολογιστή θα μπορούσε να είναι η λύση στο πρόβλημα. Η ομάδα αυτή, περιελάμβανε μεταξύ άλλων τους Eben Upton, Rob Mullins, Jack Lang και Alan Mycroft και στόχευαν να προωθήσουν τη μελέτη της βασικής επιστήμης των υπολογιστών στα σχολεία. Το 2009, με τη συνεργασία των Pete Lomas και David Braben δημιουργήθηκε το φιλανθρωπικό ίδρυμα Raspberry Pi Foundation για την υλοποίηση της παραπάνω ιδέας και τρία χρόνια αργότερα κυκλοφόρησε το πρώτο Raspberry Pi, με τα Model A, Model A+ και Model B.

Η πιο απλή χρήση του Raspberry Pi, είναι και ο λόγος για τον οποίο κατασκευάστηκε, δηλαδή ως ένας προσωπικός υπολογιστής. Επίσης, μπορούμε να το χρησιμοποιήσουμε ως ένα σύστημα αυτοματισμού (smart home) αλλά και στη ρομποτική.

Τα οφέλη της χρήσης του είναι τα παρακάτω:

- ✓ **Μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως φορητός υπολογιστής.** Συνδέοντας το με μια οθόνη και προσθέτοντας του ένα πληκτρολόγιο και ένα ποντίκι, έχουμε φτιάξει έναν υπολογιστή με πολύ μικρό κόστος.
- ✓ **Υποστηρίζει όλες τις γλώσσες προγραμματισμού.** Εν αντιθέση με το Arduino που υποστηρίζει μόνο C και C++, με το Raspberry Pi και χάρις το λογισμικό Linux, υπάρχει η δυνατότητα η κωδικοποίηση να γίνεται σε οποιαδήποτε γλώσσα προγραμματισμού. Με αυτή τη δυνατότητα υλοποιήθηκε ο κύριος στόχος του ιδρύματος που ήταν να παρέχουν φθηνούς υπολογιστές σε άτομα, ώστε να μπορέσουν να μάθουν εύκολα προγραμματισμό.

- ✓ **Μεγάλη περιφερειακή υποστήριξη.** Το τελευταίο μοντέλο Pi 4 έρχεται με 40 pins γενικού σκοπού, το οποίο το καθιστά εξαιρετικά χρήσιμο σε ενσωματωμένα (embedded) πρότζεκτ αλλά και στον συνδυασμό πολλαπλών ψηφιακών αισθητήριων, LEDs κλπ.

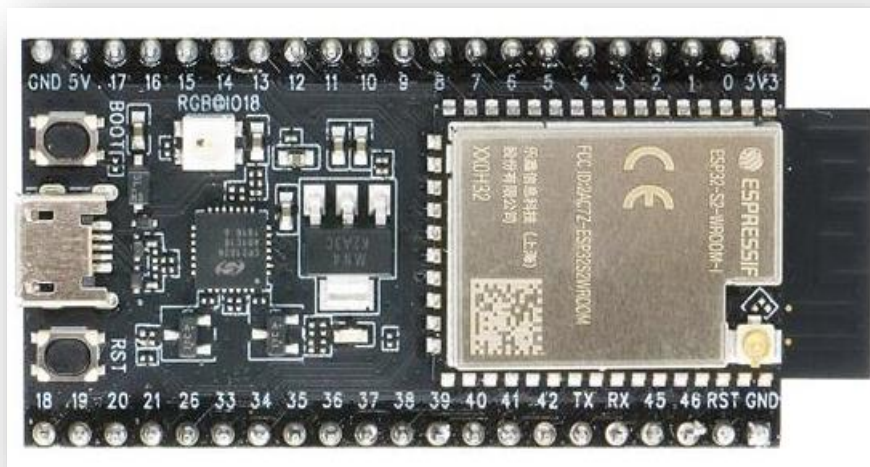
3.5.3 ESP32

Το ESP32 είναι το όνομα από έναν μικροελεγκτή που έχει σχεδιαστεί το 2016, από την Espressif Systems, όπως προδίδει το όνομα του. Η Espressif είναι μια Κινέζικη εταιρεία που έχει τη βάση της στην Σανγκάη. Το ESP32 προωθείται ως μια αναβαθμισμένη λύση έναντι του Arduino board και αυτό διότι συμπεριλαμβάνει Wi-Fi, Bluetooth και BLE (Bluetooth Low Energy).

Όσον αφορά τον προγραμματισμό του ESP32, αυτός πραγματοποιείται κυρίως σε C. Έχουν υπάρξει και ορισμένες επεκτάσεις όπου μπορεί κάποιος να γράψει και σε γλώσσες υψηλότερου επιπέδου, όπως LUA.

Τα κυριότερα χαρακτηριστικά του είναι τα παρακάτω:

- Διπύρηνος επεξεργαστής (με ταχύτητα ρολογιού 160MHz)
- 320 KiB RAM
- Wi-Fi
- Bluetooth και BLE
- Τροφοδοσία 3.3 VDC
- 34 pins γενικού σκοπού
- Θύρα Micro USB



Εικόνα 3.13: Ο μικροελεγκτής ESP32

Τα πλεονεκτήματα που έχει είναι:

- ✓ **Το κόστος.** Στην αγορά μπορεί να το προμηθευτεί κάποιος με λιγότερα από 15€.
- ✓ **Η συνδεσιμότητα του.** Λόγω της ύπαρξης Wi-Fi και Bluetooth, είναι ικανό να λειτουργήσει ως γέφυρα μεταξύ μικροελεγκτών και του Διαδικτύου.
- ✓ **Ικανοποιητική ταχύτητα επεξεργασίας.** Σε σχέση με το Arduino που έχει μόλις 16MHz, το ESP32 προσφέρει τη δεκαπλάσια ταχύτητα που είναι ικανή να υποστηρίξει περισσότερες εφαρμογές.

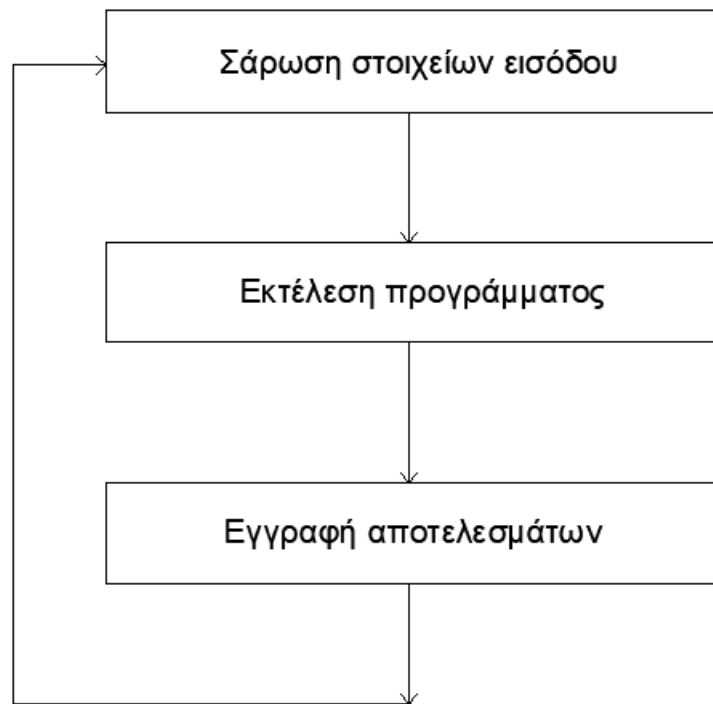
- ✓ **Υποστηρίζει το πλαίσιο (framework) του Arduino.** Ένα πολύ μεγάλο πλεονέκτημα είναι ότι αν κάποιος γνωρίζει πως να προγραμματίζει στο Arduino, τότε ήδη ξέρει πως να ξεκινήσει και με το ESP32. Όλες οι βιβλιοθήκες που υπάρχουν στο Arduino, λειτουργούν και εδώ.

Κεφάλαιο 4ο: Αρχή λειτουργίας και προγραμματισμός του PLC

4.1 Κύκλος Λειτουργίας

Η λειτουργία ενός συστήματος PLC γίνεται πολύ εύκολα κατανοητή. Στο Σχήμα 4.1 διακρίνεται η διαδικασία ολοκλήρωσης του προγράμματος, η οποία χωρίζεται σε τρία βασικά στάδια:

1. τη σάρωση των στοιχείων εισόδου
2. την εκτέλεση του προγράμματος από τη CPU
3. την εγγραφή των αποτελεσμάτων



Σχήμα 4.1: Ο κύκλος λειτουργίας ενός PLC

Σάρωση στοιχείων εισόδου %I

Σε αυτό το στάδιο, το PLC διαβάζει την κατάσταση on/off των εξωτερικών σημάτων εισόδου. Αφότου έχει πραγματοποιηθεί η σάρωση της εισόδου, τα στοιχεία αποθηκεύονται στη μνήμη εισόδου. Αυτή η είσοδος περιλαμβάνει διακόπτες, μπουτόνς, αισθητήρες, κλπ.

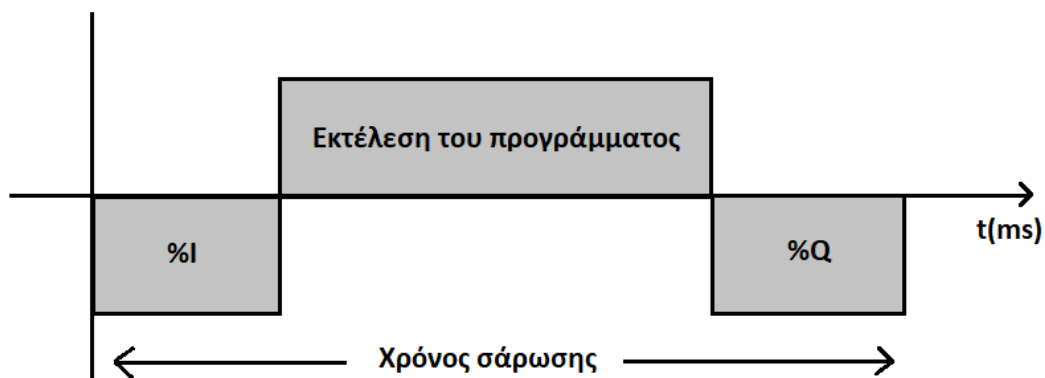
Εκτέλεση προγράμματος από τη CPU

Ο επεξεργαστής εκτελεί τις εντολές προγραμματισμού αναλόγως την είσοδο που έχει δωθεί. Μετά την εκτέλεση, το αποτέλεσμα (on/off) θα αποθηκευτεί στη μνήμη της συσκευής.

Εγγραφή των αποτελεσμάτων %Q

Όταν το πρόγραμμα εκτελέσει και την τελευταία εντολή, θα στείλει τη κατάσταση ενεργοποίησης ή απενεργοποίησης στη μνήμη της συσκευής εξόδου. Οι εξοδοί περιλαμβάνουν στοιχεία όπως, ηλεκτρομαγνητικές βαλβίδες, κινητήρες, ενεργοποιητές και αντλίες.

Μετά το τρίτο βήμα το PLC πηγαίνει ξανά στο πρώτο και με κυκλικό τρόπο επαναλαμβάνει διαδοχικά όλα τα βήματα. Ο χρόνος που απαιτείται για να εκτελεστούν τα τρία βήματα ονομάζεται χρόνος σάρωσης (Σχήμα 4.2) και σε καμία περίπτωση δεν μπορεί να είναι μεγαλύτερος από 150 msec. Ο χρόνος σάρωσης παρακολουθείται από ειδικό κύκλωμα του PLC και αν αυτός ξεπεράσει την τιμή των 150 msec, τότε το PLC αυτόματα βγαίνει εκτός λειτουργίας (κατάσταση STOP) για λόγους ασφαλείας. Σε μία τέτοια περίπτωση ένα ενδεικτικό LED στην πρόσοψη του PLC αναβοσβήνει για να δηλώσει τον λόγο για τον οποίο σταμάτησε.



Σχήμα 4.2: Χρόνος σάρωσης σε συνάρτηση με τα 3 στάδια λειτουργίας

4.2 Γλώσσες προγραμματισμού του PLC

Ο όρος «γλώσσα προγραμματισμού» αναφέρεται στη μέθοδο με την οποία, ο χρήστης επικοινωνεί με το PLC, ώστε αυτό να μπορέσει να λειτουργήσει και να εκτελέσει τις επικείμενες εργασίες του. Αυτά τα προγράμματα είναι συνήθως γραμμένα σε μια συσκευή προγραμματισμού ή σε ένα λογισμικό. Στη συνέχεια, το πρόγραμμα «μεταμορφώνεται» στη μνήμη του προγραμματιζόμενου λογικού ελεγκτή και ως εκ τούτου, η CPU διαβάζει τις πληροφορίες που παρέχονται από τις εισόδους και δίνει εντολή στο PLC να εκτελέσει τις επιθυμητές εξόδους.

Η επιλογή της γλώσσας προγραμματισμού εξαρτάται από την εμπειρία και τη γνώση του χρήστη σε ψηφιακά ηλεκτρονικά, υπολογιστές, συστήματα αυτοματισμού που λειτουργούν με κλασικό τρόπο και φυσικά εξαρτάται από τη φύση του προβλήματος.

Το μεγάλο πρόβλημα με τις γλώσσες προγραμματισμού (Γ.Π.) είναι ότι η κάθε κατασκευαστική εταιρία παρά το γεγονός ότι χρησιμοποιεί μία ή δύο ή δύο ή περισσότερες από τις γνωστές Γ.Π., στη πραγματικότητα υπάρχουν από μικρές μέχρι τεράστιες διαφορές από εταιρία σε εταιρία, με αποτέλεσμα ο χρήστης να αντιμετωπίζει σοβαρό πρόβλημα όταν θέλει να κάνει χρήση ενός PLC διαφορετικής εταιρίας.

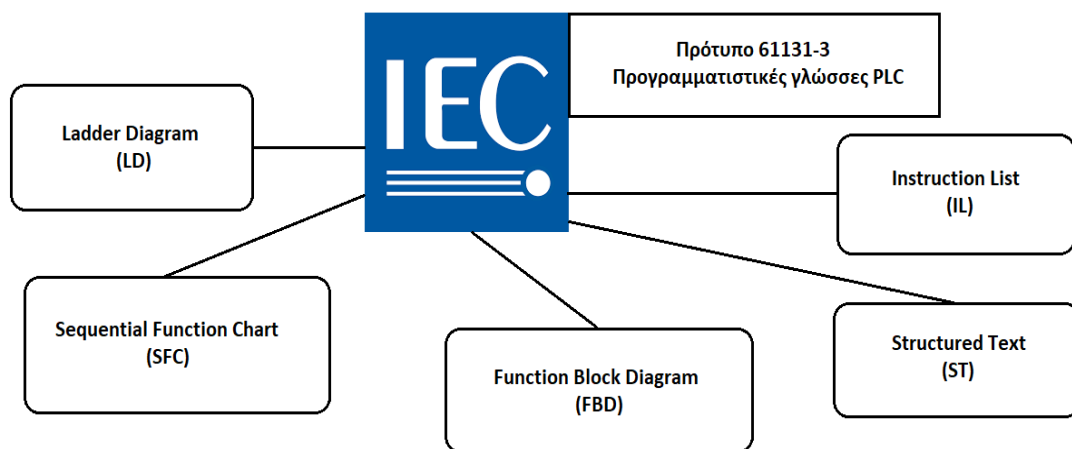
Την λύση σε αυτό το μεγάλο και σοβαρό πρόβλημα ήρθε να αντιμετωπίσει στις αρχές της δεκαετίας του 1990 το πρότυπο της Διεθνούς Ηλεκτρονεχνικής Επιτροπής (IEC) 61131-1 που καθορίζει τόσο τον

αριθμό και την ονομασία των γλωσσών προγραμματισμού (Σχήμα 4.3), όσο και τα εσωτερικά τους στοιχεία (σύμβολα, εντολές, κτλ.).

Οι Γ.Π. μπορούν να ταξινομηθούν σε γραφικές και μη γραφικές ανάλογα με το είδος των στοιχείων τους και είναι οι εξής:

- Γραφικές γλώσσες
 - Ladder Diagram (LD)
 - Function Block Diagram (FBD)
 - Sequential Function Chart (SFC)
- Μη γραφικές γλώσσες
 - Instruction List (IL)
 - Structured Text (ST)

Οι πρώτες χρησιμοποιούν γραφικά στοιχεία που μοιάζουν αρκετά στα σύμβολα που χρησιμοποιούνται στον κλασικό αυτοματισμό και επίσης σύμβολα λογικών πυλών (AND, OR, NOT κτλ.). Είναι πιο προσιτές σε ανθρώπους που έχουν εμπειρία στον κλασικό αυτοματισμό, ενώ οι δεύτερες χρησιμοποιούν εντολές που η κάθε μία αντιστοιχεί σε μία γλώσσα μηχανής. Εξαιτίας λοιπόν αυτής της ομοιότητας, οι μη γραμμικές μορφές είναι ιδιαίτερα κατάλληλες για χρήστες που είναι εξοικειωμένοι με τα ψηφιακά ηλεκτρονικά και τους υπολογιστές.

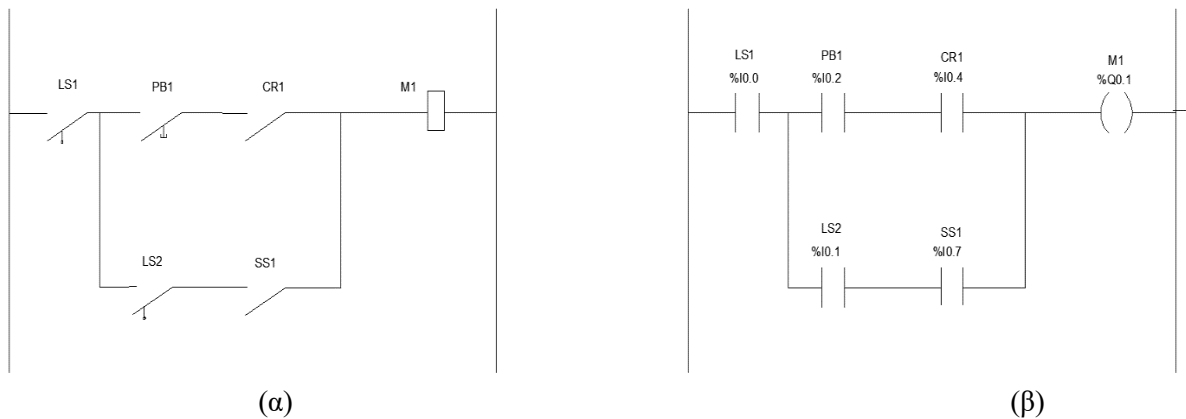


Σχήμα 4.3: Προγραμματιστικές γλώσσες PLC

4.2.1 Ladder Diagram (LD) ή Σχέδιο Επαφών

Είναι η πιο απλή και κατανοητή γλώσσα για κάποιον που ασχολείται πρώτη φορά με τα PLC και ιδιαίτερα για κάποιον που έχει μικρή ή μεγάλη εμπειρία σε ηλεκτρολογικά κυκλώματα με τον κλασικό αυτοματισμό (ηλεκτρονόμους).

Με τη χρήση γραφικών εργαλείων (επαφών, πηνίων, καλωδιώσεων, χρονικών κ.λ.π.), δομείται ένα λογικό πρόγραμμα, ικανό να ακολουθήσει τη λογική συνδεσμολογίας ενός κλασικού αυτοματισμού. Οι δυνατότητες βέβαια που παρέχει, είναι πολύ περισσότερες, μιας και εκτελούνται λειτουργίες σύγκρισης, μεταφοράς και μαθηματικής επεξεργασίας δεδομένων.



Σχήμα 4.4: Σύγκριση μεταξύ ηλεκτρολογικού σχεδίου (α) και διαγράμματος Ladder (β)

Όπως φαίνεται στο Σχήμα 4.4, η κύρια διαφορά μεταξύ της λογικής συρμάτωσης και της προγραμματιζόμενης λογικής είναι ότι όλοι οι εισόδοι εισάγονται με τη μορφή συμβολικών επαφών (-| |-) και όλοι οι εξόδοι εισάγονται με τη μορφή συμβολικών πηνίων (-(-)-). Οι διευθύνσεις πάνω από κάθε επαφή (π.χ. %I0.0, &Q0.1) προσδιορίζουν τους ακροδέκτες εισόδου και εξόδου του PLC, πάνω στους οποίους συνδέουμε τα στοιχεία ελέγχου (π.χ. αισθητήρια, ηλεκτροβαλβίδες).

Ένα πρόγραμμα σε Ladder αποτελείται από rungs, δηλαδή ένα σύνολο από γραφικές εντολές, οι οποίες είναι σχεδιασμένες – τοποθετημένες μεταξύ δύο κάθετων γραμμών, που αντιπροσωπεύουν η μεν αριστερή τη γραμμή τροφοδοσίας, η δε δεξιά τη γραμμή επιστροφής. Τα rungs εκτελούνται το ένα μετά το άλλο από τη CPU του PLC, προκειμένου να γίνει η επεξεργασία των δεδομένων.

Οι διάφορες γραφικές εντολές που μπορούν να υπάρχουν σε ένα rung παριστάνουν:

- Τις εισόδους και εξόδους του PLC (διακόπτες, μπουτόν, αισθητήρια, ρελέ, κλπ.)
- Τις λειτουργίες του PLC (χρονικά, μετρητές, κλπ.)
- Τις μαθηματικές και λογικές πράξεις (πρόσθεση, αφαίρεση, λογικό AND, λογικό OR, κλπ.)
- Πράξεις σύγκρισης και αριθμητικές λειτουργίες ($A < B$, $A = B$, κλπ.)
- Εσωτερικές μεταβλητές του PLC (bits, words, κλπ.)

Αυτά τα γραφικά εργαλεία συνδέονται με οριζόντιες και κάθετες γραμμές για να οδηγηθούν τελικά σε μία ή περισσότερες εξόδους ή στοιχεία που εκτελούν διαφορετικές λειτουργίες (π.χ. να αθροίσουμε το περιεχόμενο δύο λέξεων και το αποτέλεσμα να το στείλουμε σε μία άλλη λέξη). Οι γραφικές εντολές που υπάρχουν σε ένα rung είναι ορατές στην οθόνη μιας συσκευής προγραμματισμού ή στην οθόνη ενός PC και διαβάζονται πάντοτε από αριστερά προς τα δεξιά.

Τα κύρια πλεονεκτήματα της είναι ο εύκολος εντοπισμός των σφαλμάτων, διότι μέσω της προσομοίωσης γίνεται γρήγορα αντιληπτό σε ποιο σημείο υπάρχει το «πρόβλημα». Επίσης, λόγω της άμεσης αναπαράστασης των κυκλωμάτων, δημιουργεί ένα εξαιρετικά διαισθητικό περιβάλλον κωδικοποίησης για κάποιον που έχει εργαστεί σε ένα βιομηχανικό κύκλωμα ελέγχου ή ακόμα κι αν έχει ελάχιστη εμπειρία.

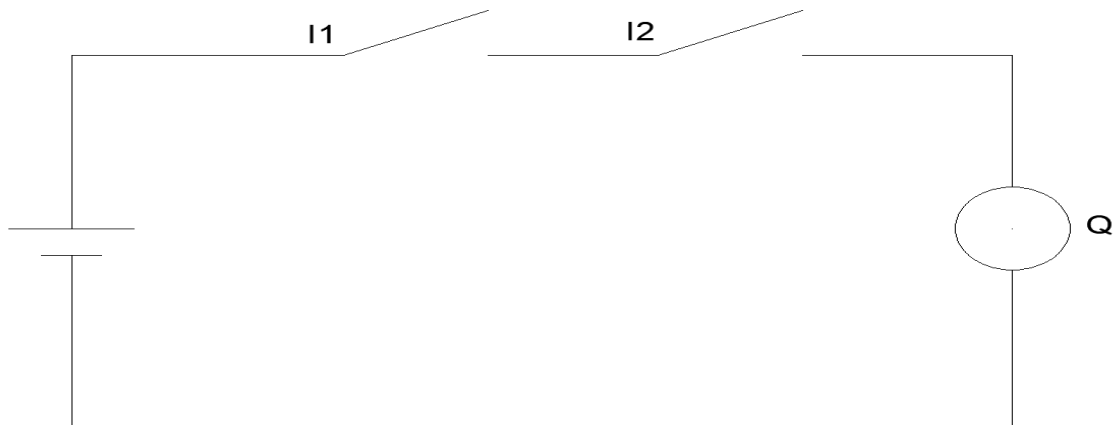
Ωστόσο, κανένα σύστημα δεν είναι τέλει και παρόλο που το Ladder διάγραμμα έχει αρκετά οφέλη, έχει και επίσης και κάποια μειονεκτήματα. Το πιο βασικό είναι ότι σε πολύ σύνθετα προγράμματα που

απαιτούνται πολλά rungs, θα ήταν προτιμότερο το βασικό πρόγραμμα να χωρίζονταν σε επιμέρους υποπρογράμματα, ώστε η διαχείριση του να είναι λιγότερο πολύπλοκη.

4.2.2 Function Block Diagram (FBD) ή Λογικό Διάγραμμα

Είναι η δεύτερη πιο δημοφιλής γλώσσα του προγραμματιζόμενου λογικού ελεγκτή και η συνάρτηση των I / O του προγράμματος αναπαρίσταται με μπλοκ διαγράμματα, βασισμένες στην άλγεβρα Μπουλ (Boole). Οι μεταβλητές της άλγεβρας Boole μπορούν να πάρουν μόνο δύο τιμές, το λογικό '1' και το λογικό '0'. Πιο συγκεκριμένα, μπορούμε να πούμε ότι η κατάσταση των μεταβλητών μπορεί να είναι αληθής ή ψευδής και μπορούν να συνδυαστούν με τους βασικούς τελεστές (ή λογικές πράξεις) AND και OR ή η κατάσταση τους μπορεί να αντιστραφεί με τον λογικό τελεστή NOT. Ο συνδυασμός της κατάστασης των μεταβλητών και των τελεστών, δίνει το λογικό αποτέλεσμα, το οποίο με τη σειρά θα συμπίπτει σε μία από τις δύο παραπάνω καταστάσεις.

Στη λογική πράξη AND (ΚΑΙ) υπάρχουν τουλάχιστον δύο μεταβλητές I1,I2 και το αποτέλεσμα της πράξης Q έχει λογική τιμή '1', αν και οι δύο μεταβλητές έχουν λογικό '1' (Πίνακας 4.1).



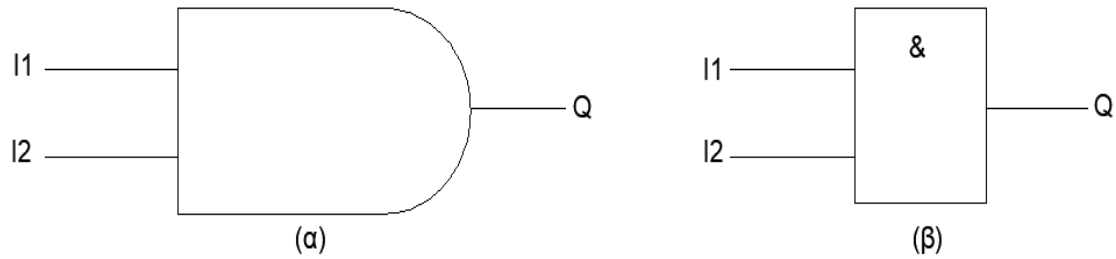
Σχήμα 4.5: Ισοδύναμο κύκλωμα της λογικής πράξης AND

Από το Σχήμα 4.5 βγαίνει το συμπέρασμα ότι για να ανάψει η λυχνία Q, θα πρέπει ο διακόπτης I1 και ο διακόπτης I2, να είναι κλειστοί, δηλαδή να βρίσκονται σε λογική κατάσταση '1'.

Πίνακας 4.1: Πίνακας Αληθείας της Πύλης AND

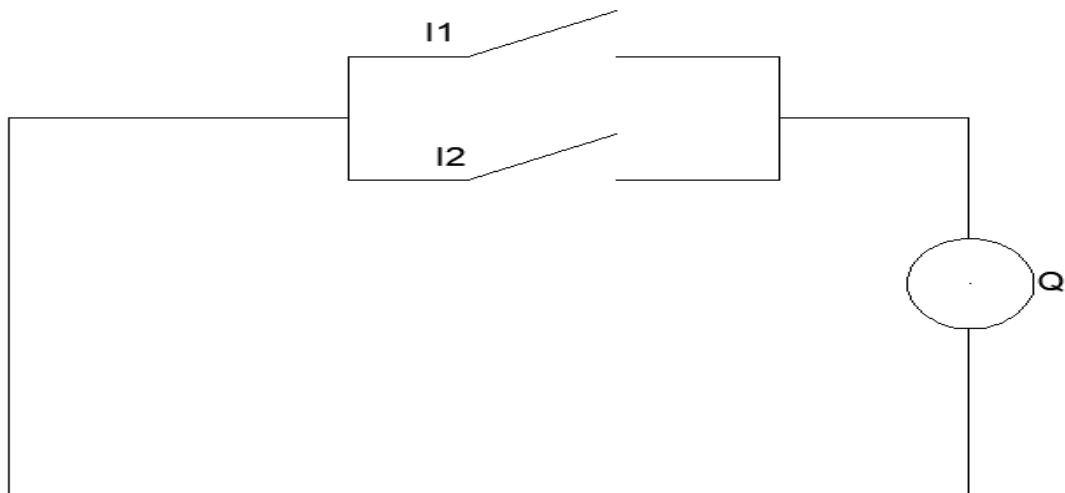
ΕΙΣΟΔΟΙ		ΕΞΟΔΟΣ
I1	I2	$Q = I1 * I2$
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

Για την πύλη AND χρησιμοποιούνται δύο ειδών σύμβολα, κατά DIN και κατά ANSI (Σχήμα 4.6). Τα πρώτα χρησιμοποιούνται κυρίως για τη γραφική γλώσσα προγραμματισμού των PLC, ενώ τα δεύτερα, στον σχεδιασμό ηλεκτρονικών κυκλωμάτων.



Σχήμα 4.6: Σύμβολο κατά ANSI (α) και κατά DIN (β) της πύλης AND

Στη λογική OR (H) υπάρχουν τουλάχιστον δύο μεταβλητές I1, I2 και το αποτέλεσμα της πράξης Q έχει λογική τιμή '1', αν τουλάχιστον μία από τις μεταβλητές έχει λογικό '1' (Πίνακας 4.2).



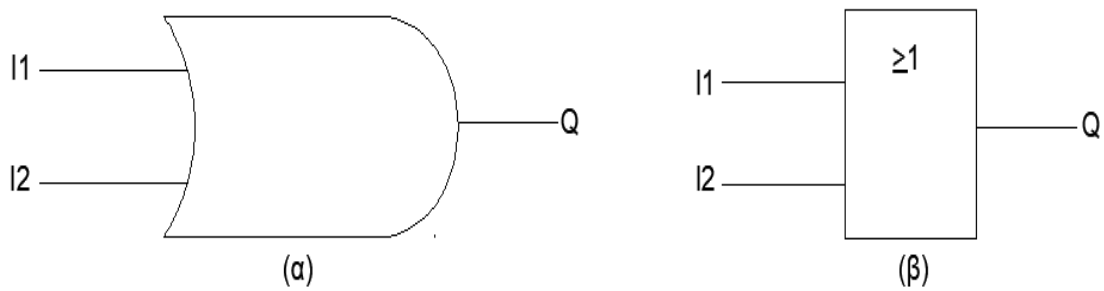
Σχήμα 4.7: Ισοδύναμο κύκλωμα της λογικής πράξης OR

Στο παραπάνω ηλεκτρολογικό κύκλωμα, για να ανάψει η λυχνία Q, θα πρέπει ή ο διακόπτης I1 να κλείσει ή ο διακόπτης I2 να κλείσει ή και οι δύο διακόπτες να είναι κλειστοί, δηλαδή να βρίσκονται σε λογική κατάσταση '1' (Σχήμα 4.7).

Πίνακας 4.2: Πίνακας Αληθείας της Πύλης OR

ΕΙΣΟΔΟΙ		ΕΞΟΔΟΣ
I1	I2	$Q = I1 + I2$
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

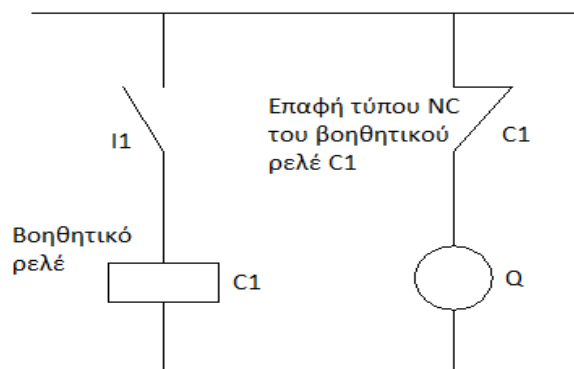
Τα σύμβολα που χρησιμοποιούνται για τη πύλη OR, παρουσιάζονται στο σχήμα 4.8.



Σχήμα 4.8: Σύμβολο κατά ANSI (α) και κατά DIN (β) της πύλης OR

Τέλος, στη λογική πράξη NOT (OXI), σε αντίθεση με τις πύλες AND και OR, υπάρχει μόνο μία μεταβλητή I και το αποτέλεσμα της λογικής πράξης Q έχει λογική τιμή '1', αν η μεταβλητή έχει λογικό '0', ενώ η Q έχει τιμή '0', αν η μεταβλητή έχει τιμή '1' (Πίνακας 4.3).

Για την καλύτερη κατανόηση της λογικής πράξης NOT, μπορούμε να δούμε το αντίστοιχο ισοδύναμο ηλεκτρολογικό κύκλωμα (εικόνα 3.9), όπου γίνεται χρήση επαφής τύπου NO (Normally Open). Για να ανάψει η λυχνία $Q1$, θα πρέπει ο διακόπτης $I1$, να είναι ανοιχτός (λογικό '0'), ενώ η λυχνία δεν ανάβει, όταν ο διακόπτης είναι κλειστός (λογικό '1').

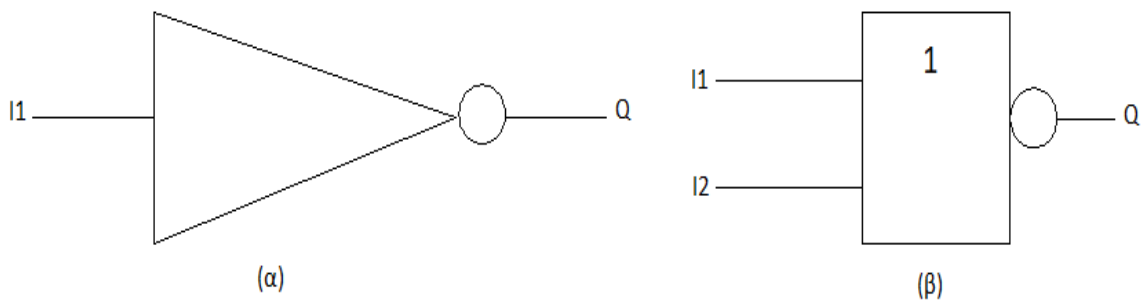


Σχήμα 4.9: Ισοδύναμο κύκλωμα της λογικής πράξης NOT

Πίνακας 4.3: Πίνακας Αληθείας της Πύλης NOT

ΕΙΣΟΔΟΣ	ΕΞΟΔΟΣ
I	$Q = \bar{I}$
0	1
1	0

Όπως και στις προηγούμενες λογικές πράξεις (AND και OR), τα δύο ειδών σύμβολα παρουσιάζονται στο Σχήμα 4.10.



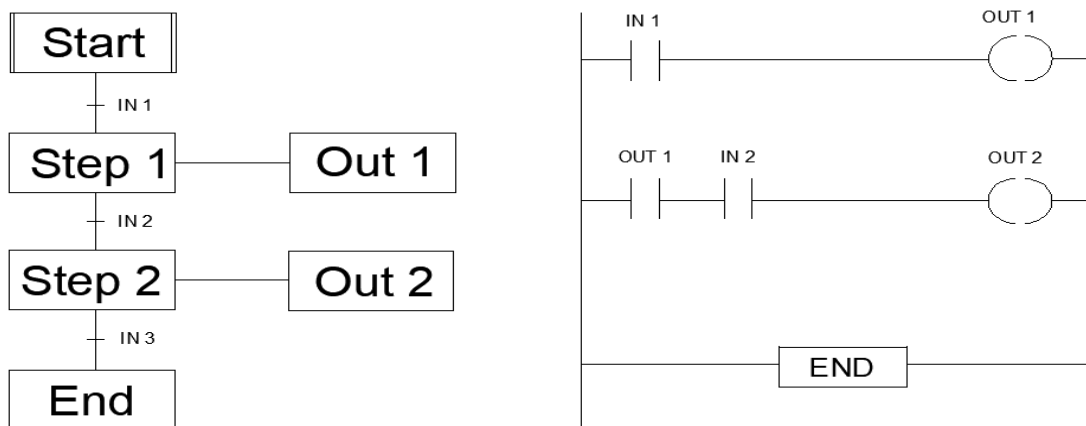
Σχήμα 4.10: Σύμβολο κατά ANSI (α) και κατά DIN (β) της πύλης NOT

Εν αντιθέσει με το Ladder διάγραμμα που σε αρκετά προβλήματα χρειάζονται πολλά rungs για την υλοποίηση του προγράμματος, με τη χρήση του FBD πολλές γραμμές κώδικα μπορούν να συγχωνευτούν σε ένα μόνο block.

Ωστόσο, επειδή τα blocks τα τοποθετούμε σύμφωνα με τον τρόπο που εμείς θα ορίσουμε κάθε φορά, δημιουργείται το πρόβλημα ότι σε σύνθετα προγράμματα που απαιτούνται αρκετά blocks για την επίλυση του, προκαλείται ένα συνονθύλλευμα στην επιφάνεια εργασίας του PLC. Αυτό καθιστά δυσκολότερη την εύρεση σφαλμάτων στο πρόγραμμα, όπως επίσης και την πιθανή τροποποίηση του.

4.2.3 Sequential Function Chart (SFC) ή Διάγραμμα Ροής

Η λιγότερο δημοφιλής γραφική γλώσσα προγραμματισμού είναι η SFC, όπου αναπαριστά μια διαδικασία, δείχνοντας τα βήματα ως blocks που συνδέονται μεταξύ τους ανάλογα με τη σειρά που έχουν δηλωθεί. Είναι ένα κλασικό διάγραμμα ροής, αλλά με τη διαφορά ότι οι εντολές του αναπαρίστανται με «κουτιά» και όχι με τα υπόλοιπα γεωμετρικά σύμβολα (π.χ. έλλειψη ή ρόμβος). Το πλεονέκτημα της είναι ότι ένα μεγάλο πρόγραμμα, μπορεί να το χωρίσει μικρότερα «κομμάτια» και έτσι το καθιστά πιο κατανοητό, όπως επίσης η διαδικασία εκσφαλμάτωσης γίνεται αρκετά ευκολότερη. Παρόλα αυτά, η συγκεκριμένη γλώσσα προγραμματισμού χρησιμοποιείται πολύ σπάνια διότι, η διαδικασία που ακολουθεί είναι διαδοχική, ενώ οι περισσότερες εφαρμογές δεν ακολουθούν την ίδια λογική.



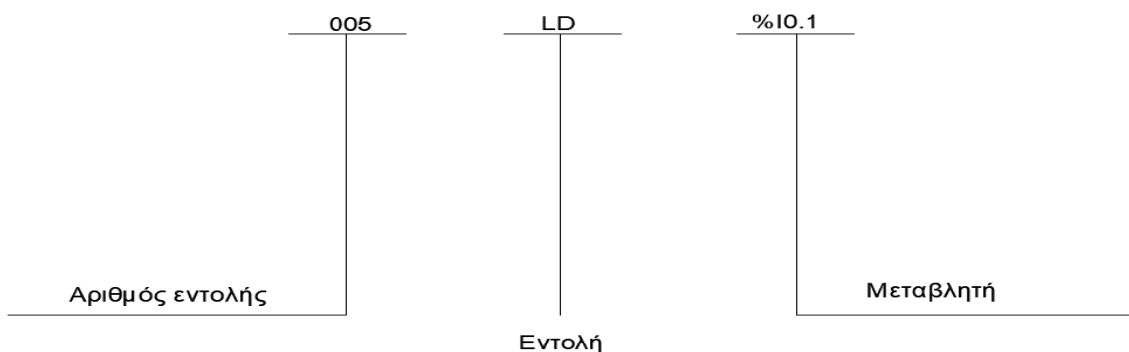
Σχήμα 4.11: Η δομή του SFC και η ισοδύναμη λογική σε ladder

Το αρχικό πλαίσιο, αντιπροσωπεύει την έναρξη της λειτουργίας του προγράμματος. Οι δύο καταστάσεις συνδέονται μια μια κάθετη γραμμή και οι οριζόντιες γραμμές μεταξύ των blocks αντιπροσωπεύουν τις συνθήκες μετάβασης. Για να γίνει πιο κατανοητή η λογική αυτή, δίνεται το αντίστοιχο διάγραμμα σε γλώσσα Ladder (Σχήμα 4.11). Το «Step 1» είναι ισodύναμο με το πρώτο rung και για να ενεργοποιηθεί η έξοδος θα πρέπει η επαφή «IN 1» να κλείσει. Ακολούθως, για να ενεργοποιηθεί η έξοδος «Out 2», θα πρέπει οι επαφές «Out 1» και «IN 2» να κλείσουν.

4.2.4 Instruction List (IL) ή Λίστα Εντολών

Ανήκει στις μη γραφικές γλώσσες και αποτελείται από μία σειρά από εντολές - γραμμές, διαφόρων τύπων, τοποθετημένες η μία κάτω από την άλλη, που καταχωρούνται με συντομογραφία. Η κάθε μία γραμμή του προγράμματος περιέχει τρία στοιχεία, όπως φαίνονται στο Σχήμα 4.12.

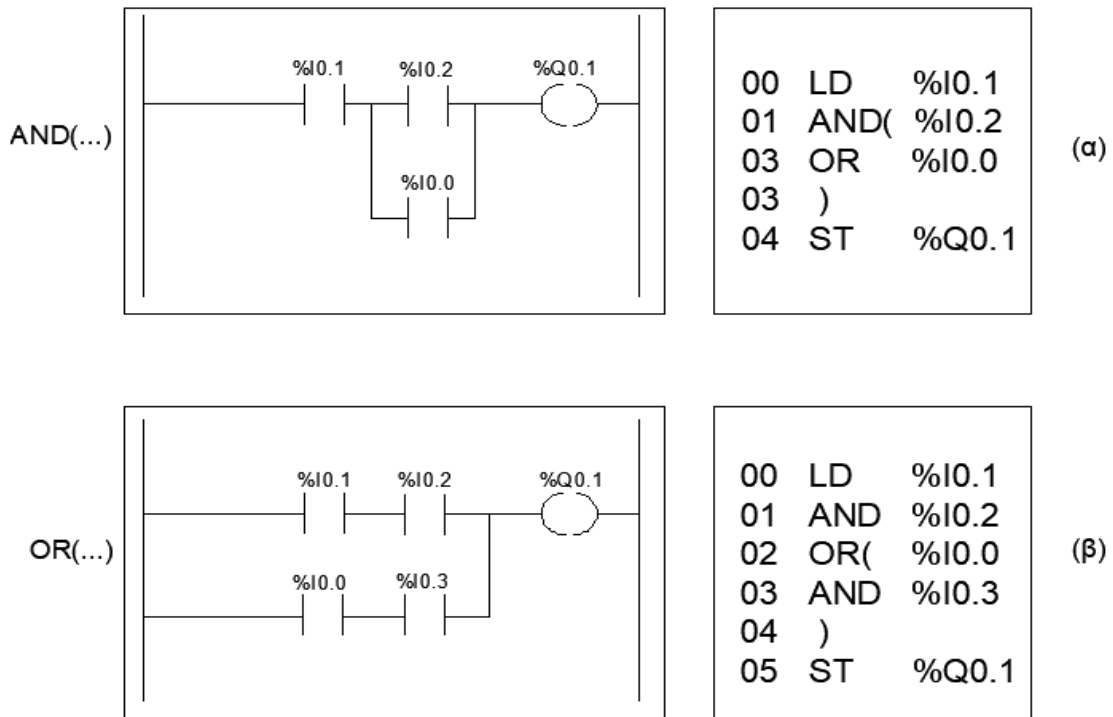
- Τον αριθμό γραμμής ή εντολής, ο οποίος δημιουργείται αυτόματα κάθε φορά που προσθέτουμε μία καινούρια γραμμή.
- Την εντολή, η οποία αποτελείται συνήθως, από τα χαρακτηριστικά γράμματα γνωστών αγγλικών λέξεων (π.χ. LD από το Load).
- Τη μεταβλητή, η οποία μπορεί να έχει τη μορφή bit ή λέξης.



Σχήμα 4.12: Δομή μίας γραμμής

Ένα πρόγραμμα γραμμένο σε List μοιάζει αρκετά με τη γλώσσα Assembly και αποτελείται από λογικές εκφράσεις, που στην ουσία είναι εκφράσεις Boolean. Όλες οι εντολές Boolean, εκτός από τις LOAD, STORE και NOT, μπορούν να πάρουν δύο τιμές «ΑΛΗΘΕΣ» ή «ΨΕΥΔΕΣ» και παράγουν λογικό αποτέλεσμα δύο καταστάσεων, δηλαδή λογικό '1' ή '0' αντίστοιχα.

Μερικές φορές η χρήση των εντολών AND και OR, απαιτεί την τοποθέτηση παρενθέσεων, προκειμένου να αποδωθεί σωστά η λογική του προγράμματος, όταν υπάρχουν παράλληλοι κλάδοι στα διαγράμματα Ladder. Όταν ανοίγουμε μια παρένθεση, τότε αυτή σχετίζεται με μία εντολή AND ή OR. Η κλειστή παρένθεση θεωρείται εντολή και θα πρέπει να υπάρχει μετά από κάθε μία παρένθεση που ανοίγει. Παρακάτω στο Σχήμα 4.13, διακρίνουμε τις δύο περιπτώσεις, με χρήση εντολών AND (α) και OR (β), όπου απαιτείται η χρήση παρενθέσεων.



Σχήμα 4.13: Απόδοση της LD με χρήση της List

Η IL όπως και η Assembly δεν είναι προγραμματιστικές γλώσσες υψηλού επιπέδου (π.χ. C++ ή Python) και αυτό έχει ως αποτέλεσμα να χρησιμοποιούν λιγότερη μνήμη αλλά επίσης και να είναι πολύ γρήγορες. Για το λόγο αυτό, η γλώσσα List χρησιμοποιείται συνήθως σε εφαρμογές όπως βρόχους ελέγχου, οι οποίες απαιτούν πολύ γρήγορες ταχύτητες επεξεργασίας.

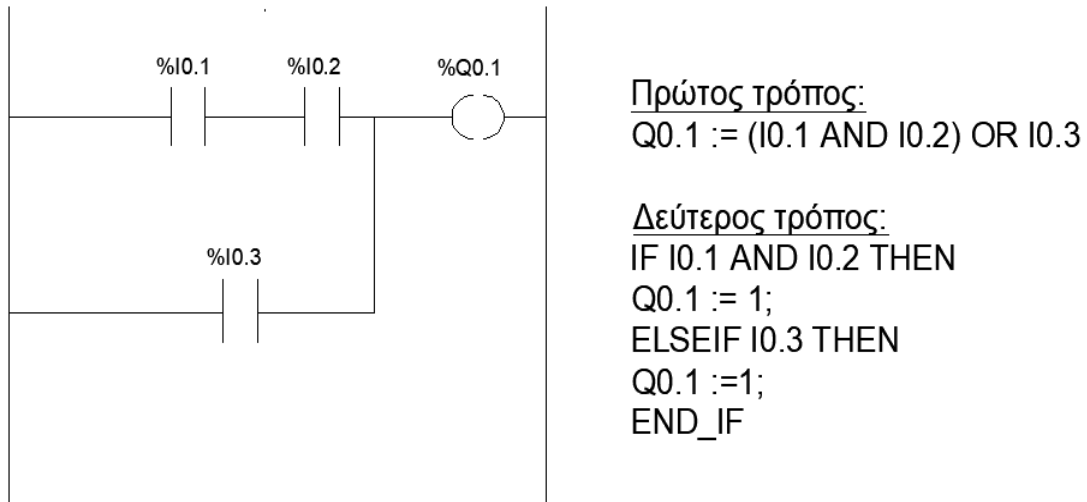
Ωστόσο, μπορεί να είναι επιρρεπή σε σφάλματα χρόνου εκτέλεσης, τα οποία προκαλούν άπειρους βρόχους στο πρόγραμμα.

4.2.5 Structured Text (ST) ή Δομημένο Κείμενο

Τέλος, στη λίστα των γλωσσών προγραμματισμού PLC βρίσκεται η ST, η οποία είναι και αυτή μη γραφική, μοιάζει αρκετά με τη γλώσσα C++ και Pascal αλλά είναι προσαρμοσμένη κατάλληλα για PLC. Επιπλέον, ως προγραμματιστική γλώσσα υψηλού επιπέδου, η σύνταξη της περιλαμβάνει βρόχους, μεταβλητές, συνθήκες και τελεστές. Επίσης, ο δομημένος προγραμματισμός ακολουθεί την προσέγγιση από πάνω προς τα κάτω. Αυτό σημαίνει ότι ο κώδικας που γράφεται με αυτόν τον τρόπο, εκτελεί τη μία λειτουργία μετά την άλλη με διαδοχική σειρά, από πάνω προς τα κάτω (Σχήμα 4.14).

Τα πλεονέκτηματα της προγραμματιστικής γλώσσας δομημένου κειμένου, είναι ότι ένα πρόγραμμα μπορεί να το «διαιρέσει» σε επιμέρους μικρότερα, έτσι ώστε να αντιμετωπιστεί με μεγαλύτερη ευκολία. Ακόμα, έχει τη δυνατότητα να διαχειρίζεται μεγάλο πλήθος μαθηματικών υπολογισμών και καλύπτει ορισμένες εντολές που δεν είναι διαθέσιμες στις υπόλοιπες γλώσσες.

Παρόλο την ευελιξία που προσφέρει η ST, σε σχέση με τη γραφικές γλώσσες προγραμματισμού, η απασφαλμάτωση του κώδικα γίνεται δυσχερής.



Σχήμα 4.14: Απόδοση της Ladder με χρήση της γλώσσας ST

Καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι, η ευχέρεια της επιλογής ανάμεσα από πέντε γλώσσες προγραμματισμού είναι πολλή μεγάλη και η τελική προτίμηση γίνεται ως εξής:

- **Την επωνυμία του PLC.** Ορισμένοι κατασκευαστές δεν υποστηρίζουν και τις πέντε γλώσσες προγραμματισμού, οπότε πριν την αγορά του ελεγκτή, θα πρέπει να πραγματοποιείται έρευνα καταλληλότητας μεταξύ του λογισμικού και της εργασίας.
- **Το υπόβαθρο του προγραμματιστή.** Αν για παράδειγμα, κάποιος έχει χρόνια εμπειρίας στο ηλεκτρολογικό σχέδιο με βάση της λογικής του ρελέ, θα του είναι πολύ ευκολότερη η μετάβαση σε Ladder. Αντίστοιχα, κάποιος που ασχολείται με κώδικα (C++, Python), θα δείξει τη προτίμηση του ως προς την ST.
- **Το περιβάλλον εργασίας.** Συνήθως, στον εργασιακό χώρο υπάρχει μια καθολική γλώσσα που εφαρμόζεται από όλους τους μηχανικούς, ώστε να μην χρησιμοποιεί ο καθένας όποια θέλει και προκληθεί σύγχυση.
- **Ανάλογα την εφαρμογή.** Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, η κάθε γλώσσα προγραμματισμού έχει τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματά της. Επομένως, η επιλογή γίνεται και βάση των απαιτήσεων του εκάστοτε πρότζεκτ.

Κεφάλαιο 5ο: Συστήματα βιομηχανικού ελέγχου

5.1 Εισαγωγή στις HMI (Human Machine Interface)

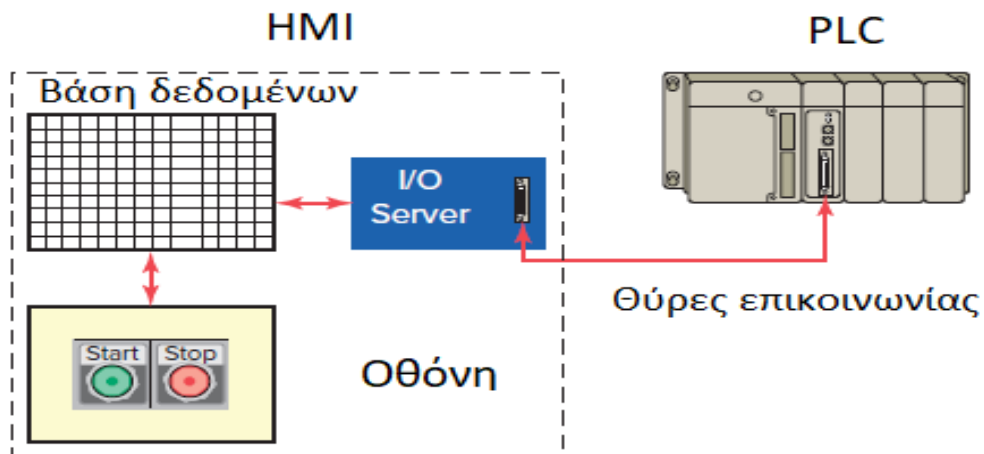
Στο παρελθόν, η τυπική διεπαφή του χρήστη (user interface) με ένα σύστημα ελέγχου, αποτελούνταν από ένα πάνελ με διακόπτες, μπουτόν, μετρητές και ούτω καθεξής. Με την έλευση των ψηφιακών συστημάτων ελέγχου, τα μεγάλα ενσύρματα πάνελ αντικαταστάθηκαν από μια οθόνη υπολογιστή, με γραφικό περιβάλλον και οι εντολές εισάγονταν πλέον μέσω ενός πληκτρολογίου.

Καθώς η χρήση υπολογιστών και τεχνολογίας αυξήθηκε ραγδαία στη σύγχρονη κοινωνία, υπήρχε η ανάγκη για πιο άμεση αλληλεπίδραση ανθρώπου και μηχανής. Αυτό οδήγησε στην ανάπτυξη οθονών αφής, οι οποίες μέσω του περιβάλλοντος εργασίας, επιτρέπουν στον χρήστη την ανταλλαγή πληροφοριών μεταξύ αυτού και του PLC.

Πιο συγκεκριμένα, μέσω της HMI ο χρήστης έχει τη δυνατότητα να διαβάσει δεδομένα, να δώσει οδηγίες καθώς και να έχει μία γραφική αναπαράσταση του συστήματος σε πραγματικό χρόνο. Επίσης, ο σχεδιασμός της εφαρμογής διαδραματίζει πολύ σημαντικό ρόλο στην εύρυθμη λειτουργία της διαδικασίας, διότι ο χειριστής μπορεί να επέμβει αποτελεσματικά σε κάποια δυσλειτουργία του συστήματος.

Οι κύριες διεργασίες στην ανάπτυξη μιας εφαρμογής HMI είναι:

- Η εγκατάσταση της επικοινωνίας με το PLC. Περιλαμβάνει την διαμόρφωση όλου του απαραίτητου λογισμικού και τα μέρη του υλισμικού για μια επιτυχή επικοινωνία.
- Η δημιουργία μιας βάσης δεδομένων. Οι περισσότερες οθόνες HMI παρέχουν τη δυνατότητα της εισαγωγής δεδομένων μέσω του λογισμικού του ελεγκτή.
- Η εισαγωγή γραφικών αντικειμένων στην οθόνη. Μέσω μιας βιβλιοθήκης μπορούν να εισαχθούν διάφορα γραφικά στοιχεία (π.χ. έτοιμες εικόνες ή προσωπικής σχεδίασης).



Εικόνα 5.1: Γενική δομή ενός HMI

Η τεχνολογία HMI χρησιμοποιείται από σχεδόν όλους τους βιομηχανικούς οργανισμούς, καθώς και από ένα ευρύ φάσμα άλλων εταιρειών, για να αλληλεπιδράσουν με τις μηχανές τους και να βελτιστοποιήσουν τις βιομηχανικές τους διαδικασίες. Μερικοί τομείς εξ'αυτών περιλαμβάνουν:

- Την ενέργεια
- Την ανακύκλωση

- Την μεταφορά
- Το πετρέλαιο και φυσικό αέριο
- Το νερό και τα λύματα

Η χρησιμότητά τους είναι μείζονος σημασίας, τόσο για τις εταιρείες που το χρησιμοποιούν, όσο και για το περιβάλλον. Στο πέρασμα των χρόνων και μέχρι σήμερα, έχουν συμβεί πολλές καταστροφές από ανεξέλεγκτες διαρροές που μόλυναν το περιβάλλον, κατέστρεψαν την άγρια φύση και προκάλεσαν σωρεία οικονομικών προβλημάτων.

Όλα τα παραπάνω θα μπορούσαν να είχαν αποφευχθεί με το σωστό σύστημα HMI, διότι χάρις την εξέλιξη της τεχνολογίας, υπάρχουν αισθητήρες που μπορούν να εντοπίσουν ακόμη και τις πιο μικρές διαρροές σε μια αυτοματοποιημένη διαδικασία.

Πιο συγκεκριμένα τα οφέλη στους σημερινούς βιομηχανικούς οργανισμούς, περιλαμβάνουν:

- Αυξημένη απόδοση. Επειδή ένα HMI παρέχει συνεχή πρόσβαση σε δεδομένα που βρίσκονται σε πραγματικό χρόνο, υπάρχει η δυνατότητα παρακολούθησης της παραγωγικής διαδικασίας, παρέμβαση σ' αυτή, αλλά και λήψη αποφάσεων για βελτίωση της αποτελεσματικότητας των λειτουργιών, λόγω της ανάλυσης των δεδομένων που συλλέγονται.
- Λιγότερος χρόνος εκτός λειτουργίας. Αν συμβεί κάποια δυσλειτουργία, στην οθόνη θα εμφανιστεί μια ειδοποίηση, έτσι ώστε να ενημερώσει τον χειριστή ότι υπάρχει πρόβλημα, μειώνοντας έτσι τον χρόνο απόκρισης.
- Βελτιωμένη χρησιμότητα. Τα HMI διευκολύνουν τους χρήστες, διότι τα δεδομένα παρουσιάζονται με τη μορφή γραφημάτων ή διαγραμμάτων, γεγονός που καταστά την ερμηνεία τους αρκετά εύκολη για διεξαγωγή συμπερασμάτων.
- Τηλεοπτεία. Υπάρχει η δυνατότητα εποπτείας του συστήματος, ανεξάρτητα από την τοποθεσία του χρήστη, επιτυγχάνοντας μεγαλύτερη παραγωγικότητα.

5.2 Συστήματα εποπτικού ελέγχου SCADA

Το SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition), αναφέρεται στον συνδυασμό τηλεμετρίας και λήψης δεδομένων. Ένα σύστημα SCADA συνίσταται στη συλλογή πληροφορίας (δεδομένων), μεταφορά της σε μια κεντρική θέση, εκτέλεση της απαραίτητης ανάλυσης – ελέγχου και παρουσίαση αυτών των δεδομένων σε έναν αριθμό χειριστών. Επίσης χρησιμοποιείται για την παρακολούθηση και τον έλεγχο μιας εγκατάστασης ή μιας συσκευής μιας βιομηχανίας. Ο έλεγχος μπορεί να είναι είτε αυτόματος, είτε με εντολές ενός χειριστή.

Εκτός από το λογισμικό εποπτείας και ελέγχου, από άποψη υλικοτεχνικής υποδομής, ένα σύστημα SCADA αποτελείται και από μια συλλογή αισθητηρίων και ευφυών συσκευών. Αναλυτικότερα, μπορούμε να τα χωρίσουμε στις εξής κατηγορίες:

1. Ένα δίκτυο έξυπνων συσκευών (**Intelligent Electronic Devices – IEDs**) που συνδέεται με το σύστημα το οποίο επιθυμούμε να εποπτεύσουμε μέσω αισθητήρων και ελεγκτών. Το δίκτυο αυτό μας δίνει τη δυνατότητα να μετρήσουμε και να ελέγξουμε συγκεκριμένα στοιχεία του συστήματος.
2. Ο **κεντρικός Υπολογιστικός Σταθμός (Master Terminal Unit – MTU)**. Αποτελείται από ένα κεντρικό υπολογιστικό σύστημα, αρκετά μεγάλης ισχύος, στον οποίο βρίσκεται το λογισμικό

SCADA εγκατεστημένο, όπως και το πρόγραμμα της εκάστοτε εφαρμογής. Με άλλα λόγια, πρόκειται για τον πυρήνα του εποπτικού συστήματος SCADA.

3. **Τερματικές μονάδες (Remote Telemetry Unit – RTUs)** όπου συνδέονται στους διάφορους αισθητήρες. Έχουν τη δυνατότητα ανάγνωσης και μετατροπής των δεδομένων που δέχονται από τους αισθητήρες σε ψηφιακά δεδομένα, σύμφωνα με το πρωτόκολλο επικοινωνίας που υποστηρίζουν. Επίσης, αποτελούν βασικό κομμάτι της τηλεμετρίας του εποπτικού συστήματος διότι είναι υπεύθυνα για την αποστολή των δεδομένων στο Κεντρικό Εποπτικό Σύστημα, καθώς και για τη λήψη εντολών από το σύστημα. Στην ίδια κατηγορία ανήκουν και τα **PLC**, με τη διαφορά ότι δεν παρέχουν τη δυνατότητα της τηλεμετρίας.
4. Ένα **σύστημα τηλεμετρίας** για τη διασύνδεση όλων των ελεγκτών. Παρέχει τη διασύνδεση των ευφυών και περιφερειακών συσκευών (IEDs, PLCs, RTUs) με κέντρα ελέγχου και βάσεις δεδομένων είτε ενσύρματα είτε ασύρματα. Για την πιο ομαλή διασύνδεση των παραπάνω συσκευών, χρησιμοποιούνται σύγχρονα βιομηχανικά πρωτόκολλα επικοινωνίας για τη σύνδεση των υπηρεσιών λογισμικού.
5. Μία **διεπαφή ανθρώπου – μηχανής (Human Machine Interface – HMI)**. Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, είναι η συσκευή η οποία βοηθάει στην αλληλεπίδραση του ανθρώπου στη βιομηχανική διαδικασία, καθώς και στον έλεγχο της.

5.3 Εξέλιξη των συστημάτων SCADA

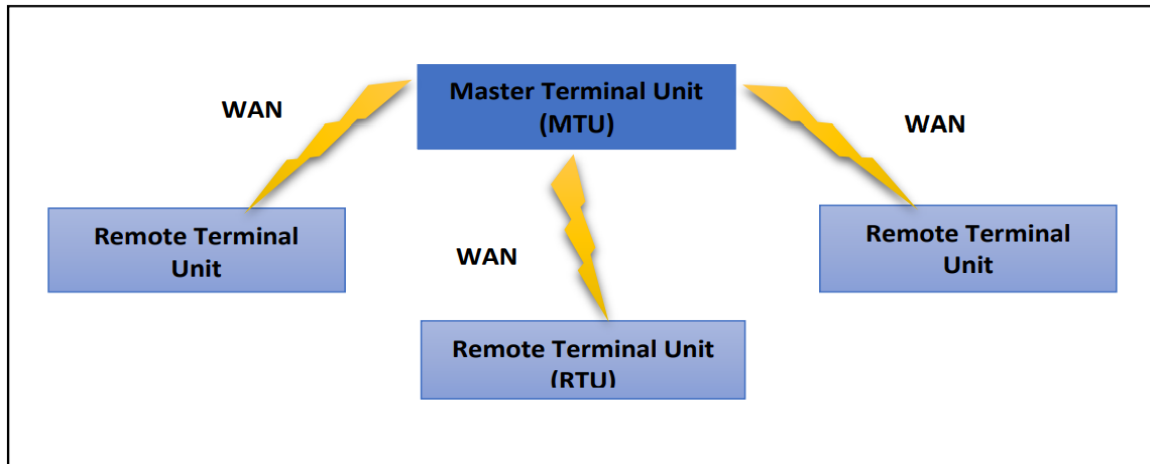
Παράλληλα με την ανάπτυξη της τεχνολογίας, καθώς οι βιομηχανικές διαδικασίες άρχισαν να αυξάνονται ως προς το μέγεθος και την πολυπλοκότητα, το SCADA εξελίχθηκε στο πέρασμα των χρόνων. Ακολουθώς συναντάμε τις τέσσερις γενιές συστημάτων SCADA:

- Πρώτη γενιά – Μονολιθική
- Δεύτερη γενιά – Κατανεμημένη
- Τρίτη γενιά – Δικτυωμένη
- Τέταρτη γενιά – Industry 4.0

5.3.1 Μονολιθικά συστήματα SCADA

Τα συστήματα SCADA αναπτύχθηκαν για πρώτη φορά το 1970, η συλλογή των δεδομένων και η παρακολούθηση τους γίνονταν μέσω μεγάλων κεντρικών υπολογιστών (mainframes). Τα δίκτυα δεν υπήρχαν, αυτό είχε ως αποτέλεσμα την αυτόνομη λειτουργία τους και ουσιαστικά χωρίς καμία συνδεσιμότητα με άλλα συστήματα.

Η αρχιτεκτονική ενός υποσταθμού βασίστηκε σε μία ή περισσότερες ειδικά απομακρυσμένες τερματικές μονάδες (RTU), οι οποίες είχαν περιορισμένες δυνατότητες (π.χ. 8-bit μικροεπεξεργαστής και 4-16 KB RAM) και με διεπαφές I/O για την επεξεργασία σήματος.



Εικόνα 5.2: Αρχιτεκτονική SCADA πρώτης γενιάς

Τα πρωτόκολλα επικοινωνίας που διαμορφώθηκαν ήταν συνήθως ιδιόκτητα και ως εκ τούτου δεν επιτρέπονταν οι συνδέσεις εκτός του συγκεκριμένου προμηθευτή του συστήματος SCADA. Η συνδεσιμότητα με τον κεντρικό υπολογιστή πραγματοποιούνταν συνήθως σε επίπεδο διαύλου μέσω ενός ιδιόκτητου προσαρμογέα ή ελεγκτή, συνδεδεμένο στο κεντρικό τμήμα της κεντρικής μονάδας επεξεργασίας (CPU).

5.3.2 Κατανεμημένα συστήματα SCADA

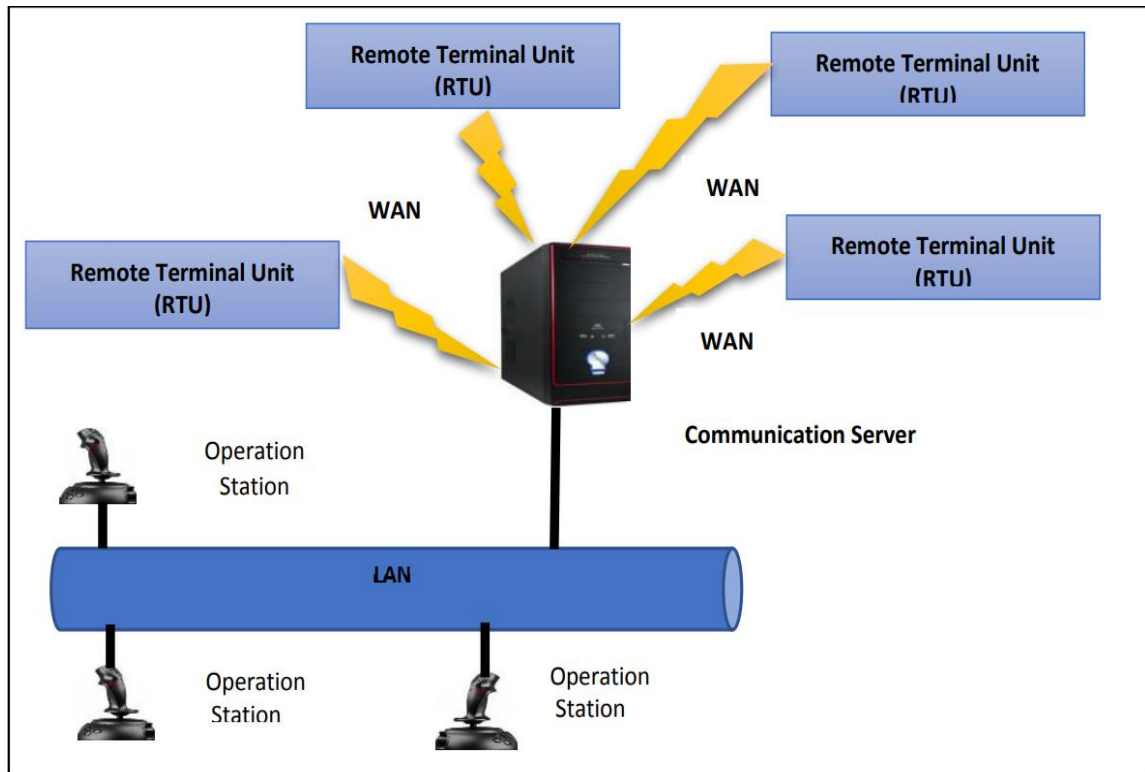
Η επόμενη γενιά, εκμεταλλεύτηκε τις τεχνολογικές εξελίξεις, όπως τη μικροποίηση των συστημάτων και της έλευσης του τοπικού δικτύου (LAN). Πολλοί σταθμοί (π.χ. μινι-υπολογιστές), ο καθένας με μια συγκεκριμένη λειτουργία, συνδέονταν σε ένα δίκτυο LAN και μεταξύ τους μοιράζονταν πληροφορίες σε πραγματικό χρόνο.

Μερικοί από αυτούς τους κατανεμημένους σταθμούς χρησίμευαν ως διακομιστές βάσεων δεδομένων ή στην επεξεργασία υπολογιστικών πράξεων, ενώ άλλοι παρέχοντας τη δυνατότητα διεπαφής μεταξύ ανθρώπου – μηχανής (HMI) και στην επικοινωνία με RTU ή PLC.

Επιπλέον, χάρις την αρχιτεκτονική του συστήματος, οποιαδήποτε ενεργή συσκευή στο δίκτυο θα μπορούσε να καλύψει αμέσως τη λειτουργικότητα μιας άλλης, χωρίς να χρειαστεί η ολική διακοπή του συστήματος.

Η επικοινωνία με απομακρυσμένους υποσταθμούς πραγματοποιήθηκε χρησιμοποιώντας μεγάλα (κατανεμημένα ή ιεραρχικά) τοπικά δίκτυα, τα οποία ελέγχονταν από MTU, που ήταν εγκατεστημένα στο κεντρικό σύστημα. Οι RTUs ήταν εξοπλισμένοι με προηγμένες σειριακές διεπαφές I/O, με γρηγορότερους μικροεπεξεργαστές, μνήμες και μαθηματικούς συνεπεξεργαστές για την υποστήριξη ακόμα πιο σύνθετων εφαρμογών.

Ωστόσο, όπως και στα μονολιθικά συστήματα, το πρωτόκολλο που χρησιμοποιήθηκε ήταν ιδιόκτητο, όπου η συνύπαρξη με άλλους βιομηχανικούς εξοπλισμούς και λογισμικά επικοινωνίας ήταν αδύνατη.



Εικόνα 5.3: Αρχιτεκτονική SCADA δεύτερης γενιάς

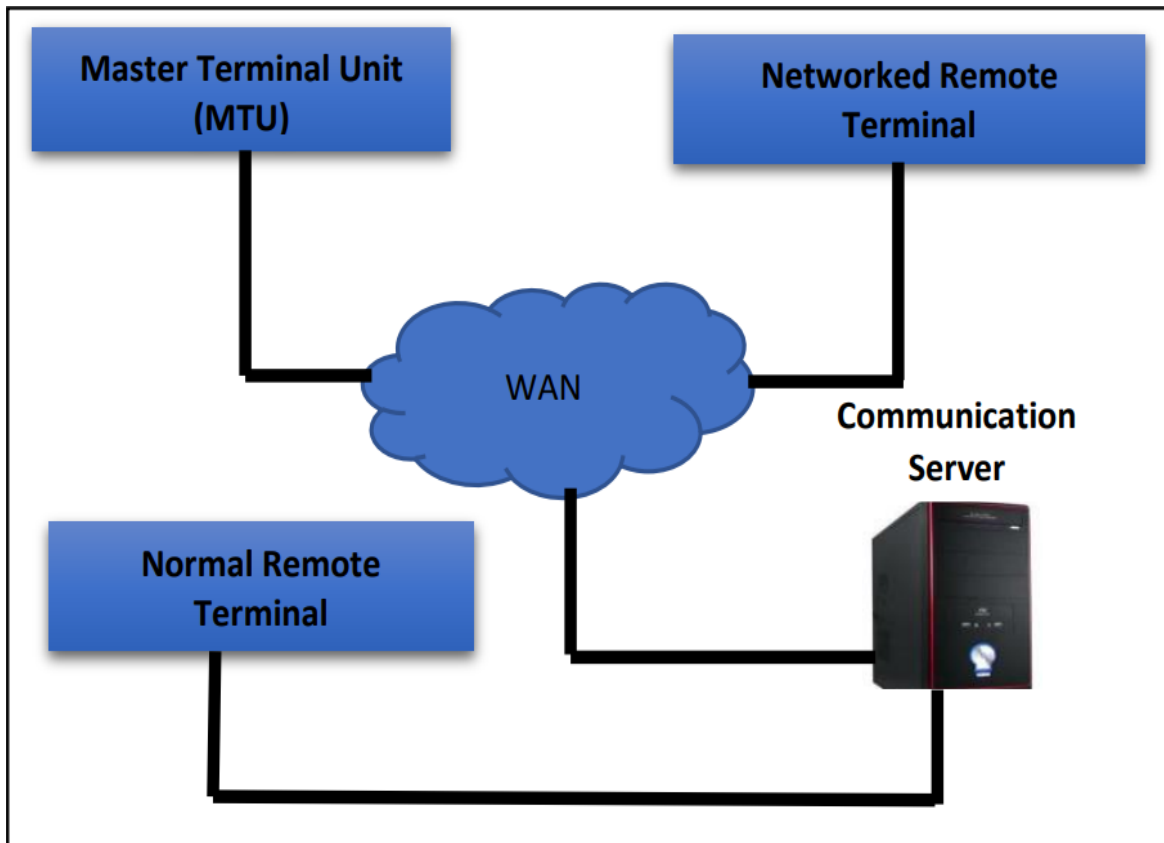
5.3.3 Δικτυακά συστήματα SCADA

Η συνεχής ανάπτυξη όλων των βιομηχανιών, ο αυξανόμενος αριθμός αυτοματοποιημένων διαδικασιών και οι πολλαπλοί προμηθευτές βιομηχανικού εξοπλισμού συντέλεσαν στο επόμενο βήμα της εξέλιξης των συστημάτων SCADA.

Η τρίτη γενιά, έχει παρόμοια χαρακτηριστικά με τη δεύτερη αλλά και μια κύρια διαφορά, ότι η επικοινωνία βασίστηκε σε ανοιχτά πρωτόκολλα, σε αντίθεση με το ελεγχόμενο και ιδιόκτητο περιβάλλον που ίσχυε μέχρι εκείνη τη στιγμή. Οι περιορισμοί εξαλείφθηκαν και διευκόλυναν τον χρήστη να συνδέσει περιφερειακές συσκευές που παρέχονταν από τρίτους (όπως θόνοι, εκτυπωτές, μονάδες δίσκου κ.λ.π.) στο σύστημα ή και στο διαδίκτυο.

Ο πιο σημαντικός παράγοντας που βοήθησε στη γρήγορη ανάπτυξη της τρίτης γενιάς προήλθε από τη χρήση του Πρωτοκόλλου Διαδικτύου (IP) για την επικοινωνία μεταξύ του κύριου σταθμού και των περιφερειακών συσκευών. Οι συνδέσεις πλέον κατέστησαν δυνατή την παρακολούθηση σε πραγματικό χρόνο και την peer-to-peer (P2P) επικοινωνία από οποδήποτε, οποιαδήποτε στιγμή. Επίσης βοήθησε τις RTUs να λειτουργούν ως συγκεντρωτές δεδομένων για την αποθήκευση μεγάλων ροών δεδομένων ή ως ελεγκτές απομακρυσμένης πρόσβασης, για την αυτόματη και εξ αποστάσεως αναδιαμόρφωση του συστήματος.

Από την άλλη όψη του νομίσματος, η συνδεσιμότητα με το Internet έχει κάνει το σύστημα αρκετά ευάλωτο ως προς τους εξωτερικούς κινδύνους. Τα αναβαθμισμένα συστήματα ασφαλείας, η συχνή συντήρηση και ενημέρωση των λογισμικών αποτελούσαν τα κύρια «όπλα» για την αντιμετώπιση τέτοιων προβλημάτων.



Εικόνα 5.4: Αρχιτεκτονική SCADA τρίτης γενιάς

5.3.4 Industry 4.0 και SCADA

Ο όρος Industry 4.0 (Βιομηχανία 4.0 ή 4^η Βιομηχανική Επανάσταση) θεσπίστηκε για πρώτη φορά από τη κυβέρνηση της Γερμανίας το 2009, υποστηριζόμενη από πολλούς επιστημονικούς και παραγωγικούς φορείς της χώρας.

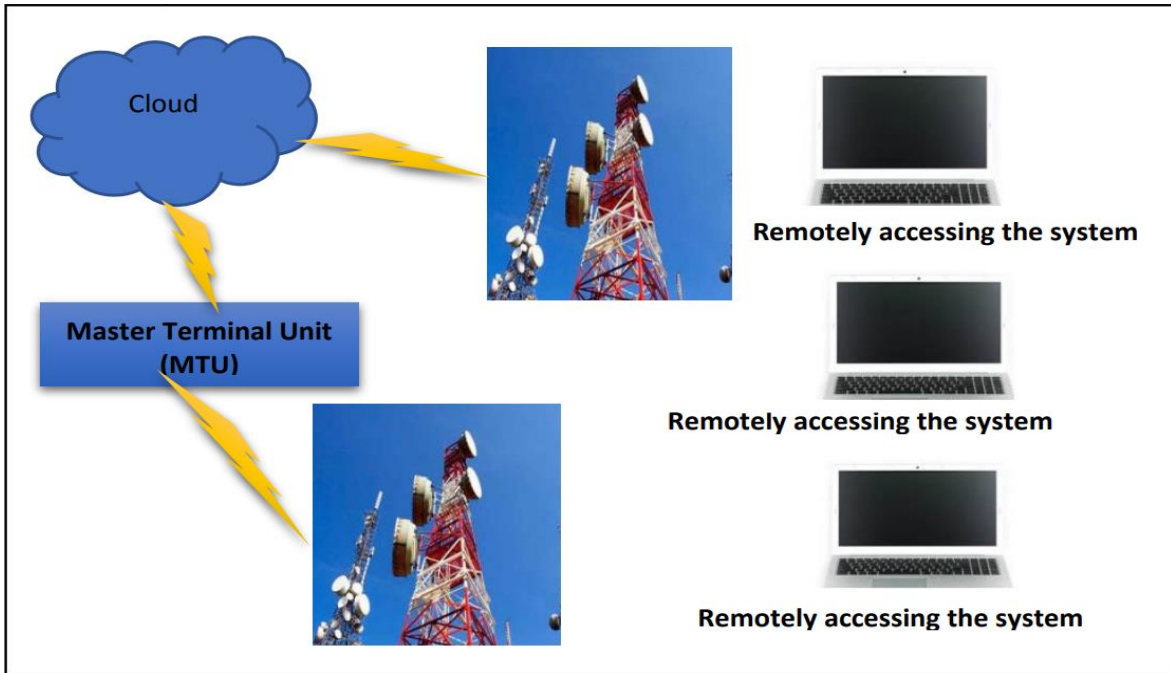
Ήταν μια νέα στρατηγική κατά την οποία μέσα από σύγχρονες μηχανολογικές και ψηφιακές τεχνολογίες αιχμής που κατείχε ήδη, θα επιτύγχανε την πλήρη αυτοματοποίηση της βιομηχανικής παραγωγής έχοντας πάντα ως στόχο, την πρωτοπορία και την ανταγωνιστικότητα.

Η 4^η Βιομηχανική Επανάσταση δεν είναι από μόνη της μια νέα τεχνολογία αλλά πολλές μαζί, όπου η κάθε μία μπορεί να λειτουργήσει αυτόνομα αλλά και ως ένα σύνολο, έχοντας σημαντική αλληλοεπίδραση μεταξύ τους. Έχει σαν κύριο στόχο την πλήρη αυτοματοποίηση και τον ψηφιακό μετασχηματισμό, του μελλοντικού «έξυπνου εργοστασίου» (Smart Factory), αλλά και ολόκληρης της κοινωνίας γενικότερα.

Για να το πετύχει αυτό, απαιτείται η χρήση και η ενσωμάτωση πρωτοποριακών τεχνολογιών, οι οποίες είναι:

- Το Διαδίκτυο των Πραγμάτων (Internet of Things [IoT]), αναφέρεται σε συστήματα πληροφορικής συνδεδεμένα με όλα τα υποσυστήματα, τις διαδικασίες και τα δίκτυα προμηθευτών και πελατών, που επικοινωνούν και συνεργάζονται τόσο μεταξύ τους όσο και με τους ανθρώπους, χρησιμοποιώντας ενσωματωμένους αισθητήρες για τη συλλογή δεδομένων και την ανάληψη κάποιας δράσης μέσα σε ένα δίκτυο.

- Το δίκτυο πέμπτης γενιάς, 5G, είναι η νέας γενιάς τεχνολογία ασύρματου δικτύου, η οποία αναμένεται να αντικαταστήσει τον προκάτοχο της, το 4G και να αυξήσει την ταχύτητα των διαδικτυακών συνδέσεων σε πολύ μεγάλο βαθμό, να ελαχιστοποιήσει την καθυστέρηση (latency) της μεταφοράς των δεδομένων αλλά και να υποστηρίξει ταυτόχρονα πολλές συνδεδεμένες συσκευές ανά τετρ. χλμ.
- Οι αισθητήρες (sensors), οι οποίοι, ως συστατικό μικροσκοπικών και χαμηλής ενέργειας συστημάτων μικροελεγκτών (embedded systems), ενσωματώνονται σε κρίσιμα σημεία του φυσικού αντικειμένου και έτσι το ψηφιακό δίδυμο ενημερώνεται διαρκώς με έγκυρα δεδομένα από το πραγματικό φυσικό σύστημα, στο πραγματικό περιβάλλον λειτουργίας του (in situ).
- Τα δίκτυα δεδομένων (data networks), τα οποία εξασφαλίζουν την απρόσκοπτη ανταλλαγή δεδομένων (μετρήσεις και εντολές) μεταξύ του φυσικού και του ψηφιακού διδύμου, τα οποία συνήθως είναι σε διαφορετικά γεωγραφικά μέρη.
- Τη νεφελούπολογιστική (cloud computing), η οποία περιλαμβάνει όλα τα εργαλεία και τις τεχνικές για την ανάπτυξη εφαρμογών στο διαδικτυακό περιβάλλον του υπολογιστικού νέφους, έτσι ώστε να αξιοποιηθούν στο μέγιστο οι δυνατότητες για συμπερίληψη πολλών και ετερογενών ανθρώπινων και τεχνητών πόρων.
- Η εξομοίωση και η προσομοίωση (simulation, emulation), που αποτελούν γνωστές τεχνολογίες των οποίων οι μέθοδοι αναπτύσσονται με ραγδαίους ρυθμούς, αξιοποιώντας όλες τις τεχνολογικές εξελίξεις σε τομείς όπως είναι η σχεδίαση με τη βοήθεια Η/Υ (Computer Aided Design [CAD]), η ανάλυση δεδομένων (data analytics) και η ανάλυση μεγάλου όγκου δεδομένων (big data analytics).
- Η αναπαράσταση δεδομένων (data visualization), τα οποία μέσω των τεχνολογιών των γραφικών (computer graphics), της εικονικής πραγματικότητας (Virtual Reality [VR]) και της επαυξημένης πραγματικότητας (Augmented Reality [AR]) προσδίδουν το μέγιστο ρεαλισμό στην αναπαράσταση του φυσικού αντικειμένου εντός του εικονικού κυβερνοχώρου.
- Η τεχνητή νοημοσύνη (Artificial Intelligence [AI]), η οποία μέσω των τεχνολογιών της για τη μηχανική και βαθιά μάθηση (Machine Learning [ML], Deep Learning [DL]) επιτρέπει στο ψηφιακό δίδυμο να αυτοεκπαιδεύεται (self-learning, self-training) και να προσαρμόζει το μαθηματικό – υπολογιστικό μοντέλο στο πραγματικό φυσικό μοντέλο και σε σχεδόν πραγματικό χρόνο.



Εικόνα 5.5: Αρχιτεκτονική SCADA τέταρτης γενιάς

Η ενσωμάτωση των παραπάνω τεχνολογιών στη διαδικασία της βιομηχανικής παραγωγής αναμένεται να της προσδώσει τα ακόλουθα χαρακτηριστικά:

- **Διαλειτουργικότητα:** Τα κυβερνο-φυσικά συστήματα (άνθρωποι και ρομπότ), αποτελούμενα από λογισμικό ενσωματωμένο σε αισθητήρες, φορητές συσκευές (π.χ. PLC), σταθμούς συναρμολόγησης και προϊόντα, επιτρέπουν στους ανθρώπους και τα «έξυπνα εργοστάσια» να συνδέονται και να επικοινωνούν μεταξύ τους.
- **Εικονικότητα:** δημιουργείται ένα εικονικό αντίγραφο του «έξυπνου» εργοστασίου μέσω τη σύνδεσης δεδομένων των αισθητήρων με μοντέλα εικονικών εγκαταστάσεων και μοντέλα προσομοίωσης.
- **Αποκέντρωση:** Τα κυβερνο-φυσικά συστήματα μπορούν να λαμβάνουν μόνα τους αποφάσεις και να προχωρούν σε τοπική παραγωγή χάρη σε τεχνολογίες όπως η τρισδιάστατη εκτύπωση.
- **Ικανότητα δράσης σε πραγματικό χρόνο:** Υπάρχει η δυνατότητα συλλογής και ανάλυσης δεδομένων και άμεσης παροχής των αντλούμενων πληροφοριών.
- **Προσαρμοστικότητα:** Τα «έξυπνα» εργοστάσια διαθέτουν ευελιξία προσαρμογής στις μεταβαλλόμενες απαιτήσεις με αντικατάσταση ή επέκταση μεμονωμένων μονάδων.

Καθώς τα συστήματα SCADA είναι ιδανικά για την παρακολούθηση και τον έλεγχο μιας διαδικασίας, με την έλευση όλων των παραπάνω τεχνολογιών και κυρίως του IoT, αναβαθμίζονται. Το IoT επικεντρώνεται περισσότερο στην αποθήκευση και την ανάλυση των δεδομένων, οπότε υπάρχει αλληλεπίδραση μεταξύ των δύο, με απώτερο σκοπό τη μείωση του κόστους και την βέλτιστη παραγωγικότητα.

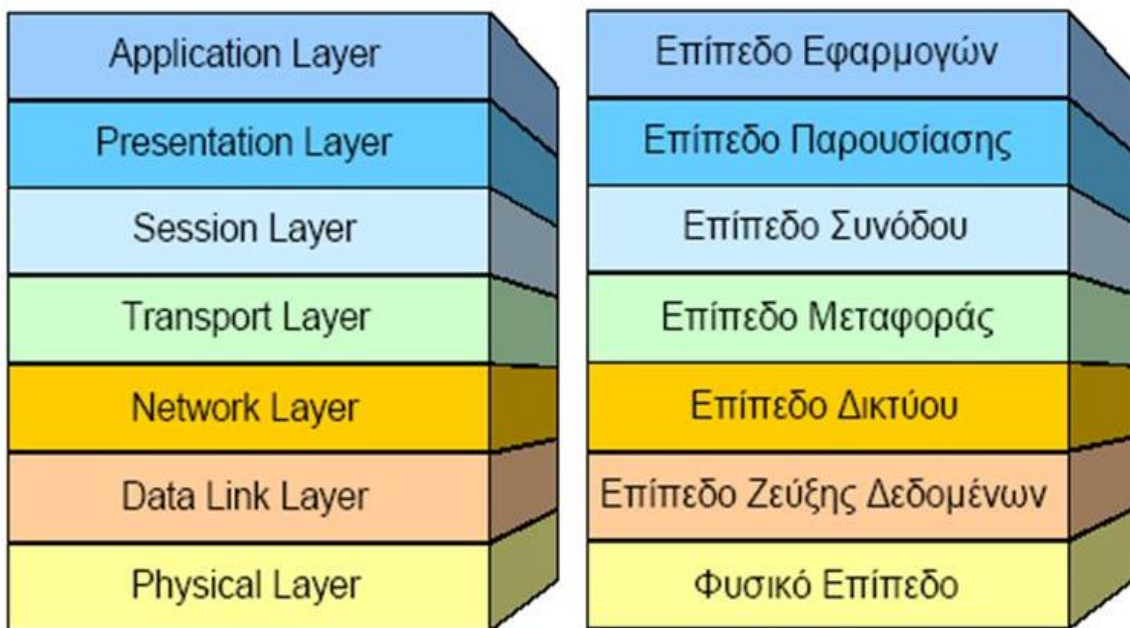
5.4 Πρωτόκολλα επικοινωνίας SCADA

Όπως είδαμε και παραπάνω σχετικά με την αρχιτεκτονική του συστήματος SCADA, τρία από τα βασικά μέρη του είναι η κύρια μονάδα (MTU), οι απομακρυσμένες τερματικές μονάδες (RTU ή PLC) και η επικοινωνία που επιτυγχάνεται μεταξύ όλων αυτών, μέσω ενός πρωτόκολλου επικοινωνίας.

Μέσω του πρωτόκολλου διασφαλίζεται η ασφάλεια, η ορθότητα και κυρίως η γρήγορη ταχύτητα αποστολής των δεδομένων αυτών, από και προς το βιομηχανικό δίκτυο κάτω από οποιαδήποτε συνθήκη.

Κάθε πρωτόκολλο μπορεί να διαχωριστεί σε δύο βασικά μέρη. Το πρώτο μέρος αποτελεί το κύριο πρωτόκολλο (master protocol), όπου περιέχει δεδομένα σχετικά με την εγκαθίδρυση επικοινωνίας με τον κεντρικό σταθμό ελέγχου του συστήματος. Αντιθέτως, το δεύτερο μέρος, το πρωτόκολλο RTU, περιέχει δεδομένα για την εγκατάσταση επικοινωνίας για τις απομακρυσμένες τερματικές μονάδες.

Όπως και οι περισσότερες αρχιτεκτονικές δικτύου, βασίζεται στο Διεθνές Πρότυπο OSI των 7 επιπέδων. Με αυτόν τον τρόπο, το δίκτυο επικοινωνίας γίνεται άμεσα επεκτάσιμο και παραμετροποιήσιμο, δίνοντας τη δυνατότητα σύνδεσης και ανταλλαγής δεδομένων με διάφορες συσκευές ελέγχου.



Εικόνα 5.6: Πρότυπο αρχιτεκτονικής OSI

Παρατηρώντας το πρότυπο, βλέπουμε ότι τα τέσσερα κατώτερα στρώματα καλύπτουν τη φυσική ένωση, τις συσκευές δικτύωσης, τα πρωτόκολλα επικοινωνίας και τη μεταφορά των δεδομένων στα συνδεδεμένα δίκτυα αντίστοιχα.

Το πρωτόκολλο TCP/IP (Transport Control Protocol / Internet Protocol) όπου θα βιομηχανικά εποπτικά συστήματα βασίζονται, αφορά ένα σύνολο κανόνων που χρησιμοποιούνται κυρίως στο τρίτο επίπεδο OSI (επίπεδο δικτύου). Τα επίπεδα 5 και 6, συνεδρίας και παρουσίασης αντίστοιχα, αναλαμβάνουν τη περάτωση της συνόδου επικοινωνίας. Τέλος, το επίπεδο εφαρμογών, πρόκειται για το επίπεδο επικοινωνίας μεταξύ του κεντρικού σταθμού ελέγχου και των περιφερειακών συσκευών ελέγχου (RTU και PLC).

Στις σύγχρονες βιομηχανικές μονάδες σήμερα, τα πιο διαδεδομένα βιομηχανικά πρωτόκολλα επικοινωνίας που συναντάμε είναι τα Modbus, Profibus, DNP3 και το IEC 60870.

Το πρωτόκολλο Modbus

Το Modbus είναι ένα πρωτόκολλο σειριακής επικοινωνίας με μετάδοση halfduplex (αμφίδρομης επικοινωνίας), που σχεδιάστηκε από την Schneider Automation Inc. το 1979 για χρήση με τους ελεγκτές PLC. Σταδιακά, έγινε ένα ντε φάκτο πρότυπο στη βιομηχανία και πλέον αποτελεί τον πιο συνηθισμένο τρόπο σύνδεσης βιομηχανικών ηλεκτρονικών συσκευών. Οι κύριοι λόγοι που χρησιμοποιείται εκτεταμένα και προτιμάται από τα υπόλοιπα πρωτόκολλα είναι οι εξής:

- ✓ Πρόκειται για ένα πρωτόκολλο ανοικτού κώδικα, όπου μπορεί να υποστηρίξει μεγάλο πλήθος συσκευών.
- ✓ Είναι απλό στη χρήση του και σχετικά εύκολο στην υλοποίησή του.
- ✓ Αναπτύχθηκε ειδικά για βιομηχανικές εφαρμογές.

Το συγκεκριμένο πρωτόκολλο ορίζει δύο τύπους συσκευών, τον Modbus Master και Modbus Slave, οι οποίες επικοινωνούν μεταξύ τους. Ο Modbus Master είναι η συσκευή η οποία στέλνει μηνύματα, ενώ ο Modbus Slave απαντά στα μηνύματα τα οποία δέχεται. Ο Modbus Master, συλλέγει τα δεδομένα από πολλούς περιφερειακούς σταθμούς μετρήσεων και αυτοματισμού. Επίσης μπορεί να επικοινωνεί μέχρι και με 247 Modbus Slave οι οποίοι είναι συνδεδεμένοι στο ίδιο δίκτυο και ο καθένας τους έχει μια μοναδική διεύθυνση επικοινωνίας ή αναγνωριστικό αριθμό σταθμού.

Υπάρχουν διάφορες παραλλαγές του πρωτόκολλου Modbus για τη μετάδοση σε διαφορετικά είδη δικτύων, οι κυριότερες είναι οι παρακάτω:

- Modbus RTU, για σειριακή επικοινωνία
- Modbus ASCII, για σειριακή επικοινωνία
- Modbus TCP, για επικοινωνία με το πρωτόκολλο TCP
- Modbus X, σαν επέκταση του δικτύου Modbus, κυρίως για τα σύγχρονα συστήματα SCADA

Το πρωτόκολλο Profibus

Το Profibus είναι ένα διεθνές και ευρέως αποδεκτό πρωτόκολλο, το οποίο συναντάται συνήθως σε εποπτικά συστήματα βιομηχανιών μεγάλου μεγέθους. Αναπτύχθηκε το 1989 σαν αποτέλεσμα ενός γερμανικού ερευνητικού σχεδίου και μπορούμε να το χωρίσουμε σε τρεις βασικές κατηγορίες:

- Η έκδοση Profibus-DP (Distributed Process), επιτρέπει τη χρήση πολλαπλών Master συσκευών με τις συσκευές Slave να αντιστοιχούν σε κάθε μία από αυτές. Αυτό πρακτικά σημαίνει, ότι παρότι όλες οι συσκευές Master έχουν πρόσβαση σε όλες τις Slave, μόνο η κύρια Master έχει τη δυνατότητα να εγγράψει δεδομένα σε αυτή.
- Το πρωτόκολλο Profibus PA (Process Automation), αποτελεί τη μεταγενέστερη γενιά του DP, στη οποία τα επίπεδα της τάσης και έντασης του ηλεκτρικού ρεύματος είναι χαμηλότερα, ώστε να ικανοποιούνται οι απαιτήσεις της ενδογενούς ασφάλειας των βιομηχανικών εγκαταστάσεων.
- Το πρωτόκολλο Profibus FMS (Fieldbus Message Specification), είναι βασισμένο στο μοντέλο Client-Server, για την επικοινωνία συσκευών αυτοματισμού.

Το πρωτόκολλο IEC 60870

Το πρωτόκολλο IEC 60870 δημιουργήθηκε τις αρχές του 1990 από την Διεθνή Ηλεκτροτεχνική Επιτροπή (IEC), βρίσκοντας χρήση αρχικά σε εποπτικά συστήματα μετάδοσης και διανομής ενέργειας. Χωρίζεται σε έξι βασικές κατηγορίες, καθορίζοντας τις γενικές πληροφορίες που σχετίζονται με το

πρωτόκολλο, τις συνθήκες λειτουργίας του και τις απαιτήσεις του για τη μεταφορά των δεδομένων στο δίκτυο.

Στα σύγχρονα βιομηχανικά συστήματα εμποτικού ελέγχου SCADA, ιδιαίτερη χρήση παρουσιάζει η πέμπτη κατηγορία του πρωτοκόλλου (IEC 60870 – 5):

- IEC 60870-5-1 Transmission Frame Formats
Περιγράφει τη λειτουργία των φυσικών επιπέδων και των επιπέδων σύνδεσης των δεδομένων. Παρέχει την επιλογή τεσσάρων τύπων πλαισίου σύνδεσης δεδομένων, FT1.1, FT1.2, FT2 και FT3.
- IEC 60870-5-2 Link Transmission Procedures
Περιγράφει εάν η μετάδοση μπορεί να ξεκινήσει μόνο από έναν κύριο σταθμό (Master), ή από οποιονδήποτε άλλο σταθμό.
- IEC 60870-5-3 General Structure of Application Data
Καθορίζει τη γενική δομή των δεδομένων σε επίπεδο εφαρμογών.
- IEC 60870-5-4 Definition and Coding of Application Information Elements
Χρησιμοποιείται για τη κωδικοποίηση των στοιχείων των εφαρμογών (π.χ. ακέραιους αριθμούς, συμβολοσειρές και χρονικά).
- IEC 60870-5-5 Basic Application Functions
Περιγράφει τις κύριες λειτουργίες του επιπέδου της μετάδοσης, που περιλαμβάνουν τις μεθόδους απόκτησης δεδομένων, την αρχικοποίηση του μετρητή, μεταφορά αρχείων κλπ.
- IEC 60870-5-6
Χρησιμοποιείται παρέχοντας επιπλέον ασφάλεια για την έκδοση IEC 60870-5-5.

Enhanced Performance Architecture (EPA)	
Selected application functions of IEC 60870-5-5	User process
Selected application information elements of IEC 60870-5-4	Application Layer (L7)
Selected application service data units of IEC 60870-5-3	
Selected link transmission procedures of IEC 60870-5-2	Link Layer (L2)
Selected transmission frame formats of IEC 60870-5-1	
Selected ITU-T recommendations	Physical Layer (L1)

Εικόνα 5.7: Το πρωτόκολλο IEC 60870-5 με βάση το μοντέλο OSI

Ως αναβάθμιση των παραπάνω εκδόσεων, η IEC προχώρησε στη δημιουργία των κάτωθι προτύπων, καλύπτοντας έτσι αρκετές ατέλειες των εκδόσεων που υπήρχαν:

- IEC 60870-5-101 (1995)
Πρωτόκολλο μετάδοσης για τη μεταφορά δεδομένων κυρίως σε εμποτικά συστήματα ελέγχου.
- IEC 60870-5-102 (1996)
Πρωτόκολλο μετάδοσης για τη μεταφορά δεδομένων κυρίως σε συστήματα διανομής ηλεκτρικής ενέργειας.
- IEC 60870-5-103 (1997)
Πρωτόκολλο μετάδοσης για τη διασύνδεση του εξοπλισμού προστασίας του συστήματος

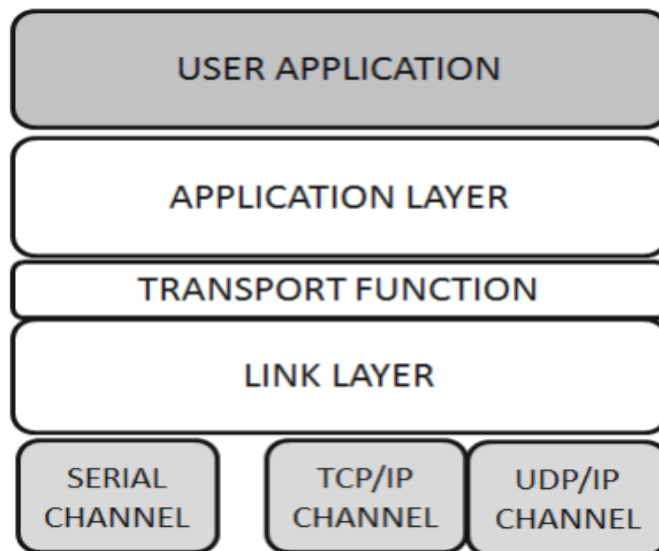
- IEC 60870-5-104 (2000)
Πρωτόκολλο μετάδοσης για την ασφαλέστερη μεταφορά των δεδομένων σε συνδυασμό με το πρότυπο IEC-60870-5-101

Το πρωτόκολλο DNP3

Το πρωτόκολλο DNP3 (Distributed Network Protocol), πρόκειται για ένα σύνολο πρωτοκόλλων επικοινωνίας που λαμβάνει χώρα μεταξύ των συσκευών ελέγχου σε ένα εποπτικό βιομηχανικό σύστημα.

Καθώς το IEC 60870-5 ήταν υπό ανάπτυξη, υπήρχε η ανάγκη ενός προτύπου που θα επέτρεπε τη διαλειτουργικότητα του συστήματος SCADA. Έτσι, το 1993, η GE-Harris Canada (παλαιότερα γνωστή ως Westronic) χρησιμοποίησε τις μερικώς ολοκληρωμένες προδιαγραφές του πρωτοκόλλου IEC 60870-5 ως βάση για ένα ανοιχτό και άμεσα εφαρμόσιμο πρωτόκολλο, ειδικά σχεδιασμένο σε δυσμενή περιβάλλοντα, δηλαδή σε συνθήκες με ηλεκτρομαγνητικές παρεμβολές και κακή κάλυψη.

Από τεχνικής άποψης, το πρωτόκολλο DNP3 ορίζεται κυρίως στο επίπεδο ζεύξης δεδομένων (2^ο επίπεδο) του μοντέλου αναφοράς OSI. Παρέχει υπηρεσίες πολυπλεξίας, κατακερματισμού δεδομένων, ελέγχου σφαλμάτων και εγγύησης της ακεραιότητας των δεδομένων. Επίσης, θέτει μια λειτουργία μεταφοράς (παρόμοια με τη λειτουργία του επιπέδου 4) και ένα επίπεδο εφαρμογών (επίπεδο 7), καθορίζοντας διάφορες λειτουργίες και δεδομένα για την κατάλληλη επικοινωνία τους με το σύστημα SCADA.



Εικόνα 5.8: Τα επίπεδα του DNP3 κατά OSI

Ακόμα, το DNP3 ορίζει δύο τύπους τελικών σημείων (endpoints), Master και Slave, οι οποίοι επικοινωνούν μεταξύ τους.

Ο Master είναι ένας υπολογιστής ή δίκτυο που χρησιμοποιείται σε ένα κέντρο ελέγχου, όπου αποθηκεύει όλα τα εισερχόμενα δεδομένα που προέρχονται από πηγές του σταθμού, με σκοπό την επεξεργασία τους.

Ο Slave (ή σταθμός), είναι υπολογιστές που χρησιμοποιούνται για τη συλλογή πληροφοριών από συσκευές (π.χ. αισθητήρες ρεύματος ή μετατροπείς τάσης) και κοινοποιούν όλα τα δεδομένα τους στον

Master. Εναλλακτικά, ένας σταθμός DNP3 μπορεί να είναι μια απομακρυσμένη συσκευή που επικοινωνεί απευθείας με τον κεντρικό υπολογιστή, όπως οι RTU ή τα PLC.

5.5 Οφέλη και προβλήματα των συστημάτων SCADA

Για να επιτευχθεί η άρτια και απροβλημάτιστη λειτουργία ενός βιομηχανικού οργανισμού απαιτείται ένας συνδυασμός οικονομικών και ποιοτικών παραγόντων που θα οδηγήσει σε κάποια οφέλη, τα οποία μπορούν να διαρθρωθούν σε πολλά επίπεδα τόσο για τον ανθρώπινο παράγοντα, όσο και για τη παραγωγική διαδικασία.

Ορισμένα ενδεικτικά οφέλη είναι τα παρακάτω:

- Βελτίωση της παραγωγικότητας, είναι ένα από τα πιο σημαντικά πλεονεκτήματα του συστήματος SCADA. Πολλές εργασίες που παλαιότερα απαιτούσαν χειροκίνητο χειρισμό, πλέον έχουν αυτοματοποιηθεί. Κατά συνέπεια, με τη μετάβαση στο λογισμικό SCADA, οι βιομηχανίες μπορούν να εκτελέσουν τη δουλειά τους γρήγορα και αποτελεσματικά.
- Ασφαλέστερος χώρος εργασίας σε ένα περιβάλλον όπου τα ατυχήματα δεν αποτελούν σπάνιο φαινόμενο, χάρις του λογισμικού οι διαδικασίες που θα ακολουθηθούν είναι προκαθορισμένες και συμβάλουν στη μείωση της πιθανότητας οτιδήποτε να πάει στραβά.
- Αποτελεσματική χρήση του χρόνου, σε οποιαδήποτε επεξεργασία ή μονάδα παραγωγής, ο χρόνος ισούται με το χρήμα. Με την αυτοματοποίηση της πλειονότητας των διαδικασιών, εξοικονομείται σημαντική ποσότητα ενέργειας και χρόνου μπορεί να χρησιμοποιηθεί για άλλες εργασίες.
- Βελτίωση της ποιότητας των προϊόντων που παράγονται, χάρις τη δυνατότητα να διατηρούνται οι συνθήκες λειτουργίας μέσα σε στενά όρια ανοχών, διότι τα σφάλματα πλέον μπορούν να αντιμετωπίζονται σε πολύ σύντομο χρονικό διάστημα.
- Η εποπτεία του συστήματος σε πραγματικό χρόνο, βοηθάει τις βιομηχανίες να λαμβάνουν πληροφορίες ανά πάσα στιγμή, όπου κι αν βρίσκονται και αυτό οδηγεί σε καλύτερη ανάλυση των δεδομένων, αλλά και ελέγχου.
- Μείωση του κόστους της παραγωγικής διαδικασίας ανά μονάδα προϊόντος, λόγω της βέλτιστης χρήσης των εσωτερικών πηγών ενέργειας και της μείωσης του κόστους εργασίας.
- Η ύπαρξη τεχνικής υποστήριξης και συντήρησης του συστήματος από τον προμηθευτή του, αλλά και η διάθεση ενημέρωσης του λογισμικού.

Η διασύνδεση των συστημάτων SCADA στον εποπτικό μηχανισμό μιας βιομηχανικής μονάδος, σαφώς και μπορεί να μας δώσει πολλές λύσεις στη διαχείριση του ελέγχου της παραγωγικής διαδικασίας. Ταυτόχρονα όμως, εμφανίζει αρκετά προβλήματα κατά την ενσωμάτωσή τους σε πλήθος βιομηχανιών.

Ενδεικτικά, τα μειονεκτήματα που παρουσιάζουν τα συστήματα αυτά είναι:

- Λόγω της πολυπλοκότητας που χαρακτηρίζει τα συστήματα, είναι απαραίτητη η παρουσία ανθρώπινου δυναμικού με πολλές και εξειδικευμένες τεχνικές γνώσεις, όπως ένας αναλυτής του συστήματος ή ένας προγραμματιστής για τους αισθητήρες.
- Κατασκευαστικά, τα συστήματα SCADA μπορούν να χαρακτηριστούν ως πολύπλοκα, κοστοβόρα και αρκετά απαιτητικά από άποψη των υλικών. Οι βιομηχανίες παραγωγής ηλεκτρονικών ειδών είναι αναγκασμένες σε έναν συνεχή κύκλο αναβάθμισης των παραγόμενων συσκευών για να είναι σε θέση να ακολουθήσουν την διαρκή εξέλιξη των συστημάτων.

- Σε βιομηχανικές μονάδες μεγάλης έκτασης, απαιτούνται πολύπλοκες συνδέσεις όπου ορισμένες φορές είναι δύσκολο να υλοποιηθούν.
- Τα σύγχρονα εποπτικά συστήματα εμφανίζουν αρκετά κενά ασφαλείας λόγω της ύπαρξης του διαδικτύου ως μέσω επικοινωνίας και διασύνδεσης μεταξύ των συσκευών, δίνοντας έτσι τη δυνατότητα υποκλοπής και παραποίησης της παραγωγικής διαδικασίας.

Κεφάλαιο 6ο: Υλοποίηση της εφαρμογής

6.1 Περιγραφή

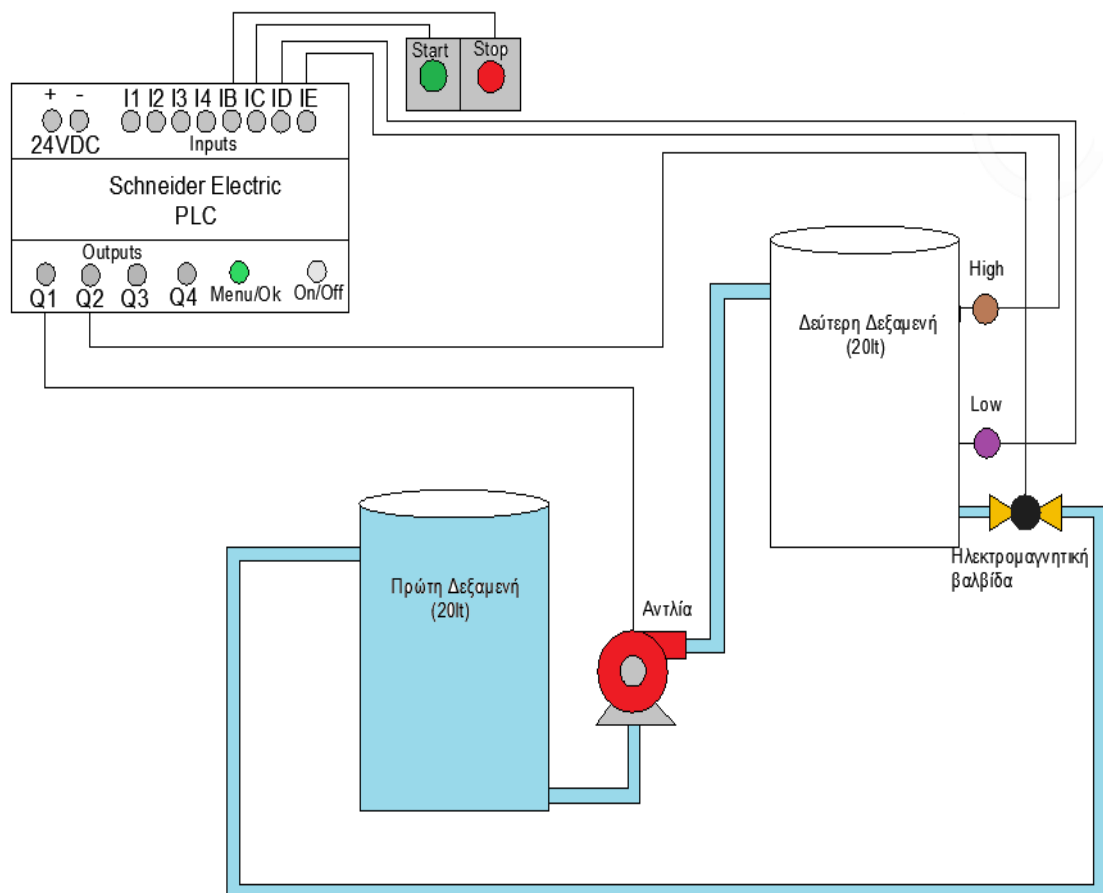
Η εφαρμογή, όπως απεικονίζεται στο Σχήμα 6.1, αποτελείται από δύο δεξαμενές των 20lt, στην πρώτη αποθηκεύεται το νερό, έτσι ώστε να γίνει η άντληση του και η δεύτερη ως ρυθμιστική, χρησιμοποιώντας δύο αισθητήρια στάθμης τοποθετημένα στο ανώτερο και κατώτερο όριο αντίστοιχα.

Πατώντας το κουμπί Start, ενεργοποιείται η φυγοκεντρική αντλία και μεταφέρεται το νερό στην δεύτερη δεξαμενή. Όταν το νερό φτάσει στο ανώτερο όριο που έχει τοποθετηθεί το αισθητήριο, η αντλία παύει να λειτουργεί και μετά από 5sec ενεργοποιείται η ηλεκτρομαγνητική βαλβίδα ή ηλεκτροβάννα.

Ο ρόλος της ηλεκτροβάννας είναι να μεταφέρει το νερό πίσω στη πρώτη δεξαμενή. Καθώς το νερό μεταφέρεται στη πρώτη δεξαμενή, η ηλεκτροβάννα κλείνει όταν η στάθμη της δεύτερης πέσει στο κατώτερο όριο που έχει τοποθετηθεί το αισθητήριο.

Μετά από 5sec, η αντλία ξανα ενεργοποιείται και με αυτό τον τρόπο πετυχαίνεται η ανακυκλοφορία του συστήματος.

Το σύστημα παύει να λειτουργεί, όταν πατηθεί το κουμπί Stop.



Σχήμα 6.1: Σχηματικό διάγραμμα των στοιχείων του συστήματος

6.2 Επιλογή υλικών

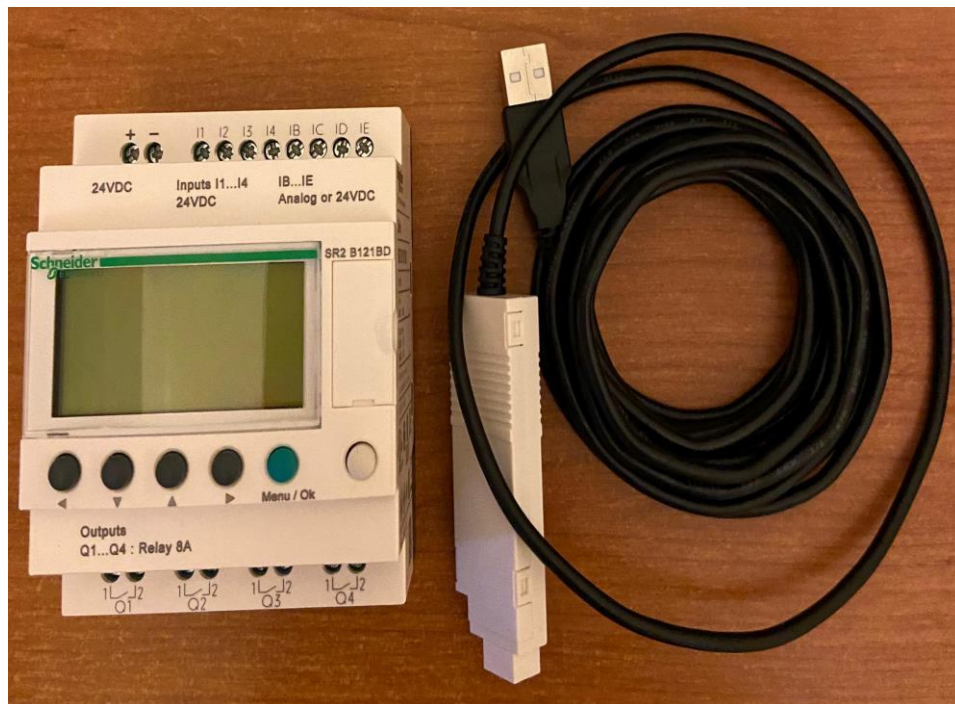
Τα βασικά υλικά που επιλέχθηκαν για την υλοποίηση της εφαρμογής είναι τα εξής:

PLC

Έγινε χρήση του προγραμματιζόμενου λογικού ελεγκτή Zelio SR2 B121BD, της κατασκευάστριας εταιρείας Schneider Electric. Το λογισμικό που απαιτείται για τη δημιουργία του προγράμματος, διανέμεται δωρεάν μέσω του διαδικτύου και ονομάζεται ZelioSoft2 με τρέχουσα έκδοση την V5.3.1. Δίνει τη δυνατότητα προγραμματισμού μέσω Ladder ή FBD και περιέχει προσομοίωση του προγράμματος. Το καλώδιο διασύνδεσης με τον H/Y, διατίθεται ξεχωριστά από τον ελεγκτή.

Τα τεχνικά του χαρακτηριστικά:

- Τροφοδοτείται με 24V
- Ρεύμα μεταγωγής 8A
- Ισχύς 2.7W
- Έχει 8 εισόδους, εκ των οποίων οι 4 πρώτες (I1-I4) λειτουργούν με 24V DC, ενώ οι υπόλοιπες 4 (IB-IE) λειτουργούν είτε με 24V DC, είτε με 0-10V ως αναλογικές.
- Έχει 4 εξόδους που λειτουργούν με 24V DC αλλά και με 230V AC
- Περιέχει ένα χρονόμετρο, για τη δημιουργία χρονοκαθυστερήσεων στο πρόγραμμα.



Εικόνα 6.1: Το PLC της εφαρμογής μαζί με το καλώδιο διασύνδεσης

Φυγοκεντρική αντλία

Μία μπρούτζινη αντλία που συνδέει τις δύο δεξαμενές, για τη μεταφορά του νερού από τη πρώτη ως προς τη δεύτερη. Τίθεται σε λειτουργία όταν πατηθεί το button Start και πραγματοποιείται η εκκίνηση του προγράμματος. Η κατασκευάστρια εταιρεία είναι η Rover Pompe και έχει τη δυνατότητα να λειτουργεί και προς τις δύο κατευθύνσεις μέσω ενός διακόπτη.

Τα τεχνικά του χαρακτηριστικά:

- Τροφοδοτείται με 230V AC
- Ρεύμα λειτουργίας 1.5A
- Ισχύς 340W
- Μέγιστη ροή νερού 28lt/min



Εικόνα 6.2: Η αντλία Rover Pompe

Ηλεκτροβαλβίδα

Χρησιμοποιήθηκε ανοξείδωτη ηλεκτροβάνα της εταιρείας Rotork, για τη μεταφορά του νερού από τη δεύτερη δεξαμενή στη πρώτη, έτσι ώστε στο σύστημα να γίνεται ανακυκλοφορία. Η ηλεκτροβάνα είναι NC (normally closed) και ανοίγει όταν το νερό στη δεύτερη δεξαμενή φτάσει στο ανώτατο όριο που έχει οριστεί.

Τα τεχνικά του χαρακτηριστικά:

- Τάση πηνείου 24V DC
- Σπείρωμα εισόδου – εξόδου 1/2"
- Διάμετρος παροχής 10.5mm



Εικόνα 6.3: Η ηλεκτροβάνα της εφαρμογής

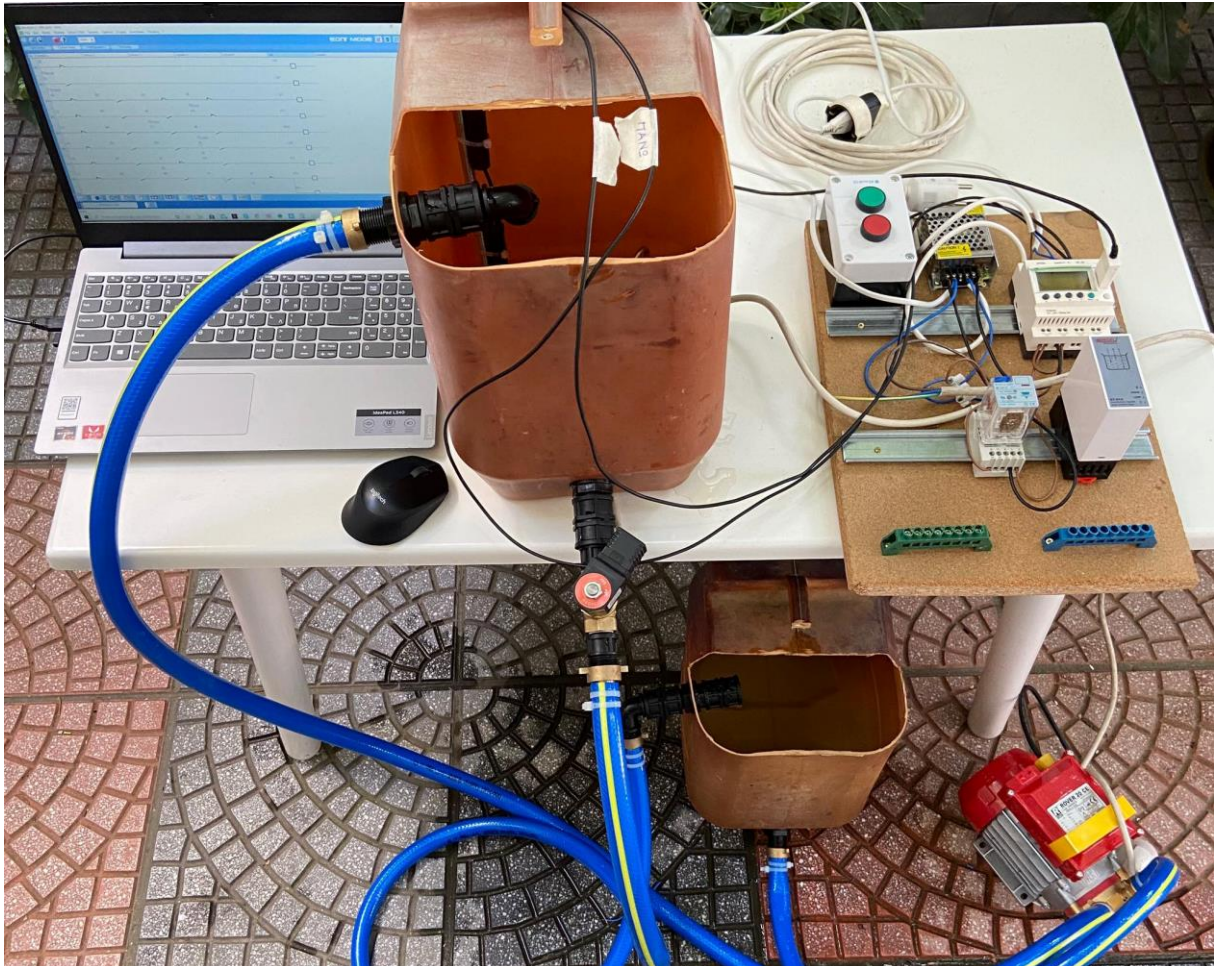
Αισθητήρες στάθμης υγρού

Χρησιμοποιήθηκαν επίσης, δύο αισθητήρια για τον έλεγχο της δεύτερης δεξαμενής. Έχουν τοποθετηθεί στο κάτω και πάνω μέρος της δεξαμενής αντίστοιχα. Η λειτουργία τους μπορεί να επιτευχθεί στα 12V και στα 24V.



Εικόνα 6.4: Τα αισθητήρια τοποθετημένα στη δεξαμενή

Επίσης χρησιμοποιήθηκαν δύο ίδια μπιτόνια χωρητικότητας 20lt, ως δεξαμές. Έχει κοπεί το πάνω μέρος ώστε να διακρίνεται η στάθμη του νερού αλλά και για να τοποθετηθούν τα αισθητήρια στα επιθυμητά σημεία. Για τη σύνδεση των δεξαμενών επιλέχθηκε λάστιχο διατομής 3/4". Για τη σύνδεση του PLC έγινε χρήση τροφοδοτικού 24V και για την ενεργοποίηση της αντλίας, ρελέ λυχνίας από 230V AC σε 24V DC.

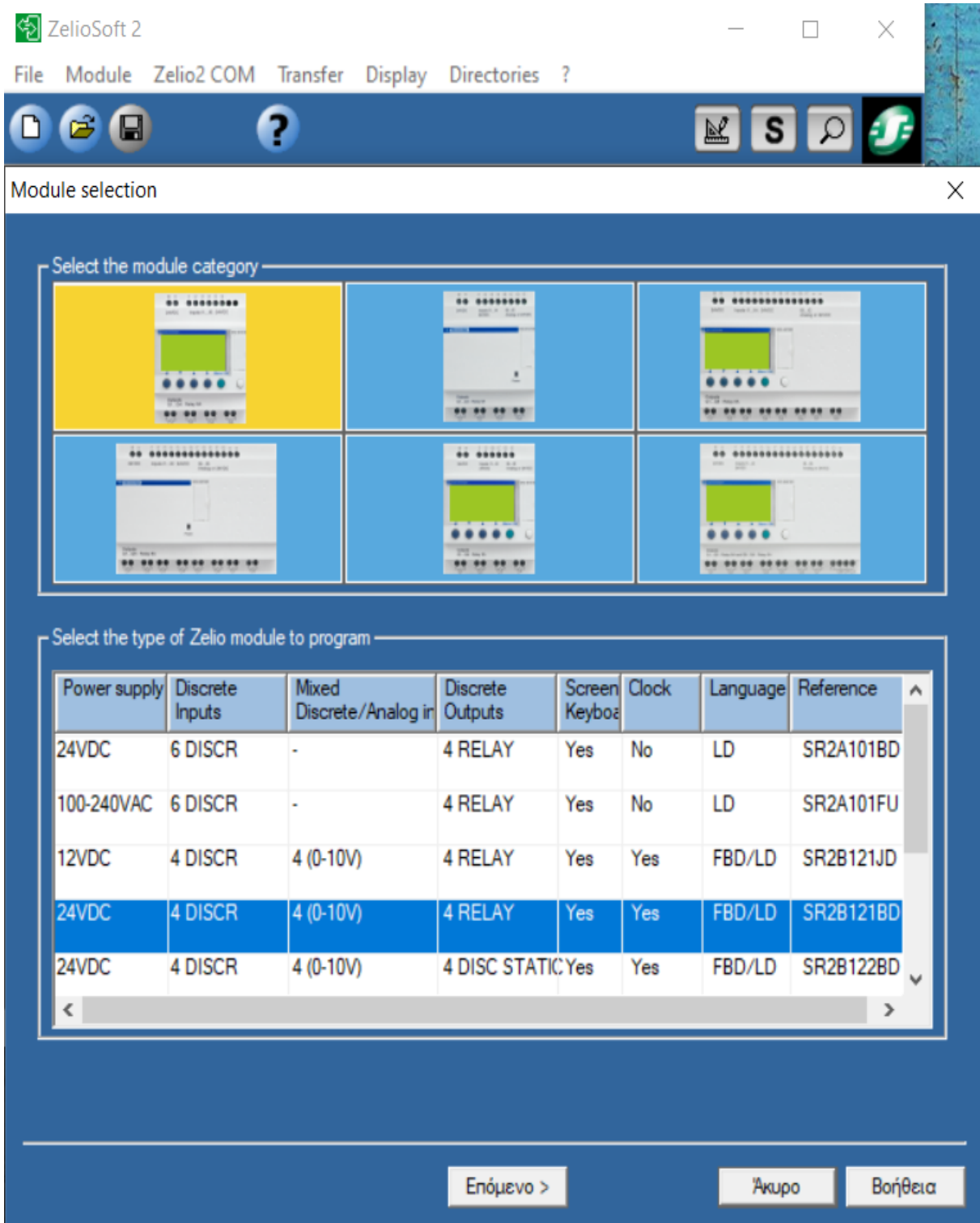


Εικόνα 6.5: Η υλοποίηση της εφαρμογής

6.3 Διαδικασία προσομοίωσης

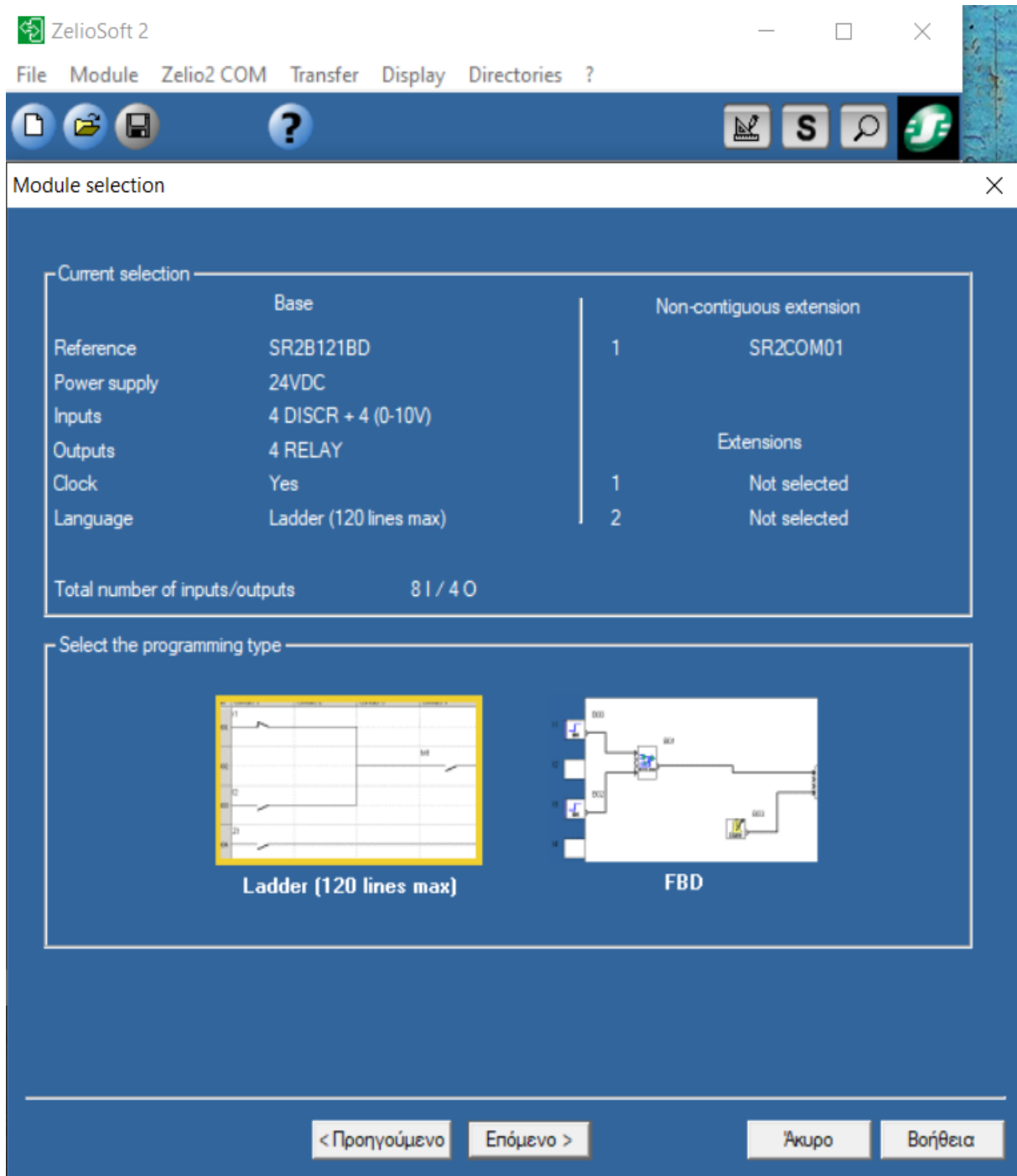
Κατά την εκκίνηση του λογισμικού ZelioSoft2, εμφανίζονται στην οθόνη 6 είδους PLC. Η επιλογή του καταλληλότερου πραγματοποιείται ανάλογα τον ελεγκτή που διαθέτουμε, την τροφοδοσία αλλά και τις εισόδους – εξόδους που διαθέτει.

Η επιλογή είναι εμφανής στο μπλέ πλαίσιο, διότι το PLC της εφαρμογής διαθέτει οθόνη, τροφοδοτείται με 24V και περιέχει 8 εισόδους (ψηφιακές και αναλογικές).



Εικόνα 6.6: Η αρχική οθόνη ενός καινούριου προγράμματος

Αμέσως μετά, καλούμαστε να επιλέξουμε ανάμεσα στις δύο γλώσσες προγραμματισμού που είναι διαθέσιμες στο εν λόγω PLC. Η επιλογή γίνεται ανάμεσα από τη γλώσσα Ladder και FBD. Θα μπορούσε να δίνεται μόνο μία επιλογή, συνήθως τη Ladder.

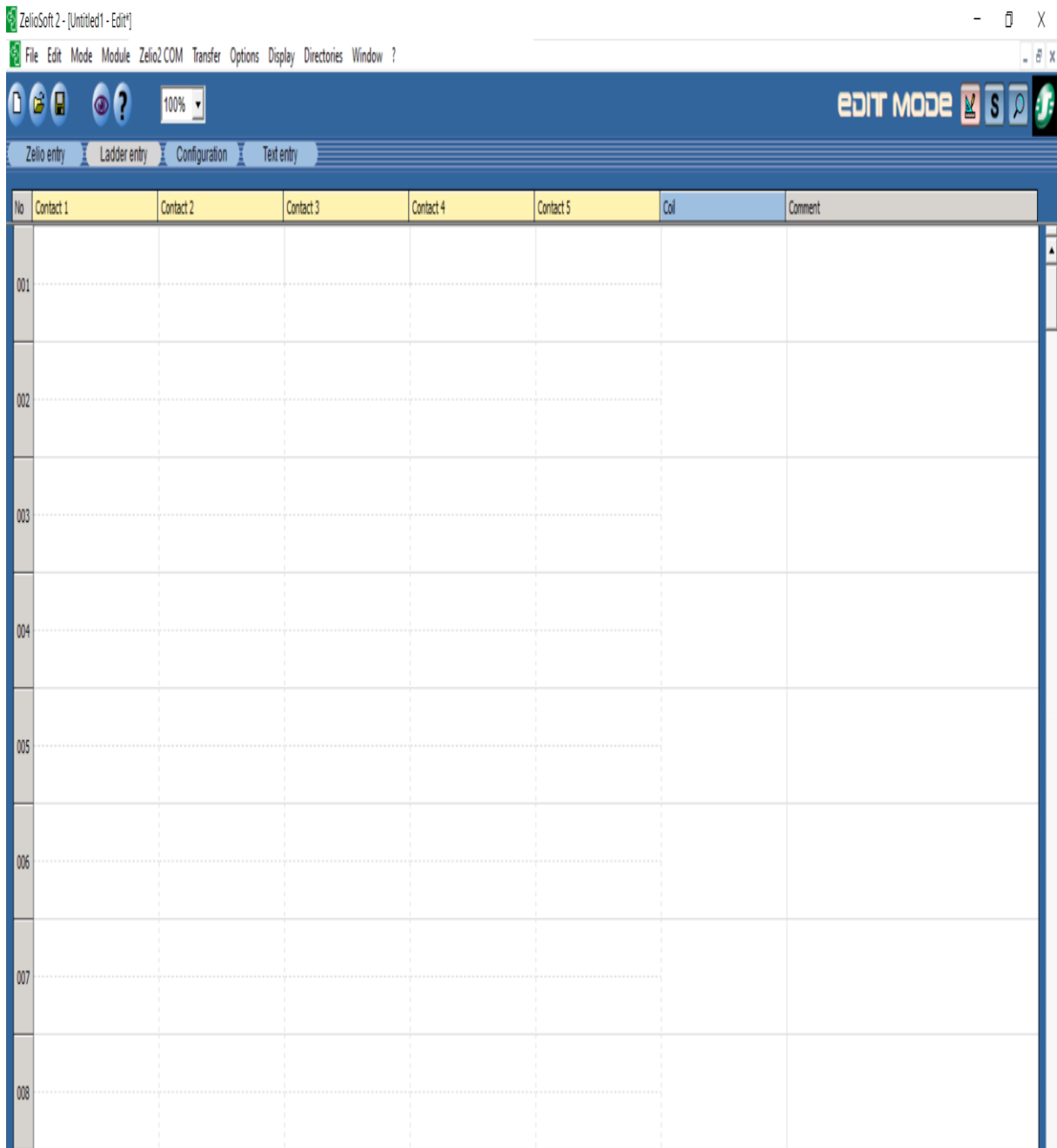


Εικόνα 6.7: Επιλογή γλώσσας προγραμματισμού

Εφόσον επιλεχτεί η γλώσσα προγραμματισμού που θα γραφτεί το πρόγραμμα, στη περίπτωση μας τη Ladder, οδηγούμαστε στο κυρίως πρόγραμμα, όπου εκεί γράφεται ή σχεδιάζεται το πρόγραμμα της εφαρμογής.

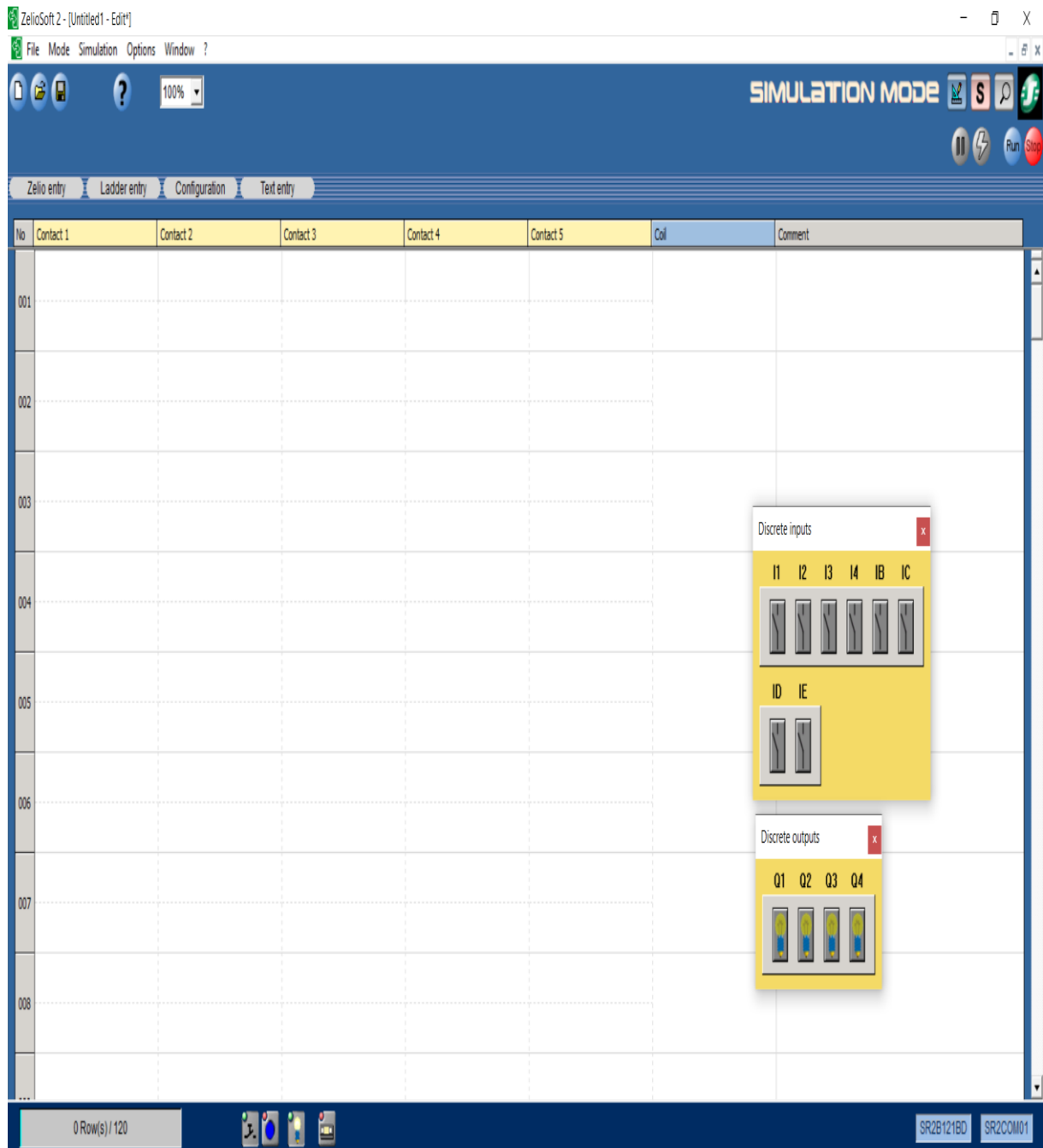
Στην αριστερή στήλη είναι τα βήματα ή αλλιώς rungs του προγράμματος. Στο κάθε rung μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε μέχρι και πέντε επαφές ως εισόδους. Στη στήλη Coil, βάζουμε την έξοδο η οποία για παράδειγμα μπορεί να είναι ένας ηλεκτρονόμος.

Όσο πάνω δεξιά διακρίνεται η λέξη «EDIT MODE», μπορούμε να επεξεργαζόμαστε το πρόγραμμα.



Εικόνα 6.8: Το μενού όπου γράφεται ο κώδικας

Όταν ολοκληρωθεί το πρόγραμμα, υπάρχει η δυνατότητα προσομοίωσης του. Είναι ένα βασικό πλεονέκτημα που διαθέτει το λογισμικό της Schneider Electric, διότι μπορούμε άμεσα να διακρίνουμε αν ο κώδικας που έχει γραφτεί μπορεί να εκτελεστεί ή έχει πρόβλημα.

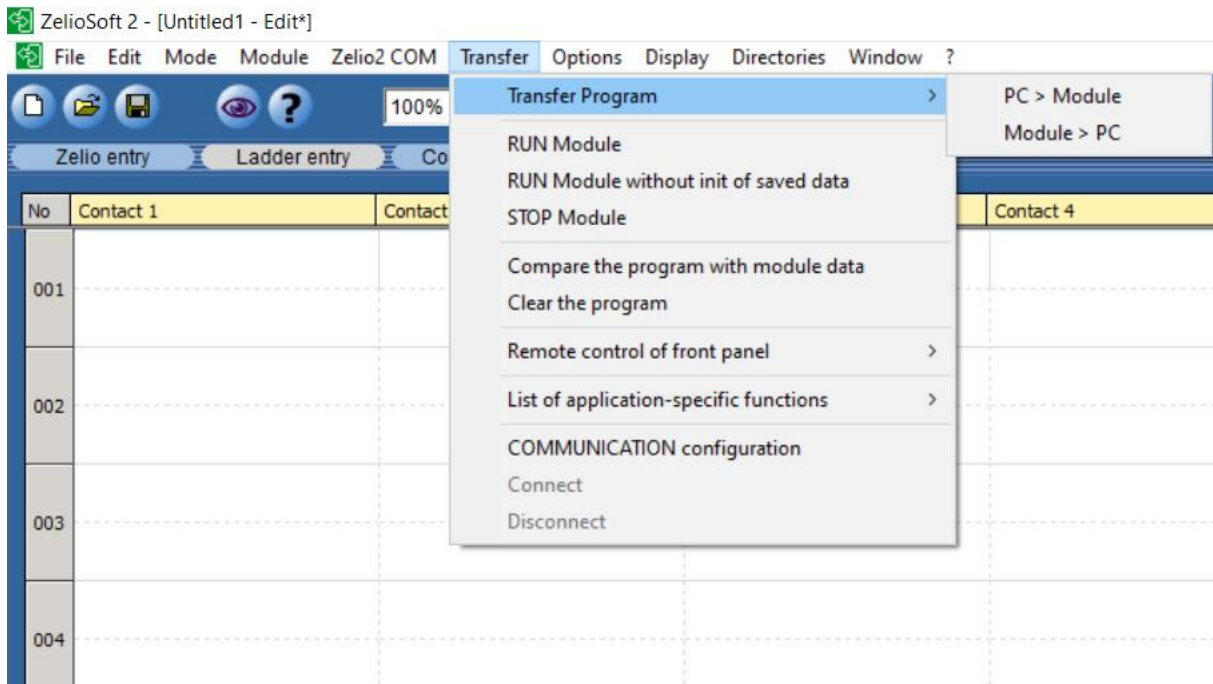


Εικόνα 6.9: Το περιβάλλον της προσομοίωσης

Πάνω δεξιά πλέον διακρίνεται το «SIMULATION MODE». Στην επιφάνεια εργασίας εμφανίζονται οι είσοδοι του προγράμματος ως ανοικτές επαφές και οι έξοδοι ως σβηστές λάμπες.

Για να λειτουργήσει η έξοδος (να ανάψει η λάμπα), θα πρέπει αναλόγως το πρόγραμμα να γίνουν οι κατάλληλες διεργασίες (να κλείσει η επαφή).

Τέλος, μόλις ολοκληρωθεί η διαδικασία του κώδικα και πραγματοποιηθεί η προσομοίωση για τυχόν σφάλματα, οδηγούμαστε από το μενού στην επιλογή «Transfer» και μέσω αυτής μπορούμε να μεταφέρουμε το πρόγραμμα, στο PLC.



Εικόνα 6.10: Το τελικό στάδιο μεταφοράς του προγράμματος

Ο κώδικας της εφαρμογής που παρουσιάζεται στο Παράρτημα Α, αποτελείται από 10 rungs.

Στα πρώτα δύο ορίζονται τα μπουτόν Start και Stop. Όταν ενεργοποιηθεί το μπουτόν Start, το πρόγραμμα ξεκινάει τη λειτουργία του. Έχει χρησιμοποιηθεί η βοηθητική μνήμη M1 για τον σκοπό αυτόν.

Στο τρίτο rung, ενεργοποιείται η αντλία, μέχρις ότου η στάθμη στη δεξαμενή ελέγχου δεν ξεπεράσει το ανώτατο όριο του αισθητήρα. Έχει γίνει επίσης η χρήση της βοηθητικής μνήμης M3 όπου δείχνει ότι η στάθμη είναι ακόμα χαμηλά.

Στο τέταρτο rung, καθώς η δεξαμενή έχει φτάσει στον αισθητήρα που έχει τοποθετηθεί στο ανώτατο όριο, απενεργοποιείται η αντλία και ενεργοποιείται ο χρονοδιακόπτης T1.

Στο πέμπτο rung, μόλις περάσουν τα 5 δευτερόλεπτα που έχουν οριστεί, χρησιμοποιείται η μνήμη M3 ως δικλείδα ασφαλείας για να μην ενεργοποιηθεί η αντλία.

Στο έκτο rung, ενεργοποιείται η ηλεκτροβάννα όσο ενεργοποιείται ο αισθητήρας που έχει τοποθετηθεί στο κατώτατο όριο.

Στο έβδομο rung, όταν το νερό φτάσει στο όριο του κατώτατου αισθητήρα, ενεργοποιείται ο χρονοδιακόπτης T2.

Τέλος χάρις στα τρία τελευταία rungs, καθώς περάσουν τα 5 δευτερόλεπτα που έχουν οριστεί παραπάνω, πετυχαίνεται η ανακυκλοφορία του συστήματος.

Κεφάλαιο 7: Συμπεράσματα και προτάσεις βελτίωσης

Η έρευνα που πραγματοποιήθηκε όσον αναφορά τον αυτοματισμό και πιο συγκεκριμένα στην υλοποίηση ενός συστήματος αυτοματισμού με τη βοήθεια του PLC, ήταν η κατάλληλη ευκαιρία ώστε να έρθω σε πρώτη επαφή με τα αισθητήρια. Επίσης, να καταπιαστώ με ηλεκτρολογικά στοιχεία, όπως είναι οι ηλεκτρονόμοι και φυσικά η δημιουργία ενός ηλεκτρολογικού πίνακα.

Ως αρχική ιδέα ήταν η δημιουργία τριών δεξαμενών, όπου ο έλεγχος των δεξαμενών θα ακολουθούσε την ίδια διαδικασία, καθώς και τη μεταφορά του νερού, από τη μία στην άλλη. Κάτι τέτοιο δεν κατέσκει δυνατό, διότι το κόστος του PLC, αλλά και των υπολοίπων ηλεκτρολογικών υλικών που χρησιμοποιήθηκαν στη κατασκευή του πίνακα, ήταν ήδη πάρα πολύ μεγάλο για την χρήση δύο δεξαμενών.

Το κόστος της της κατασκευής θα μπορούσε να μειωθεί σε μεγάλο βαθμό με τη χρήση του μικροελεγκτή Arduino, καθώς είναι ιδανικός σε μικρού είδους εφαρμογές. Παρόλα αυτά, το PLC βρίσκει χρήση σε όλες τις μεγάλες βιομηχανίες, οπότε αποτελεί εγγύο για τη μετέπειτα σταδιοδρομία.

Σε ένα πραγματικό βιομηχανικό περιβάλλον, τα προβλήματα ελέγχου είναι πιο περίπλοκα απ' αυτό που κατασκευάστηκε, οπότε είναι εύλογη η χρησιμοποίηση του βιομηχανικού λογισμικού SCADA για την εποπτεία του συστήματος από οποιοδήποτε σημείο. Επίσης, θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί ένα HMI πάνελ, ώστε ο χειριστής άμεσα να μπορεί να επέμβει στον αυτοματισμό και να αντλήσει χρήσιμες πληροφορίες.

Παράρτημα Α : Κώδικας του προγράμματος

Παρακάτω παρουσιάζεται ο κώδικας του προγράμματος που χρησιμοποιήθηκε για την υλοποίηση της εφαρμογής.

No	Contact 1	Contact 2	Contact 3	Contact 4	Contact 5	Coil
001		IC <input type="checkbox"/> Start		IB <input type="checkbox"/> Stop		I M1 <input type="checkbox"/> Εκκίνηση προγράμματος
002		M1 <input type="checkbox"/> Εκκίνηση προγράμματος				
003	M1 <input type="checkbox"/> Εκκίνηση προγράμματος	m3 <input type="checkbox"/> Χαμηλή στάθμη	IE <input type="checkbox"/> High Sensor			I Q1 <input checked="" type="checkbox"/>
004	M1 <input type="checkbox"/> Εκκίνηση προγράμματος	IE <input type="checkbox"/> High Sensor	m3 <input type="checkbox"/> Χαμηλή στάθμη			TT1 <input type="checkbox"/> 5" χρονοδιακόπτης
005	M1 <input type="checkbox"/> Εκκίνηση προγράμματος	T1 <input type="checkbox"/> 5" χρονοδιακόπτης	IE <input type="checkbox"/> High Sensor			SM3 <input type="checkbox"/> Χαμηλή στάθμη
006	M1 <input type="checkbox"/> Εκκίνηση προγράμματος	M3 <input type="checkbox"/> Χαμηλή στάθμη	ID <input type="checkbox"/> Low Sensor			I Q2 <input checked="" type="checkbox"/>
007	M1 <input type="checkbox"/> Εκκίνηση προγράμματος	ID <input type="checkbox"/> Low Sensor	M3 <input type="checkbox"/> Χαμηλή στάθμη			TT2 <input type="checkbox"/> 5" χρονοδιακόπτης
008	M1 <input type="checkbox"/> Εκκίνηση προγράμματος	M3 <input type="checkbox"/> Χαμηλή στάθμη	T2 <input type="checkbox"/> 5" χρονοδιακόπτης	ID <input type="checkbox"/> Low Sensor		RT2 <input type="checkbox"/> 5" χρονοδιακόπτης
009						RT1 <input type="checkbox"/> 5" χρονοδιακόπτης
010						RM3 <input type="checkbox"/> Χαμηλή στάθμη

Κεφάλαιο 6

Πίνακας αντιστοιχιών:

IN/OUT	SCHEMATIC	LADDER
ΕΙΣΟΔΟΣ	BUTTON STOP	IB
ΕΙΣΟΔΟΣ	BUTTON STOP	IC
ΕΙΣΟΔΟΣ	LOW SENSOR	ID
ΕΙΣΟΔΟΣ	HIGH SENSOR	IE
ΕΞΟΔΟΣ	ΑΝΤΛΙΑ	Q1
ΕΞΟΔΟΣ	ΗΛΕΚΤΡΟΒΑΝΑ	Q2

Επίσης χρησιμοποιήθηκαν 2 χρονοδιακόπτες (T1 και T2), όπως και βοηθητικές μνήμες (M1 και M3).

Βιβλιογραφικές αναφορές

Βιβλία

- [1] Richard C. Dort, Σύγχρονα Συστήματα Αυτόματου Ελέγχου, 9^η έκδοση. Εκδόσεις Τζιόλα, Θεσσαλονίκη, 2003.
- [2] Αναστασία Ν. Βελώνη, Διονύσης Κ. Κανδρής, Συστήματα Αυτόματου Ελέγχου, 1^η έκδοση, Εκδόσεις Τζιόλα, Θεσσαλονίκη.
- [3] William Kleitz, Ψηφιακά Ηλεκτρονικά, 8^η έκδοση. Εκδόσεις Τζιόλα, Θεσσαλονίκη, 2012.
- [4] Ιωάννης Μπερέτας, Αυτοματισμός με χρήση PLC. Εκδόσεις Τζιόλα, Θεσσαλονίκη, 2002.
- [5] Frank D. Petruzella, Προγραμματιζόμενοι Λογικοί Ελεγκτές, 5^η έκδοση. Εκδόσεις Τζιόλα, Θεσσαλονίκη, 2018

Internet Sites

- [6] Mikell P. Groover, “automation”. Available: <https://www.britannica.com>
- [7] “Programmable logic controller”. Available: <https://en.wikipedia.org>
- [8] Vidya Mthukrishnan, “Programmable Logic Controllers (PLCs): Basics, Types & Applications”. Available: <https://www.electrical4u.com>
- [9] “What is Arduino”. Available: <https://www.arduino.cc>
- [10] “What is Raspberry Pi”. Available: <https://www.raspberrypi.org>
- [11] “ESP32”. Available: <https://en.wikipedia.org>
- [12] “What is HMI”. Available: <https://www.copadata.com>
- [13] Cristina Alcaraz, Gerardo Fernandez, Fernando Carvajal, “Security Aspects of SCADA and DCS Environments”, 2015. Available: <https://citeseerx.ist.psu.edu>
- [14] Chamakuzhi Subramanian, “Demystifying Integration of SCADA and IoT in an Industry”, 2017. Available: <https://www.researchgate.net>
- [15] Ιωακείμ Μαμάτας, Σχεδίαση και υλοποίηση εκπαιδευτικού αναπτύγματος με τη χρήση του PLC S7-200, για τη προσομοίωση εφαρμογών αυτοματισμού. Σέρρες, 2015.