



**Α.Ε.Ι. ΠΕΙΡΑΙΑ Τ.Τ.  
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ  
ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ Τ.Ε.**

**“ΕΛΕΓΧΟΣ ΣΤΑΘΜΗΣ ΑΝΤΛΙΟΣΤΑΣΙΟΥ ΜΕ ΧΡΗΣΗ PLC  
ΚΑΙ ΔΙΑΤΑΞΗ ΑΝΑΛΟΓΙΚΟΥ ΑΙΣΘΗΤΗΡΑ”**



**Επιβλέπων Καθηγητής:** Σταύρος Καμινάρης, Αναπλ. Καθηγητής  
**Σπουδαστές:** Νικόλαος Κούκος, Α.Μ.: 41132  
Θεράπων Πατσής, Α.Μ.: 41216

**ΑΙΓΑΛΕΩ**

**Ιούνιος – 2016**

Copyright © Ανώτατο Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Πειραιά

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. Allrightsreserved.

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

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν το συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Ανώτατου Τεχνολογικού Εκπαιδευτικού Ιδρύματος Πειραιά.

## **ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ**

Η περάτωση της παρούσης πτυχιακής εργασίας σηματοδοτεί το τέλος των σπουδών μου στο τμήμα Ηλεκτρόλων Μηχανικών Τ.Ε. του ΑΕΙ Πειραιά Τ.Τ. (πρώην ΤΕΙ Πειραιά). Δράττομαι της ευκαιρίας να ευχαριστήσω τους συμφοιτητές και τους φίλους μου που μου στάθηκαν κατά τη διάρκεια των σπουδών μου αλλά και τους καθηγητές μου, οι οποίοι πέραν από τις τεχνικές γνώσεις που μου παρείχαν, με βοήθησαν να αναπτύξω τον τρόπο σκέψης μου. Ιδιαίτερα θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή μου, κ. Σταύρο Καμινάρη, με τον οποίο είχα άριστη συνεργασία και βοήθεια όποτε χρειαζόμουν το στιγμήποτε.

Τέλος, και πάνω από όλα θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένειά μου για όλα όσα μου έχει προσφέρει αυτά τα χρόνια και για την ψυχολογική υποστήριξη που μου παρέχει.

# ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Ευχαριστίες.....	iii
Περιεχόμενα .....	4
<b>1ο Κεφάλαιο “ Προγραμματιζόμενοι Λογικοί Ελεγκτές - PLC ” .....</b>	<b>5</b>
1.1    Εισαγωγή .....	5
1.2    Εσωτερική Δομή του PLC .....	6
1.2.1    Μονάδα εισόδων – εξόδων (I/O μονάδα).....	8
1.2.2    Κεντρική μονάδα επεξεργασίας (CPU) .....	9
1.2.3    Μνήμες (RAM – ROM – EPROM – EEPROM).....	9
1.3    Εξωτερικές Συνδέσεις.....	11
1.4    Τύποι PLC.....	13
1.5    Προγραμματισμός & Γλώσσες Προγραμματισμού .....	15
1.5.1    Προγραμματισμός.....	15
1.5.2    Γλώσσες Προγραμματισμού.....	15
<b>2ο Κεφάλαιο “ Inverter ” .....</b>	<b>17</b>
1.6    Γενικά.....	17
1.6.1    Κυκλώματα ισχύος του αντιστροφέα .....	19
1.6.2    Λειτουργία με τετραγωνικό παλμό τάσης .....	20
1.7    Αντιστροφείς τροφοδοτούμενοι από πηγή συνεχούς ρεύματος.....	28
1.7.1    Πλεονεκτήματα - Μειονεκτήματα .....	33
<b>3ο Κεφάλαιο “ ΑΝΤΑΙΕΣ &amp; αναλογικά ΑΙΣΘΗΤΗΡΙΑ ” .....</b>	<b>34</b>
1.8    Αντλίες .....	34
1.8.1    Ιστορική Ανασκόπηση.....	34
1.8.2    Βασικές Έννοιες .....	35
1.8.3    Κατάταξη των Αντλιών .....	36
1.9    Φυγόκεντροι Αντλίες .....	38
1.9.1    Τα εξαρτήματα της αντλίας .....	38
1.10    Αναλογικά Αισθητήρια .....	41
1.10.1    Μετρήσεις στάθμης.....	41
1.10.2    Αναλογικό Αισθητήριο Πίεσης.....	42
1.10.3    Ηλεκτρομαγνητικό ροόμετρο .....	43
<b>4ο Κεφάλαιο “ Περιγραφή &amp; Λειτουργία της Πειραματικής Διάταξης ” .....</b>	<b>48</b>
1.11    Περιγραφή της πειραματικής μας διάταξης .....	48
1.12    Λειτουργία της πειραματικής μας διάταξης .....	52
<b>5ο Κεφάλαιο “ Περιγραφή Λειτουργίας της Πειραματικής Διάταξης ” .....</b>	<b>52</b>
1.13    Περιγραφή – Παράδειγμα Λειτουργίας.....	52
<b>Παράρτημα “Κώδικας LADDER” .....</b>	<b>54</b>
<b>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΕΙΑ .....</b>	<b>55</b>

# 1ο Κεφάλαιο

## “ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΖΟΜΕΝΟΙ ΛΟΓΙΚΟΙ ΕΛΕΓΚΤΕΣ - PLC ”

### Εισαγωγή

Η τεχνική του λογικού ελέγχου βασιζόταν μέχρι πρόσφατα κυρίως στα συστήματα ενσύρματης λογικής. Η λειτουργία δηλαδή του αυτοματισμού γινόταν με την συρμάτωση ανάμεσα στα διάφορα στοιχεία (π.χ. επαφές, ρελέ, χρονικά, πύλες, κ.λ.π.). Επομένως, για να κατασκευαστεί ένας πίνακας αυτοματισμού, έπρεπε να έχει ολοκληρωθεί η μελέτη. Επιπλέον, κάθε τροποποίηση στην συνέχεια συνεπάγεται αλλαγή στην συρμάτωση (δηλ. τροποποίηση του πίνακα), με αποτέλεσμα να δημιουργούνται πολλά προβλήματα όπως αν φθάνουν ή όχι οι επαφές, αν υπάρχει χώρος για προσθήκη νέου υλικού κ.λ.π.

Για να ξεπεράσουμε όλα αυτά τα προβλήματα, που να σημειώσουμε ότι εντείνονταν συνεχώς, αφού οι απαιτούμενοι αυτοματισμοί ήταν όλο και πιο σύνθετοι, προχωρήσαμε σε αυτοματισμούς με εντελώς διαφορετική λογική. Περνώντας πρώτα από αυτοματισμούς με ηλεκτρονικά κυκλώματα με χρήση τρανζίστορ, διόδων, πυλών κ.λ.π. ( που έλυσαν βέβαια κάποια προβλήματα), και με δεδομένη την συνεχώς αυξανόμενη χρήση των Η/Υ (άρα και την ελάττωση του κόστους τους που αρχικά ήταν αρκετά υψηλό), φθάσαμε στους αυτοματισμούς με βάση την προγραμματισμένη λογική.

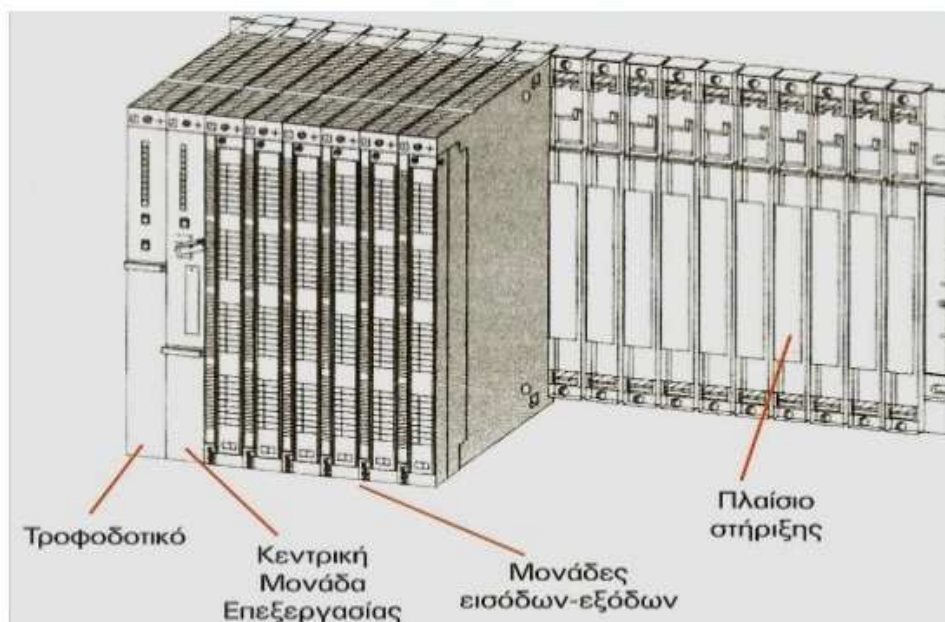
Οι αυτοματισμοί αυτοί υλοποιούνταν με την χρήση κυρίως μικροεπεξεργαστή, μνημών ROM – RAM και I/O CHIPS. Το κύριο πρόβλημα που δημιουργήθηκε ήταν ότι τόσο η κατασκευή του κυκλώματος, όσο και ο προγραμματισμός του

μικροεπεξεργαστή απαιτεί πολύ υψηλή τεχνογνωσία. Επιπλέον, οι κάρτες των μικροεπεξεργαστών παρουσιάζουν προβλήματα όταν δουλεύουν σε περιβάλλον με μεγάλο βιομηχανικό θόρυβο, υγρασία, κ.λ.π.

Η λύση τελικά που γεφύρωσε το χάσμα ανάμεσα στα δύο συστήματα υλοποίησης αυτοματισμών ήταν ο προγραμματιζόμενος λογικός ελεγκτής – PLC. Πρόκειται για μία συσκευή, που δέχεται εισόδους και οδηγεί εξόδους, με βάση ένα πρόγραμμα που γράφεται σε μία ιδιαίτερα απλή γλώσσα και αποθηκεύεται στην συσκευή.

## Εσωτερική Δομή του PLC

Οι προγραμματιζόμενοι λογικοί ελεγκτές λειτουργούν με την μέθοδο της εξεργασίας πληροφοριών. Η δομή τους βασίζεται σε αυτήν των ηλεκτρονικών υπολογιστών αφού η καρδιά ενός προγραμματιζόμενου ελεγκτή είναι ο επεξεργαστής. Είναι ικανοί να λαμβάνουν δεδομένα μέσω των εισόδων που διαθέτουν και να δίνουν εντολές μέσω των εξόδων τους.



Εικόνα 1 Δομή του PLC



### 1.1.1 Μονάδα εισόδων – εξόδων (I/O μονάδα)

#### Είσοδος

Σκοπός της μονάδας εισόδου είναι να λαμβάνει σήματα από τις διάφορες συσκευές εισόδου και να τα προσαρμόζει σε σήματα που αναγνωρίζει ο επεξεργαστής. Κάθε ακροδέκτης εισόδου έχει ένα μοναδικό αριθμό ή όνομα, την ταυτότητά του, η οποία κάνει κάθε είσοδο μοναδική ώστε να μην συγχέεται με άλλο στοιχείο.

Η ταυτότητα αναγνώρισης ονομάζεται διεύθυνση και καθορίζεται από τον κατασκευαστή. Έχει επικρατήσει η είσοδοι να συμβολίζονται με το γράμμα I (*input*). Τα νούμερα τα οποία πάντα ακολουθούν αμέσως μετά δείχνουν τον αριθμό της μονάδας βάσης (*baseunit*) ή της μονάδας προέκτασης (*extensionunit*) και τον αριθμό της εισόδου αντίστοιχα. Σε έναν ακροδέκτη εισόδου μπορούν να συνδεθούν μπουτόν, αισθητήρες και γενικά διακόπτες που αλλάζουν κατάσταση λόγω εξωτερικών γεγονότων ή φυσικών μεγεθών.

#### Εξοδος

Σκοπός αυτής της μονάδας είναι να μεταφέρει τα σήματα εξόδου από τον επεξεργαστή στους ακροδέκτες εξόδου όπου συνδέονται τα διάφορα υπό έλεγχο φορτία. Κάθε ακροδέκτης εξόδου έχει ένα μοναδικό όνομα, την διεύθυνση του το οποίο καθορίζεται από τον κατασκευαστή και δεν μπορεί να αλλαχτεί. Η διεύθυνση είναι το μέσο που χρησιμοποιεί ο ελεγκτής για να στείλει κάποιο σήμα σε μία από τις συσκευές εξόδου.

Οι έξοδοι είναι το αποτέλεσμα των λογικών καταστάσεων των εισόδων σε συνδυασμό με τις εντολές του προγράμματος. Στους ακροδέκτες εξόδου συνδέονται τα ηλεκτρικά κυκλώματα που επιθυμούμε να ελέγξουμε. Έχει επικρατήσει ο συμβολισμός των εξόδων να γίνεται με το γράμμα Q. Το νούμερο αμέσως μετά που ακολουθεί δείχνει τον αριθμό της βάσης ή προέκτασης και το τελευταίο νούμερο τον αριθμό της εξόδου.



### **1.1.2 Κεντρική μονάδα επεξεργασίας (CPU)**

Σκοπός αυτής της μονάδας επικοινωνίας είναι η σύνδεση μεταξύ του ελεγκτή και της συσκευής προγραμματισμού. Η συγκεκριμένη μονάδα είναι επίσης υπεύθυνη για την μεταφορά του προγράμματος στον ελεγκτή ώστε να συμβεί η εκτέλεσή του. Μέσω της ίδιας μονάδας πραγματοποιείται και η μεταφορά δεδομένων από τον ελεγκτή στην συσκευή προγραμματισμού.

Σε όλους τους προγραμματιζόμενους λογικούς ελεγκτές, το μόνο εμφανές σημείο της μονάδας επικοινωνίας είναι η ενσωματωμένη θύρα πάνω στην οποία συνδέεται το καλώδιο δεδομένων. Η θύρα αυτή βρίσκεται συνήθως στην πρόσοψη του ελεγκτή.

### **1.1.3 Μνήμες (RAM – ROM – EPROM – EEPROM)**

#### Μνήμη RAM

Η μνήμη RAM ανήκει στην κατηγορία των πτητικών μνημών. Οι πτητικές μνήμες είναι οι μνήμες που δεν έχουν την δυνατότητα να διατηρούν τα δεδομένα τους σε περίπτωση διακοπής της τροφοδοσίας τους. Οι μνήμες τυχαίας προσπέλασης (RAM) είναι σχεδιασμένες έτσι ώστε οι πληροφορίες να μπορούν να γράφονται σε αυτήν και να διαβάζονται από αυτήν. Η μνήμη RAM χρησιμοποιείται για την μνήμη του χρήστη. Το πρόγραμμα του χρήστη, οι τιμές των μετρητών και των χρονιστών, οι καταστάσεις των εισόδων και εξόδων αποθηκεύονται σε αυτήν την μνήμη. Κατά την λειτουργία του προγραμματιζόμενου ελεγκτή, το περιεχόμενο της μνήμης RAM μπορεί να μεταβληθεί αρκετές φορές.

Η μνήμη RAM δεν έχει την ικανότητα διατήρησης των δεδομένων της σε περίπτωση διακοπής της τροφοδοσίας της. Για αυτόν τον λόγο, προστατεύεται από μια μπαταρία. Αυτές οι μνήμες έχουν χαμηλή κατανάλωση ρεύματος και μπορούν να διατηρηθούν για μεγάλο διάστημα υπό την τροφοδοσία μιας μπαταρίας.

### Μνήμη ROM

Η μνήμη ROM είναι σχεδιασμένη ώστε οι πληροφορίες που περιέχει να είναι μόνο για ανάγνωση. Τα δεδομένα της μνήμης αυτής είναι τοποθετημένα από τον κατασκευαστή για εσωτερική χρήση και λειτουργία του P.L.C. Οι μόνοι για ανάγνωση μνήμες είναι αμετάβλητες και χρησιμοποιούνται από τον ελεγκτή ως λειτουργικό σύστημα. Το λειτουργικό σύστημα εισάγεται στη μνήμη ROM από τον κατασκευαστή του ελεγκτή και ελέγχει το λογισμικό που χρησιμοποιεί ο χρήστης για τον προγραμματισμό.

### Μνήμη EPROM

Η μνήμη EPROM είναι μία προγραμματιζόμενη μνήμη μόνο για ανάγνωση η οποία μπορεί να σβηστεί. Πρόκειται για μία ειδική τύπου μνήμη PROM η οποία έχει την δυνατότητα επαναπρογραμματισμού, αφού διαγραφεί εντελώς με τη χρήση υπεριώδους φωτός. Η μνήμη EPROM χρησιμοποιείται για να αποθηκεύσει ή να μεταφέρει προγράμματα.

### Μνήμη EEPROM

Ηλεκτρικά Διαγραφόμενη Μνήμη Μόνο Ανάγνωσης. Η μνήμη EEPROM είναι μια μνήμη όπου μπορεί να προσφέρει την ίδια ελαστικότητα με μία μνήμη RAM, μπορεί να σβηστεί και να γραφούν πάνω της νέα δεδομένα και πληροφορίες. Η διαγραφή τέτοιου είδους μνημών γίνεται μόνο ηλεκτρικά και όχι με τη χρήση υπεριώδους φωτός. Έχει την δυνατότητα μόνιμης αποθήκευσης του προγράμματος, ένα πρόγραμμα το οποίο μπορεί εύκολα να αλλάξει. Οι μνήμες EEPROM χρησιμοποιούνται για αποθήκευση, εκτέλεση και μεταφορά προγραμμάτων.

## **Εξωτερικές Συνδέσεις**

Προκειμένου να τεθεί σε λειτουργία ένας προγραμματιζόμενος λογικός ελεγκτής και να εκτελέσει κάποιες εντολές, απαιτούνται τέσσερις εξωτερικές συνδέσεις. Οι συνδέσεις αυτές γίνονται με τα ανάλογα καλώδια και μάλιστα πρέπει να τηρούνται όλοι οι κανονισμοί ασφαλείας.

### Σύνδεση του P.L.C. με ηλεκτρονικό υπολογιστή

Κάθε προγραμματιζόμενος ελεγκτής διαθέτει μια θύρα, η οποία χρησιμοποιείται για την σύνδεση με τον υπολογιστή ή μια ειδική μονάδα προγραμματισμού. Σκοπός της θύρας είναι να μεταφερθεί το πρόγραμμα στη μνήμη του P.L.C., να παρακολουθείται η σωστή εκτέλεση του και να εντοπίζονται τυχόν βλάβες στις εισόδους και στις εξόδους. Στη θύρα αυτή συνδέεται ένα καλώδιο με ειδικό βύσμα, από την μεριά του προγραμματιζόμενου ελεγκτή, ενώ στην άλλη μεριά συνήθως συνδέεται σε μία σειριακή θύρα ή θύρα USB του Η/Υ. Το καλώδιο αυτό μεταφέρει δεδομένα και για αυτό το λόγο ενώ είναι μοναδικό για κάθε τύπο προγραμματιζόμενου ελεγκτή.

### Σύνδεση των ακροδεκτών εισόδου

Στους ακροδέκτες εισόδου συνδέονται, όπως προαναφέρθηκε, μπουτόν, αισθητήρες, διακόπτες κ.α. Είναι οι παράμετροι που με την αλλαγή των καταστάσεων τους και σε συνδυασμό με το πρόγραμμα, προκαλούν την αλλαγή των καταστάσεων στις εξόδους. Οι αγωγοί που απαιτούνται για την σύνδεση των συσκευών εισόδου διαρρέονται από ρεύμα και πρέπει να ασφαρίζονται, εκτός και αν έχει γίνει πρόβλεψη από τον κατασκευαστή. Οι διαφορές των προγραμματιζόμενων λογικών ελεγκτών ανάμεσα στους ακροδέκτες εισόδου είναι το επίπεδο τάσης που αναγνωρίζεται σαν λογικό '1' και '0'.

### Σύνδεση των ακροδεκτών εξόδου

Οι έξοδοι είναι το αποτέλεσμα των λογικών καταστάσεων των εισόδων σε συνδυασμό με τις εντολές του προγράμματος. Στους ακροδέκτες εξόδου ενός προγραμματιζόμενου ελεγκτή συνδέονται τα προς έλεγχο ηλεκτρικά κυκλώματα αυτοματισμού μιας παραγωγικής διαδικασίας. Συνήθως, οι έξοδοι ενός P.L.C. είναι μία επαφή ON/OFF η οποία οδηγεί το υπό έλεγχο κύκλωμα. Σε μια τέτοια περίπτωση, θα πρέπει να δίνεται ιδιαίτερη προσοχή στην τιμή του ρεύματος που διαρρέει την επαφή ώστε να μην υπερβαίνει την τιμή που ορίζει ο κατασκευαστής και καταστραφεί.

### Τροφοδοσία του ελεγκτή

Όπως κάθε συσκευή, έτσι και κάθε προγραμματιζόμενος ελεγκτής απαιτεί τροφοδοσία. Αυτή μπορεί να γίνει κάνοντας χρήση της τάσης του δικτύου ή ενός χαμηλότερου επιπέδου τάσης κάποιου τροφοδοτικού. Σκοπός της τροφοδοσίας είναι όχι μόνο η παροχή των κατάλληλων τιμών τάσεων για τη λειτουργία των εσωτερικών λειτουργιών, αλλά και η διατήρηση των περιεχομένων της μνήμης

## Τύποι PLC

Δύο είναι οι βασικοί τύποι των PLC: τα **compact** και τα **modular**. Τα πρώτα είναι περιορισμένων δυνατοτήτων, συνήθως έχουν 48 το πολύ εισόδους / εξόδους (48 I/O) όλες ψηφιακές, καθώς και λίγα χρονικά και αναριθμητές. Τα παλαιότερα μοντέλα δεν ήταν επεκτάσιμα (δηλαδή δεν μπορούσαμε να αυξήσουμε τον αριθμό των εισόδων ή των εξόδων). Στα νεότερα μοντέλα όμως υπάρχει η δυνατότητα μικρής επέκτασης. Πλεονέκτημά τους το χαμηλό κόστος.

Τα δεύτερα παρουσιάζουν περισσότερα πλεονεκτήματα, σε αντιστάθμιση του υψηλότερου κόστους τους. Με τα modular δημιουργούμε την κατασκευή που μας εξυπηρετεί καλύτερα και χρησιμοποιούνται, συνήθως, όταν έχουμε αρκετά μεγάλο αριθμό εισόδων και εξόδων.

Η δημιουργία της μονάδας που μας χρειάζεται γίνεται ως εξής:

Πάνω σε μία βάση, που ονομάζεται RAC, συνδέουμε διαδοχικά τις βαθμίδες (modules) του τροφοδοτικού, της CPU, των εισόδων και των εξόδων (κάποιες εταιρείες ενσωματώνουν στο RAC και την CPU, ενώ άλλες το τροφοδοτικό). Τα PLC αυτά έχουν το πλεονέκτημα της επέκτασης, μπορούμε δηλαδή να αυξήσουμε με τις δυνατότητες της συσκευής μας, προσθέτοντας απλά βαθμίδες. Στα παρακάτω σχήματα απεικονίζονται δύο τέτοια PLC, ένα modular και ένα compact.



*Εικόνα 2 Modular PLC*



*Εικόνα 3 Compact PLC*

## Προγραμματισμός & Γλώσσες Προγραμματισμού

### 1.1.4 Προγραμματισμός

Όταν αναφερόμαστε σε «προγραμματισμό» μιας συσκευής, εννοούμε ένα σύνολο εντολών, με τις οποίες καθορίζουμε στη συσκευή τι πρέπει να κάνει, δηλαδή ποιες εξόδους πρέπει να ενεργοποιήσει, όταν ενεργοποιηθούν οι αντίστοιχες είσοδοι.

Η κάθε εταιρεία χρησιμοποιεί τις δικές της εντολές για τον προγραμματισμό των συσκευών της. Οι εντολές αυτές, βέβαια μοιάζουν μεταξύ τους ως προς τη λειτουργία τους, διαφέρει όμως ο συμβολισμός τους.

Ο προγραμματισμός ενός PLC, μπορεί να γίνει είτε μέσω ενός *programmer* χειρός, είτε μέσω ηλεκτρονικού υπολογιστή Η/Υ, με κατάλληλο λογισμικό. Η συσκευές χειρός είναι πιο εύχρηστες, έχουν όμως το μειονέκτημα ότι δεν δίνουν εποπτική εικόνα του προγράμματος, αφού απεικονίζουν το πολύ τρεις γραμμές εντολών. Αντίθετα, οι Η/Υ δίνουν την δυνατότητα στον προγραμματιστή να παρακολουθεί καλύτερα το πρόγραμμα που αναπτύσσει. Συνήθως χρησιμοποιείται Η/Υ για την αρχική δημιουργία του προγράμματος και συσκευή χειρός για τις μεταβολές στο πρόγραμμα, που γίνονται στον τόπο λειτουργίας του PLC.

### 1.1.5 Γλώσσες Προγραμματισμού

Για τα PLC που κυκλοφορούν στο εμπόριο υπάρχουν τρεις τρόποι (γλώσσες) προγραμματισμού:

- Με την μορφή διαγραμμάτων επαφών ( Ladderdiagramή απλά LAD)
- Με την μορφή λίστας εντολών (Statementlist)
- Με την μορφή λογικού διαγράμματος συναρτήσεων (Controlssystemflowchart)

Ο πρώτος τρόπος είναι ο παλαιότερος και επικρατέστερος (Control system flow chart) ιδιαίτερες γνώσεις προγραμματισμού και, επιπλέον, έχει το πλεονέκτημα της καλύτερης εποπτείας του αυτοματισμού. Επινοήθηκε για να διευκολύνει τη μετάβαση από την τεχνολογία των ηλεκτρονόμων (H/N) – στην οποία για πολλά χρόνια στηρίχθηκε η σχεδίαση των βιομηχανικών αυτοματισμών – στην τεχνολογία των PLC. Η βασική επιδίωξη κάθε προγράμματος στην γλώσσα LAD είναι να αναγνωρίζεις τις λογικές συνθήκες των εισόδων και να προσδιορίζει τις λογικές τιμές εξόδων, από τις λογικές σχέσεις που υπάρχουν μεταξύ των εισόδων και εξόδων του PLC. Αυτό επιτυγχάνεται με την χρήση γραφικών συμβόλων, ομοίων με αυτών που χρησιμοποιούνται για το συμβολισμό επαφών και πηνίων H/N. Μειονέκτημα του ότι απαιτεί μεγάλη οθόνη, με αποτέλεσμα, όταν ο προγραμματισμός γίνεται με συσκευή χειρός (headmaster), να είναι εξαιρετικά δυσχερής.

Ο δεύτερος τρόπος απαιτεί καλή γνώση προγραμματισμού, αφού το πρόγραμμα γράφεται σαν ένα οποιοδήποτε πρόγραμμα ενός H/Y (χρησιμοποιώντας τις γραμματικές και, κυρίως, όταν ο προγραμματισμός γίνεται με συσκευή χειρός.

Ο τρίτος τρόπος πλησιάζει περισσότερο προς την σχεδίαση ηλεκτρικών κυκλωμάτων με πύλες. Εδώ το πρόγραμμα «χτίζεται» σαν ένα διάγραμμα βαθμίδων, όπου η κάθε βαθμίδα αντιστοιχεί σε μία συνάρτηση και έχει το δικό της σύμβολο. Χρησιμοποιείται από προγραμματιστές εξοικειωμένους με τα λογικά κυκλώματα.



# 2ο Κεφάλαιο

## “ INVERTER ”

### 2.1 Γενικά

Αρχικά θα γίνει αναφορά σχετικά με τους αντιστροφείς που χρησιμοποιούνται για τον έλεγχο τριφασικών επαγωγικών κινητήρων, και είναι γνωστοί στην αγορά και τη βιομηχανία ως INVERTER. Οι αντιστροφείς είναι ηλεκτρονικές διατάξεις ισχύος που έχουν σαν σκοπό τη μετατροπή μιας συνεχούς τάσης ή πηγής συνεχούς ρεύματος σε εναλλασσόμενη τάση με μεταβλητή συχνότητα και πλάτος, και για το λόγο αυτό πολλές φορές αναφέρονται και ως μετατροπείς D.C./A.C.

Οι αντιστροφείς βρίσκουν εφαρμογή σε πολλούς τομείς κυρίως της βιομηχανίας και της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας όπως:

- Συστήματα ελέγχου κινητήρων εναλλασσόμενου ρεύματος.
- Διατάξεις ελέγχου της θερμοκρασίας με επαγωγή.
- Συστήματα μεταφοράς και παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.
- Συστήματα ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.
- Συστήματα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από κυψέλες υδρογόνου.
- Συστήματα διόρθωσης συντελεστή ισχύος.
- Συστήματα αδιάλειπτης παροχής ισχύος.
- Ενεργά φίλτρα για μείωση των αρμονικών για την καλύτερη ποιότητα της ηλεκτρικής ισχύος.

Οι αντιστροφείς στην πράξη αποτελούνται από δυο τμήματα τα οποία και είναι:

- Το κύκλωμα ελέγχου του αντιστροφέα.
- Το κύκλωμα ισχύος του αντιστροφέα.

Το κύκλωμα ισχύος του inverter μπορεί να χωριστεί σε δυο επιμέρους τμήματα, τα οποία είναι:

- Ο ανορθωτής.
- Ο αντιστροφέας.

Ο ανορθωτής με την σειρά του μπορεί να χωριστεί στις εξής κατηγορίες:

- Σε ημιανορθωτή.
- Σε γέφυρα πλήρους ανόρθωσης.
- Σε τριφασικό ημιανορθωτή.
- Σε πλήρης τριφασικό ανορθωτή.

Στην εργασία αυτή, εξετάζονται συγκεκριμένα αντιστροφείς για τον έλεγχο τριφασικών κινητήρων. Σήμερα στη βιομηχανία, η βασική διάκριση των inverter για τον έλεγχο των τριφασικών κινητήρων είναι ανάλογα με την τάση στην είσοδο:

- Σε μονοφασικούς αντιστροφείς.
- Σε τριφασικούς αντιστροφείς.

Όπως αναφέραμε και πιο πάνω οι αντιστροφείς έχουν σαν σκοπό τη μετατροπή μια συνεχούς τάσης ή πηγής συνεχούς ρεύματος σε εναλλασσόμενη τάση με μεταβλητή συχνότητα και πλάτος. Οι αντιστροφείς ανάλογα με την πηγή διακρίνονται σε :

- Αντιστροφείς τροφοδοτούμενοι από πηγή συνεχούς τάσης.
- Αντιστροφείς τροφοδοτούμενοι από πηγή συνεχούς ρεύματος.

Οι Αντιστροφείς τροφοδοτούμενοι από πηγή συνεχούς τάσης μπορούν να χωριστούν στις εξής κατηγορίες:

- Αντιστροφείς διαμόρφωσης εύρους παλμού (PWM).
- Αντιστροφείς με τετραγωνική κυματομορφή.

Οι Αντιστροφείς τροφοδοτούμενοι από πηγή συνεχούς ρεύματος μπορούν να υποδιαιρεθούν σε:

- Μονοφασικούς αντιστροφείς σε συνδεσμολογία ημιγέφυρας.
- Μονοφασικούς αντιστροφείς σε συνδεσμολογία γέφυρας.
- Τριφασικούς αντιστροφείς σε συνδεσμολογία ημιγέφυρας.

Στην συνέχεια θα αναλύσουμε το κύκλωμα ισχύος του αντιστροφέα και τις επιμέρους κατηγορίες που αναφέραμε πιο πάνω.

### **2.1.1. Κυκλώματα ισχύος του αντιστροφέα**

Το κύκλωμα ισχύος όπως αναφέρθηκε, αποτελείται από δυο τμήματα. Το πρώτο τμήμα είναι ο ανορθωτής, ο οποίος μετατρέπει την εναλλασσόμενη ημιτονοειδή τάση σε συνεχή τάση.

Ο ανορθωτής μπορεί να είναι ανάλογα με την τάση τροφοδοσίας:

- Μονοφασικός.
- Τριφασικός.

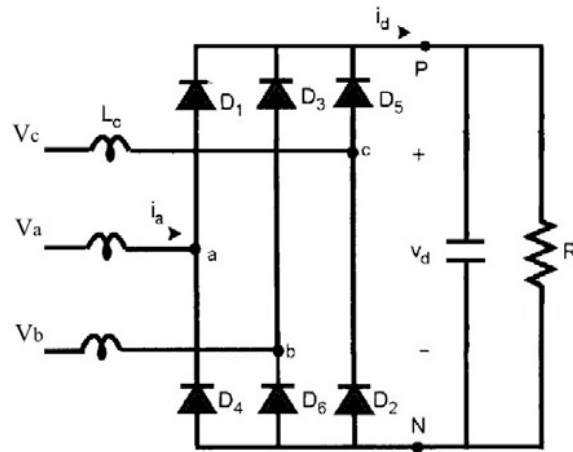
Με την σειρά τους ο μονοφασικός ανορθωτής χωρίζεται σε:

- Ημιανορθωτή.
- Γέφυρα πλήρους ανόρθωσης.

Ο Τριφασικός ανορθωτής χωρίζεται στον:

- Τριφασικό ημιανορθωτή.
- Πλήρης τριφασικό ανορθωτή.

Ο ανορθωτής μπορεί να είναι ελεγχόμενος ή μη. Αυτό σημαίνει ότι το πλάτος της συνεχούς τάσης εξόδου μπορεί να μην ελέγχεται και να παραμένει σταθερό ή να ελέγχεται και να μεταβάλλεται ανάλογα με τις απαιτήσεις οδήγησης ενός κινητήρα συνεχούς ρεύματος. Ένα  $\zeta$  μη ελεγχόμενος ανορθωτής χρησιμοποιείται συνήθως για να επιτρέψει απλά την τροφοδοσία ενός κινητήρα συνεχούς ρεύματος από μια πηγή εναλλασσομένου ρεύματος, ενώ ένας ελεγχόμενος ανορθωτής χρησιμοποιείται όταν είναι επιπλέον αναγκαίος και ο έλεγχος του κινητήρα συνεχούς που τροφοδοτεί. Υπάρχει και η τελευταία περίπτωση όπου ο ανορθωτής (ελεγχόμενος ή μη) χρησιμοποιείται για να τροφοδοτήσει έναν ελεγχόμενο αντιστροφέα όταν έχουμε εναλλασσόμενη τροφοδοσία και έναν κινητήρα εναλλασσομένου ρεύματος, τον οποίο επιθυμούμε να ελέγξουμε με τον αντιστροφέα.



Εικόνα 4

### 2.1.2. Λειτουργία με τετραγωνικό παλμό τάσης

Στην λειτουργία αυτή η φασική τάση εξόδου του αντιστροφέα έχει την μορφή τετραγωνικού παλμού από όπου έχει πάρει και την ονομασία του. Η θεμελιώδης αρμονική συνιστώσα του τετραγωνικού παλμού που είναι ημιτονοειδής προσεγγίζει την επιθυμητή ημιτονοειδή τάση εξόδου. Η πραγματική τάση εξόδου όμως, που είναι τετραγωνικός παλμός, φέρει πέραν της θεμελιώδους αρμονικής συνιστώσας και όλο εκείνο το ανώτερο αρμονικό περιεχόμενο που συνεπάγεται κάθε τετραγωνικός παλμός.

Από την ανάλυση κατά Fourier, προκύπτουν οι παρακάτω αναλυτικές εκφράσεις για τις φασικές τάσεις, με αναφορά τον τεχνικό κόμβο 'Ο'.

$$V_{a0}(t) = \frac{2V_d}{\pi} \left[ \cos \omega t + \frac{1}{3} \cos 3\omega t + \frac{1}{5} \cos 5\omega t + \dots \right]$$

και επειδή:

$$V_{b0} = V_{a0}(\omega t - 120^\circ)$$

$$V_{c0} = V_{a0}(\omega t + 120^\circ)$$

$$V_{b0}(t) = \frac{2V_d}{\pi} \left[ \cos(\omega t - 120^\circ) + \frac{1}{3} \cos 3(\omega t - 120^\circ) + \frac{1}{5} \cos 5(\omega t - 120^\circ) + \dots \right]$$

$$V_{c0}(t) = \frac{2V_d}{\pi} [\cos(\omega t + 120^\circ) + \frac{1}{3} \cos 3(\omega t + 120^\circ) + \frac{1}{5} \cos(\omega t + 120^\circ) + \dots]$$

Οι πολικές τάσεις προκύπτουν από τις σχέσεις:

$$V_{ab}(t) = V_{\alpha 0}(t) - V_{b0}(t)$$

$$V_{bc}(t) = V_{b0}(t) - V_{c0}(t)$$

$$V_{ca}(t) = V_{c0}(t) - V_{\alpha 0}(t)$$

Επομένως:

$$V_{ab}(t) = \frac{2\sqrt{3}V_d}{\pi} [\cos(\omega t + 30^\circ) - \frac{1}{5} \cos(5\omega t + 30^\circ) - \frac{1}{7} \cos(7\omega t + 30^\circ) - \dots]$$

$$V_{bc}(t) = \frac{2\sqrt{3}V_d}{\pi} [\cos(\omega t - 90^\circ) - \frac{1}{5} \cos(5\omega t - 90^\circ) - \frac{1}{7} \cos(7\omega t - 90^\circ) - \dots]$$

$$V_{ca}(t) = \frac{2\sqrt{3}V_d}{\pi} [\cos(\omega t + 150^\circ) - \frac{1}{5} \cos(5\omega t + 150^\circ) - \frac{1}{7} \cos(7\omega t + 150^\circ) - \dots]$$

Όπου  $V_d$  η συνεχής τάση εισόδου. Στις πολικές τάσεις, όπως περιμέναμε άλλωστε, το πλάτος είναι  $\sqrt{3}$  φορές το πλάτος της φασικής τάσης, ενώ η πολική τάση προηγείται κατά 30ο της αντίστοιχης φασική

Στην περίπτωση που έχουμε συνδεδεμένο σε αστέρα φορτίο οι τάσεις στα άκρα του θα είναι ίσες με την διαφορά δυναμικού μεταξύ της εκάστοτε φάσης εξόδου του αντιστροφέα και του κοινού μη γειωμένου κόμβου του αστέρα του φορτίου. Αξίζει να σημειωθεί σε αυτό το σημείο ότι η τιμή της τάσης σε κάθε μία από τις φάσεις εξόδου του αντιστροφέα αναφέρεται στον κόμβο αναφοράς ο οποίος δεν έχει το ίδιο δυναμικό με τον κοινό κόμβο του αστέρα του φορτίου.

Με βάση το παρακάτω σχήμα 2.5 με βάση τον νόμο του Kirchoff για την κάθε φάση θα λάβουμε τις ακόλουθες συναρτήσεις:

$$V_{\alpha 0}(t) = V_{\alpha n}(t) + V_{n0}(t)$$

$$V_{\beta 0}(t) = V_{\beta n}(t) + V_{n0}(t)$$

$$V_{\gamma 0}(t) = V_{\gamma n}(t) + V_{n0}(t)$$

Για τριφασικό συμμετρικό σύστημα όμως:

$$V_{\alpha n}(t) + V_{\beta n}(t) + V_{\gamma n}(t) = 0$$

Όπου από τις σχέσεις προκύπτει:

$$V_{n0}(t) = \frac{1}{3}[V_{\alpha 0}(t) + V_{\beta 0}(t) + V_{\gamma 0}(t)]$$

Τελικά οι φασικές τάσεις δίνονται από τις σχέσεις:

$$V_{\alpha n}(t) = V_{\alpha 0}(t) - V_{n0}(t) = \frac{2}{3}V_{\alpha 0}(t) - \frac{1}{3}[V_{\beta 0}(t) + V_{\gamma 0}(t)]$$

(2.1)

$$V_{\beta n}(t) = V_{\beta 0}(t) - V_{n0}(t) = \frac{2}{3}V_{\beta 0}(t) - \frac{1}{3}[V_{\alpha 0}(t) + V_{\gamma 0}(t)]$$

(2.2)

$$V_{\gamma n}(t) = V_{\gamma 0}(t) - V_{n0}(t) = \frac{2}{3}V_{\gamma 0}(t) - \frac{1}{3}[V_{\alpha 0}(t) + V_{\beta 0}(t)]$$

(2.3)

Λαμβάνοντας υπόψη μας τις τρεις παραπάνω σχέσεις μπορούν να υπολογιστούν και οι πολικές τάσεις του τριφασικού αντιστροφέα.

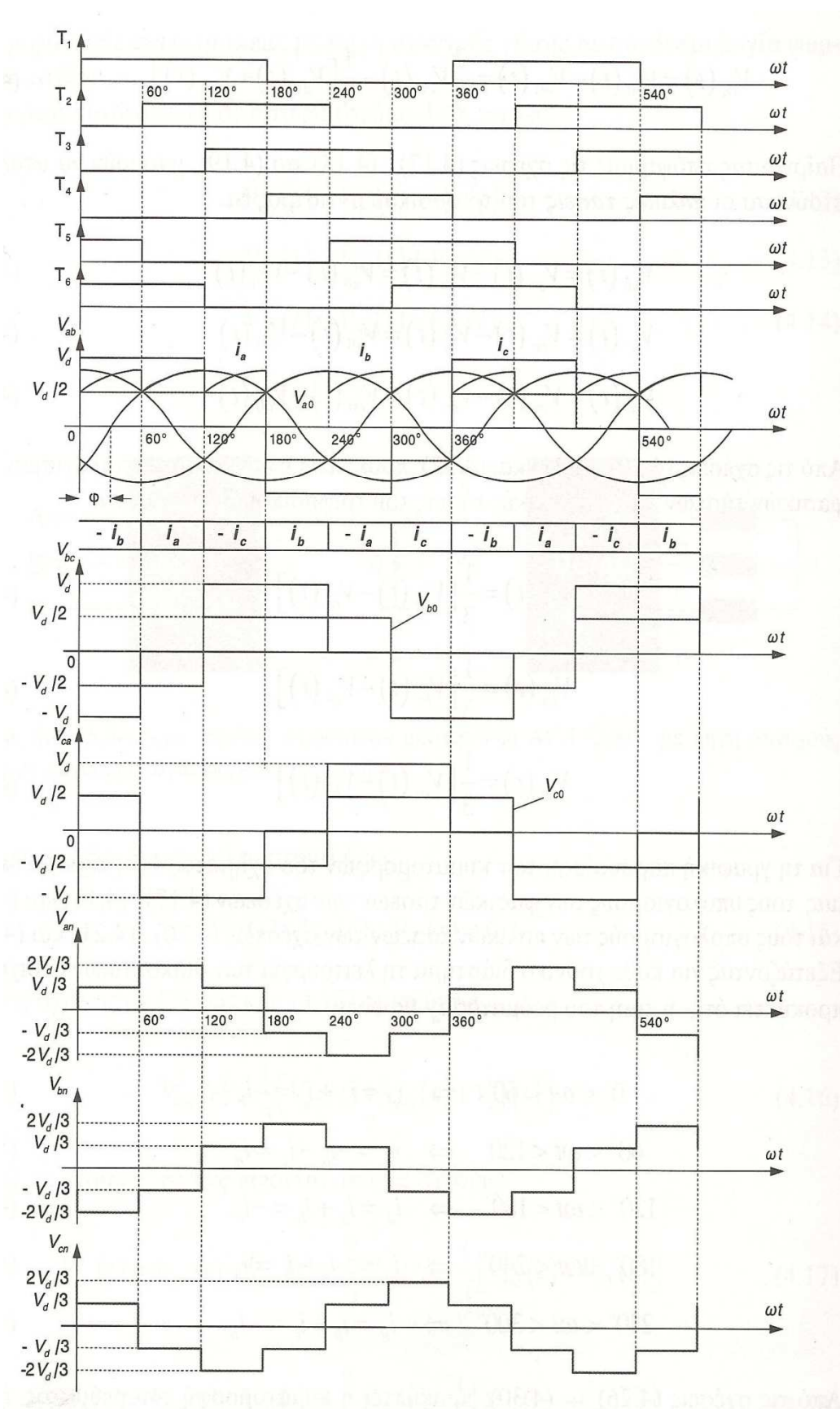
$$V_{\alpha\beta}(t) = V_{\alpha n}(t) - V_{\beta n}(t) = V_{\alpha 0}(t) - V_{\beta 0}(t)$$

(2.4)

$$V_{\beta\gamma}(t) = V_{\beta n}(t) - V_{\gamma n}(t) = V_{\beta 0}(t) - V_{\gamma 0}(t)$$

(2.5)

$$V_{\gamma\alpha}(t) = V_{\gamma n}(t) - V_{\alpha n}(t) = V_{\gamma 0}(t) - V_{\alpha 0}(t)$$



Γράφημα 1

Από αυτές τις τρεις σχέσεις έχουμε την δυνατότητα να υπολογίσουμε τις φασικές τάσεις από τις πολικές τάσεις του τριφασικού αντιστροφέα.

$$V_{an}(t) = \frac{1}{3}[V_{ab}(t) - V_{ca}(t)]$$

$$V_{bn}(t) = \frac{1}{3}[V_{bc}(t) - V_{ab}(t)]$$

$$V_{cn}(t) = \frac{1}{3}[V_{ca}(t) - V_{bc}(t)]$$

Για την γραφική παρουσίαση των κυματομορφών του σχήματος 2.5 λάβαμε υπόψη μας των υπολογισμό των φασικών τάσεων των σχέσεων (1),(2),(3), και τους υπολογισμούς των πολικών τάσεων των σχέσεων (4), (5), (6). Κοιτάζοντας για κάθε χρονικό διάστημα την λειτουργία των διακοπτικών στοιχείων προκύπτει ότι η τιμή του ρεύματος  $i_d$  θα είναι:

$$0^0 < \omega t < 60^0 \rightarrow i_d = i_a + i_c = -i_b$$

$$60^0 < \omega t < 120^0 \rightarrow i_d = -i_b - i_c = i_a$$

$$120^0 < \omega t < 180^0 \rightarrow i_d = i_a + i_b = -i_c$$

$$180^0 < \omega t < 240^0 \rightarrow i_d = -i_a - i_c = i_b$$

$$240^0 < \omega t < 300^0 \rightarrow i_d = i_b + i_c = -i_a$$

Από αυτές τις σχέσεις προκύπτει η κυματομορφή του ρεύματος  $i_d$  στο σχήμα 2.5.

Η ενεργός τιμή της φασικής τάσης είναι:

$$V_{an_{rms}} = V_{bn_{rms}} = V_{cn_{rms}} = \frac{2V_d}{\sqrt{2}} = \frac{\sqrt{2}}{3} V_d$$

και η ενεργός τιμή της θεμελιώδους συνιστώσας της φασικής τάσης είναι:

$$V_{an1_{rms}} = V_{bn1_{rms}} = V_{cn1_{rms}} = \frac{2V_d}{\sqrt{2\pi}} = \frac{\sqrt{2}}{\pi} V_d$$



Η ενεργός τιμή της πολικής τάσης, είναι:

$$V_{ab_{rms}} = V_{bc_{rms}} = V_{ca_{rms}} = \sqrt{\frac{1}{2} \int_0^{2\pi} u_{ab}^2(\omega t) d(\omega t)} = \sqrt{\frac{1}{2\pi} \int_{\frac{\pi}{6}}^{\frac{7\pi}{6}} u_{ab}^2(\omega t) d(\omega t)} = \sqrt{\frac{2}{3}} V_d$$

και η ενεργός τιμή της θεμελιώδους συνιστώσας της πολικής τάσης είναι:

$$V_{ab1_{rms}} = V_{bc1_{rms}} = V_{ca1_{rms}} = \frac{V_{ab,max}}{\sqrt{2}} = \frac{2\sqrt{3}V_d}{\sqrt{2}} = \frac{\sqrt{6}}{\pi} V_d$$

Τα ρεύματα στο τριφασικό φορτίο σε συνδεσμολογία τριγώνου γράφονται:

$$i_a = I_\alpha \sqrt{2} \sin(\omega t - \varphi)$$

$$i_b = I_\alpha \sqrt{2} \sin(\omega t - \frac{2\pi}{3} - \varphi)$$

$$i_c = I_\alpha \sqrt{2} \sin(\omega t - \frac{4\pi}{3} - \varphi)$$

Η μέση τιμή του ρεύματος εισόδου θα είναι:

$$I_{\alpha_{av}} = I_{b_{av}} = I_{c_{av}} = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} u_{ab}(\omega t) d(\omega t) = \frac{1}{\pi} \int_{\frac{\pi}{3}}^{\frac{2\pi}{3}} I_\alpha \sqrt{2} \sin(\omega t - \varphi) d(t) =$$

$$I_\alpha \sqrt{2} [-\cos(\omega t - \varphi)]_{\frac{\pi}{3}}^{\frac{2\pi}{3}} = \frac{3}{\pi} I_\alpha \sqrt{2} \left[ \cos\left(\frac{\pi}{3} - \varphi\right) - \cos\left(2\frac{\pi}{3} - \varphi\right) \right] =$$

$$= \frac{3}{\pi} I_\alpha \sqrt{2} \left[ 2 \cos \frac{\pi}{3} \cos \varphi \right] = \frac{3}{\pi} I_\alpha \sqrt{2} \cos \varphi$$

Τέλος η ενεργός τιμή του ρεύματος εισόδου είναι:

$$I_{dc} = I_\alpha \sqrt{2} \sqrt{\frac{1}{2} + \frac{3\sqrt{3}}{4\pi} \cos 2\varphi}$$

Η θεμελιώδης της τάσης στα άκρα του φορτίου εμφανίζει διαφορά φάσης 300 από την αντίστοιχη θεμελιώδη της φασικής τάσης εξόδου του αντιστροφέα. Επειδή οι φασικές και οι πολικές τάσεις εξόδου του αντιστροφέα είναι τετραγωνικοί παλμοί και η τάση στα άκρα του φορτίου παρουσιάζει έξι στάθμες, ο αντιστροφέας αυτός, σε αυτή την κατάσταση λειτουργίας, ονομάζεται αντιστροφέας με τετραγωνικό παλμό τάσης ή αντιστροφέας έξι επιπέδων τάσης . Για γραμμικό και συμμετρικό τριφασικό φορτίο, οι κυματομορφές του ρεύματος είναι επίσης συμμετρικές.

Ο αντιστροφέας χρησιμοποιείται για την τροφοδότηση μια μηχανής εναλλασσομένου ρεύματος. Μία μηχανή αυτού του είδους έχει τρεις περιοχές λειτουργίας: την λειτουργία κινητήρα, την λειτουργία γεννήτριας και την λειτουργία πέδησης. Παρακάτω θα εξετάσουμε την συμπεριφορά του αντιστροφέα στις δύο πρώτες καταστάσεις. Επειδή στην περίπτωση μιας μηχανής το φορτίο του αντιστροφέα δεν είναι καθαρά ωμικό, δηλαδή δεν παρουσιάζει μοναδιαίο συντελεστή μετατόπισης, είναι ευνόητο ότι η τάση και το ρεύμα του φορτίου δεν θα είναι σε φάση. Επομένως θα υπάρχουν περιοχές στις οποίες παρότι η τάση εξόδου θα είναι θετική και το ρεύμα του θα είναι αρνητικό και αντιστρόφως. Στις περιπτώσεις αυτές παρόλο που ο ημιαγωγός διακόπτης είναι ορθά πολωμένος δεν επιτρέπει την κυκλοφορία αντίθετου ρεύματος, το οποίο αναγκαστικά περνάει από τις αντιπαράλληλες διόδους ελεύθερης διέλευσης, οι οποίες είναι πολωμένες θετικά, και επιτρέπουν την επιστροφή του ρεύματος προς την πηγή. Έτσι από την μία οι ημιαγωγοί διακόπτες προστατεύονται από ανάστροφη πόλωση και αφετέρου η κυματομορφή του ρεύματος πλησιάζει περισσότερο την ημιτονοειδή.

Στην λειτουργία κινητήρα ο αντιστροφέας παρέχει ηλεκτρική ενεργό ισχύ στον κινητήρα, ο οποίος την μετατρέπει σε μηχανική και την αποδίδει στο φορτίο. Για ωμικό-επαγωγικό φορτίο που είναι ο κανόνας για τις ηλεκτρικές μηχανές το ρεύμα έπεται της τάσης κατά γωνία  $\varphi$  που προκύπτει από τον συντελεστή μετατόπισης για το εκάστοτε φορτίο. Έστω ότι έχουμε ημιτονοειδές ρεύμα, χωρίς να έχουμε αρμονική παραμόρφωση, με διαφορά φάσης 600 σε σχέση με την τάση. Στο πρώτο διάγραμμα του σχήματος 2.6 φαίνονται οι δύο αυτές κυματομορφές της φάσης  $a$  του φορτίου, τα διαστήματα μεταφοράς ενεργού ισχύος από και προς την ηλεκτρική μηχανή μέσω της φάσης  $a$ , καθώς και τα ημιαγωγικά διακοπτικά στοιχεία που άγουν κάθε φορά.

Είναι προφανές ότι στην λειτουργία κινητήρα τα διαστήματα κατά τα οποία έχουμε επιστροφή ενέργειας προς την πηγή είναι μικρότερα από τα αντίστοιχα διαστήματα στα οποία έχουμε ροή ενέργειας από την πηγή προς την μηχανή. Επομένως η μέση τιμή της μεταφερόμενης ενέργειας είναι θετική γεγονός που σημαίνει ότι συνολικά ενέργεια προσφέρεται από την πηγή στον κινητήρα. Βλέπουμε επίσης ότι οι κυματομορφές εμφανίζουν συμμετρία ημίσεως κύματος και αν η γωνία  $\varphi$  γίνει μηδενική άγουν μόνο οι ημιαγωγικοί διακόπτες, για γωνία  $180^\circ$  έκαστος. Στην λειτουργία γεννήτριας, η οποία φαίνεται στο δεύτερο διάγραμμα του σχήματος 2.6, τα διαστήματα επιστροφής ενέργειας προς την πηγή είναι σαφώς μεγαλύτερα, με αποτέλεσμα ενέργεια να μεταφέρεται από την μηχανή προς την πηγή. Στην ακραία περίπτωση που η γωνία  $\varphi$  γίνει  $180^\circ$ , άγουν μόνο οι δίοδοι και ο αντιστροφέας λειτουργεί ως μην ελεγχόμενο ανορθωτή με διόδους, ενώ η μετάβαση από λειτουργία κινητήρα σε λειτουργία γεννήτριας γίνεται για  $\varphi=90^\circ$ .

Η λειτουργία του αντιστροφέα με τετραγωνικό παλμό τάσης είναι ιδιαίτερα απλή. Επιτρέπει τον εύκολο έλεγχο του και παρουσιάζει πολύ μικρές διακοπτικές απώλειες, καθώς γίνονται μόνο έξι μεταγωγές των ημιαγωγικών διακοπών ανά περίοδο. Ταυτόχρονα αποτελεί μια ουσιαστική και μια απλή προσέγγιση για την κατανόηση της λειτουργίας του αντιστροφέα. Η λειτουργία αυτή, όμως, στην πράξη συνήθως δεν χρησιμοποιείται καθώς παρουσιάζει ορισμένα σημαντικά μειονεκτήματα και κυρίως μεγάλες αρμονικές συνιστώσες στο ρεύμα και στην τάση, χαμηλών γενικά συχνοτήτων. Συνεπώς προκαλεί μεγάλη αρμονική παραμόρφωση στην τάση και στο ρεύμα, η οποία για να μειωθεί απαιτεί τη χρήση ογκωδέστατων και ακριβών βαθυπερατών φίλτρων.

## 2.2. Αντιστροφείς τροφοδοτούμενοι από πηγή συνεχούς ρεύματος

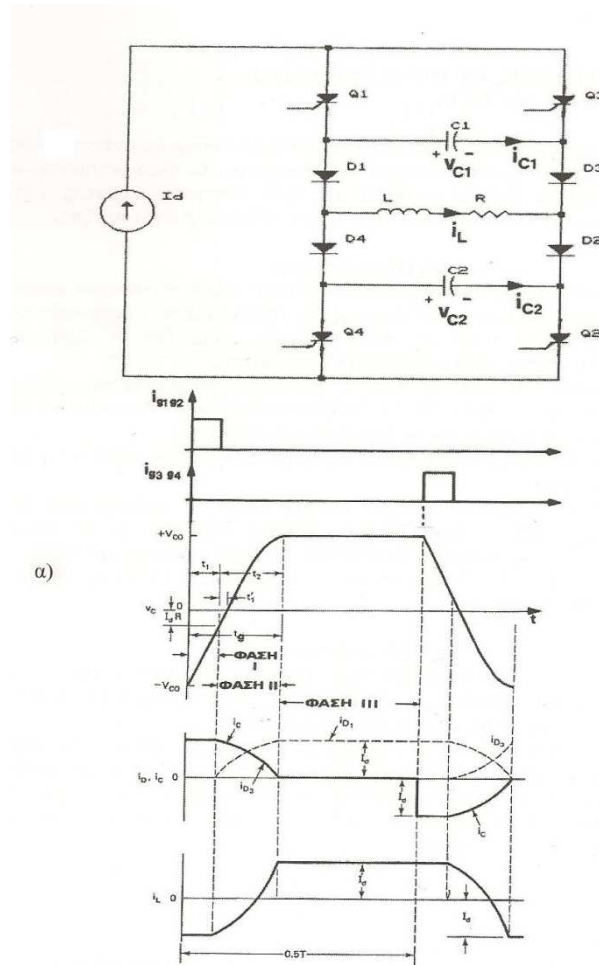
Όπως έχουμε αναφέρει πιο πάνω οι αντιστροφείς με πηγή ρεύματος έχουν τα εξής χαρακτηριστικά:

- Ευκολία στον έλεγχο των υπερευμάτων
- Η τάση εξόδου μεταβάλλεται σημαντικά με την μεταβολή του φορτίου.

Ο αντιστροφέας με πηγή συνεχούς ρεύματος είναι το δυαδικό του αντιστροφέα με πηγή συνεχούς τάσης. Οι κυματομορφές ρεύματος εξόδου είναι οι ίδιες με τις κυματομορφές τάσης εξόδου του αντιστροφέα με πηγή συνεχούς τάσης, με την προϋπόθεση ότι έχουν τους ίδιους παλμούς έναυσης. Η κυματομορφή της τάσης εισόδου είναι η ίδια με την κυματομορφή του ρεύματος εισόδου του αντιστροφέα με πηγή συνεχούς τάσης.

Οι κυματομορφές των τάσεων εξόδου είναι οι ίδιες με τις κυματομορφές των ρευμάτων εξόδου του αντιστροφέα με πηγή συνεχούς τάσης.

Με βάση το σχήμα 2.15 όταν τα ζεύγη των θυρίστορ Q1,Q2 και Q3,Q4 άγουν εναλλάξ τότε στο φορτίο δημιουργείται ένας εναλλασσόμενος τετραγωνικός παλμός ρεύματος πλάτους  $I_d$ . Οι πυκνωτές C1 και C2 χρησιμοποιούνται για την σβέση των θυρίστορ του αντιστροφέα.



Εικόνα 5

Μια δίοδος είναι συνδεδεμένη σε σειρά με κάθε θυρίστωρ του για την απομόνωση των πυκνωτών από το φορτίο. Όταν τα θυρίστωρ Q1 και Q2 άγουν, τότε στο φορτίο δημιουργείται ένα ρεύμα θετικού παλμού και όταν τα θυρίστωρ Q3 και Q4 άγουν, τότε στο φορτίο δημιουργείται ένα ρεύμα αρνητικού παλμού. Για αν κατανοήσουμε πιο καλά την λειτουργία του αντιστροφέα έχει υποθεθεί ότι αρχικά άγουν τα θυρίστωρ Q3 και Q4. Η λειτουργία του αντιστροφέα του σχήματος 2.15 για μια ημιπερίοδο ρεύματος εξόδου μπορεί να διαιρεθεί στις ακόλουθες τρεις λειτουργικές φάσεις:

### Πρώτη φάση

Στην αρχή της φάσης αυτή όπου ο χρόνος είναι  $t=0$ , έχει υποθεθεί ότι οι πυκνωτές C1 και C2 έχουν τάση αναφοράς αυτή του σχήματος 2.15(α) και είναι φορτισμένοι με μια αρχική τάση  $-V_{c0}$ , παλμοί έναυσης εφαρμόζονται στα θυρίστορ Q1 και Q2 με αποτέλεσμα ένα σταθερό συνεχές ρεύμα τιμής  $I_d$  να αρχίσει να κυκλοφορεί μέσω του φορτίου και των στοιχείων Q1, C1, D3, R, L, D4, C2, και Q2. Στον χρόνο  $t=0$  όπου εφαρμόζονται οι παλμοί έναυσης στα θυρίστορ Q1 και Q2 επιτυγχάνεται η σβέση των θυρίστορ Q3 και Q4 λόγω της αρνητικής τους πόλωσης από τους πυκνωτές μετάβασης. Κατά την διάρκεια της φάσης αυτής οι πυκνωτές C1 και C2 αρχίζουν να φορτίζονται και έτσι οι τάσεις των διόδων D1 και D2 μεταβάλλονται σύμφωνα με την ακόλουθη σχέση

$$\begin{aligned} V_{D1} = V_{D2} &= V_c + I_d R \left( V_L = L \frac{di_L}{dt} = 0 \right) \\ &= -V_{c0} + \frac{1}{C} \int_0^t I_d dt + I_d R = -V_{c0} + \frac{I_d t}{C} + I_d R \end{aligned} \quad (2.13)$$

όπου C = χωρητικότητα των πυκνωτών C1 και C2

Όπως δείχνει και η παραπάνω σχέση, οι τάσεις των διόδων D1 και D2 αυξάνονται γραμμικά και στον χρόνο  $t=t_1$  γίνονται ίσες με μηδέν με αποτέλεσμα να αρχίσουν να άγουν. Επομένως με την σχέση 2.13 ο χρόνος  $t_1$ , που ορίζει και το τέλος της πρώτης φάσης υπολογίζεται ως εξής:

$$0 = -V_{c0} + \frac{I_d t_1}{C} + I_d R$$

$$t_1 = \frac{C}{I_d} (V_{c0} - I_d R)$$

### Δεύτερη φάση

Η φάση αυτή αρχίζει για χρόνο  $t=t_1$  όπου, όπως προαναφέρθηκε και προηγούμενα, άγουν οι τέσσερις διόδοι του αντιστροφέα με αποτέλεσμα να συνδέουν παράλληλα τους πυκνωτές με το φορτίο. Κατά την διάρκεια της φάσης αυτής το ρεύμα  $I_d$  μοιράζεται μεταξύ των πυκνωτών μετάβασης και του φορτίου. Σ' αυτή την φάση λειτουργίας ισχύου οι ακόλουθες σχέσεις:

$$i_L + i'_c = I_d$$

(2.14)

$$V_c = L \frac{di_L}{dt} + i_L R$$

(2.15)

$$i'_c = C' \frac{dv_c}{dt}$$

(2.16)

όπου  $i_L$  = ρεύμα φορτίου

$i'_c$  = ρεύμα που ρέει στον ισοδύναμο πυκνωτή  $2C$

$$C' = 2C$$

Αντικαθιστώντας τις σχέσεις (11),(13) στην (12) προκύπτει η εξής σχέση:

$$LC' \frac{d^2 v_c}{dt^2} + RC' \frac{dv_c}{dt} + v_c = RI_d$$

(2.17)

η οποία λύνεται με βάση τις αρχικές συνθήκες

$$v_c(t=0) = -I_d R$$

(2.18)

$$\frac{dv_c(t=0)}{dt} = \frac{-I_d}{C}$$

(2.19)

όπου ένας καινούργιος χρόνος  $t=0$  έχει οριστεί στο χρόνο  $t=t_1$ . Επομένως η λύση της διαφορικής εξίσωσης (2.17) είναι:

$$v(t) = I_d R + K_1 K_2 I_d e^{-\alpha t} \sin(\omega_d t - \theta)$$

όπου

$$K_1 = \frac{R}{\lambda \omega_0}$$

$$K_2 = \sqrt{\frac{1 + 2\alpha\lambda + \lambda^2 \omega_0^2}{1 - (\alpha / \omega_0)^2}}$$

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC'}}$$

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC'}}$$

$$\omega_d^2 = \omega_0^2 - \alpha^2$$

$$\frac{1}{\lambda} = \frac{1}{RC'} - \frac{R}{L}$$

$$\theta = \tan^{-1} \left( \frac{\lambda \omega_d}{1 + \alpha \lambda} \right)$$

Επομένως, το ρεύμα το οποίο ρέει μέσω ενός πυκνωτή μετάβασης δίνεται από την σχέση :

$$i_c = C \frac{dv_c}{dt} = CK_1 K_2 I_d e^{-\alpha t} (\omega_d \cos(\omega_d t - \theta) - \alpha \sin(\omega_d t - \theta))$$

Οι δίοδοι D3 και D4 θα σταματήσουν να άγουν όταν  $i_c=0$  στο χρόνο  $t=t_2$ . Επομένως από την παρακάτω σχέση

$$\omega_d \cos(\omega_d t_2 - \theta) - \alpha \sin(\omega_d t_2 - \theta) = 0$$

μπορεί να υπολογιστεί ο χρόνος  $t_2$ , ο οποίος σημαίνει και το τέλος της δεύτερης φάσης. Με το τέλος της φάσης αυτής οι πυκνωτές μετάβασης έχουν φορτιστεί με τάση ίση με την πηγή εισόδου και πολικότητα ανάστροφη αυτής του σχήματος 2.15(α) έτσι ώστε να είναι έτοιμοι για την μετάβαση των θυρίστορ Q1 και Q2

### Τρίτη φάση

Η φάση αυτή αρχίζει με χρόνο  $t=t_2$ , όπου οι δίοδοι D3 και D4 σταματούν να άγουν, με αποτέλεσμα το ρεύμα να αρχίσει να ρέει μέσω των στοιχείων Q1,D1. Φορτίο, D2 και Q2. Η φάση αυτή διαρκεί μέχρι να δοθεί παλμός έναυσης στο θυρίστορ Q3 και Q4 και να αρχίσει ή λειτουργία την άλλης ημιπεριόδου του αντιστροφέα.

Πρέπει να σημειωθεί ότι στον παραπάνω αντιστροφέα τα θυρίστορ Q1 και Q2 όταν αρχίσουν να άγουν επιτυγχάνουν αρχικά την σβέση των θυρίστορ Q3 και Q4, στην



συνέχεια φορτίζουν τους δύο πυκνωτές μετάβασης με αντίθετη πολικότητα και τέλος τροφοδοτούν το φορτίο με θετικό ρεύμα.

Όταν τα θυρίστορ Q3 και Q4 άγουν επιτυγχάνουν αρχικά την σβέση των θυρίστορ Q1 και Q2, στην συνέχεια φορτίζουν τους πυκνωτές μετάβασης σε αντίθετη από την προηγούμενη πολικότητα και τελευταία τροφοδοτούν το φορτίο με αρνητικό ρεύμα.

Οι αντιστροφείς μας έχουν προσφέρει πολλά πλεονεκτήματα στο θέμα του ελέγχου των κινητήρων εναλλασσόμενου ρεύματος στις μέρες μας. Με την χρήση τους αποκτήσαμε την δυνατότητα του ακριβή ελέγχου των ηλεκτρικών κινητήρων αυτών.

Όμως υπάρχουν μειονεκτήματα και πλεονεκτήματα στους αντιστροφείς.

### 2.2.1. Πλεονεκτήματα - Μειονεκτήματα

#### Πλεονεκτήματα:

- Επειδή το ρεύμα εισόδου είναι πάντοτε σταθερό, σε περίπτωση βραχυκυκλώματος δεν κινδυνεύουν να καταστραφούν τα θυρίστορ.
- Ο αντιστροφέας ρεύματος, για επαγωγικά φορτία παρουσιάζει αρνητική τάση εξόδου και επειδή το ρεύμα εισόδου είναι πάντοτε θετικό δεν χρειάζονται δίοδοι ελεύθερης ροής.
- Απλούστερο κύκλωμα μετάβασης.
- Επειδή το ρεύμα εισόδου είναι σταθερό, ο αντιστροφέας δεν παρουσιάζει αιχμές ρεύματος. Με αποτέλεσμα τα ημιαγωγικά του στοιχεία να δέχονται μικρότερη καταπόνηση από το ρεύμα και ο αντιστροφέας παρουσιάζει μειωμένη ηλεκτρομαγνητική παρενόχληση.

#### Μειονεκτήματα:

- Το μεγαλύτερο μειονέκτημα που έχουμε στον αντιστροφέα ρεύματος είναι το επαγωγικό φίλτρο εισόδου για την παραγωγή σταθερού ρεύματος. Έχει μεγάλο, κόστος και όγκο.
- Στους τριφασικούς αντιστροφείς πρέπει το φορτίο να είναι ισορροπημένο. Στην περίπτωση που το φορτίο δεν είναι ισορροπημένο, η τάση εισόδου του αντιστροφέα παρουσιάζει ανώτερες αρμονικές, κάτι το οποίο θα συμβάλει στην αύξηση της αυτεπαγωγής στο φίλτρο εισόδου.

## 3ο Κεφάλαιο

### “ ΑΝΤΛΙΕΣ & ΑΝΑΛΟΓΙΚΑ ΑΙΣΘΗΤΗΡΙΑ ”

#### Αντλίες

##### 1.1.6 Ιστορική Ανασκόπηση

Οι αντλίες για την άντληση του νερού επινοήθηκαν πριν από τις κινητήριες μηχανές. Τα βασικά εξαρτήματα των αντλιών αυτών ήταν δοχεία τα οποία βυθιζόταν μέσα στο νερό και μετά ανυψωνόταν με την βοήθεια απλών μηχανών.

Η επινοήση του ανυψωτικού τροχού πρέπει να θεωρηθεί σαν ένα σημαντικό βήμα προόδου στην άντληση του νερού για άρδευση. Στην περιφέρεια ενός μεγάλου τροχού ήταν τοποθετημένα δοχεία, που βυθιζόνταν στο νερό, γέμιζαν και καθώς ο τροχός περιστρεφόταν, ανέρχονταν και άδειαζαν μέσα στο αυλάκι αρδεύσεως. Ως ενέργεια για την περιστροφή του τροχού χρησιμοποιήθηκε η ανθρώπινη ή ζωική δύναμη και η δύναμη του ανέμου. Αργότερα ο ανυψωτικός τροχός μετατράπηκε σε "αυτοκινούμενο" με την προσθήκη πτερυγίων στην περιφέρεια του. Καθώς το νερό των ποταμών έρεε, ωθούσε τα πτερύγια και ο τροχός περιστρεφόταν για την ανύψωση των δοχείων. Άλλες διατάξεις για την άντληση του νερού ήταν ο κοχλίας, η αλυσίδα με βύσματα και η χειροκίνητη παλινδρομική αντλία (τουλούμπα).

Εφευρέτης της *φυγόκεντρος αντλίας* θεωρείται ο Γάλλος Denis Papin, που το 1687 περιέγραψε ένα τύπο αντλίας, της οποίας η αρχή λειτουργίας ήταν η ίδια με τις σημερινές φυγόκεντρος αντλίες. Το 1705 κατασκεύασε ο ίδιος την πρώτη φυγόκεντρο αντλία για άντληση νερού. Αργότερα κατασκευάστηκαν και άλλες φυγόκεντροι αντλίες με μικρές βελτιώσεις, αλλά ο βαθμός αποδόσεως τους ήταν πολύ μικρός. Το 1875 ο Osborne Reynolds κατασκεύασε την πρώτη στροβιλοαντλία (turbine pump), που είχε σημαντικά αυξημένη απόδοση.

Από το 1840 άρχισαν να χρησιμοποιούνται οι ατμομηχανές για την κίνηση των αντλιών όταν ο H. Worthington κατασκεύασε μια παλινδρομική αντλία, της οποίας το έμβολο ήταν συνδεδεμένο απευθείας με το έμβολο της ατμομηχανής. Νέα ώθηση στην εξέλιξη των αντλιών και την επινόηση νέων τύπων έδωσε η εμφάνιση των κινητήρων εσωτερικής καύσεως. Επίσης οι αεροστρόβιλοι (steamturbines) και οι ηλεκτροκινητήρες, που δίνουν μεγάλο αριθμό στροφών και σταθερή ροπή, συντέλεσαν στη ταχεία εξέλιξη των φυγοκεντρικών αντλιών και την εκτόπιση των παλινδρομικών, εκτός από τις περιπτώσεις όπου επιζητείται υψηλή πίεση και μικρή παροχή. Παράλληλα αναπτύχθηκαν οι περιστροφικές αντλίες για μικρές παροχές με μέση πίεση ιδίως για υγρά με μεγάλο ιξώδες.

### 1.1.7 Βασικές Έννοιες

Αντλίες ονομάζονται τα μηχανικά μέσα με τα οποία είναι δυνατό να μεταφερθεί μια ποσότητα υγρού από μία υψομετρική στάθμη σε άλλη που βρίσκεται υψηλότερα ή από ένα χώρο χαμηλής πίεσεως σε άλλο υψηλής πίεσεως. Υπάρχουν όμως περιπτώσεις όπου οι αντλίες χρησιμοποιούνται για την μεταφορά υγρών από υψηλότερη στάθμη σε χαμηλότερη, όταν ο σωλήνας μεταφοράς είναι μεγάλου μήκους ή όταν η υδραυλική αντίσταση μέσα στον σωλήνα είναι πολύ μεγάλη. Οι αντλίες τοποθετούνται πάντοτε μεταξύ των σημείων παραλαβής και αποστολής του υγρού και η μεταφορά του οφείλεται στη δημιουργία διαφοράς πίεσεως στις δύο πλευρές του κινούμενου στοιχείου της αντλίας (έμβολο ή περιστρεφόμενος δρομέας).

- Σωλήνας αναρροφήσεως είναι το τμήμα του σωλήνα, από το σημείο παραλαβής του υγρού μέχρι την είσοδο του στην αντλία.
- Σωληνογραμμή είναι το σύνολο των σωλήνων μέσα από τους οποίους ρέει το υγρό.
- Σύστημα αντλήσεως είναι η διάταξη του σωλήνα αναρροφήσεως, της αντλίας, του σωλήνα καταθλίψεως και του κινητήρα.
- Αντλητικό συγκρότημα είναι ένα σύνολο αντλιών (μαζί με τον κινητήρα) που συνεργάζεται για την άντληση του υγρού.

### 1.1.8 Κατάταξη των Αντλιών

Οι αντλίες διαίρουνται σε δύο βασικές κατηγορίες ανάλογα με τον τρόπο μεταφοράς του υγρού από το σωλήνα αναρροφήσεως στο σωλήνα καταθλίψεως:

- Αντλίες μετατοπίσεως ή αντλίες στατικού τύπου (Positivedisplaementpumps) και
- Αντλίες δυναμικές ή αντλίες κινητικού τύπου (Rotodynamicpumps).

Οι αντλίες μετατοπίσεως ή στατικού τύπου κατά τη λειτουργία τους μετατοπίζουν θετικά το υγρό και η παροχή τους δεν επηρεάζεται σημαντικά από την αντίσταση που παρουσιάζεται κατά την κίνηση του υγρού μέσα στους σωλήνες μεταφοράς.

Οι αντλίες αυτές διακρίνονται σε

- Παλινδρομικές αντλίες (Reciprocatingpumps) και
- Περιστροφικές αντλίες (Rotarypumps).

Οι δυναμικές αντλίες ή κινητικού τύπου κατά τη λειτουργία τους μεταβάλλουν την κινητική κατάσταση του υγρού, με αποτέλεσμα τη μεταβολή της κινητικής του ενέργειας σε στατική πίεση και αντίστροφα. Η παροχή τους επηρεάζεται σημαντικά από την αντίσταση που παρουσιάζεται κατά την κίνηση του υγρού μέσα στους σωλήνες μεταφοράς και από άλλα χαρακτηριστικά της ροής του υγρού.

Υπάρχουν δύο τύποι δυναμικών αντλιών:

- Φυγοκεντρικές αντλίες ή κεντρόφυγες (Centrifugalpumps)
- Στροβιλαντλίες (Turbinepumps).

Στον παρακάτω πίνακα 1 περιλαμβάνονται:

- η κατάταξη των αντλιών
- τα γενικά χαρακτηριστικά λειτουργίας
- οι χρήσεις τους.

**ΠΙΝΑΚΑΣ 1**  
**Κατάταξη και χαρακτηριστικά των συγχρόνων αντλιών**

	Δυναμικές αντλίες (Rotodynamic Pumps)		Αντλίες θερμοκίνησης μετατόπισης (Positive displacement Pumps)		
	Φυγοκεντρικές (Centrifugal)	Στροβιλαντλίες (Turbine)	Παλινδρομικές (Reciprocating)	Περιστροφικές (Rotary)	
	Ακτινικής ροής Μικτής ροής Αξονικής ροής		Εμβολοφόροι	Διαφράγματος	Γραναζωτές, με σύρτες, με λοβούς, με κοχλία, με κυλίνδρους κ.λ.π.
Μέγιστο πραγματικό ύψος αναρρόφησης [m]	5	7	6.5	6.5	6.5
Ροή του υγρού	Συνεχής	Συνεχής	Περιοδική	Περιοδική	Συνεχής
Πίεση καταθλίψεως	Χαμηλή έως υψηλή	Υψηλή	Χαμηλή έως πολύ υψηλή	χαμηλή έως μέση	μέση
Παροχή	Μικρή έως μεγάλη	Σχετικώς μικρή	Σχετικώς μικρή	Μικρή	Μικρή έως μέση
Αντλούμενα υγρά	Καθαρά ή ακάθαρτα μικρού ιξώδους	Καθαρά	Καθαρά	Καθαρά ή ακάθαρτα	Υγρά χωρίς στερεά σωματίδια με μεγάλο ιξώδες

*Πίνακας 1*

## Φυγόκεντροι Αντλίες

### 1.1.9 Τα εξαρτήματα της αντλίας

Ο αριθμός των εξαρτημάτων, η διάταξή τους και η εξωτερική εμφάνιση μιας αντλίας εξαρτώνται από την προτίμηση του κατασκευαστή και από τις ειδικές συνθήκες εργασίας για τις οποίες έχει κατασκευαστεί. Κάθε αντλία πρέπει να συνοδεύεται από βιβλίο οδηγιών για την τοποθέτηση, το χειρισμό και την συντήρησή της. Στο ίδιο βιβλίο πρέπει να υπάρχει σχέδιο της αντλίας και κατάλογος εξαρτημάτων.



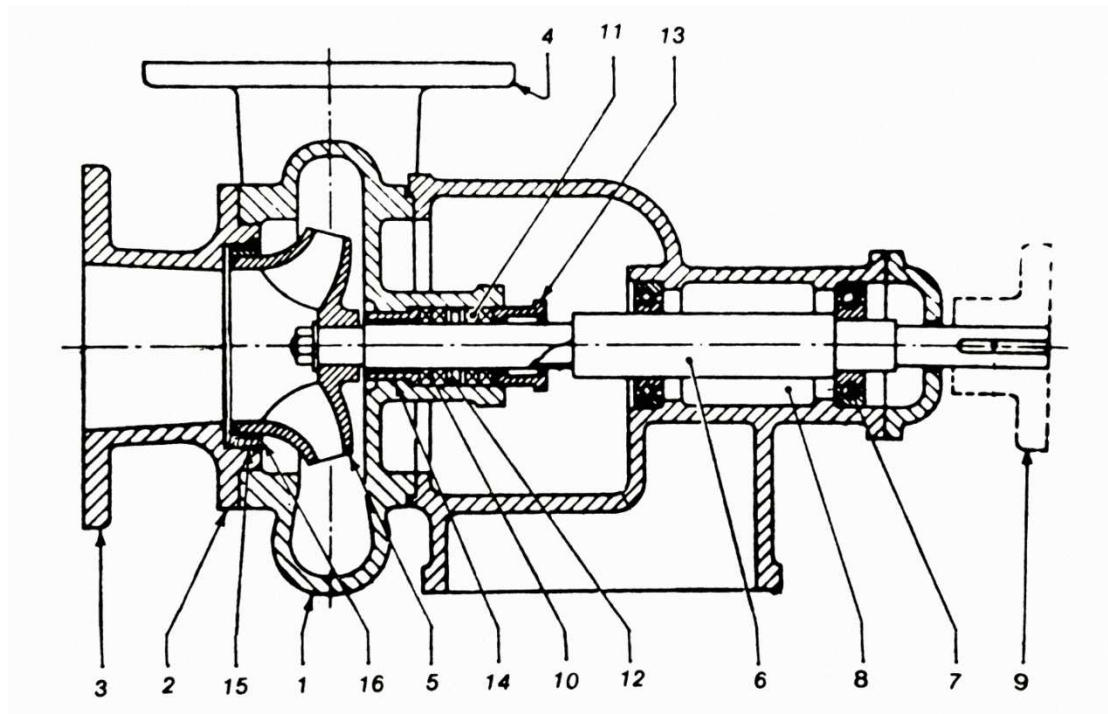
*Εικόνα 6 Φυγόκεντρικές αντλίες*

Τα βασικά εξαρτήματα μιας τυπικής φυγόκεντρου αντλίας (σχήμα 3.2.1) είναι το σπειροειδές περίβλημα (θάλαμος, σαλίγκαρος), το κάλυμμα με το στόμιο εισόδου του υγρού και την φλάντζα για την σύνδεση του σωλήνα αναρροφήσεως, η χοάνη καταθλίψεως (εξόδου του υγρού) με την φλάντζα για την σύνδεση του σωλήνα καταθλίψεως και ο άξονας της αντλίας που δίνει την κίνηση στην περωτή με την οποία είναι στερεά συνδεδεμένος. Ο άξονας της αντλίας στηρίζεται συνήθως σε δύο τριβείς (ρουλεμάν ή κουζινέτα) που βρίσκονται στις δύο άκρες του θαλάμου ελαίου ενώ στο ελεύθερο άκρο του τοποθετείται ένας συνδετήρας για την σύνδεση της αντλίας με τον κινητήρα ή μια τροχαλία όταν η κίνηση δίνεται με ιμάντα. Ο άξονας

διαπερνά το πίσω μέρος του σπειροειδούς περιβλήματος όπου στεγανοποιείται για να μη διαρρέει το υγρό που βρίσκεται υπό πίεση μέσα στο περίβλημα ή για να μην εισχωρήσει αέρας, οπότε δημιουργούνται ανωμαλίες στη λειτουργία της αντλίας και ο βαθμός απόδοσης μειώνεται κατά πολύ.

Το βασικό εξάρτημα της στεγανοποίησης είναι η σαλαμάστρα, που τοποθετείται υπό μορφή δακτυλίων μέσα στο στυπιοθάλαμο. Στις αντλίες που η σαλαμάστρα υδρολιπαίνεται από εξωτερική παροχή, ανάμεσα στους δακτυλίους της παρεμβάλλεται ένα σπειροειδής δακτύλιος (φανάρι) με περιφερειακή αυλάκωση και διάτρηση όπου καταλήγει ένας αγωγός που μεταφέρει νερό υπό πίεση από το περίβλημα ή από εξωτερικό δοχείο στυπιοθλίπτη.

Ωστόσο αξίζει να πούμε πως υπάρχει πάντοτε διαφορά πίεσεως μεταξύ του στομίου εισόδου του υγρού και του εσωτερικού της περωτής. Η διαφορά πίεσεως προκαλεί διαρροή του υγρού από το διάκενο μεταξύ της περιστρεφόμενης περωτής και του καλύμματος. Για τη μείωση της διαρροής αυτής τοποθετούνται δακτύλιοι στεγανώσεως στα χείλη επαφής της περωτής και του καλύμματος.



Εικόνα 7 Σχηματικό διάγραμμα μονοβάθμιας φυγόκεντρον αντλίας

1. Σπειροειδές περίβλημα (σαλίγκαρος)
2. Κάλυμμα του σπειροειδούς περιβλήματος
3. Φλάντζα στομίου εισόδου
4. Χοάνη καταθλίψεως (έξοδος του υγρού)
5. Πτερωτή
6. Άξονας της αντλίας
7. Τριβέας (ένσφαιρος ή κουζινέτο)
8. Θάλαμος λαδιού
9. Συνδετήρας της αντλίας με τον κινητήρα
10. Σαλαμάστρα (εσωτερικό τμήμα)
11. Σαλαμάστρα (εξωτερικό τμήμα)
12. Δακτύλιος υδρολιπάνσεως της σαλαμάστρας (φανάρι)
13. Στυπιοθλίπτης
14. Δακτυλιοειδής τριβέας
15. Δακτύλιος στεγανώσεως του σπειροειδούς περιβλήματος
16. Δακτύλιος στεγανώσεως της πτερωτής



## Αναλογικά Αισθητήρια

### 1.1.10 Μετρήσεις στάθμης

Αναφερόμενοι στον όρο στάθμη συνήθως μας έρχεται στον νου μία δεξαμενή με νερό ή κάποιο είδος ρευστού (π.χ. πετρέλαιο) και το επίπεδο της επιφάνειάς του από τον πυθμένα της δεξαμενής.

Κατανοούμε ότι η μέτρηση στάθμης αποτελεί σήμερα ένα σημαντικό μέρος των διαδικασιών ελέγχου σε πολλές βιομηχανίες και ερευνητικές εφαρμογές. Ως στάθμη ορίζεται το ύψος πλήρωσης ενός ρευστού μέσα σε μία δεξαμενή, σε ένα ρεζερβουάρ ή σε μία κοιλότητα. Προκειμένου να μετρήσουμε την στάθμη μέσα σε μία δεξαμενή θα πρέπει να προσδιορίσουμε ένα επίπεδο αναφοράς της δεξαμενής. Οι αισθητήρες στάθμης χρησιμοποιούνται για μέτρηση της στάθμης εντός ορισμένων ορίων και εξασφαλίζουν συνεχή επιτήρηση της στάθμης. Σήμερα συναντάμε διαφορετικές μεθόδους ανίχνευσης της στάθμης όπως μέτρηση μέσω υδροστατικής πίεσης, μέσω χωρητικότητας, με υπέρηχους, με μικροκύματα, με ηλεκτρομηχανικές διατάξεις, με δείκτες στάθμης, με μαγνητικά στοιχεία κ.α..

Από τους παραπάνω αισθητήρες χρησιμοποιούνται για την συνεχή μέτρηση της στάθμης σε μία δεξαμενή σε πραγματικό χρόνο, ενώ μία άλλη ομάδα αισθητήρων ή διατάξεων αποδίδουν με διακριτή τιμή ένα όριο για να μας ενημερώσουν ότι η στάθμη έφτασε σε συγκεκριμένο όριο προκειμένου να αποφευχθεί η υπερχειλίση.

Για την συνεχή μέτρηση της στάθμης χρησιμοποιούνται αναλογικά αισθητήρια στάθμης πιεζοηλεκτρικού τύπου. Το αισθητήριο παρέχει πληροφορίες στην τοπική μονάδα PLC ως προς την στάθμη στην δεξαμενή του νερού ώστε να δίδονται οι κατάλληλες εντολές στις αντλίες και για να καταγράφεται συνεχώς η στάθμη νερού. Το αισθητήριο εγγυάται την σωστή και αξιόπιστη λειτουργία για πολύ μεγάλο χρονικό διάστημα.

Το αισθητήριο μέτρησης στάθμης δεξαμενής, υδροστατικής πίεσης βυθιζόμενο, διαθέτει τα ακόλουθα χαρακτηριστικά:

- Κλίμακα μέτρησης: 0-10 m, H<sub>2</sub>O.
- Θερμοκρασία λειτουργίας: -10 0C .. 60 0C.
- Σήμα εξόδου: 4 .. 20 mA.
- Τροφοδοσία: 10 .. 30 Vdc (σύστημα δύο καλωδίων).
- Προστασία: IP68, Waterproof, max 3 bar.
- Υλικά κατασκευής: Πολυπροπυλένιο.
- Υλικό διαφράγματος: Ανοξείδωτος χάλυβας AISI316L
- Διαστάσεις: 60 xmm.
- Πίεση λειτουργίας: 0-10 bar.
- Μέγιστη πίεση λειτουργίας: 20 bar.
- Θερμοκρασία λειτουργίας: -40 0C .. 85 0C.
- Σήμα εξόδου: 4 ... 20 mA.
- Τροφοδοσία: 10 ... 30 Vdc (σύστημα δύο καλωδίων).
- Προστασία: IP65 IEC
- Υλικά κατασκευής: Από ανοξείδωτο χάλυβα AISI 316L.
- Χρόνος απόκρισης: Μικρότερος των 4 msec.
- Αντίσταση φορτίου: 700 Ω στα 24 Vdc.
- Σπείρωμα κατά BSP για την τοποθέτηση στο υδραυλικό δίκτυο.

#### **1.1.11 Αναλογικό Αισθητήριο Πίεσης**

Για την μέτρηση της πίεσης χρησιμοποιούνται αναλογικά αισθητήρια πίεσης πιεζοηλεκτρικού τύπου. Το αισθητήριο παρέχει πληροφορίες στην τοπική μονάδα PLC ως προς την επικρατούσα πίεση στον αγωγό κατάθλιψης ώστε να δίδονται οι κατάλληλες εντολές στις αντλίες. Το αισθητήριο εγγυάται την σωστή και αξιόπιστη λειτουργία για πολύ μεγάλο χρονικό διάστημα.

Για την επίτευξη των παραπάνω το αναλογικό αισθητήριο πίεσης θα πρέπει να διαθέτει τα ακόλουθα τεχνικά χαρακτηριστικά:

- Γενική περιγραφή του οργάνου
- Αρχή λειτουργίας
- Τεχνικές Προδιαγραφές αισθητηρίου

- Τεχνικές προδιαγραφές μετατροπέα σήματος
- Μονάδων μέτρησης στιγμιαίας παροχής (l/min, l/h, m<sup>3</sup>/h, κλπ)
- Μονάδων μέτρησης αθροιστικού όγκου (cc, dl, l, m<sup>3</sup>)
- Τρέχουσα ημέρα και ώρα
- Παροχή πλήρους κλίμακας του οργάνου (έως και 10m/s μέση ταχύτητα στη διατομή)
- Ελάχιστη παροχή για έναρξη ογκομέτρησης
- Όγκου διερχόμενου ρευστού ανά παλμό στη ψηφιακή έξοδο A'
- Πλάτος παλμού
- Συχνότητας μέγιστης παροχής (10 Hz - 10 kHz)
- Επιλογή σήματος εξόδου (παλμοί ή συχνότητα)
- Ταχύτητας απόκρισης οργάνου στις διακυμάνσεις της ροής
- Ψηφιακό αισθητήριο στάθμης



*Εικόνα 8 Αναλογικοί ογκομετρικοί αισθητήρες ροής για υγρά*

### **1.1.12 Ηλεκτρομαγνητικό ροόμετρο**

Το ηλεκτρομαγνητικό ροόμετρο αποτελείται από δύο κύρια μέρη, τα οποία περιγράφονται στη συνέχεια:

- Το πρωτεύον στοιχείο του αισθητηρίου. Αυτό περιλαμβάνει τον μετρητικό σωλήνα (με μονωτική επένδυση εσωτερικά) και φλαντζωτά άκρα σύνδεσης, πηνία για την παραγωγή του μαγνητικού πεδίου και τέλος δύο σημειακά ηλεκτρόδια.
- Το δευτερεύον στοιχείο για τη μετατροπή του σήματος. Αυτό είναι τις περισσότερες φορές γνωστό ως μετατροπέας (converter) και επιτελεί τις παρακάτω λειτουργίες:

Ενισχύει και επεξεργάζεται το σήμα από τα ηλεκτρόδια (το λαμβανόμενο εξ' επαγωγής ηλεκτρικό φορτίο). Περιορίζει τυχόν παρασιτικά σήματα που υπεισέρχονται στη μέτρηση. Διορθώνει σφάλματα από αυξομειώσεις της τάσης τροφοδοσίας. Παράγει τα επιθυμητά σήματα εξόδου.



*Εικόνα 9 Ηλεκτρομαγνητικό ροόμετρο κατάλληλο για δίκτυα νερού, λυμάτων, λάσπης, αποβλήτων πολτού κτλ.*

Δημιουργείται ένα μαγνητικό πεδίο κάθετο στον άξονα του αγωγού με διεύθυνση συνήθως κατακόρυφη (οριζόντιος σωλήνας). Τα διερχόμενα ιόντα που μεταφέρονται

από το ρευστό δημιουργούν μια διαφορά δυναμικού ανάλογη της ταχύτητάς τους και κατ' επέκταση της παροχής, σύμφωνα με τον νόμο του Faraday. Η επαγομένη αυτή τάση μετρείται από τα δύο ηλεκτρόδια που βρίσκονται αντιδιαμετρικά τοποθετημένα στον μετρητικό σωλήνα και σε οριζόντιο επίπεδο. Η μετρούμενη τάση διοχετεύεται στον μετατροπέα σήματος και μετά από κατάλληλη επεξεργασία μετατρέπεται σε μονάδες παροχής (πχ m<sup>3</sup>/h). Η παροχή αυτή (στιγμιαία ή αθροιστική) μπορεί να ολοκληρωθεί χρονικά προκειμένου να υπολογιστεί αθροιστικά ο όγκος που διήλθε από το όργανο για κάποια χρονική περίοδο.

Ενδεικτικά τεχνικά χαρακτηριστικά δίνονται ακολούθως :

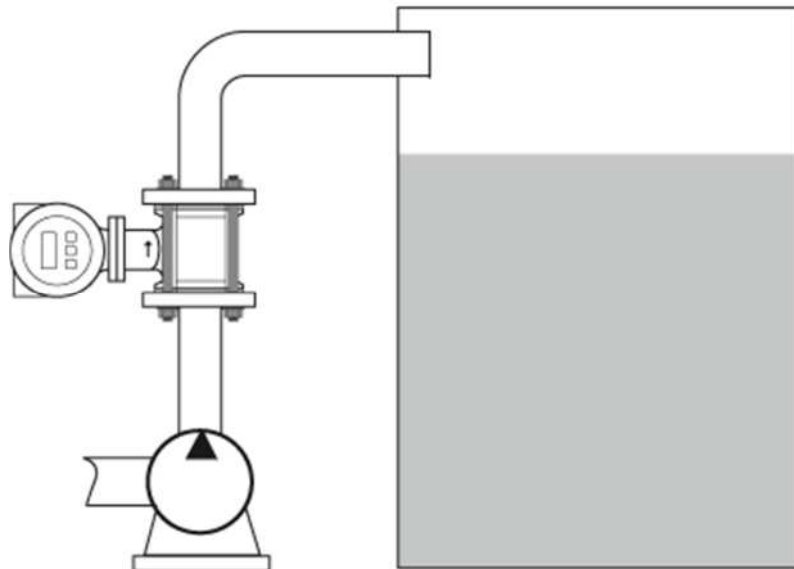
- Ονομαστική πίεση λειτουργίας: PN 16 bar
- Υλικό Κατασκευής: Ανοξείδωτος Χάλυβας AISI 304 (Εσωτερικά μέρη σώματος), Χάλυβας (Εξωτερικό προστατευτικό περίβλημα), Χάλυβας (Φλάντζες), Εσωτερική επικάλυψη Ebonite
- Μέγιστη θερμοκρασία ρευστού: 800 C
- Ελάχιστη απαιτούμενη αγωγιμότητα: 1μS/cm
- Ηλεκτρόδια από Ανοξείδωτο Χάλυβα AISI 316
- Προστασία έναντι περιβαλλοντικών συνθηκών: IP67
- Τρόπος σύνδεσης με Φλάντζες (ISO 2084)
- Τροφοδοσία από τον μετατροπέα σήματος
- Ρύθμιση του μηδενός αυτόματα
- Αναλογική έξοδος 4-20 mA γαλβανικά μονωμένη

Ψηφιακή έξοδος προγραμματιζόμενη μέσω της LCD οθόνης για παλμούς συχνότητας ανάλογης της στιγμιαίας παροχής (1 kHzmax) ή ένδειξη (Alarm) μέγιστης παροχής ή ένδειξη (Alarm) ελάχιστης παροχής ή ένδειξη αυτόματης αλλαγής κλίμακας ή ένδειξη αλλαγής φοράς ροής ή ένδειξη (Alarm) Βλάβης του μετατροπέα.

Ενδεικτικά τεχνικά χαρακτηριστικά δίνονται ακολούθως :

- Επικοινωνίες RS 485
- Ένδειξη στιγμιαίας και αθροιστικής παροχής μέσω LCD οθόνης
- Εξωτερικό RESET αθροιστικής παροχής μέσω LCD οθόνης

- Δυνατότητα προγραμματισμού μέσω της LCD οθόνης
- Προστασία έναντι περιβαλλοντικών συνθηκών: IP67
- Λειτουργία σε θερμοκρασία περιβάλλοντος -20ο C έως +60ο C
- Υγρασία περιβάλλοντος (Σχετική) 95 % (maximum)
- Ακρίβεια μέτρησης καλύτερη από  $\pm 0.25$  % της πλήρους κλίμακας για ταχύτητα  $U > 1$  m/s
- Επαναληπτικότητα καλύτερη από 0.1 % της πλήρους κλίμακας
- Τροφοδοσία 90-264 VAC/50 ή 60 Hz
- Σύνδεση με τον αισθητή: ενιαίος τύπος, δεν θα απαιτούνται εργασίες σύνδεσης.



*Σχήμα 1: Τοποθέτηση Ηλεκτρομαγνητικού ροόμετρου στην εγκατάσταση*

Το ψηφιακό αισθητήριο στάθμης δεν είναι τίποτα άλλο από έναν διακόπτη στάθμης και τοποθετείται στις δεξαμενές για να ελέγχει την ανωτέρα ή και κατωτέρα στάθμη και να δίνει εντολές συναγερμού.

Ο διακόπτης στάθμης δεξαμενής ενδεικτικά μπορεί να διαθέτει τα ακόλουθα χαρακτηριστικά:

- Εύρος κίνησης: γωνία 900, που εξασφαλίζεται από την απόσταση μεταξύ της επαφής και του σημείου στερέωσης του καλωδίου.
- Διακόπτης: Μικροδιακόπτης που λειτουργεί με την βοήθεια μεταλλικής μπίλιας.
- Αντοχή μικροδιακόπτη σε ρεύμα: 8 A.
- Με ρυθμιζόμενο βαρίδι.
- Προστασία: IP



*Εικόνα 10 Αισθητήριο στάθμης νερού*

# 4ο Κεφάλαιο

## “ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ & ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΤΗΣ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗΣ ΔΙΑΤΑΞΗΣ ”

### 1.11 Περιγραφή της πειραματικής μας διάταξης

Η πειραματική μας διάταξη αποτελείται από τα εξής μέρη όπως φαίνονται και παρακάτω στις φωτογραφίες. Κάτω από κάθε φωτογραφία υπάρχει και περιγραφή που αναφέρει ακριβώς το αντίστοιχο αντικείμενο που απεικονίζεται.



Εικόνα 1: Αντλία (Water Pump) με Α.Τ.Κ. που τροφοδοτεί το την δεξαμενή (δοχείο)



Εικόνα 2: Αντλία (Water Pump) με Α.Τ.Κ. που τροφοδοτεί το την δεξαμενή (δοχείο)





Εικόνα 3: INVERTER INVT Goodrive 80KW



Εικόνα 4: P.L.C. FATEK Fbs 40M.C. τάσης τροφοδοσίας 230V



Εικόνα 5: Ένα modul ποτενσιόμετρων FATEK Fbs 4PT για την προσομοίωση του αναλογικού αισθητηρίου, με ποτενσιόμετρο 10KΩ και ένα modul αναλογικών εξόδων FATEK Fbs 2AD



Εικόνα 6: Κεντρικός πίνακας αυτοματισμού για τον πλήρη έλεγχο της κατασκευής, που περιλαμβάνει ασφάλειες, γενικό διακόπτη, PLC και INVERTER.



*Εικόνα 7: Ολοκληρωτική κατασκευή πειραματική διάταξης.*

## 1.12 Λειτουργία της πειραματικής διάταξης

Ξεκινάμε λοιπόν γεμίζοντας το επάνω οριζόντιο δοχείο με νερό στα  $\frac{3}{4}$  της συνολικής χωρητικότητας του. Στην συνέχεια τροφοδοτούμε με ρεύμα τον πίνακα έτσι ώστε να θέσουμε σε λειτουργία το INVERTER και το PLC. Θέτουμε σε λειτουργία το RUN το INVERTER.

Ανοίγουμε την κεντρική βάνα του οριζόντιου δοχείου έτσι ώστε το κάθετο δοχείο να αρχίσει να γεμίζει. Όταν λοιπόν αρχίζουμε να μεταβάλλουμε το ποτενσιόμετρο, μεταβάλλουμε την συχνότητα (Hz) του INVERTER και ταυτόχρονα μεταβάλλονται οι στροφές του κινητήρα (αντλίας).

Όσο αυξάνουμε τα Hz στο INVERTER μεταβάλλοντας το ποτενσιόμετρο, αυξάνουμε και τις στροφές του κινητήρα (αντλίας) και έτσι το κάθετο δοχείο αδειάζει πιο γρήγορα. Αντιθέτως όταν μειώσουμε τα Hz στο INVERTER, μειώνονται οι στροφές του κινητήρα (αντλίας) και έτσι το κάθετο δοχείο αδειάζει πιο αργά. Επίσης μπορούμε να πετύχουμε και εξισορρόπηση της στάθμης όσο γεμίζει το δοχείο τόσο να αδειάζει.

# 5ο Κεφάλαιο

## “ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΤΗΣ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗΣ ΔΙΑΤΑΞΗΣ ”

### 1.13 Περιγραφή – Παράδειγμα Λειτουργίας

Η ύδρευση οικισμού εξασφαλίζεται από μια γεώτρηση. Χρησιμοποιώ μια αντλία με Α.Τ.Κ. κινητήρα ισχύος 75 KW που τροφοδοτεί μια δεξαμενή. Τον κινητήρα τον ελέγχω με έναν INVERTER αντίστοιχης ισχύος.

Η χρήση του INVERTER είναι αναγκαία επειδή η ηλεκτροδότηση της περιοχής έχει πρόβλημα επάρκειας και η χρήση relle θα δημιουργούσε πρόβλημα στο δίκτυο επειδή έχω συχνά σταματήματα και ξεκινήματα της αντλίας. Επίσης για την καλύτερη απόδοση του

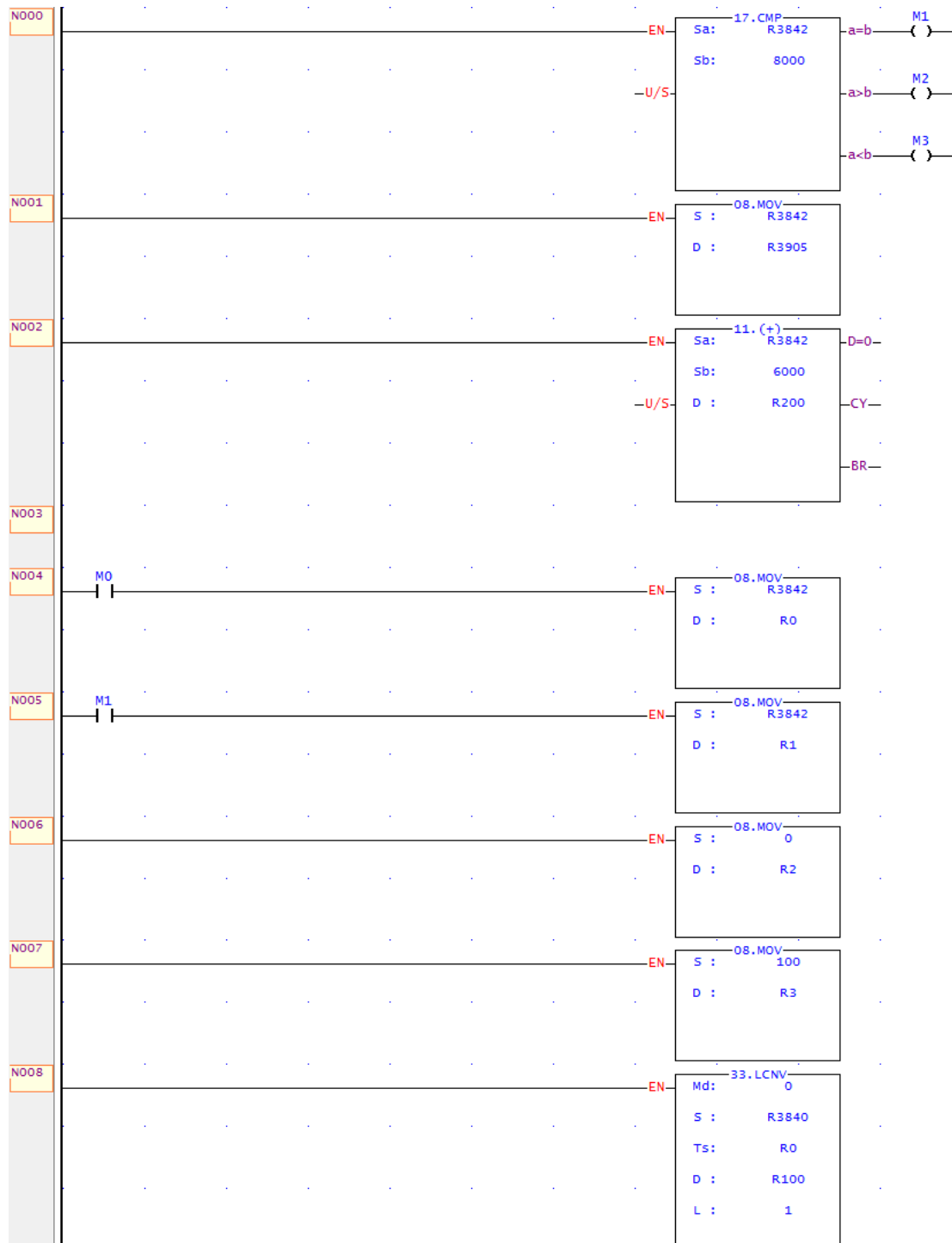
συστήματος θα πρέπει η δεξαμενή να είναι στην υψηλότερη δυνατή στάθμη ώστε να έχω σταθερή πίεση στο δίκτυο. Λόγω της μορφολογίας του εδάφους δεν υπάρχει δυνατότητα εγκατάστασης της δεξαμενής σε μέρος με υψομετρική διαφορά από τον οικισμό και η πίεση του δικτύου εξαρτάται από την στάθμη της δεξαμενής .

Για τον αναλογικό έλεγχο της στάθμης της δεξαμενής, και των στροφών του κινητήρα χρησιμοποιούμε:

1. Αναλογικό αισθητήριο στάθμης 4-20 ma. Επειδή δεν υπήρχε η δυνατότητα προμήθειας αντίστοιχου αισθητήρα χρησιμοποιώ ένα ποτενσιόμετρο 10KΩ
2. Ένα P.L.C. FATEK Fbs 40M.C. τάσης τροφοδοσίας 230V
3. Ένα modul ποτενσιόμετρων FATEK Fbs 4PT για την προσομοίωση του αναλογικού αισθητηρίου, με ποτενσιόμετρο 10KΩ
4. Ένα modul αναλογικών εξόδων FATEK Fbs 2AD
5. Έναν INVERTER INVT Goodrive 80KW

# ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

## “ ΚΩΔΙΚΑΣ ΣΕ LADDER”



## **ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΕΙΑ**

1. Βιβλίο «Αισθητήρες Μέτρησης και Ελέγχου» Κωνσταντίνος Καλοβρέκτης, Νικόλαος Κατέβας. Εκδόσεις Τζιόλα 2013.
2. Βιβλίο «Αντλίες» Κωνσταντίνου Β. Ακριτίδη, Εκδόσεις Παχούδη – Γιαπούλη Θεσσαλονική
3. Βικιπαίδεια Εγκυκλοπαίδεια.
4. Βιβλίο «Ηλεκτρονικά Ισχύος» Στέφανος Μανιάς Εκδόσεις ΣΥΜΕΩΝ Αθήνα 2012.
5. Πηγές Internet.