

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

- 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ**
- 2. ΓΕΝΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΑΥΤΟΜΑΤΟΥ ΕΛΕΓΧΟΥ (ΣΑΕ)**
- 3. ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΕΛΕΓΧΟΥ ΑΝΟΙΚΤΟΥ ΚΑΙ ΚΛΕΙΣΤΟΥ ΒΡΟΓΧΟΥ
ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΝΟΙΚΤΟΥ – ΚΛΕΙΣΤΟΥ ΒΡΟΓΧΟΥ**
- 4. ΑΠΛΑ ΚΑΙ ΣΥΝΘΕΤΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΥΤΟΜΑΤΙΣΜΟΥ**
- 5. ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ ΑΥΤΟΜΑΤΙΣΜΟΥ**
- 6. ΕΛΕΓΚΤΕΣ**
- 7.1. ΕΥΣΤΑΘΕΙΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΑΥΤΟΜΑΤΟΥ ΕΛΕΓΧΟΥ**
- 7.2. ΕΥΣΤΑΘΕΙΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΑΥΤΟΜΑΤΟΥ ΕΛΕΓΧΟΥ**
- 8. ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΕΛΕΓΚΤΩΝ**
- 9.1. ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ – ΜΕΤΡΗΤΙΚΕΣ ΔΙΑΤΑΞΕΙΣ**
- 9.2. ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ – ΜΕΤΡΗΤΙΚΕΣ ΔΙΑΤΑΞΕΙΣ**
- 10. ΑΙΣΘΗΤΗΡΕΣ – ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΑΙΣΘΗΤΗΡΩΝ**
- 11. ΑΙΣΘΗΤΗΡΙΑ – ΜΕΤΑΤΡΟΠΕΙΣ**
- 12.1. ΕΝΕΡΓΟΠΟΙΗΤΕΣ**
- 12.2. ΕΝΕΡΓΟΠΟΙΗΤΕΣ**
- 13. ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΛΟΓΙΚΟΥ ΑΥΤΟΜΑΤΙΣΜΟΥ**
- 14. ΨΗΦΙΑΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΥΤΟΜΑΤΟΥ ΕΛΕΓΧΟΥ**
- 15. ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΖΟΜΕΝΟΙ ΛΟΓΙΚΟΙ ΕΛΕΓΚΤΕΣ**
- 16. ΕΠΙΛΥΣΗ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΩΝ ΑΥΤΟΜΑΤΙΣΜΩΝ ΜΕ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΖΟΜΕΝΟΥΣ
ΛΟΓΙΚΟΥΣ ΕΛΕΓΚΤΕΣ**
- 17. ΔΙΚΤΥΑ PLC**
- 18. ΕΝΔΕΙΞΕΙΣ ΟΘΟΝΗΣ PLC ΚΑΙ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ**

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Μια απλή παρατήρηση των συσκευών που βρίσκονται γύρω μας θα μας πείσει ότι όλες λειτουργούν εν μέρει ή ολικά αυτόματα, δηλαδή χωρίς την παρέμβαση του ανθρώπου. Τέτοιες συσκευές είναι το ηλεκτρικό ψυγείο, το πλυντήριο ρούχων, το θερμοσίφωνο, κ.ά. Ο αυτοματισμός στην καθημερινή ζωή έχει σκοπό να κάνει την ζωή των ανθρώπων πιο εύκολη. Συγκρίνετε π.χ. τον τρόπο πλυσίματος των ρούχων "στο χέρι" με το πλύσιμο στο ηλεκτρικό πλυντήριο.

Αυτοματισμούς μπορεί να συναντήσουμε τόσο στην 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, ώστε να επιτευχθεί κάποιο επιθυμητό αποτέλεσμα με προκαθορισμένη ακρίβεια.

Για παράδειγμα, το σύστημα ελέγχου του κλιματιστικού μας είναι σε θέση, μετά την αρχική του ρύθμιση, να ελέγχει τη λειτουργία του κλιματιστικού μας, ώστε το άμεσο περιβάλλον μας (π.χ. η αίθουσα διδασκαλίας) να έχει σταθερή θερμοκρασία, ανεξάρτητα από τις μεταβολές της εξωτερικής θερμοκρασίας, τον αριθμό των ατόμων κ.ο.κ. και χωρίς να απαιτείται να ξαναρυθμίσουμε το σύστημα, αν δεν αλλάξει η επιθυμητή τιμή της θερμοκρασίας του άμεσου περιβάλλοντος.

Ιδιαίτερη σημασία έχουν οι αυτοματισμοί στην βιομηχανική παραγωγή. Με την αυτοματοποίηση της παραγωγής, οι επιχειρήσεις προσπαθούν να βελτιώσουν την παραγωγικότητά τους μειώνοντας ταυτόχρονα το κόστος παραγωγής. Αυτό επιτυγχάνεται μέσω:

- Εξοικονόμησης ενέργειας
- Καλύτερης διαχείρισης των πρώτων υλών
- Βελτίωσης της ποιότητας των προϊόντων
- Μείωσης του κόστους εργασίας

Η ιδέα εφαρμογής συστημάτων αυτοματισμού απορρέει από την ανάγκη να απαλλαγεί ο άνθρωπος από εργασίες επικίνδυνες ή ιδιαίτερα κοπιαστικές. Με τον καιρό όμως επεκτάθηκε σε όλες σχεδόν τις δραστηριότητες της παραγωγικής διαδικασίας, αφού με τα συστήματα αυτοματισμού επιτυγχάνεται μεγαλύτερη ακρίβεια, λιγότερα σφάλματα και μικρότερο κόστος παραγωγής. Έτσι, τα συστήματα αυτοματισμού υποκατέστησαν τον άνθρωπο σε μεγάλο βαθμό στην παραγωγική διαδικασία. Σήμερα λειτουργούν βιομηχανίες, όπου στην παραγωγική διαδικασία η αυτοματοποίηση ξεπερνά το 95%.

Στις διάφορες επιστημονικές και ερευνητικές δραστηριότητες (διαστημικά ταξίδια, έρευνα σε μεγάλα θαλάσσια βάθη) απαιτείται ιδιαίτερα μεγάλη ακρίβεια ενεργειών και αποφυγή σφαλμάτων, κάτι που ο άνθρωπος δύσκολα μπορεί να επιτύχει. Και εδώ οι διαδικασίες αυτοματισμού έδωσαν λύσεις προωθώντας σημαντικά την επιστήμη και την τεχνολογία.

Στο κεφάλαιο αυτό θα παρουσιασθούν οι βασικές έννοιες που σχετίζονται με τη λειτουργία ενός συστήματος αυτοματισμού, διάφοροι τύποι και κατηγορίες αυτοματισμού και θα περιγραφεί ένα απλό σύστημα αυτοματισμού. Ιδιαίτερη προσοχή θα δοθεί στις μονάδες, από τις οποίες αποτελείται ένα σύστημα αυτοματισμού, και στον ρόλο της κάθε μονάδας κατά τη λειτουργία του.

ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΟΥ ΑΥΤΟΜΑΤΙΣΜΟΥ

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.). Ο ρυθμιστής αυτός είχε κατασκευαστεί κατά τέτοιο τρόπο,

ώστε με το άναμμα φωτιάς στο βωμό που βρισκόταν μπροστά από ένα ναό, άνοιγε η πύλη του. Η λειτουργία του βασιζόταν σε ένα πρωτόλειο πνευματικό σύστημα (δηλαδή ένα σύστημα που δούλευε με την δύναμη του ατμού), που βρισκόταν στο έδαφος και με το οποίο μετακινιόταν η πύλη του ναού, με την βοήθεια ζεστού αέρα.

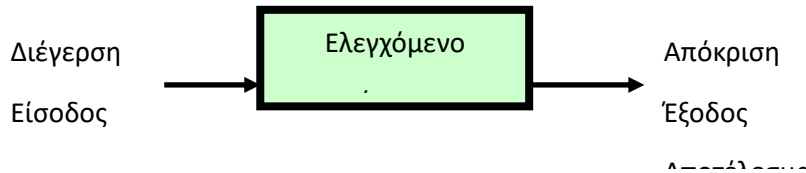
Αλλά, ενώ κατά την αρχαιότητα φαίνεται να έχουν κατασκευαστεί αρκετές "αυτόματες" μηχανές, στα κατοπινά χρόνια δεν έχουμε σημαντική πρόοδο στον τομέα αυτό. Από το 18^ο αιώνα αρχίζει ξανά η έρευνα πάνω σε θέματα αυτοματισμών, με κυριότερη ανακάλυψη τον πρώτο φυγοκεντρικό ρυθμιστή ταχύτητας, που εφαρμόστηκε στον έλεγχο της ταχύτητας των ατμομηχανών.

Όλες αυτές οι κατασκευές βασίστηκαν στο ταλέντο και στην εμπειρία των εφευρετών και στερούνταν θεωρητικής μαθηματικής βάσης. Το κενό αυτό το καλύπτουν οι Maxwell (1868) και Vyshnegradski (1876), που δημιούργησαν μαθηματικά μοντέλα, κυρίως για το ρυθμιστή του Watt. Από την εποχή αυτή και μετά τα συστήματα αυτομάτου ελέγχου που κατασκευάζονται βασίζονται στην αναγκαία θεωρητική μελέτη. Το 1934 εμφανίζεται η έννοια της ανατροφοδότησης (feedback), της τροφοδοσίας δηλαδή της εισόδου ενός συστήματος με ένα σήμα που εξαρτάται από την έξοδο του συστήματος, το οποίο 'προστίθεται' στο σήμα εισόδου. Η δυνατότητα αυτορρύθμισης, που προκύπτει με τον τρόπο αυτό, έδωσε σημαντική ώθηση στην ανάπτυξη συστημάτων αυτοματισμού. Έτσι, από το δεύτερο παγκόσμιο πόλεμο και μετά έχουμε ραγδαία εξέλιξη τόσο στη θεωρία, όσο και στην κατασκευή των συστημάτων αυτοματισμού. Εισάγεται η θεωρία των Συστημάτων Αυτομάτου Ελέγχου (ΣΑΕ) και αναπτύσσονται διάφορες μέθοδοι θεωρητικής σχεδίασης ελεγκτών.

Η ανάπτυξη της μικροηλεκτρονικής έδωσε νέα ώθηση στον τομέα του αυτοματισμού, αφού κατασκευάστηκαν σύνθετα συστήματα μετρήσεων και ελέγχου, με ιδιαίτερα μικρό όγκο. Τέλος η ανάπτυξη τεχνικών για την επεξεργασία της πληροφορίας και την λήψη αποφάσεων, όπως τα νευρωνικά δίκτυα, η τεχνητή νοημοσύνη και τα έμπειρα συστήματα, έδωσαν την δυνατότητα δημιουργίας αυτοματισμών με υψηλό βαθμό ευφυΐας.

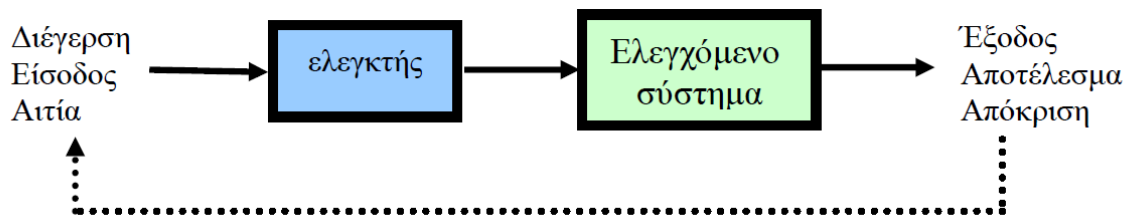
2. ΓΕΝΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΑΥΤΟΜΑΤΟΥ ΕΛΕΓΧΟΥ

Στο Σχήμα 1 διακρίνουμε ένα σύστημα, το οποίο συμβολίζεται με ένα πλαίσιο. Το σύστημα αυτό αντιστοιχεί στο πρότυπο (μοντέλο) μιας διαδικασίας (ή ελεγχόμενο σύστημα) (plant) και εμφανίζεται να δέχεται μια ή περισσότερες διεγέρσεις (εισόδους) και να δίνει μια ή περισσότερες αποκρίσεις (εξόδους).



Σχήμα 1. Απεικόνιση συστήματος

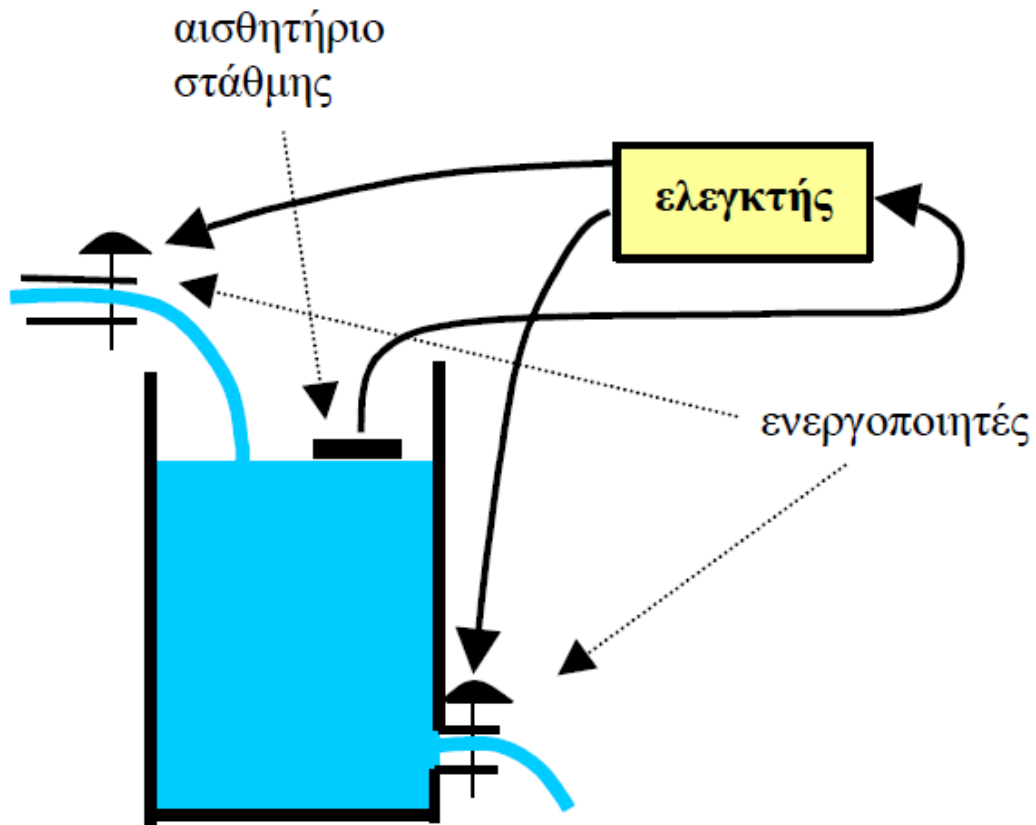
Το βασικό πρόβλημα του αυτοματισμού είναι η σχεδίαση κατάλληλης διάταξης, η οποία, όταν επιδρά στο σύστημα, να δίνει για συγκεκριμένη (γνωστή) είσοδο μια προκαθορισμένη έξοδο. Η διάταξη αυτή ονομάζεται ελεγκτής (controller). Έτσι το Σχήμα 1 τροποποιείται όπως φαίνεται στο Σχήμα 2.



Σχήμα 2. Απεικόνιση συστήματος αυτοματισμού

Έτσι, μία μονάδα αυτοματισμού αποτελείται (συνολικά) από την είσοδο, τον ελεγκτή και το ελεγχόμενο σύστημα, προκειμένου να δημιουργηθεί η επιθυμητή έξοδος-αποτέλεσμα. Να σημειώσουμε ότι ο ελεγκτής προϋποθέτει την ύπαρξη κάποιων στοιχείων, στα οποία θα επιδράσει και τα οποία ρυθμίζουν τις λειτουργίες εκείνες του ελεγχόμενου συστήματος που εξασφαλίζουν την επιθυμητή έξοδο. Τα στοιχεία αυτά ονομάζονται ενεργοποιητές (actuators). Επίσης στο σύστημα είναι απαραίτητα κάποια στοιχεία μέτρησης που ονομάζονται αισθητήρια (sensors), και θα δίνουν την κατάσταση των μεγεθών, από τα οποία εξαρτάται το σύστημα. Έτσι, εάν π.χ. επιδιώκουμε να ελέγξουμε τη στάθμη σε μια δεξαμενή, εκτός από τη δεξαμενή και τον ελεγκτή θα υπάρχουν και τα αισθητήρια που μετρούν την στάθμη του νερού, καθώς και ηλεκτροβάνες (ενεργοποιητές) στις οποίες επιδρά ο ελεγκτής και ρυθμίζουν την ποσότητα νερού, που εισέρχεται ή εξέρχεται από τη δεξαμενή.

Το σήμα εισόδου του κυκλώματος προέρχεται από ένα ή περισσότερα αισθητήρια, δηλαδή διατάξεις που είναι ευαίσθητες σε μεταβολές διαφόρων φυσικών μεγεθών (σήματα) και αντιδρούν σ' αυτές παράγοντας ηλεκτρικό, κατά κανόνα, σήμα. Μια σημαντική περίπτωση είναι όταν κάποιο από τα αισθητήρια βρίσκεται στο χώρο εξόδου και επηρεάζεται από το αποτέλεσμα. Τότε έχουμε μία λειτουργία που ονομάζεται ανατροφοδότηση- AT (feedback), όπου η έξοδος του συστήματος επηρεάζει την λειτουργία του ελεγκτή. (Στο σχήμα .2 η γραμμή



Σχήμα 3. Έλεγχος στάθμης δεξαμενής

A/T φαίνεται με διακεκομμένη γραμμή) και το σύστημα ονομάζεται κλειστό ή σύστημα κλειστού βρόχου (closed loop system). Αν αντίθετα δεν υπάρχει η λειτουργία αυτή και η λειτουργία του ελεγκτή είναι ανεξάρτητη της εξόδου του συστήματος, τότε το σύστημα ονομάζεται ανοικτό σύστημα ή σύστημα ανοικτού βρόχου (open loop system).

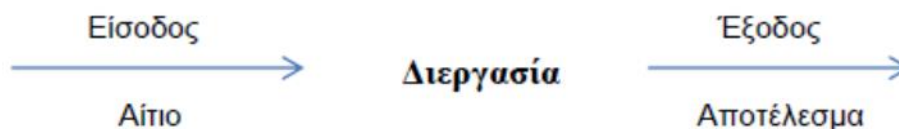
Ένα παράδειγμα κλειστού συστήματος αποτελεί το θερμοσίφωνο. Σαν ελεγχόμενο σύστημα θεωρείται το τμήμα της συσκευής που ζεσταίνει το νερό και σαν ελεγκτής ο θερμοστάτης. Είσοδος του συστήματος είναι το ηλεκτρικό ρεύμα και έξοδος η θερμοκρασία του νερού. Ο θερμοστάτης παρακολουθεί την θερμοκρασία του νερού (έξοδος) και όταν αυτή γίνει μικρότερη από μια επιθυμητή τιμή επιτρέπει το ηλεκτρικό ρεύμα (είσοδος) να φτάσει στην αντίσταση που θερμαίνει το νερό. Όταν η θερμοκρασία ξεπεράσει κάποια δεδομένη τιμή, ο θερμοστάτης αποκόπτει την τροφοδοσία της αντίστασης. Βλέπουμε λοιπόν ότι η είσοδος του συστήματος επηρεάζεται από την έξοδό του.

Παράδειγμα ανοικτού συστήματος αποτελεί το ηλεκτρικό πλυντήριο. Εδώ ελεγχόμενο σύστημα είναι το πλυντήριο και ελεγκτής ο "εγκέφαλος" του. Είσοδοι του συστήματος είναι η ποσότητα του απορρυπαντικού, η ποσότητα του νερού που θα χρησιμοποιηθεί και το ηλεκτρικό ρεύμα ενώ έξοδος είναι η καθαρότητα των ρούχων. Η μονάδα που ονομάζουμε "εγκέφαλο" οδηγεί το πλυντήριο σε μια σειρά από λειτουργίες (πλύσιμο, στύψιμο, κ.λ.π.) σε χρονική σειρά, χωρίς όμως να εξετάζει τα αποτελέσματά τους. Αν δηλαδή τα ρούχα δεν πλύθηκαν καλά, δεν πρόκειται να αλλάξει κάτι στην σειρά των λειτουργιών που εκτελεί. Δηλαδή η έξοδος δεν επηρεάζει την είσοδο του συστήματος.

3. ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΕΛΕΓΧΟΥ ΑΝΟΙΚΤΟΥ ΚΑΙ ΚΛΕΙΣΤΟΥ ΒΡΟΓΧΟΥ

Γενική περιγραφή συστημάτων αυτομάτου ελέγχου

Σύστημα αυτομάτου ελέγχου ένα σύνολο αλληλοσυνδεόμενων μηχανισμών και εξαρτημάτων που έχει ως σκοπό την επίτευξη του επιθυμητού αποτελέσματος (απόκριση). Η βάση για την ανάλυση των συστημάτων ελέγχου είναι η θεωρία γραμμικών συστημάτων (γραμμικό ονομάζουμε ένα σύστημα, όταν η έξοδος του ακολουθεί την είσοδο του συστήματος, δηλαδή όταν διπλασιάζεται ή όταν τριπλασιάζεται η είσοδος. Το ίδιο ισχύει και για την έξοδο), η οποία προϋποθέτει ότι υπάρχει η σχέση «αίτιου - αποτελέσματος» μεταξύ των διαφόρων στοιχείων που αποτελούν το σύστημα.

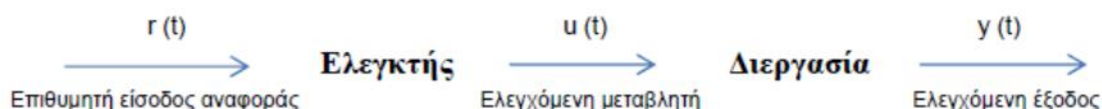


Η διεργασία (process), η οποία ονομάζεται επίσης και βαθμίδα (block), εκτελείται από ένα στοιχείο του συστήματος και παριστάνεται συμβολικά με έντονο μαύρο χρώμα. Το αίτιο που ενεργοποιεί το σύστημα είναι η **είσοδος του συστήματος** (system input). Το αποτέλεσμα που θα προκύψει μετά την εκτέλεση της διεργασίας είναι η έξοδος του συστήματος. Για παράδειγμα, μπορούμε να αναφέρουμε, ως σύστημα το θερμοσίφωνα, όπου είσοδος του είναι η εντολή για θέρμανση του νερού. Την εντολή αυτή εκτελεί ο θερμοσίφωνας και μετά από κάποιο χρονικό διάστημα δίδει ως έξοδο το ζεστό νερό.

Συστήματα ανοικτού βρόγχου

Σε ένα σύστημα αυτομάτου ελέγχου το σήμα εισόδου δίνεται στο σύστημα από ένα «πρόσθετο σύστημα» που το ονομάζουμε ελεγκτή. Ο ελεγκτής ελέγχει τη διεργασία για να διατηρείται η επιθυμητή έξοδος. Σε ένα σύστημα ελέγχου η είσοδος που εφαρμόζεται είναι η επιθυμητή έξοδος. Στο προηγούμενο παράδειγμα, ο θερμοσίφωνας έχει ως επιθυμητή έξοδο το ζεστό νερό μιας ορισμένης θερμοκρασίας. Ο ελεγκτής είναι ο θερμοστάτης, ο οποίος ρυθμίζει τη λειτουργία του θερμοσίφωνα (καυστήρα).

Στο σύστημα ανοικτού βρόγχου η ροή πληροφοριών γίνεται μόνο σε μια κατεύθυνση, που ονομάζεται **διεύθυνση** και είναι η ροή από τον ελεγκτή προς τη διεργασία (ελεγχόμενο σύστημα). Η διαδικασία ελέγχου σε ένα σύστημα ανοικτού βρόγχου βασίζεται στην εύρεση του κατάλληλου ελεγκτή και στην επιλογή της κατάλληλης ελεγχόμενης μεταβλητής **$u(t)$** έτσι ώστε η έξοδος του συστήματος να ανταποκρίνεται στην επιθυμητή είσοδο αναφοράς.



Συστήματα κλειστού βρόγχου

Τα κλειστά συστήματα διαφέρουν από τα ανοικτά συστήματα στην αρχή λειτουργίας τους και η διαφορά αυτή οφείλεται στη λήψη πληροφοριών από την έξοδο στην είσοδο του συστήματος. Τα συστήματα ανοικτού βρόγχου δίνουν εντολές και κατευθύνουν, δεν ελέγχουν όμως το αποτέλεσμα σε σχέση με την επιθυμητή είσοδο αναφοράς. Έτσι δεν ασκείται συνεχής δυναμικός έλεγχος κατά τη διάρκεια της **διαδικασίας ελέγχου** (on line). Για να υπάρχει δυναμικός έλεγχος απαιτείται η δημιουργία συστήματος κλειστού βρόγχου, στο

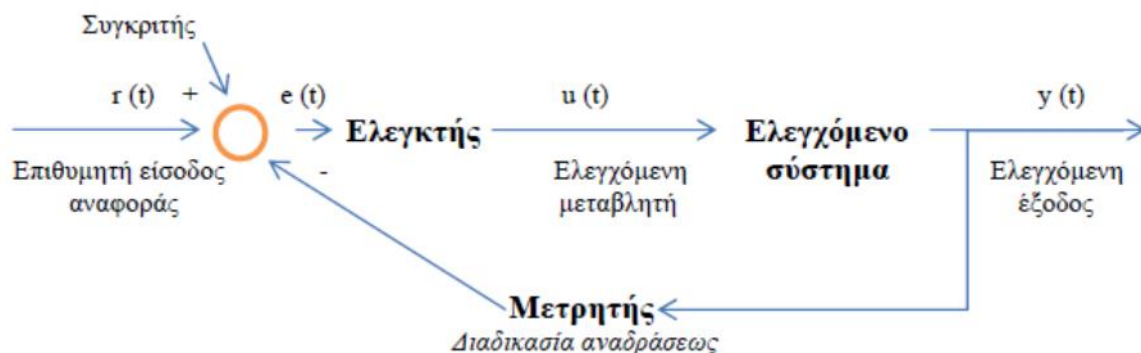
οποίο ισχύουν οι παρακάτω επιπρόσθετες διαδικασίες:

- Η διαδικασία μετρήσεως, όπου μετράται από έναν **μετρητή** η έξοδος του συστήματος.
- Η διαδικασία συγκρίσεως, όπου το σήμα του μετρητή συγκρίνεται με την επιθυμητή είσοδο αναφοράς από τον συγκριτή.

Η διαδικασία αυτή του ελέγχου προϋποθέτει μια αντίστροφη πορεία από την έξοδο προς την είσοδο, από το αποτέλεσμα προς το αίτιο. Η διαδικασία αυτή ονομάζεται **ανάδραση** (feedback) ή ανατροφοδότηση. Η ανάδραση ή ανατροφοδότηση επιτρέπει τη μέτρηση της ελεγχόμενης εξόδου του συστήματος, την επαναφορά της στην είσοδο και τη σύγκριση της με την επιθυμητή είσοδο αναφοράς. Δημιουργεί, έτσι ένα κύκλο ελέγχου σχηματίζοντας το σφάλμα ελέγχου καθ' όλη τη διάρκεια της διαδικασίας ελέγχου. Το σφάλμα ελέγχου είναι το αποτέλεσμα της συγκρίσεως ανάμεσα στην πραγματική ελεγχόμενη έξοδο και την επιθυμητή είσοδο αναφοράς ενός συστήματος ελέγχου και αποτελεί τη διέγερση στον ελεγκτή του συστήματος.

Μηδενικό σφάλμα σημαίνει ταύτιση εισόδου αναφοράς και εξόδου, δηλαδή το σύστημα λειτουργεί τέλεια. Θετικό ή αρνητικό σφάλμα σημαίνει αντίστοιχα θετική ή αρνητική απόκλιση μεταξύ εισόδου-εξόδου. Αντίθετα, από το μηδενικό σφάλμα στο θετικό ή αρνητικό ενεργοποιείται ο ελεγκτής με στόχο την επαναφορά του συστήματος στην επιθυμητή κατάσταση.

Η γραφική απεικόνιση ενός **συστήματος κλειστού βρόγχου ή συστήματος ελέγχου με ανάδραση** όπως διεθνώς έχει επικρατήσει (feedback control system), περιλαμβάνει εκτός από τον ελεγκτή, το μετρητή, το συγκριτή με το σφάλμα ελέγχου $e(t)$ και την επιθυμητή είσοδο αναφοράς.



Όπως βλέπουμε ο συγκριτής συγκρίνει αλγεβρικά (+ και -) το σήμα εισόδου με το σήμα αναδράσεως. Ένα σύστημα ονομάζεται **αρνητικής αναδράσεως** (negative feedback), όταν το σήμα της αναδράσεως αφαιρείται κατά τη σύγκρισή του από το σήμα της εισόδου.

Σύγκριση συστημάτων ανοικτού και κλειστού βρόγχου

Τα συστήματα ανοικτού βρόγχου είναι συστήματα, τα οποία περιλαμβάνουν τον ελεγκτή και το ελεγχόμενο σύστημα, ενώ τα συστήματα κλειστού βρόγχου περιλαμβάνουν επιπλέον τον **μετρητή** (detector) και το **συγκριτή** (comparator).

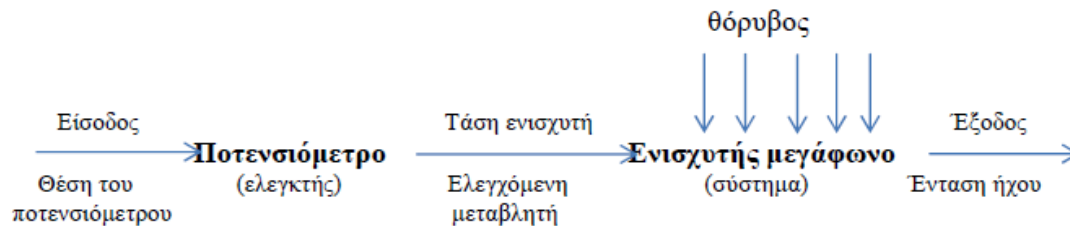
Στα συστήματα ανοικτού βρόγχου ασκείται η διεύθυνση ως διαδικασία ελέγχου, που σημαίνει ότι έχει μια διαδικασία παραγωγής του επιθυμητού σήματος εισόδου και εφαρμογής στο ελεγχόμενο σύστημα μέσω του ελεγκτή. Επιπλέον στο σύστημα κλειστού βρόγχου υπάρχει και η διαδικασία ελέγχου, δηλαδή η έξοδος του συστήματος. Το αποτέλεσμα που προκύπτει από τη διεύθυνση μετρείται και συγκρίνεται με την επιθυμητή είσοδο αναφοράς. Αυτή η σημαντική λειτουργία ονομάζεται **ανάδραση** και αποτελεί τη βασική διαφορά μεταξύ των δυο τύπων συστημάτων αλλά και το βασικό πλεονέκτημα του συστήματος κλειστού βρόγχου έναντι του ανοικτού βρόγχου.

Στη σύγχρονη εποχή τα συστήματα ελέγχου που χρησιμοποιούνται ευρέως είναι τα συστήματα κλειστού βρόγχου με πολλές εφαρμογές στη βιομηχανία, τη ναυτιλία, τη γεωργία, την ιατρική, τις τηλεπικοινωνίες κ.α..

Ακολουθούν μερικά χαρακτηριστικά παραδείγματα συστημάτων ανοικτού βρόγχου:

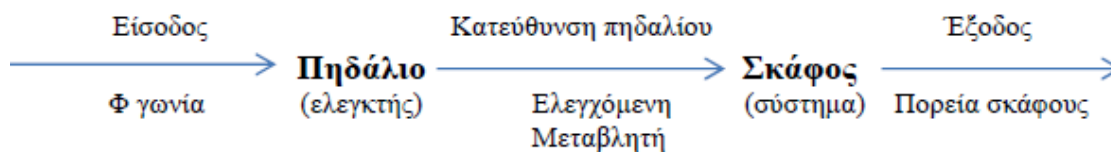
1) Έλεγχος εντάσεως ραδιοφώνου

Το ποτενσιόμετρο αποτελεί ένα στοιχείο ελέγχου σε ηλεκτρικά κυκλώματα. Με το ποτενσιόμετρο εισόδου μπορούμε να ελέγχουμε την τάση του ενισχυτή και συνεπώς την ένταση του ήχου στα μεγάφωνα του ραδιοφώνου.



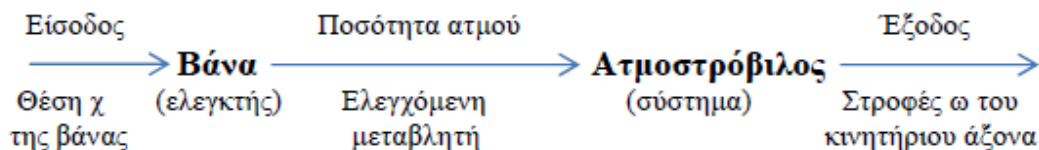
2) Έλεγχος πορείας σκάφους

Το πηδάλιο του σκάφους είναι ο ελεγκτής μέσω του οποίου ελέγχεται η πορεία του.



3) Έλεγχος στροφών ατμοστροβίλου

Μια ρυθμιστική βάνα στην προσαγωγή του ατμού ενός ατμοστροβίλου είναι δυνατόν να ρυθμίζει τις στροφές του κινητήριου άξονα του ατμοστροβίλου. Η ρυθμιστική βάνα αποτελεί τον ελεγκτή του συστήματος.

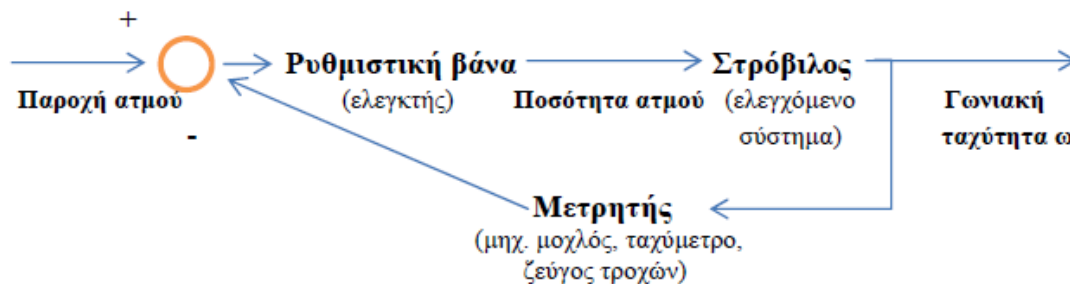


Ακολουθούν μερικά χαρακτηριστικά παραδείγματα συστημάτων κλειστού βρόγχου:

4) Έλεγχος στροφών ατμοστροβίλου με τον ρυθμιστή το Βαπ

Η μέτρηση των στροφών του ατμοστροβίλου με το ταχύμετρο του Βαπ, ένα μηχανισμό που μετατρέπει τις στροφές σε ευθύγραμμη μετατόπιση δύο ή περισσότερων σφαιρών και συνδέεται μέσω μηχανικών μοχλών με ρυθμιστική βάνα στην είσοδο του ατμοστροβίλου. Όταν μειωθούν οι στροφές του κινητήριου άξονα του ατμοστροβίλου, τότε μετακινούνται προς τα κάτω οι περιστρεφόμενες σφαίρες του ταχύμετρου ανοίγοντας τη ρυθμιστική βάνα με

αποτέλεσμα την αύξηση της παροχής του ατμού. Έτσι η αύξηση της παροχής του ατμού αυξάνει τις στροφές του ατμοστροβίλου. Αντίθετα, όταν αυξηθούν οι στροφές του κινητήριου άξονα του ατμοστροβίλου, τότε οι περιστρεφόμενες σφαίρες μετακινούνται προς τα πάνω κλείνοντας τη ρυθμιστική βάνα με αποτέλεσμα τη μείωση της παροχής του ατμού. Συνεπώς, η μείωση της παροχής του ατμού μειώνει τις στροφές του ατμοστροβίλου.



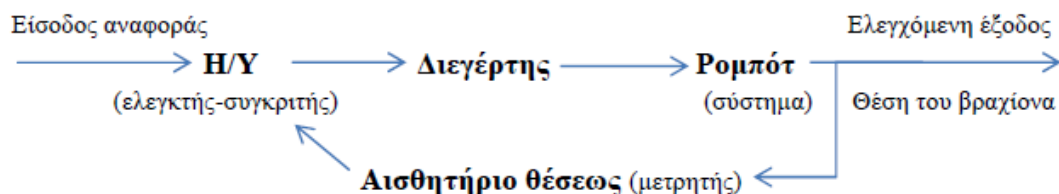
5) Έλεγχος θερμοκρασίας ηλεκτρικού ψυγείου

Στο σύστημα αυτό με τη βοήθεια ενός θερμοστάτη ελέγχουμε τη θερμοκρασία που αναπτύσσεται στον εσωτερικό χώρο ενός ψυγείου.



6) Αυτόματος έλεγχος ρομπότ

Ο έλεγχος ενός ρομπότ αποτελεί έλεγχο κλειστού βρόγχου. Σε αυτό το σύστημα ο Η/Υ αποτελεί τον ελεγκτή και το συγκριτή ταυτόχρονα, ενώ το ελεγχόμενο σύστημα είναι το ρομπότ (μηχανικό μέρος). Η ανάδραση πραγματοποιείται μέσω ενός αισθητηρίου (sensor), το οποίο εντοπίζει τη θέση του αντικειμένου και επιτρέπει μέσω του Η/Υ τη σύγκριση μεταξύ πραγματικής και επιθυμητής θέσεως του βραχίονα του ρομπότ. Ο διεγέρτης είναι ένα ηλεκτροϋδραυλικό σύστημα παροχής κινήσεως στο ρομπότ.



4. ΑΠΛΑ ΚΑΙ ΣΥΝΘΕΤΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΥΤΟΜΑΤΙΣΜΟΥ

Ένας αυτοματισμός, σχεδόν πάντα, μπορεί να πραγματοποιηθεί με περισσότερους από έναν τρόπους. Κάθε τρόπος μεταφέρει κάποιο βαθμό "ευφυΐας". Έτσι έχουμε λιγότερο ή περισσότερο ευφυείς αυτοματισμούς.

Έστω ότι θέλουμε ένα κύκλωμα φωτισμού να ενεργοποιείται τη νύκτα και να σβήνει την ημέρα. Ένας απλός τρόπος είναι να χρησιμοποιήσουμε σαν κύκλωμα ελέγχου ένα χρονοδιακόπτη. Με τον τρόπο αυτό η λειτουργία των λαμπτήρων θα ελέγχεται για χρονική περίοδο μιας ημέρας και τελικά θα ανάβουν για κάποιο συγκεκριμένο χρονικό διάστημα. Ένας δεύτερος τρόπος είναι να χρησιμοποιήσουμε έναν φωτοδιακόπτη. Στη περίπτωση αυτή το κύκλωμα ελέγχου ενεργοποιεί τους λαμπτήρες, όταν ο φωτισμός του χώρου πέσει κάτω από μια επιθυμητή στάθμη. Είναι προφανές ότι με την πρώτη μέθοδο το αποτέλεσμα που θα έχουμε δεν θα είναι το καλύτερο δυνατό, αφού η χρονική διάρκεια της νύχτας δεν είναι ίδια όλες τις εποχές οι ίδιες. Αντίθετα με την δεύτερη μέθοδο το κύκλωμα αυτοματισμού "αντιλαμβάνεται" πότε νυχτώνει και "αντιδρά", ενεργοποιώντας το κύκλωμα φωτισμού.

Η ευφυΐα ενός αυτοματισμού εξαρτάται αφ' ενός από τα αισθητήρια που χρησιμοποιούνται στην είσοδο, αφ' ετέρου από την επεξεργασία της πληροφορίας, που αυτά δίνουν, για τη λήψη της τελικής απόφασης. Οι σημερινοί αυτοματισμοί ξεκινούν από χαμηλό βαθμό ευφυΐας και φθάνουν σε ιδιαίτερα υψηλό βαθμό, με τη χρήση πολύπλοκων αισθητηρίων και σύνθετων τεχνικών επεξεργασίας και λήψης αποφάσεων, όπως είναι τα νευρωνικά δίκτυα και η τεχνητή νοημοσύνη. Ακριβώς η ύπαρξη τέτοιας διαδικασίας λήψης αποφάσεων, με βάση τα ερεθίσματα που μεταφέρουν τα αισθητήρια, διαφοροποιεί έναν απλό (συνήθως χρονικό) από έναν "έξυπνο" αυτοματισμό.

Σκοπός ενός αυτοματισμού είναι να αντιλαμβάνεται καταστάσεις όπως ο άνθρωπος και να αντιδρά όπως αυτός, εξαλείφοντας την περίπτωση σφάλματος.

Ευφυή αισθητήρια

Με τον όρο "ευφυές αισθητήριο" προσδιορίζεται ένα αισθητήριο που έχει τα εξής χαρακτηριστικά:

- Ψηφιακή έξοδο, δηλαδή σήμα με διακριτές χρονικά τιμές και με προκαθορισμένες στάθμες τάσης, το οποίο είναι, συνήθως, κατάλληλο να τροφοδοτήσει τις εισόδους ψηφιακού ηλεκτρονικού υπολογιστή.
- Αμφίδρομη επικοινωνία, δηλαδή έχει τη δυνατότητα να δίνει σήματα πληροφορίας (ανάλογα με τις τιμές των μετρούμενων φυσικών μεγεθών) και να δέχεται εντολές που σχετίζονται με τη λειτουργία του.
- Δυνατότητα προσπέλασης σε συγκεκριμένη θέση μνήμης του ψηφιακού συστήματος, με το οποίο είναι συνδεδεμένο.
- Δυνατότητα εκτέλεσης εντολών και λογικών ενεργειών, οι οποίες διαβιβάζονται σ' αυτό από το ψηφιακό σύστημα (κάποιου είδους ηλεκτρονικό υπολογιστή), με το οποίο είναι συνδεδεμένο.

Επιπλέον, είναι επιθυμητό να περιλαμβάνει εξελιγμένες λειτουργίες, όπως:

- Αντιστάθμιση δευτερευουσών παραμέτρων (όπως θερμοκρασία), δηλαδή τρόπους εξουδετέρωσης των επιπτώσεων των μεταβολών αυτών των παραμέτρων στην ομαλή λειτουργία του.
- Ανίχνευση λάθους, δηλαδή δυνατότητα αντίληψης περί της ορθής λειτουργίας και διάγνωσης μιας πιθανής απόκλισης απ' αυτήν.
- Αυτοέλεγχο, δηλαδή δυνατότητα αυτοκαθορισμού των τιμών των διαφόρων ιδιοτήτων του, με βάση πληροφορίες ή επιδράσεις του περιβάλλοντος.

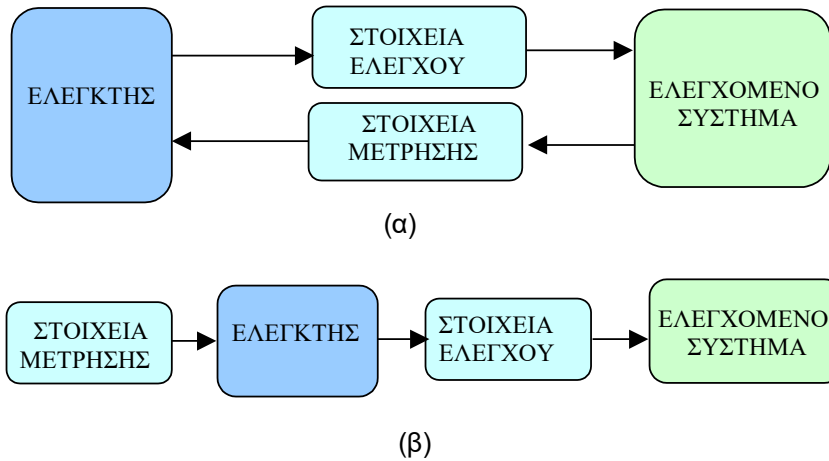
Οι λειτουργίες αυτές επιτυγχάνονται είτε με την ενσωμάτωση ηλεκτρονικών κυκλωμάτων στο πακέτο του αισθητηρίου, είτε με την κατασκευή του αισθητηρίου και του αναγκαίου ηλεκτρονικού κυκλώματος στο ίδιο κομμάτι ημιαγωγού.

Τα αισθητήρια εξελίχθηκαν μέσα από διαδοχικές γενεές. Η πρώτη γενεά δεν είχε ηλεκτρονικό κύκλωμα. Η δεύτερη είχε ηλεκτρονικά κυκλώματα, χωριστά όμως από το υπόλοιπο αισθητήριο. Στην τρίτη γενεά, που αφορά τα σημερινά αισθητήρια, στην κατασκευή του αισθητηρίου συνυπάρχει και ηλεκτρονικό κύκλωμα (τουλάχιστον για ενίσχυση του σήματος). Η έξοδος των αισθητηρίων αυτών είναι αναλογικό ηλεκτρικό σήμα και η πληροφορία που μεταφέρουν βρίσκεται είτε στην τάση, είτε στην ένταση, είτε στη συχνότητα του σήματος. Το σήμα αυτό μετατρέπεται σε ψηφιακό στη μονάδα επεξεργασίας.

Τα αισθητήρια τέταρτης γενεάς, που κατασκευάζονται σήμερα, περιλαμβάνουν τα ηλεκτρονικά και τα ψηφιακά ηλεκτρονικά συστήματα στο ίδιο κομμάτι ημιαγωγού με το αισθητήριο, δίνοντας στο αισθητήριο τη δυνατότητα αμφίπλευρης επικοινωνίας με τον υπολογιστή. Τέλος στα αισθητήρια πέμπτης γενεάς, που ήδη σχεδιάζονται, η μετατροπή των δεδομένων γίνεται στο αισθητήριο, οπότε η αμφίπλευρη επικοινωνία αισθητηρίου και υπολογιστή είναι ψηφιακή. Τα αισθητήρια αυτά περιέχουν τρία βασικά κυκλώματα : α) κύκλωμα επεξεργασίας του σήματος (ενίσχυση, φιλτράρισμα, πολυπλεξία) β) κύκλωμα ψηφιοποίησης του σήματος γ) κύκλωμα προσαρμογής, ώστε τα αισθητήρια να επικοινωνούν με έναν ελεγκτή χωρίς τη μεσολάβηση άλλου κυκλώματος (interface)

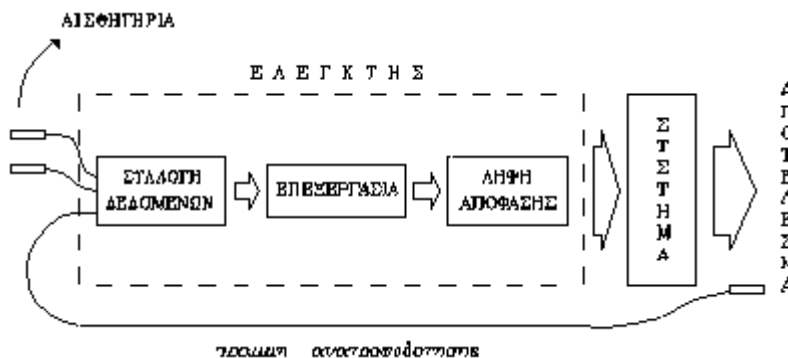
5. ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ ΑΥΤΟΜΑΤΙΣΜΟΥ

Ένα διάγραμμα αυτοματισμού έχει την μορφή του σχήματος 1



Σχήμα 1: Διάγραμμα (α) κλειστού και (β) ανοικτού συστήματος αυτομάτου ελέγχου

Στο Σχήμα 2, φαίνεται ένα περισσότερο αναλυτικό διάγραμμα, κυρίως σε ότι αφορά τις μονάδες, από τις οποίες αποτελείται ο ελεγκτής. Σαν είσοδοι στο κύκλωμα χρησιμοποιούνται διάφορα αισθητήρια (sensors). Σκοπός των αισθητηρίων είναι να μετατρέπουν (πιθανόν με την βοήθεια ηλεκτρονικού κυκλώματος) κάποιο γεγονός ή φυσικό φαινόμενο σε κατάλληλο ηλεκτρικό σήμα. Η σύγκριση του σήματος αυτού με κάποιο άλλο που θεωρούμε αυθαίρετα σαν μονάδα, ονομάζεται ηλεκτρονική μέτρηση.



Σχήμα 2. Αναλυτικό διάγραμμα ελεγκτή

Το επόμενο βήμα είναι η συλλογή της πληροφορίας από τα διάφορα αισθητήρια. Η μεταφορά αυτή γίνεται είτε μέσω απλού καλωδίου, είτε μέσω ομάδας καλωδίων που σχηματίζουν ένα δίαυλο (bus). Το μήκος των καλωδίων περιορίζεται από την μορφή του σήματος των αισθητηρίων. Μεγάλο μήκος καλωδίου μεταφοράς πιθανόν να αλλοιώνει το σήμα. Η

διαδικασία σύνδεσης των αισθητηρίων και συλλογής των δεδομένων τους, που σε απλούς αυτοματισμούς φαίνεται ασήμαντη, είναι ιδιαίτερα σημαντική σε πιο σύνθετους αυτοματισμούς. Και αυτό γιατί σε αρκετές περιπτώσεις είναι δυνατόν να έχουμε μεγάλο όγκο δεδομένων, με ταχύτητα μεταφοράς μεγαλύτερη από την ταχύτητα επεξεργασίας του ελεγκτή. Στην περίπτωση αυτή, κάποια δεδομένα χάνονται και το σύστημα μπορεί να οδηγηθεί σε λάθος απόφαση. Έτσι, στους σύνθετους αυτοματισμούς υπάρχει πρόβλεψη προσωρινής αποθήκευσης των δεδομένων, στην περίπτωση που υπάρχει αδυναμία άμεσης επεξεργασίας τους.

Επόμενο στάδιο είναι η επεξεργασία των δεδομένων. Στο στάδιο αυτό περιλαμβάνονται μια σειρά από μετατροπές, που πρέπει να υποστεί το σήμα που έρχεται από ένα αισθητήριο (ενίσχυση, γραμμικοποίηση, φιλτράρισμα) προκειμένου να γίνει εκμεταλλεύσιμο. Σε επόμενα κεφάλαια θα δούμε αναλυτικά τις βαθμίδες αυτές.

Αφού το σήμα πάρει την κατάλληλη μορφή, εισέρχεται στη μονάδα λήψης απόφασης. Η μονάδα αυτή μπορεί να είναι ένα απλό κύκλωμα ανίχνευσης του σήματος του αισθητηρίου (συγκεκριμένης στάθμης), οπότε δίνεται στο σύστημα η εντολή να εκτελέσει μια λειτουργία, μπορεί όμως να είναι και ένα σύνθετο κύκλωμα ή πρόγραμμα (software), που με μια σειρά σύνθετες λειτουργίες επιλέγει την καλύτερη από ένα σύνολο δυνατών ενεργειών.

Μία σημαντική ενέργεια είναι να ελεγχθεί εάν η λειτουργία που εξετέλεσε το σύστημα ήταν η σωστή (στην περίπτωση π.χ. που το ελεγχόμενο σύστημα είναι ένας κινητήρας, όταν δοθεί από τον ελεγκτή σήμα να ξεκινήσει, θα πρέπει να ελεγχθεί αν πράγματι ξεκίνησε). Για το λόγο αυτό απαιτείται ένα ή περισσότερα αισθητήρια να παρακολουθούν την έξοδο του συστήματος και να ρυθμίζουν ανάλογα τη λειτουργία του ελεγκτή. Αν τελικά η σωστή λειτουργία δεν εκτελείται, θα πρέπει να ενεργοποιηθεί ένα κύκλωμα σήμανσης. Η δράση των αισθητηρίων αυτών αποτελεί μέρος της ανατροφοδότησης του κυκλώματος.

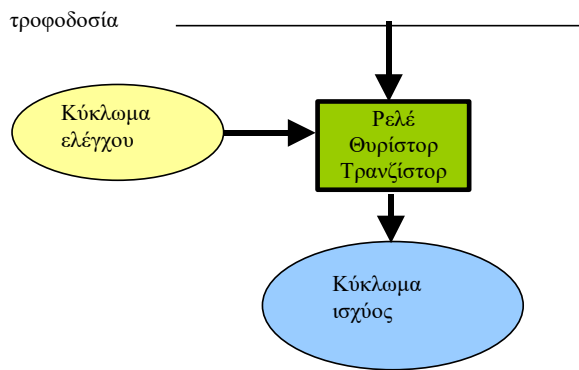
Με βάση τα ανωτέρω καταλήγουμε ότι ένα κύκλωμα αυτοματισμού αποτελείται από τις βαθμίδες που επιτελούν τις λειτουργίες: μέτρηση, συλλογή δεδομένων, επεξεργασία και έλεγχος.

ΚΥΚΛΩΜΑ ΕΛΕΓΧΟΥ – ΚΥΚΛΩΜΑ ΙΣΧΥΟΣ

Ένα κύκλωμα αυτοματισμού ενεργοποιεί στοιχεία (ενεργοποιητές) που για την λειτουργία τους απαιτούν ισχυρά ρεύματα (ηλεκτροβάνες, αντιστάσεις θέρμανσης, κινητήρες, κ.α.). Σε ένα κύκλωμα ελέγχου όμως τα ρεύματα που διαρρέουν τους αγωγούς έχουν μικρή τιμή. Είναι λοιπόν αδύνατο με το κύκλωμα ελέγχου να ρυθμίζουμε απ' ευθείας την λειτουργία ενός ενεργοποιητή. Για να ξεπεραστεί το πρόβλημα αυτό το κύκλωμα αυτοματισμού διαιρείται σε δύο τμήματα: το κύκλωμα ισχύος και το κύκλωμα ελέγχου. Το κύκλωμα ισχύος ενεργοποιεί τις μονάδες που απαιτούν υψηλά ρεύματα για τη λειτουργία τους, ενώ το κύκλωμα ελέγχου (ή βοηθητικό κύκλωμα) ελέγχει τη λειτουργία του κυκλώματος ισχύος. Το συνδετικό στοιχείο των δύο κυκλωμάτων πρέπει να μπορεί να διαρρέεται από υψηλά ρεύματα και ταυτόχρονα η λειτουργία του να ελέγχεται από ρεύμα χαμηλής τιμής. Τέτοια στοιχεία είναι οι ηλεκτρονόμοι (ρελε – θα εξετάσουμε αργότερα την λειτουργία τους), τα θυρίστορ και τα τρανζίστορ ισχύος σε σύνδεση διακόπτη, τα οποία στο κύκλωμα του αυτοματισμού αποτελούν μέρος των ενεργοποιητών. Το μεν κύκλωμα ισχύος ενεργοποιείται μέσω του στοιχείου αυτού, το δε κύκλωμα ελέγχου ρυθμίζει την λειτουργία του στοιχείου.

Στο σχήμα 3 βλέπουμε σχηματικά την συνδεσμολογία ενός συστήματος αυτοματισμού.

Να σημειώσουμε εδώ ότι σε μερικές περιπτώσεις οι απαιτήσεις για την ένταση του ηλεκτρικού ρεύματος στο κύκλωμα ισχύος είναι ιδιαίτερα υψηλές (π.χ. στην περίπτωση λειτουργίας κινητήρα). Στην περίπτωση αυτή μεταξύ του ενεργοποιητή και του στοιχείου διέγερσής του μεσολαβεί ένα ακόμη στοιχείο, το ρελέ ισχύος.



Σχήμα 3. Συνδεσμολογία συστήματος αυτοματισμού

ΑΝΑΚΕΦΑΛΑΙΩΣΗ

Τα συστήματα αυτομάτου ελέγχου ή συστήματα αυτοματισμού λειτουργούν χωρίς την ανάγκη επιτήρησης ή ανθρώπινης επέμβασης και επιδρούν στο ελεγχόμενο σύστημα, ώστε από αυτό να προκύψει η επιθυμητή έξοδος.

Ένα σύστημα αυτοματισμού αποτελείται από τις μονάδες μέτρησης, συλλογής δεδομένων, επεξεργασίας και ελέγχου.

Όταν για τον έλεγχο λαμβάνονται υπόψιν οι μετρήσεις της εξόδου του ελεγχόμενου συστήματος, τα συστήματα αναφέρονται ως κλειστά συστήματα αυτομάτου ελέγχου. Όταν το σήμα ελέγχου είναι ανεξάρτητο της τιμής της εξόδου του ελεγχόμενου συστήματος, τα συστήματα αναφέρονται ως ανοικτά συστήματα αυτομάτου ελέγχου.

Για τις μετρήσεις χρησιμοποιούμε διατάξεις, οι οποίες μετατρέπουν τα φυσικά σήματα σε ηλεκτρικά σήματα κατάλληλης μορφής και ονομάζονται αισθητήρια. Τα αισθητήρια εξελίσσονται συνεχώς και ενσωματώνουν όλο και περισσότερη ευφυΐα.

Επίσης οι ελεγκτές δρουν σε στοιχεία που ονομάζονται ενεργοποιητές και που σκοπό έχουν να ρυθμίζουν τις λειτουργίες εκείνες που εξασφαλίζουν την επιθυμητή έξοδο.

ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ

A. Να απαντήσετε συνοπτικά στις ερωτήσεις

1. Από ποιους παράγοντες εξαρτάται η ευφυΐα ενός αυτοματισμού;
2. Ποιο είναι το μειονέκτημα ενός αυτοματισμού με χρονοδιακόπτη;
3. Από ποιες μονάδες αποτελείται ένας αυτοματισμός;
4. Ποια είναι η σημασία του κυκλώματος ανατροφοδότησης σε ένα κύκλωμα αυτοματισμού;
5. Να γίνει το δομικό διάγραμμα ενός κυκλώματος αυτοματισμού που ανεβάζει ή κατεβάζει τις τέντες μιας οικίας. Τι αισθητήρια νομίζετε ότι χρειάζονται; Πώς θα γίνει ο έλεγχος σωστής λειτουργίας του;
6. Όλες οι οικιακές ηλεκτρικές συσκευές είναι απλά κυκλώματα αυτοματισμού. Διακρίνεται τις επιμέρους βαθμίδες σε κάθε μια από αυτές. Ποιες διαθέτουν περισσότερη ευφυΐα; Πώς θα μπορούσε να βελτιωθεί η ευφυΐα των λιγότερο "έξυπνων" συσκευών;

B. Να συμπληρώσετε τα κενά στις προτάσεις

1. Συστήματα αυτοματισμού ή συστήματα λέγονται συστήματα που τα διάφορα μέρη τους είναι συνδεδεμένα μεταξύ τους, έτσι ώστε να δρουν κατά έναν τρόπο.

2. Στις διάφορες επιστημονικές και ερευνητικές δραστηριότητες απαιτείται μεγάλη
....., και αποφυγή, κάτι που ο άνθρωπος δύσκολα μπορεί να επιτύχει.
3. Σκοπός του αυτοματισμού είναι να αναγκάζει ένα να δουλεύει κατά έναν τρόπο.
4. Ένα κύκλωμα αυτοματισμού αποτελείται από δύο τμήματα: το κύκλωμα και το κύκλωμα
.....
5. Η διαδικασία κατά την οποία η είσοδος επηρεάζει την έξοδο του κυκλώματος ονομάζεται.....
Και το κύκλωμα αποτελεί ένα σύστημα

Γ. Να επιλέξετε την σωστή απάντηση στις ερωτήσεις

1. Σε ένα σύστημα ανοικτού βρόχου
 - i. Υπάρχει πάντα ανατροφοδότηση
 - ii. Δεν υπάρχει ποτέ ανατροφοδότηση
 - iii. Είναι πιθανόν να υπάρχει ανατροφοδότηση

2. Ένα μπουτόν κανονικά ανοικτό NC έχει μια επαφή, η οποία
 - i. ανοίγει μόλις το μπουτόν πατηθεί
 - ii. είναι ανοικτή πριν το μπουτόν πατηθεί

3. Ο ρόλος του ελεγκτή σε ένα κύκλωμα αυτοματισμού είναι
 - i. να οδηγεί το σύστημα σε μια προκαθορισμένη έξοδο
 - ii. να περιορίζει την έξοδο του συστήματος
 - iii. να βελτιώνει την ταχύτητα του συστήματος

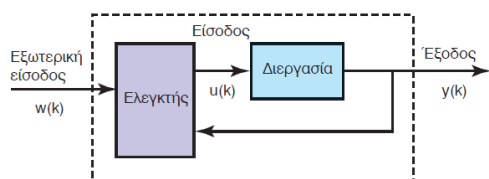
4. Ένας μη ευφυής αυτοματισμός (όπως ένας χρονοδιακόπτης) αντικαθιστά τον άνθρωπο
 - i. σε εργασίες μεγάλης ακρίβειας
 - ii. σε πολύπλοκες εργασίες
 - iii. σε απλές επαναλαμβανόμενες εργασίες

6. ΕΛΕΓΚΤΕΣ

4.1 Εισαγωγή.

Η σχεδίαση συστημάτων ελέγχου αποσκοπεί στον προσδιορισμό του κατάλληλου σήματος εισόδου, έτσι ώστε η διεργασία να έχει επιθυμητή συμπεριφορά. Η επιθυμητή συμπεριφορά της διεργασίας ποικίλλει ανάλογα με τα χαρακτηριστικά της και τη λειτουργία που αυτή καλείται να εκτελέσει. Ο έλεγχος είναι αυτόματος, εφόσον το σήμα ελέγχου (είσοδος) παράγεται από μια συσκευή που ονομάζεται *ελεγκτής* (controller) και η οποία λειτουργεί αυτόματα. Ο ελεγκτής χρησιμοποιεί, γενικά, το σήμα εξόδου (απόδοση) του συστήματος έτσι ώστε να μεγιστοποιεί την πληροφορία που γνωρίζει για τη διεργασία και έτσι να διορθώνει αυτόματα την επιλογή της κατάλληλης εντολής εισόδου. Αυτή εξάλλου είναι και η αρχή λειτουργίας του ελέγχου κλειστού βρόχου (βλ. παρ. 1.3.2) που χαρακτηρίζεται από την ανατροφοδότηση των σημάτων εξόδου της διεργασίας (σχ. 4.1).

Ο βιομηχανικός έλεγχος βασίζεται κατά κανόνα στους ελεγκτές, για την αρχή των οποίων πρέπει να ανατρέξουμε στο 18ο αιώνα. Από τότε, εκατομμύρια ελεγκτές λειτουργούν ικανοποιητικά σε όλων των ειδών τις παραγωγικές διαδικασίες (βιομηχανία, μεταλλεία, ναυσιπλοΐα, αεροπλοΐα, κ.ά.) στον κόσμο, κάτω από δύσκολες και αντίξοες αρκετές φορές συνθήκες. Είναι σχεδόν βέβαιο ότι η βιομηχανική επανάσταση θα ήταν αδύνατη χωρίς αυτούς τους απλούς, αξιόπιστους και ευρέως διαδεδομένους ελεγκτές.



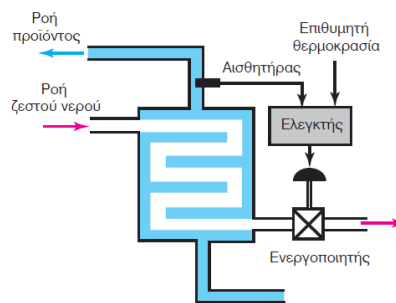
Σχ. 4.1. Δομή κλειστού βρόχου.

4.2 Τύποι ελέγχου.

Στην πράξη, μια παραγωγική διεργασία συχνά περιέχει αριθμό βρόχων ελέγχου, κάθε ένας από τους οποίους έχει διαφορετικό σκοπό και διαφορετικές προδιαγραφές. Σε πολλές περιπτώσεις οι μεταβλητές των διαφόρων βρόχων αλληλεπιδρούν και η μεταβολή μιας μεταβλητής επηρεάζει όλες τις άλλες. Η ανάλυση και η σύνθεση των πολυμεταβλητών ελεγκτών είναι δύσκολη και απαιτεί γνώση της θεωρίας των πολυμεταβλητών συστημάτων ελέγχου. Υπάρχουν όμως και απλές περιπτώσεις, όπου οι μεταβλητές ενός βρόχου δεν επηρεάζουν άλλους, οπότε οι βρόχοι ελέγχου μπορούν να θεωρηθούν ανεξάρτητοι. Έτσι διακρίνονται οι εξής βασικοί τύποι ελέγχου: ο έλεγχος μοναδικού βρόχου, ο έλεγχος λόγου, ο διαδοχικός έλεγχος και ο έλεγχος προοιμιέως.

4.2.1 Έλεγχος μοναδικού βρόχου.

Ο *έλεγχος μοναδικού βρόχου* (single-loop control) είναι ο πιο διαδεδομένος τύπος ελέγχου. Στην περίπτωση αυτή, μια μεταβλητή της ελεγχόμενης διαδικασίας ελέγχεται αποκλειστικά από έναν ελεγκτή που δεν έχει διασύνδεση με άλλον. Ο βασικότερος στόχος του ελεγκτή είναι η τήρηση της εξόδου της διαδικασίας στην επιθυμητή τιμή, παρά τις διαταραχές που μπορεί να υποσθεί. Στο σχήμα 4.2α φαίνεται ένα



Σχ. 4.2α. Έλεγχος μοναδικού βρόχου.

απλό παράδειγμα ελέγχου μοναδικού βρόχου. Η ελεγχόμενη διεργασία είναι ένας εναλλάκτης αντίστροφης ροής όπου ζεστό νερό κυκλοφορεί στο σπειρώμα του εναλλάκτη για να ζεστάνει το υγρό μέσα στο δοχείο. Ένας αισθητήρας θερμοκρασίας στην έξοδο του εναλλάκτη μεταδίδει δεδομένα για τη θερμοκρασία της εξόδου του στον ελεγκτή, ο οποίος μεταβάλλει τη θέση μιας ηλεκτροβάνας και συνεπώς της ροής του ζεστού νερού στο σπειρώμα του εναλλάκτη. Σκοπός του ελεγκτή είναι να διατηρεί τη θερμοκρασία του τελικού προϊόντος σταθερή παρά τις διακυμάνσεις στις ροές των υγρών στα δύο κυκλώματα του εναλλάκτη.

4.2.2 Έλεγχος λόγου.

Στον *έλεγχο λόγου* (ratio control), στόχος του ελεγκτή είναι η τήρηση του λόγου δύο μετρουμένων μεταβλητών σε κάποια επιθυμητή τιμή.

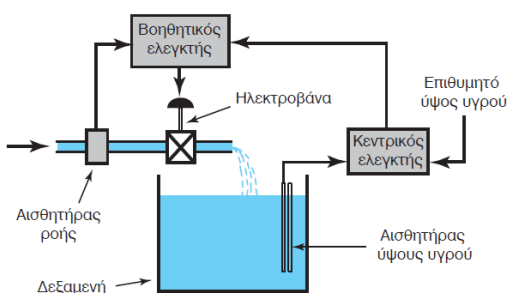
4.2.3 Διαδοχικός έλεγχος.

Στο *διαδοχικό έλεγχο* (cascade control), η έξοδος ενός βρόχου αποτελεί την επιθυμητή τιμή ενός δεύτερου βρόχου. Η μεταβλητή ελέγχου εξαρτάται από μια άλλη μεταβλητή, που έχει ανεξάρτητη ονομαστική τιμή. Στο σχήμα 4.2β φαίνεται ο έλεγχος στάθμης υγρού με διαδοχικό έλεγχο. Εδώ το ύψος του υγρού συγκρίνεται με την επιθυμητή τιμή και η διαφορά τροφοδοτεί το βοηθητικό ελεγκτή που ρυθμίζει μια ηλεκτροβάνα και τη ροή του εισερχόμενου υγρού.

4.2.4 Έλεγχος προσμείξεως.

Ο *έλεγχος προσμείξεως* (blend control) έχει ως στόχο την τήρηση των ποσοστιαίων ροών ή περισοστώρων υλικών, η πρόσμειξη των οποίων αποτελεί το τελικό προϊόν της διαδικασίας.

Η αποτελεσματικότητα ενός συστήματος ελέγχου



Σχ. 4.2β.
Διαδοχικός έλεγχος.

μπορεί να βελτιστοποιηθεί μόνο όταν όλοι οι ελεγκτές του έχουν συντονιστεί και λειτουργούν σωστά. Το μέτρο αποτελεσματικότητας εξαρτάται από:

- Την αντίδραση του συστήματος σε εξωτερικές διαταραχές, που προκαλούν απόκλιση των εξόδων από τις επιθυμητές τους τιμές.
- Το χρόνο αποκατάστασης του συστήματος μετά από κάποια διαταραχή και
- το πόσο καλά το σύστημα ακολουθεί τις προγραμματιζόμενες τιμές.

4.3 Συντονισμός ελεγκτών.

Υπάρχουν διάφοροι μέθοδοι συντονισμού ενός ελεγκτή. Διακρίνονται κυρίως σε:

1) Πειραματικό συντονισμό εντός γραμμής.

Στην περίπτωση αυτή το σύστημα διεγείρεται με γνωστές διαταραχές (π.χ. σταθερές τιμές) και η απόκριση του συστήματος κλειστού βρόχου τροποποιείται μεταβάλλοντας διαδοχικά τις παραμέτρους του ελεγκτή, έως ότου η απόκριση του συστήματος κριθεί ικανοποιητική. Καμμία γνώση της θεωρίας ελέγχου, σχεδιασμού ελεγκτών δεν απαιτείται. Ο βαθμός με τον οποίο μεταβάλλονται οι παράμετροι του ελεγκτή είναι καθαρά θέμα εμπειρίας του συντονιστή, που βασίζεται συνήθως σε εμπειρικούς κανόνες. Στην πράξη οι έμπειροι συντονιστές μπορούν να πετύχουν πάρα πολύ καλά αποτελέσματα σε μικρό χρόνο. Βασικό μειονέκτημα της πειραματικής μεθόδου είναι πως δεν μπορεί να εγγυηθεί πως η απόκριση του συστήματος θα είναι βέλτιστη.

2) Συστηματικές μεθόδους.

Είναι αναλυτικές μέθοδοι που προέρχονται από εκτίμηση και ταυτοποίηση της δυναμικής συμπεριφοράς της ελεγχόμενης διαδικασίας. Διακρίνονται σε δύο βασικές μεθόδους ελέγχου: στη *μακροσκοπική μέθοδο*, που βασίζεται στην κλασική θεωρία ελέγχου, και απαιτεί μετρήσεις της ολικής συμπεριφοράς της διαδικασίας (σχέση εισόδου-εξόδου), χωρίς να απαιτείται γνώση των εσωτερικών δυναμικών παραμέτρων της διαδικασίας και στη *μικροσκοπική μέθοδο*, που βασίζεται στη σύγχρονη θεωρία και απαιτεί την πλήρη γνώση της δυναμικής συμπεριφοράς κάθε στοιχείου του συστήματος, γεγονός που την καθιστά δύσκολη μέθοδο, λόγω της συχνής ελλείψεως ολοκληρωμένης γνώσεως του συστήματος. Οι μέθοδοι αυτοί έχουν το πλεονέκτημα της απλότητας αλλά και το μειονέκτημα ότι είναι προσεγγιστικοί εφόσον ισχύουν για μικρές μόνο μεταβολές γύρω από το σημείο λειτουργίας.

4.4 Έλεγχος τριών όρων.

Ο έλεγχος τριών όρων (Proportional, Integral plus Derivative - PID) είναι ο πιο συνηθισμένος βιομηχανικός έλεγχος διεργασιών. Οι βιομηχανικοί ελεγκτές ενός, δύο ή τριών όρων αποτελούν τη βασική συνιστώσα του βιομηχανικού αυτοματισμού. Οι βιομηχανικοί ελεγκτές εμφανίζονται σε διάφορες μορφές, όπως:

- Αυτόνομο υλικό που λειτουργεί αναλογικά ή ψηφιακά και
- λογισμικό, ενσωματωμένο σε υπολογιστή.

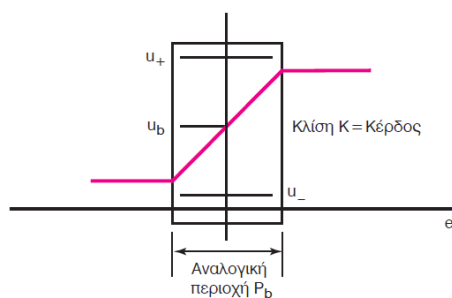
Οι ελεγκτές τριών όρων έκαναν την εμφάνισή τους κατά τη δεύτερη δεκαετία του 20ου αιώνα. Στις βιομηχανικές εφαρμογές συναντάμε τις εξής κατηγορίες ελέγχου:

1) Αναλογικός έλεγχος (Proportional control) - P.

Είναι η βασικότερη μέθοδος ελέγχου. Οι ταλαντώσεις ενός ελεγχόμενου συστήματος μπορούν να αποφευχθούν χρησιμοποιώντας ένα αναλογικό ελεγκτή, η έξοδος του οποίου είναι ανάλογη της εισόδου του και όχι απλώς του προσήμου της εισόδου. Αυτό συνεπάγεται ένα ελεγκτή που περιέχει ενισχυτή. Η έξοδος του αναλογικού ελεγκτή είναι σταθερή, όταν η είσοδος του σφάλματος e είναι μηδέν. Στο σχήμα 4.4α φαίνεται η χαρακτηριστική καμπύλη ενός αναλογικού ελεγκτή, που χαρακτηρίζεται από τη σχέση εισόδου-εξόδου:

$$u = C(e) \quad (4.1)$$

Για να περιγραφούν πλήρως τα χαρακτηριστικά του ελεγκτή πρέπει πρώτα να προσδιορισθούν τα μέγιστα και ελάχιστα όρια u_+ και u_- της μεταβλητής ελέγχου, δηλαδή της εξόδου του ελεγκτή. Η γραμμική περιοχή ενός αναλογικού ελεγκτή ορίζεται από την κλίση K της χαρακτηριστικής καμπύλης δηλαδή, το αναλογικό κέρδος ή από το εύρος της



Σχ. 4.4α.

Χαρακτηριστική καμπύλη αναλογικού ελεγκτή.

καμπύλης P_b . Η αναλογική περιοχή και το κέρδος του ελεγκτή συνδέονται με τη σχέση:

$$u_+ - u_- = K P_b \quad (4.2)$$

και το εύρος ($u_+ - u_-$) αποτελεί το 100% της δράσεως ελέγχου και έτσι:

$$K = 100 / P_b \quad (4.3)$$

Στην πράξη, η χαρακτηριστική καμπύλη ενός αναλογικού ελεγκτή δεν είναι ιδανική, αλλά παρουσιάζει *απαλό κορεσμό* (soft saturation).

Ο κανόνας ελέγχου ενός απλού αναλογικού ελεγκτή είναι:

$$u = C(e) = Ke + u_b \quad (4.4)$$

Το βασικό μειονέκτημα του αναλογικού ελέγχου είναι ότι μπορεί να οδηγήσει μια ελεγχόμενη διεργασία σε μόνιμο σφάλμα, πράγμα ανεπιθύμητο.

2) Ολοκληρωτικός έλεγχος (integral control) ή έλεγχος επανατάξεως (reset control) - I.

Ένας αποτελεσματικός τρόπος εξάλειψης του μόνιμου σφάλματος είναι η προσθήκη ενός ολοκληρωτικού όρου στη συνάρτηση μεταφοράς του ελεγκτή. Με την προσθήκη αυτή εξομαλύνεται το σφάλμα στη μόνιμη κατάσταση. Το κέρδος του ανοικτού βρόχου γίνεται άπειρο στη μόνιμη κατάσταση. Με τον τρόπο αυτό ένα μικρό θετικό σφάλμα ολοκληρώνεται και αυξάνεται με το χρόνο, δημιουργώντας μια μεταβλητή ελέγχου (έξοδος) που χάρη στην ανάδραση, αναγκάζει το κλειστό κύκλωμα να επανέλθει στην επιθυμητή του κατάσταση. Όλα αυτά ισχύουν υπό τον όρο ότι το κλειστό σύστημα είναι ευσταθές, οπότε ο ολοκληρωτικός όρος ωθεί τη διεργασία σε μηδενικό σφάλμα.

3) Έλεγχος αναλογικός-ολοκληρωτικός - PI.

Ένας ελεγκτής δύο όρων ορίζεται από τη σχέση εισόδου-εξόδου:

$$u(t) = K[e(t) + \frac{1}{T_i} \int_0^t e(\tau) d\tau] \quad (4.5)$$

Ο ελεγκτής δύο όρων PI, είναι πολύ διαδεδομένος στην παραγωγή και έχει αναλάβει το κύριο φόρτο του βιομηχανικού ελέγχου. Άνω του 90% των πρακτικών εφαρμογών έχουν δύο μόνο όρους. Στη δράση του αναλογικού όρου τώρα προστίθεται ο ολοκληρωτικός όρος, που χρησιμοποιείται κυρίως για την εξάλειψη του μόνιμου σφάλματος, που είναι χαρακτηριστικό των αναλογικών ελεγκτών. Βέβαια,

η προσθήκη του δεύτερου όρου έχει και αρνητικές επιπτώσεις, εφόσον αυξάνει το βαθμό του συστήματος, αφού προκαλεί αστάθεια στο σύστημα.

4) Διαφορικός έλεγχος (differential control) ή έλεγχος ρυθμού (rate control) -D.

Κατά την εκκίνηση βιομηχανικών διεργασιών, η απόκλιση της ελεγχόμενης μεταβλητής από την επιθυμητή τιμή μεταβάλλεται ραγδαία, με αποτέλεσμα και η διορθωτική δράση του ελεγκτή να πρέπει να είναι ταχεία. Στην περίπτωση αυτή, ο ελεγκτής PI απαντά σχετικά αργά και δεν προσφέρει αποτελεσματικό έλεγχο. Χρειάζεται λοιπόν ένας άλλος τύπος ελεγκτή, η έξοδος του οποίου να εξαρτάται από την ταχύτητα με την οποία μεταβάλλεται η απόκλιση. Αυτό το προσφέρει ο διαφορικός έλεγχος, που ονομάζεται και **προληπτικός έλεγχος** (anticipatory control), γιατί προβλέπει και προλαμβάνει ενδεχόμενες μεταβολές της αποκλίσεως.

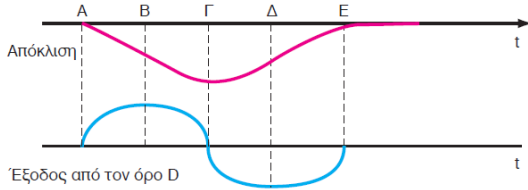
Στόχος του όρου D στη συνάρτηση μεταφοράς του σύνθετου ελεγκτή τριών όρων είναι κυρίως η βελτίωση της ευστάθειας του κλειστού συστήματος και η επιτάχυνση της βηματικής αποκρίσεως του συστήματος. Επειδή σε πολλές βιομηχανικές διεργασίες υπάρχει έμφυτα κάποια αδράνεια και καθυστέρηση της αποκρίσεως μετά από διέγερση, ο όρος D προβλέπει την είσοδο της διεργασίας ώστε να της δώσει ευκαιρία να αντιδράσει έγκαιρα σε σφάλματα. Ο όρος D δεν συνιστά από μόνος του ελεγκτή αλλά πάντα σε συνεργασία με κάποιο άλλο όρο. Έτσι, σε συνεργασία με τον αναλογικό ελεγκτή P δημιουργούν έναν ελεγκτή τύπου PD, που έχει διαφορική εξίσωση:

$$u(t) = K[e(t) + T_d \frac{de(t)}{dt}] \quad (4.6)$$

Στο σχήμα 4.4β φαίνεται η διορθωτική δράση του όρου D.

5) Έλεγχος τριών όρων P-I-D.

Το βασικό εργαλείο στο χώρο του βιομηχανικού



Σχ. 4.4β.
Διορθωτική δράση όρου D.

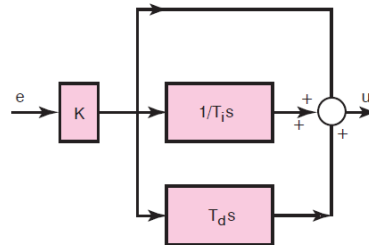
ελέγχου για την τροποποίηση της δυναμικής συμπεριφοράς μιας διεργασίας είναι ο ελεγκτής τριών όρων. Όταν ο ελεγκτής αυτός λειτουργεί κανονικά και μέσα στα όρια της αναλογικής περιοχής του, τότε η δυναμική του συμπεριφορά περιγράφεται από μια διαφορο-ολοκληρωτική εξίσωση, η κλασική μορφή της οποίας περιέχει τρεις όρους (P-I-D) που είναι:

$$u(t) = K[e(t) + \frac{1}{T_i} \int_0^t e(t)dt + T_d \frac{de(t)}{dt}] = P + I + D \quad (4.7)$$

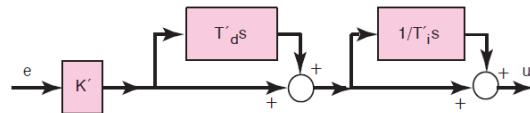
Η $u(t)$ είναι η μεταβλητή ελέγχου και αποτελεί την έξοδο του ελεγκτή και είσοδο της διεργασίας. Το σφάλμα μεταξύ της πραγματική και επιθυμητής τιμής της εξόδου $y(t)$ της διεργασίας υπό έλεγχο είναι $y_{επιθ} - y_{πραγμ}(t)$. Η μεταβλητή ελέγχου, που είναι η έξοδος του ελεγκτή, είναι το άθροισμα των τριών όρων: του αναλογικού όρου P, (δηλ. ανάλογο του σφάλματος), ολοκληρωτικού I (δηλ. ανάλογο του ολοκληρώματος του σφάλματος) και του όρου D (ανάλογο της παραγώγου του σφάλματος). Οι παράμετροι ενός βιομηχανικού ελεγκτή τριών όρων είναι: το αναλογικό κέρδος K, ο χρόνος ολοκληρώσεως T_i και ο χρόνος παραγωγισμού T_d . Ο ελεγκτής τριών όρων έχει συνάρτηση μεταφοράς:

$$C(s) = K(1 + \frac{1}{T_i s} + T_d s) \quad (4.8)$$

που μπορεί να εκφρασθεί στις ακόλουθες μορφές: **παράλληλη** (σχ. 4.4γ), **σειριακή** (σχ. 4.4δ), και **ανα-**



Σχ. 4.4γ.
Παράλληλη αρχιτεκτονική ελεγκτή τριών όρων.



Σχ. 4.4δ.
Σειριακή αρχιτεκτονική ελεγκτή τριών όρων.

λυτική. Η παράλληλη μορφή είναι η πιο συχνή. Οι σταθερές χρόνου T_i , T_d δεν αλληλεπιδρούν αλλά το κέρδος K του αναλογικού όρου επηρεάζει όλους τους όρους.

Η σειριακή μορφή δεν χρησιμοποιείται συχνά, γιατί έχει το μειονέκτημα ότι οι σταθερές των όρων ολοκληρώσεως και παραγωγισμού αλληλοεπιδρούν.

Οι δύο αρχιτεκτονικές είναι ισοδύναμες και έχουν την ίδια συνάρτηση μεταφοράς, όταν:

$$\left. \begin{aligned} K &= K' \cdot \frac{(T'_d + T'_i)}{T'_i} \\ T_i &= T'_d + T'_i \\ T_d &= \frac{T'_d T'_i}{T'_d + T'_i} \end{aligned} \right\} \quad (4.9)$$

Τέλος, υπάρχει και η αναλυτική μορφή, που είναι χρήσιμη κατά την ανάλυση της ευστάθειας του κλειστού συστήματος και έχει το πλεονέκτημα ότι οι τρεις όροι εμφανίζονται ανεξάρτητα. Η συνάρτηση μεταφοράς του ελεγκτή τριών όρων σε αναλυτική μορφή έχει δύο μηδενικά (z_1 , z_2) και έναν πόλο στην αρχή.

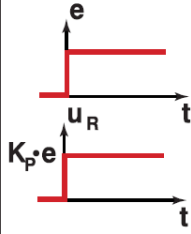
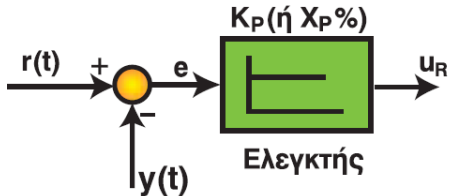
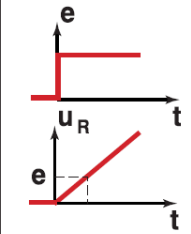
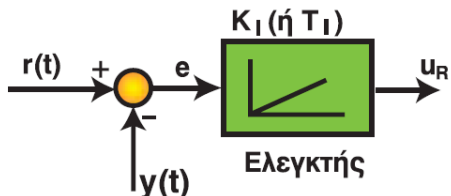
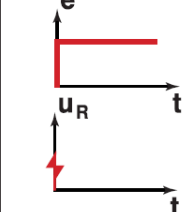
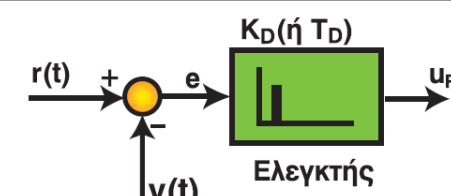
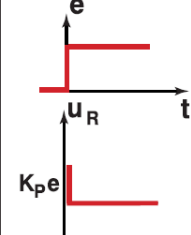
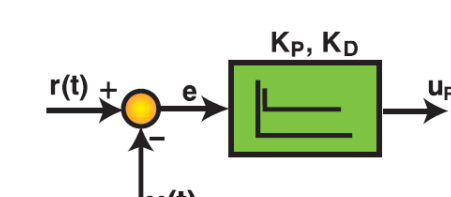
$$C(s) = K_p + \frac{K_i}{s} + K_d s = \frac{k}{s} (s + z_1)(s + z_2) \quad (4.10)$$

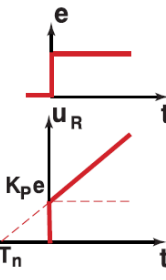
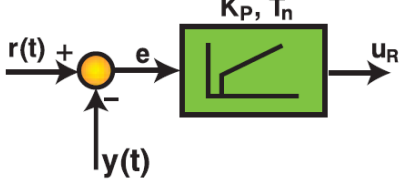
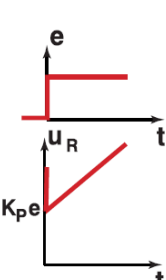
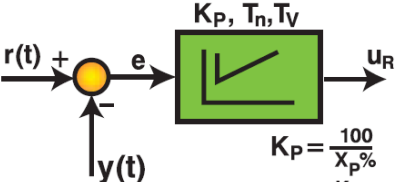
ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Οι ελεγκτές ανάλογα με τη βηματική τους απόκριση διακρίνονται σε:

- 4 αναλογικούς [-P], οι οποίοι έχουν μεγάλη ταχύτητα ρύθμισης, αλλά μειονεκτούν, επειδή δεν μπορούν να μηδενίσουν το σφάλμα
 - 4 ολοκληρωτικούς [-I], οι οποίοι παρουσιάζουν μικρή ταχύτητα ρύθμισης αλλά πλεονεκτούν, επειδή έχουν την ικανότητα να μηδενίζουν το σφάλμα
 - 4 τους διαφορικούς [-D], οι οποίοι χρησιμοποιούνται σε συνδυασμό με τον ελεγκτή -P και χρησιμοποιούνται σε συστήματα, όπου η ελεγχόμενη μεταβολή παρουσιάζει απότομες μεταβολές.
- ✓ Οι συνδυασμοί των παραπάνω ελεγκτών επιλέγονται ανάλογα με τον επιθυμητό τρόπο ελέγχου των διαφόρων συστημάτων.
 - ✓ Ο αναλογικός - διαφορικός ελεγκτής [-PD] εμφανίζει τα πλεονεκτήματα των ελεγκτών -P και -D, δηλαδή είναι γρήγορος και εξουδετερώνει τις απότομες μεταβολές της ελεγχόμενης μεταβλητής.
 - ✓ Ο αναλογικός-ολοκληρωτικός ελεγκτής [-PI], παρουσιάζει τα πλεονεκτήματα των ελεγκτών -P και -I και χρησιμοποιείται εκεί όπου απαιτείται ακριβής ρύθμιση.
 - ✓ Όπου απαιτείται ακριβής ρύθμιση και γρήγορη καταπολέμηση των διαταραχών, χρησιμοποιείται ο αναλογικός ολοκληρωτικός - διαφορικός ελεγκτής [-PID].

Πίνακας βασικών ελεγκτών

A/A	Ελεγκτής	Εξίσωση	Χρονική απόκριση	Παραδείγματα-σύμβολα
1	-P	$u_R = K_P \cdot e$		 <p> $K_P = \text{ενισχυτής}$ $X_P \% = \text{αναλογική περιοχή}$ $K_P = \frac{100}{X\%}$ </p>
2	-I	$u_R = K_I \cdot e \cdot t =$ $= \frac{1}{T_I} e \cdot t$ επικρατούσα εξίσωση : $u_R = K_I \int e \cdot dt$		 <p> $K_I = \text{συντελεστής ολοκλήρωσης}$ $T_I = \text{χρόνος ολοκλήρωσης}$ $T_I = \frac{1}{K_I}$ </p>
3	-D	$x_o = T_D \frac{\Delta x}{\Delta t}$		 <p>$K_D = T_D = \text{χρόνος διαφορίσης}$</p>
4	-PD	$u_R = K_P \cdot e + K_D \frac{\Delta e}{\Delta t}$ $= K_P (e + T_V \frac{\Delta e}{\Delta t})$ επικρατούσα εξίσωση : $u_R = K_P \cdot e + K_D \frac{de}{dt}$ $= K_P (e + T_V \frac{de}{dt})$		 <p> $K_P, K_D = T_D$ $T_V = \frac{T_D}{K_P} = \text{χρόνος προπορείας}$ </p>

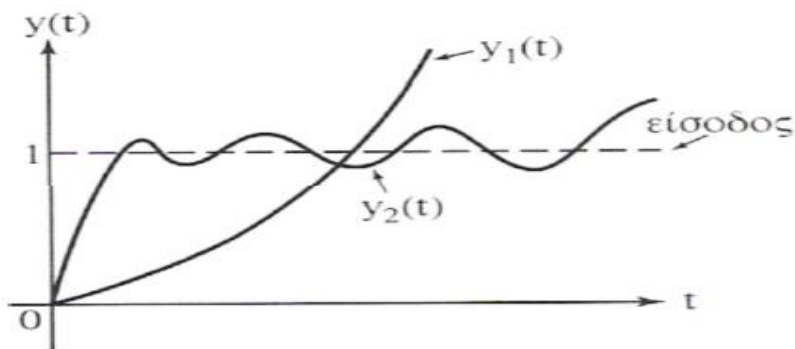
Α/Α	Ελεγκτής	Εξίσωση	Χρονική απόκριση	Παραδείγματα-σύμβολα
5	-PI	$u_R = K_p \cdot e + K_I \cdot e \cdot t$ $= K_p \left(e + e \frac{t}{T_n} \right)$ επικρατούσα εξίσωση : $u_R = K_p \cdot e + K_I \int e \cdot dt$ $= K_p \left(e + e \frac{t}{T_n} \right)$		 <p> $K_p = \text{ενίσχυση}$ $T_n = \frac{K_p}{K_I} = \text{χρόνος επαναρρύθμισης}$ $K_I = \frac{1}{T_I}$ </p>
6	-PID	$u_R = K_p \cdot e + K_D \frac{\Delta e}{\Delta t} + K_I \cdot e \cdot t$ $= K_p \left(e + T_V \frac{\Delta e}{\Delta t} + e \frac{t}{T_n} \right)$ επικρατούσα εξίσωση : $u_R = K_p \cdot e + K_D \frac{de}{dt} + K_I \int e \cdot dt$ $= K_p \left(e + T_V \frac{de}{dt} + \frac{1}{T_n} \int e \cdot dt \right)$		 <p> $K_p = \frac{100}{X_p\%}$ $K_n = \frac{K_p}{K_I}$ $K_p = \text{ενίσχυση}$ $X_p\% = \text{αναλογική περιοχή}$ $T_n = \text{χρόνος προπορείας}$ $T_n = \text{χρόνος επιπορείας}$ </p>

7. ΕΥΣΤΑΘΕΙΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΑΥΤΟΜΑΤΟΥ ΕΛΕΓΧΟΥ

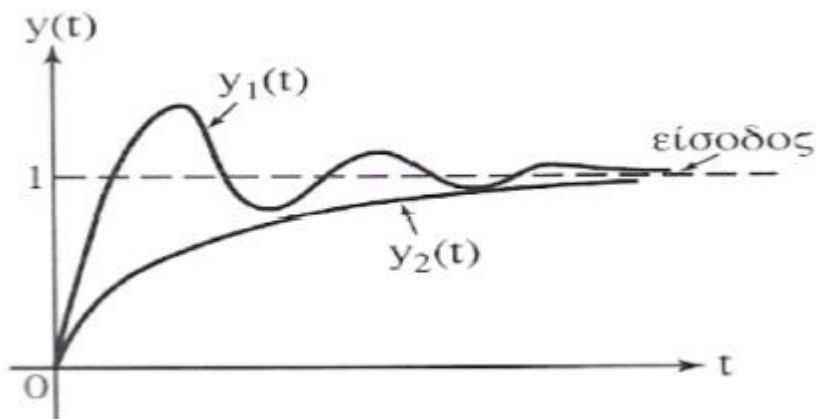
Ένα από τα χαρακτηριστικά των συστημάτων αυτομάτου ελέγχου που διαδραματίζουν τον βασικότερο ρόλο στη συμπεριφορά τους είναι η ευστάθεια, γι' αυτό κατά τη σχεδίαση ενός συστήματος αυτομάτου ελέγχου επιδιώκεται πρώτα και πάνω απ' όλα η εξασφάλιση της ευστάθειας. Μετά την εξασφάλιση της ευστάθειας του συστήματος επιδιώκεται η ικανοποίηση άλλων απαιτήσεων σχεδίασης όπως η ταχύτητα, η ακρίβεια απόκρισης, το εύρος ζώνης, το σφάλμα στη μόνιμη κατάσταση κλπ. Ένα σύστημα είναι ευσταθές αν για πεπερασμένη είσοδο παρουσιάζει πεπερασμένη απόκριση όπως φαίνεται παρακάτω (εικόνα 1).

Αντιθέτως, ένα σύστημα ονομάζεται ασταθές αν έστω και για μια πεπερασμένη είσοδο δεν παρουσιάζει πεπερασμένη απόκριση. Ένα ασταθές σύστημα κλειστού βρόγχου δεν παρουσιάζει πρακτικά ενδιαφέρον γιατί η έξοδος ενός ασταθούς συστήματος αυξάνει θεωρητικά προς το άπειρο σε αντίθεση με ένα ευσταθές σύστημα κλειστού βρόγχου όπου η έξοδος του βρίσκεται μέσα σε επιτρεπτά όρια. Για το λόγο αυτό αναζητούμε μεθόδους οι οποίες μας βοηθούν να αναλύουμε και να σχεδιάζουμε ευσταθή συστήματα.

Η απόκριση ενός ασταθούς συστήματος είναι της μορφής:

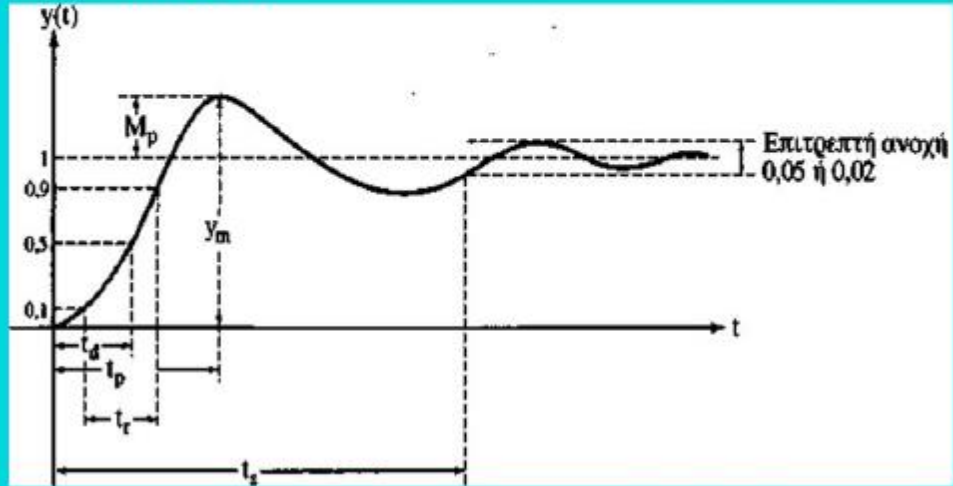


Η απόκριση ενός ευσταθούς συστήματος είναι της μορφής:



Χαρακτηριστικά μεγέθη χρονικής απόκρισης ευσταθούς συστήματος που διεγείρεται με σήμα μοναδιαίας βηματικής συνάρτησης

Στα πρακτικά συστήματα ελέγχου η μεταβατική απόκριση εμφανίζει αποσβενόμενες ταλαντώσεις, προτού φθάσει στη μόνιμη κατάσταση (παρακάτω σχήμα).



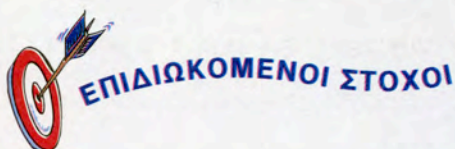
Εικόνα 1: Διάγραμμα απόκρισης ευσταθούς συστήματος

7.2. ΕΥΣΤΑΘΕΙΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΑΥΤΟΜΑΤΟΥ ΕΛΕΓΧΟΥ

κεφάλαιο 6

ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΕΣ ΔΙΑΤΑΞΕΙΣ ΚΑΙ ΣΥΣΚΕΥΕΣ ΕΛΕΓΧΟΥ ΚΑΙ ΡΥΘΜΙΣΗΣ

- 6.1 ΤΑ ΕΙΔΗ ΤΩΝ ΔΙΑΤΑΞΕΩΝ ΑΥΤΟΜΑΤΙΣΜΟΥ
- 6.2 Η ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΤΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΑΥΤΟΜΑΤΙΣΜΟΥ
- 6.3 ΟΙ ΕΛΕΓΚΤΕΣ Ρ, ΡΙ, ΡΙΔ
- 6.4 Η ΑΝΤΑΠΟΚΡΙΣΗ ΤΩΝ ΣΥΣΚΕΥΩΝ
ΠΟΥ ΕΝΕΡΓΟΠΟΙΟΥΝ ΤΑ ΣΗΜΑΤΑ ΤΩΝ ΕΛΕΓΚΤΩΝ
ΑΝΑΚΕΦΑΛΑΙΩΣΗ
ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ ΚΑΙ ΑΣΚΗΣΕΙΣ



Στο τέλος αυτού του κεφαλαίου οι μαθητές θα πρέπει να γνωρίζουν

- ✓ Τα είδη των αυτοματισμών.
- ✓ Τον τρόπο λειτουργίας των συστημάτων αυτοματισμού.
- ✓ Τα κύρια μέρη ενός συστήματος αυτοματισμού.
- ✓ Τί είναι οι ελεγκτές τύπου P, PI, PID.
- ✓ Πώς ανταποκρίνονται οι συσκευές ελέγχου ροής στις εντολές που δέχονται από μία συσκευή αυτοματισμού.

6.1 Γενικά για τα συστήματα ελέγχου και ρύθμισης

Ο έλεγχος και η ρύθμιση των συνθηκών ενός χώρου ή της λειτουργίας ενός ψυκτικού συγκροτήματος, γίνεται με συστήματα αυτοματισμού.

- Με τον **έλεγχο** διαπιστώνονται οι συνθήκες που επικρατούν σε ένα χώρο ή η κατάσταση λειτουργίας μίας συσκευής. Ο έλεγχος γίνεται βάσει των πληροφοριών που μεταδίδονται από τους αισθητήρες.
- Με τη **ρύθμιση** προβαίνουμε στις απαραίτητες ενέργειες ώστε τα μετρούμενα μεγέθη να βρίσκονται μέσα σε μία περιοχή προκαθορισμένων επιθυμητών τιμών.

Όσο πιο εξελιγμένο είναι το σύστημα αυτοματισμού, τόσο περισσότερη προσπάθεια χρειάζεται για τον καθορισμό των παραμέτρων της λειτουργίας του, έτσι ώστε να ανταποκρίνεται σωστά στις πληροφορίες που δέχεται.

Στο κεφάλαιο αυτό θα ασχοληθούμε κυρίως με τα ηλεκτρονικά συστήματα αυτοματισμού. Πολλά από αυτά που αναφέρονται στις πρώτες παραγράφους του κεφαλαίου, έχουν ήδη αναπτυχθεί στην εισαγωγή. Για την

πληρότητα όμως του κεφαλαίου, αλλά και για να θυμηθούμε ορισμένες χρήσιμες έννοιες, θα επαναλάβουμε με συντομία, μερικά από τα σημεία τα οποία έχουν ήδη αναφερθεί.

6.2 Ο τρόπος λειτουργίας ενός συστήματος αυτοματισμού

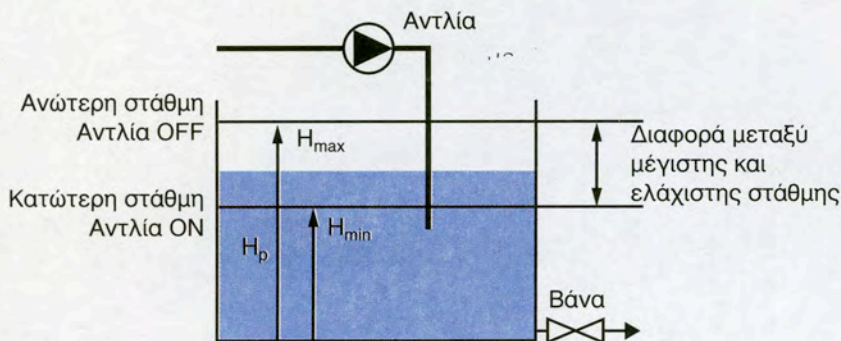
Οι παράμετροι λειτουργίας μιας ψυκτικής ή κλιματιστικής εγκατάστασης, τις οποίες καλείται να ελέγχει το σύστημα αυτοματισμού, είναι η θερμοκρασία, η πίεση, η παροχή κάποιου ρευστού (νερό, αέρας, ψυκτικό ρευστό), η υγρασία, κλπ.

Η εντύπωση που υπάρχει σε πολλούς τεχνικούς σχετικά με τον τρόπο λειτουργίας ενός τέτοιου συστήματος είναι κατά πάσα πιθανότητα εσφαλμένη. Π.χ. φαντάζονται ότι ένα σύστημα αυτομάτου ελέγχου της θερμοκρασίας λαμβάνει εντολή από ένα θερμοστάτη που έχει ρυθμιστεί στους 23°C και το σύστημα θα διατηρήσει σταθερή τη θερμοκρασία στους 23°C. Θα ήταν πολύ ωραία αν τα πράγματα λειτουργούσαν κάπως έτσι. Δυστυχώς όμως, μέχρι σήμερα δεν έχει ανακαλυφτεί σύστημα που να λειτουργεί με αυτόν τον τρόπο και αν κάποτε ανακαλυφθεί, θα είναι σίγουρα μία από τις μεγαλύτερες ανακαλύψεις.

Για να γίνει αντιληπτός ο τρόπος λειτουργίας των συστημάτων αυτοματισμού, θα χρησιμοποιήσουμε απλά παραδείγματα. Συγκεκριμένα, θα αναφερθούν στη συνέχεια δύο τυπικές περιπτώσεις συστημάτων αυτοματισμού: το σύστημα ελέγχου δύο θέσεων και το αναλογικό σύστημα.

(α) Το σύστημα ελέγχου δύο θέσεων

Το σύστημα αυτό είναι γνωστό και με την ονομασία **σύστημα ON-OFF**. Για παράδειγμα, στο σχήμα (6.1), έστω ότι έχουμε ένα κατάλληλο διακόπτη ο οποίος έχει σκοπό να κρατάει τη στάθμη σε μία δεξαμενή, σε ένα ελάχιστο ύψος H_{\min} .



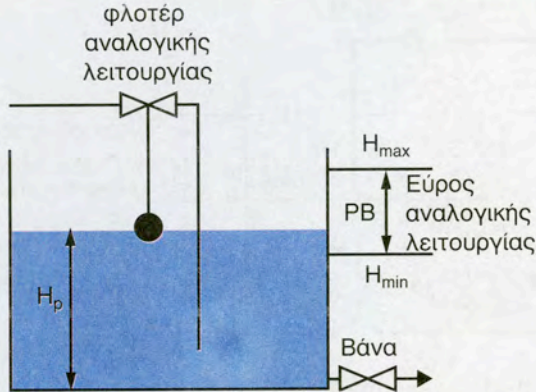
μα 6.1 Ο έλεγχος της στάθμης μίας δεξαμενής νερού με σύστημα ελέγχου δύο θέσεων

Όταν η στάθμη πέσει στο ύψος H_{\min} ο διακόπτης δίνει εντολή και τίθεται λειτουργία μία αντλία που γεμίζει τη δεξαμενή με νερό. Μόλις το ύψος φθάσει στο H_{\max} η αντλία διακόπτει τη λειτουργία της και ο κύκλος επαναλαμβάνεται με αυτόν τον τρόπο. Στην περίπτωση αυτή έχουμε μία περιοχή κύμανσης $H_{\max}-H_{\min}$.

Κατά τον παραπάνω τρόπο λειτουργούν όλα τα συστήματα δύο θέσεων. Ένα όργανο ON-OFF, από κατασκευής του, έχει μία περιοχή διακύμανσης και η ρύθμιση του μπορεί να είναι στο κατώτερο ή στο ανώτερο σημείο (άλλα με τον τύπο και το είδος του οργάνου). Στην περίπτωση της δεξαμενής που αναφέρθηκε παραπάνω, ο στόχος μας είναι να μην έχουμε τιμή μικρότερη από H_{\min} . Οπότε η ρύθμιση είναι στο σημείο H_{\min} και η περιοχή διακύμανσης είναι $\Delta H = H_{\max}-H_{\min}$.

Το σύστημα αναλογικού ελέγχου

Αν θέσουμε σε πρώτη επαφή με τον τρόπο που λειτουργεί ένα σύστημα αναλογικού αυτοματισμού, θα πάρουμε ως παράδειγμα, το φλοτέρ μιας δεξαμενής νερού. Το φλοτέρ είναι ένας από τους πλέον απλούς αναλογικούς αυτοματισμούς που υπάρχουν. Η διάταξη λειτουργίας του φαίνεται στο σχήμα (6.2).



Σχήμα 6.2 Η λειτουργία του φλοτέρ μίας δεξαμενής νερού

Το φλοτέρ λειτουργεί εντελώς αναλογικά (proportional). Αυτό σημαίνει ότι όταν η στάθμη του νερού πέσει κατά 10 cm, η βαλβίδα του φλοτέρ θα ανοίξει π.χ. 10 mm, όταν πέσει 20 cm, θα ανοίξει κατά 20 mm ενώ στα 0,5cm θα ανοίξει κατά 5 mm. Δηλαδή η σχέση που συνδέει τη μεταβολή του ανοίγματος της βάνας Δl με τη μεταβολή του ύψους ΔH είναι η:

$$\Delta H = K_p \times \Delta l \quad (6.1)$$

Όπου το K_p είναι ένας σταθερός συντελεστής. Στην προκειμένη περίπτωση όπου για $\Delta l = 10$ mm το είναι $\Delta H = 10$ cm = 0,1 m, προκύπτει $K_p = 100$ mm/m.

Όταν ο κρουνός εκκένωσης της δεξαμενής είναι κλειστός, η στάθμη του νερού είναι στο ύψος H_{max} . Όταν ανοίξουμε τον κρουνό, το νερό αρχίζει να εγκαταλείπει τη δεξαμενή και όσο περισσότερο πέφτει η στάθμη του τόσο περισσότερο ανοίγει το φλοτέρ και ρίχνει περισσότερο νερό στη δεξαμενή. Κάποια στιγμή, σε κάποιο ύψος H_p , θα επέλθει ισορροπία και όση ποσότητα νερού εισέρχεται στη δεξαμενή, τόση θα την εγκαταλείπει. Τότε θα σταθεροποιηθεί η στάθμη του νερού στο ύψος H_p .

Όταν ανοίξουμε τελειώς τη βάνα εξόδου του νερού από τη δεξαμενή, η στάθμη θα πέσει και άλλο, μέχρι που θα φθάσει στο ελάχιστο δυνατό ύψος H_{min} . Η διαφορά $H_{max} - H_{min}$ είναι το **εύρος αναλογικής λειτουργίας** και συμβολίζεται ως **PB** (από τα αρχικά του αντίστοιχου Αγγλικού όρου Proportional Band = αναλογικό εύρος).

Η σχέση που μας δίνει το ύψος H είναι η εξής:

$$H = \Delta H + H_{\min} \quad (6.2)$$

Συνδυάζοντας της (6.1) με την (6.2) και συμβολίζοντας το H_{\min} με το H_0 καταλήγουμε στη σχέση:

$$H = K_p \times \Delta I + H_0 \quad (6.3)$$

Κατά τον ίδιο τρόπο συμπεριφέρεται το κάθε σύστημα αυτοματισμού με **αναλογική ρύθμιση**. Ο ελεγκτής που κάνει αναλογική ρύθμιση ονομάζεται ελεγκτής τύπου "P". Οποιαδήποτε παράμετρο και αν ελέγχουμε, είτε αυτή είναι η στάθμη νερού όπως στο σχήμα (6.2), είτε είναι η θερμοκρασία χώρου είτε είναι η πίεση, ακολουθεί τον παραπάνω τρόπο λειτουργίας.

(γ) Η σύγκριση των δύο συστημάτων

Η διαφορά μεταξύ του συστήματος αναλογικού ελέγχου και του συστήματος επιλογής μεταξύ δύο θέσεων είναι η εξής:

- Στο σύστημα ON-OFF υπάρχουν **συνεχείς διακυμάνσεις** στην τιμή του ελεγχόμενου μεγέθους. Οι διακυμάνσεις αυτές βρίσκονται σε μία **περιοχή διακύμανσης**. Η ρύθμιση του οργάνου ορίζεται από το ένα από τα δύο άκρα της εν λόγω περιοχής.
- Στο αναλογικό σύστημα, το ελεγχόμενο μέγεθος **σταθεροποιείται σε κάποια τιμή**, η οποία βρίσκεται μέσα στην περιοχή **αναλογικού ελέγχου**, η οποία συμβολίζεται ως **PB**.

(δ) Το πρόβλημα του αναλογικού ελέγχου

Αν και το αναλογικό σύστημα σαφώς υπερτερεί από ένα σύστημα ON-OFF, δεν είναι πάντοτε το πλέον κατάλληλο, επειδή δεν σταθεροποιείται με ακρίβεια στην επιθυμητή τιμή. Αυτό το καταλαβαίνουμε βλέποντας το παράδειγμα του σχήματος (6.2). Αν η επιθυμητή στάθμη είναι H_p , η οποία έστω ότι βρίσκεται στο μέσον μεταξύ των H_{\min} και H_{\max} , τότε το μόνο που θα μπορεί να μας εξασφαλίσει το αναλογικό σύστημα αυτοματισμού είναι ότι η λειτουργία θα σταθεροποιηθεί τελικά κάπου μεταξύ των H_{\min} και H_{\max} . Το που ακριβώς θα σταθεροποιηθεί δεν το ξέρουμε και εξαρτάται από το ρυθμό με τον οποίο αδειάζει η δεξαμενή. Όταν αδειάζει γρήγορα, η τιμή του ύ-

ψους H βρίσκεται κοντά στο κάτω όριο H_{\min} , ενώ όταν αδειάζει αργά, βρίσκεται κοντά στο άνω όριο H_{\max} . Μόνο για συγκεκριμένο ρυθμό αδειάσματος της δεξαμενής μπορεί να προκύψει $H = H_p$. Το πρόβλημα αυτό αντιμετωπίζεται με περισσότερα βελτιωμένα συστήματα αυτοματισμού, στα οποία θα γίνει αναφορά σε επόμενες παραγράφους του παρόντος κεφαλαίου.

6.3 Τα είδη των συστημάτων αυτοματισμού

Τα συστήματα αυτοματισμού των κλιματιστικών και των ψυκτικών εγκαταστάσεων, ανάλογα με τον προορισμό τους, διακρίνονται στις δύο μεγάλες κατηγορίες που φαίνονται στον πίνακα (6.1):

- (1) Τα συστήματα **ελέγχου των συνθηκών** των χώρων και τα οποία βρίσκουν εφαρμογή κυρίως στις εγκαταστάσεις κλιματισμού.
- (2) Τα συστήματα **λειτουργίας και προστασίας** εγκαταστάσεων, τα οποία βρίσκουν εφαρμογή κυρίως στις ψυκτικές εγκαταστάσεις.

Η δεύτερη κατηγορία, δηλαδή οι αυτοματισμοί λειτουργίας και προστασίας θα μπορούσαν να χωριστούν και σε τρεις επιμέρους υποκατηγορίες ως εξής:

- Ελέγχου λειτουργίας (μέσω θερμοστατικών βαλβίδων, βανών, ρελέ κλπ.)
- Προστασίας (μέσω πρεσοστατών, ρελέ, κλπ.)
- Εξοικονόμησης ενέργειας.

Πίνακας 6.1 Οι δύο βασικές κατηγορίες συστημάτων αυτοματισμού

A/A	Κατηγορία Αυτοματισμού	Παράγοντες που κυρίως ελέγχονται	Εξαρτήματα που κυρίως χρησιμοποιούνται
1	Συνθηκών χώρου Εξασφαλίζουν τις επιθυμητές συνθήκες στον κλιματιζόμενο χώρο	<ul style="list-style-type: none"> • Θερμοκρασία • Σχετική Υγρασία • Παροχή νωπού αέρα 	<ul style="list-style-type: none"> • Θερμοστάτες • Υγροστάτες • Σερβοκινητήρες • Τάμπερ • Ηλεκτροβάνες • Ειδικές ηλεκτρονικές συσκευές • Ηλεκτρονικοί υπολογιστές
2	Λειτουργίας και Προστασίας Ελέγχουν τη σωστή λειτουργία του εξοπλισμού Προστατεύουν τις συσκευές από τυχόν καταστροφή ή κακή λειτουργία Εξασφαλίζουν την οικονομική λειτουργία	<ul style="list-style-type: none"> • Πίεση • Ενταση ηλεκτρικού ρεύματος • Έλλειψη τάσης • Ροή του ρευστού • Έλεγχος στάθμης λαδιού 	<ul style="list-style-type: none"> • Πρεσσοστάτες • Θερμοστατικές εκτονωτικές βαλβίδες • Ελεγκτές ροής (Flow switch) • Θερμικά προστασίας κινητήρων • Πηνία έλλειψης τάσης • Ρελέ • Συστήματα inverter • Συστήματα PLC

Όμως τα όρια της παραπάνω διάκρισης της δεύτερης κατηγορίας δεν είναι επακριβώς καθορισμένα. Μπορεί, π.χ. ένας αυτοματισμός να κάνει έλεγχο της λειτουργίας και να εξασφαλίζει συγχρόνως την προστασία των συσκευών. Για τον λόγο αυτό τις τρεις παραπάνω υποκατηγορίες τις ενοποιήσαμε σε μία και μοναδική κατηγορία.

Εκτός από την διάκριση του πίνακα (6.1) τα συστήματα αυτοματισμού μπορούμε να τα διακρίνουμε και κατά άλλους τρόπους. Συνοπτικά, οι δυνατοί τρόποι με τους οποίους μπορούμε να διακρίνουμε τα συστήματα φαίνονται στον πίνακα (6.2).

Πίνακας 6.2 Διάκριση των συστημάτων αυτοματισμού

A/A	Τρόπος διάκρισης	Κατηγορίες αυτοματισμού
1	Ανάλογα με τον προορισμό τους (αναλυτικά αναπτύσσονται στον πίνακα 6-1)	<ul style="list-style-type: none"> • Ελέγχου συνθηκών χώρου • Λειτουργίας και προστασίας
2	Ανάλογα με τον τρόπο που ασκούν τον έλεγχο	<ul style="list-style-type: none"> • Ανοικτού βρόχου • Κλειστού βρόχου
3	Ανάλογα με το ρευστό	<ul style="list-style-type: none"> • Αέρα • Νερού • Ψυκτικού ρευστού
4	Ανάλογα με το μέσο λειτουργίας	<ul style="list-style-type: none"> • Ηλεκτρικοί, ηλεκτρονικοί • Ελεγχόμενοι από ίδιο το ρευστό • Πνευματικοί • Υδραυλικοί • Μικτοί

Βλέποντας τον πίνακα (6.2) καταλαβαίνουμε ότι η ολοκληρωμένη και αναλυτική μελέτη όλων των συστημάτων αυτοματισμού είναι περίπλοκη και θα απαιτείτο τεράστιος χρόνος. Γι' αυτό και η πλήρης ανάπτυξη ξεφεύγει από τους στόχους του βιβλίου. Θα περιοριστούμε μόνο στην ανάπτυξη των συστημάτων σύμφωνα με τη σειρά του πίνακα (6.1) και συγκεκριμένα:

- Στο επόμενο κεφάλαιο 7 θα ασχοληθούμε με τα συστήματα που ελέγχουν τις συνθήκες του χώρου στις κλιματιστικές εγκαταστάσεις.
- Στο κεφάλαιο 8 θα ασχοληθούμε με τους αυτοματισμούς λειτουργίας και προστασίας των ψυκτικών συγκροτημάτων.

Στο παρόν κεφάλαιο θα αναφερθούμε στις αρχές λειτουργίας των συστημάτων αυτοματισμού και ιδίως θα ασχοληθούμε με τα συστήματα **κλειστού βρόχου**. Τα συστήματα κλειστού βρόχου παρουσιάζουν ιδιαίτερο τεχνικό ενδιαφέρον και αποτελούν τη βάση πάνω στην οποία στηρίζεται η λειτουργία των συστημάτων που ελέγχουν τις συνθήκες του χώρου. Η κατανόηση του τρόπου λειτουργίας αυτών των συστημάτων είναι προϋπόθεση για να γίνουν αντιληπτές οι διατάξεις αυτοματισμού που αναπτύσσονται στο επόμενο κεφάλαιο 7.

Το μέσο λειτουργίας, στην ανάπτυξη που θα κάνουμε, θα είναι είτε το ηλεκτρικό ρεύμα είτε το ίδιο το ρευστό που κυκλοφορεί στο δίκτυο. Παράδειγμα που το μέσο λειτουργίας είναι το ίδιο το διερχόμενο ρευστό, απο-

τελεί η θερμοστατική εκτονωτική βαλβίδα την οποία είδαμε στο κεφάλαιο 5. Οι πνευματικοί και υδραυλικοί αυτοματισμοί χρησιμοποιούνται σχετικά σπάνια στη ψύξη και στον κλιματισμό και όταν χρησιμοποιούνται, πρόκειται κυρίως για απλές διατάξεις. Ως εκ τούτου δεν θα αναφερθούμε καθόλου στα πνευματικά και στα υδραυλικά συστήματα.

6.4 Τα μέρη από τα οποία αποτελείται ένα σύστημα αυτοματισμού

Στους αυτοματισμούς γενικά μπορούμε να διακρίνουμε τρία βασικά τμήματα: τους **αισθητήρες**, τον **ελεγκτή** και τους **ενεργοποιητές**.

- Οι **αισθητήρες** είναι τα όργανα που μετρούν τα υπό έλεγχο μεγέθη (θερμοκρασία, υγρασία, πίεση κλπ.).
- Ο **ελεγκτής** είναι η συσκευή που δέχεται από τους αισθητήρες τα σήματα και τα σχετικά μεγέθη των υπό έλεγχο παραμέτρων. Αυτός, ύστερα από τη σύγκριση τους με τα επιθυμητά μεγέθη, δίνει την αντίστοιχη εντολή στους ενεργοποιητές για τη διόρθωση τους.
- Οι **ενεργοποιητές** είναι οι συσκευές που δέχονται τα σήματα από τον ελεγκτή και ενεργοποιούν ανάλογα τη διαδικασία του συστήματος, δηλαδή εκτελούν τις εντολές του ελέγχου.

Απλό παράδειγμα συστήματος αισθητήρα-ελεγκτή-ενεργοποιητή είναι οι συνήθεις θερμοστάτες των διαμερισμάτων που διαθέτουν σύστημα αυτονομίας στη θέρμανση. Αυτοί μετρούν τη θερμοκρασία με τον ενσωματωμένο αισθητήρα τους και αν είναι εκτός ορίων δίνουν εντολή σε μία δίοδη βάνα ON-OFF να κλείσει ή να ανοίξει. Στην περίπτωση αυτή ο αισθητήρας και ο ελεγκτής είναι ενσωματωμένα στην ίδια συσκευή (αυτή που ονομάζουμε θερμοστάτη) και ο ενεργοποιητής είναι ο κινητήρας (ή το πηνίο) της δίοδης βάνας ON-OFF.

6.5 Τα συστήματα ανοικτού βρόχου

Όπως αναφέραμε και στην εισαγωγή, τα συστήματα **ανοικτού βρόχου** είναι εκείνα στα οποία το σύστημα αυτοματισμού δίνει μία εντολή αφού δε-

χτεί το κατάλληλο σήμα από τους αισθητήρες αλλά μετά ουδόλως ενδιαφέρεται να παρακολουθήσει το αποτέλεσμα της εντολής που έδωσε ή να κάνει κάποια άλλη διορθωτική κίνηση.

Τυπική περίπτωση είναι οι διατάξεις **προστασίας** μηχανημάτων από καταστροφή. Π.χ. οι διατάξεις προστασίας των ηλεκτροκινητήρων, είναι όλες ανοικτού βρόχου. Μόλις το σύστημα ελέγχου διαπιστώσει ότι κάποια παράμετρος από αυτές που ελέγχει δεν τα πηγαίνει καλά, π.χ. έχει πέσει η τάση ή έχουμε διακοπή με μία φάση ή το απορροφούμενο ρεύμα είναι υψηλό (άρα ο κινητήρας συναντάει μεγάλη αντίσταση), τότε το σύστημα δίνει αυτομάτως την εντολή και διακόπτεται η λειτουργία, για να μην καταστραφεί ο ηλεκτροκινητήρας.

Τα συστήματα προστασίας δεν είναι τα μοναδικά συστήματα ανοικτού βρόχου. Μερικά ακόμη παραδείγματα ανοικτών συστημάτων είναι τα εξής:

- Ένα σύστημα κλιματισμού που λειτουργεί ορισμένες μόνο ώρες την ημέρα, μέσω χρονοδιακόπτη. Μπορεί π.χ. σε ένα συγκρότημα γραφείων να γίνεται ρύθμιση έτσι ώστε να λειτουργεί το σύστημα κλιματισμού κατά το διάστημα από 07.00 μέχρι 16.00. Στις 07.00 το πρωί δίνεται μία εντολή εκκίνησης, χωρίς το σύστημα που τη δίνει να ενδιαφέρεται για τίποτε άλλο και στις 17.00 τη διακόπτει.
- Σε μία αντλία θερμότητας, αν ο εξωτερικός θερμοστάτης αντιληφθεί ότι θερμοκρασία περιβάλλοντος είναι κάτω των 4°C , αρχίζει να δίνει εντολές αποπαγοποίησης του εξωτερικού στοιχείου (αντιστροφή της λειτουργίας), κατά τακτά προκαθορισμένα διαστήματα, που το καθένα είναι συγκεκριμένης χρονικής διάρκειας. Το σύστημα αυτό δεν ενδιαφέρεται να πληροφορηθεί τα αποτελέσματα της εντολής που έδωσε, ούτε να κάνει κάποια διόρθωση.

Τα συστήματα ανοικτού βρόχου είναι απλά ως προς τη σύλληψή τους και γι' αυτό είναι εύκολο να γίνει κατανοητή η αρχή λειτουργίας τους. Δεν υπάρχει τίποτε περισσότερο να αναφέρουμε γι' αυτά στον παρόν κεφάλαιο, αλλά η ευκολία τους, σταματάει σ' αυτό το σημείο. Τα συστήματα αυτά, συνδυαζόμενα μεταξύ τους, μπορεί να δημιουργήσουν περίπλοκες διατάξεις αυτοματισμού. Γι' αυτό η μελέτη των σχεδίων αυτοματισμού που στηρίζονται σε συστήματα ελέγχου ανοικτού βρόχου μπορεί να είναι πολύ πιο περίπλοκη και πολύ πιο δύσκολη στην κατανόηση της από ότι είναι στα συστήματα κλειστού βρόχου. Χρησιμοποιούνται πολύ στην προστασία και στον έλεγχο της λειτουργίας των ψυκτικών

συγκροτημάτων. Οι διατάξεις αυτές συχνά χρειάζονται προσπάθεια για να γίνουν κατανοητές και θα αναπτυχθούν στο κεφάλαιο 8.

6.6 Τα συστήματα κλειστού βρόχου

Στα συστήματα **κλειστού βρόχου**, ο ελεγκτής αφού δώσει στον ενεργοποιητή μία εντολή ρύθμισης, παίρνει μετά το αποτέλεσμα της ρύθμισης, το συγκρίνει με την επιθυμητή τιμή και δίνει νέα εντολή στον ενεργοποιητή. Τυπικές περιπτώσεις είναι το σύστημα θερμοστάτη-δίοδης βάνας ενός διαμερίσματος που αναφέρθηκε στην παράγραφο (6.4) και ο έλεγχος της στάθμης νερού σε μία δεξαμενή που αναφέρθηκε στην παράγραφο (6.2).

Ο αρχές λειτουργίας αυτών των συστημάτων είναι κάπως περίπλοκες και θα απαιτηθεί μία κάποια προσπάθεια για την κατανόηση τους. Η δυσκολία αυτή όμως αντισταθμίζεται από το γεγονός ότι, από τη στιγμή που θα γίνουν αντιληπτές οι αρχές λειτουργίας τους, η μελέτη και η κατανόηση του σχεδιασμού των συστημάτων αυτοματισμού που βασίζονται σε συστήματα κλειστού βρόχου θα είναι πλέον σχετικά απλή, όπως θα δούμε και στο κεφάλαιο 7. Δηλαδή συμβαίνει ακριβώς το αντίθετο από ότι ισχύει στα ανοικτά συστήματα.

Στη συνέχεια του παρόντος κεφαλαίου θα ασχοληθούμε αποκλειστικά με τις αρχές λειτουργίας των συστημάτων κλειστού βρόχου τα οποία βρίσκουν εφαρμογή κυρίως στις εγκαταστάσεις κλιματισμού και λιγότερο στις εγκαταστάσεις ψύξης.

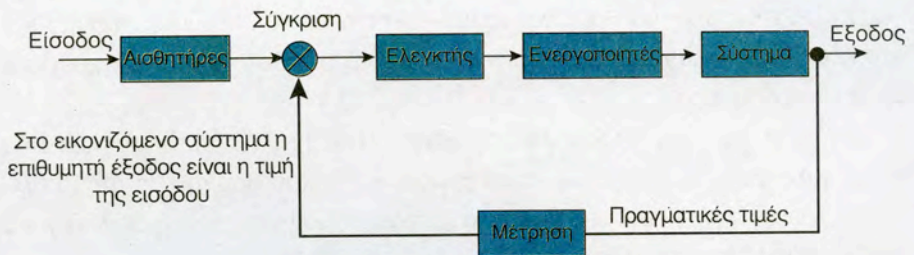
6.7 Ο τρόπος ελέγχου και ρύθμισης με ηλεκτρονικές διατάξεις στα συστήματα κλειστού βρόχου

Ο ελεγκτής, όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, είναι μια απαραίτητη μονάδα στα συστήματα αυτομάτου ελέγχου.

Στα συστήματα **κλειστού βρόχου**, τα οποία κυρίως μας ενδιαφέρουν ο ελεγκτής ρυθμίζει το προς μέτρηση μέγεθος, έτσι ώστε να κυμαίνεται μέσα στα επιθυμητά όρια που έχουν οριστεί για την καλή ψύξη ή την απαιτούμενη θερμοκρασία ή υγρασία κλπ. Είναι συνήθως ένα ηλεκτρονικό σύστημα το οποίο εκτελεί τα εξής:

- Δέχεται το ηλεκτρικό σήμα, προερχόμενο από το θερμοστάτη ή τον πρεσοστάτη ή τον υδροστάτη κλπ. Το ηλεκτρικό αυτό σήμα προέρχεται από την μετατροπή του μετρούμενου μεγέθους στον αισθητήρα, σε ηλεκτρική τάση ανάλογου μεγέθους.
- Το παραπάνω ηλεκτρικό σήμα συγκρίνεται με ένα άλλο σήμα, προερχόμενο από μία άλλη συσκευή με την οποία ρυθμίζουμε την επιθυμητή στάθμη του μεγέθους.
- Το αποτέλεσμα από τη σύγκριση των δύο σημάτων, το διορθώνει, το ενισχύει, το επεξεργάζεται για να ελέγξει αν είναι συμβατό με τις προδιαγραφές του ενεργοποιητή και κατόπιν το μεταβιβάζει στον ενεργοποιητή για να ανοίξει ή να κλείσει μια βαλβίδα ή ένα τάμπερ, ώστε να ρυθμιστεί κατάλληλα η έξοδος (θερμοκρασία, πίεση, υγρασία, κλπ.).

Στο σχήμα (6.3) φαίνεται το τυπικό κλειστό σύστημα ελέγχου ψυκτικής μονάδας με τις επιμέρους μονάδες του και τις ρυθμιζόμενες μεταβλητές θερμοκρασίας, πίεσης και υγρασίας.

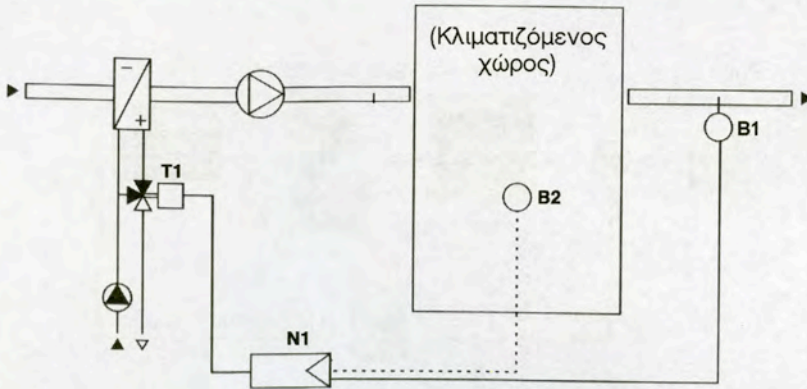


Σχήμα 6.3 Διάγραμμα βαθμίδων ελέγχου μίας διάταξης αυτοματισμού κλειστού βρόχου

Κατά συνέπεια, ο **ελεγκτής** που φαίνεται στο σχήμα (6.3) αποτελείται από τρία κύρια τμήματα:

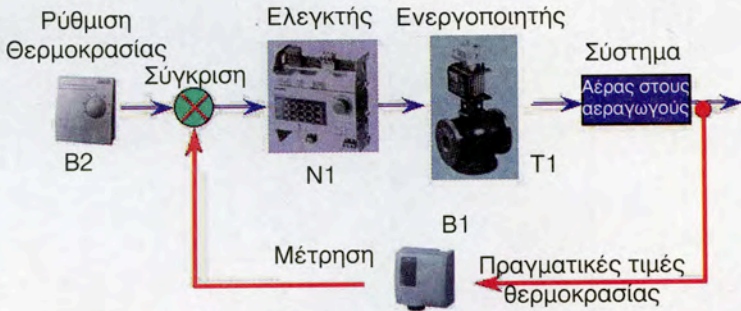
- Τμήμα σημάτων εισόδου (input interface)
- Τμήμα Επεξεργασίας
- Τμήμα σημάτων εξόδου (output interface)

Με τον όρο **ενεργοποιητής** θα εννοούμε το εξάρτημα που δέχεται το σήμα εξόδου του ελεγκτή, π.χ. μπορεί να είναι ένα πηνίο που να ανοιγοκλείνει μία τρίοδη βάνα.



Σχήμα 6.4 Διάταξη ελέγχου και ρύθμισης της θερμοκρασίας

Προφανώς το σχήμα (6.3) είναι κάπως δύσκολο να γίνει άμεσα κατανοητό. Γι' αυτό θα το προσεγγίσουμε με ένα απλό παράδειγμα. Στο σχήμα (6.4) βλέπουμε μία διάταξη που ελέγχει τη θερμοκρασία σε ένα κλιματιζόμενο χώρο. Με το αισθητήριο B2 που είναι μέσα στο χώρο, ρυθμίζουμε την επιθυμητή θερμοκρασία αέρα του χώρου. Το αισθητήριο B1 μετράει τη θερμοκρασία του απαγόμενου αέρα από το χώρο, που είναι συγχρόνως και η πραγματική θερμοκρασία του χώρου. Τα δύο αυτά σήματα, προερχόμενα από τα B1 και B2 καταλήγουν στον ελεγκτή N1. Εκεί συγκρίνονται και δίνεται εντολή στον ενεργοποιητή T1, που είναι ένας κατάλληλος κινητήρας, ο οποίος με τη σειρά του κινεί μία τρίοδη βάννα. Η τρίοδη βάννα ρυθμίζει την παροχή του νερού που εισέρχεται στο στοιχείο εναλλαγής θερμότητας και η αλλαγή της παροχής του νερού μέσα από το στοιχείο, αλλάζει τη θερμοκρασία του ρεύματος του αέρα. Μετά από λίγο θα αλλάξει και η θερμοκρασία στο σημείο B1. Έχοντας τη νέα μέτρηση από το σημείο B1, ο ελεγκτής N1 θα δώσει νέα εντολή στον ενεργοποιητή T1 και θα συνεχιστεί αυτή η διαδικασία μέχρι να επιτευχθεί η επιθυμητή θερμοκρασία, όπως αυτή έχει οριστεί από το θερμοστάτη B2.



Σχήμα 6.5 Το διάγραμμα του σχήματος (6.3) υλοποιημένο στη διάταξη ελέγχου και ρύθμισης της θερμοκρασίας του σχήματος (6.4).

Η πρακτική απεικόνιση των λειτουργιών της παραπάνω διάταξης, σε μορφή ανάλογη με αυτή του σχήματος (6.3) φαίνεται στο σχήμα (6.5). Στη θέση των ορθογωνίων πλαισίων του σχήματος (6.3), τα οποία συμβολίζουν τα στοιχεία του συστήματος, έχουν τοποθετηθεί εικόνες των αντίστοιχων πραγματικών μηχανισμών. Έτσι το γενικό αλλά πολύ βασικό σχήμα (6.3) αρχίζει να χάνει τον κάπως απροσδιόριστο χαρακτήρα του και να γίνεται κατανοητό. Το σχήμα (6.3) αντιπροσωπεύει τη γενικότερη διάταξη ενός συστήματος αυτοματισμού κλειστού βρόχου. Η διάταξη αυτή είναι η ίδια, είτε πρόκειται για ηλεκτρικό ή ηλεκτρονικό σύστημα είτε πρόκειται για πνευματικό ή υδραυλικό.

Στη συνέχεια θα αναφερθούμε αναλυτικά και με παραδείγματα τόσο στους ελεγκτές όσο και στους ενεργοποιητές. Κυρίως θα αναπτύξουμε τον τρόπο της λειτουργικής συμπεριφοράς τους, πως δηλαδή αντιλαμβάνονται οι ελεγκτές τα ερεθίσματα, πως αντιδρούν οι ενεργοποιητές και τα προβλήματα που παρουσιάζονται.

6.8 Διακρίση των συστημάτων κλειστού βρόχου ανάλογα με τον τρόπο που επενεργούν

Τα συστήματα αυτοματισμού κλειστού βρόχου διακρίνονται στις εξής κύριες κατηγορίες:

(1) **Δύο θέσεων** (ON-OFF).

(2) **Πλωτού ελέγχου** (floating action), που θα μπορούσε να θεωρηθεί και ως μία βελτίωση του συστήματος δύο θέσεων.

(3) **Διαμορφωτικού ελέγχου** (modulating control), που διακρίνεται σε τρεις επί μέρους κατηγορίες:

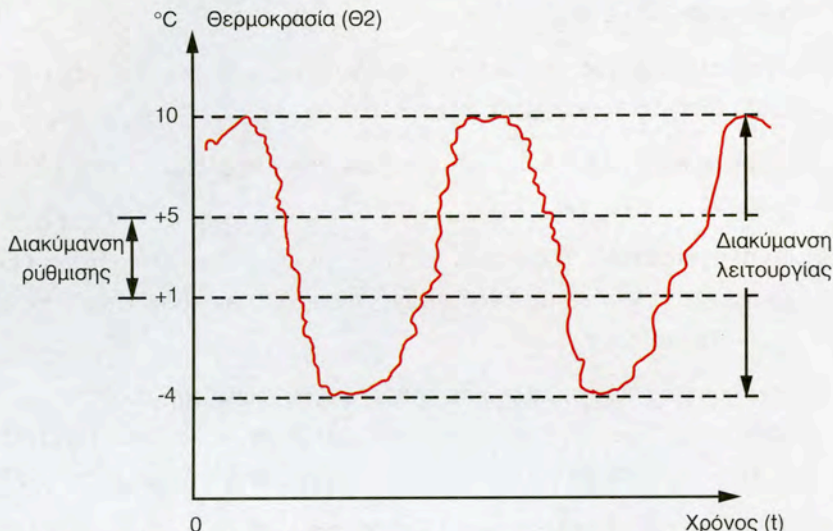
- **Αναλογικού** ελέγχου που συμβολίζεται ως **P**. Στην περίπτωση αυτή ανήκει το παράδειγμα της παραγράφου (6.2) με το φλοτέρ που ρυθμίζει τη στάθμη της δεξαμενής.
- **Αναλογικού και ολοκληρωτικού ελέγχου**, που συμβολίζεται ως **PI**. Με το σύστημα αυτό επιτυγχάνεται καλύτερη προσέγγιση της επιθυμητής τιμής της ελεγχόμενης μεταβλητής, από ότι στο σύστημα P.
- **Αναλογικού, ολοκληρωτικού και διαφορικού** ελέγχου που συμβολίζεται ως **PID**. Με αυτό το σύστημα προσεγγίζεται η επιθυμητή τιμή της ελεγχόμενης μεταβλητής όταν αυτή παρουσιάζει γρήγορες διακυμάνσεις.

(4) **Λογικού ελέγχου** (fuzzy logic), με τον οποίο γίνεται μία προσέγγιση στον τρόπο που σκέπτεται το ανθρώπινο μυαλό.

6.9 Αυτοματισμοί επιλογής μεταξύ δύο θέσεων (ON-OFF)

Τυπική περίπτωση αυτοματισμών επιλογής μεταξύ δύο θέσεων, είναι οι οικιακοί θερμοστάτες, στα συστήματα θέρμανσης με αυτονομία, όπου δίνεται η εντολή να **ανοίξει** ή να **κλείσει** μία δίοδη βάνα. Ο τρόπος διακύμανσης του ελεγχόμενου μεγέθους στα συστήματα αυτοματισμού δύο θέσεων φαίνεται στο σχήμα (6.6).

Με αυτό το σύστημα γίνεται π.χ. ο έλεγχος μίας ηλεκτροβάνας που ρυθμίζει τη ροή του ζεστού νερού που θερμαίνει ένα χώρο. Αν το σύστημα αυτοματισμού διαπιστώσει ότι η θερμοκρασία στο χώρο είναι υψηλή, τότε δίνει εντολή στη βάνα ON-OFF να κλείσει. Μετά από λίγη ώρα, αν ο αυτοματισμός αντιληφθεί ότι η θερμοκρασία έχει πέσει χαμηλά, δίνει εντολή στη βάνα να ανοίξει.



Σχήμα 6.6 Η διακύμανση του ελεγχόμενου μεγέθους στο σύστημα δύο θέσεων

Όπως βλέπουμε στο σχήμα (6.6), το σύστημα αυτοματισμού παρουσιάζει τη **διακύμανση ρύθμισης** του οργάνου (ή διαφορικό ρύθμισης), η οποία, αν π.χ. πρόκειται για θερμοστάτη, αυτή είναι η διαφορά μεταξύ των θέσεων ON και OFF (διαφορά μεταξύ των δύο "κλικ"). Αλλά κατά τη λειτουργία η θερμοκρασία του χώρου, παρουσιάζει τη **διακύμανση λειτουργίας** (ή διαφορικό λειτουργίας).

Για να γίνουν αντιληπτά τα αίτια που δημιουργούν τη διαφορά μεταξύ της διακύμανσης ρύθμισης και της διακύμανσης λειτουργίας ας δούμε, ως παράδειγμα, την απλή περίπτωση ενός θερμοστάτη διαμερίσματος που θερμαίνεται με απλά θερμαντικά σώματα.

Π. Χ. ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ

Έστω ότι ο θερμοστάτης ενός διαμερίσματος είναι κατασκευασμένος έτσι ώστε η διαφορική του ρύθμιση να είναι 2°C. Τοποθετούμε το θερμοστάτη στους 21°C. Λογικά περιμένουμε η θερμοκρασία του δωματίου να κυμαίνεται από 21°C μέχρι $21+2=23$ °C. Παρατηρούμε όμως ότι η πραγματική διακύμανση της θερμοκρασίας του διαμερίσματος κυμαίνεται από 20,5 μέχρι 23,5°C (οι αριθμοί είναι ενδεικτικοί). Δηλαδή το σύστημα παρουσιάζει μεγαλύτερη διακύμανση που είναι 3°C αντί για 2°C. Δημιουργείται ως εκ τούτου το εύλογο ερώτημα: γιατί να παρουσιάζεται διακύμανση **λειτουργίας** 3°C, τη στιγμή που η διακύμανση **ρύθμισης** είναι μόνο 2°C;

Απάντηση:

Όταν η θερμοκρασία του χώρου φθάσει στους 23°C , ο θερμοστάτης δίνει εντολή διακοπής της θέρμανσης. Όμως τα θερμαντικά σώματα περιέχουν ήδη καυτό νερό και εξακολουθούν να ανεβάζουν τη θερμοκρασία του χώρου μέχρι που να παγώσουν. Έτσι καταφέρνουν να την ανεβάσουν στους $23,5^{\circ}\text{C}$. Αντίστοιχα, όταν η θερμοκρασία πέσει στους 21°C , μέχρι να φθάσει το καυτό νερό από το λέβητα και να γεμίσουν εκ νέου τα θερμαντικά σώματα, η θερμοκρασία του χώρου θα εξακολουθήσει να πέφτει και θα κατέβει στους $20,5^{\circ}\text{C}$ αντί για τους 21°C που είναι η ρύθμιση του θερμοστάτη.

6.10 Αυτοματισμοί πλωτού ελέγχου (floating action)

Αυτοί οι αυτοματισμοί συναντιούνται και με την ονομασία **αυτοματισμοί προοδευτικής λειτουργίας**. Μοιάζουν πολύ με τους προηγούμενους με τη μόνη διαφορά ότι ο ελεγκτής ανταποκρίνεται ταχύτητα ενώ ο ενεργοποιητής κινείται πολύ αργά. Στους ηλεκτρικούς αυτοματισμούς η πολύ αργή κίνηση επιτυγχάνεται με την αποστολή ηλεκτρικών παλμών στον ενεργοποιητή, κατά ορισμένα χρονικά διαστήματα. Ο κάθε παλμός αντιστοιχεί σε μία πολύ μικρή διαδρομή του ενεργοποιητή. Αν ο ενεργοποιητής είναι και αυτός γρήγορος, τότε το σύστημα ουσιαστικά εκφυλίζεται σε σύστημα ON-OFF.

Όταν δοθεί η εντολή σε μία βάνα να κλείσει, το κλείσιμο γίνεται με έναν πολύ αργό ρυθμό. Εν τω μεταξύ ο ελεγκτής, με τις πληροφορίες που δέχεται από το περιβάλλον, μπορεί σε κάποιο σημείο να διακόψει την προοδευτική κίνηση του ενεργοποιητή ή ακόμη και να αντιστρέψει τη φορά κίνησης. Το χαρακτηριστικό των ενεργοποιητών που χρησιμοποιούνται στα συστήματα πλωτού ελέγχου, είναι ότι μπορούν να σταματήσουν ή να αντιστρέψουν τη λειτουργία τους σε οποιοδήποτε σημείο της διαδρομής τους. Για να γίνει αντιληπτή η λειτουργία καθώς και η διαφορά που υπάρχει από ένα σύστημα ON-OFF παραθέτουμε το παρακάτω παράδειγμα.

π.χ. ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ

Εστω ότι η επιθυμητή μέση θερμοκρασία ενός χώρου είναι 22°C και ο θερμοστάτης έχει έξοδο προοδευτικής λειτουργίας. Η βάνα που ανοιγοκλείνει την παροχή του νερού είναι επίσης εφοδιασμένη με ένα κινητή-

ρα προοδευτικής λειτουργίας. Μόλις ο θερμοστάτης αισθανθεί ότι η θερμοκρασία έχει πέσει στους 21°C, τότε δίνει εντολή και αρχίζει, σε πολύ αργό ρυθμό η ηλεκτροβάννα να ανοίγει. Μετά από 15 λεπτά έστω ότι η θερμοκρασία του χώρου έφθασε στους 22°C και ο κινητήρας της βάννας είναι στο 70% της διαδρομής του. Τότε ο θερμοστάτης διακόπτει την κίνηση του κινητήρα. Η θερμοκρασία όμως θα συνεχίσει να ανεβαίνει επειδή το 70% που άνοιξε η βάννα, μέχρι τη στιγμή που αντιλήφθηκε ο θερμοστάτης τους 22°C, ήταν σχετικά πολύ. Αν η θερμοκρασία φθάσει τους 23°C ο θερμοστάτης θα δώσει εντολή να αρχίσει η βάννα να κλείνει, δηλαδή να κινείται προς την αντίθετη κατεύθυνση και να μειώνει το άνοιγμα της βάννας. Μόλις η θερμοκρασία πέσει στους 22°C, τότε έστω ότι ο κινητήρας είναι στο 20% της διαδρομής του, που είναι σχετικά λίγο για να διατηρηθεί η θερμοκρασία στους 22°C και η θερμοκρασία θα εξακολουθήσει να πέφτει μέχρι τους 21°C. Τότε θα δοθεί εντολή για την εκ νέου αντιστροφή της λειτουργίας κ.ο.κ. Το αποτέλεσμα θα είναι η διακύμανση της θερμοκρασίας να είναι μέσα στην περιοχή 21-23°C (ή ενδεχομένως να αποκλίνει ελάχιστα από αυτήν).

Από το παραπάνω παράδειγμα γίνεται αντιληπτό ότι όταν ο θερμοστάτης πλησιάζει στο σημείο ελέγχου, συμφέρει, αν είναι δυνατόν, να γίνεται πιο αργά η κίνηση του κινητήρα προοδευτικής λειτουργίας, ώστε, μέχρι που να αισθανθεί ο θερμοστάτης ότι η θερμοκρασία του χώρου βρίσκεται στο σημείο ελέγχου, το άνοιγμα της βάννας να μην έχει προλάβει να γίνει εν τω μεταξύ πολύ μεγάλο ή πολύ μικρό.

Για τον παραπάνω λόγο, στα συστήματα αυτοματισμού πλωτού ελέγχου, ενδέχεται να μην έχουμε μόνο μία ταχύτητα κίνησης του ενεργοποιητή. Τότε λέμε ότι έχουμε την **αυξανόμενη προοδευτική λειτουργία** (incremental floating action), με την οποία επιτυγχάνεται η βέλτιστη δυνατή προσέγγιση του σημείου ελέγχου. Σε ένα ηλεκτρικό σύστημα ο μηχανισμός με τον οποίο οι αυτοματισμοί αυτοί μπορούν να μειώνουν την ταχύτητα, όσο η τιμή της μεταβλητής πλησιάζει το σημείο ελέγχου, είναι με τη μείωση της χρονικής διάρκειας των παλμών που αποστέλλονται στον ενεργοποιητή. Η μειωμένη διάρκεια του κάθε ηλεκτρικού παλμού, θα προκαλέσει την μικρότερης διάρκειας κίνηση του ενεργοποιητή σε κάθε παλμό, δηλαδή την πιο αργή κίνηση.

6.11 Αυτοματισμοί διαμορφωτικού ελέγχου (modulating control)¹

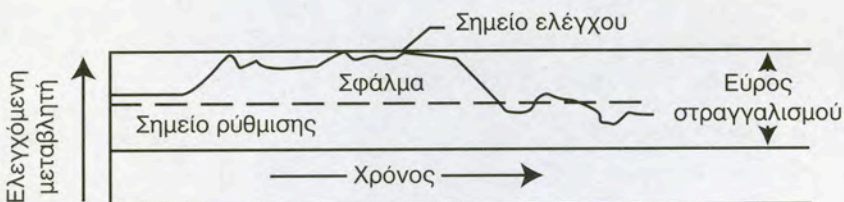
Οι αυτοματισμοί αυτοί είναι οι κυριότεροι από όλους και στο υπόλοιπο τμήμα του κεφαλαίου θα ασχοληθούμε σχεδόν αποκλειστικά με αυτούς. Επενεργούν δίνοντας μία έξοδο, συνήθως 2...10 V ή 0...10 V, το μέγεθος της οποίας εξαρτάται από τη διαφορά μεταξύ:

- Της μέτρησης της υπό έλεγχο παραμέτρου.
- Της ρύθμισης που έχει γίνει για το επιθυμητό μέγεθος της εν λόγω παραμέτρου.

Ανάλογα με το μέγεθος του εν λόγω σήματος, ο ενεργοποιητής λαμβάνει την ανάλογη θέση.

Για να λειτουργήσουν σωστά οι **ελεγκτές διαμορφωτικού ελέγχου**² θα πρέπει να τους γίνουν ορισμένες ρυθμίσεις, οι οποίες προσδιορίζονται μετά από δοκιμές.

Οι αυτοματισμοί **διαμορφωτικού ελέγχου**, είναι ότι καλύτερο μπορεί να προσφέρει σήμερα η τεχνολογία των αυτοματισμών. Γίνεται με ηλεκτρονικές συσκευές σύγχρονης τεχνολογίας. Το μειονέκτημα τους βρίσκεται στη μεγαλύτερη προσπάθεια που χρειάζεται για τον προγραμματισμό τους και στο ότι οι ρυθμίσεις τους μπορεί να ποικίλουν ανάλογα με τις εποχές ή και με τις καιρικές συνθήκες.



Σχήμα 6.7 Οι ελεγχόμενες παράμετροι σε ένα σύστημα διαμορφωτικού ελέγχου

¹ Ο όρος modulating control έχει αποδοθεί στην Ελληνική με διάφορα ονόματα. Εδώ προτιμήθηκε να γίνει η κατά λέξη μετάφραση του αντίστοιχου Αγγλικού όρου (modulate = διαμορφώνω). Θα τον συναντήσετε και με τον όρο αναλογικός έλεγχος, πράγμα που δεν είναι απόλυτα σωστό όπως θα δούμε παρακάτω, επειδή ο αναλογικός έλεγχος αποτελεί μία από τις κατηγορίες αυτού του ελέγχου.

² Τις συσκευές διαμορφωτικού ελέγχου πολλοί τις συγχέουν με τις συσκευές PLC. Στην πραγματικότητα όμως δεν έχουν **καμία απολύτως** σχέση με τα PLC.

Οι αυτοματισμοί αυτοί έχουν τέσσερα χαρακτηριστικά μεγέθη, τα οποία φαίνονται στο σχήμα (6.7):

- (1) Το **σημείο ρύθμισης** (set point): Είναι η επιθυμητή τιμή της μεταβλητής που ελέγχεται.
- (2) Το **σημείο ελέγχου** (control point): Είναι η πραγματική τιμή της μεταβλητής που ελέγχεται.
- (3) Το **σφάλμα** (offset ή signal error): Το σημείο **ρύθμισης** της μεταβλητής που ελέγχεται, πάντα θα έχει μία απόκλιση από το σημείο **ελέγχου**. Αυτή η απόκλιση ονομάζεται **σφάλμα** και το σύστημα προσπαθεί συνεχώς να το διορθώσει.
- (4) Το **εύρος στραγγαλισμού** (throttling range): Είναι η περιοχή μέσα στην οποία μπορεί να βρίσκεται η τιμή της μεταβλητής, όπως βλέπουμε και στο σχήμα (6.7). Το εύρος όμως στραγγαλισμού έχει μεγαλύτερη σημασία από τον παραπάνω απλό ορισμό και συγκεκριμένα ισχύουν ακόμη τα εξής:
 - Αν ο ενεργοποιητής βρίσκεται στη μία από τις δύο ακραίες θέσεις του και παρουσιαστεί μεταβολή της τιμής της ελεγχόμενης μεταβλητής που να είναι **ίση με το εύρος στραγγαλισμού**, τότε ο ενεργοποιητής θα μετακινηθεί απευθείας στην άλλη ακραία θέση του.
 - Κάθε άλλη μεταβολή στην τιμή της ελεγχόμενης μεταβλητής, που είναι μικρότερη από το εύρος στραγγαλισμού θα έχει ως αποτέλεσμα να μετακινηθεί ο ενεργοποιητής σε μία ενδιάμεση θέση, αντίστοιχη με το σήμα που δέχεται.
 - Ο καθορισμός ενός πολύ μικρού εύρους στραγγαλισμού, με στόχο τον περιορισμό της τιμής μέσα σε μία πιο μικρή περιοχή, θα έχει ενδεχομένως ως αποτέλεσμα τη συνεχή μετακίνηση του ενεργοποιητή από τη μία ακραία θέση στην άλλη. Κατά τον τρόπο αυτό όμως, το σύστημα εκφυλίζεται σε ένα απλό σύστημα ON-OFF.

ΣΗΜΕΙΩΣΗ

Η έννοια του **εύρους στραγγαλισμού** φαίνεται να μοιάζει πολύ με την έννοια της **περιοχής διακύμανσης** της μεταβλητής κατά τον τρόπο που αυτή ορίζεται σε ένα σύστημα ON-OFF ή προοδευτικής λειτουργίας. Όμως εδώ πρόκειται για κάτι τελείως διαφορετικό. Συγκεκριμένα, στη διαμορφωτική ρύθμιση, το να βρεθεί η μεταβλητή στα όρια του εύρους στραγγαλισμού,

είναι μία ακραία κατάσταση, η οποία, όταν η λειτουργία έχει σταθεροποιηθεί, ελάχιστες πιθανότητες έχει πλέον για να συμβεί (θα συμβεί μόνο αν λάβει χώρα κάποια πολύ απότομη μεταβολή στην ελεγχόμενη μεταβλητή). Έτσι, σε ένα σωστά κατασκευασμένο σύστημα διαμορφωτικού ελέγχου, το **σφάλμα** είναι μικρό και η μεταβλητή θα βρίσκεται πολύ κοντά στο σημείο ελέγχου. Αντίθετα, στο σύστημα δύο θέσεων, όπως βλέπουμε και στο σχήμα (6.5), η μεταβλητή μεταπηδάει συνεχώς από την μία ακραία τιμή της στην άλλη.

6.12 Τα είδη των ελεγκτών διαμορφωτικού ελέγχου

Οι ελεγκτές **διαμορφωτικού ελέγχου** είναι διαφόρων τύπων και υπάρχουν με διάφορα ονόματα και χαρακτηρισμούς. Σχεδόν κατά κανόνα, στις εγκαταστάσεις κλιματισμού, πρόκειται για ηλεκτρονικές διατάξεις. Κατά συνέπεια και η ελεγχόμενη μεταβλητή είναι μία ηλεκτρική τάση στην οποία έχει μετατραπεί το ελεγχόμενο μέγεθος. Π.χ. ένας θερμοστάτης που ελέγχει τη θερμοκρασία, την μετατρέπει σε τάση και την στέλνει σ' αυτή τη μορφή στον ελεγκτή. Οι τάσεις που χρησιμοποιούνται στον διαμορφωτικό έλεγχο συνήθως είναι στην περιοχή 2-10 V ή 0-10 V. Βασικά κατατάσσονται σε τρεις **τυπικές** κατηγορίες:

(1) Τύπος P ή αναλογικής λειτουργίας

Επενεργεί κατά τον τρόπο που αναφέρθηκε στο παράδειγμα του φлотέρ της παραγράφου (6.2β). Δηλαδή ισχύει η σχέση (6.3), η οποία έχει ως εξής:

$$H = K_p \times \Delta I + H_0 \quad (6.3)$$

Ας γενικεύσουμε την παραπάνω σχέση για να μην περιοριστούμε μόνο στο παράδειγμα του φлотέρ της δεξαμενής. Προς τούτο, το σφάλμα, όπως αυτό φαίνεται στο σχήμα (6.7) ας το συμβολίσουμε με το **e** (από το error) και τη μεταβλητή με το **V** (από το variable = μεταβλητή). Οπότε η (6.3) λαμβάνει τη γενικότερη μορφή:

$$V_p = K_p e + V_0 \quad (6.4)$$

Η περιοχή μέσα στην οποία μπορεί να βρεθεί η τιμή της V_p είναι το **αναλογικό εύρος** και συμβολίζεται ως **PB** (**P**roportional **B**and), όπως ακριβώς συμβαίνει και με το φлотέρ στην παράγραφο (6.2β). Η αλλαγή του K_p έχει ως συνέπεια και την αλλαγή του PB. Δηλαδή, στην αναλογική ρύθμιση, **το εύρος στραγγαλισμού ταυτίζεται με την περιοχή PB**.

Ο συντελεστής K_p ονομάζεται **αναλογικό κέρδος** (proportional gain) και είναι **αντιστρόφως** ανάλογος του **εύρους στραγγαλισμού**, δηλαδή του **αναλογικού εύρους PB**. Δηλαδή μία μεγάλη τιμή του K_p που σημαίνει ταχεία ανταπόκριση του συστήματος, συνεπάγεται μικρό εύρος στραγγαλισμού που σημαίνει ότι υπάρχει κίνδυνος ο ενεργοποιητής να μετακινείται από την μία ακραία θέση στην άλλη, ακόμη και σε μικρές διακυμάνσεις της ελεγχόμενης μεταβλητής, σαν να ήταν σύστημα ON-OFF. Αντίθετα το μικρό K_p συνεπάγεται βραδεία αντίδραση αλλά και μεγάλο εύρος στραγγαλισμού, που σημαίνει ότι το σύστημα θα μπορεί λειτουργεί με μεγαλύτερες διακυμάνσεις της ελεγχόμενης μεταβλητής. Ως εκ τούτου, υπάρχει πάντα μία μέση λύση που αντιπροσωπεύει το βέλτιστο συνδυασμό για να λειτουργήσει σωστά το σύστημα. Αν τέτοια λύση δεν μπορεί να υπάρξει τότε καταφεύγουμε στο σύστημα PI ή, σε ακόμη πιο δύσκολη περίπτωση στο σύστημα PID τα οποία θα αναπτύξουμε παρακάτω.

Ένα βασικό που θα πρέπει να γνωρίζουμε είναι ότι σε κάθε τιμή του K_p αντιστοιχεί μία και μόνο μία τιμή του PB και αντιστρόφως. Για να λειτουργήσει σωστά ο ελεγκτής θα πρέπει να υπολογιστεί η παράμετρος PB. Η κατάλληλη τιμή του PB βρίσκεται πειραματικά, με δοκιμές, όπως θα αναφέρουμε αργότερα. Η κάθε εγκατάσταση έχει τις δικές της παραμέτρους λειτουργίας. Το PB που τελικά θα εκτιμηθεί ότι είναι η βέλτιστη τιμή, εισάγεται, ως ρύθμιση, στον ελεγκτή.

Σε μία σωστά ρυθμισμένη συσκευή, μία ενδεικτική διακύμανση της ελεγχόμενης παραμέτρου φαίνεται στο σχήμα (6.8). Στο ξεκίνημα της λειτουργίας, έστω ότι έχουμε μία χαμηλή τιμή της ελεγχόμενης παραμέτρου, που μετά από κάποιο χρονικό διάστημα και αφού ταλαντωθεί αρκετές φορές γύρω από το σημείο ελέγχου, καταλήγει κοντά στην επιθυμητή τιμή, δηλαδή στο να ταυτιστεί σχεδόν με το σημείο ελέγχου. Στο αναλογικό σύστημα ή σύστημα P είναι σχεδόν αδύνατο να επιτευχθεί η πλήρης ταύτιση και αν τυχόν επιτευχθεί είναι κάτι το τυχαίο. Όταν χρειάζεται καλύτερη ρύθμιση, χρησιμοποιούμε το αναλογικό-ολοκληρωτικό σύστημα ή σύστημα PI. Η διαφορά τους φαίνεται στο σχήμα (6.8).



Σχήμα 6.8 Ο τρόπος διακύμανσης της τιμής της ελεγχόμενης παραμέτρου συναρτήσει του χρόνου, στο αναλογικό σύστημα (P) ελέγχου και στο αναλογικό-ολοκληρωτικό (PI). Προσέξτε ποια είναι η διαφορά που σημειώνεται με κόκκινο χρώμα.

Κάθε απροσδόκητη αλλαγή στην ελεγχόμενη τιμή, θα προκαλέσει επίσης στην αρχή μία ταλάντωση μέχρι που θα ισορροπήσει πάλι, κοντά στο σημείο ελέγχου, μέσα στην περιοχή PB.

(2) Τύπος PI ή αναλογικής και ολοκληρωτικής λειτουργίας

Σε αρκετές περιπτώσεις η αναλογική ρύθμιση δεν επαρκεί για να γίνεται η σωστή ρύθμιση και η επιδιωκόμενη βέλτιστη τιμή του K_p δεν μπορεί να ενοτοπιστεί. Σ' αυτή την περίπτωση γίνεται επιπλέον και η λεγόμενη **ολοκληρωτική ρύθμιση**. Δεν θα αναφερθούμε στην πλήρη περιγραφή της, η οποία απαιτεί περίπλοκη μαθηματική ανάπτυξη. Θα αναφέρουμε μόνο ότι γίνεται μία επιπλέον διόρθωση ίση με V_i , η οποία ονομάζεται ολοκληρωτική διόρθωση. Ο υπολογισμός της V_i γίνεται βάσει ενός μαθηματικού τύπου³. Οπότε η διόρθωση βρίσκεται από τη σχέση:

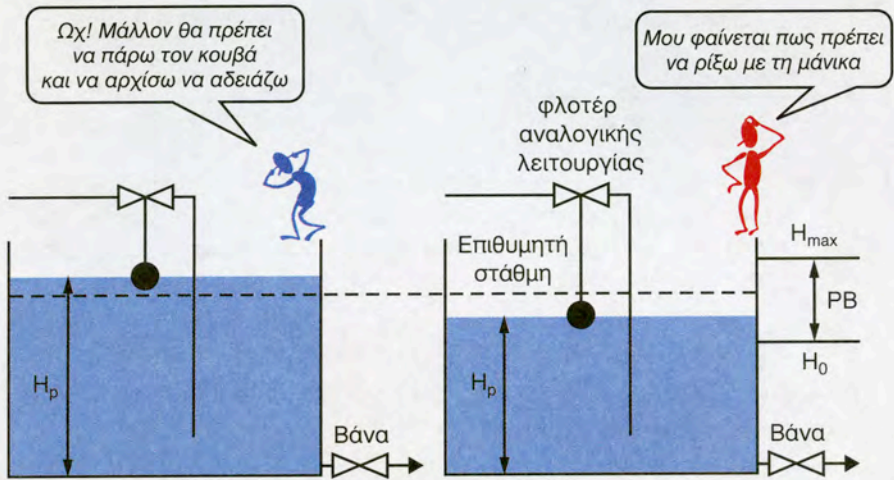
$$V = V_p + V_i \quad (6.5)$$

όπου: V_p είναι τιμή που προκύπτει από την αναλογική ρύθμιση η οποία αναφέρεται στη σχέση (6.4).

Για να αντιληφθούμε τί ακριβώς στην πράξη σημαίνουν τα παραπάνω, ας θυμηθούμε το παράδειγμα της παραγράφου (6.2), δηλαδή τον έλεγχο της στάθμης με το φλοτέρ της δεξαμενής. Αυτό το βλέπουμε πάλι στο

³ Η μαθηματική διατύπωση δεν είναι στους στόχους του βιβλίου.

σχήμα (6.8). Όπως είδαμε στην παράγραφο (6.2), το μόνο που μπορούμε να εξασφαλίσουμε σε έναν αναλογικό έλεγχο είναι ότι η ελεγχόμενη παράμετρος (στάθμη νερού) θα είναι μέσα στην περιοχή PB. Η **μεταβλητή V** της σχέσης (6.5), στην προκειμένη περίπτωση, είναι το **ύψος H** του νερού στη δεξαμενή.

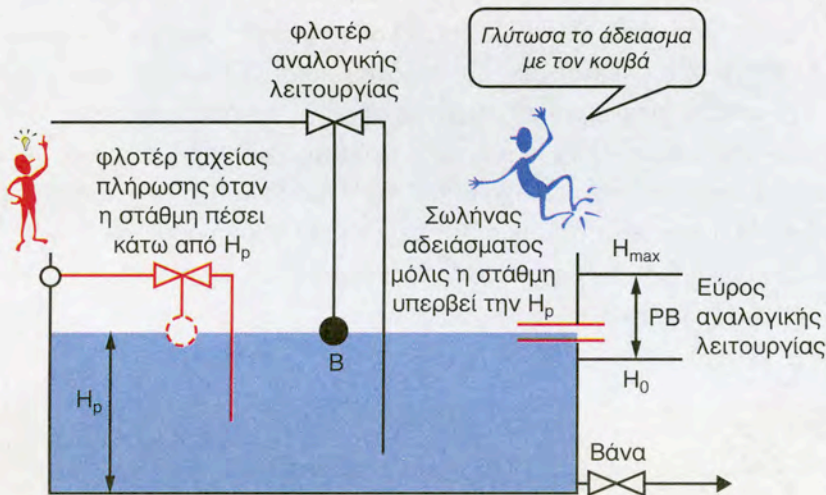


Σχήμα 6.9 Η ... ολοκληρωτική ρύθμιση

Έστω ότι για τη συγκεκριμένη εφαρμογή, έχει πολύ μεγάλη σημασία το ύψος H να είναι ακριβώς στο μέσον των H_0 και H_{max} . Ας συμβολίσουμε το επιθυμητό ύψος με το H_p . Τότε, επειδή θέλουμε οπωσδήποτε να είναι $H = H_p$, ο αναλογικός έλεγχος προφανώς δεν μας καλύπτει. Όταν η στάθμη υπερβεί την τιμή του H_p , τότε χρειαζόμαστε μία συμπληρωματική απομάκρυνση νερού. Ένας απλός τρόπος για να το επιτύχουμε είναι να χρησιμοποιήσουμε τον τελειότερο σύστημα αυτοματισμού που υπάρχει στη φύση: **Το ανθρώπινο μυαλό!** Τη διάταξη αυτή τη βλέπουμε στο σχήμα (6.9). Η μέθοδος αυτή με την οποία συμπληρώνουμε ή αφαιρούμε μία ποσότητα στην ελεγχόμενη μεταβλητή, χρησιμοποιώντας ένα δεύτερο, ξεχωριστό σύστημα ονομάζεται **ολοκληρωτική ρύθμιση**.

Ένα χαρακτηριστικό της ολοκληρωτικής ρύθμισης είναι ότι η ποσότητα που προσθέτουμε ή που αφαιρούμε στην ελεγχόμενη μεταβλητή δεν είναι σταθερή, **αλλά όσο πλησιάζουμε στο σημείο ρύθμισης, τόσο η ποσότητα αυτή μειώνεται**, προκειμένου να επιτύχουμε με μεγαλύτερη ακρίβεια την επιθυμητή τιμή. Για να το καταλάβουμε καλύτερα, στο παράδειγμα του σχήματος (6.9), όπου συμπληρώνουμε τη στάθμη νερού με τη μάνικα, στην

αρχή η παροχή νερού θα είναι μεγάλη για να συμπληρώσουμε το νερό της δεξαμενής γρήγορα. Όσο όμως πλησιάζουμε την επιθυμητή στάθμη, τόσο θα πρέπει να μειώνουμε την παροχή, ώστε σιγά-σιγά και χωρίς αναταράξεις στην επιφάνεια του νερού να επιτύχουμε επακριβώς το επιθυμητό ύψος της στάθμης.



Σχήμα 6.10 Αναλογικός-ολοκληρωτικός έλεγχος σε δεξαμενή νερού, με στόχο η στάθμη να είναι H_p . Με κόκκινο χρώμα συμβολίζονται τα εξαρτήματα που συμμετέχουν στον ολοκληρωτικό έλεγχο.

Η μέθοδος του σχήματος (6.9), αν και άψογη λειτουργικά, δεν θα μπορούσε ποτέ να έχει εμπορική επιτυχία. Χρειάζεται να την υποκαταστήσουμε με κάτι που να λειτουργεί αυτόματα. Προς τούτο, στο ύψος H_p έστω ότι έχουμε ανοίξει μία οπή. Αυτή υποκαθιστά τη λειτουργία που κάνει το μπλε ανθρωπάκι του σχήματος (6.9). Από την οπή αυτή εξέρχεται η πλεονάζουσα ποσότητα νερού με παροχή έστω V_i . Όσο πιο ψηλά ανέλθει η στάθμη H από την H_p , τόσο πιο μεγάλη θα είναι η υδροστατική πίεση, οπότε τόσο πιο μεγάλη θα είναι και η παροχή V_i . Δηλαδή θα συμβαίνει αυτό που αναφέραμε προηγουμένως, ότι στην ολοκληρωτική ρύθμιση η ποσότητα που προσθέτουμε ή που αφαιρούμε στην ελεγχόμενη μεταβλητή θα είναι μεγάλη όταν απέχουμε πολύ από το επιθυμητό σημείο και θα μικραίνει όσο περισσότερο το πλησιάζουμε.

Επίσης, ένα δεύτερο φλοτέρ, τοποθετημένο ακριβώς στο ύψος H_p , υποκαθιστά τη λειτουργία που κάνει το κόκκινο ανθρωπάκι. Αυτό θα στέλνει συμπληρωματική ποσότητα νερού V_i όταν η στάθμη πέσει κάτω από την H_p .

Αυτή ακριβώς η παροχή V_i , που άλλοτε αποστέλλεται και άλλοτε απομακρύνεται από τη δεξαμενή, αντιπροσωπεύει τη **διόρθωση** που γίνεται από ένα σύστημα **ολοκληρωτικού** ελέγχου και δεν είναι άλλη από την παράμετρο V_i που αναφέρεται στη γενική σχέση (6.5).

Η διαφορά που υπάρχει στην πράξη, σε σχέση με το σχήμα (6.10) είναι ότι χρησιμοποιούνται συστήματα τα οποία, από τεχνολογικής άποψης, είναι περισσότερο εξελιγμένα για να κάνουν την εργασία του **ολοκληρωτικού ελέγχου**. Στα ηλεκτρονικά συστήματα που συνήθως χρησιμοποιούνται στις εγκαταστάσεις ψύξης και κλιματισμού, αντί για παροχή νερού, έχουμε ένα ηλεκτρικό σήμα, δηλαδή μία τάση ρεύματος η οποία μετριέται σε Volt και συνήθως είναι στην περιοχή από 0-10 V ή από 2-10 V. Αντίστοιχα, στα πνευματικά συστήματα, το σήμα αυτό είναι μία παροχή αέρα.

Βάσει των παραπάνω μπορούμε να δώσουμε τον εξής ορισμό για τον ολοκληρωτικό έλεγχο:

Ορισμός

Ολοκληρωτικός έλεγχος είναι ο έλεγχος κατά τον οποίο ο ελεγκτής διορθώνει, με ένα επιπλέον σήμα, την ελεγχόμενη μεταβλητή με σκοπό να τη φέρει πιο κοντά στο σημείο ρύθμισης.

Όπως αναπτύξαμε προηγουμένως, το V_i θα πρέπει να μειώνεται όσο πλησιάζουμε στο σημείο ελέγχου και να αυξάνεται όσο απομακρυνόμαστε. Για να πραγματοποιηθεί αυτό, θα πρέπει κατά ορισμένα χρονικά διαστήματα που το καθένα τους, έστω ότι είναι T_i , να γίνεται διόρθωση της τιμής του V_i . Για να λειτουργήσει δηλαδή σωστά ο ελεγκτής θα πρέπει, εκτός από την κατάλληλη τιμή που θα πρέπει να έχει το αναλογικό εύρος PB **να προσδιοριστεί και ο κατάλληλος χρόνος T_i** . Τα PB και T_i στη συνέχεια εισάγονται, ως ρυθμίσεις, στη συσκευή ελέγχου.

Βασικό χαρακτηριστικό του ολοκληρωτικού ελέγχου

Το διορθωτικό σήμα του ελεγκτή είναι τόσο ισχυρότερο όσο μεγαλύτερη είναι η απόκλιση της μεταβλητής από το σημείο ελέγχου.

(3) Τύπος PID ή αναλογικής, ολοκληρωτικής και διαφορικής λειτουργίας

Σε ορισμένες περιπτώσεις, όταν γίνεται πολύ γρήγορα η αλλαγή της τιμής της ελεγχόμενης μεταβλητής, δεν επαρκεί ούτε η ολοκληρωτική ρύθμιση και γίνεται μία ακόμη διόρθωση, που ονομάζεται **διαφορική ρύθμιση**. Στη διαφορική ρύθμιση μας ενδιαφέρει ο ρυθμός με τον οποίο γίνεται η μεταβολή της υπό εξέταση παραμέτρου, αν δηλαδή μεταβάλλεται πολύ γρήγορα ή πολύ αργά. Αν ο ρυθμός μεταβολής είναι μικρός, τότε το σύστημα αναλογικής-ολοκληρωτικής ρύθμισης κάνει πολύ καλά τη ρύθμιση από μόνο του. Όταν όμως έχουμε μεγάλες και απότομες μεταβολές, τότε χρειάζεται μία ακόμη ενίσχυση για να μπορέσει να ανταπεξέλθει. Η ενίσχυση αυτή γίνεται μέσω της διαδικασίας του **διαφορικού ελέγχου**.

Στην πράξη, καλείται το σύστημα διαφορικού ελέγχου να αποφασίσει αν χρειάζεται να γίνεται και αυτή η επιπλέον ρύθμιση, καθώς και ποιο θα πρέπει να είναι το μέγεθος της. Αυτό πραγματοποιείται μετρώντας τη διαφορά Δe που παρουσιάζεται μεταξύ δύο διαδοχικών σφαλμάτων. Η μέτρηση γίνεται κατά τακτά χρονικά διαστήματα η διάρκεια εκάστου των οποίων είναι T_d . Συνήθως το T_d είναι αρκετά μικρότερης χρονικής διάρκειας από το T_i . Βάσει της διαφοράς σφάλματος Δe που παρουσιάζεται μέσα σε ένα πολύ μικρό χρονικό διάστημα T_d , υπολογίζεται η επιπλέον διόρθωση V_d επί της τιμής του V . Ο υπολογισμός γίνεται μέσω ενός μαθηματικού τύπου, διαφορετικού από αυτόν που χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό της διόρθωσης κατά την ολοκληρωτική ρύθμιση⁴.

Η σχέση που δίνει τη διόρθωση στην αναλογική-ολοκληρωτική-διαφορική ρύθμιση, είναι η εξής:

$$V = V_p + V_i + V_d \quad (6.6)$$

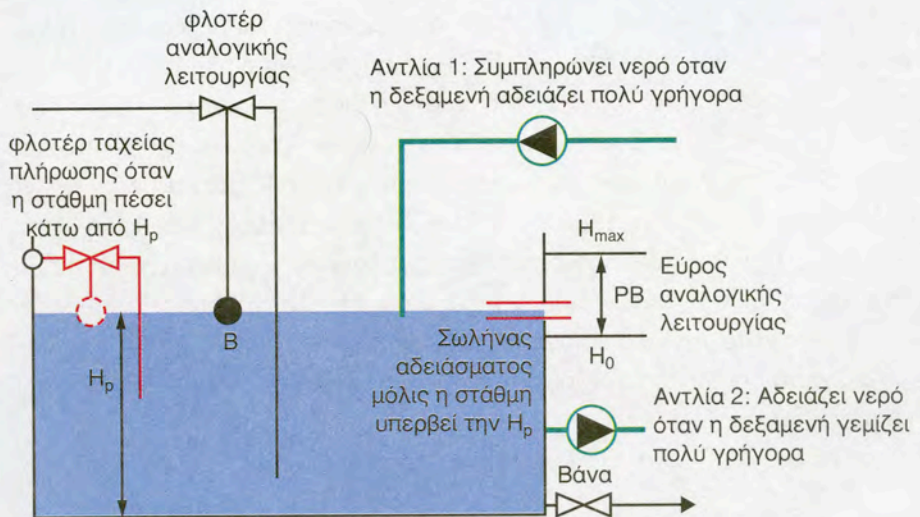
όπου: V_p είναι η αναλογική διόρθωση και αναφέρεται στη σχέση (6.4)

V_i είναι η ολοκληρωτική διόρθωση.

Η επεξήγηση του διαφορικού ελέγχου δεν μπορεί να γίνει με τον απλό τρόπο που έγινε επεξήγηση του ολοκληρωτικού ελέγχου, αλλά και πάλι μπορούμε, χρησιμοποιώντας το παράδειγμα με τη δεξαμενή νερού, να φανταστούμε περί τίνος περίπου πρόκειται.

⁴ Η μαθηματική διατύπωση δεν είναι στους στόχους του βιβλίου.

Έστω ότι στο σχήμα (6.11) η ποσότητα νερού που απομακρύνεται δεν είναι σταθερή αλλά ότι συχνά παρουσιάζει πολύ μεγάλες και απότομες διακυμάνσεις. Το μέγεθος της δεξαμενής έστω ότι είναι σχετικά μικρό, οπότε αλλάζει ταχύτατα η στάθμη της, καθώς λαμβάνουν χώρα αυτές οι διακυμάνσεις. Τότε το σύστημα αναλογικού και ολοκληρωτικού ελέγχου, κατά τη διάρκεια των απότομων διακυμάνσεων, δεν επαρκεί από μόνο του για να διατηρήσει σταθερή τη στάθμη του νερού και χρειάζεται κάποια πρόσθετη παροχή νερού για να γεμίζει ή να αδειάζει γρήγορα η δεξαμενή, κατά τις φάσεις των απότομων μεταβολών της στάθμης. Προφανώς, για να γίνει αυτό, χρειάζονται δύο ισχυρές αντλίες, μεταβλητής παροχής, όπως φαίνονται στο σχήμα (6.11).



Σχήμα 6.11 Αναλογικός-ολοκληρωτικός-διαφορικός έλεγχος σε δεξαμενή νερού, με στόχο η στάθμη να επανέρχεται ταχύτατα στην επιθυμητή στάθμη H_p . Με **πράσινο** χρώμα σημειώνονται τα εξαρτήματα που συμμετέχουν στο διαφορικό έλεγχο.

Όσο πιο απότομα αδειάζει η δεξαμενή, τόσο μεγαλύτερη θα πρέπει να είναι η παροχή που θα δίνει η αντλία 1 (η 2 θα είναι σταματημένη). Αντίστοιχα, όσο πιο γρήγορα γεμίζει, τόσο μεγαλύτερη θα πρέπει να είναι η παροχή της αντλίας 2 (η 1 θα είναι σταματημένη). Το σύστημα που ελέγχει τη λειτουργία των αντλιών αντιλαμβάνεται τί θα πρέπει να κάνει μετρώοντας το σφάλμα της στάθμης e (απόκλιση από την επιθυμητή τιμή) ανά ίσα

πολύ μικρά χρονικά διαστήματα T_d (ή dT). Όσο μεγαλύτερη είναι η διαφορά Δe (ή de) μεταξύ δύο διαδοχικών σφαλμάτων της στάθμης της δεξαμενής, τόσο αυξάνεται η παροχή της αντλίας που λειτουργεί. Η αντλία κάνει τότε την λεγόμενη **διαφορική ρύθμιση**.

Το αποτέλεσμα είναι, η διαφορική αυτή ρύθμιση με τη συνεργασία του συστήματος αναλογικής ρύθμισης και του συστήματος ολοκληρωτικής ρύθμισης να επαναφέρουν ταχύτατα τη στάθμη του νερού στο ύψος H_p , μετά από κάθε ισχυρή διατάραξη της στάθμης του. Σε ασθενείς διαταράξεις, η διαφορική ρύθμιση δεν χρειάζεται να λειτουργήσει, καθ' όσον η αναλογική και η ολοκληρωτική ρύθμιση αρκούν από μόνες τους για να επέλθει γρήγορα η στάθμη στην επιθυμητή τιμή της.

Βάσει των παραπάνω και γενικεύοντας για όλα τα συστήματα, μπορούμε να δώσουμε τον ορισμό του διαφορικού ελέγχου:

Ορισμός

Διαφορικός έλεγχος είναι ο έλεγχος κατά τον οποίο, ο ελεγκτής παρακολουθεί το ρυθμό με τον οποίο μεταβάλλεται η ελεγχόμενη μεταβλητή και προσπαθεί, μέσω του κατάλληλου σήματος, να εξισορροπήσει τις ταχείες διακυμάνσεις στην τιμή της.

Επίσης θα πρέπει να έχουμε υπόψη μας τον τρόπο που λειτουργεί ο διαφορικός έλεγχος:

Βασικό χαρακτηριστικό του διαφορικού ελέγχου

Όσο επιταχύνεται ο ρυθμός με τον οποίο η ελεγχόμενη μεταβλητή αποκλίνει από το σημείο ελέγχου, τόσο ισχυρότερο είναι το διορθωτικό σήμα του ελεγκτή.

Για να λειτουργήσει σωστά ο ελεγκτής που εκτελεί αναλογική, ολοκληρωτική και διαφορική λειτουργία, **θα πρέπει να καθοριστούν εκτός από τις παραμέτρους PB , T_i και ο χρόνος T_d** . Τα PB , T_i και T_d στη συνέχεια εισάγονται στη συσκευή.

6.13 Ανακεφαλαίωση των παραμέτρων που θα πρέπει να ρυθμίζονται σε ένα σύστημα διαμορφωτικού ελέγχου

Ολοκληρώνοντας, οι τρεις τυπικοί ελεγκτές και οι ρυθμίσεις που πρέπει να τους γίνουν συνοψίζονται στον παρακάτω πίνακα:

Πίνακας 6.3 Οι τυπικοί ελεγκτές και οι ρυθμίσεις τους

A/A	Τύπος Ηλεκτρονικού Ελεγκτή	Παράμετροι που πρέπει να καθοριστούν
1	P	PB
2	PI	PB, T_i
3	PID	PB, T_i , T_d

Όσον αφορά τον τρόπο που καθορίζονται οι παράμετροι που θα πρέπει να εισαχθούν, ως ρυθμίσεις του ελεγκτού, θα αναφερθούμε αργότερα, στο παρόν κεφάλαιο.

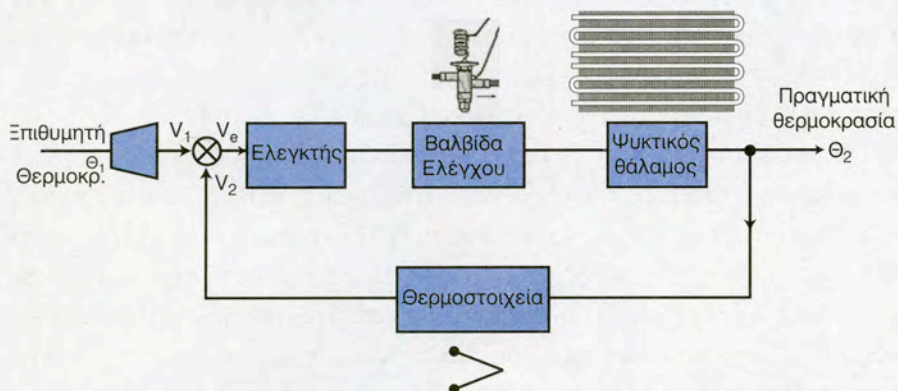
6.14 Παράδειγμα ελέγχου της θερμοκρασίας με αναλογική ρύθμιση

Έστω ότι η επιθυμητή θερμοκρασία του θαλάμου συντήρησης των τροφίμων, για να μην αλλοιωθούν τα τρόφιμα είναι t_1 (π.χ. 4°C). Η θερμοκρασία t_1 , μετατρέπεται με τον κατάλληλο αισθητήρα θερμοκρασίας σε ηλεκτρική τάση U_1 . Το κύκλωμα ψύξης δίνει στην έξοδο του μια θερμοκρασία t_2 μεγαλύτερη ή μικρότερη από την επιθυμητή.

Τότε για να ελέγξουμε και ρυθμίσουμε το κύκλωμα θερμοκρασίας θα πρέπει να μετρήσουμε με ένα αισθητήριο θερμοκρασίας (π.χ. με ένα θερμοστοιχείο) την θερμοκρασία t_2 , την οποία ο αισθητήρας θα την μετατρέψει σε ηλεκτρική τάση U_2 . Οι δύο αυτές τάσεις συγκρίνονται μεταξύ τους και λαμβάνεται η διαφορά τους, που καλείται σφάλμα τάσης, $U_e = U_1 - U_2$.

Το σφάλμα τάσης U_e είναι η είσοδος του ελεγκτή ο οποίος ανοίγει ή κλείνει μία θερμοστατική εκτονωτική βαλβίδα με αποτέλεσμα να διαβιβάζεται στον εξατμιστή (εναλλάκτη θερμότητας) περισσότερο ή λιγότερο ψυκτικό υγρό. Έτσι ρυθμίζεται η θερμοκρασία του θαλάμου και μετά από λίγο χρονικό διάστημα η πραγματική θερμοκρασία εξόδου t_1 εξισώνεται με

την επιθυμητή θερμοκρασία δηλαδή $t_2=t_1$. Στο σχήμα (6.12) φαίνεται το λειτουργικό διάγραμμα του κυκλώματος ελέγχου της θερμοκρασίας.



Σχήμα 6.12 Ο αναλογικός έλεγχος της θερμοκρασίας ενός ψυκτικού θαλάμου

6.15 Ευσταθές και ασταθές σύστημα

Σε ένα σύστημα, η έξοδος του, που αποτελεί την πραγματική τιμή της ελεγχόμενης μεταβλητής (θερμοκρασία, πίεση, υγρασία) κυμαίνεται σε ορισμένα όρια και προσεγγίζει την επιθυμητή τιμή με ελάχιστο σφάλμα. Τότε λέμε ότι το σύστημα είναι **ευσταθές**. Για παράδειγμα σε έναν ψυκτικό θάλαμο, ο οποίος είναι εξοπλισμένος με ένα καλά ρυθμισμένο κύκλωμα ελέγχου της θερμοκρασίας, αναλογικού ελέγχου (τύπος P), έστω ότι πρέπει να δίνει έξοδο $t_2 = 4^\circ\text{C} + e$, όπου το e είναι το σφάλμα θερμοκρασίας. Ας δεχτούμε ότι η μέγιστη επιτρεπόμενη τιμή του e είναι η $e_{\max} = \pm 10\%$ επί της θερμοκρασίας t_1 . Τότε έχουμε:

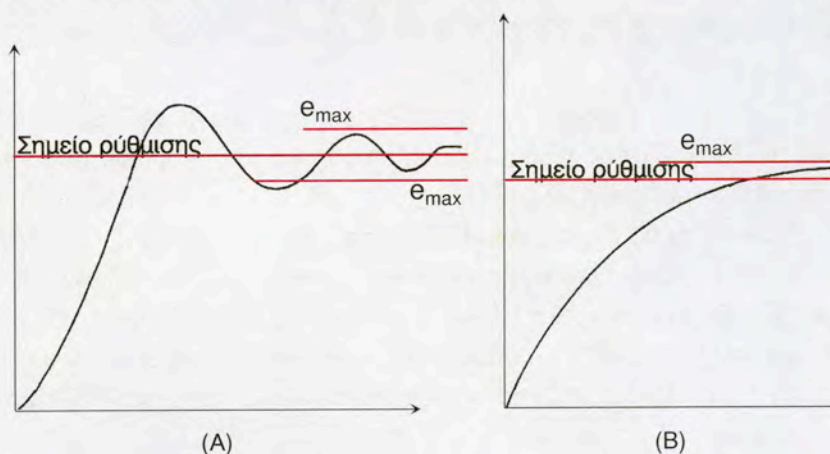
$$e_{\max} = 0,4^\circ\text{C} \quad \text{και} \quad t_2 = 4 \pm 0,4 \text{ }^\circ\text{C} = 3,6^\circ\text{C} - 4,4^\circ\text{C}$$

και το εύρος της διακύμανσης: $PB = 4,4 - 3,6 = 0,8^\circ\text{C}$

Αν το σύστημα δεν είναι σε θέση να διατηρήσει την τιμή μέσα στα προβλεπόμενα όρια, τότε ονομάζεται **ασταθές**. Στο ασταθές σύστημα η τιμή του σφάλματος μπορεί να βρεθεί πολύ εύκολα εκτός του εύρους PB και να δούμε τον ενεργοποιητή να εκτελεί συνεχώς διαδρομές από τη μία ακραία θέση στην άλλη.

Ασταθή μπορούν να αποδειχτούν, μεταξύ των άλλων και τα συστήματα που λειτουργούν στα ακραία όρια της περιοχής που ρυθμίζουν. Π.χ. μία βάνα μπορεί να λειτουργεί χωρίς προβλήματα όταν η θέση της κυμαίνεται μεταξύ του 25% και του 75% της πλήρους διαδρομής της. Αν η βάνα που θα τοποθετηθεί είναι λίγο μεγαλύτερη από αυτήν που κανονικά απαιτείται και αναγκάζεται να λειτουργεί στο 5-20% της διαδρομής της, τότε το σύστημα έχει περισσότερες πιθανότητες να αποδειχθεί ασταθές.

Η προσέγγιση της τελικής τιμής, σε ένα ευσταθές σύστημα, μπορεί να γίνεται με δύο τρόπους όπως φαίνεται στο σχήμα (6.13). Ο ένας τρόπος, του σχήματος (6.13^A) είναι να αυξάνεται η ελεγχόμενη παράμετρος γρήγορα και να δημιουργούνται ταλαντώσεις οι οποίες σταδιακά αποσβένονται. Τελικά η ελεγχόμενη παράμετρος θα καταλήξει στην τιμή t_1 και θα αντιδρά στις μικροαλλαγές φορτίου παραμένοντας κυμαινόμενη μέσα **στα όρια του σφάλματος e_{max} γύρω από την επιθυμητή τιμή t_1** οπότε το σύστημα χαρακτηρίζεται ως ευσταθές. Αν όμως το σφάλμα ξεφύγει από τον έλεγχο και οι διακυμάνσεις είναι εκτός της αποδεκτής περιοχής του σφάλματος e_{max} , τότε λέμε ότι το σύστημα είναι ασταθές.



Σχήμα 6.13 Η χρονική μεταβολή της ελεγχόμενης παραμέτρου σε ένα ευσταθές σύστημα

Συνήθως, στα συστήματα που λειτουργούν όπως στο σχήμα (6.13^A), απαιτείται έλεγχος PID, ή στην καλύτερη περίπτωση PI. Ο ελεγκτής P μπορεί, πολύ εύκολα, να αποδειχτεί ανεπαρκής και το σύστημα να γίνει ασταθές. Όταν οι διακυμάνσεις είναι πολύ απότομες, υπάρχει πιθανότητα ακόμη και ο ελεγκτής PID να αποδειχτεί ανεπαρκής. Η ευστάθεια όμως ή η αστάθεια ενός συστήματος έχει σχέση και με τη σωστή ρύθμιση του ελε-

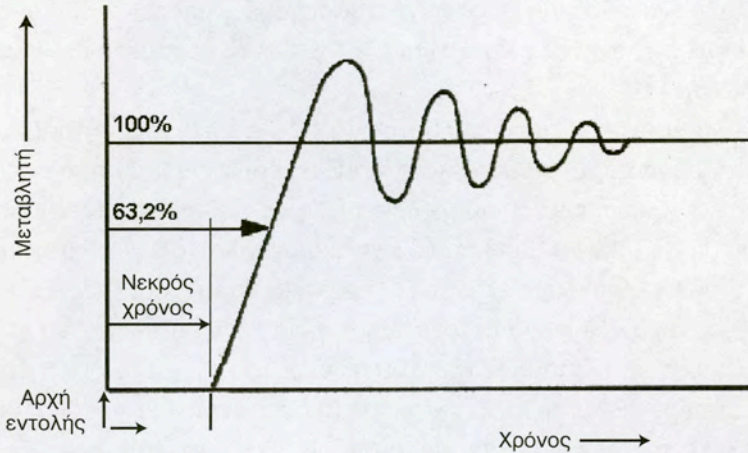
γκή. Όταν ένα σύστημα αποδεικνύεται ασταθές, μπορεί να μη φταίει το γεγονός ότι ο ελεγκτής είναι PI και όχι PID, αλλά ότι αυτός δεν έχει ρυθμιστεί σωστά.

Στη δεύτερη περίπτωση σχήματος (6.13^B) η ελεγχόμενη παράμετρος αυξάνεται αργά αλλά σταθερά και το αποτέλεσμα είναι να προσεγγίζει ασυμπτωτικά την επιθυμητή τιμή χωρίς όμως να μπορεί να γίνεται μεγαλύτερη της ($t_2 < t_1$). Μετά από κάποιο σχετικά μεγάλο χρονικό διάστημα, στο σύστημα αυτό, αν έχουμε έλεγχο PI, πρακτικά θα ισχύει $t_1 \approx t_2$. Σε ένα σύστημα P, η τυχόν διαφορά μεταξύ των t_1 και t_2 δεν θα μπορεί να υπερβαίνει τη μέγιστη επιτρεπόμενη τιμή του σφάλματος e_{\max} . Στο σύστημα αυτό, επειδή αντιδρά πολύ αργά, ο ελεγκτής μπορεί άνετα να παρακολουθήσει τις αλλαγές της ελεγχόμενης παραμέτρου. Ως εκ τούτου πολύ δύσκολα θα μπορούσε ένα τέτοιο σύστημα να αποδειχτεί ασταθές.

6.16 Οι παράμετροι χρόνου συναρτήσκει της ελεγχόμενης μεταβλητής

Στην περίπτωση μεταβολών του τύπου P, PI, PID ορίζονται διάφοροι παράμετροι πάνω στην καμπύλη μεταβολής της ελεγχόμενης μεταβλητής. Αυτές είναι οι εξής:

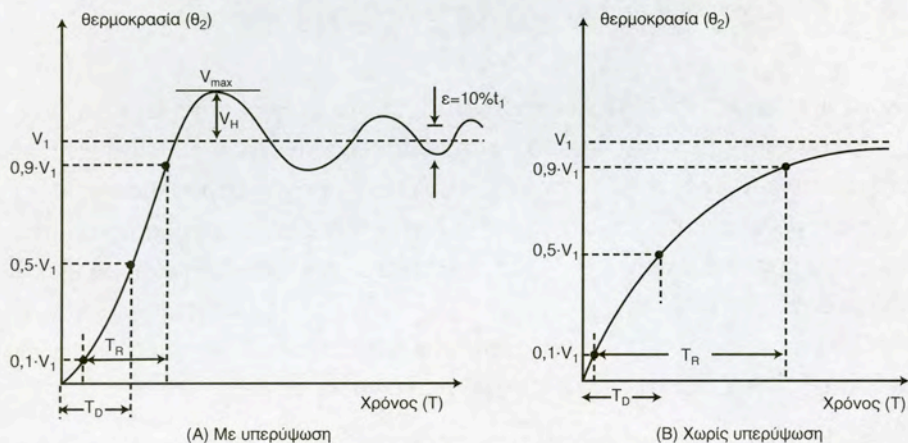
- Σταθερά χρόνου:** Είναι ο χρόνος που χρειάζεται για να φθάσει η ελεγχόμενη μεταβλητή στο **63,2%** της τελικής τιμής της. Η σταθερά αυτή μας δείχνει πόσο γρήγορα μπορεί να μεταβάλλεται η ελεγχόμενη μεταβλητή συναρτήσκει του χρόνου. Σε άλλες περιπτώσεις μπορεί να έχει πολύ χαμηλές τιμές και σε άλλες πολύ υψηλές. Υψηλές τιμές σημαίνουν ταχύτερη αλλαγή στην ελεγχόμενη παράμετρο και χαμηλές τιμές υπονοούν ένα αργοκίνητο σύστημα, στο οποίο η τελική τιμή χρειάζεται πολύ χρόνο για να επιτευχθεί. Στα συστήματα κλιματισμού, που αντιδρούν αργά, που είναι και τα περισσότερα, οι ελεγκτές τύπου P συνήθως είναι υπεραρκετοί για το σωστό έλεγχο.
- Νεκρός χρόνος:** Είναι ο χρόνος ο οποίος μεσολαβεί από τη στιγμή που ο ελεγκτής δίνει την εντολή, μέχρι τη στιγμή που τα αποτελέσματα θα αρχίσουν να γίνονται αντιληπτά. Περνάει δηλαδή ένα χρονικό διάστημα, που μπορεί να είναι από αμελητέο, μέχρι πολύ μεγάλο, κατά το οποίο δεν συμβαίνει απολύτως καμία μεταβολή στην ελεγχόμενη παράμετρο.



Σχήμα 6.14 Η σταθερά χρόνου και ο νεκρός χρόνος

Ακόμη, αν ορίσουμε ως V_1 το σημείο ελέγχου και ως V μία τυχαία τιμή στην καμπύλη μεταβολής μεταβλητής συναρτήσεως του χρόνου, τότε, όπως βλέπουμε και στο σχήμα (6.15), μπορούν να οριστούν και οι εξής παράμετροι πάνω στην καμπύλη της V συναρτήσεως του χρόνου:

- **Χρόνος καθυστέρησης** (Delay time), T_D είναι ο χρόνος που χρειάζεται για να φθάσει η V το 50% της V_1 δηλαδή $V = V_1 / 2$.
- **Χρόνος ανύψωσης** (Rise time), T_R είναι ο χρόνος που απαιτείται για να φθάσει η V το 90% της V_1 , όχι όμως από την αρχή του χρόνου αλλά από την χρονική στιγμή που $V = 0,1 \times V_1$.
- **Υπερύψωση** (overshoot), V_H και είναι η διαφορά από το σημείο ελέγχου, όταν η μεταβλητή παίρνει την μέγιστη τιμή της δηλαδή $V_H = V_{\max} - V_1$.



Σχήμα 6.15 Οι παράμετροι χρόνου (A) σε σύστημα με υπερύψωση, (B) χωρίς υπερύψωση

Έχει αποδειχθεί ότι η ρύθμιση και ο έλεγχος ενός συστήματος εξαρτάται από τον λόγο T_R/T_D . Όσο μεγαλύτερος είναι ο λόγος αυτός, τόσο γίνεται καλύτερος και ευκολότερος ο έλεγχος. Αντίθετα, όταν ο λόγος είναι πολύ μικρός (π.χ. 5) τότε ο έλεγχος είναι δύσκολος και απαιτεί συστήματα PI ή PID ή άλλα ακόμη πιο περίπλοκα συστήματα αντιστάθμισης.

Για τη ρύθμιση συστημάτων με ελεγκτές των πιο πάνω τύπων και με βάση τη χρονική απόκριση της εξόδου του συστήματος έχουμε τον εξής χρήσιμο και πρακτικό κανόνα:

- Αν ο λόγος T_R/T_D είναι πολύ μεγάλος (π.χ. 50) τότε οι ελεγκτές P, συνήθως είναι επαρκείς.
- Αν ο λόγος T_R/T_D έχει μικρές τιμές αλλά $T_R/T_D > 7,4$ τότε ενδείκνυται να χρησιμοποιήσουμε ελεγκτές PI.
- Αν ο λόγος $T_R/T_D < 7,4$ τότε ενδείκνυνται οι ελεγκτές PID.
- Αν ο λόγος $T_R/T_D < 3,3$ τότε ενδέχεται ακόμη οι ελεγκτές PID να αποδειχτούν επαρκείς και να απαιτούνται ειδικές πλέον διατάξεις αντιστάθμισης.

6.17 Οι μηχανισμοί που κινούνται από τους ενεργοποιητές

Ο αυτοματισμός των διατάξεων κλιματισμού και ψύξης, **μοναδικό** σκοπό έχει εντοπίζει το βέλτιστο τρόπο με τον οποίο θα γίνεται η ρύθμιση των χαρακτηριστικών της ροής κάποιου ρευστού (παροχή, θερμοκρασία κλπ.). Όλα στον κλιματισμό και στην ψύξη εξαρτώνται από τη ροή κάποιου ρευστού, που μπορεί να είναι ο αέρας, το νερό, ο ατμός ή κάποιο είδος ψυκτικού ρευστού.

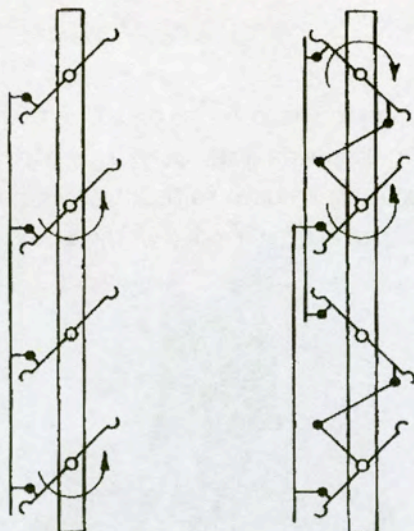
Οι ενεργοποιητές που υπάρχουν στα δίκτυα κινούν κάποιες διατάξεις οι οποίες ρυθμίζουν τη ροή. Αυτές βασικά είναι οι εξής δύο:

- Τα τάμπερ, για τη ρύθμιση της ροής του αέρα.
- Οι βάνες, για τη ρύθμιση της ροής των υγρών.

6.18 Τα είδη των τάμπερ

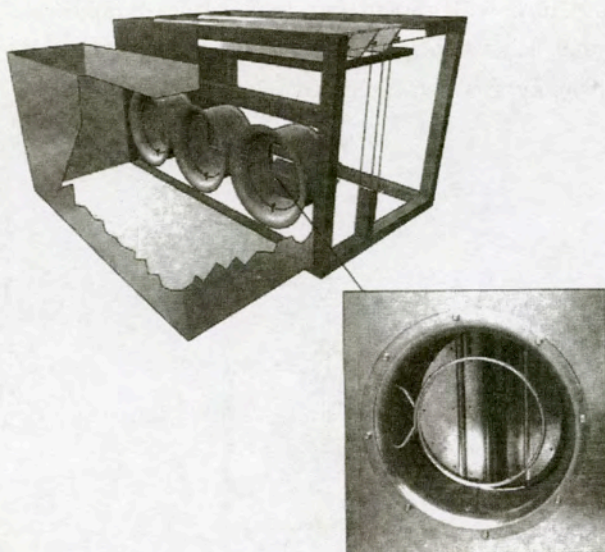
Η εργαζόμενη μάζα, τόσο στην ψύξη όσο και στον κλιματισμό, είναι ο αέρας. Είτε πρόκειται για κλιματισμό κτιρίου, είτε για βιομηχανικό κλιματισμό, είτε για ψυκτικό θάλαμο, η μάζα που τελικά θα κάνει τη δουλειά είναι ο αέρας. Ο αέρας κινείται είτε με τη φυσική κυκλοφορία είτε με τη βεβιασμένη που είναι και η πλέον συνήθης περίπτωση. Η ροή του αέρα, στη βεβιασμένη κυκλοφορία ρυθμίζεται μέσω των διαφόρων ειδών τάμπερ που υπάρχουν στο εμπόριο. Τα τάμπερ κατατάσσονται στις εξής δύο βασικές κατηγορίες:

- Με πτερύγια που κινούνται παράλληλα, τα οποία φαίνονται στο σχήμα (6.16A).
- Με πτερύγια που κινούνται αντίστροφα όπως φαίνεται στο σχήμα (6.16B).



Σχήμα 6.16 Τα κυριότερα είδη των τάμπερ (Α) με πτερύγια που κινούνται παράλληλα μεταξύ τους (Β) με πτερύγια που κινούνται αντίστροφα.

Εκτός από τους παραπάνω δύο τύπους, υπάρχουν και άλλων ειδών τάμπερ που χρησιμοποιούνται σε άλλες περιπτώσεις, όπως τα τάμπερ του σχήματος (6.17), τα οποία μετρούν με αρκετά καλή ακρίβεια την παροχή του αέρα.



Σχήμα 6.17 Άλλος τύπος τάμπερ που προορίζεται για ακριβή μέτρηση της παροχής του αέρα

6.19 Τα είδη των θανών

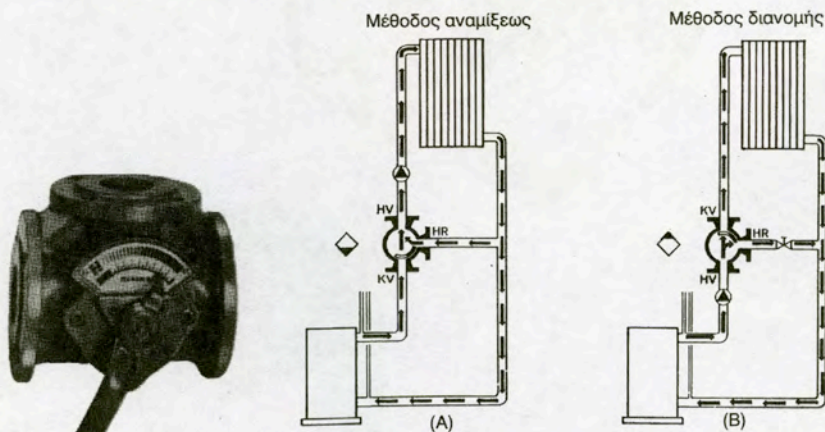
Οι βάνες ρυθμίζουν τη ροή του ρευστού, το οποίο, σε τελευταία ανάλυση, σκοπό έχει να μεταφέρει τη θέρμανση ή την ψύξη στον αέρα. Δεν θα πρέπει ποτέ να δημιουργηθεί η εντύπωση ότι αυτό το ρευστό είναι η εργαζόμενη μάζα, απλά είναι το ενδιάμεσο στάδιο στην παραγωγή της ψύξης ή της θέρμανσης.



Σχήμα 6.18 Δίοδος βάνα

Οι βάνες που χρησιμοποιούνται είναι κυρίως τριών ειδών:

(α) Οι δίοδες, που φαίνονται στο σχήμα (6.18). Αυτές ρυθμίζουν τη ποσότητα της ροής του ρευστού, μεταβάλλοντας την αντίσταση που παρουσιάζουν. Η θερμοστατική εκτονωτική βαλβίδα και οι ηλεκτροβάνες των ψυκτικών κυκλωμάτων είναι μηχανισμοί που κινούν τις ενσωματωμένες σ' αυτούς δίοδες βάνες.

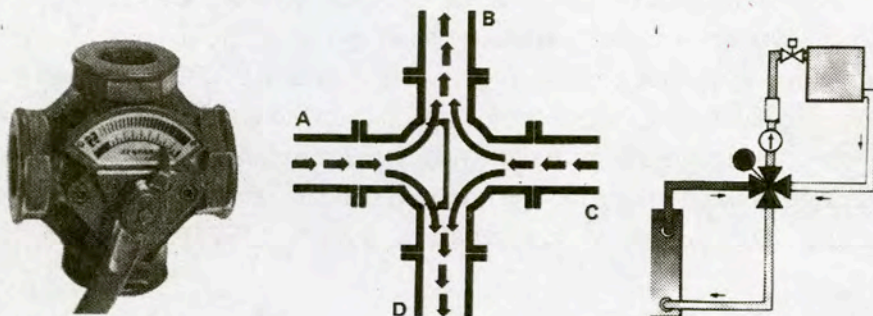


Σχήμα 6.19 Τριόδες βάνες και η λειτουργία τους (A) Μεταβολή θερμοκρασίας, (B) Μεταβολή παροχής

(β) Οι τριόδες βάνες, σχήμα (6.19), οι οποίες μπορεί να ενεργούν κατά δύο τρόπους:

- Χωρίς δεν μεταβάλλουν ουσιαστικά την ποσότητα την ροής, αλλά ρυθμίζουν τη θερμοκρασία του ρευστού, όπως στο σχήμα (6.19A) με ανάμιξη του ρεύματος προσαγωγής με το ρεύμα της επιστροφής.
- Μεταβάλλοντας την παροχή νερού, όπως φαίνεται στο σχήμα (6.19B), κάτι μπορεί εξίσου καλά να επιτυγχάνεται και με τη δίοδη βάνα

Το πρόβλημα των τριόδων βανών είναι ότι όταν χρησιμοποιούνται σε σύστημα το οποίο έχει ανεξάρτητες αντλίες σε κάθε κλάδο (χωρίς δηλαδή να υπάρχει μία κεντρική αντλία), υπάρχει κίνδυνος αντιστροφής της ροής στη σωλήνα επιστροφής.



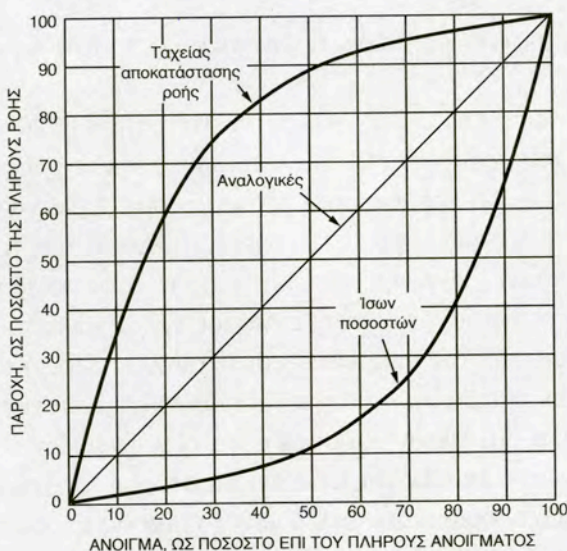
Σχήμα 6.20 Οι τετράοδες βάνες και η λειτουργία τους

(γ) Οι τετράοδες βάνες, που φαίνονται στο σχήμα (6.20), λειτουργούν μόνο με τον πρώτο τρόπο που λειτουργούν οι τριόδες βάνες, δηλαδή ρυθμίζουν τη θερμοκρασία του ρευστού, χωρίς να μεταβάλλουν σημαντικά την παροχή του. Πλεονεκτούν έναντι των τριόδων στο ότι δεν υπάρχει κίνδυνος αντίθετης ροής στον κλάδο επιστροφής στον ψύκτη νερού, όταν ο κάθε κλάδος έχει τη δική του αντλία. Επίσης, ακόμη και όταν υπάρχει κεντρική αντλία πλεονεκτούν των τριόδων βανών επειδή δεν υπάρχει τρόπος να επηρεάσει το ένα κύκλωμα το άλλο. Τα πλεονεκτήματα αυτά δεν είναι πάντοτε σημαντικά για τη σωστή λειτουργία μίας εγκατάστασης, οπότε οι τετράοδες βάνες χρησιμοποιούνται πολύ λιγότερο από τις τριόδες.

6.20 Η λειτουργική συμπεριφορά των βανών και των τάμπερ

Μέχρι τώρα έχει αναπτυχθεί η συμπεριφορά των ελεγκτών και είναι φανερόι οι λόγοι για τους οποίους είναι αναγκαίο αυτοί να χρειάζονται ρυθμίζονται σωστά για να αποδώσουν. Η ανάγκη όμως ρύθμισης δεν περιορίζεται μόνο στους ελεγκτές. Υπάρχει μία ακόμη εξ ίσου σημαντική παράμετρος που είναι ο τρόπος που επηρεάζουν τη ροή οι βάνες και τα τάμπερ. Συγκεκριμένα, αυτοί οι μηχανισμοί κινούνται από τους ενεργοποιητές, οι οποίοι με τη σειρά τους κινούνται βάσει των εντολών που δέχονται από τους ελεγκτές, αλλά ο τρόπος που μεταβάλλεται η ροή **δεν** είναι ανάλογος της κίνησης που εκτελούν.

Οι βάνες και τα τάμπερ, όπως βλέπουμε στο σχήμα (6.21) λειτουργούν βάσει μίας καμπύλης, που στον οριζόντιο άξονα είναι η μετακίνηση τους (% του ολικού ανοίγματος) και στον άλλο η μεταβολή της παροχής (% επί της τελικής παροχής) και η οποία ονομάζεται **χαρακτηριστική λειτουργίας**. Βασικά οι βάνες και τα τάμπερ ανήκουν σε μία από αυτές τις τρεις τυπικές χαρακτηριστικές καμπύλες που φαίνονται στο σχήμα (6.21). Όταν π.χ. δούμε το τεχνικό φυλλάδιο μίας βάνας που προορίζεται για κάποιο σύστημα αυτοματισμού, είναι σίγουρο ότι θα μας προσδιορίζει σε ποια τυπική περίπτωση καμπύλης ανήκει ή ότι θα μας δίνει το διάγραμμα με τις χαρακτηριστικές της καμπύλες. Οι τρεις τυπικές περιπτώσεις του σχήματος (6.21) είναι οι εξής:



Σχήμα 6.21 Οι βασικές μορφές των χαρακτηριστικών καμπυλών των βανών και των τάμπερ

- **Ταχείας αποκατάστασης της ροής:** Όπως βλέπουμε στο σχήμα (6.21), με το που θα έχει φθάσει η διαδρομή στο 50%, η παροχή θα έχει φθάσει στο 90% της τελικής τιμής της. Οι βάνες αυτές είναι ιδανικές για τα συστήματα ON-OFF.
- **Αναλογικές:** Σ' αυτές ένα άνοιγμα 30%, μεταβάλλει 30% την παροχή, ένα άνοιγμα 60%, μεταβάλλει 60% την παροχή κ.ο.κ.
- **Ίσων ποσοστών:** Οι βάνες αυτές είναι οι **πλέον χρήσιμες** στα συστήματα αυτοματισμού. Βάνες ίσων ποσοστών ονομάζονται οι βάνες στις οποίες για κάθε ίσο ποσοστό ανοίγματος της βάνας, προκαλεί αύξηση της παροχής, επίσης κατά ίσο ποσοστό **επί της προηγούμενης τιμής της**. Η χαρακτηριστική καμπύλη λαμβάνει τη μορφή της καμπύλης (3) του σχήματος (6.21). Προσέξτε όμως ότι η καμπύλη που φαίνεται στο σχήμα (6.21), είναι η ιδανική μορφή μίας χαρακτηριστικής καμπύλης λειτουργίας. Η καμπύλη αυτή **δεν** είναι ακριβώς η ίδια σε όλους τους κατασκευαστές βανών.

Επειδή ο παραπάνω ορισμός της καμπύλης των ίσων ποσοστών είναι δύσκολος και δεν υπάρχει τρόπος για να δοθεί απλούστερα, θα εξηγήσουμε τη λειτουργία αυτή με το παρακάτω παράδειγμα.

π.χ. ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ

Η βάνα ίσων ποσοστών, της οποίας τη χαρακτηριστική λειτουργίας τη βλέπουμε στο σχήμα (6.21), όταν είναι ανοικτή κατά 50% διαρρέεται από το 10% της παροχής της και όταν είναι ανοικτή κατά 65% διαρρέεται από το 20% της παροχής της. Όταν ανοίξει κατά το 80%, να επαληθευτεί ότι το ποσοστό της παροχής που θα τη διαρρέει θα είναι 40% και όταν ανοίξει 95% θα είναι 80% όπως προκύπτει από το σχήμα. Επίσης όταν κλείσει από το 50% στο 35% να επαληθευτεί ότι η παροχή που θα την διαρρέει θα είναι το 5%.

Απάντηση:

Κάθε αύξηση του ανοίγματος της βάνας κατά 15% (δηλαδή 65%-50%), προκαλεί αύξηση 100% επί της προηγούμενης τιμής της παροχής, δηλαδή διπλασιάζει την προηγούμενη παροχή ($20\%/10\%=2$). Οπότε όταν το άνοιγμα της βάνας αυξηθεί από το 65% στο 80%, η παροχή της θα πρέπει να αυξηθεί κατά 100% επί της προηγούμενης τιμής που είχε (εκ νέου διπλασιασμός της παροχής). Οπότε έχουμε $20\% \times 2 = 40\%$, όπως ακριβώς φαίνε-

ται και στο σχήμα (6.21). Όταν στη συνέχεια αυξηθεί το άνοιγμα κατά επιπλέον 15% και από 80% φθάσει στο 95%, τότε η παροχή θα διπλασιαστεί πάλι και από 40% θα γίνει 80%. Όταν η βάνα είναι στη θέση 50% και την κλείσουμε κατά 15%, δηλαδή περιορίσουμε το άνοιγμα στο $50-15=35\%$, τότε η παροχή θα πρέπει να περιοριστεί στο μισό, δηλαδή να γίνει $10\%/2=5\%$.

ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΗ

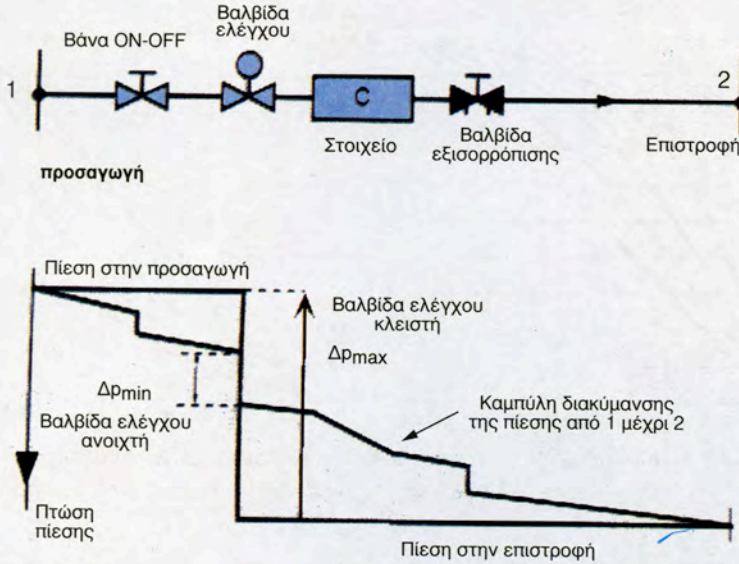
Αν αποπειραθείτε να κάνετε τον ίδιο υπολογισμό χρησιμοποιώντας τις καμπύλες κάποιου κατασκευαστή, θα βρείτε κάποιες αποκλίσεις (δεν θα ισχύουν τα παραπάνω με την ίδια μαθηματική ακρίβεια). Ο λόγος είναι ότι πολύ δύσκολα, μία πραγματική βάνα μπορεί να ακολουθήσει επακριβώς την ιδανική μορφή της χαρακτηριστικής καμπύλης των ίσων ποσοστών που δίνεται στο σχήμα (6.21).

Οι καμπύλες του σχήματος (6.21), ισχύουν όταν δεν υπάρχει άλλη αντίσταση στο δίκτυο εκτός από την αντίσταση των βανών ή των τάμπερ. Στην πράξη αυτό δεν συμβαίνει και έχει ως αποτέλεσμα την παραμόρφωση των καμπυλών. Η παραμόρφωση εξαρτάται από το ποσοστό που αντιπροσωπεύει η πτώση πίεσης μέσα στη βάνα, **όταν αυτή είναι τελείως ανοικτή**, σε σχέση με την πτώση πίεσης όταν αυτή είναι **τελείως κλειστή**. Στο σχήμα (6.22), βλέπουμε παραστατικά τη μεταβολή αυτή και τις αντίστοιχες πτώσεις πίεσης. Ο συντελεστής **παραμόρφωσης** β δίνεται από τη σχέση:

$$\beta = \Delta p_{\min} / \Delta p_{\max} \quad (6.9)$$

Όπου: Δp_{\min} = Η πτώση πίεσης του ρευστού μέσα στην τελείως ανοικτή βάνα

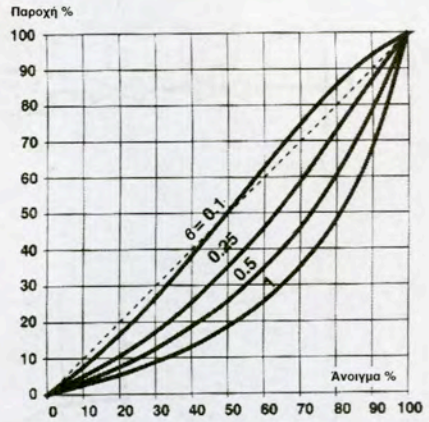
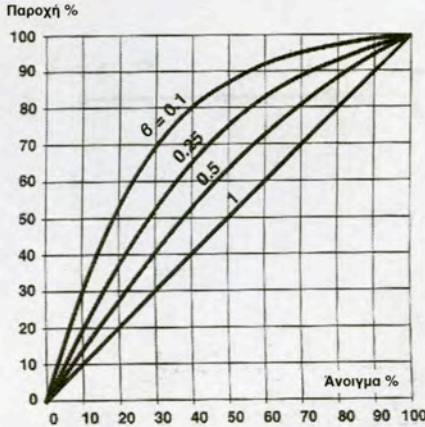
Δp_{\max} = Η πτώση πίεσης στα άκρα της βάνας όταν αυτή είναι τελείως κλειστή. Σε ένα δίκτυο με αρκετές βάνες (που είναι η συνήθης περίπτωση), η Δp_{\max} είναι σχεδόν ίση με την Δp_{1-2} που παρουσιάζεται μεταξύ των σημείων 1 και 2.



Σχήμα 6.22 Ο καθορισμός του συντελεστή παραμόρφωσης ενός δικτύου

Η τιμή του συντελεστή β είναι αυτή που μας προσδιορίζει τη τελική μορφή που θα έχουν οι καμπύλες των βανών. Η μορφή των καμπυλών για τις αναλογικές βάνες και τις βάνες ίσων ποσοστών δίνεται στο σχήμα (6.23)⁵. Αξίζει να προσέξουμε ότι για $\beta \approx 0,1$ (κάτι που είναι εφικτό και σύνηθες στην πράξη), μία βάνα ίσων ποσοστών **αποκτά σχεδόν αναλογική λειτουργία**. Επίσης από την τιμή $\beta = 0,25$ έχει αρχίσει να προσεγγίζει ικανοποιητικά την αναλογική λειτουργία. Για τον λόγο αυτό η βάνα ίσων ποσοστών έχει πολύ μεγάλη σημασία στα συστήματα αυτοματισμού, όπου το ζητούμενο είναι η κατά το δυνατόν αναλογική λειτουργία της βάνας.

⁵ Το σχήμα (6.20) προέρχεται από κατασκευαστή βανών και αφορά συγκεκριμένους, πραγματικούς τύπους καμπυλών που αφορούν συγκεκριμένες βάνες του εμπορίου. Μπορείτε να συγκρίνετε την καμπύλη ίσων ποσοστών όταν $\beta=1$ με την καμπύλη ίσων ποσοστών του σχήματος (6.21) για να διαπιστώσετε τις διαφορές που μπορεί να υπάρχουν μεταξύ της θεωρίας και της πράξης. Θα πρέπει πάντως να σημειωθεί ότι στη συγκεκριμένη περίπτωση, η προσέγγιση στην ιδανική χαρακτηριστική καμπύλη ίσων ποσοστών είναι πάρα πολύ καλή.

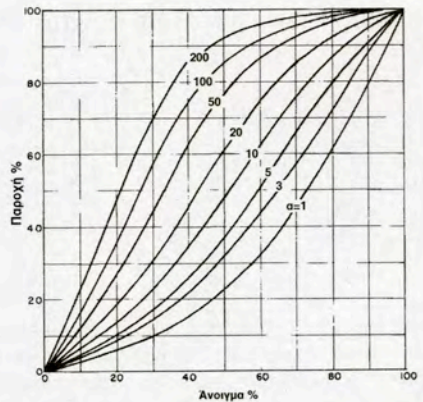
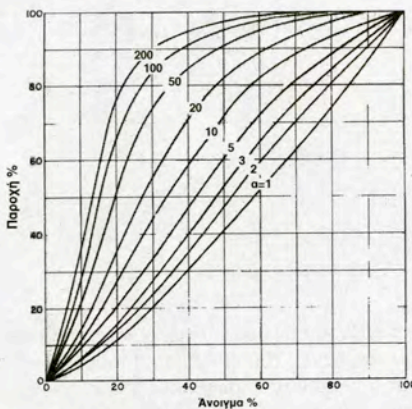


Σχήμα 6.23 Η παραμόρφωση των καμπυλών των βανών συναρτήσεσι του συντελεστή β : (A) με αναλογική λειτουργία, (B) με λειτουργία ίσων ποσοστών

Ανάλογες καμπύλες ισχύουν και για τα τάμπερ. Η συμπεριφορά των τάμπερ με παράλληλα πτερύγια μοιάζει πολύ με τη συμπεριφορά της αναλογικής βάνας και των τάμπερ με πτερύγια που κινούνται αντίστροφα, μοιάζει με της βάνας των ίσων ποσοστών. Η διαφορά είναι ότι στις καμπύλες των τάμπερ, χρησιμοποιείται ένας άλλος συντελεστής, που είναι ο αντίστροφος του β και συμβολίζεται ως α . Δηλαδή ισχύει:

$$\alpha = \Delta p_{\max} / \Delta p_{\min} \quad (6.10)$$

Αντίστοιχα με το ότι ισχύει για τις βάνες, ένα τάμπερ με αντίστροφη κίνηση των πτερυγίων, με συντελεστή $\alpha \approx 10$ αποκτά σχεδόν αναλογική λειτουργία, όπως βλέπουμε στο σχήμα (6.24).



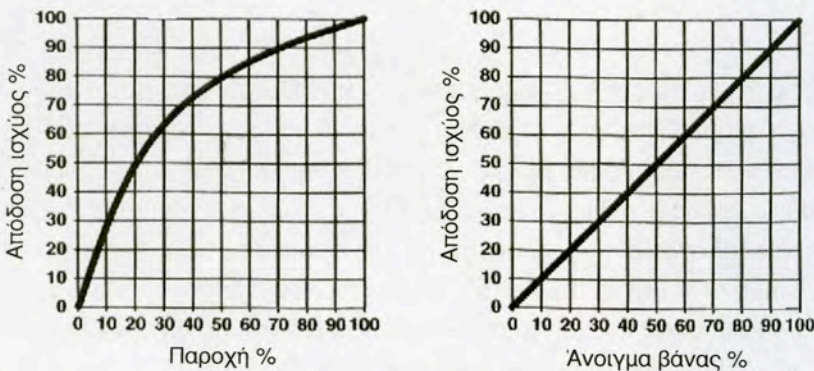
Σχήμα 6.24 Η παραμόρφωση των καμπυλών των τάμπερ συναρτήσεσι του συντελεστή β : (A) με πτερύγια παράλληλης λειτουργίας, (B) με αντίστροφης λειτουργίας

6.21 Η επιλογή της κατάλληλης βάνας ή τάμπερ

Για να ολοκληρωθεί η εικόνα των συστημάτων αυτοματισμού, θα πρέπει να αναπτύξουμε τη συμπεριφορά των βανών και των τάμπερ καθώς και τον τρόπο με τον οποίο συνεργάζονται με τους ενεργοποιητές και τους ελεγκτές.

Για να γίνει κατανοητός ο σκοπός της ανάπτυξης που θα κάνουμε στη συνέχεια, ας δεχτούμε ότι έχουμε μία βάνα που ρυθμίζει την παροχή του νερού σε ένα ψυκτικό στοιχείο. Το ψυκτικό στοιχείο έστω ότι έχει τη χαρακτηριστική καμπύλη του σχήματος (6.25^A), δηλαδή με το 100% της παροχής έχει το 100% της ψυκτικής απόδοσης του, με το 50% της παροχής νερού έχει το 80% της ψυκτικής απόδοσης του κλπ. Αυτό όμως που μας ενδιαφέρει δεν είναι η ποσοστιαία αύξηση ή μείωση της παροχής νερού μέσω της βάνας, αλλά η απόδοση του συστήματος σε ψύξη.

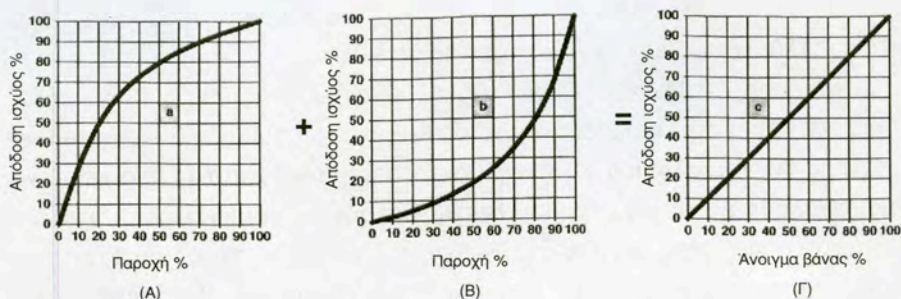
Οι ενεργοποιητές, όπως αναφέρθηκε, δέχονται ένα σήμα από τους ελεγκτές και βάσει αυτού, κινούν τη βάνα. Και για να έχουμε ικανοποιητικό έλεγχο με έναν **αναλογικό ελεγκτή**, θα πρέπει η **απόδοση του στοιχείου να είναι ανάλογη με το σήμα του ελεγκτή**, δηλαδή να είναι κατά το δυνατόν γραμμική, όπως φαίνεται στο σχήμα (6.25^B). Ας δούμε πως μπορεί αυτό να πραγματοποιηθεί, δηλαδή με ποιο τρόπο μπορούμε από την καμπύλη (A) του σχήματος (6.25) να καταλήξουμε στην καμπύλη (B).



Σχήμα 6.25 Οι χαρακτηριστικές λειτουργίας: (A) η πραγματική σχέση απόδοσης του ψυκτικού στοιχείου - παροχής νερού, (B) η επιθυμητή χαρακτηριστική σήματος ελεγκτού - ψυκτικής απόδοσης.

Έστω ότι ο ελεγκτής στέλνει ένα σήμα ότι η απόδοση του στοιχείου θα πρέπει να είναι στο 50% της μέγιστης απόδοσης. Το σήμα αυτό είναι φυσικά είναι σε Volt. Ο ενεργοποιητής, βάσει αυτού του σήματος παίρνει θέση

στο 50% της διαδρομής του και ανοίγει τη βάνα κατά 50%. Από το σχήμα (6.25^A) βλέπουμε ότι η απόδοση του στοιχείου, για να είναι στο 50%, θα πρέπει να διαρρέεται το στοιχείο από το 20% της παροχής νερού. Δηλαδή θα πρέπει όταν η βάνα ανοίξει κατά 50%, να αφήσει να διέλθει μέσω αυτής μόνο το 20% (περίπου) της ονομαστικής παροχής της. Κατά τον τρόπο αυτό και βρίσκοντας μερικά σημεία, έστω ότι χαράξαμε την κατάλληλη χαρακτηριστική καμπύλη που θα πρέπει να έχει η βάνα μας. Η καμπύλη αυτή φαίνεται στο σχήμα (6.26^B). Το ψυκτικό στοιχείο της κλιματιστικής μονάδας λειτουργεί βάσει της χαρακτηριστικής καμπύλης του σχήματος (6.25^A), που τη βλέπουμε να επαναλαμβάνεται και στο σχήμα (6.26^A).



Σχήμα 6.26 Πώς λαμβάνεται η επιθυμητή χαρακτηριστική (Γ), όταν το στοιχείο έχει τη χαρακτηριστική (Α). Προϋπόθεση είναι να βρούμε βάνα με τη χαρακτηριστική (Β)

Έστω ότι καταφέραμε και βρήκαμε μία βάνα με την επιθυμητή χαρακτηριστική καμπύλη που φαίνεται στο σχήμα (6.26^B). Το αποτέλεσμα είναι, προσθέτοντας τις δύο καμπύλες, να έχουμε τη καμπύλη (6.26^Γ), που είναι μία ευθεία, όπως ακριβώς τη θέλαμε να την έχουμε στο σχήμα (6.25^B).

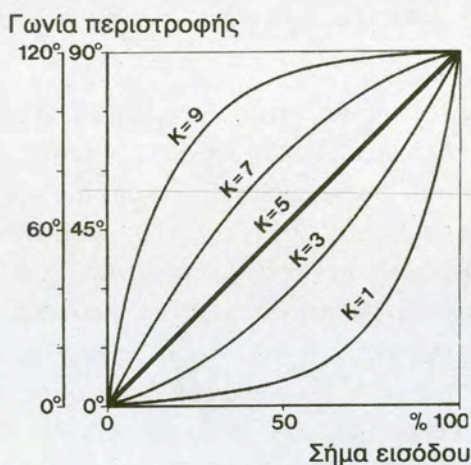
Κατά ανάλογο τρόπο επιλέγεται και ένα τάμπερ που θα συνεργαστεί με το σύστημα αυτοματισμού. Δηλαδή θα πρέπει ο συνδυασμός των χαρακτηριστικών καμπυλών του κινητήρα και του τάμπερ να μας δίνουν μία ευθεία.

Στην πράξη όμως τα πράγματα συνήθως δεν είναι τόσο ιδανικά και αντί για ευθεία, είμαστε απόλυτα ικανοποιημένοι αν επιλέγοντας κάποια βάνα ή κάποιο τάμπερ, το αποτέλεσμα είναι μία καμπύλη που να μην αποκλίνει πολύ από την ευθεία.

6.22 Η συνδυασμένη λειτουργία ελεγκτή+ενεργοποιητή+βάνα ή τάμπερ

Το πρόβλημα στην ανάπτυξη που έγινε στην προηγούμενη παράγραφο είναι που θα μπορούσαμε να βρούμε τη βάνα ή το τάμπερ που να έχει την επιθυμητή καμπύλη λειτουργίας. Στο σημείο αυτό μπορεί να βοηθήσουν και οι ενεργοποιητές, καθ' όσον, συνήθως, διαθέτουν και αυτοί χαρακτηριστικές καμπύλες.

Οι ενεργοποιητές μπορούν να ρυθμιστούν έτσι ώστε η μετακίνηση που θα προκαλούν να ακολουθεί μία μη γραμμική καμπύλη. Δηλαδή, στο παράδειγμα της προηγούμενης παραγράφου, υποθέσαμε ότι ένα σήμα που θα έδινε εντολή για τη ρύθμιση του φορτίου στο 50%, θα προκαλούσε αναλογική μετακίνηση του ενεργοποιητή και θα τον έκανε να ανοίξει τη βάνα κατά 50%. Είναι όμως δυνατόν να κάνουμε την κατάλληλη ρύθμιση στον ενεργοποιητή, έτσι ώστε, όταν πάρει την εντολή «φορτίο στο 50%» να ανοίξει τη βάνα κατά άλλο ποσοστό, π.χ. κατά 30% ή κατά 70%, ανάλογα με το τί επιδιώκουμε να επιτύχουμε.



Σχήμα 6.27 Οι χαρακτηριστικές καμπύλες του κινητήρα

π.χ. ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ

Δίδεται ότι η βάνα που θα συνεργαστεί με το στοιχείο το οποίο έχει τη συμπεριφορά που φαίνεται στο σχήμα (6.26^A) έχει χαρακτηριστική καμπύλη ίσων ποσοστών και ο συντελεστής παραμόρφωσης είναι $\beta = 0,1$ όπως φαίνεται στο σχήμα (6.23^B). Επίσης έστω ότι θα χρησιμοποιήσουμε τον κινη-

τήρα με τις χαρακτηριστικές καμπύλες λειτουργίας που φαίνονται σχήματος (6.27)⁶. Με ένα ρυθμιστή (ποτενσιόμετρο), που βρίσκεται εσωτερικά του κινητήρα και ο οποίος είναι διαβαθμισμένος με αριθμούς από το 1 μέχρι το 9, διαλέγουμε την κατάλληλη καμπύλη. Να βρεθεί η θέση που θα βάλουμε το ποτενσιόμετρο του κινητήρα.

Απάντηση:

Η καμπύλη του κινητήρα, προστιθέμενη στην καμπύλη της βάνας, μας δίνει την τελική καμπύλη του συστήματος [ενεργοποιητής]+[βάνα]. Από το σχήμα (6.23B), διαπιστώνουμε ότι η καμπύλη ίσων ποσοστών με $\beta=0,1$ έχει σχεδόν αναλογική συμπεριφορά. Εμείς χρειαζόμαστε να έχουμε καμπύλη όπως στο σχήμα (6.26B), οπότε θα πρέπει την αναλογική αυτή συμπεριφορά της βάνας να την παραμορφώσουμε. Συγκρίνοντας τα σχήματα (6.26B) και (6.27) διαπιστώνουμε ότι η πλησιέστερη θέση στην επιθυμητή καμπύλη βρίσκεται κάπου μεταξύ των $K=1$ και $K=3$. Άρα θα πρέπει να θέσουμε το ποτενσιόμετρο στη θέση 2.

6.23 Το σύστημα αυτοματισμού και η εξισορρόπηση του δικτύου

Στις σοβαρές περιπτώσεις αυτοματισμού προδιαγράφεται το σύστημα σε επίπεδο μελέτης, αλλά μόνο σε ότι αφορά τις γενικές αρχές λειτουργίας του και το τί περίπου θα περιλαμβάνει. Ενδεχομένως, αν η εταιρεία που θα προμηθεύσει τους αυτοματισμούς έχει γνωστοποιηθεί στο μελετητή (πράγμα που συνήθως δεν συμβαίνει), μπορούν να γίνουν από τον μελετητή και κάποιες αρχικές επιλογές για τις θέσεις που θα ρυθμιστούν οι ενεργοποιητές του συστήματος.

Όμως στα συστήματα ελέγχου ενός δικτύου, εκτός από τον **αυτοματισμό** έχουμε και μία ακόμη παράμετρο που ονομάζεται **εξισορρόπηση**. Συνοπτικά αναφέρουμε ότι η εξισορρόπηση είναι **μία σταθερή ρύθμιση** κάποιων ειδικών βανών ή τάμπερ, που γίνεται μόνο μία φορά, κατά τη φάση της κατασκευής του δικτύου⁷. Η εξισορρόπηση σκοπό έχει, ο κάθε κλάδος του δικτύου, να διαρρέεται από μία συγκεκριμένη παροχή, όση είναι και η μέγιστη παροχή που επιτρέπεται να έχει, βάσει της μελέτης. Η εξισορρόπηση αποτελεί μία σταθερή κατάσταση που δεν επιδέχεται καμία αλλαγή της θέ-

⁶ Πρόκειται για χαρακτηριστικές καμπύλες πραγματικού κινητήρα του εμπορίου.

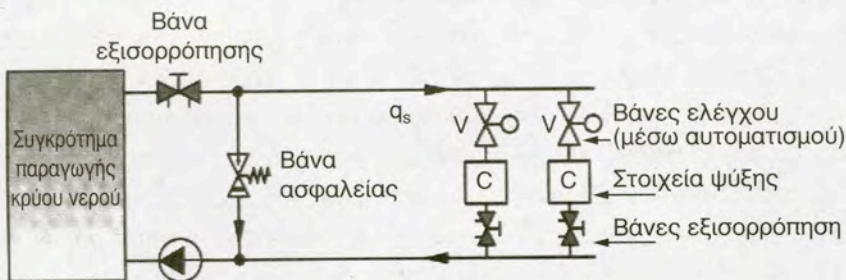
⁷ Η εξισορρόπηση είναι δυνατή και με άλλη τεχνική, η ανάπτυξη της οποίας δεν έχει νόημα για το σκοπό του παρόντος βιβλίου.

σης των ρυθμιστικών βανών ή των τάμπερ που χρησιμοποιούνται γι' αυτή την εργασία. Αντίθετα ο αυτοματισμός είναι μία δυναμική κατάσταση που συνεχώς μεταβάλλει τις θέσεις των βανών που ελέγχει.

Η τεχνική της εξισορρόπησης δεν αποτελεί αντικείμενο του παρόντος μαθήματος (μας αρκεί να ξέρουμε τί είναι). Συνήθως, άλλες είναι οι βάνες (ή τα τάμπερ) που προορίζονται για την εξισορρόπηση και άλλες που προορίζονται για να συνεργαστούν με το σύστημα αυτοματισμού⁸. Στο σχήμα (6.28), βλέπουμε τις βάνες ελέγχου και τις βάνες εξισορρόπησης. Επίσης βλέπουμε και μία βάνα ασφαλείας η οποία ανοίγει όταν συμβεί να κλείσουν όλες οι βάνες ελέγχου (για να μην αναπτύσσονται μεγάλες πιέσεις). Η βάνα ασφαλείας είναι ρυθμισμένη να ανοίγει σε μία συγκεκριμένη πίεση. Αυτό που θα πρέπει να γνωρίζουμε είναι ότι:

Ένα σύστημα αυτοματισμού μπορεί να μη λειτουργεί σωστά, αν δεν έχει προηγηθεί η εξισορρόπηση του δικτύου.

Το πώς θα γίνει η εξισορρόπηση δεν είναι εργασία του τεχνίτη ψυκτικού (η υλοποίηση μίας μελέτης εξισορρόπησης, περισσότερο έχει σχέση με τους υδραυλικούς). Αν όμως ο αυτοματισμός του δικτύου δεν λειτουργεί σωστά, αυτό που θα πρέπει να γνωρίζει ο ψυκτικός είναι να ρωτήσει αν στο δίκτυο έχει γίνει εξισορρόπηση. Και αυτό ισχύει, είτε πρόκειται για δίκτυο σωληνώσεων είτε για δίκτυο αεραγωγών. Μία πλήρης μελέτη θα πρέπει να καθορίζει τόσο τα βήματα της **εξισορρόπησης** όσο και του ελέγχου και της ρύθμισης του συστήματος **αυτοματισμού** του δικτύου, επειδή **το ένα επηρεάζει το άλλο**.



Σχήμα 6.28 Η εξισορρόπηση και το σύστημα αυτοματισμού

⁸ Οι βάνες και τα τάμπερ ελέγχου, κάτω από ορισμένες προϋποθέσεις, με την κατάλληλη επιλογή τους, μπορούν να συμμετέχουν στη σωστή εξισορρόπηση του δικτύου.

Σύστημα με μόνη την εξισορρόπηση, χωρίς ηλεκτρονικό σύστημα αυτοματισμού μπορεί να υπάρχει και να λειτουργεί θαυμάσια. Το αντίθετο όμως δύσκολα μπορεί να συμβαίνει. Όπου εφαρμόζεται σύστημα αυτοματισμού, αυτό είναι επιπλέον της εξισορρόπησης και σκοπό έχει τη περαιτέρω μείωση της παροχής του ρευστού που προέκυψε μετά την εξισορρόπηση (η παροχή του ρευστού μετά την εξισορρόπηση είναι και η μέγιστη δυνατή τιμή της παροχής).

Η ρύθμιση του συστήματος αυτοματισμού και ελέγχου της εγκατάστασης εκτελείται **μετά** την εξισορρόπηση του δικτύου. Κατά τη φάση της ρύθμισης των βανών που χρησιμοποιούνται για την εξισορρόπηση, οι βάνες ελέγχου του σχήματος (6.28) θα πρέπει να είναι τελείως **ανοιχτές** και η βαλβίδα ασφαλείας τελείως **κλειστή**.

6.24 Η ρύθμιση των ελεγκτών

Από όσα αναπτύχθηκαν στις προηγούμενες παραγράφους γίνεται αντιληπτό ότι η λειτουργία ενός ηλεκτρονικού συστήματος αυτοματισμού, κλειστού βρόχου, δεν είναι κάτι το πολύ απλό, όπως ίσως να υπήρχε η εντύπωση ότι είναι. Μόνο στα πολύ απλά συστήματα, όπως είναι οι θερμοστάτες των διαμερισμάτων και κάποιοι άλλοι αυτοματισμοί χωρίς ιδιαίτερες απαιτήσεις, μπορούν να λειτουργήσουν αξιόπιστα, χωρίς να τους γίνει καμία ρύθμιση. Όταν όμως έχουμε να κάνουμε με μία σοβαρή εγκατάσταση κεντρικού κλιματισμού ή με μία μεγάλη ψυκτική εγκατάσταση, τα πράγματα κάθε άλλο παρά απλά είναι.

Στην πράξη, αφού γίνουν οι ρυθμίσεις των ενεργοποιητών, που βασίζονται σε θεωρητικούς κυρίως υπολογισμούς (κατά τον τρόπο που αναπτύξαμε), θα πρέπει να γίνει και η ρύθμιση του ελεγκτή. Αυτή η ρύθμιση βασικά περιλαμβάνει τον καθορισμό των παραμέτρων P_B , T_i και T_d τους οποίους αναφέραμε στην παράγραφο (6.13). Για τον καθορισμό αυτών των παραμέτρων ακολουθούμε διάφορες διαδικασίες, οι οποίες είναι πειραματικές και εκτελούνται επί τόπου, είτε βάσει των οδηγιών του κατασκευαστή, είτε βάσει τυποποιημένων μεθόδων που αναφέρονται στη σχετική βιβλιογραφία των αυτοματισμών.

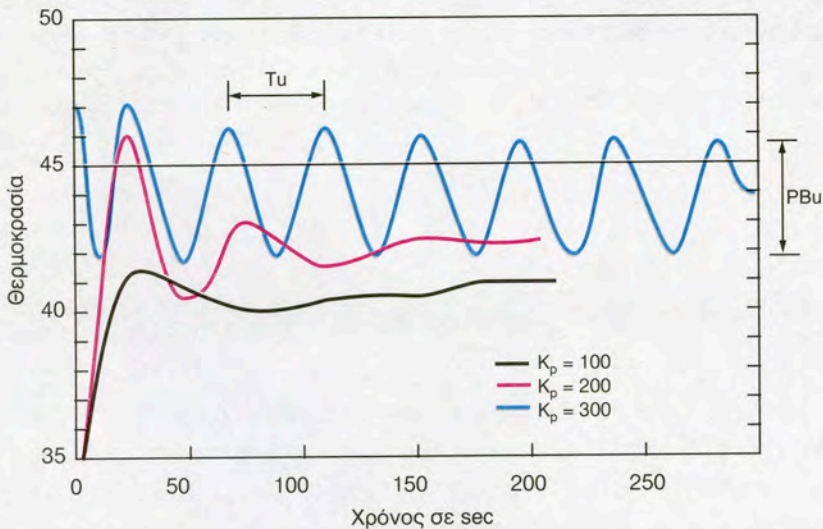
Ένα από τα κριτήρια για να καταλάβουμε αν έγινε η σωστή ρύθμιση του ελεγκτή είναι οι ενεργοποιητές **να μην μεταβαίνουν από τη μία ακραία θέση στην άλλη**, σε κάθε αλλαγή της εντολής. Αν συμβεί αυτό, λειτουργούν πλέον σαν να ήταν βαλβίδες ON-OFF. Πρέπει σε ένα σωστά ρυθμισμένο σύστημα, οι ενεργοποιητές να παίρνουν την κατάλληλη ενδιάμεση θέση. Φυσικά αυτό δεν

είναι και το μοναδικό κριτήριο για να βγάλουμε το συμπέρασμα ότι ο αυτοματισμός είναι εντάξει. Θα πρέπει να δούμε και το δίκτυο σε λειτουργία.

Η περαιτέρω ανάπτυξη των μεθόδων προγραμματισμού των ελεγκτών, ξεφεύγει από τους στόχους μας και είναι εργασία τεχνικού εξειδικευμένου στους αυτοματισμούς.

6.25 Παράδειγμα ρύθμισης ενός ελεγκτή⁹

Η ρύθμιση των ελεγκτών, όπως είπαμε, δεν αποτελεί αντικείμενο ενός ψυκτικού, αλλά η όλη ανάπτυξη που έγινε μέχρι τώρα, είναι πιθανόν να δημιουργήσει κάποιο προβληματισμό στους μαθητές και ίσως και την εντύπωση ότι η σωστή ρύθμιση είναι κάτι το ακατόρθωτο. Τα πράγματα όμως δεν είναι έτσι και η ρύθμιση, αν και απαιτεί κάποια προσπάθεια, είναι μία σχετικά εύκολη διαδικασία. Για να γίνει αυτό αντιληπτό, παραθέτουμε μία από τις πλέον γνωστές μεθόδους ρύθμισης, την μέθοδο Ziegler-Nichols. Ο στόχος μας δεν είναι να μάθουν οι μαθητές να εργάζονται με αυτή τη μέθοδο (όπως είπαμε είναι δουλειά ενός τεχνικού που έχει εξειδικευτεί στους αυτοματισμούς), αλλά να αντιληφθούν ότι τελικά, στην πράξη, η σωστή ρύθμιση ενός ελεγκτή δεν είναι τόσο δύσκολη όπως εκ πρώτης όψεως φαίνεται.



Σχήμα 6.29 Παράδειγμα πρακτικού τρόπου ρύθμισης ενός ηλεκτρονικού ελεγκτή

⁹ Το κεφάλαιο αυτό, αν και συμπεριλαμβάνεται στο αναλυτικό πρόγραμμα της διδακτέας ύλης, προτείνεται να παραληφθεί. Αν τελικά αναπτυχθεί στους μαθητές (κατά την κρίση του διδάσκοντος), προτείνεται να γίνει υπό μορφή διάλεξης, απλά και μόνο για να έχουν οι μαθητές μία γενική γνώση σχετικά τις μεθόδους οι οποίες χρησιμοποιούνται για να γίνουν οι ρυθμίσεις των ελεγκτών.

Εστω ότι θέλουμε να ελέγξουμε μία παράμετρο (π.χ. τη θερμοκρασία του νερού που εισέρχεται στο στοιχείο μίας κλιματιστικής μονάδας). Τότε θα ακολουθήσουμε τα εξής βήματα:

- Μηδενίζουμε όλες τις ρυθμίσεις του ελεγκτή και θέτουμε με τον ελεγκτή στη manual λειτουργία.
- Ρυθμίζουμε την έξοδο του ελεγκτή στο μέσον περίπου της περιοχής που μπορεί να ελέγχει, που έστω ότι είναι η ευθεία των 45°C του σχήματος (6.29).
- Γυρίζουμε το σύστημα στην αυτόματη λειτουργία.
- Αυξάνουμε σταδιακά μόνο τον συντελεστή αναλογικού κέρδους, δηλαδή τον K_p (ο οποίος είναι αντιστρόφως ανάλογος του PB). Στην αρχή θα έχουμε μία μορφή συμπεριφοράς όπως η καμπύλη (1) του σχήματος (6.29). Όσο αυξάνουμε το συντελεστή K_p , η καμπύλη θα πάρει σταδιακά τη μορφή της (2) και κάποια στιγμή θα καταλήξει σε μία μορφή όπως η (3), δηλαδή θα έχουμε μία συνεχή ταλάντωση.
- Υπολογίζουμε την τιμή της PB_u και της T_u , όπως φαίνεται στο σχήμα (6.29).
- Ορίζουμε τους συντελεστές ρύθμισης βάσει των εξής τύπων:
 - ⇒ Για ελεγκτή τύπου P: $PB = 1,8 \times PB_u$
 - ⇒ Για ελεγκτή τύπου PI: $PB = 2,22 \times Pb_u, T_i = 0,83 \times T_u$
 - ⇒ Για ελεγκτή τύπου PID: $PB = 1,67 \times Pb_u, T_i = 0,50 \times T_u, T_d = 0,125 \times T_u$

Όπως διαπιστώνετε η ρύθμιση του ελεγκτή δεν ήταν ιδιαίτερα δύσκολη υπόθεση βάσει της παραπάνω εμπειρικής μεθόδου. Παρόμοιες μέθοδοι υπάρχουν και άλλες. Αν τυχόν συμβεί μετά την παραπάνω διαδικασία ο ενεργοποιητής να μεταβαίνει από τη μία ακραία θέση στην άλλη (χωρίς να λαμβάνει ενδιάμεσες θέσεις), τότε αρχίζουμε από την αρχή, τοποθετώντας όμως την έξοδο του ελεγκτή σε άλλη θέση (αντί για τους 45°C).

6.26 Οι λογικοί ελεγκτές (fuzzy logic controllers)

Στις προηγούμενες παραγράφους, αναπτύχθηκαν οι κλασικές μέθοδοι ελέγχου και ρύθμισης. Εναλλακτική λύση είναι τα συστήματα που βασίζονται σε μία σειρά ενεργειών, που είναι ανάλογες με τον τρόπο που σκέπτεται το ανθρώπινο μυαλό. Το σύστημα αυτό ελέγχου μπορεί, κατά κάποιο τρόπο, να ονομαστεί **λογικός έλεγχος** (ο αγγλικός όρος είναι fuzzy logic). Αντίστοιχα, οι ελεγκτές ονομάζονται **λογικοί ελεγκτές** (fuzzy logic controllers).

Για να καταλάβουμε πως περίπου ενεργεί ο λογικός έλεγχος, ας σκεφτούμε μία βρύση που τη θέλουμε να τρέχει με χλιαρό νερό. Τότε, δοκιμά-

ζουμε το νερό με τα χέρια μας και το φέρνουμε στις συνθήκες που το θέλουμε, ανοιγοκλείνοντας πότε τη μία βάνα και πότε την άλλη. Η σειρά των σκέψεων μας είναι περίπου ως εξής:

- Ανοίγουμε το κρύο και το ζεστό νερό μαζί και κάνουμε μία ΑΡΧΙΚΗ ανάμειξη.
- Το ελέγχουμε και ΑΝ είναι κρύο ΤΟΤΕ το ζεστό νερό το ΑΥΞΑΝΟΥΜΕ περισσότερο.
- ΑΝ μετά προκύψει νερό πιο ζεστό από αυτό που θεωρούμε ότι ΕΧΕΙ ΚΑΛΩΣ, ΤΟΤΕ κλείνουμε ΛΙΓΟ το ζεστό.

Με την παραπάνω σειρά των πράξεων μας, καθορίσαμε ένα σύστημα ελέγχου κλειστού βρόχου. Το ίδιο κάνει και ο λογικός ελεγκτής, προσπαθεί δηλαδή να μιμηθεί τον τρόπο που σκέφτεται το ανθρώπινο μυαλό, χρησιμοποιώντας συνδυασμούς του τύπου ΑΝ ...ΤΟΤΕ, δηλαδή την κλασική εντολή προγραμματισμού IF...THEN.

Υπάρχουν όμως πολλά πράγματα ακόμη να καθοριστούν, όπως το τί σημαίνει ΑΥΞΑΝΩ, ΜΕΙΩΝΩ, ΑΥΞΑΝΩ ΛΙΓΟ, ΜΕΙΩΝΩ ΛΙΓΟ, ΥΨΗΛΑ, ΧΑΜΗΛΑ, ΕΧΕΙ ΚΑΛΩΣ κλπ. Αυτές οι εντολές, που εισάγονται με προγραμματισμό στον ελεγκτή θα πρέπει να αντιστοιχούν σε κινήσεις που θα γίνονται σε κάποιες βάνες ή σε κάποια τάμπερ. Το μέγεθος του πολύ ή του λίγου καθώς και των άλλων εννοιών είναι στοιχεία που θα απασχολούν τους κατασκευαστές τέτοιων συστημάτων ελέγχου.

6.27 Ο ρόλος του τεχνίτη ψυκτικού στους αυτοματισμούς

Από τη παραπάνω ανάπτυξη που έγινε, είναι φανερό ότι ο σοβαρός αυτοματισμός είναι κάτι το σύνθετο και όχι κάτι το απλό. Πολλοί ψυκτικοί, που μεταξύ αυτών μπορεί να συγκαταλέγονται ακόμη και έμπειροι επαγγελματίες, φαντάζονται τον αυτοματισμό ως κάτι το “αυτόματο” ακόμη και σε επίπεδο ρύθμισης, ότι δηλαδή το τοποθετούμε και μετά δουλεύει σωστά από μόνο του, χωρίς καμία άλλη δική μας προσπάθεια.

Όμως όπως είδαμε, τα πράγματα δεν είναι τόσο απλά. Οι ψυκτικοί οφείλουν να γνωρίζουν καλά τη φιλοσοφία και τον τρόπο λειτουργίας για να ξέρουν που φθάνουν τα όρια τους πάνω σε τέτοια συστήματα, τί θα πρέπει να προσέχουν, που μπορούν να επεμβαίνουν κλπ. Επιπλέον αυτών,

η γνώση αυτή επί των αυτοματισμών είναι προϋπόθεση για να είναι σε θέση να συνεργαστούν σωστά με τον τεχνικό που θα κάνει τη ρύθμιση του αυτοματισμού της εγκατάστασης τους.

Ένα βασικό σημείο, βάσει όσων αναπτύχθηκαν, το οποίο θα πρέπει να μείνει στη μνήμη των μαθητών, είναι ότι ποτέ δεν θα πρέπει να αντικαθίσταται ένα χαλασμένο εξάρτημα ενός συστήματος αυτοματισμού με ένα άλλο, αν δεν είναι **απόλυτα βέβαιο** ότι το καινούριο εξάρτημα θα κάνει την ίδια ακριβώς εργασία. Το καλύτερο είναι να χρησιμοποιείται εξάρτημα του ίδιου τύπου και να ρυθμιστεί με τις **ίδιες ακριβώς ρυθμίσεις** που ήταν και το προηγούμενο. Μόνο αν αυτό το εξάρτημα δεν υπάρχει πλέον στην αγορά (αν έχει καταργηθεί), θα πρέπει να αναζητηθεί το αντίστοιχο του. Σε μία τέτοια περίπτωση θα πρέπει ο υπεύθυνος της εγκατάστασης να συμβουλευτεί και κάποιον ειδικό στους αυτοματισμούς ή την εταιρεία που προμήθευσε το όλο σύστημα.

Γενικότερα, με τους αυτοματισμούς δεν παίζουμε, δεν επεμβαίνουμε χωρίς λόγο και δεν παίρνουμε ριψοκίνδυνες πρωτοβουλίες. Αν κάνουμε κάποια επέμβαση, θα πρέπει να είμαστε απόλυτα σίγουροι γι' αυτό που θα κάνουμε. Η απορύθμιση ενός συστήματος είναι πολύ εύκολη, αλλά η εκ νέου ρύθμιση του μπορεί να είναι δύσκολη, δαπανηρή και ενδεχομένως και να απαιτεί τον κατάλληλο τεχνικό αυτοματισμών που να γνωρίζει καλά το συγκεκριμένο σύστημα. Ο κανόνας είναι:

Σε ένα σύστημα αυτοματισμού που λειτουργεί **σωστά, ουδέποτε** επεμβαίνουμε στις ρυθμίσεις των **ελεγκτών** και των **ενεργοποιητών** και **δεν** πειραματιζόμαστε με αυτά τα εξαρτήματα.



ΑΝΑΚΕΦΑΛΑΙΩΣΗ

- Τα συστήματα αυτοματισμού, ανάλογα με τον **προορισμό** τους διακρίνονται σε δύο μεγάλες κατηγορίες: (α) σε αυτά που ελέγχουν και διορθώνουν τις συνθήκες ενός χώρου και (β) σε αυτά που ελέγχουν τη λειτουργία του εξοπλισμού και προστατεύουν τις συσκευές από βλάβες.
- Εκτός από την παραπάνω διάκριση μπορούμε να τα διακρίνουμε ανάλογα με το **ρευστό** με το οποίο λειτουργούν (αέρας, νερό, ψυκτικό ρευστό) ή ανάλογα με το **μέσο** που χρησιμοποιούν (ηλεκτρικοί, ελεγχόμενοι από το κυκλοφορούν ρευστό, πνευματικοί, υδραυλικοί, μικτοί).
- Τα συστήματα αυτοματισμού ανοικτού βρόχου είναι αυτά που παίρνουν συνεχώς πληροφορίες για την κατάσταση επικρατεί και βάσει αυτών δίνουν εντολές, με στόχο να επιτύχουν το επιθυμητό αποτέλεσμα.
- Τα συστήματα κλειστού βρόχου δίνουν εντολές αλλά δεν δέχονται πίσω πληροφορίες για τα αποτελέσματα των εντολών τους.
- Τα μέρη ενός συστήματος αυτοματισμού είναι οι αισθητήρες, ο ελεγκτής και οι ενεργοποιητές.
- Η γενική διάταξη λειτουργίας ενός συστήματος αυτοματισμού, φαίνεται στο σχήμα (6.3).
- Οι αυτοματισμοί κλειστού βρόχου, ανάλογα με τον τρόπο που επενεργούν, μπορεί να είναι (α) Επιλογής δύο θέσεων (ON-OFF) (β) Προοδευτικής λειτουργίας (γ) Διαμορφωτικού ελέγχου.
- Κατά την προοδευτική λειτουργία ο ελεγκτής είναι πολύ γρήγορος αλλά ο ενεργοποιητής πολύ αργός και μπορεί να σταματήσει σε οποιοδήποτε σημείο της διαδρομής του επιτευχθούν οι επιθυμητές συνθήκες.
- Ο διαμορφωτικός έλεγχος διακρίνεται σε αναλογικό (τύπος P), αναλογικό-ολοκληρωτικό (PI) και αναλογικό-ολοκληρωτικό-διαφορικό (PID). Αυτοί έχουν αντίστοιχα μία παράμετρο ρύθμισης (την PB) ή δύο (PB, T_i) ή τρεις (PB, T_i, T_d).
- Στη ρύθμιση των συστημάτων διαμορφωτικού ελέγχου διακρίνουμε το σημείο ελέγχου, το σφάλμα και το εύρος στραγγαλισμού. Στον αναλογικό έλεγχο (P) το εύρος στραγγαλισμού ταυτίζεται με το εύρος αναλογικής ρύθμισης PB.

- **Σταθερά χρόνου** ονομάζεται ο χρόνος που χρειάζεται να φθάσει η μεταβλητή στο 63,2% της τελικής τιμής της. **Νεκρός χρόνος** ονομάζεται το χρονικό διάστημα που μεσολαβεί από τη στιγμή που ο ελεγκτής θα δώσει την εντολή μέχρι τη στιγμή που θα αρχίσει να γίνεται αισθητή η αλλαγή της μεταβλητής.
- **Χρόνος καθυστέρησης T_D** ονομάζεται ο χρόνος που χρειάζεται για να φθάσει η μεταβλητή στο 50% της τελικής τιμής της **και χρόνος ανύψωσης T_R** ο χρόνος που απαιτείται για να φθάσει η μεταβλητή από το 10% στο 90% της τελικής τιμής. Όσο μεγαλύτερος είναι ο λόγος T_R/T_D , τόσο πιο εύκολος είναι ο έλεγχος. Στις πολύ μεγάλες τιμές αρκούν ελεγκτές τύπου P, στις μικρές αλλά πάνω από 7,4 αρκούν οι PI ενώ στις ακόμη μικρότερες χρειάζονται οι PID. Σε τιμές μικρότερες του 3,3 πιθανόν ακόμη και οι PID να είναι ανεπαρκείς και να απαιτούνται ειδικές διατάξεις.
- Οι εντολές από τους ελεγκτές καταλήγουν στους ενεργοποιητές. Αυτοί με τη σειρά τους κινούν τάμπερ ή βάνες.
- Τα τάμπερ είναι κυρίως δύο ειδών: (α) με πτερύγια που κινούνται παράλληλα και (β) με αντιστρόφως κινούμενα πτερύγια.
- Οι βάνες διακρίνονται σε δύοδες, τριόδες και τετράοδες. Περισσότερο χρησιμοποιούνται οι δύοδες, μετά οι τριόδες, ενώ η χρήση των τετράοδων, παρά τα πλεονεκτήματα που παρουσιάζουν, είναι σχετικά σπάνια.
- Τόσο οι βάνες, όσο και τα τάμπερ, ανάλογα με τον τρόπο που μεταβάλλουν την παροχή συναρτήσει της ποσοστιαίας κίνησης τους, διακρίνονται κυρίως σε τρεις τυπικές κατηγορίες: (α) ταχείας αποκατάστασης της ροής (β) αναλογικής λειτουργίας (γ) ίσων ποσοστών.
- Η συμπεριφορά των βανών και των τάμπερ μεταβάλλεται ανάλογα με τον συντελεστή $\beta = \Delta p_{\min}/\Delta p_{\max}$ (για τις βάνες) και τον $\alpha = \Delta p_{\max}/\Delta p_{\min}$ (για τα τάμπερ). Το αποτέλεσμα είναι να παραμορφώνεται η χαρακτηριστική τους καμπύλη. Οι βάνες ίσων ποσοστών, όταν το $\beta \approx 0,1$ έχουν σχεδόν αναλογική συμπεριφορά. Επίσης σχεδόν αναλογική συμπεριφορά έχουν και τα τάμπερ με αντίστροφα κινούμενα πτερύγια όταν $\alpha \approx 10$.
- Η χαρακτηριστική καμπύλη των ενεργοποιητών μεταβάλλεται, ανάλογα με τον τρόπο που αυτοί θα ρυθμιστούν. Επιλέγοντας την κατάλληλη ρύθμιση στον ενεργοποιητή, μπορούμε να επιτύχουμε την επιθυμητή συμπεριφορά του συστήματος ενεργοποιητής-βάνα.

- Για να λειτουργήσει σωστά ένα σύστημα αυτομάτου ελέγχου και ρύθμισης ενός δικτύου, θα πρέπει το δίκτυο να είναι εξισορροπημένο, δηλαδή ο κάθε κλάδος να διαρρέεται από συγκεκριμένη μέγιστη παροχή. Η εξισορρόπηση συνήθως επιτυγχάνεται μέσω ειδικών βανών και όχι μέσω των βανών στις οποίες συνδέονται οι ενεργοποιητές.
- Η ρύθμιση των ελεγκτών, γίνεται συνήθως επί τόπου, στην πραγματική εγκατάσταση. Εκ πρώτης όψεως, εξαιτίας της περίπλοκης λειτουργίας των συστημάτων αυτοματισμού, δημιουργείται η εντύπωση ότι ο προγραμματισμός τους θα πρέπει να είναι πολύ δύσκολος. Στην πραγματικότητα όμως, ο προγραμματισμός αυτός, όταν ακολουθούνται απλοποιημένες εμπειρικές μέθοδοι, δεν παρουσιάζει ιδιαίτερες δυσκολίες.



ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ

1. Σας αναθέτουν να αποφασίσετε το κατάλληλο σύστημα αυτοματισμού διαμερισμάτων με αυτονομία θέρμανσης μίας πολυκατοικίας πολυτελούς κατασκευής. Ο κατασκευαστής, θέλοντας να βάλει κάτι καλύτερο, σκέφτεται να εγκαταστήσει ένα κάπως σύνθετο σύστημα αυτοματισμού. Θα συμφωνούσατε μαζί του; Αιτιολογήστε την απάντησή σας.
2. Σε ένα διαμέρισμα με αναλογισμό σύστημα ελέγχου της θερμοκρασίας οι ένοικοι διαπίστωσαν ότι στο σύννηθες κρύο, π.χ. εξωτερικό περιβάλλον 10°C , είναι πολύ ικανοποιημένοι αν ο εσωτερικός θερμοστάτης είναι στους 20°C . Όταν όμως η θερμοκρασία του περιβάλλοντος πέσει πιο πολύ, π.χ. στους 5°C (οπότε αυξάνεται η ροή θερμότητας από το διαμέρισμα προς το εξωτερικό περιβάλλον), τότε για να είναι το ίδιο ευχαριστημένοι βλέπουν ότι θα πρέπει να ρυθμίσουν το θερμοστάτη στους 21°C και όταν το περιβάλλον πέφτει στους 0°C , χρειάζεται να τον ρυθμίσουν στους 22°C . Μπορείτε, με απλά λόγια, να εξηγήσετε γιατί τους συμβαίνει αυτό;
3. Αναφέρετε από 5 τουλάχιστον εξαρτήματα που χρησιμοποιούνται στους αυτοματισμούς (α) που εξασφαλίζουν τις συνθήκες του χώρου (β) που ελέγχουν τη λειτουργία και προστατεύουν τις συσκευές.
4. Επιλέξτε τη σωστή απάντηση:
 - (α) Οι αυτοματισμοί ελέγχου των συνθηκών χώρου χρειάζονται κυρίως στον κλιματισμό και αυτοματισμοί λειτουργίας-προστασίας κυρίως στην ψύξη.
 - (β) Οι αυτοματισμοί ελέγχου των συνθηκών χώρου χρειάζονται κυρίως στην ψύξη και οι λειτουργίας-προστασίας στον κλιματισμό.
 - (γ) Οι αυτοματισμοί ελέγχου των συνθηκών χώρου και οι αυτοματισμοί λειτουργίας-προστασίας χρειάζονται εξίσου, τόσο στον κλιματισμό όσο και στην ψύξη.
5. Δώστε παραδείγματα αυτοματισμών με ελεγχόμενο μέσο τον αέρα, το νερό και το ψυκτικό ρευστό.
6. Τί είναι ο αυτοματισμός **κλειστού** βρόχου και τί ο **ανοικτού** βρόχου; Σε ποιές περιπτώσεις εφαρμόζονται; Δώστε παραδείγματα.

7. Φτιάξτε ένα διάγραμμα που να δείχνει την λειτουργία ενός συστήματος αυτοματισμού κλειστού βρόχου.
8. Από ποιά μέρη αποτελείται ένα σύστημα αυτοματισμού; Μπορεί ένα σύστημα να αποτελείται από μόνο δύο συσκευές ή να είναι όλα ενσωματωμένα σε μία και μοναδική συσκευή; Αν ναι, δώστε από ένα παράδειγμα.
9. Ποιά είναι η σχέση μεταξύ των όρων **ενεργοποιητής** και **σερβοκινητήρας**;
10. Ποιές είναι οι κατηγορίες στις οποίες διακρίνονται οι αυτοματισμοί, ανάλογα με τον τρόπο που επενεργούν;
11. Ποιές είναι οι κατηγορίες των αυτοματισμών διαμορφωτικού ελέγχου;
12. Ποιά είναι τα χαρακτηριστικά μεγέθη ενός συστήματος αυτοματισμού διαμορφωτικού ελέγχου;
13. Τί σχέση έχει το εύρος στραγγαλισμού με τον συντελεστή PB;
14. Σε ποιά περιοχή τιμών μπορεί να βρίσκεται το σφάλμα σε ένα διαμορφωτικό αυτοματισμό;
15. Τί σχέση έχει το εύρος στραγγαλισμού με την περιοχή διακύμανσης της τιμής της μεταβλητής σε ένα σύστημα ON-OFF; Είναι σχεδόν το ίδιο πράγμα ή υπάρχει μία βασική διαφορά;
16. Πόσες παραμέτρους θα πρέπει να εκτιμήσουμε για να εισάγουμε σε μία συσκευή αυτοματισμού (α) τύπου P (β) τύπου PI (γ) τύπου PID. Ποιές είναι αυτές;
17. Συχνά οι αυτοματισμοί που σ' αυτό το βιβλίο αποδίδονται με τον όρο **διαμορφωτικού ελέγχου** (κατά λέξη μετάφραση του αγγλικού όρου *modulating action*), συναντώνται και με τον όρο αυτοματισμοί **αναλογικού ελέγχου**. Είναι σωστή κατά τη γνώμη σας αυτή η απόδοση του όρου;
18. Τί σημαίνουν οι όροι: αναλογική ρύθμιση, ολοκληρωτική ρύθμιση και διαφορική ρύθμιση;
19. Ποιά είναι η σχέση μεταξύ του PB και του συντελεστή αναλογικού κέρδους;
20. Πότε ένα σύστημα λέγεται **ευσταθές** και πότε **ασταθές**;
21. Πότε ένα σύστημα έχει περισσότερες πιθανότητες να αποδειχτεί ασταθές;

22. Μπορεί στο ευσταθές σύστημα να έχουμε συνεχώς μετακίνηση των ενεργοποιητών από τη μία ακραία θέση στην άλλη;
23. Σας παραδίδουν ένα σύστημα στο οποίο αναλαμβάνετε συντηρητής. Διαπιστώνετε ότι οι ενεργοποιητές μετακινούνται από τη μία θέση στην άλλη, χωρίς να παίρνουν ποτέ κάποια ενδιάμεση θέση. Τί θα πρέπει να υποθέσετε; Σε ποιές ενέργειες θα πείτε στον εργοδότη σας ότι θα πρέπει να προβεί;
24. Τί ονομάζουμε σταθερά χρόνου και τί νεκρό χρόνο;
25. Πώς θα αντιληφθείτε αν το σύστημα μπορεί να εξυπηρετηθεί με ένα ελεγκτή τύπου P ή PI ή PID; Υπάρχει περίπτωση να μην είναι ούτε ο ελεγκτής PID κατάλληλος;
26. Τί ονομάζουμε υπερύψωση; Παρουσιάζουν όλα τα συστήματα αυτοματισμού υπερύψωση;
27. Ποιά είναι τα είδη των τάμπερ και ποιά των βαλβίδων (ή των βανών);
28. Ποιά είναι η διαφορά και ποιά η ομοιότητα στη λειτουργία μεταξύ τρίοδης και τετράοδης βάνας; Που πλεονεκτεί η τετράοδη βάνα; Ποιά χρησιμοποιείται περισσότερο και γιατί;
29. Τί πλεονέκτημα βλέπετε να υπάρχει αν χρησιμοποιήσετε τρίοδη βάνα για τη μεταβολή της παροχής αντί για τη δίοδη;
30. Ποια είναι τα τρία τυπικά είδη χαρακτηριστικών λειτουργίας των βανών και των τάμπερ;
31. Οι χαρακτηριστικές καμπύλες των βανών και των τάμπερ μεταβάλλονται ή είναι σταθερές; Πότε και με ποιό τρόπο γίνεται αυτή η μεταβολή;
32. Ποιό από τα τρία τυπικά είδη χαρακτηριστικών καμπυλών είναι κατά τη γνώμη σας το πιο χρήσιμο;
33. Αν θέλετε μία βάνα με μία συγκεκριμένη χαρακτηριστική και διαπιστώνετε ότι αυτή δεν υπάρχει στο εμπόριο, τί μπορείτε να κάνετε;
34. Η χαρακτηριστική λειτουργίας ενός ενεργοποιητή μπορεί να είναι μία συγκεκριμένη και σταθερή καμπύλη; Τί πρόβλημα μπορεί ενδεχομένως να υπάρξει;
35. Τί είναι η εξισορρόπηση και πώς πραγματοποιείται;

36. Γιατί κατά τη γνώμη σας είναι προϋπόθεση το δίκτυο να είναι σωστά εξισορροπημένο για να λειτουργήσει σωστά και το σύστημα αυτοματισμού;
37. Αν το σύστημα αυτοματισμού δεν μπορεί να ρυθμιστεί σωστά, τί θα πρέπει να σκεφτείτε ότι είναι πιθανόν να μην έχει γίνει στην εγκατάσταση ή τουλάχιστον να μην έχει γίνει σωστά;
38. Με ποιό τρόπο γίνεται η ρύθμιση των ελεγκτών; Είναι ιδιαίτερα δύσκολη ως διαδικασία; Τί είναι αυτό που την έχει απλοποιήσει;
39. Φτιάξτε έναν πίνακα με όλες τις δυνατές κατατάξεις των συστημάτων αυτοματισμού. Μην περιοριστείτε μόνο σε όσα αναφέρονται στο κεφάλαιο (6.3).
40. Σας χάλασε ένα εξάρτημα του δικτύου αυτοματισμού της εγκατάστασης για την οποία είσαστε υπεύθυνος. Δεν το βρίσκετε στο εμπόριο και σας λένε από την αντιπροσωπία ότι έχει καταργηθεί εδώ και πέντε έτη. Τί θα πρέπει κατά τη γνώμη σας να κάνετε;
41. Έστω ότι είσαστε ο υπεύθυνος συντηρητής σε μία κεντρική εγκατάσταση κλιματισμού ενός πολύ μεγάλου κτιρίου, με περίπλοκα συστήματα αυτοματισμού. Σας φέρνουν ένα καινούριο βοηθό, ο οποίος για να μάθει πως λειτουργούν τα συστήματα αυτοματισμού, σας ζητάει να τον αφήσετε να πειραματιστεί μαζί τους. Θα του το επιτρέψετε; Αν ναι, θα τον αφήσετε να κάνει ότι θέλει ή θα του βάλετε περιορισμούς και στην περίπτωση αυτή σε ποιά σημεία θα τον αφήνατε να επέμβει; Τί θα του συνιστούσατε να προσέξει για να μάθει καλύτερα πως αντιδρούν οι αυτοματισμοί;



ΑΣΚΗΣΕΙΣ

1. Σε ένα σύστημα, ο πρεσοστάτης έχει ρυθμιστεί σε πίεση 420 kPa (=4,2 bar). Ξεκινάμε το σύστημα και βρίσκουμε, με ένα μανόμετρο Bourdon, ότι συναρτήσει του χρόνου η πίεση αυξάνεται σύμφωνα με το παρακάτω πίνακα:

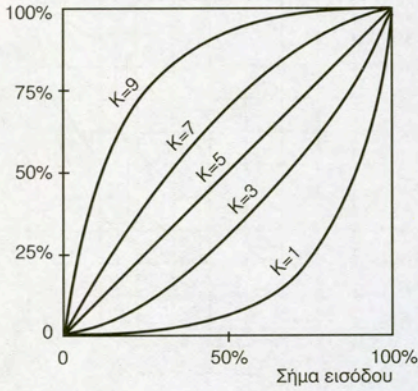
Χρόνος, s	5	10	12	20	30	40	50	60	65	70	80	90
Πίεση, kPa	0	5	45	105	175	280	400	455	475	440	400	435

- Να σχεδιαστεί η μεταβολή της πίεσης συναρτήσει του χρόνου
 - Να βρεθούν ο νεκρός χρόνος, η σταθερά χρόνου, ο χρόνος καθυστέρησης T_D και ο χρόνος ανύψωσης T_R .
 - Παρουσιάζει το σύστημα υπερύψωση και αν ναι, πόση είναι αυτή;
 - Αν υποθεθεί ότι το είδος της λειτουργίας είναι τέτοιο ώστε να χρειάζεται αυτοματισμός ελέγχου και ρύθμισης, μπορεί να εφαρμοστεί σ' αυτό το σύστημα διάταξη αυτοματισμού διαμορφωτικού ελέγχου (P, PI, ή PID);
2. Σε ένα σύστημα κλιματισμού με έλεγχο της εξερχόμενης θερμοκρασίας νερού από το στοιχείο, διαπιστώνεται ότι κατά την εκκίνηση, η θερμοκρασία εξόδου του νερού από το στοιχείο, κατά τα 15 πρώτα λεπτά λειτουργίας, ακολουθεί τη μεταβολή του παρακάτω πίνακα. Μετά από 60 λεπτά λειτουργίας, η θερμοκρασία εξόδου σταθεροποιείται στους 45°C.

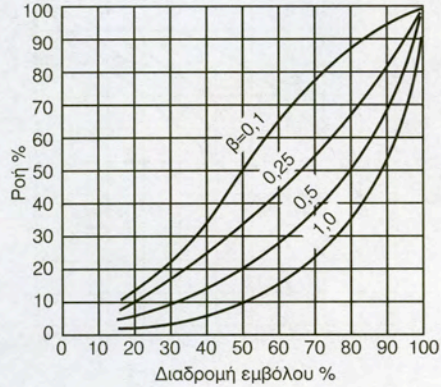
Χρόνος, min	0	0,2	0,3	0,5	1	2	4	6	9	12	15
Θερμοκρασία	20	20,1	27,5	34,5	36,5	38	40	41	41,5	42	42,5

- Να σχεδιαστεί η μεταβολή της θερμοκρασίας συναρτήσει του χρόνου
- Να βρεθούν ο νεκρός χρόνος, η σταθερά χρόνου, ο χρόνος καθυστέρησης T_D και ο χρόνος ανύψωσης T_R .
- Αν εφαρμόσετε σύστημα διαμορφωτικού ελέγχου, τότε ποιό θα επιλέγατε, το P, το PI ή το PID;

3. Το διάγραμμα των καμπυλών του κινητήρα είναι όπως στο σχήμα (6.30^A) οι καμπύλες της βάνας όπως του σχήματος (6.30^B) και η επιθυμητή χαρακτηριστική λειτουργίας είναι η απόλυτα αναλογική. Η βάνα παρουσιάζει $\beta = 0,5$. Σε ποιά θέση θα ρυθμίσετε το ποτενσιόμετρο του σερβοκινητήρα;



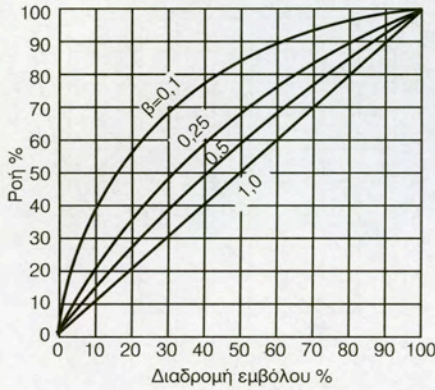
(A)



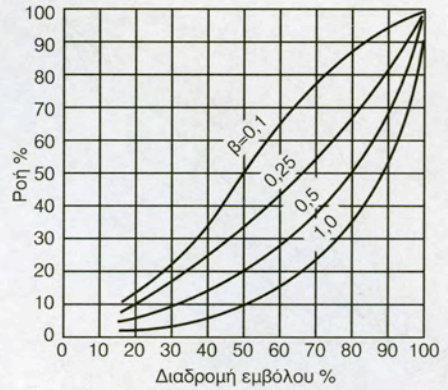
(B)

Σχήμα 6.30 Άσκηση 3

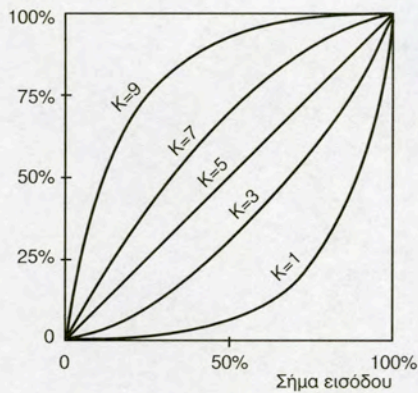
4. Σας δίνονται δύο βάνες, με τις καμπύλες αντίστοιχα των σχημάτων (6.31^A) και (6.31^B). Ο κινητήρας έχει τις καμπύλες του σχήματος (6.31^Γ). Το β είναι 0,25. Ζητάτε το σύστημα κινητήρα-βάνας να έχει καθαρά αναλογική συμπεριφορά. Με ποιούς δυνατούς συνδυασμούς θα μπορούσατε να δουλέψετε;



(A)



(B)

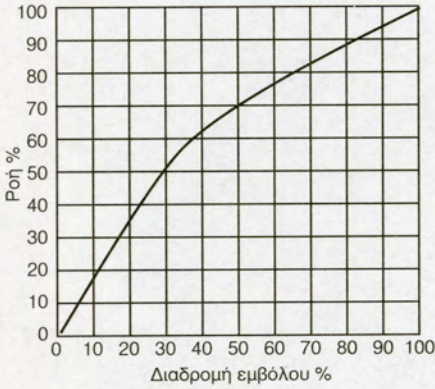


(Γ)

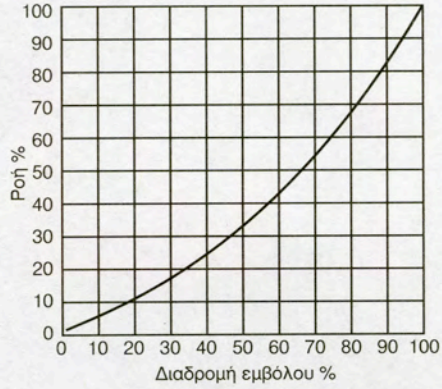
Σχήμα 6.31 Ασκήση 4

5. Ομοίως με το προηγούμενο παράδειγμα, αν:

- το $\beta = 0,5$ και ζητάτε το σύστημα κινητήρα-βάνας να έχει τη συμπεριφορά του σχήματος (6.32^A)
- το $\beta = 0,1$ και ζητάτε τη συμπεριφορά του σχήματος (6.32^B).



(A)



(B)

Σχήμα 6.32 Άσκηση 5

8. ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΕΛΕΓΚΤΩΝ

4.5 Τεχνολογία ελεγκτών.

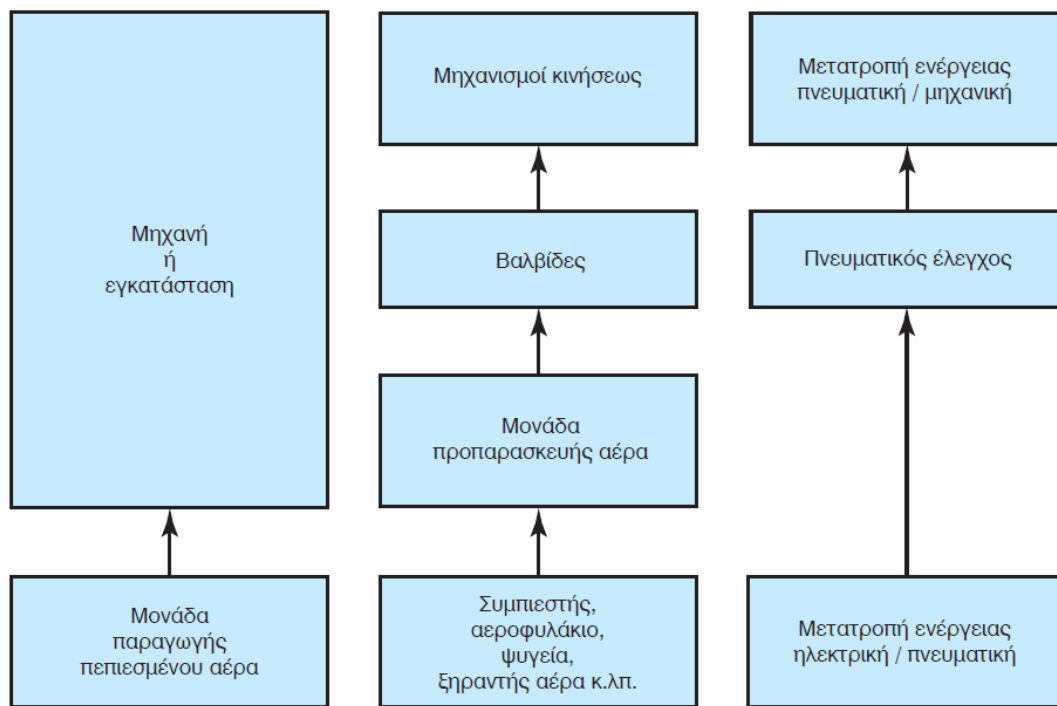
Οι ελεγκτές διακρίνονται ως προς την τεχνολογία λειτουργίας και κατασκευής σε: πνευματικούς και υδραυλικούς, ηλεκτρικούς, ηλεκτρονικούς και ψηφιακούς.

4.5.1 Πνευματικά και υδραυλικά συστήματα (ελεγκτές).

Πνευματικό σύστημα ονομάζεται οποιοδήποτε σύστημα χρησιμοποιεί την ενέργεια που έχει αποθηκευθεί στον πεπιεσμένο αέρα για να παράγει ωφέλιμο έργο (σχ. 4.5α). Τα πνευματικά συστήματα χρησιμοποιούνται για την εκτέλεση μιας εργασίας που μπορεί να είναι επαναλαμβανόμενη, επικίνδυνη για τους χειριστές, να πραγματοποιείται σε μη φιλικό περιβάλλον ή να απαιτεί ακρίβεια ή ταχύτητα. Τα πνευματικά συστήματα άρχισαν να χρησιμοποιούνται από τη δεκαετία του 1950 στη βιομηχανία και εφαρμόζονται ως μέσο αυτοματισμού χαμηλού κόστους.

Στα πνευματικά συστήματα, οι **μηχανισμοί κινήσεως** (drive elements) είναι τα **ενεργά στοιχεία** (actuators) τα οποία ελέγχονται, έτσι ώστε η ενέργεια που παρέχει ο πεπιεσμένος αέρας να μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε διάφορες κατεργασίες, όπως πρέσες, σφύρες κλπ..

Στους μηχανισμούς κινήσεως πραγματοποιείται η



Σχ. 4.5α.

Οργάνωση πνευματικού συστήματος.

μετατροπή ενέργειας από πνευματική σε μηχανική, δηλαδή η αποθηκευμένη στον πεπιεσμένο αέρα ενέργεια μετατρέπεται σε μηχανικό έργο. Οι μηχανισμοί κινήσεως διακρίνονται σε **μηχανισμούς γραμμικής κινήσεως**, στους οποίους ανήκουν οι **κύλινδροι απλής ενέργειας** (single-acting cylinders) και οι **κύλινδροι διπλής ενέργειας** (double-acting cylinders), και στους **μηχανισμούς περιστροφικής κινήσεως**, στους οποίους ανήκουν οι **περιστροφικοί ενισχυτές** (rotary actuators) και οι **κινητήρες πεπιεσμένου αέρα** (compressed-air motors).

Ο έλεγχος στα πνευματικά συστήματα γίνεται με βαλβίδες. Οι βαλβίδες ελέγχουν το δρόμο (path) του πεπιεσμένου αέρα προς τους μηχανισμούς κινήσεως. Η λειτουργία, καθώς και ο τρόπος ενεργοποίησε των βαλβίδων διαφέρει ανάλογα με τις απαιτήσεις των κατεργασιών. Στις βαλβίδες ανήκουν οι **βαλβίδες ελέγχου κατευθύνσεως** (directional control valves), οι **βαλβίδες ελέγχου παροχής** (flow-control valves), οι **βαλβίδες ελέγχου** (check valves) και οι **βαλβίδες ελέγχου πίεσεως** (pressure-control valves).

Υπάρχουν πολλοί τρόποι ελέγχου στα πνευματικά συστήματα οι οποίοι εξαρτώνται από τη φύση και το σκοπό της χρήσεώς τους, και είναι οι εξής:

- **Έλεγχος με πάτημα και άφηση** (press and release control) (αντίστοιχο του ηλεκτρικού κουδουνιού).
- **Έλεγχος με συγκράτηση** (hold on control) και
- **ακολουθακός έλεγχος** (sequence control) (μια σειρά ON/OFF γεγονότων).

Ένα πνευματικό κύκλωμα ελέγχου περιέχει συνήθως τρία επίπεδα:

- Το **πρώτο** θέτει το σύστημα σε κίνηση, δηλαδή δίνει το σήμα εισόδου.
- Το **δεύτερο** επεξεργάζεται το σήμα και το μεταφέρει προς εκτέλεση και
- το **τρίτο** εκτελεί εντολή από μηχανισμό κινήσεως.

Στο επίπεδο ελέγχου, ο τρόπος λειτουργίας των βαλβίδων ελέγχου εξαρτάται από την εργασία για την οποία χρησιμοποιούνται. Στα απλά συστήματα ελέγχονται πνευματικά, δηλαδή τα στοιχεία ελέγχου λειτουργούν με πεπιεσμένο αέρα που τους παρέχουν τα στοιχεία σήματος. Για πιο σύνθετες εργασίες ο έλεγχος είναι ηλεκτροπνευματικός.

Ο εξοπλισμός των πνευματικών συστημάτων αποτελείται από τα εξής στοιχεία:

- **Μονάδα προπαρασκευής αέρα** (air-service unit). Χρησιμοποιείται για να πιστοποιείται η καλή

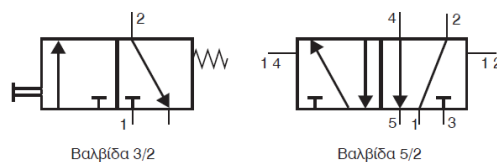
ποιότητα του πεπιεσμένου αέρα. Περιλαμβάνει: το φίλτρο αέρα, το διαχωριστή νερού, τη βαλβίδα ρυθμίσεως πίεσεως, το μανόμετρο και τη βαλβίδα ελέγχου (ON/OFF).

- **Βαλβίδες ελέγχου κατευθύνσεως** (directional control valves). Στον πνευματικό έλεγχο, ως προς τη λειτουργία τους, χρησιμοποιούνται ως **στοιχεία σήματος** (signaling elements) ή **στοιχεία ελέγχου** (control elements). Επίσης χαρακτηρίζονται από **στόμια** (connections ή ports) και **θέσεις** (switching positions). Η βαλβίδα ελέγχου κατευθύνσεως που έχει μ στόμια και ν θέσεις ονομάζεται "βαλβίδα μ/ν" ή "μ-οδική βαλβίδα ν θέσεων". Τέτοιες βαλβίδες είναι η **βαλβίδα 3/2** (χειρισμός με μπουτόν, θέση ηρεμίας κλειστή και επαναφορά με ελατήριο), η **βαλβίδα 5/2** (με πνευματική οδήγηση) (σχ. 4.5β) κλπ..

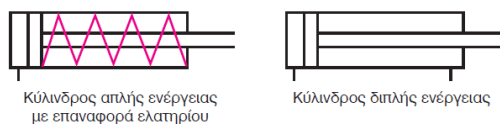
- **Κύλινδροι** (cylinder). Βρίσκονται συνήθως στο επίπεδο εκτελέσεως, αποτελούν δηλαδή μηχανισμούς κινήσεως. Διακρίνονται σε κύλινδρους απλής ενέργειας με επαναφορά ελατηρίου και κύλινδρους διπλής ενέργειας (σχ. 4.5γ).

Τα πνευματικά συστήματα έχουν κάποια μειονεκτήματα όπως ότι υπάρχει κίνδυνος διαρροής του συστήματος λόγω πολύ μεγάλης αποθηκευμένης ενέργειας, ότι έχουν μεγάλη ευαισθησία στα ξένα σωματίδια που θα υπαισέλθουν στον πεπιεσμένο αέρα και τέλος ότι η δημιουργία γραμμικής κινήσεως είναι περιορισμένης αποστάσεως (2 m) και περιορισμένης δυνάμεως (3000 kp).

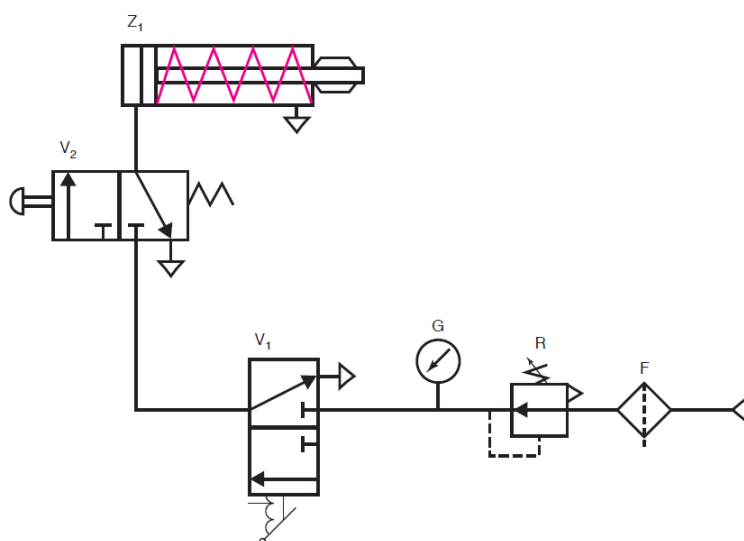
Ακολουθεί ένα απλό κύκλωμα πνευματικού ελέγχου, κύλινδρου απλής ενέργειας, με χρήση βαλβίδας ελέγχου κατευθύνσεως 3/2 με χειρισμό κομβίου (μπουτόν) και επαναφορά ελατηρίου (σχ. 4.5δ).



Σχ. 4.5β.
Είδη βαλβίδων.



Σχ. 4.5γ.
Είδη κυλίνδρων.

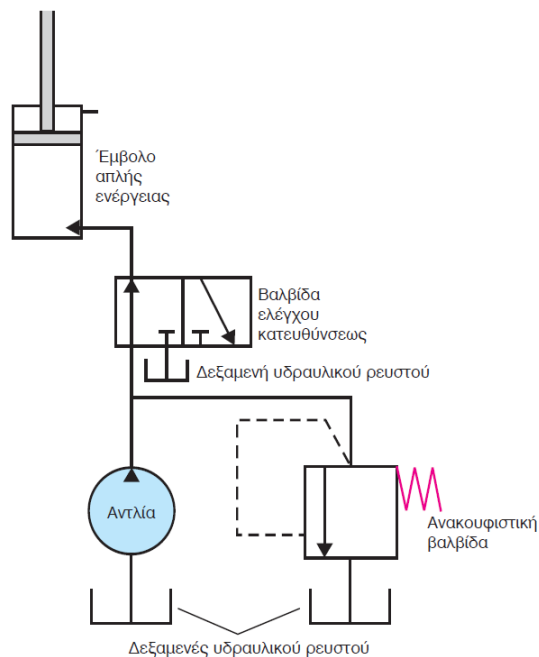


Σχ. 4.5δ.

Κύκλωμα κυλίνδρου απλής ενέργειας με βαλβίδα 3/2 με χειρισμό κομβίου (μπουτόν) και επαναφορά ελατηρίου.

Υδραυλικά συστήματα ονομάζουμε τα συστήματα μεταφοράς ισχύος που αποτελούνται από αντλίες, σωληνώσεις, επιστόμια και υδραυλικούς κινητήρες, περιστροφικούς ή παλινδρομικούς, που χρησιμοποιούνται για τη δημιουργία ροπής ή δύναμης. Τα υδραυλικά συστήματα απαιτούν μικρό όγκο και μάζα των υδραυλικών κινητήρων, είναι ελαστικά, πολύ άκαμπτα και έχουν σχετικά μεγάλη ταχύτητα αντιδράσεως, στην οποία συντελεί η μεγάλη ακαμψία και οι μικρές μάζες. Οι μηχανισμοί τους είναι ανθεκτικοί στην υγρασία και το διαβρωτικό περιβάλλον, λόγω της καλής στεγανότητας για την αντιμετώπιση των υψηλών πιέσεων λαδιού που επικρατούν μέσα στους μηχανισμούς. Παρέχουν τη δυνατότητα άνετης μεταβολής των στροφών ενός άξονα μέχρι μηδενικής τιμής και επίσης προσφέρουν, κατ' επιλογή, μεταβολή της χρήσιμης ροπής στρέψεως ή της δύναμης, με μεταβολή της πίεσεως λειτουργίας του συστήματος. Η μέγιστη τιμή της πίεσεως του συστήματος περιορίζεται με ασφαλιστικές βαλβίδες.

Τα υδραυλικά συστήματα έχουν κάποια μειονεκτήματα όπως: υπάρχει κίνδυνος διαρροής και ρυπάνσεως του περιβάλλοντος από τα ρευστά που περιέχονται στα κυκλώματα, έχουν μεγάλη ευαισθησία στα ξένα σωματίδια που μπορεί να υπεισέλθουν στο υδραυλικό ρευστό, επειδή οι ανοχές μεταξύ των σταθερών και κινητών μερών είναι πολύ μικρές λόγω υψηλών πιέσεων λειτουργίας και υπάρχει σχετικός κίνδυνος διάρρηξης του συστήματος λόγω



Σχ. 4.5ε.

Υδραυλικό κύκλωμα ελέγχου εμβόλου απλής ενέργειας με 3/2 βαλβίδα.

της πολύ μεγάλης αποθηκευμένης ενέργειας.

Απλό υδραυλικό σύστημα ελέγχου εμβόλου απλής ενέργειας με 3/2 βαλβίδα παρουσιάζεται στο σχήμα 4.5ε.

4.5.2 Ηλεκτρικοί ελεγκτές.

Οι ηλεκτρικοί ελεγκτές χρησιμοποιούνται ευρέως στα συστήματα αυτόματου ελέγχου. Ο χειρισμός τους γίνεται με το χέρι, με την κίνηση κάποιου μηχανικού εξαρτήματος, με κάμψη μιας διμεταλλικής ράβδου ή με κάποιο ηλεκτρομαγνήτη.

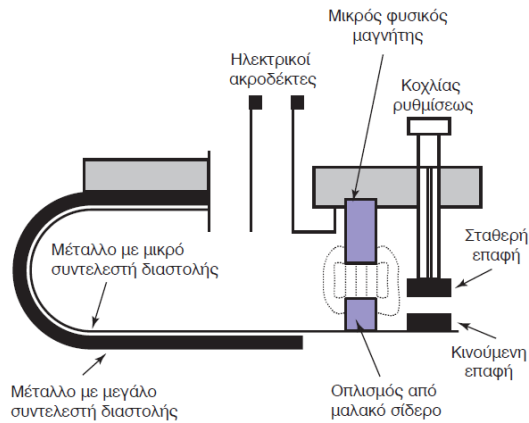
Ο πιο απλός ηλεκτρικός ελεγκτής είναι των **δύο βαθμίδων ON-OFF** (σχ. 4.5στ), που χρησιμοποιείται στον έλεγχο της θερμοκρασίας χώρου. Αποτελείται από ένα διμεταλλικό έλασμα, το ένα άκρο του οποίου είναι σταθερό το δε άλλο ελεύθερο, για να κινείται πάνω-κάτω, ανάλογα με τις μεταβολές της θερμοκρασίας του περιβάλλοντος. Το κύκλωμα ρυθμίζεται έτσι ώστε οι επαφές να είναι κλειστές, όταν το περιβάλλον έχει τη επιθυμητή θερμοκρασία. Η ρύθμιση αυτή επιτυγχάνεται με τον κοχλία ρυθμίσεως. Όταν η θερμοκρασία του περιβάλλοντος αυξηθεί, το διμεταλλικό έλασμα κάμπτεται προς τα κάτω και ανοίγει τις επαφές. Ο μικρός μαγνήτης εξασφαλίζει την απότομη και σίγουρη κίνηση του ελάσματος κατά το άνοιγμα και το κλείσιμο των επαφών, ώστε να μη φθείρονται από τη δημιουργία ηλεκτρικών εκφορτίσεων.

Ένας άλλος απλός ηλεκτρικός ελεγκτής είναι ο **αναλογικός** (σχ. 4.5ζ). Αποτελείται από δύο ποτενσιόμετρα με έναν τροφοδότη εναλλασσόμενου ρεύματος σε σύνδεση τύπου γέφυρας. Το κύκλωμα συμπληρώνεται με ένα ηλεκτρονόμο, ο οποίος μετράει το υπάρχον σφάλμα και με ένα μονοφασικό κινητήρα, ο οποίος κινεί το βάζτρο μιας βαλβίδας. Η λειτουργία του κυκλώματος είναι η ακόλουθη: όταν επισημανθεί κάποια απόκλιση, το κινητό μέρος του ποτενσιόμετρου ελέγχου μετακινείται και διαταράσσεται η ηλεκτρική ισορροπία στη γέφυρα. Έτσι αυξάνεται η διέλευση του ρεύματος από τη μια σπειρά του ηλεκτρονόμου, με αποτέλεσμα το κινητό μέρος του να κλείσει τις αντίστοιχες επαφές. Αυτό το κλείσιμο θέτει σε λειτουργία τον κινητήρα οπότε το βάζτρο κινείται και ταυτόχρονα ενημερώνεται το ποτενσιόμετρο μέσω του δρομέα του και επέρχεται ισορροπία στη γέφυρα, ο ηλεκτρονόμος επανέρχεται στην ουδέτερη θέση και ο κινητήρας αδρανεύει. Αν όμως υπάρξει απόκλιση προς την αντίθετη κατεύθυνση ο ηλεκτρονόμος κλείνει τις άλλες επαφές και ο κινητήρας περιστρέφεται ανάστροφα. Ένα μειονέκτημα του κυκλώματος είναι η μέτρια επίδοση του λόγω μικρής ευαισθησίας του ηλεκτρονόμου κατά την εμφάνιση μικρών αποκλίσεων. Βελτίωση

του κυκλώματος επιτυγχάνεται με αντικατάσταση του ηλεκτρονόμου από ένα ηλεκτρονικό ελεγκτή. Σήμερα, όλο και περιορίζονται οι εφαρμογές των ηλεκτρικών ελεγκτών λόγω της μεγάλης διεισδύσεως των ηλεκτρονικών και ψηφιακών ελεγκτών.

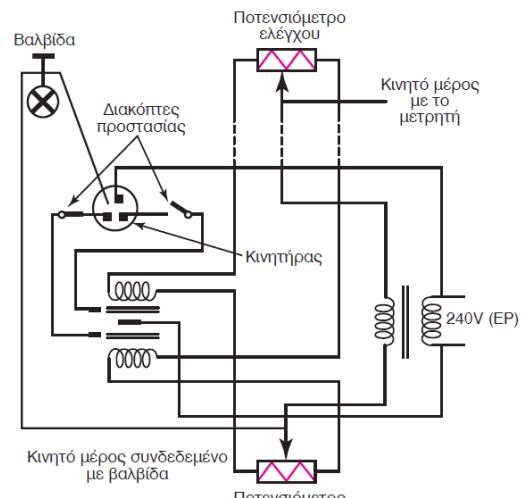
4.5.3 Ηλεκτρονικοί ελεγκτές.

Οι **ηλεκτρονικοί ελεγκτές** έχουν μαζί με τους **ψηφιακούς ελεγκτές** που θα εξετάσουμε παρακάτω τη μεγαλύτερη εφαρμογή στα συστήματα αυτόματου



Σχ. 4.5στ.

Απλός ηλεκτρικός ελεγκτής δύο βαθμίδων ON-OFF, διμεταλλικός θερμοστάτης.



Σχ. 4.5ζ.

Ηλεκτρικός αναλογικός ελεγκτής.

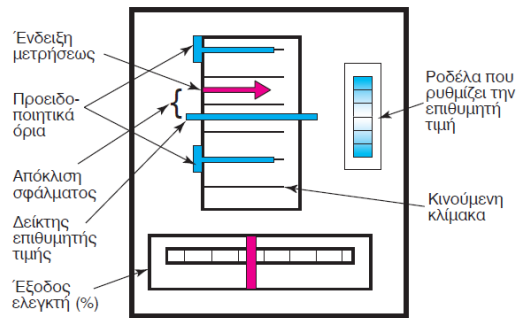
ελέγχου. Οι ελεγκτές αυτοί χρησιμοποιούν τελεστικούς ενισχυτές στα κυκλώματά τους. Οι συνηθισμένοι ηλεκτρονικοί ελεγκτές, που χρησιμοποιούνται σε βιομηχανικές διεργασίες, διαθέτουν έναν πίνακα ελέγχου (σχ. 4.5η). Σε αυτόν τον πίνακα ελέγχου υπάρχουν όργανα για τη συνεχή παρακολούθηση της διεργασίας και ένας μηχανισμός με τον οποίο καθορίζεται το σημείο ρυθμίσεως (επιθυμητή τιμή) της ελεγχόμενης μεταβλητής. Επίσης υπάρχει ένα όργανο με την ένδειξη της εξόδου του ελεγκτή σε κλίμακα 0-100%. Η ίδια η ένδειξη είναι δυνατό σε άλλες διατάξεις να παρουσιάζεται ψηφιακά. Στον πίνακα ελέγχου υπάρχει ένας μετρητής, ο οποίος παρέχει τη στιγμιαία τιμή της ελεγχόμενης μεταβλητής σε ποσοστό. Η ένδειξη αυτή συγκρίνεται με το δείκτη του σημείου ρυθμίσεως και προκύπτει έτσι μια στιγμιαία ένδειξη του σφάλματος, της ελεγχόμενης μεταβλητής από την επιθυμητή τιμή. Υπάρχουν επίσης δύο δείκτες, οι οποίοι μπορούν να τοποθετηθούν πάνω και κάτω από το σημείο ρυθμίσεως και χρησιμεύουν ως όρια προειδοποίησης της τιμής του σφάλματος. Όταν το σφάλμα υπερβεί τα όρια ενεργοποιείται ένα κουδούνι, που ειδοποιεί τον υπεύθυνο τεχνικό να επέμβει αποτελεσματικά και να προλάβει τυχόν ζημιές στη διεργασία. Σε πιο προηγμένους πίνακες ελέγχου υπάρχει διακόπτης μετατροπής της διαδικασίας ελέγχου από αυτόματη σε χειρορυθμιζόμενη και επιλογείς για τη ρύθμιση της ζώνης ανάλογιάς και των παραμέτρων, που σχετίζονται με τις υπόλοιπες μεθόδους ελέγχου. Όταν ο έλεγχος γίνεται με Η/Υ υπάρχει ειδική είσοδος για το σήμα του υπολογιστή, που μεταφέρει τις εκάστοτε εντολές ελέγχου.

Ο ηλεκτρονικός ελεγκτής ενεργοποιείται από το σήμα σφάλματος που παράγεται στο συγκριτή. Υπάρχουν δύο βασικοί μέθοδοι για την παραγωγή ενός ηλεκτρονικού σήματος σφάλματος.

- Χρήση ηλεκτρικών αντιστάσεων (σχ. 4.5θ).
- Χρήση τελεστικού ενισχυτή.

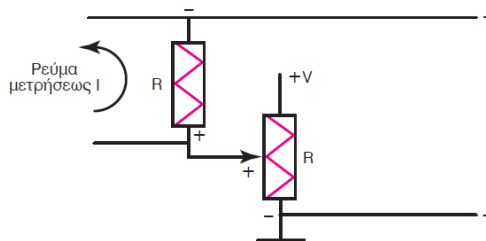
Ο πιο χρησιμοποιούμενος ελεγκτής είναι ο ελεγκτής ON-OFF ή ελεγκτής δύο βαθμίδων. Θα τον βρούμε στα περισσότερα σπίτια και γραφεία που έχουν συστήματα κλιματισμού, τα οποία λειτουργούν με ελεγκτές δύο βαθμίδων. Οι περισσότεροι ελεγκτές του τύπου αυτού χρησιμοποιούν το σύστημα **διμεταλλικής ράβδου** (bimetallic strip) σε συνδυασμό με ένα **διακόπτη υδραργύρου** (mercury switch) (σχ. 4.5ι).

Ελεγκτής ON-OFF είναι επίσης και ο ελεγκτής



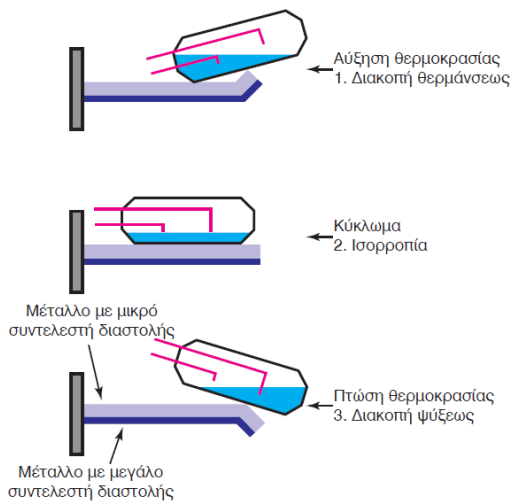
Σχ. 4.5η.

Εξωτερικό πλαίσιο ενός πίνακα ελέγχου.



Σχ. 4.5θ.

Μετρητής σφάλματος με αντιστάσεις.



Σχ. 4.5ι.

Λειτουργία διμεταλλικού ελεγκτή με διακόπτη υδραργύρου.

με δύο τελεστικούς ενισχυτές (αθροιστή, αναστροφέα) και ένα συγκριτή (σχ. 4.5ια). Η μεταβλητή αντίσταση R2 επιτρέπει τη ρύθμιση του εύρους της ουδέτερης ζώνης. Το σήμα εξόδου είναι η τάση σφάλματος, ενώ το σήμα εξόδου U_o είναι δυαδικό (0 ή U_o). Ο συγκριτής αλλάζει το σήμα στην έξοδό του κάθε φορά που το σήμα V θα γίνει στην είσοδό του ίσο με την τιμή του σταθερού σήματος της άλλης εισόδου, η οποία είναι η τάση του σημείου ρυθμίσεως (U_{ΣΡ}) (σχ. 4.5ιβ).

Οι αντίστοιχοι ηλεκτρονικοί ελεγκτές των ελεγκτών τριών όρων P,I,D, είναι οι ακόλουθοι:

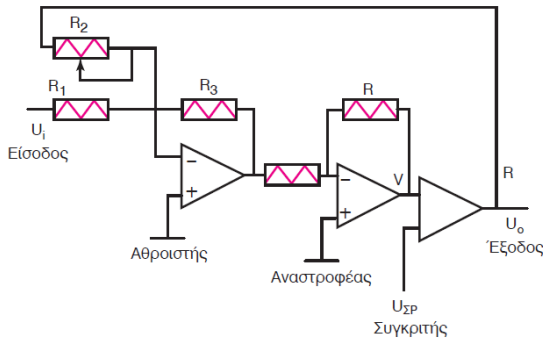
1) Αναλογικός ηλεκτρονικός ελεγκτής (P).

Η σχέση που χαρακτηρίζει τη δράση του αναλογικού ελεγκτή (σχ. 4.5ιγ) είναι:

$$\Sigma = \rho_{\alpha} e_{\pi} + \Sigma(0) \quad (4.11)$$

όπου:

Σ η έξοδος του ελεγκτή από 0%-100%,
 ρ_α η σταθερά αναλογίας,
 e_π το σφάλμα σε ποσοστό πλήρους κλίμακας και



Σχ. 4.5ια.

Ελεγκτής ON-OFF με τελεστικούς ενισχυτές.

Σ(0) η έξοδος του ελεγκτή όταν το σφάλμα είναι μηδέν.

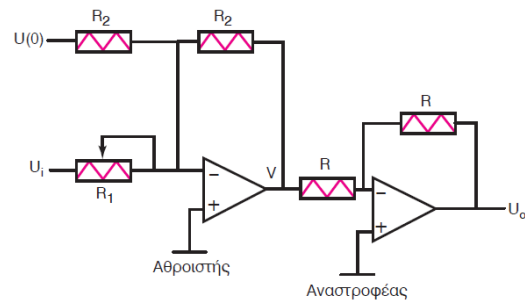
Η τάση εξόδου U_o ισούται με:

$$U_o = \frac{R_2}{R_1} U_i + U(0) \quad (4.12)$$

Η σχεδίαση αυτού του ελεγκτή γίνεται με τρόπο, που η τάση εξόδου να κυμαίνεται μεταξύ 0-U_{μεγ}, που αντιστοιχεί στην κλίμακα 0-100% του στοιχείου ελέγχου. Το ίδιο επιδιώκεται και για την κλίμακα της τάσεως εισόδου, η οποία δέχεται το σήμα σφάλματος. Η σταθερά R₂/R₁ ρυθμίζει τη σχέση του σφάλματος με την τάση κόρου της εξόδου του τελεστικού ενισχυτή ώστε η μέγιστη τιμή του σφάλματος να αντιστοιχεί με τη τάση κόρου.

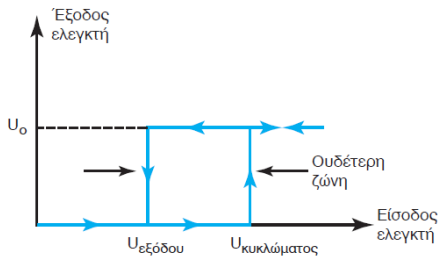
2) Ηλεκτρονικός ελεγκτής επανατάξεως (I).

Ο ηλεκτρονικός ελεγκτής επανατάξεως (σχ. 4.5ιδ) αποτελείται από ένα κύκλωμα ολοκληρώσεως και από έναν αναστροφικό αθροιστή. Ο ολοκληρωτής τελεστικός ενισχυτής «ολοκληρώνει» το σφάλμα στο χρόνο κατά τον οποίο αυτό διαρκεί. Η σταθερά ολο-



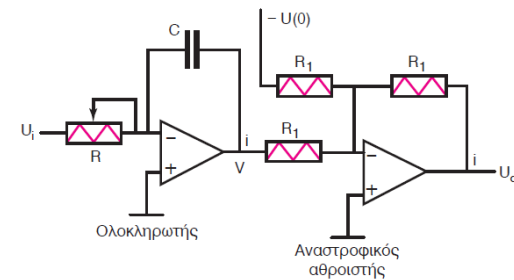
Σχ. 4.5ιγ.

Ηλεκτρονικός αναλογικός ελεγκτής.



Σχ. 4.5ιβ.

Απόκριση ελεγκτή ON-OFF.



Σχ. 4.5ιδ.

Ηλεκτρονικός ελεγκτής επανατάξεως.

κληρώσεως είναι ίση με RC . Η τάση εξόδου ισούται:

$$U_o = \frac{1}{RC} \int U_i dt + U(0) \quad (4.13)$$

Οι τιμές της αντιστάσεως R και του πυκνωτή C ρυθμίζονται έτσι, ώστε ο ρυθμός μεταβολής της εξόδου του ελεγκτή, όταν το σφάλμα παραμένει σταθερό, να είναι ο επιθυμητός για την κάθε περίπτωση ελέγχου. Αν η τιμή του $1/RC$ είναι πολύ μεγάλη, η έξοδος του ελεγκτή αυξάνει με γρήγορο ρυθμό, δημιουργείται *υπερύψωση* (overshoot) ως προς την επιθυμητή τιμή και η απόκλιση καταλήγει σε ταλάντωση.

3) Ηλεκτρονικός ελεγκτής ρυθμού (D).

Η εξίσωση του ελεγκτή ρυθμού είναι:

$$U_o = \pm R_2 C \frac{dU_i}{dt} + U(0) \quad (4.14)$$

όπου:

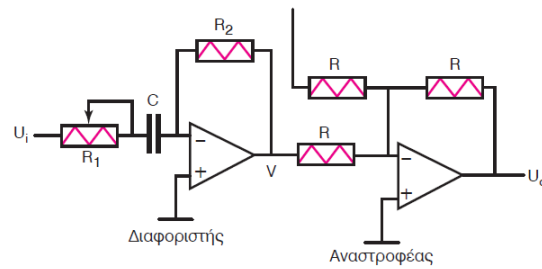
$R_2 C$ η *σταθερά παραγώγου* (derivative constant).

Το πρώτο μέρος αυτού του ελεγκτή (σχ. 4.5ιε) αποτελείται από το διαφοριστή τελεστικό ενισχυτή, ενώ το δεύτερο αποτελείται από τον αναστροφέα-αθροιστή. Σκοπός της αντιστάσεως R_1 στην είσοδο του κυκλώματος είναι η εξασφάλιση ευστάθειας στο όλο κύκλωμα, όταν το σήμα σφάλματος U_i μεταβάλλεται ραγδαία. Η τιμή της επιβάλλεται κατά τρόπο ώστε, για μεγάλες συχνότητες f το γινόμενο $2\pi f R_1 C \ll 1$.

Όλοι οι παραπάνω ηλεκτρονικοί ελεγκτές μπορούν να συνδυαστούν για την κατασκευή συνθέτων ελεγκτών τύπου PI, PD, PID (σχ. 4.5ιστ).

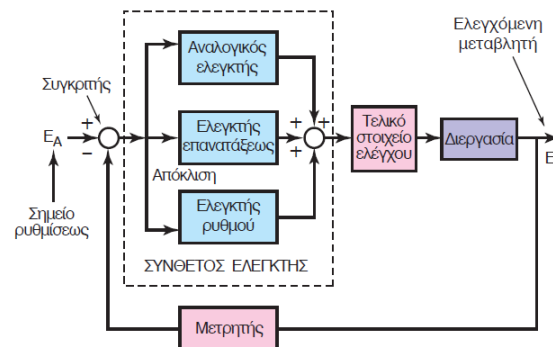
4.5.4 Ψηφιακοί ελεγκτές.

Οι πρώτοι ελεγκτές κατασκευάζονταν με αναλογικές τεχνικές και περιείχαν πνευματικά ή υδραυλικά στοιχεία, όπως φουσερά, βαλβίδες, έμβολα κλπ. Οι ηλεκτρονικοί ελεγκτές με τελεστικούς ενισχυτές χρησιμοποιήθηκαν πολύ αργότερα. Στα μέσα της δεκαετίας του '60 εμφανίστηκαν οι πρώτοι ψηφιακοί ελεγκτές σε σχήμα και λειτουργικότητα ακριβώς όμοια με τους προγενέστερους αναλογικούς ελεγκτές, τους οποίους και αντικατέστησαν. Με την εμφάνιση των μικροεπεξεργαστών στα μέσα της δεκαετίας του '70, ο χώρος του αυτόματου ελέγχου άλλαξε ριζικά και οι ελεγκτές εμφανίστηκαν πλέον σε μορφή λογισμικού. Η ευκολία προγραμματισμού, η ευελιξία που προσφέρει το λογισμικό καθώς και η μεγάλη τα-



Σχ. 4.5ιε.

Ηλεκτρονικός ελεγκτής ρυθμού (D).



Σχ. 4.5ιστ.

Σύνθετος ελεγκτής τριών όρων.

χύτητα επεξεργασίας των συγχρόνων επεξεργαστών, επιτρέπουν τη χρήση συνθέτων αλγορίθμων ελέγχου και ελεγκτών, κάτι που ήταν αδιανόητο πριν λίγα μόνο χρόνια. Οι ψηφιακοί ελεγκτές με τη μεγάλη ακρίβεια και αξιοπιστία, αποτελούν πλέον τον πυρήνα του αυτόματου ελέγχου. Σταδιακά οι ελεγκτές ενσωματώθηκαν στους προγραμματιζόμενους λογικούς ελεγκτές (PLC) αποτελώντας το θεμελιώδες στοιχείο του βιομηχανικού αυτοματισμού.

Οι κυριότερες εφαρμογές των ψηφιακών ελεγκτών είναι οι ακόλουθες:

1) Συλλογή δεδομένων (Data Acquisition System – DAS).

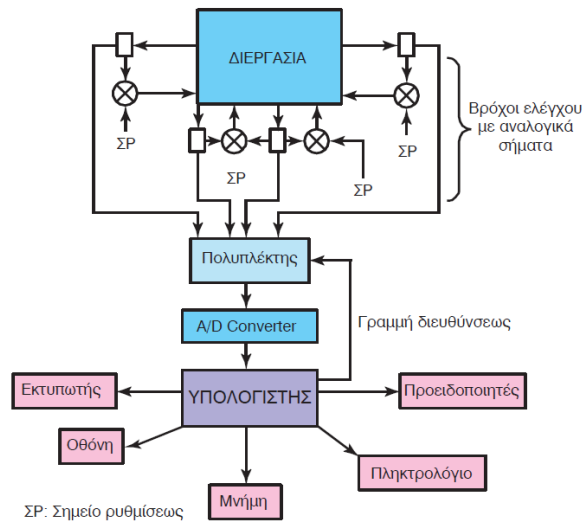
Για να μεγιστοποιηθεί η αποδοτικότητα της παραγωγής, είναι απαραίτητο να υπάρχει λεπτομερής γνώση όλων των παραμέτρων της παραγωγής (ρυθμός παραγωγής, κόστος πρώτων υλών κ.ά.). Παλιά αυτό γινόταν από τους μηχανικούς παραγωγής μετά από κάθε κύκλο παραγωγής, με αποτέλεσμα οι διάφορες διορθωτικές βελτιώσεις να γίνονται στους μελλοντικούς κύκλους παραγωγής.

Στο σχήμα 4.5ιζ παρουσιάζεται η γενική διάταξη ενός συστήματος που χρησιμοποιεί τον υπολογιστή για τη συλλογή δεδομένων ελέγχου. Αποτελείται από τέσσερις βρόχους ελέγχου, με τέσσερις συγκριτές και αντίστοιχα σημεία ρυθμίσεως. Οι τέσσερις ελεγχόμενες μεταβλητές εμποτεύονται συνεχώς από μετρητές, τα σήματα των οποίων εισάγονται σε έναν **πολυπλέκτη** (multiplexer). Ο πολυπλέκτης με εντολές από τον υπολογιστή μέσω της **γραμμής διεύθυνσης** (address line) ελέγχει και κατευθύνει τα διάφορα σήματα από τους μετρητές προς τον υπολογιστή. Σήμερα ένας ψηφιακός πολυπλέκτης μπορεί να παίρνει πάνω από 5000 δείγματα το δευτερόλεπτο, από διάφορες εισόδους. Η μορφή των σημάτων είναι αναλογική. Για αυτό παρεμβάλλεται μεταξύ του πολυπλέκτη και του υπολογιστή ένας **αναлого-ψηφιακός μετατροπέας** (A/D Converter), ο οποίος μετατρέπει τα σήματα αυτά σε ψηφιακής μορφής, για να μπορεί να τα επεξεργασθεί ο υπολογιστής. Ο υπολογιστής εκτελεί διαδοχικά και με μεγάλη ταχύτητα διάφορες εργασίες. Κάποιες φορές, ο υπολογιστής πρέπει να εκτελέσει ορισμένες εργασίες σχεδόν ταυτόχρονα, πράγμα που σημαίνει ότι πολλοί είσοδοι σημάτων πρέπει να αποθηκευθούν με κάποια σειρά. Η δειγματοληψία αυτή επιτυγχάνεται από τον αναλογικό πολυπλέκτη, οποίος αποτελείται από έναν αριθμό διακοπών που δρουν με κατ' ευθείαν εντολή από τον υπολογιστή, μέσω της γραμμής διεύθυνσης. Ο αναλογικός πολυπλέκτης συνδέεται με τον υπολογιστή μέσω ενός αναлого-ψηφιακού μετατροπέα. Ο μετατροπέας αυτός πρέπει να λειτουργεί με μεγάλη ταχύτητα για να μπορεί να παρακολουθεί τη μεγάλη ταχύτητα του πολυπλέκτη. Ένα σημαντικό εξάρτημα στο σύστημα είναι και οι **προειδοποιητές**. Ο ρόλος τους είναι να παρακολουθούν τις τιμές των εισόδων. Όταν αυτές υπερβούν τα επιτρεπτά όρια, θέτουν σε λειτουργία διάφορα συστήματα συναγερμού. Τέλος, υπάρχουν και οι **περιφερειακές συσκευές** (peripheral units), οι οποίες υποστηρίζουν και ολοκληρώνουν την λειτουργία του συστήματος. Σε αυτές περιλαμβάνονται το πληκτρολόγιο, η οθόνη, ο εκτυπωτής, το σύστημα αποθηκεύσεως δεδομένων (μνήμη), το οποίο περιλαμβάνει σκληρούς δίσκους και μαγνητικές ταινίες.

2) Εποπτικός έλεγχος.

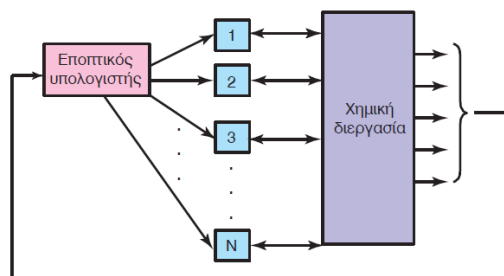
Στην περίπτωση συλλογής δεδομένων, ο υπολογιστής δεν έχει άμεσα ενεργό ρόλο, γιατί συλλέγει τις

διάφορες πληροφορίες, τις οποίες επεξεργάζεται αργότερα. Ωστόσο ο υπολογιστής μπορεί να έχει ενεργό ρόλο στον έλεγχο, να παράγει διορθωτικά σήματα και να έχει τη δυνατότητα να ρυθμίζει διάφορα **σημεία ρυθμίσεως** (set points). Η διαδικασία αυτή λέγεται **εποπτικός έλεγχος με υπολογιστή** (computer supervisory control) (σχ. 4.5ιη). Χρησιμοποιείται ευρέως σε χημικές διεργασίες, για τη μεγιστοποίηση της αποδόσεως σε κατανάλωση ενέργειας ή πρώτων υλών, μεγιστοποίηση κερδών παραγωγής κ.ά. Έτσι ένας υπολογιστής εμποτεύει και συντονίζει τη λειτουργία πολλών βρόχων ελέγχου, αποφασίζοντας για τις καλύτερες τιμές των σημείων ρυθμίσεως των διαφόρων βρόχων.



Σχ. 4.5ιζ.

Σύστημα συλλογής δεδομένων με υπολογιστή.



Σχ. 4.5ιη.

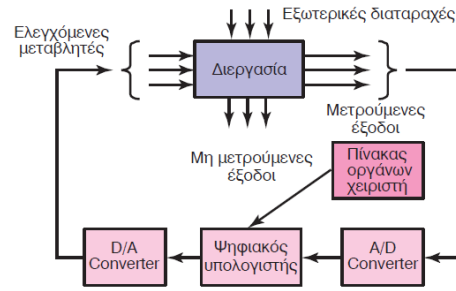
Εποπτικός έλεγχος με υπολογιστή χημικής διεργασίας.

3) Άμεσος ψηφιακός έλεγχος (Direct Digital Control, DDC).

Στην περίπτωση αυτή (σχ. 4.5ιθ) έχουμε στη θέση του ελεγκτή τον ψηφιακό υπολογιστή ή μικροεπεξεργαστή. Στη μέθοδο αυτή οι ψηφιακές εισόδους, που αντιπροσωπεύουν τις μεταβλητές της διεργασίας, συγκρίνονται από τον υπολογιστή με τις προκαθορισμένες στο λογισμικό έλεγχου επιθυμητές τιμές και με βάση τις λύσεις των εξισώσεων έλεγχου για κάθε περίπτωση, εκπέμπονται διορθωτικά σήματα στα τελικά στοιχεία ελέγχου. Οι αναλογικοί βρόχοι ελέγχου δεν υφίστανται πλέον, ενώ τα **σημεία ρυθμίσεως** (set points) έχουν εισαχθεί στο λογισμικό έλεγχου, όπου συγκρίνονται με τις μετρούμενες δυναμικές μεταβλητές.

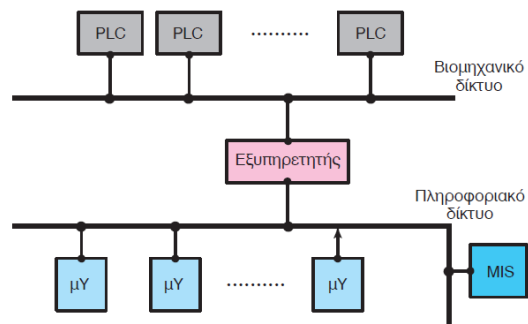
4) Συστήματα συλλογής δεδομένων και εποπτικού ελέγχου (Supervisory Control & Data Acquisition – SCADA).

Η τελευταία λέξη στον ηλεκτρονικό ψηφιακό έλεγχο είναι τα **συστήματα συλλογής δεδομένων και εποπτικού ελέγχου** (SCADA) (σχ. 4.5κ). Το σύστημα SCADA αποτελείται από δύο ανεξάρτητα δίκτυα: το **πρώτο**, που περιέχει τους **προγραμματιζόμενους λογικούς ελεγκτές** (PLC), είναι ένα **βιομηχανικό δίκτυο** (industrial network), στην κορυφή του οποίου είναι ένας εξυπηρετητής. Ο εξυπηρετητής είναι συνήθως ένας σταθμός εργασίας με λειτουργικό σύστημα **πολλαπλών εργασιών** (multitasking) όπως το UNIX, Windows-NT κ.ά. ή ένας μικροϋπολογιστής μεγάλης ισχύος και χωρητικότητας με το ίδιο λειτουργικό σύστημα. Εκτός από τον έλεγχο των επικοινωνιών του βιομηχανικού δικτύου ο εξυπηρετητής περιέχει και μια **βάση δεδομένων** (data base) **πραγματικού χρόνου** (real time), όπου αποθηκεύονται όλα τα δεδομένα που συλλέγονται από τους PLC. Αυτοί που είναι άμεσα συνδεδεμένοι με τη διεργασία και με μια **σχεσιακή βάση δεδομένων** (relational data base), η οποία περιλαμβάνει όλες τις πληροφορίες που είναι απαραίτητες για τη λειτουργία του συστήματος. Ο άλλος ρόλος του εξυπηρετητή είναι να εξυπηρετεί τα διάφορα μικροϋπολογιστικά συστήματα, που είναι συνδεδεμένα σε ένα **δεύτερο** και ανεξάρτητο **πληροφοριακό δίκτυο** (information network) υψηλής ταχύτητας. Η αρχιτεκτονική του δικτύου είναι η κλασική **εξυπηρετητή-πελάτη** (client-server), που συνηθίζεται στα σύγχρονα καταναμεμένα πληροφοριακά συστήματα. Κάθε μικροϋπολογιστής στο πληροφοριακό δίκτυο έχει το κατάλ-



Σχ. 4.5ιθ.

Τυπική διάταξη άμεσου ψηφιακού ελέγχου.



Σχ. 4.5κ.

Σύστημα συλλογής δεδομένων και εποπτικού ελέγχου.

λογο λογισμικό εφαρμογής και εκτελεί τις διζές του εφαρμογές ανεξάρτητα των άλλων και ανάλογα με τις απαιτήσεις του συγκεκριμένου χειριστή. Έτσι κάθε χειριστής του συστήματος SCADA έχει το δικό του μικροϋπολογιστικό σύστημα, μέσω του οποίου μπορεί να ανακαλέσει πληροφορίες που είναι αποθηκευμένες στον εξυπηρετητή, να τις επεξεργασθεί και να τις απεικονίσει κατάλληλα. Έτσι εισάγεται η φιλοσοφία της κατανεμημένης παρακολούθησως μιας παραγωγικής διεργασίας από πολλούς χειριστές σε διάφορα σημεία της διεργασίας αντί της συγκεντρωτικής παρακολούθησως σε μια κεντρική αίθουσα ελέγχου. Τέλος, το σύστημα SCADA έχει τη δυνατότητα να συνδεθεί με το ανεξάρτητο **πληροφοριακό σύστημα διοικήσεως της επιχειρήσεως** (Management Information System– MIS).

4.6 Ερωτήσεις.

1. Ποιος είναι ο σκοπός του ελεγκτή σε ένα σύστημα ελέγχου;

2. Τι γνωρίζεται για τον έλεγχο μοναδικού βρόχου;
3. Τι γνωρίζεται για το διαδοχικό έλεγχο; Περιγράψτε ένα παράδειγμα.
4. Τι ονομάζουμε πειραματικό συντονισμό εντός γραμμής; Σε τι πλεονεκτηεί έναντι άλλων μεθόδων συντονισμού;
5. Σχεδιάστε και εξηγήστε τη χαρακτηριστική καμπύλη ενός πρακτικού αναλογικού ελεγκτή με απαλό κορεσμό.
6. Τι επιτυγχάνεται με την προσθήκη του ολοκληρωτικού όρου I;
7. Σχεδιάστε τη διορθωτική δράση του όρου D;
8. Ποια είναι η εξίσωση του PID; Εξηγήστε την.
9. Ποια είναι η λειτουργία του απλού αναλογικού ηλεκτρικού ελεγκτή (σχεδιασμός);
10. Σχεδιάστε το εξωτερικό πλαίσιο ενός κλασικού ηλεκτρονικού ελεγκτή και αναλύστε τα στοιχεία του.
11. Σχεδιάστε έναν ελεγκτή ON-OFF με τελεστικούς ενισχυτές και εξηγήστε τη λειτουργία του.
12. Σχεδιάστε έναν ηλεκτρονικό ελεγκτή επανατάξεως και εξηγήστε τη λειτουργία του.
13. Τι γνωρίζεται για τη συλλογή δεδομένων (DAS);
14. Τι ονομάζουμε άμεσο ψηφιακό έλεγχο (DDC);
15. Ενός συστήματος SCADA σχεδιάστε το διάγραμμα και εξηγήστε τα στοιχεία που το αποτελούν.

9.1. ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ – ΜΕΤΡΗΤΙΚΕΣ ΔΙΑΤΑΞΕΙΣ

ΑΙΣΘΗΤΗΡΙΑ – ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ

Το πρώτο στάδιο κάθε αυτοματισμού είναι η μετατροπή των γεγονότων ή φυσικών μεγεθών, που επηρεάζουν την εξέλιξη της διαδικασίας, σε ηλεκτρικό σήμα. Η μετατροπή αυτή γίνεται με διατάξεις που ονομάζονται **αισθητήρια** (sensors).

Η σύγκριση της τιμής του σήματος με κάποια τιμή που θεωρούμε αυθαίρετα σαν μονάδα, ονομάζεται **μέτρηση**.

Η σημασία της ακριβούς μέτρησης είναι μεγάλη στα κυκλώματα αυτοματισμού, αφού αυτή καθορίζει την πορεία του ελέγχου. Μόνο με σωστές μετρήσεις μπορούμε να έχουμε σωστό έλεγχο.

Στο κεφάλαιο αυτό θα παρουσιάσουμε τις βασικές παραμέτρους των μετρήσεων, όπως είναι οι μονάδες μέτρησης, η ακρίβεια της μέτρησης, η ανοχή, κ.λ.π. Θα αναφέρουμε, επίσης, τις βασικές κατηγορίες αισθητηρίων, καθώς και τα κυριότερα χαρακτηριστικά τους, όπως η ευαισθησία, η συνάρτηση μεταφοράς τους, η καμπύλη ρύθμισης, κ.λ.π.

ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ

Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως **μέτρηση** είναι η σύγκριση ενός μεγέθους A , που ονομάζεται μετρούμενο με κάποια τιμή του a , που αυθαίρετα ή κατόπιν συμφωνίας θεωρούμε σαν μονάδα.

Δηλαδή ισχύει

$$A = v \cdot a$$

Όπου v είναι αριθμητικά η τιμή της μέτρηση σε μονάδες που καθορίζει το a .

Μονάδες και συστήματα μονάδων

Τα συστήματα μονάδων χωρίζονται σε δύο ομάδες:

- Τις θεμελιώδεις μονάδες, που αναπαρίστανται με πρότυπα μέτρα και σταθμά
- Τις παράγωγες μονάδες, που ορίζονται με βάση τις θεμελιώδεις.

Οι μονάδες μέτρησης ορίζονται σε κάθε χώρα με νομοθεσία που παίρνει υπ' όψιν της τις διεθνείς συμβάσεις, ώστε να υπάρχει τυποποίηση των μονάδων σε διεθνή κλίμακα. Σήμερα χρησιμοποιείται το Διεθνές Σύστημα μονάδων (System International - SI), που έχει σαν θεμελιώδεις μονάδες:

- Το μέτρο – m , για το μήκος
- Το χιλιόγραμμο – Kgr , για τη μάζα
- Το δευτερόλεπτο – sec , για το χρόνο
- Το Αμπέρ – A , για την ένταση του ρεύματος
- Τον βαθμό Κέλβιν - $^{\circ}K$, για τη θερμοκρασία
- Το κηρίο – cd , για την ένταση του φωτός

Οι παράγωγες μονάδες προκύπτουν από τις βασικές με την βοήθεια των τύπων της φυσικής και των μαθηματικών.

Οι διάφορες μονάδες μπορούν να χρησιμοποιηθούν με πολλαπλάσια ή υποπολλαπλάσια. Στον Πίνακα 1 εικονίζονται τα πολλαπλάσια και τα υποπολλαπλάσια των μονάδων.

ΠΙΝΑΚΑΣ 1

ΥΠΟΠΟΛΛΑΠΛΑΣΙΑ			ΠΟΛΛΑΠΛΑΣΙΑ		
συμβολο	ονομα	μεγεθος	συμβολο	ονομα	μεγεθος
m	μιλι	10^{-3}	K	κιλο	10^3
μ	μικρο	10^{-6}	M	μεγα	10^6
n	νανο	10^{-9}	G	γιγα	10^9
p	πικο	10^{-12}	T	τερα	10^{12}

Στις ηλεκτρικές μετρήσεις θα συναντήσουμε συχνά ένα σύνολο από παράγωγα μεγέθη. Τα κυριότερα από αυτά είναι:

- Το φορτίο με μονάδα το Κουλόμπ (Coulomb)-Cb . Πιο συχνά χρησιμοποιείται το $mCb=10^{-3}Cb$ ή το $\mu Cb=10^{-6}Cb$.
- Η τάση με μονάδα το Βόλτ (Volt) - V.
- Η αντίσταση με μονάδα το Ωμ (Ohm)-Ω . Πιο συχνά χρησιμοποιείται το $K\Omega=10^3\Omega$ και το $M\Omega=10^6\Omega$
- Η χωρητικότητα με μονάδα το Φαράντ (Farad)-F. Πιο συχνά χρησιμοποιείται το $\mu F=10^{-6}F$

Επίσης μια πολύ σημαντική μονάδα, που χρησιμοποιείται κυρίως σε κυκλώματα ενίσχυσης, είναι το ντεσιμπέλ (decibel - dB) και εκφράζεται από το λογάριθμο του πηλίκου δύο ομοειδών μεγεθών.

Για την ισχύ ορίζεται:

$$1dB = 10 \log \frac{P_1}{P_2}$$

ενώ για την τάση και την ένταση του ρεύματος ισχύει:

$$1dB = 20 \log \frac{U_1}{U_2} = 20 \log \frac{I_1}{I_2}$$

Μέθοδοι Μετρήσεων

Στις ηλεκτρονικές μετρήσεις χρησιμοποιούμε κυρίως τρεις μεθόδους μετρήσεων. Αυτές είναι:

- Μέθοδος σύγκρισης. Στη μέθοδο αυτή το μετρούμενο μέγεθος συγκρίνεται με ένα "πρότυπο" μέγεθος. Τυπικό παράδειγμα της μεθόδου αυτής είναι η μέτρηση μάζας με μια ζυγαριά και η μέτρηση ηλεκτρικών μεγεθών με γέφυρα. Σκοπός της μέτρησης είναι να επιτευχθεί ισορροπία ανάμεσα στο μετρούμενο μέγεθος και στο πρότυπο..
- Μέθοδος άμεσης εκτίμησης. Με τη μέθοδο αυτή παίρνουμε το αποτέλεσμα της μέτρησης από ένα όργανο μέτρησης, που είναι βαθμονομημένο σε μονάδες του μετρούμενου μεγέθους, με τη βοήθεια πρότυπων μεγεθών. Παράδειγμα της μεθόδου αυτής είναι η μέτρηση τάσης με βολτόμετρο. Έχει μικρότερη ακρίβεια από την προηγούμενη μέθοδο.
- Διαφορική μέθοδος. Είναι τροποποίηση της πρώτης μεθόδου. Εδώ δίνεται με άμεση εκτίμηση η διαφορά του μετρούμενου μεγέθους και ενός γνωστού (μέτρου). Παράδειγμα της μεθόδου αυτής είναι η μέτρηση της τιμής μιας αντίστασης με γέφυρα.

Σφάλματα μετρήσεων - ακρίβεια μέτρησης

Κατά την διεξαγωγή μιας μέτρησης, είναι σχεδόν αναπόφευκτη η ύπαρξη σφάλματος. Τα σφάλματα αυτά μπορεί να οφείλονται σε:

- Αίτια που προέρχονται από την υπό μέτρηση διαδικασία
- Εξωτερικά αίτια - Θόρυβο
- Ατέλειες του οργάνου μέτρησης
- Λάθος ανάγνωση του οργάνου μέτρησης από τον χρήστη

Τα σφάλματα ταξινομούνται στις εξής κατηγορίες:

- Συστηματικά σφάλματα. Είναι σταθερά και επαναλαμβανόμενα σφάλματα, που συνήθως οφείλονται στην κατασκευή και βαθμολόγηση του οργάνου ή στο περιβάλλον της μέτρησης.
- Τυχαία σφάλματα. Έχουν ασταθή χαρακτήρα και δεν μπορούν να προσδιοριστούν εύκολα. Συνήθως ελαχιστοποιείται η επίδρασή τους με επανάληψη της μέτρησης.
- Άστοχα σφάλματα. Είναι τα σφάλματα που οφείλονται στον ανθρώπινο παράγοντα.

Τα είδη των σφαλμάτων είναι τα εξής :

- Απόλυτο σφάλμα. Ισούται με τη διαφορά ΔX μεταξύ της μετρούμενης τιμής X και της πραγματικής τιμής X_0 .
 $\Delta X = X - X_0$
- Σχετικό σφάλμα. Ισούται με το λόγο του απόλυτου σφάλματος ΔX προς την πραγματική τιμή X_0 .

$$\gamma = \frac{\Delta X}{X_0}$$

Το σφάλμα αυτό συνήθως εκφράζεται ως ποσοστό στα εκατό (%)

Από το απόλυτο ή το σχετικό σφάλμα μπορούμε να εκτιμήσουμε την ακρίβεια της μέτρησης. Σαν ακρίβεια a ορίζουμε το πηλίκο του απόλυτου σφάλματος προς τη μέγιστη ένδειξη της κλίμακας

$$a = \frac{\Delta X}{X_{\max}}$$

Έτσι αν π.χ. χρησιμοποιούμε ένα θερμόμετρο χώρου μέγιστης ένδειξης 80°C , το οποίο όταν η θερμοκρασία είναι 25°C , δείχνει 26°C , τότε:

Απόλυτο σφάλμα : $\Delta T = T - T_0 = 26 - 25 = 1^{\circ}\text{C}$

Σχετικό σφάλμα : $\gamma = \frac{\Delta T}{T_0} = \frac{1}{25} = 0.04$ ή 4%

Ακρίβεια : $a = \frac{\Delta T}{T_{\max}} = \frac{1}{80} = 0.0125$ ή 1.25%

Όπως είναι φανερό, μεγαλύτερη ακρίβεια προκύπτει προς το τέλος της κλίμακας μέτρησης. Πρακτικά τα όργανα χρησιμοποιούνται για μετρήσεις στο τελευταίο τρίτο της κλίμακας. Μετρήσεις στην αρχή της κλίμακας περιέχουν μεγάλο σχετικό σφάλμα.

9.2. ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ – ΜΕΤΡΗΤΙΚΕΣ ΔΙΑΤΑΞΕΙΣ

3.1 Εισαγωγή.

Μετά τη θεωρητική ανάλυση των συστημάτων αυτομάτου ελέγχου, προχωρούμε στην ανάλυση των εξαρτημάτων που περιέχονται σε ένα σύστημα ελέγχου. Τα εξαρτήματα που περιλαμβάνονται σε ένα σύστημα αυτομάτου ελέγχου είναι τα ακόλουθα:

- Ο **αισθητήρας** που είναι διάταξη όπου μετατρέπει μια μη ηλεκτρική φυσική ή χημική ποσότητα σε ηλεκτρικό σήμα. Τέτοιες διατάξεις λέγονται **μορφομετατροπείς** (transducers) ή **μετρητές** (detectors).
- Οι διατάξεις συγκρίσεως σημάτων εισόδου και εξόδου, οι οποίοι ονομάζονται **συγκριτές** (comparators).
- Οι διατάξεις που ενισχύουν την ισχύ των σημάτων, ώστε να εξασφαλίζουν την αξιοπιστία του σήματος και ονομάζονται **ενισχυτές** (amplifiers).
- Οι διατάξεις που επιτυγχάνουν εξίσωση της επιθυμητής και της πραγματικής εξόδου του συστήματος και ονομάζονται **ενεργοποιητές** (actuators) ή **ελεγκτές** (controllers).

Οι παραπάνω διατάξεις αποτελούνται από απλά ή σύνθετα ηλεκτρικά, ηλεκτρονικά, μηχανικά και πνευματικά συστήματα.

3.2 Ηλεκτρικά και ηλεκτρομηχανολογικά εξαρτήματα.

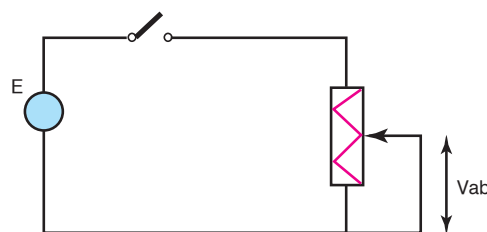
3.2.1 Ποτενσιόμετρο για τη μέτρηση της τάσεως.

Η μέτρηση τάσεων στα συστήματα ελέγχου απαιτεί συχνά μεγάλη ακρίβεια, όταν η σύνθετη αντίσταση του κυκλώματος προς μέτρηση είναι υψηλή. Το κύκλωμα του ποτενσιόμετρου είναι ένας βαθμονομημένος διαιρέτης τάσεων κινούμενου δρομέα, που μετράει μια άγνωστη τάση με αντιστάθμιση. Αυτό που διαφοροποιεί το ποτενσιόμετρο από το διαιρέτη τάσεως είναι το ότι αντί να υπάρχουν δύο σταθερές αντιστάσεις, υπάρχει μία μόνο αντίσταση με κυλιόμενη επαφή (σχ. 3.2α). Η αντίσταση κατασκευά-

ζεται από ισοπαχές ομογενές σύρμα τυλιγμένο σε κύλινδρο από μονωτικό υλικό. Λόγω του τρόπου κατασκευής της αντιστάσεως του ποτενσιόμετρου, η αντίσταση μεταξύ της επαφής και του ενός άκρου του ποτενσιόμετρου είναι ανάλογη της απόστασης της επαφής από το άκρο αυτό. Για να πάρουμε διάφορες τιμές τάσεως από μια πηγή E χρησιμοποιούμε το ποτενσιόμετρο. Η τάση V_{ab} είναι ανάλογη με την αντίσταση R_{ab} που αντιστοιχεί στο τμήμα ab και συνεπώς ανάλογη με την απόσταση της επαφής από το άκρο b του ποτενσιόμετρου. Έτσι μπορούμε να μετρήσουμε τάσεις μεταξύ $0-E$ Volt.

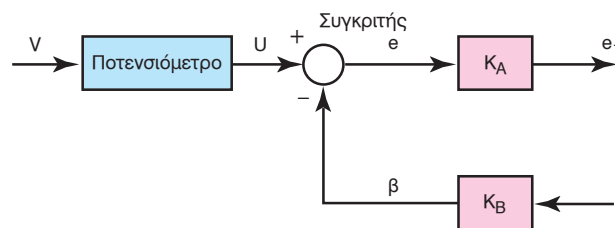
3.2.2 Ποτενσιόμετρο για μέτρηση σφάλματος (συγκριτής).

Τα ποτενσιόμετρα χρησιμοποιούνται στα συστήματα αυτομάτου ελέγχου και ως συγκριτές. Ο μετρητής σφάλματος αποτελείται από το συγκριτή και δύο ενισχυτές, οι οποίοι ενισχύουν τα σήματα της αναδράσεως και της ενεργοποίησεως. Στο σχήμα 3.2β φαίνεται η συνδεσμολογία του ποτενσιόμετρου



Σχ. 3.2α.

Κύκλωμα ποτενσιόμετρου.



Σχ. 3.2β.

Λειτουργικό διάγραμμα μετρητού σφάλματος.

για τη μέτρηση του σήματος σφάλματος. Η σύγκριση των σημάτων U και β γίνεται με αλγεβρική επαλληλία των διαφορών δυναμικού U και β στο κύκλωμα του ποτενοσιόμετρου και των δύο ενισχυτών. Χρησιμοποιώντας το νόμο Kirchhoff, που διατυπώνει το γεγονός ότι το αλγεβρικό άθροισμα των τάσεων γύρω από ένα βρόχο ισούται με το μηδέν, έχουμε:

$$\beta + e - U = 0 \quad \text{ή} \quad U - \beta = e \quad (3.1)$$

Η παραπάνω σχέση περιγράφει τη λειτουργία του συγκριτή.

3.2.3 Μορφομετατροπείς.

Οι **μορφομετατροπείς** (transducers) είναι διατάξεις με τις οποίες η ενέργεια μετατρέπεται από μία μορφή σε άλλη. Στα συστήματα ελέγχου οι μορφομετατροπείς με τη μεγαλύτερη εφαρμογή είναι αυτοί που μετατρέπουν μη-ηλεκτρικά φυσικά μεγέθη σε ηλεκτρικό σήμα. Κάθε μία από τις τέσσερις μορφές ενέργειας (φως, θερμότητα, μηχανική ενέργεια και χημική ενέργεια) παρουσιάζουν διάφορες φυσικές ιδιότητες, οι οποίες μπορούν να γίνουν αισθητές από τους κατάλληλους μορφομετατροπείς. Τα πλεονεκτήματα της μετατροπής των μη ηλεκτρικών μεγεθών σε ηλεκτρικές ποσότητες είναι:

- Η ευκολία αποθηκεύσεως που έχει η ηλεκτρική πληροφορία, για να χρησιμοποιηθεί μετά από ένα χρονικό διάστημα.
- Η ταχύτητα αποκρίσεως και η πολύ υψηλή ευαισθησία ηλεκτρικών και ηλεκτρονικών συσκευών.
- Η δυνατότητα τηλεμετρίας.
- Η ακρίβεια.

Οι μορφομετατροπείς διακρίνονται σε οπτικούς, θερμικούς και πιεζοηλεκτρικούς.

1) Οπτικοί.

Στα συστήματα αυτομάτου ελέγχου χρησιμοποιείται συχνά για διάφορες μετρήσεις το φαινόμενο της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας στο ορατό ή υπέρυθρο φάσμα της. Σε αυτές τις μετρήσεις χρησιμοποιείται η ακτινοβολία, η οποία διακρίνεται σε ορατή ή υπέρυθη. Τέτοιες εφαρμογές είναι η διάταξη μετρήσεως μια μετατοπίσεως με χρησιμοποίηση της αντανάκλασεως της ακτινοβολίας από διάφορες επιφάνειες ή η μέτρηση της θερμοκρασίας ενός υλικού από το φάσμα ακτινοβολίας που εκπέμπει.

Γενικά, ένα σύστημα οπτικού μεταλλάκτη αποτελείται από μια **πηγή** ακτινοβολίας (source) και από ένα **μετρητή** (detector). Η πηγή μετατρέπει ηλεκτρική ενέργεια σε **φωτόνια** (photons). Κάθε φωτόνιο

μεταφέρει ενέργεια που υπολογίζεται από την εξίσωση:

$$W = \frac{hc}{\lambda} \quad (3.2)$$

όπου:

W η ενέργεια του φωτονίου (j),
 h η σταθερά του Planck ($6,63 \cdot 10^{-34}$ j-s),
 λ το μήκος κύματος ακτινοβολίας (m) και
 c η ταχύτητα του φωτός (300.000 m/s).

Στην πράξη χρησιμοποιούνται οι **φωτομετρητές** ή **φωτοαισθητήρες** (photo-detector) που μετατρέπουν τη φωτεινή ενέργεια που δέχονται σε ηλεκτρικό σήμα. Οι μετρητές αυτοί πρέπει να έχουν χαρακτηριστικά συμβατά με εκείνα της πηγής (π.χ. ίδιο φάσμα ακτινοβολίας). Οι περισσότεροι φωτομετρητές περιέχουν διόδους από κρυστάλλους ημιαγωγού, που είναι αδιαφανείς και έχουν την ιδιότητα να απορροφούν φωτεινή ενέργεια σε μορφή φωτονίων. Η ενέργεια των φωτονίων μεταδίδεται στα ηλεκτρόνια του ημιαγωγού, τα οποία διεγείρονται και μετατοπίζονται αφήνοντας τη θέση τους ιονισμένη θετικά (σχ. 3.2γ). Το εσωτερικό ηλεκτρικό πεδίο της διόδου συσσωρεύει τα θετικά ιόντα στη μια μεριά της διόδου και τα ηλεκτρόνια στην άλλη, δημιουργώντας διαφορά δυναμικού ανάλογη προς την ένταση της ακτινοβολίας που πέφτει στη διόδο, σύμφωνα με τη σχέση:

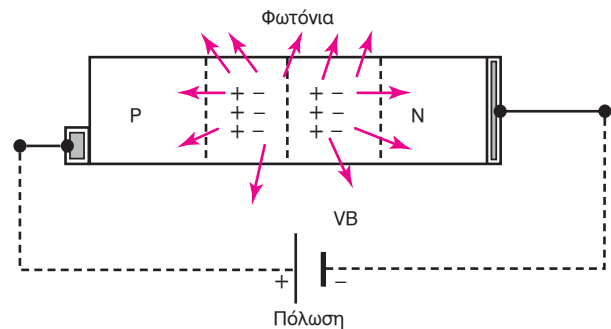
$$U = U_0 \ln (I) \quad (3.3)$$

όπου:

I η ένταση ακτινοβολίας (W/m^2),
 U_0 η σταθερά (V) και
 U η τάση εξόδου χωρίς ηλεκτρικό φορτίο (V).

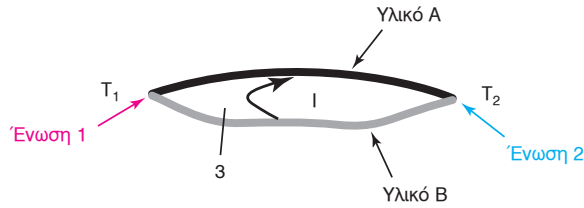
2) Θερμικοί.

Το **θερμοστοιχείο** (thermocouple) είναι μορφομετατροπέας με πολλές εφαρμογές, όπως συστήμα-



Σχ. 3.2γ.

Ηλεκτρονική δομή φωτοαισθητήρα με δίοδο.



Σχ. 3.2δ.
Μορφή θερμοστοιχείου.

τα ελέγχου θερμοκρασίας χώρου κλπ. Η λειτουργία του θερμοστοιχείου, όπως και ενός μεγάλου ποσοστού θερμοηλεκτρικών μετρητών, βασίζεται σε μια «ιδιάζουσα» ηλεκτρική συμπεριφορά ορισμένων μετάλλων ή κραμάτων, όταν μεταβάλλεται η θερμοκρασία τους κάτω από ορισμένες συνθήκες.

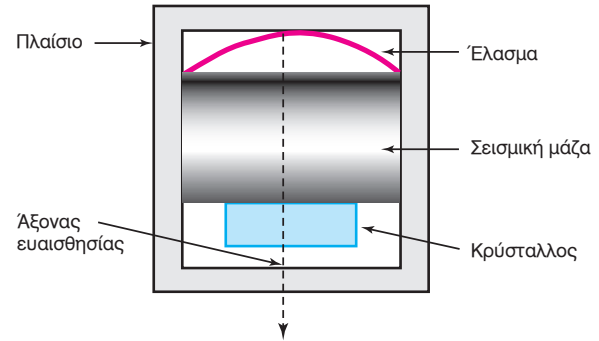
Η αρχή λειτουργίας του θερμοστοιχείου (σχ. 3.2δ) στηρίζεται στο *φαινόμενο Seebeck*. Αν η ένωση 1 βρίσκεται σε θερμοκρασία T_1 και η ένωση 2 σε θερμοκρασία T_2 , θα κυκλοφορήσει ένα ηλεκτρικό ρεύμα μέσα από τα σύρματα, το οποίο προσδιορίζεται από το νόμο του Ohm και είναι η θερμοηλεκτρεγερτική δύναμη που αναπτύσσεται και εξαρτάται από τις θερμοκρασίες T_1 , T_2 και τα υλικά A, B. Η R είναι η ωμική αντίσταση του κυκλώματος. Αν το σύρμα B κοπεί στη θέση 3 και συνδεθεί ένα βολτόμετρο άπειρης εσωτερικής αντίστασης, η ένδειξη του θα είναι ίση με τη θερμοηλεκτρεγερτική δύναμη E. Η πολικότητα της θερμοηλεκτρεγερτικής δύναμης E είναι (+) στο υλικό A και (-) στο υλικό B.

Ένα άλλο φαινόμενο, που επηρεάζει τη λειτουργία του θερμοστοιχείου είναι το φαινόμενο Peltier. Σύμφωνα με αυτό, αν το υλικό A του σχήματος 3.2δ είναι σε πιο υψηλή ενεργειακή στάθμη από εκείνη του B, τότε στην ένωση 1, που τα ηλεκτρόνια κινούνται από το υλικό A προς B, εκλύεται θερμότητα και η ένωση 1 θερμαίνεται. Αντίθετα, η ένωση B ψύχεται, γιατί εκεί εμφανίζεται απορρόφηση θερμότητας. Το φαινόμενο αυτό συμβαίνει οποτεδήποτε περνάει ρεύμα από ένωση δύο υλικών διαφορετικής ενεργειακής στάθμης.

Αν θεωρήσουμε $T_1 > T_2$, τότε το ηλεκτρικό ρεύμα έχει την ίδια φορά μέσα στο υλικό A. Σε αυτήν την περίπτωση εκλύεται θερμότητα. Αντίθετα στο υλικό B, όπου η ροή του ρεύματος και της θερμότητας είναι αντίθετες απορροφάται θερμότητα. Αυτό το φαινόμενο είναι γνωστό ως *φαινόμενο Thomson*.

3) Πιεζοηλεκτρικοί.

Είναι οι μορφομετατροπείς που μετατρέπουν τη μηχανική ενέργεια λόγω πίεσης σε ηλεκτρική. Ένας τέτοιος μορφομετατροπέας είναι ο *πιεζοηλε-*



Σχ. 3.2ε.
Πιεζοηλεκτρικός μετρητής επιταχύνσεως.

παιζοηλεκτρικός μετρητής επιταχύνσεως (piezoelectric accelerometer) (σχ. 3.2ε). Η λειτουργία του βασίζεται στην ιδιότητα που έχουν ορισμένοι κρύσταλλοι να παράγουν τάση, όταν πιέζονται. Ο κρύσταλλος βρίσκεται δίπλα σε μια μάζα η οποία λέγεται *σεισμική μάζα* (seismic mass) και ασκεί πίεση στον κρύσταλλο. Με τη χρησιμοποίηση ενός ελασματος η σεισμική μάζα ασκεί πάντοτε μια μικρή πίεση αναφοράς. Όταν το σύστημα υποβληθεί σε επιτάχυνση, η σεισμική μάζα πιέζει τον κρύσταλλο με δύναμη. Η δύναμη αυτή εξαρτάται από την επιτάχυνση a , σύμφωνα με τη γνωστή σχέση $F=ma$, ενώ παράγεται τάση μεταξύ των δύο άκρων του κρυστάλλου. Η τάση αυτή είναι ανάλογη προς την επιτάχυνση. Ο κρύσταλλος μπορεί να θεωρηθεί ως πηγή τάσεως με πολύ υψηλή σύνθετη αντίσταση. Επομένως, για να μετρήσουμε την τάση αυτή, χρειαζόμαστε ένα ηλεκτρονικό μετρητή χαμηλού θορύβου και υψηλής σύνθετης αντίστασης εισόδου. Η τάση εξόδου του συστήματος είναι μεγέθους μερικών mV. Η ιδιοσυχνότητα των μετρητών αυτών μπορεί να υπερβεί τα 5 kHz, και επομένως οι μετρητές μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε μετρήσεις δονήσεων αντιστοίχων συχνοτήτων.

3.2.4 Συγχρονιστήματα.

Μια σημαντική εφαρμογή των συστημάτων ελέγχου αφορά στον έλεγχο θέσεως, όπως για παράδειγμα, στην περίπτωση που απαιτείται απόλυτος συγχρονισμός της γωνιακής θέσεως ενός άξονα με κάποιο άλλο, οπότε ο συγχρονισμός πρέπει να γίνει χωρίς τη φυσική σύνδεση των δύο αξόνων. Αυτό υλοποιείται με τη βοήθεια ειδικών ηλεκτρικών μηχανών, οι οποίες ονομάζονται *αυτοσύγχρονες μηχανές* ή *σύγχρονα* (synchros). Υπάρχουν τρεις τύποι τέτοιων συστημάτων:

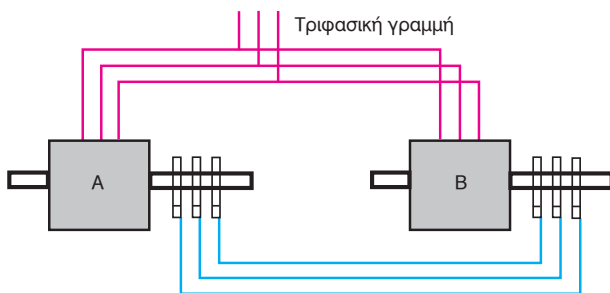
α) Τα τριφασικά σύγχρονα ισχύος για τη μετάδοση μεγάλων ροπών.

β) Τα μονοφασικά ενδείξεως, που χρησιμοποιούνται σε περιπτώσεις μεταδόσεως πολύ ελαφρών ροπών.

γ) Τα συστήματα γεννήτριας-μετασχηματιστή για την ένδειξη απευθυγραμμίσεως των αξόνων, υπό μορφή μεγέθους και πολικότητας τάσεων.

Στην πρώτη περίπτωση ενός τριφασικού συστήματος συγχρονομηχανών (σχ. 3.2στ), τα πρωτεύοντα τυλίγματα τους διεγείρονται από την τριφασική γραμμή, ενώ τα αντίστοιχα δευτερεύοντα τυλίγματα συνδέονται μεταξύ τους. Όταν η μια από τις μηχανές περιστραφεί με τη βοήθεια κάποιου μηχανικού μέσου, προκαλεί περιστροφή και της άλλης μηχανής, με συγχρονισμό των δύο, σαν να ήταν ενωμένοι οι άξονές τους. Τέτοια συστήματα εφαρμόζονται σε ανυψωτικούς κινητήρες γερανών, σε τυπογραφικές πρέσες κ.ά.

Ο συγχρονισμός δύο ηλεκτρικών μηχανών επιτυγχάνεται και με μονοφασικές μηχανές. Τα τυλίγματα των δρομέων της γεννήτριας και του κινητήρα συνδέονται με κοινή τροφοδοτική πηγή τάσεως εναλλασσόμενου ρεύματος. Τα τυλίγματα των στατών, αποτελούνται από τρία τυλίγματα για κάθε στάτη, σε άξονες 120° μεταξύ τους και έχουν συνδεθεί αντίστοιχα. Όταν το ρεύμα επιφέρει «διέγερση» στα τυλίγματα των δρομέων παράγονται τάσεις εξ επαγωγής. Οι τάσεις που παράγονται στα τυλίγματα των στατών της γεννήτριας και του κινητήρα είναι ίσες, με αποτέλεσμα να μην κυκλοφορεί ρεύμα στα τυλίγματα και επομένως να μην αναπτύσσεται ροπή στρέψεως στους δρομείς. Όταν όμως οι γωνιακές θέσεις των δύο δρομέων δεν είναι ίδιες, οι τάσεις που παράγονται στα τυλίγματα των στατών είναι άνισες και έτσι κυκλοφορεί ωφέλιμο ρεύμα. Τα μαγνητικά πεδία σε συνδυασμό με το ρεύμα αυτό παράγουν ροπές στρέψεως που τείνουν να τοποθετήσουν τους δρομείς στην ίδια γωνία. Τα μονοφασικά συστήματα συγχρονισμού



Σχ. 3.2στ.

Σύστημα τριφασικών συγχρονομηχανών.

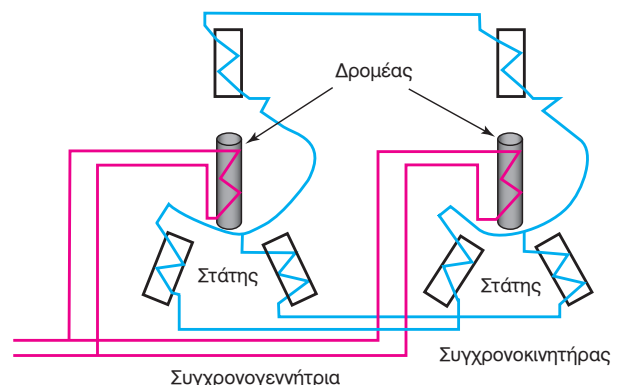
έχουν αρκετές εφαρμογές όπως ο έλεγχος της γωνιακής θέσεως μιας περιστρεφόμενης κεραίας τηλεοράσεως από το δωμάτιο που λειτουργεί ο δέκτης, ο έλεγχος των κινητών περυγίων των αεροσκαφών κλπ. Μια παραλλαγή του μονοφασικού συστήματος είναι η εισαγωγή ενός **συγχρονοδιαφορικού** (differential synchro) (σχ. 3.2ζ). Στη διάταξη αυτή η περιστροφή του άξονα του διαφορικού είναι συνάρτηση της διαφοράς των περιστροφών των δύο άλλων αξόνων. Το συγχρονοδιαφορικό ενεργεί σαν μια διαφορική γεννήτρια. Σε ρυθμίσεις μεγάλης ακρίβειας της γωνιακής θέσεως ενός περιστρεφόμενου άξονα είναι απαραίτητο να αναπτύσσονται μεγάλες ροπές στρέψεως. Τα συγχρονοσυστήματα που παράγουν τέτοιες ροπές έχουν μικρή ακρίβεια ως προς την επιθυμητή γωνιακή θέση του άξονα. Στην περίπτωση αυτή, χρησιμοποιούμε ένα ειδικό συγχρονοσύστημα στο οποίο παράγεται τάση, το πλάτος της οποίας είναι συνάρτηση της διαφοράς των γωνιακών θέσεων των δύο αξόνων. Λέγεται **τάση σφάλματος** (error voltage), επειδή η ελεγχόμενη γωνιακή θέση παρουσιάζει σφάλμα. Η τάση αυτή ενεργοποιεί άλλα εξαρτήματα που διορθώνουν το σφάλμα.

3.2.5 Σερβοκινητήρες.

Οι **σερβοκινητήρες** (servomotor) διακρίνονται σε δύο κατηγορίες:

1) Σερβοκινητήρας συνεχούς ρεύματος.

Σε έναν κινητήρα η συνολική ροπή ισούται με το άθροισμα όλων των ροπών που αναπτύσσονται σε κάθε αγωγό. Στον κάθε κινητήρα μπορούν να ρυθμισθούν δύο ποσότητες, η μαγνητική ροή Φ και η ένταση του ρεύματος I_T , που απορροφά το επαγω-



Σχ. 3.2ζ.

Μονοφασικό σύστημα, συγχρονοδιαφορικό.

γικό τύμπανο του κινητήρα. Η κινητήρια ροπή T_K δίνεται από τη σχέση:

$$T_K = K_I \Phi I_T \quad (3.4)$$

Υπάρχουν δύο τρόποι ελέγχου της λειτουργίας ενός σερβοκινητήρα:

α) Έλεγχος από το επαγωγικό τύμπανο.

Εδώ διατηρείται σταθερό το ρεύμα διεγέρσεως του κινητήρα και ρυθμίζεται η τάση που εφαρμόζεται στο **επαγωγικό τύμπανο** (armature voltage). Το σταθερό ρεύμα διεγέρσεως I_δ του κινητήρα παρέχεται συνήθως με μια χωριστή σταθερή πηγή συνεχούς ρεύματος. Η μαγνητική ροή Φ στον κινητήρα είναι ανάλογη με το ρεύμα διεγέρσεως I_δ , δηλαδή:

$$\Phi = K_\delta I_\delta \quad (3.5)$$

όπου: K_δ =σταθερά.

Από τις σχέσεις (3.4) και (3.5) βρίσκουμε:

$$T_K = K_I K_\delta I_\delta I_T \quad (3.6)$$

Η παραπάνω σχέση μπορεί να απλοποιηθεί επειδή τα K_I , K_δ και I_δ είναι σταθερά. Έτσι έχουμε:

$$T_K = K_K I_T \quad (3.7)$$

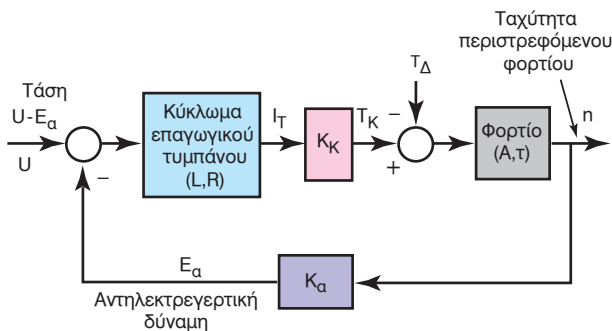
όπου: $K_K = K_I K_\delta I_\delta$ = σταθερά.

Η **ανηλεκτρεγερτική δύναμη** (back emf) του κινητήρα είναι ανάλογη προς την ταχύτητα του κινητήρα, δηλαδή:

$$E_a = K_a n \quad (3.8)$$

Γενικά η ροπή στρέψεως T_Φ , που μεταφέρεται στο φορτίο, δεν είναι ίση με τη ροπή που παράγεται από τον κινητήρα T_K . Όταν υπάρχει **ροπή διαταραχής** T_Δ (disturbance torque), αυτή θα πρέπει να αφαιρεθεί από τη ροπή του κινητήρα, οπότε η ωφέλιμη ροπή είναι:

$$T_\Phi = T_K - T_\Delta \quad (3.9)$$



Σχ. 3.2η.

Λειτουργικό διάγραμμα σερβοκινητήρα ελεγχόμενου από την τάση του επαγωγικού τυμπάνου.

Η ταχύτητα n του περιστρεφόμενου φορτίου συνδέεται με τη ροπή $T_{a\Phi}$ του φορτίου, σύμφωνα με τη διαφορική εξίσωση:

$$T_\Phi = A \frac{dn}{dt} + t_n \quad (3.10)$$

όπου:

A η ροπή αδράνειας του φορτίου, t_n ο συντελεστής περιστροφικής τριβής και dn/dt η γωνιακή επιτάχυνση του κινητήρα.

Στο σχήμα 3.2η συνοψίζονται όλες οι δυναμικές σχέσεις που αφορούν το σερβοκινητήρα, ο οποίος ελέγχεται από την τάση του επαγωγικού τυμπάνου.

β) Έλεγχος από το πεδίο διεγέρσεως.

Εδώ διατηρείται σταθερή η ένταση στο επαγωγικό τύμπανο I_T και ρυθμίζεται η τάση που εφαρμόζεται στο πεδίο διεγέρσεως. Αυτός ο τρόπος ελέγχου παρέχει τα εξής πλεονεκτήματα:

- Ο έλεγχος είναι απλός.
- Είναι σχετικά αποδοτικός γιατί έχει μικρές απώλειες στο κύκλωμα του πεδίου και
- παρέχει ομαλό έλεγχο ταχύτητας, χωρίς διακοπές.

Η ροπή που παράγεται από τον κινητήρα σε αυτό τον τρόπο ελέγχου είναι:

$$T_K = K_I K_\delta I_T I_\delta \quad (3.11)$$

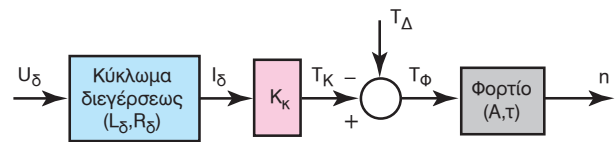
Το ρεύμα του επαγωγικού τυμπάνου παραμένει σταθερό. Έτσι, δεν αναπτύσσεται ανηλεκτρεγερτική δύναμη. Το ρεύμα διεγέρσεως συνδέεται με την τροφοδοτική τάση U_δ του πεδίου διεγέρσεως, σύμφωνα με τη διαφορική εξίσωση:

$$U_\delta = L_\delta [di_\delta/dt] + R_\delta I_\delta \quad (3.12)$$

όπου:

di_δ/dt η ταχύτητα μεταβολής ρεύματος διεγέρσεως I_δ .

Στο σχήμα 3.2θ δίνεται το λειτουργικό διάγραμμα του σερβοκινητήρα ελεγχόμενου από το πεδίο διεγέρσεως. Σε σχέση με τον προηγούμενο τρόπο ελέγχου, παρατηρούμε στο διάγραμμα ότι δεν υπάρχει



Σχ. 3.2θ.

Λειτουργικό διάγραμμα σερβοκινητήρα ελεγχόμενου από το πεδίο διεγέρσεως.

ενδογενής ανατροφοδότηση, επειδή δεν αναπτύσσεται αντηλεκτρεγερτική δύναμη στο τύμπανο.

2) Σερβοκινητήρας εναλλασσόμενου ρεύματος.

Ο σερβοκινητήρας εναλλασσόμενου ρεύματος είναι ένας διφασικός επαγωγικός κινητήρας ο οποίος έχει δύο ανεξάρτητα τυλίγματα στο στάτη του, τοποθετημένα σε γωνία 90° μεταξύ τους (σχ. 3.2ι). Όταν ο διφασικός κινητήρας χρησιμοποιείται ως σερβοκινητήρας, η ταχύτητά του ρυθμίζεται με την τάση εισόδου U . Στην περίπτωση αυτή, η εναλλασσόμενη τάση U στο ένα από τα τυλίγματα είναι σταθερή, ενώ η άλλη τάση ελέγχου U_ϵ είναι μεταβλητή. Όταν αυτή η τάση (U_ϵ) μεταβάλλεται, η ροπή και η ταχύτητα μεταβάλλονται. Στο σχήμα 3.2ια παρουσιάζονται οι χαρακτηριστικές καμπύλες του σερβοκινητήρα, που δείχνουν τη σχέση ροπής-ταχύτητας, για διάφορες εφαρμοζόμενες τάσεις ελέγχου. Όπως φαίνεται για τιμές $U_\epsilon \neq 0$ αναπτύσσεται μεγάλη ροπή, όταν η ταχύτητα είναι μηδέν. Αυτό σημαίνει ότι ο σερβοκινητήρας αυτός μπορεί να αναπτύξει ικανοποιητική επιτάχυνση γρήγορα και να λειτουργεί σε σχετικά μικρές ταχύτητες αναπτύσσοντας μεγάλες ροπές.

3.2.6 Ταχύμετρο.

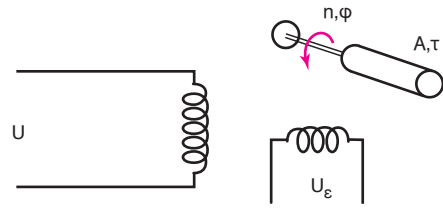
Το **ταχύμετρο** (tachometer), είναι μορφομετατροπέας με πολλές εφαρμογές σε συστήματα ελέγχου θέσεως και ταχύτητας. Χρησιμοποιείται για τη μέτρηση της ταχύτητας ενός περιστρεφόμενου άξονα και τη μετατροπή της σε τάση εναλλασσόμενου ρεύματος σταθερής συχνότητας. Το ταχύμετρο περιέχει ένα μικρό διφασικό κινητήρα (σχ. 3.2ιβ). Το τύλιγμα I δημιουργεί το σταθερό πεδίο και τροφοδοτείται από μια πηγή εναλλασσόμενου ρεύματος με σταθερό πλάτος και συχνότητα. Μια άλλη τάση u_{II} με την ίδια συχνότητα παράγεται στο βοηθητικό τύλιγμα β. Το τύλιγμα II μπορεί να θεωρηθεί ανοικτό κύκλωμα, αφού η τάση του συνδέεται στην είσοδο ενός ενισχυτή με πολύ μεγάλη σύνθετη αντίσταση εισόδου. Σε ιδανικές συνθήκες το πλάτος του σήματος της τάσεως u_{II} είναι γραμμικά ανάλογο με την ταχύτητα του δρομέα. Έτσι, η σχέση που συνδέει τη μετατροπή της περιστροφικής ενέργειας σε ηλεκτρική είναι:

$$u_{II} = K_T \omega \quad (3.13)$$

όπου:

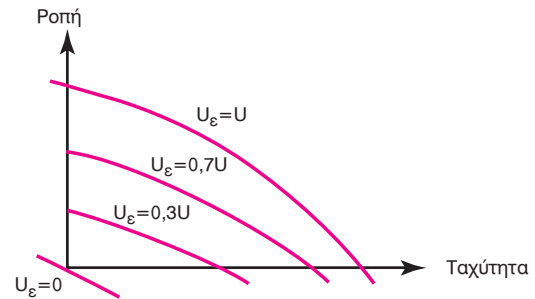
K_T η σταθερά,

ω η γωνιακή ταχύτητα του δρομέα.



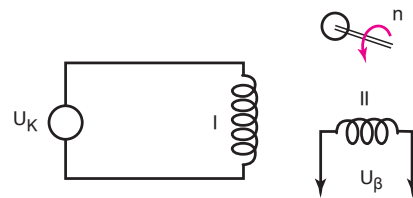
Σχ. 3.2ι.

Σερβοκινητήρας εναλλασσόμενου ρεύματος.



Σχ. 3.2ια.

Χαρακτηριστικές καμπύλες σερβοκινητήρα εναλλασσόμενου ρεύματος.



Σχ. 3.2ιβ.

Ταχύμετρο με διφασικό κινητήρα.

3.3 Ηλεκτρονικά εξαρτήματα.

3.3.1 Τελεστικός ενισχυτής.

Ο **τελεστικός ενισχυτής** (operational amplifiers) είναι ενισχυτής με πολύ μεγάλη ενίσχυση και πήρε την ονομασία του από το γεγονός ότι αρχικά σχεδιάστηκε για την εκτέλεση μαθηματικών πράξεων (πρόσθεση, αφαίρεση, διαφόριση, ολοκλήρωση) σε συνδυασμό με την εφαρμογή του στην κατασκευή των αναλογικών υπολογιστών. Οι τελεστικοί ενισχυτές έχουν πέντε βασικά άκρα για τη σύνδεσή τους, από τα οποία δύο είναι για την τροφοδοσία, δύο για τις εισόδους και ένα για την έξοδο. Το σχήμα 3.3α δείχνει το σύμβολο με το οποίο απεικονίζεται στα κυκλώματα ο τελεστικός ενισχυτής. Οι εισόδους του τελεστικού ενισχυτή συμβολίζονται με τα σύμβολα (-) και (+) και ονομάζονται αντίστοιχα **είσοδος με αναστροφή** (inverting input) και **είσοδος χωρίς αναστροφή** (non inverting input). Και οι δύο μαζί καλούνται διαφορικό ζεύγος, επειδή το

δυναμικό στην έξοδο (V_o) εξαρτάται από τη διαφορά των δυναμικών στις δύο εισόδους. Η έξοδος V_o , είναι θετική ως προς τη γη (σημείο αναφοράς), όταν η είσοδος (+) είναι θετική ως προς την είσοδο (-). Επομένως, η πολικότητα της εξόδου εξαρτάται από τη διαφορά δυναμικού μεταξύ των εισόδων (+) και (-).

Το δυναμικό εξόδου μετρείται και αυτό ως προς τη γη και κυμαίνεται μεταξύ δύο ορίων που εξαρτώνται από τα δυναμικά τροφοδοσίας $+V$ και $-V$.

Ο ιδανικός τελεστικός ενισχυτής έχει άπειρη **απολαβή τάσεως** (gain), επειδή μια πολύ μικρή διαφορά μεταξύ U_1 και U_2 έχει ως αποτέλεσμα να παίρνει η έξοδος τιμή κόρου. Άλλα χαρακτηριστικά ενός ιδανικού τελεστικού ενισχυτή είναι ότι η σύνθετη αντίσταση μεταξύ των δύο εισόδων τείνει στο άπειρο και η σύνθετη αντίσταση της εξόδου τείνει στο μηδέν. Ο ιδανικός τελεστικός ενισχυτής έχει δύο δυνατές τιμές εξόδου $+U_K$ και $-U_K$ (σχ. 3.3β).

Στην πράξη, ο τελεστικός ενισχυτής χρησιμοποιείται με ανάδραση της εξόδου στην είσοδο, όπως φαίνεται στο σχήμα 3.3γ. Το κύκλωμα αυτό περιγράφει ένα αναστροφικό τελεστικό ενισχυτή. Η αντίσταση R_2 χρησιμοποιείται για την ανάδραση της εξόδου στην αναστροφική είσοδο, και η αντίσταση R_1 συνδέει την είσοδο U_i στο ίδιο σημείο του τελεστικού ενισχυτή. Το κοινό σημείο συνδέσεως ονομάζεται **σημείο αθροίσεως** (summing point). Η ανάδραση οδηγεί την έξοδο να ρυθμιστεί, ώστε:

- Η τάση στο σημείο αθροίσεως να παίρνει την τιμή της τάσεως στο (+), σημείο που είναι 0 σε αυτήν την περίπτωση και
- να μην κυκλοφορεί ρεύμα στους ακροδέκτες της εισόδου, επειδή στον ιδανικό τελεστικό ενισχυτή, η σύνθετη αντίσταση της εισόδου τείνει στο άπειρο, δηλαδή $I=0$.

Έτσι, το αλγεβρικό άθροισμα των εντάσεων στο σημείο αθροίσεως είναι μηδέν: $I_1 + I_2 = I = 0$. Χρησιμοποιώντας το νόμο του Ohm υπολογίζουμε την τάση εξόδου:

$$U_o = -\frac{R_2}{R_1} U_i \quad (3.14)$$

Στο σχήμα 3.3γ, όταν $R_2 < R_1$, τότε το κύκλωμα επιφέρει **εξασθένιση** (attenuation).

Στην περίπτωση των πρακτικών τελεστικών ενισχυτών πρέπει να ληφθούν υπόψη οι παρακάτω παράμετροι (σχ. 3.3δ):

α) Ένας πραγματικός τελεστικός ενισχυτής δεν έχει άπειρα μεγάλη απολαβή τάσεως. Η απολαβή τάσεως ανοικτού κυκλώματος ορίζεται ως η κλίση της κεκλιμένης γραμμής AB (σχ. 3.3δ).

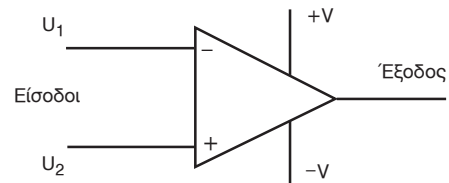
β) Δεν έχει άπειρη μεγάλη σύνθετη αντίσταση εισόδου.

γ) Έχει πολύ μικρή σύνθετη αντίσταση εξόδου, αλλά όχι ίση με το μηδέν. Οπότε, χρησιμοποιώντας το νόμο του Ohm έχουμε τάση εξόδου:

$$V_o = AU_\alpha - \left(\frac{U_o - U_\alpha}{R_2}\right) Z_o \quad (3.15)$$

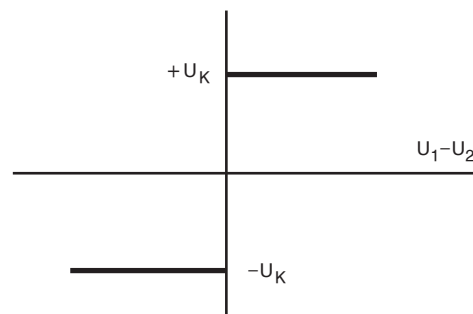
όπου:

A η απολαβή τάσεως ανοικτού κυκλώματος,
 Z_o η σύνθετη αντίσταση εξόδου.



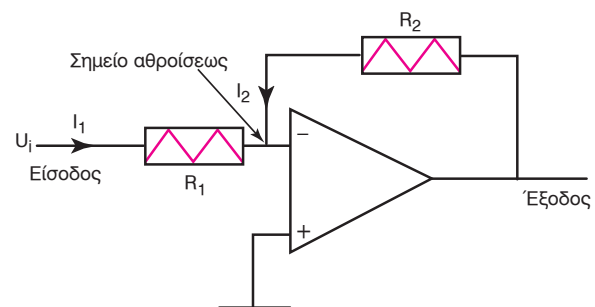
Σχ. 3.3α.

Σύμβολο του τελεστικού ενισχυτή.



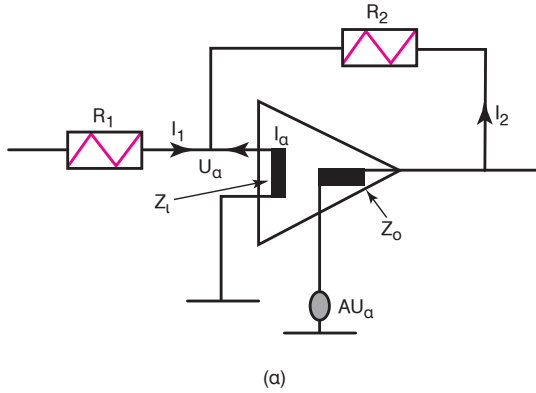
Σχ. 3.3β.

Σχέση μεταξύ εισόδου-εξόδου του ιδανικού τελεστικού ενισχυτή.

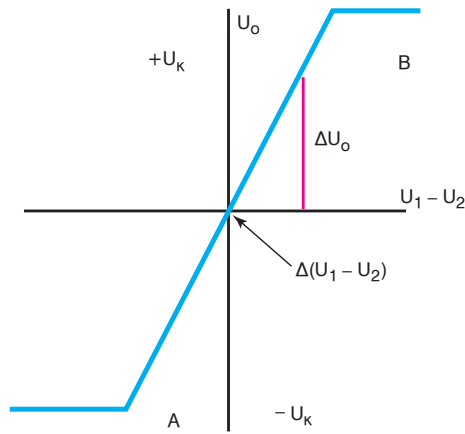


Σχ. 3.3γ.

Αναστροφικός τελεστικός ενισχυτής.



(α)



(β)

Σχ. 3.3δ.

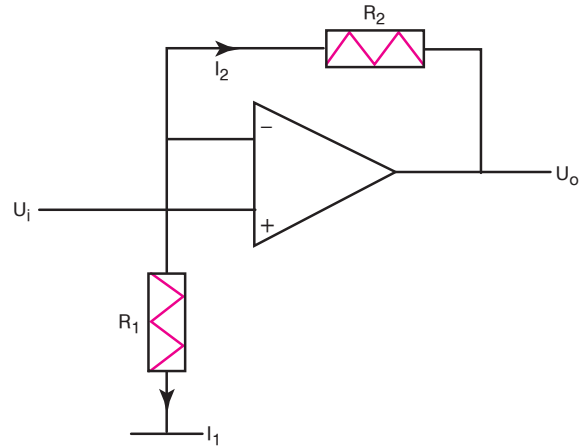
Πρακτικός τελεστικός ενισχυτής. α) Κύκλωμα. β) Χαρακτηριστικά πρακτικού τελεστικού ενισχυτή.

3.3.2 Μη αναστροφικός ενισχυτής.

Το κύκλωμα του μη αναστροφικού ενισχυτή φαίνεται στο σχήμα 3.3ε. Με βάση το νόμο του Ohm, η τάση εξόδου ισούται με:

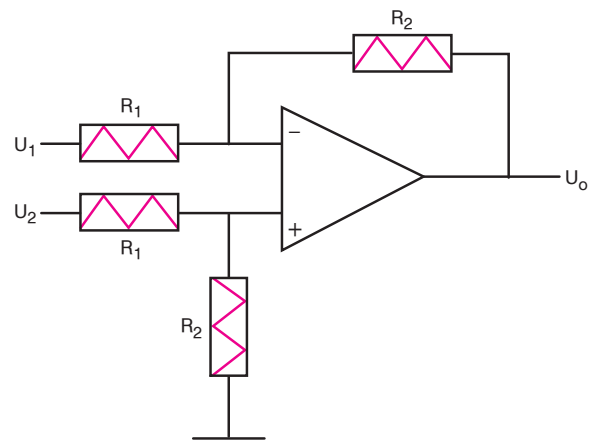
$$U_o = (1 + \frac{R_2}{R_1})U_i \quad (3.16)$$

Από τη σχέση (3.16) παρατηρούμε ότι η ενίσχυση σε ένα μη αναστροφικό ενισχυτή εξαρτάται από το λόγο R_2/R_1 , και ότι η ενίσχυση αυτή δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί για εξασθένηση τάσεως, λόγω της μονάδας. Τέλος, η είσοδος συνδέεται απ' ευθείας με τη μη αναστρεφόμενη είσοδο του τελεστικού ενισχυτή, η δε σύνθετη αντίσταση του κυκλώματος είναι πολύ υψηλή, γιατί είναι ίση με τη σύνθετη αντίσταση εισόδου του τελεστικού ενισχυτή.



Σχ. 3.3ε.

Μη αναστροφικός ενισχυτής.



Σχ. 3.3στ.

Διαφορικός ενισχυτής.

3.3.3 Διαφορικός ενισχυτής.

Ο διαφορικός ενισχυτής (σχ. 3.3στ) έχει ως σκοπό να ενισχύσει τη διαφορά δύο τάσεων. Η ανάλυση του κυκλώματος οδηγεί εύκολα στη σχέση:

$$U_o = \frac{R_2}{R_1}(U_2 - U_1) \quad (3.17)$$

Το σύστημα έχει απολαβή ίση με το λόγο R_2/R_1 και απόκριση τη διαφορά τάσεων που εφαρμόζεται στις δύο εισόδους. Το κύκλωμα αυτό έχει ένα βασικό μειονέκτημα, που είναι η χαμηλή σύνθετη αντίσταση εισόδου. Αυτό το πρόβλημα λύνεται, όταν απαιτείται υψηλή σύνθετη αντίσταση εισόδου με την προσθήκη στην κάθε μία είσοδο ενός βραχυκυκλωμένου τελεστικού ενισχυτή με την αρνητική είσοδό του. Οι προσθήκες αυτές ονομάζονται *ακόλουθοι τάσεως* (voltage followers) (σχ. 3.3ζ), επειδή η έξοδος

ακολουθεί την είσοδο σε περιοχή τιμών που ορίζεται από τις δύο τιμές τάσεων κόρου του τελεστικού ενισχυτή.

3.3.4 Ολοκληρωτής.

Ένα ευρέως χρησιμοποιούμενο κύκλωμα τελεστικού ενισχυτή με εφαρμογή στον αναλογικό υπολογιστή και σε συστήματα ελέγχου (όπου απαιτείται ολοκλήρωση σημάτων) είναι ο **ολοκληρωτής** (integrator) (σχ. 3.3η). Το κύκλωμα είναι απλό στην κατασκευή του και η ανάδραση του σήματος εξόδου του τελεστικού ενισχυτή γίνεται μέσω πυκνωτή (σχ. 3.3η). Η τάση εξόδου ισούται με:

$$U_o = -\frac{1}{RC} \int U_i dt \quad (3.18)$$

Η έξοδος U_o του κυκλώματος είναι ίση με μια σταθερά ($-1/RC$), επί το ολοκλήρωμα ως προς το χρόνο της τάσεως εισόδου. Η σταθερά αυτή αποτελεί την απολαβή ολοκληρώσεως.

3.3.5 Διαφοριστής.

Ένα κύκλωμα τελεστικού ενισχυτή με πυκνωτή στην είσοδο και αντίσταση στην ανάδραση, είναι ένα κύκλωμα διαφορίσεως (σχ. 3.3θ) ή ένας **διαφοριστής** (differentiator) και εξομοιώνει τη σχέση της παραγωγίσεως. Η τάση εξόδου ισούται με:

$$U_i = -RC \frac{dU_o}{dt} \quad (3.19)$$

Και εδώ η σταθερά RC ονομάζεται **σταθερά χρόνου διαφορίσεως**.

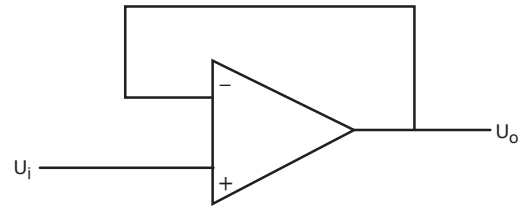
3.3.6 Ειδικά κυκλώματα.

Στα συστήματα ελέγχου χρησιμοποιούνται και άλλα ηλεκτρονικά κυκλώματα, όπως αθροιστές, κυκλώματα μετατροπής τάσεως-ρεύματος, μετατροπής αναλογικού σήματος σε ψηφιακό και αντίστροφα κ.ά., που ξεφεύγουν από το σκοπό αυτού του κεφαλαίου.

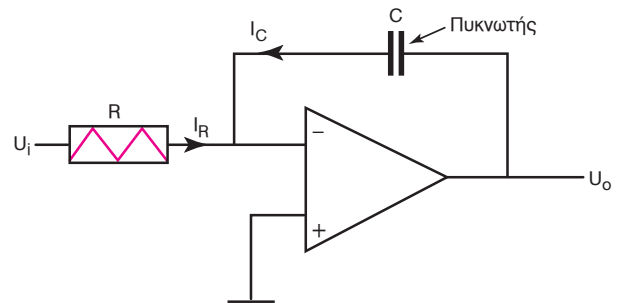
3.4 Πνευματικά εξαρτήματα.

3.4.1 Μετατροπές ρεύματος σε πίεση.

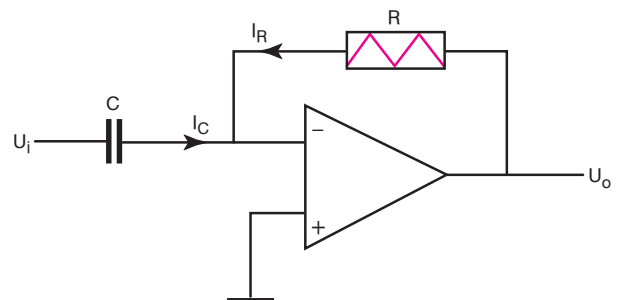
Αρκετές φορές σε διάφορες εφαρμογές συστημάτων ελέγχου είναι απαραίτητο να μετατραπεί μια ένταση ρεύματος σε πίεση σε μεγέθη από 4-20mA σε 20-100kPa αντίστοιχα. Αυτό επιτυγχάνεται με μία διάταξη που ονομάζεται **μετατροπές ρεύματος**



Σχ. 3.3ζ.
Ακόλουθος τάσεως.

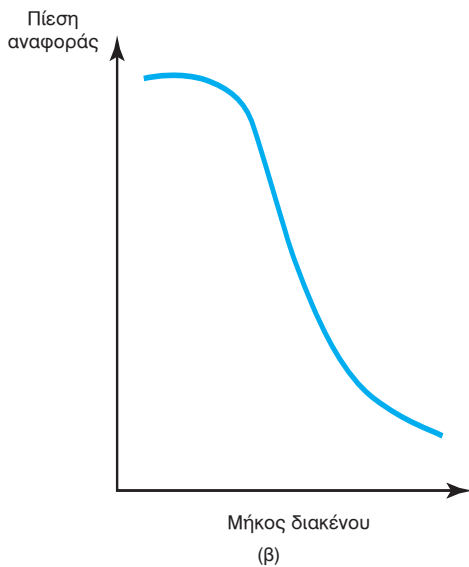
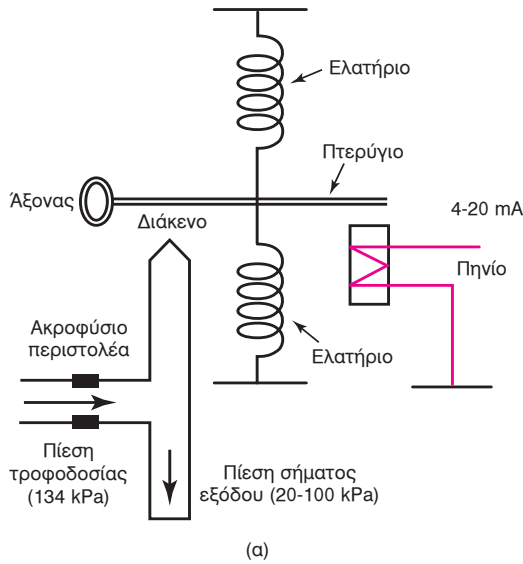


Σχ. 3.3η.
Ολοκληρωτής.



Σχ. 3.3θ.
Κύκλωμα διαφορίσεως.

σε πίεση (I to P converter). Το σύστημα αποτελείται από ένα σωληνοειδές πηνίο, το οποίο ελέγχεται από ένα ηλεκτρικό σήμα εντάσεως 4-20 mA, ένα περύγιο το οποίο μετακινείται από το πηνίο και αυξομειώνει το διάκενο μεταξύ ακροφυσίου-περυσγίου και από μια πνευματική διάταξη (σχ. 3.4α). Μια πηγή αέρα σταθερής πίεσεως (περίπου 100 kPa) τροφοδοτεί συμπιεσμένο αέρα διά μέσου του περιστολέα στο ακροφύσιο. Το μήκος του διακένου ανάμεσα στο ακροφύσιο και το περύγιο ρυθμίζει το μέγεθος της εκροής, επομένως και την πίεση του αέρα που διοχετεύεται στο κάτω μέρος του σωλήνα, όπου είναι η έξοδος. Όταν το περύγιο κλείνει πλήρως το ακροφύσιο, η πίεση εξόδου είναι ίση με την πίεση της τροφοδοτικής πηγής. Η κίνηση του περυσγίου ελέγχεται από το πηνίο, δηλαδή από την ένταση του ρεύματος.



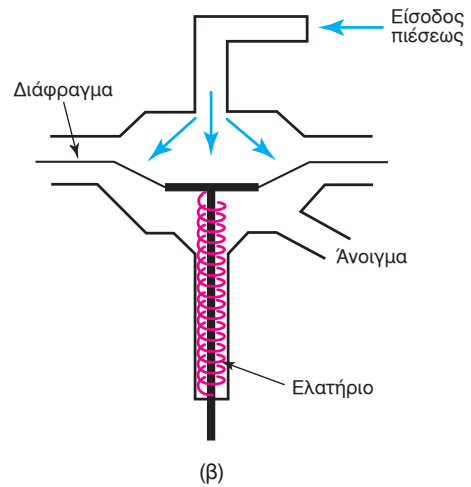
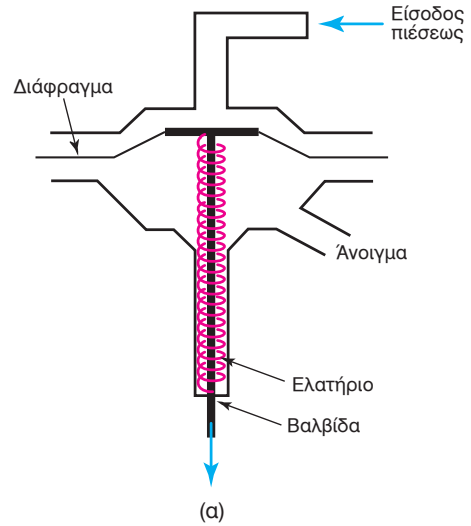
Σχ. 3.4α.

Μετατροπέας ρεύματος σε πίεση. α) Διάταξη. β) Καμπύλη λειτουργίας.

3.4.2 Πνευματικός επενεργητής.

Ο **πνευματικός επενεργητής** (pneumatic actuator) ή **πνευματικό στοιχείο δράσεως** μετατρέπει ένα ενεργοποιό σήμα πίεσεως σε δύναμη ή ροπή στρέψεως, που απαιτείται για την ενεργοποίηση ενός στοιχείου ελέγχου. Η αρχή λειτουργίας του βασίζεται στο ότι η πίεση είναι ίση με τη δύναμη που ασκείται σε μοναδιαία επιφάνεια. Όταν υπάρχει μια διαφορά πίεσεως που εφαρμόζεται πάνω σε ένα διάφραγμα εμβαδού A , η συνολική δύναμη στο διάφραγμα δίνεται από τη σχέση:

$$F = (p_1 - p_2) A \quad (3.20)$$



Σχ. 3.4β.

Πνευματικός επενεργητής ορθής φοράς. α) Θέση χαμηλής πίεσεως. β) Θέση υψηλής πίεσεως.

όπου:

$p_1 - p_2$ η διαφορά πίεσεως (Pa),
 A το εμβαδόν του διαφράγματος (m^2) και
 F η δύναμη (N).

Έτσι για να διπλασιάσουμε τη δύναμη, με δεδομένη πίεση, αρκεί να διπλασιάσουμε το εμβαδόν του διαφράγματος, με αποτέλεσμα να δημιουργηθούν πολύ μεγάλες δυνάμεις με σχετικά μικρά σήματα πίεσεως, γύρω στα 20-100 kPa.

Οι συνηθέστεροι πνευματικοί επενεργητές είναι αυτοί που σχετίζονται με **βαλβίδες έλεγχου** (control valves). Όπως φαίνεται στο σχήμα 3.4β, έχουμε έναν **πνευματικό επενεργητή ορθής φοράς** (direct). Στο σχήμα 3.4β(α) η βαλβίδα βρίσκεται σε θέση χαμηλής πίεσεως και η ατμοσφαιρική πίεση κρατάει το έμβολο ψηλά, ενώ στο σχήμα 3.4β(β) η βαλβίδα βρίσκεται

ται σε θέση υψηλής πίεσης. Η κίνηση του εμβόλου ανοίγει ή κλείνει τη βαλβίδα, ανάλογα με το σύστημα ελέγχου. Η σχέση που συνδέει τη μετατόπιση του εμβόλου με την πίεση που εφαρμόζεται στην είσοδο του συστήματος είναι:

$$\Delta x = \frac{A}{K} \Delta p \quad (3.21)$$

όπου:

Δx η μετατόπιση εμβόλου (m),
 Δp η εφαρμοζόμενη πίεση (Pa) και
 A το εμβαδόν διαφράγματος (m^2).

Τέλος υπάρχουν και πνευματικοί επενεργητές *αντίστροφης φοράς* (reverse actuators).

3.5 Μηχανικά εξαρτήματα.

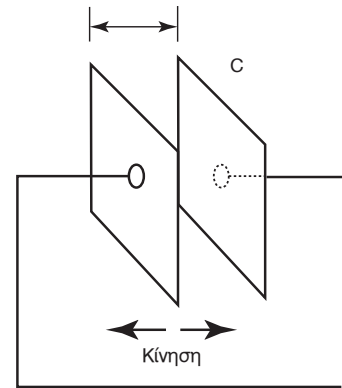
3.5.1 Μορφομετατροπέας μετατοπίσεως.

Ο πιο απλός μορφομετατροπέας μετατοπίσεως είναι το *ποτενσιόμετρο*. Η μετατόπιση του δρομέα του ποτενσιόμετρου, ρυθμίζει την αντίσταση εξόδου και επομένως την τάση εξόδου. Έτσι μετατρέπει την ευθύγραμμη ή περιστροφική κίνηση σε ηλεκτρικό σήμα τάσεως. Άλλοι τύποι μορφομετατροπέων μετατοπίσεως είναι διατάξεις μεταβαλλόμενης ηλεκτρικής χωρητικότητας ή μεταβαλλόμενης αυτεπαγωγής. Στην πρώτη περίπτωση, εφαρμόζεται η αρχή ότι η χωρητικότητα μιας διατάξεως είναι αντίστροφως ανάλογη προς την απόσταση μεταξύ των δύο επιφανειών του πυκνωτή και ανάλογη προς την ενεργό επιφάνειά τους (σχ. 3.5α). Κατ' αυτόν τον τρόπο με μια μετατόπιση της μιας επιφάνειας, οι δύο επιφάνειες του πυκνωτή πλησιάζουν και η ηλεκτρική χωρητικότητα, αυξάνεται και αντίστροφα. Στη δεύτερη περίπτωση ο σιδηροπυρήνας, ο οποίος είναι μαγνητικά διαπερατός μετακινούμενος μέσα στο πηνίο, μεταβάλλει την αυτεπαγωγή του πηνίου, μετατρέποντας την ευθύγραμμη ή περιστροφική κίνηση σε ηλεκτρικό σήμα (σχ. 3.5β).

3.5.2 Μετρητής τάσεως.

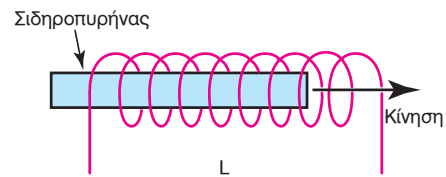
Ο *μετρητής τάσεως* ή *καταπονήσεως* (strain gage) είναι το σημαντικότερο εξάρτημα στα μηχανικά εξαρτήματα. Εφαρμόζεται στη μέτρηση μηχανικών τάσεων, πιέσεων, επιταχύνσεων, ροών και άλλων φυσικών ποσοτήτων. Η αρχή λειτουργίας του βασίζεται στην ύπαρξη μηχανικής τάσεως, που μεταβάλλει την ηλεκτρική αντίσταση του μετρητή ο οποίος εί-

ναι κατασκευασμένος από λεπτό μεταλλικό σύρμα ή από λεπτό στρώμα ημιαγωγίμου υλικού. Ο μετρητής αποτελείται από μια σχάρα με λεπτό σύρμα, η οποία είναι κολλημένη με ειδική κόλλα πάνω σε ένα ψιλό χαρτί (σχ. 3.5γ). Το πίσω μέρος του μετρητή είναι κολλώδες, ώστε να μπορεί να προσκολλάται στην επιφάνεια του μετάλλου, του οποίου η τάση πρόκειται να μετρηθεί. Όταν ένα ψιλό σύρμα εφελκύεται λόγω μηχανικής τάσεως, αφ' ενός επιμηκύνεται και αφ' ετέρου η διατομή του συστέλλεται. Επειδή η με-



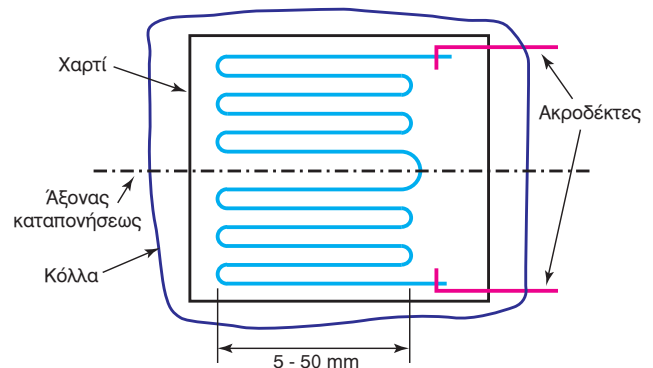
Σχ. 3.5α.

Μορφομετατροπέας μετατοπίσεως μεταβαλλόμενης χωρητικότητας.



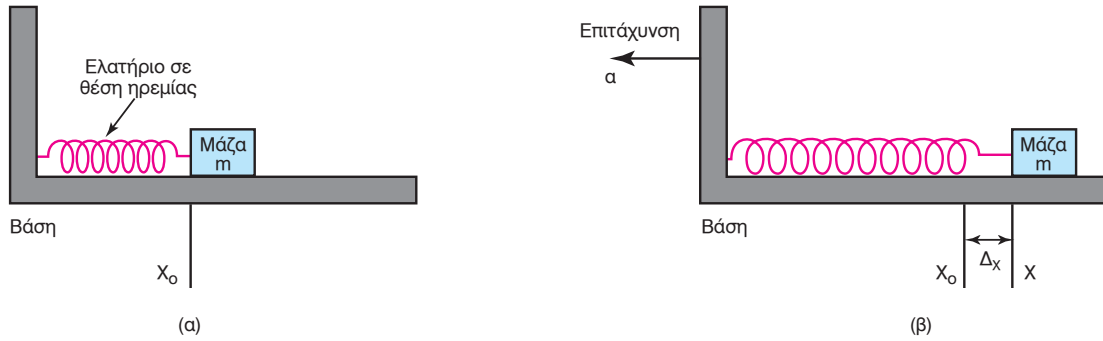
Σχ. 3.5β.

Μορφομετατροπέας μετατοπίσεως με μεταβαλλόμενη αυτεπαγωγή.



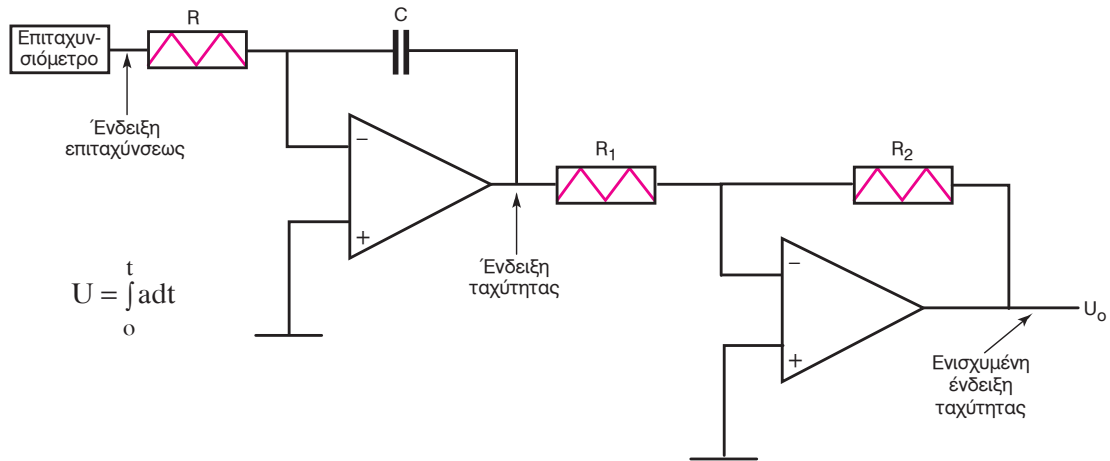
Σχ. 3.5γ.

Εφαρμογή μετρητή τάσεως για τη μέτρηση της καταπονήσεως ενός μετάλλου.



Σχ. 3.5δ.

Βασική διάταξη επιταχυνσιόμετρου. α) Χωρίς επιτάχυνση. β) Με επιτάχυνση.



Σχ. 3.5ε.

Μετατροπή επιταχυνσιόμετρου σε μετρητή ταχύτητας.

ταβολή στην ηλεκτρική αντίσταση του μετρητή τάσεως είναι σχετικά μικρή, η μέτρηση αυτή γίνεται με ειδικό κύκλωμα γέφυρας, που εξασφαλίζει μεγάλη ακρίβεια στη μέτρηση. Εξουδετερώνοντας έτσι τυχόν σφάλματα, λόγω μεταβολών θερμοκρασίας του περιβάλλοντος και λόγω πολύ μικρών τιμών του ηλεκτρικού σήματος που ενεργοποιεί το μετρητή της αντιστάσεως.

3.5.3 Επιταχυνσιόμετρο.

Το **επιταχυνσιόμετρο** (accelerometers) εφαρμόζεται σε συστήματα ελέγχου στη ναυσιπλοΐα, στη δοκιμή προϊόντων, στην αναζήτηση πετρελαιοπηγών κ.ά. Η λειτουργία του βασίζεται στο **νόμο της αδράνειας** ($F=ma$) σε συνδυασμό με το **νόμο του Hooke** ($F=-Kx$). Έτσι, όταν είναι ίσες οι δύο αυτές δυνάμεις:

$$K\Delta x = ma \quad (3.22)$$

λύνοντας ως προς την επιτάχυνση a έχουμε:

$$a = \frac{k}{m} \Delta x \quad (3.23)$$

Άρα το επιταχυνσιόμετρο λειτουργεί ανάλογα με τη διεύθυνση της δυνάμεως που ασκείται συμπιέζοντας ή επιμηκύνοντας το ελατήριο που διαθέτει (σχ. 3.5δ). Από τη σχέση (3.23) μετρώντας την επιμήκυνση Δx του ελατηρίου, μετρούμε την επιτάχυνση a , γιατί υπάρχει άμεση αναλογία μεταξύ των ποσοτήτων. Η μάζα της διατάξεως, που μετατρέπει την επιτάχυνση της μάζας m σε επιμήκυνση του ελατηρίου λέγεται **μάζα δοκιμής** (test mass) ή σεισμική μάζα (seismic mass). Το επιταχυνσιόμετρο μπορεί να χρησιμοποιηθεί και ως όργανο μετρήσεως της ταχύτητας. Σε αυτήν την περίπτωση, συνδέουμε στην έξοδο του ένα κύκλωμα ολοκληρωτή και ενισχυτή (σχ. 3.5ε).

3.5.4 Μορφομετατροπέας πίεσεως.

Ο **μορφομετατροπέας πίεσεως** (pressure transducer), μετατρέπει την πίεση σε μετατόπιση κάποιου εξαρτήματος. Συνήθως για μέτρηση πιέσεων μεγαλύτερων της μιας ατμόσφαιρας, χρησιμοποιείται ως εξάρτημα το διάφραγμα (σχ. 3.5στ). Το διάφραγμα τοποθετείται σε μια διάταξη, όπου όταν ασκείται

πίεση στο αριστερό και δεξιό μέρος του, η ωφέλιμη δύναμη που εφαρμόζεται σε αυτό είναι:

$$F = (P_1 - P_2) A \quad (3.24)$$

όπου:

A το εμβαδόν διαφράγματος (m^2) και P_1, P_2 οι πιέσεις ($N/m^2, Pa$).

Το διάφραγμα λειτουργεί σαν ελατήριο στο οποίο εφαρμόζεται ο **νόμος του Hooke**. Στο σημείο ισορροπίας η εξίσωση των δύο δυνάμεων δίνει την σχέση της μετατοπίσεως του διαφράγματος ως προς την πίεση που ασκείται στην επιφάνειά του.

Μια ειδική διάταξη που μετατρέπει πιέσεις μεγαλύτερες από μια ατμόσφαιρα είναι ο **σωλήνας του Μπουρντόν** (Bourdon tube). Στο σχήμα 3.5ζ φαίνεται η διάταξη αυτή, στην οποία υπάρχει ένας καμπυλωτός σωλήνας κατασκευασμένος από ειδικό εύκαμπτο μέταλλο. Το μέταλλο αυτό μετατοπίζεται με την αύξηση της πίεσεως στο εσωτερικό του. Η μετατροπή της μετατοπίσεως που παράγεται από τους μορφομετατροπέας πίεσεως σε ηλεκτρικά σήματα γίνεται με ποτενοσιόμετρο ή μετρητή τάσεως.

3.5.5 Μορφομετατροπέας ροής.

Ο **μορφομετατροπέας ροής** χρησιμοποιείται για μετρήσεις ροής ενός υγρού. Η ροή μετρείται είτε ως ταχύτητα υγρού (m/s) είτε ως παροχή όγκου (m^3/s) είτε ως παροχή μάζας (kg/s). Η μέθοδος μετρήσεως βασίζεται στην **αρχή του Βεντούρι**. Όπως φαίνεται στο σχήμα 3.5η, στο σωλήνα μέσα από τον οποίο ρέει το υγρό υπάρχει μια στένωση και έτσι δημιουργείται μια διαφορά πίεσεως ($P_2 - P_1$). Η διαφορά αυτή μπορεί να μετρηθεί από διάφραγμα ή άλλους μετρητές και είναι ανάλογη με την ταχύτητα ροής του υγρού. Άλλες μετρήσεις ροής εφαρμόζουν διάφορα εμπόδια στο δρόμο του υγρού (πλωτήρες, μικρές προπέλες, κ.ά.) και υπολογίζουν τις προκύπτουσες διαφορές στη ροή υγρού με ποτενοσιόμετρο, ταχύμετρο κ.ά. Όταν το υγρό έχει ικανοποιητική ηλεκτρική αγωγιμότητα, η μέτρηση της ροής μπορεί να γίνει με ηλεκτρονική μέθοδο. Το τμήμα του σωλήνα στο οποίο γίνεται η μέτρηση κατασκευάζεται από ειδικό μονωτικό υλικό, όπως το τεφλόν ή το γυαλί.

$$Q = C\sqrt{\Delta p} \quad (3.25)$$

όπου:

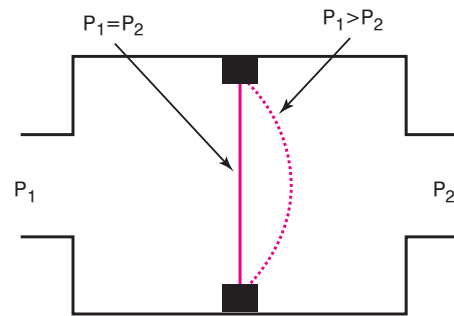
Q η παροχή,

C ο συντελεστής ροής και

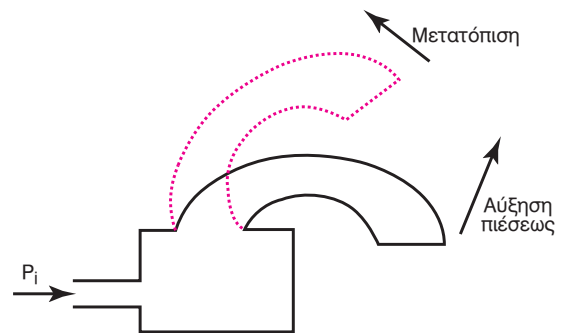
Δp η διαφορά πίεσεως ($P_1 - P_2$).

3.5.6 Οδοντωτοί τροχοί.

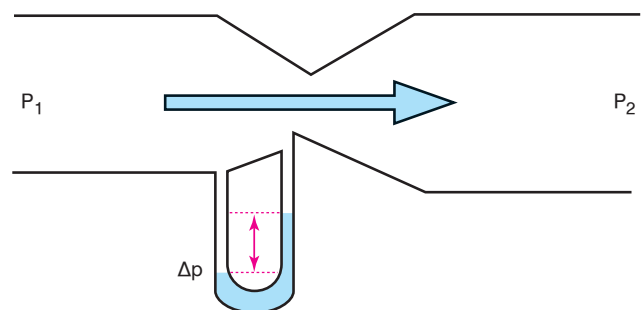
Σε συστήματα ελέγχου όπου υπάρχουν περιστρεφόμενα φορτία πρέπει να επιτυγχάνεται συχνά μια συγκεκριμένη ταχύτητα με μια ελάχιστη ροπή. Αυτό γίνεται με επιλογή του κατάλληλου συνδυασμού κινητήρα και συστήματος οδοντωτών τροχών (γρανάζια). Αν η ταχύτητα του κινητήρα είναι μικρότερη από την επιθυμητή, με το κατάλληλο σύστημα οδοντωτών τροχών μπορεί να επιτευχθεί μεγαλύτερη



Σχ. 3.5στ.
Διάφραγμα.



Σχ. 3.5ζ.
Σωλήνας Μπουρντόν.



Σχ. 3.5η.
Μετρητής ροής.

ταχύτητα. Το ίδιο επίσης μπορεί να γίνει για την επίτευξη της κατάλληλης ροπής. Ένα σύστημα οδοντωτών τροχών φαίνεται στο σχήμα 3.5θ. Το σύστημα οδοντωτών τροχών μειώνει ή αυξάνει τη γωνιακή ταχύτητα, τη θέση και τη στρεπτική ροπή.

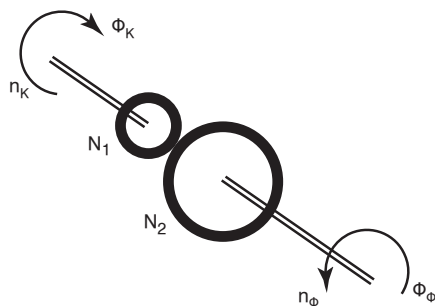
Οι σχέσεις που συνδέουν τις φυσικές μεταβλητές ενός συστήματος οδοντωτών τροχών είναι οι ακόλουθες:

$$N_2 \Phi_{\phi} = N_1 \Phi_K \quad (3.26)$$

$$n_{\phi} = n_K \left(\frac{N_1}{N_2} \right) \quad (3.27)$$

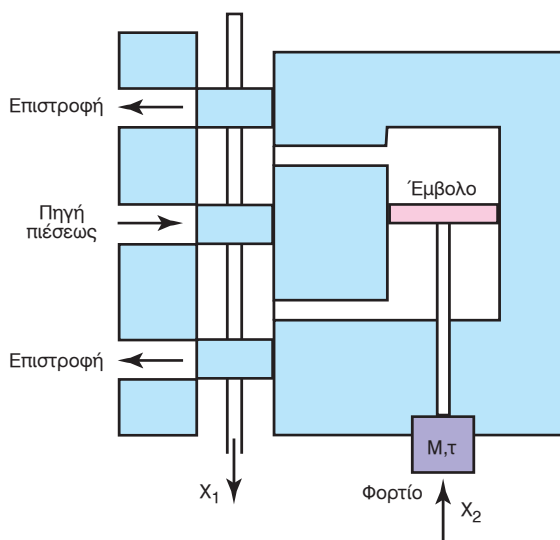
3.5.7 Υδραυλικός σερβοκινητήρας.

Ο υδραυλικός σερβοκινητήρας (σχ. 3.5ι) είναι ένας υδραυλικός ενισχυτής, που χρησιμοποιείται πολύ σε



Σχ. 3.5θ.

Σύστημα οδοντωτών τροχών.



Σχ. 3.5ι.

Υδραυλικός σερβοκινητήρας.

συστήματα ελέγχου αεροσκαφών για την κίνηση περρυγίων και αυτοκινήτων, στο σύστημα φρένων και τιμονιού. Μετατρέπει την ευθύγραμμη κίνηση σε ισχυρό σήμα πίεσεως.

3.6 Μετρητές θερμοκρασίας.

Οι μετρητές θερμοκρασίας είναι αισθητήρια που χρησιμοποιούνται για τη μέτρηση της θερμοκρασίας.

Τα κυριότερα από αυτά είναι τα εξής:

α) **Θερμόμετρα διαστολής** (Thermometer) (σχ. 3.6α). Θερμόμετρα που χρησιμοποιούν κάποιο ρευστό μέσα σε γυάλινο σωλήνα. Συνηθέστερα ρευστά είναι ο υδράργυρος και το οινόπνευμα. Φτάνουν σε θερμοκρασίες 500°C , ενώ ο υδράργυρος στερεοποιείται στους -39°C , η αλκοόλη στους -62°C και η τολουόλη στους -90°C .

β) **Αισθητήρες με αντίσταση** (Resistance temperature Detector-RTD) (σχ. 3.6β). Αισθητήρες που αποτελούνται από μέταλλα (π.χ. χαλκός, λευκόχρυ-



Σχ. 3.6α.

Κλασικό θερμόμετρο.



Σχ. 3.6β.

Θερμόμετρα ηλεκτρικής αντίστασεως.

σος, νικέλιο και βολφράμιο) ή κράματα, των οποίων η αντίσταση μεταβάλλεται ανάλογα με τη θερμοκρασία. Η μεταβολή της αντιστάσεως εν γένει δεν είναι γραμμική. Μέσα όμως σε μια θερμοκρασιακή περιοχή μπορεί να είναι γραμμική με αρκετή προσέγγιση, ιδίως για το λευκόχρυσο. Οι αισθητήρες με αντίσταση χρησιμοποιούνται σε διάταξη γέφυρας, διατίθενται σε πολλές μορφές και έχουν πολλά πεδία εφαρμογών. Μετρούν τη θερμοκρασία υγρών και αερίων, την επιφανειακή θερμοκρασία στερεών και εμφανίζουν σταθερότητα. Για το λόγο αυτό χρησιμοποιούνται στη χημική βιομηχανία για μέτρηση θερμοκρασίας διαβρωτικών υγρών και λυμάτων.

γ) **Θερμίστορ** (Thermistors) (σχ. 3.6γ). Κατασκευάζονται από οξειδία μετάλλων όπως νικελίου, μαγγανίου, ουρανίου, σιδήρου, κοβαλτίου και χαλκού και έχουν χαρακτηριστικά ημιαγωγών. Ως μετρητές θερμοκρασίας η λειτουργία τους στηρίζεται στη μεταβολή της ηλεκτρικής αντιστάσεώς τους, ανάλογα με τη μεταβολή της θερμοκρασίας. Η αντίστασή τους μειώνεται καθώς η θερμοκρασία αυξάνει, αντίθετα από ό,τι συμβαίνει στην περίπτωση των αισθητήρων με αντίσταση. Έχουν μεγάλη ευαισθησία, μικρό μέγεθος, περιοχή μετρούσεως -80°C έως 300°C και είναι ευσταθή. Χρησιμοποιούνται επίσης για μέτρηση διαφοράς θερμοκρασίας όπως διαφορικός μετρητής θερμοκρασίας με θερμίστορ. Τα κύρια χαρακτηριστικά των αισθητήρων θερμοκρασίας που βασίζονται στα θερμίστορ είναι το πολύ μικρό μέγεθος, η ταχεία απόκριση στις μεταβολές θερμοκρασίας, το μεγάλο εύρος θερμοκρασίας όπου μπορούν να λειτουργήσουν, η υψηλή διακριτική ικανότητα σε μικρές περιοχές θερμοκρασίας, καθώς και ότι μπορούν να ενσωματωθούν επάνω σε στερεά σώματα και να μετρούν την επιφανειακή τους θερμοκρασία.

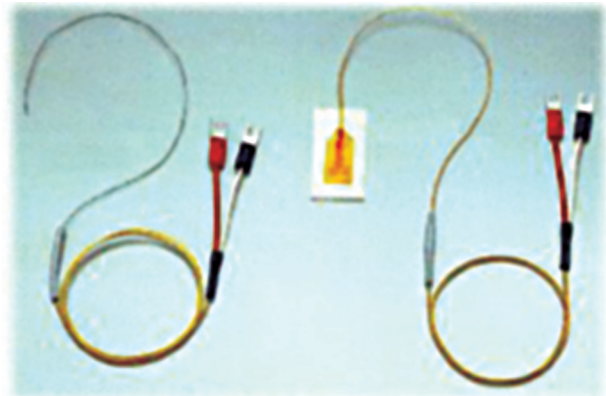
δ) **Ημιαγωγικοί μετρητές θερμοκρασίας** (Semiconducting Thermometer) (σχ. 3.6δ). Είναι ημιαγωγικές αντιστάσεις, που έχουν θετικό συντελεστή θερμοκρασίας (0,8% ανά $^{\circ}\text{C}$), καλή γραμμικότητα και μπορούν να χρησιμοποιηθούν όπως οι αισθητήρες με αντιστάσεις και τα θερμίστορ. Επίσης υπάρχουν ολοκληρωμένα κυκλώματα που συμπεριφέρονται σαν πηγές ρεύματος, των οποίων η ένταση εξαρτάται από τη θερμοκρασία και μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν ως μετρητές θερμοκρασίας.

ε) **Πυρόμετρα ακτινοβολίας** (Radiation Pyrometer) (σχ. 3.6ε). Χρησιμοποιούνται για πολύ υψηλές θερμοκρασίες. Η λειτουργία τους βασίζεται στην ακτινοβολία, καθώς μετράνε το φως που εκπέμπουν.

Διακρίνονται σε **οπτικά**, **διχρωματικά** και **φωτοηλεκτρικά** πυρόμετρα (φωτοκύτταρα), τα οποία με τη σειρά τους χωρίζονται σε πυρόμετρα **φωτοεκπομπού**, **φωτο-αγωγού** και **φωτο-βολταϊκά**.



Σχ. 3.6γ.
Θερμίστορ NTC.



Σχ. 3.6δ.
Ημιαγωγικοί μετρητές θερμοκρασίας.



Σχ. 3.6ε.
Πυρόμετρα.

3.7 Ερωτήσεις.

1. Σε ποιες κατηγορίες διακρίνονται τα εξαρτήματα των συστημάτων αυτομάτου ελέγχου;
2. Ποια είναι η λειτουργία του ποτενσιόμετρου ως μετρητή τάσεως;
3. Τι ονομάζουμε μορφομετατροπείς;
4. Σε πιο φαινόμενο στηρίζεται η λειτουργία του θερμοστοιχείου;
5. Ποια είναι η χρησιμότητα της σεισμικής μάζας στον πιεζοηλεκτρικό μεταλλάκτη;
6. Πώς λειτουργεί ένα τριφασικό σύστημα συγχρονομηχανών;
7. Πότε χρησιμοποιούμε ένα ειδικό συγχρονοσύστημα που ονομάζεται τάση σφάλματος;
8. Ποια είναι τα πλεονεκτήματα του ελέγχου σερβοκινητήρα συνεχούς ρεύματος από το πεδίο διεγέρσεως;
9. Τι παρατηρούμε στις χαρακτηριστικές καμπύλες σερβοκινητήρα εναλλασσόμενου ρεύματος;
10. Ποιοι παράμετροι πρέπει να ληφθούν υπόψη για την ανάλυση του κυκλώματος ενός πρακτικού τελεστικού ενισχυτή;
11. Ποια είναι η χρησιμότητα του διαφορικού ενισχυτή;
12. Πώς λειτουργεί ένας μετατροπέας ρεύματος σε πίεση;
13. Ποια είναι η αρχή λειτουργίας του πνευματικού επενεργητή;
14. Τι είναι ο μετρητής τάσεως ή καταπονήσεως;
15. Πώς λειτουργεί ο σωλήνας του Μπουρντόν;
16. Πού χρησιμοποιούνται οι οδοντωτοί τροχοί;

10. ΑΙΣΘΗΤΗΡΕΣ – ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΑΙΣΘΗΤΗΡΩΝ

Αισθητήρια (sensors) είναι κυκλώματα που δέχονται ένα σήμα ή μια διέγερση από το περιβάλλον και απαντούν με ένα ηλεκτρικό σήμα.

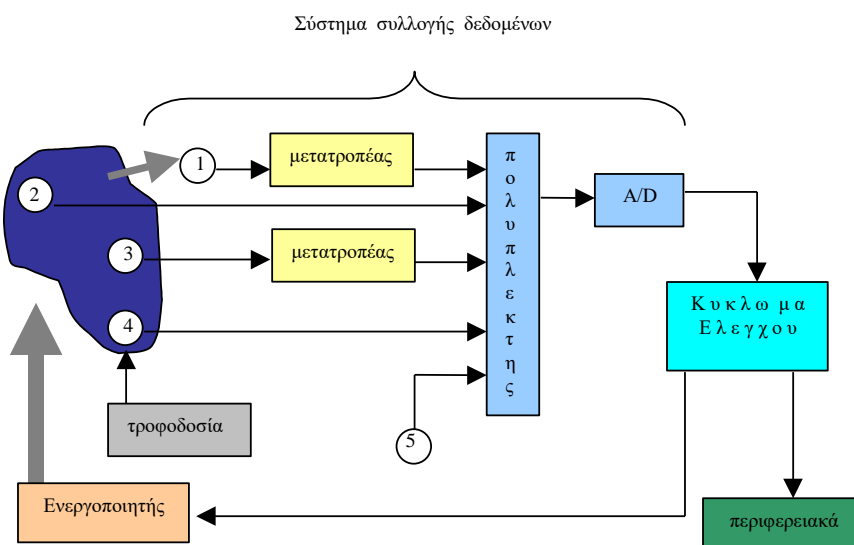
Μπορούμε να πούμε, δηλαδή, ότι τα αισθητήρια είναι ένα είδος "μετατροπέων" μη ηλεκτρικών μεγεθών σε ηλεκτρικά. Όταν μιλάμε για ηλεκτρικό σήμα, εννοούμε ένα σήμα που μπορεί να συλλεχθεί, να ενισχυθεί και να διαμορφωθεί από ηλεκτρονικά κυκλώματα. Η μορφή ενός τέτοιου σήματος μπορεί να είναι τάση, ρεύμα ή φορτίο. Τα χαρακτηριστικά μεγέθη του είναι πλάτος, συχνότητα και φάση. Έτσι, ένα αισθητήριο έχει χαρακτηριστικά εισόδου που οφείλονται στο φυσικό μέγεθος ή γεγονός που τον επηρεάζει και χαρακτηριστικά εξόδου, που σχετίζονται με τα χαρακτηριστικά του ηλεκτρικού σήματος εξόδου.

Ο όρος αισθητήριο (sensor) πρέπει να διακρίνεται από το όρο μετατροπέας (transducer). Ο πρώτος χαρακτηρίζει συσκευές που μετατρέπουν μια μορφή ενέργειας σε ηλεκτρική, ενώ ο δεύτερος χαρακτηρίζει συσκευές που μετατρέπουν μια μορφή ενέργειας σε άλλη μορφή, όχι απαραίτητα ηλεκτρική. Παράδειγμα αισθητηρίου είναι το μικρόφωνο, ενώ μετατροπέα το megάφωνο.

Τα αισθητήρια είναι πάντα μονάδες ενός γενικότερου συστήματος συλλογής δεδομένων (data acquisition system). Κατά την επιλογή ενός αισθητηρίου βασικός παράγων είναι η λειτουργία του να μην επηρεάζει την λειτουργία του υπολοίπου συστήματος.

Υπάρχουν δύο κατηγορίες αισθητηρίων: τα παθητικά και τα ενεργά. Τα παθητικά αισθητήρια δημιουργούν απ' ευθείας ένα ηλεκτρικό σήμα, αποκρινόμενα στην εξωτερική διέγερση. Δεν έχουν δηλαδή ανάγκη εξωτερικής τροφοδοσίας. Αντίθετα τα ενεργά για να λειτουργήσουν χρειάζονται εξωτερική τροφοδοσία. Παράδειγμα παθητικού αισθητηρίου είναι το θερμοζεύγος και ενεργού το θερμίστορ. Και τα δύο έχουν είσοδο τη φωτεινή ακτινοβολία. Το πρώτο όμως έχει έξοδο μεταβαλλόμενη ηλεκτρική τάση, ενώ το δεύτερο έχει σαν έξοδο μεταβαλλόμενη αντίσταση. Δεν δημιουργεί δηλαδή μόνο του ηλεκτρικό σήμα, αλλά χρειάζεται εξωτερική τροφοδοσία.

Μια κατηγορία ενεργού αισθητηρίου είναι οι ανιχνευτές (detectors). Τα αισθητήρια αυτά έχουν συνήθως έξοδο μορφής διακόπτη, που αλλάζει κατάσταση, όταν αντιλαμβάνεται κάποιο συγκεκριμένο γεγονός. Με σύνδεση εξωτερικής τάσης, έχει τη δυνατότητα να εμφανίζει στην έξοδο του ηλεκτρικό σήμα.



Σχήμα 1. Σύστημα συλλογής δεδομένων και ελέγχου

Στο Σχήμα 1 απεικονίζεται το λειτουργικό διάγραμμα ενός συστήματος συλλογής δεδομένων και του κυκλώματος ελέγχου. Το μπλε σχήμα είναι το αντικείμενο που πρόκειται να ελεγχθεί (π.χ. αυτοκίνητο, δεξαμενή υγρού, κ.λ.π.). Τα 1,2,3,4,5 είναι αισθητήρια. Από αυτά το 4 είναι ενεργό, αφού χρειάζεται εξωτερική τροφοδοσία, και τα υπόλοιπα παθητικά. Επίσης μερικά από αυτά (2,3,4), είναι σε άμεση επαφή με το αντικείμενο που πρόκειται να ελεγχθεί, ενώ άλλα όχι (1,5). Το αισθητήριο 1 αντιλαμβάνεται το αντικείμενο χωρίς να είναι σε άμεση επαφή μαζί του (π.χ. κάμερα), ενώ το αισθητήριο 5 παρακολουθεί την καλή λειτουργία του συστήματος συλλογής δεδομένων. Δύο αισθητήρια, τα 1 και 3, δεν μπορούν να συνδεθούν απ' ευθείας στο κυρίως ηλεκτρονικό σύστημα, γιατί η μορφή του σήματος εξόδου είναι μη συμβατή. Έτσι, παρεμβάλλεται ένα κύκλωμα μετατροπής.

Από τις υπόλοιπες μονάδες που φαίνονται στο Σχήμα 1, ο πολυπλέκτης οδηγεί το ένα μετά το άλλο τα αισθητήρια στο κύκλωμα ψηφιοποίησης (A/D). Η παρεμβολή του κυκλώματος αυτού είναι απαραίτητη, αν προτιμηθεί η ψηφιακή επεξεργασία της πληροφορίας από την αναλογική. Στους σύνθετους αυτοματισμούς προτιμάμε την ψηφιακή, ενώ στους απλούστερους την αναλογική. Το κύκλωμα ελέγχου θα αποφασίσει για τη λειτουργία που θα πραγματοποιηθεί με βάση τις υπάρχουσες διεγέρσεις (σήματα αισθητηρίων) και το κύκλωμα δράσης θα υλοποιήσει την απόφαση αυτή.

ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΑΙΣΘΗΤΗΡΩΝ

Από την είσοδο μέχρι την έξοδο, ένα αισθητήριο μπορεί να πραγματοποιήσει αρκετές μετατροπές, πριν παράγει το ηλεκτρικό σήμα. Στην παράγραφο αυτή θα εξετάσουμε τα χαρακτηριστικά μεγέθη των αισθητηρίων, αδιαφορώντας για τη φυσική τους λειτουργία ή για τα στάδια των μετατροπών που απαιτούνται, μέχρι να παραχθεί το ηλεκτρικό σήμα. Θα εξετάσουμε δηλαδή το αισθητήριο σαν ένα "μαύρο κουτί", όπου ενδιαφερόμαστε μόνο για τη σχέση μεταξύ των σημάτων εισόδου και εξόδου.

Συνάρτηση μεταφοράς (transfer function)

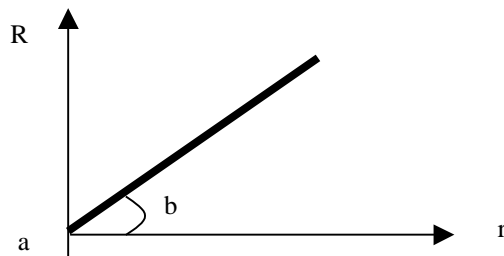
Σαν συνάρτηση μεταφοράς ορίζεται η ιδανική σχέση (θεωρητική), μεταξύ του σήματος εισόδου (διέγερση) και του σήματος εξόδου του αισθητηρίου. Αν R είναι το σήμα εξόδου, που αντιστοιχεί στην διέγερση r τότε :

$$R = f(r)$$

Η εξίσωση αυτή μπορεί να είναι γραμμική, λογαριθμική, εκθετική ή πολυωνυμική. Στα περισσότερα αισθητήρια επιδιώκεται να είναι γραμμική. Επιδιώκεται δηλαδή να είναι της μορφής:

$$R = br$$

Η γραφική παράσταση της εξίσωσης αυτής είναι της μορφής του σχήματος 2.



Σχήμα 2. Γραμμική συνάρτηση μεταβολής

Ο συντελεστής b ονομάζεται και ευαισθησία (sensitivity) του αισθητηρίου.

1. Εύρος εισόδου (input full scale-FS)

Εύρος εισόδου ονομάζεται η δυναμική στάθμη της διέγερσης, που μπορεί να υποστεί μετατροπή από ένα αισθητήριο. Αντιστοιχεί στη μεγαλύτερη δυνατή τιμή της εισόδου που

μπορεί να εφαρμοστεί στο αισθητήριο, χωρίς να προκαλέσει ανεπιθύμητη ανακρίβεια. Οι μονάδες της είναι αυτές της διέγερσης. Αν το σήμα εισόδου είναι μη γραμμικό, τότε για να αποφύγουμε μεγάλες τιμές του εύρους, το εκφράζουμε σε dB.

2. Εύρος εξόδου (full scale output-FSO)

Εύρος εξόδου ονομάζεται η διαφορά των τιμών που δίνει η έξοδος του αισθητηρίου, όταν σ' αυτό εφαρμοστεί η μεγαλύτερη και η χαμηλότερη διέγερση.

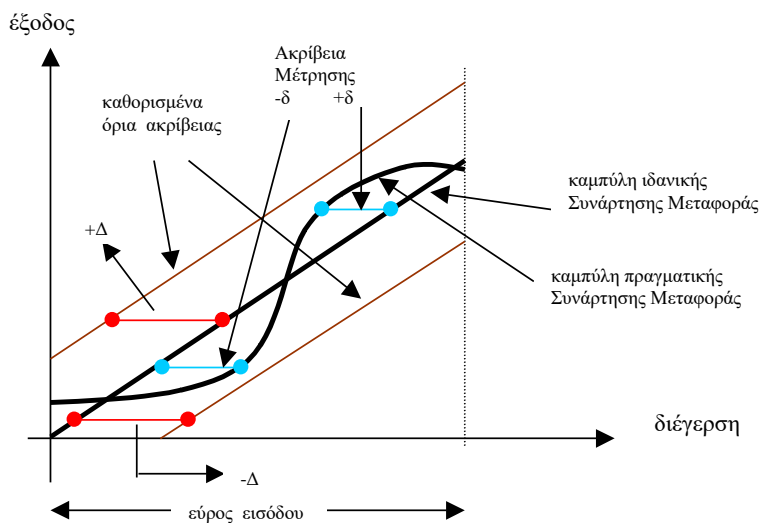
3. Ακρίβεια (accuracy-a)

Ακρίβεια ονομάζεται η μεγαλύτερη απόκλιση της τιμής της εξόδου του αισθητηρίου για μια συγκεκριμένη διέγερση, από την ιδανική. Ιδανική απόκριση θεωρείται αυτή που θεωρητικά υπολογίζεται από την ιδανική συνάρτηση μεταφοράς του.

Στο Σχήμα 3. βλέπουμε γραφικά τις έννοιες που μέχρι τώρα εξηγήσαμε.

Ιδανική συνάρτηση μεταφοράς είναι αυτή που περιγράφεται με μια μαθηματική συνάρτηση. Αντίθετα η πραγματική συνάρτηση μεταφοράς δεν περιγράφεται με μαθηματική συνάρτηση, αλλά με έναν πίνακα τιμών μεταξύ εισόδου και εξόδου. Η συνάρτηση αυτή, όπως παρατηρείτε στο σχήμα 3, δεν είναι ούτε αύξουσα, ούτε μονότονη.

Λόγω μεταβολής των υλικών κατασκευής, σφαλμάτων σχεδίασης, ανοχών κατά την κατασκευή και άλλων περιορισμών, είναι δυνατόν να έχουμε μια μεγάλη οικογένεια από πραγματικές συναρτήσεις μεταφοράς (και αντίστοιχες καμπύλες). Όλες, όμως, βρίσκονται μέσα στα καθορισμένα όρια ακρίβειας. Αυτά τα ανεκτά όρια διαφέρουν από την καμπύλη της ιδανικής συνάρτησης μεταφοράς κατά $\pm\delta$. Η πραγματική συνάρτηση αποκλίνει από την ιδανική κατά $\pm\delta$, όπου $\delta \leq \Delta$.



Σχήμα 3. Χαρακτηριστικά απόκρισης

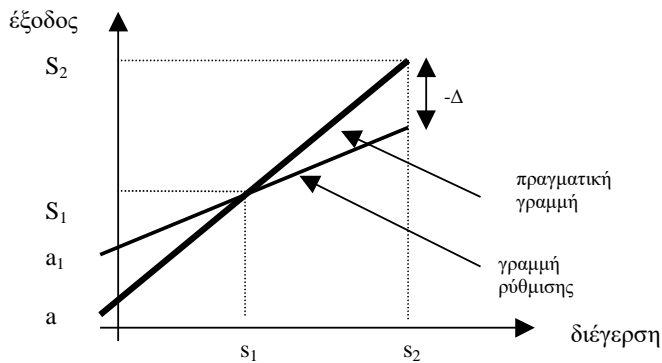
Στα πιο σύγχρονα αισθητήρια, αντί για την ακρίβεια χρησιμοποιείται η έννοια της αβεβαιότητας, που θα την εξετάσουμε αργότερα.

4. Σφάλμα ρύθμισης (calibration error)

Το σφάλμα ρύθμισης υπεισέρχεται κατά τη διαδικασία της βαθμονόμησης του αισθητηρίου στο εργοστάσιο. Είναι ένα συστηματικό σφάλμα και προστίθεται στα σφάλματα που οδηγούν στην πραγματική συνάρτηση μεταφοράς.

Για παράδειγμα, ας θεωρήσουμε μια βαθμονόμηση ενός γραμμικού αισθητηρίου με δύο σημεία (μια ευθεία καθορίζεται από δύο σημεία).

Για να ορίσουμε την αρχική τιμή και την κλίση της ευθείας, εφαρμόζουμε δύο διεγέρσεις s_1 και s_2 στον αισθητήρα. Το αισθητήριο αποκρίνεται με δύο τιμές εξόδου S_1 και S_2 . Έστω ότι η πρώτη απόκριση μετρήθηκε με ακρίβεια, ενώ η δεύτερη με ένα σφάλμα $-\Delta$. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα η καμπύλη βαθμονόμησης να διαφέρει από την πραγματική, όπως φαίνεται στο σχήμα 4.



Σχήμα 4. Βαθμονόμηση του αισθητηρίου

Τότε η αρχική κατάσταση θα διαφέρει από την πραγματική

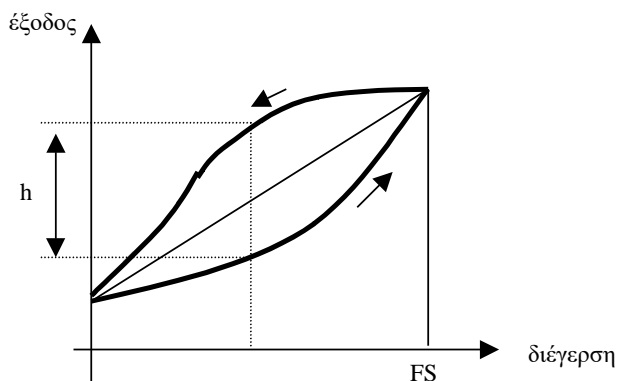
$$\delta_a = \alpha_1 - \alpha$$

και η κλίση θα υπολογίζεται με σφάλμα

$$\delta_b = - \frac{\Delta}{s_2 - s_1}$$

5. Υστέρηση (hysteresis-h)

Το σφάλμα υστέρησης είναι η απόκλιση που παρουσιάζει το σήμα εξόδου του αισθητηρίου για την ίδια τιμή της διέγερσης, όταν η είσοδος είναι σε αύξουσα κατάσταση και όταν είναι σε φθίνουσα κατάσταση



Σχήμα 5. Χαρακτηριστική υστέρησης

Οφείλεται στην τριβή και σε ανισοτροπίες που παρουσιάζουν τα υλικά. Στο σχήμα 5 φαίνεται η απόκλιση αυτή

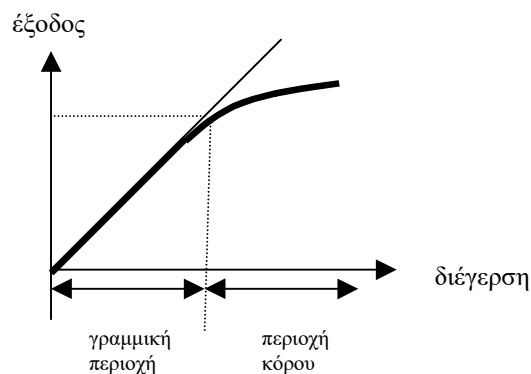
6. Μη γραμμικότητα (nonlinearity-L)

Αναφέρεται στα αισθητήρια, που η συνάρτηση μεταφοράς τους μπορεί να προσεγγιστεί από μια ευθεία γραμμή. Σφάλμα μη γραμμικότητας είναι η μέγιστη απόκλιση της πραγματικής

συνάρτησης μεταφοράς από την προσεγγιστική γραμμική απεικόνιση. Υπάρχουν διάφορες μέθοδοι προσέγγισης της πραγματικής συνάρτησης μεταφοράς από μια ευθεία γραμμή. Οι πιο γνωστές είναι η μέθοδος των οριακών σημείων, η μέθοδος των ελαχίστων τετραγώνων και η μέθοδος της ανεξάρτητης γραμμικότητας.

8. Κορεσμός (Saturation)

Σχεδόν κάθε αισθητήριο έχει όρια λειτουργίας. Έτσι, για ένα αισθητήριο που έχει γραμμική συμπεριφορά, υπάρχει κάποια τιμή της διέγερσης πέρα από την οποία το αισθητήριο δεν αποκρίνεται με τον ίδιο τρόπο. Στο Σχήμα 6 φαίνεται η συμπεριφορά ενός τέτοιου αισθητηρίου

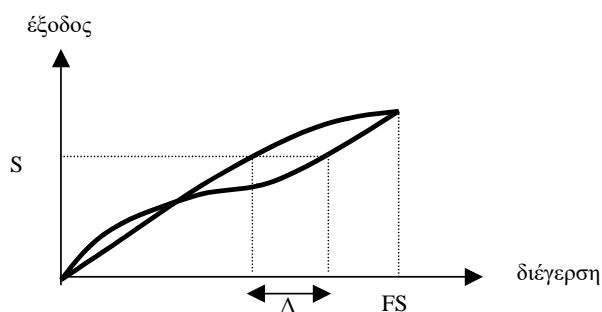


Σχήμα 6. Χαρακτηριστική με κόρο

Στην περιοχή κορεσμού (ή κόρου), περαιτέρω αύξηση της διέγερσης δεν ισοδυναμεί με ανάλογη αύξηση του σήματος εξόδου. Η αύξηση θα είναι μικρότερη και τελικά μηδενική.

9. Επαναληψιμότητα (repeatability)

Η απόκριση του αισθητηρίου, για την ίδια διέγερση, δεν είναι πάντα η ίδια. Έτσι, για κάποια τιμή της εξόδου του αισθητηρίου, η διέγερση δεν είναι καθορισμένη. Ορίζεται το σφάλμα επαναληψιμότητας σαν η μέγιστη διαφορά μεταξύ δύο τιμών διέγερσης, που δίνουν την ίδια έξοδο. Στο σχήμα 7 βλέπουμε την γραφική απεικόνιση του σφάλματος αυτού.



Σχήμα 7. Σφάλμα επαναληψιμότητας

Η μαθηματική διατύπωση του σφάλματος αυτού είναι

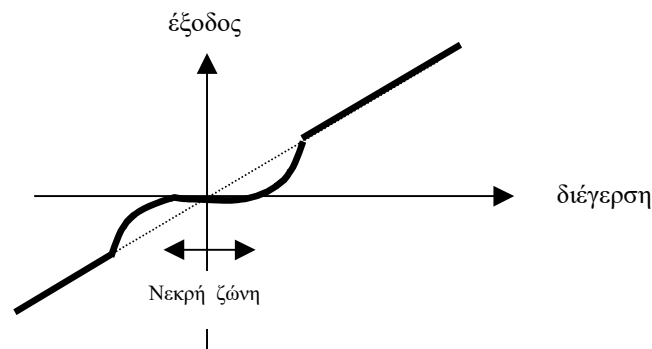
$$\delta_r = \frac{\Delta}{FS} 100\%$$

Πιθανές πηγές δημιουργίας του σφάλματος είναι ο θερμικός θόρυβος, η πλαστικότητα των υλικών κ.λ.π.

10. Νεκρή ζώνη (dead band)

Νεκρή ζώνη ονομάζεται μια περιοχή αναισθησίας του αισθητηρίου. Στο Σχήμα 8 φαίνεται η σχηματική παράσταση της χαρακτηριστικής καμπύλης λειτουργίας ενός αισθητηρίου με νεκρή ζώνη.

Στην περιοχή αυτή, ενώ η διέγερση μεταβάλλεται, η έξοδος έχει μια σχεδόν σταθερή τιμή, συνήθως μηδέν



.Σχήμα 8. Χαρακτηριστική με νεκρή ζώνη

11. Ευκρίνεια-διακριτική ικανότητα (Resolution)

Σαν ευκρίνεια ορίζεται η μικρότερη μεταβολή στη διέγερση, που μπορεί να γίνει αντιληπτή από το αισθητήριο (δηλαδή να μεταβάλει την έξοδό του). Παρατηρώντας την έξοδο του αισθητηρίου, διαπιστώνεται ότι δεν είναι ακριβώς συνεχής, αλλά αυξάνει με μικρά βήματα. Η μεταβολή της εισόδου, που θα έχει σαν αποτέλεσμα την αύξηση της εξόδου κατά ένα τέτοιο βήμα, ονομάζεται ακρίβεια σε καθορισμένες συνθήκες.

12. Αξιοπιστία (Reliability)

Αξιοπιστία είναι η ικανότητα ενός αισθητηρίου να υλοποιεί τη συνάρτηση μεταφοράς του, κάτω από καθορισμένες συνθήκες, για ένα μεγάλο χρονικό διάστημα. Εκφράζεται δε σαν η (στατιστική) πιθανότητα που έχει το αισθητήριο να λειτουργήσει χωρίς σφάλμα, για ένα καθορισμένο χρονικό διάστημα, ή για έναν αριθμό χρήσεων.

13. Αβεβαιότητα (Uncertainty)

Όπως έχουμε ήδη αναφέρει, η τιμή που δίνει στην έξοδο ένα αισθητήριο απέχει από την πραγματική τιμή. Επομένως, η μέτρηση περιέχει μια αβεβαιότητα, που οφείλεται στην ύπαρξη διαφόρων σφαλμάτων. Να σημειώσουμε εδώ ότι πρέπει να γίνεται διάκριση μεταξύ της έννοιας σφάλμα και της έννοιας αβεβαιότητα. Το σφάλμα μπορεί να μειωθεί, βελτιώνοντας τους παράγοντες που το δημιουργούν. Παρ' όλα αυτά, η αβεβαιότητα μιας μέτρησης μπορεί να εξακολουθεί να είναι μεγάλη. Έτσι, σφάλμα είναι το λάθος που κάνουμε κατά τη μέτρηση χωρίς επίγνωση, ενώ αβεβαιότητα είναι η εκτίμηση του σφάλματος αυτού.

ΕΙΔΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΑΙΣΘΗΤΗΡΙΩΝ

Εκτός από τα χαρακτηριστικά που αναφέραμε στην προηγούμενη ενότητα, κάθε αισθητήριο έχει και μερικά ακόμη χαρακτηριστικά, που σχετίζονται με την κατάσταση του αισθητηρίου και την κατάσταση του περιβάλλοντος, στο οποίο λειτουργεί.

Ορίζονται σαν **συνθήκες αποθήκευσης** (storage conditions) τα όρια παραμέτρων του περιβάλλοντος, στα οποία το αισθητήριο πρέπει να βρίσκεται κατά την λειτουργία του, ώστε να μην επηρεάζεται η συμπεριφορά του. Τέτοιες συνθήκες είναι η υψηλότερη και η χαμηλότερη θερμοκρασία, η σχετική υγρασία, τα υπάρχοντα ηλεκτρομαγνητικά πεδία κ.ά. Επίσης ορισμένες συνθήκες που εξαρτώνται από την φύση του υλικού του αισθητηρίου (π.χ. μέγιστη ασκούμενη πίεση).

Ο πλέον σημαντικός παράγοντας του περιβάλλοντος που επηρεάζει την καλή λειτουργία του αισθητηρίου είναι η θερμοκρασία. Συνήθως ο κατασκευαστής δίνει την ανώτερη και κατώτερη θερμοκρασία λειτουργίας του αισθητηρίου. Είναι απαραίτητο να διευκρινιστεί ότι στην ανώτερη θερμοκρασία λειτουργίας περιλαμβάνεται και η θέρμανση του αισθητηρίου, λόγω φαινομένου Joule (εφ' όσον βέβαια διαρρέεται από ρεύμα).

Άλλος παράγοντας που επηρεάζει την λειτουργία αλλά και το "χρόνο ζωής" του αισθητηρίου, είναι η μεταβολή του ρεύματος που το διαρρέει. Μείωση του ρεύματος τροφοδοσίας οδηγεί σε εσφαλμένη λειτουργία (παροδική βλάβη), ενώ αύξηση του ρεύματος τροφοδοσίας του αισθητηρίου πιθανόν να αλλοιώσει τις ιδιότητες του υλικού κατασκευής, με αποτέλεσμα την εσφαλμένη λειτουργία του και τελικά την καταστροφή του (μόνιμη βλάβη).

Η βραχύχρονη και μακρόχρονη σταθερότητα (short and long term stabilities) είναι μέρη του καθορισμού της ακρίβειας. Η βραχύχρονη σταθερότητα σχετίζεται με την αλλαγή της συμπεριφοράς του αισθητηρίου, καθώς αυτό λειτουργεί για λεπτά, ώρες ή ακόμη και ημέρες. Οφείλεται συνήθως σε κακή συναρμολόγηση των μερών του αισθητηρίου ή κακή χρήση του. Η μακρόχρονη σταθερότητα σχετίζεται με την αλλαγή της συμπεριφοράς του μετά από μήνες ή χρόνια λειτουργίας, λόγω "γήρανσης", και οφείλεται στην αλλαγή των ηλεκτρικών, μηχανικών, χημικών, ή θερμικών ιδιοτήτων του υλικού, από το οποίο είναι κατασκευασμένο το αισθητήριο.

Η σταθερότητα της λειτουργίας του αισθητηρίου, ανεξάρτητα από τις συνθήκες του περιβάλλοντος, μπορεί να βελτιωθεί, αν το αισθητήριο τοποθετηθεί σε προστατευτικό κουτί και χρησιμοποιηθεί ηλεκτρική και θερμοκρασιακή προστασία.

ΑΝΑΚΕΦΑΛΑΙΩΣΗ

Μέτρηση ενός φυσικού μεγέθους είναι η σύγκρισή του με τη μονάδα του. Αυτή μπορεί να γίνει και με άμεσο τρόπο, με τη χρήση κατάλληλου οργάνου, και με διαφορικό τρόπο.

Τα σφάλματα των μετρήσεων διακρίνονται σε συστηματικά, τυχαία και άστοχα. Το σφάλμα σε μια μέτρηση καθορίζει και την ακρίβειά της.

Οι μετρήσεις των φυσικών μεγεθών γίνονται με τη βοήθεια αισθητηρίων, τα χαρακτηριστικά των οποίων καθορίζουν σε μεγάλο βαθμό την ποιότητα των μετρήσεων.

ΑΣΚΗΣΕΙΣ

1. Κατά τη μέτρηση ενός μεγέθους, η μετρούμενη τιμή βρέθηκε 9.8Α, ενώ η πραγματική είναι 9.9Α (όπου Α η μονάδα μέτρησης του μεγέθους). Να βρεθεί το απόλυτο και το σχετικό σφάλμα, καθώς και η ακρίβεια της μέτρησης, αν το όργανο είναι σε κλίμακα 0-20Α.

Λύση

Το απόλυτο σφάλμα είναι

$$\Delta X = 9.9 - 9.8 = 0.1^A$$

Και το σχετικό

$$\gamma = \frac{0.1}{9.9} = 0.01 \text{ ή } 1\%$$

Τέλος, η ακρίβεια είναι

$$a = \frac{0.1}{20} = 0.005 \text{ ή } 0.5\%$$

2. Ένα πιεζοηλεκτρικό αισθητήριο θέσης έχει ευαισθησία εξόδου $1.5\text{mV}/\mu\text{m}$. Επίσης, παρουσιάζει απόκλιση τιμής λόγω θερμοκρασίας $-5\mu\text{V}/^\circ\text{K}$. Να βρεθεί τι μέτρηση θα δίνει το αισθητήριο για μετακίνηση 1cm , σε θερμοκρασία περιβάλλοντος 25°C .

Λύση

Η θερμοκρασία του περιβάλλοντος είναι (περίπου) $25+275 = 300^\circ\text{K}$. Επομένως δημιουργείται μια απόκλιση στην τιμή της μέτρησης ίση με $-5\mu * 300 = -1.5\text{mV}$.

Αυτή αντιστοιχεί σε ένα σφάλμα στη μέτρηση ίσο με $1\mu\text{m}$.

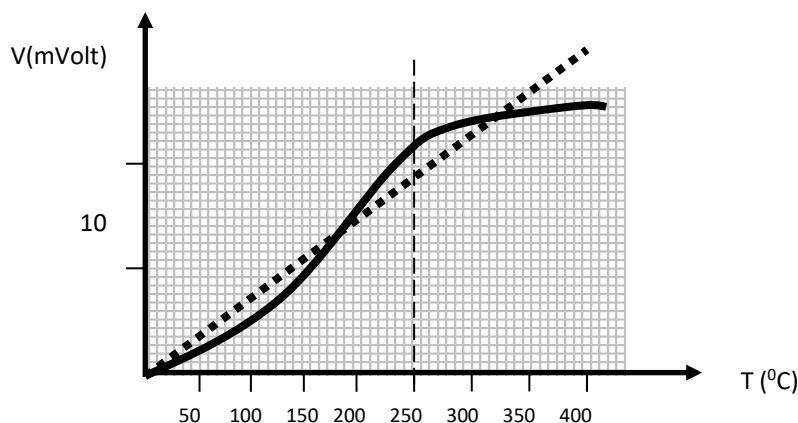
Η μετακίνηση του 1cm δημιουργεί μια τάση

$$\frac{1.5\text{mV}}{10^{-6}} 10^{-2} = 15\text{V},$$

η οποία, λόγω της θερμοκρασίας, γίνεται $15\text{V} - 1.5\text{mV} = 14.9985\text{V}$

Η τάση αυτή αντιστοιχεί σε μετακίνηση $9,999\text{ cm}$.

3. Για τη μέτρηση της θερμοκρασίας ενός κλιβάνου πήραμε μια σειρά μετρήσεων, που την αναπαράστησαμε γραφικά στο παρακάτω διάγραμμα. Στο ίδιο διάγραμμα φαίνεται και η ιδανική λειτουργία του αισθητηρίου (διακεκομμένη γραμμή). Υπολογίστε το απόλυτο και το σχετικό σφάλμα της μέτρησης, στην θερμοκρασία των 250°C . Βρείτε, επίσης, την ακρίβεια του αισθητηρίου και το σημείο κορεσμού του.
- 4.



Λύση

Από το διάγραμμα βλέπουμε ότι για τη θερμοκρασία των 250°C έχουμε πραγματική μέτρηση 10.07mV , ενώ η θεωρητική μέτρηση είναι 9.95mV . Άρα υπάρχει ένα απόλυτο σφάλμα $10.07 - 9.95 = 0.12\text{ mV}$, ενώ το σχετικό σφάλμα είναι $0.12/10.07 = 0.012$ ή 1.2%

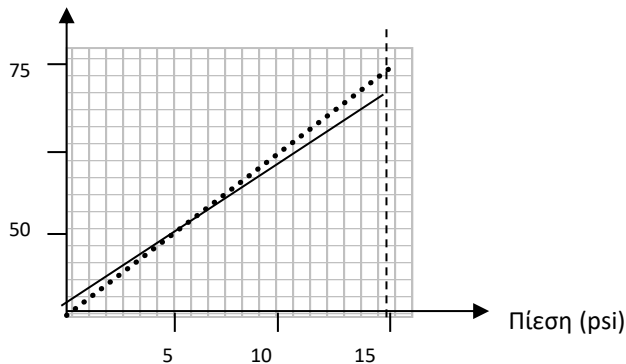
Επίσης, από την παρατήρηση του διαγράμματος προκύπτει ότι η ακρίβεια του αισθητηρίου είναι περίπου 3 γραμμές, άρα $3 * 10/20 = 1.5\text{mV}$, ενώ το σημείο κορεσμού είναι περίπου στους 300°C .

5. Κατά την βαθμονόμηση ενός γραμμικού αισθητηρίου μέτρησης πίεσης (πιεζοηλεκτρικού), με την μέθοδο των δύο σημείων, έγιναν δύο μετρήσεις. Η πρώτη, για πίεση 2psi, έδωσε έξοδο 10.2 mV, και η άλλη, για πίεση 10psi, έδωσε έξοδο 49mV. Η ιδανική μεταβολή της εξόδου σε συνάρτηση με την είσοδο ακολουθεί την εξίσωση $V = 5P$ (αριθμητικά), όπου V η τάση εξόδου και P η ασκούμενη πίεση. Να χαραχτούν οι δύο ευθείες. Να βρεθεί η ευαισθησία του οργάνου, σύμφωνα με τις μετρούμενες τιμές, και το σφάλμα ρύθμισης.

Λύση

Στο παρακάτω διάγραμμα βλέπουμε τις δύο ευθείες (με διακεκομμένη γραμμή η ιδανική)

Τάση(mV)



Η ευθεία ρύθμισης θα έχει την μορφή :

$$V = aP + b$$

Οπότε, για τα ζευγάρια τιμών (2,10.2) και (10,49) προσδιορίζουμε τους συντελεστές a και b . Τελικά έχουμε:

$$V = 4.85P + 0.5$$

Επομένως, η ευαισθησία του οργάνου είναι 4.85 mV/psi

Το σφάλμα στις δύο μετρήσεις είναι 0.2mV και -1mV. Άρα, το σφάλμα στην κλίση είναι:

$$\delta_b = \frac{-1 - 0.2}{10 - 2} = 0.15$$

ενώ στην αρχική τιμή είναι 0.5mV

ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ

A. Να απαντήσετε συνοπτικά στις ερωτήσεις

1. Ποιες είναι οι κυριότερες μέθοδοι μετρήσεων;
2. Ποιες είναι οι κυριότερες αιτίες δημιουργίας σφαλμάτων σε μια μέτρηση; Προτείνετε τρόπους εξάλειψης της κάθε αιτίας.
3. Κατά την επαναληπτική μέτρηση ενός μεγέθους βρήκατε τις τιμές 3.0, 3.2, 2.7, 3.0, 2.9. Ποια θα θεωρήσετε σαν τιμή του μεγέθους; Υπολογίστε το απόλυτο και το σχετικό σφάλμα της κάθε μέτρησης. Αν οι μετρήσεις έγιναν σε κλίμακα 0-5, να βρεθεί η ακρίβεια της κάθε μέτρησης.
4. Ένα αισθητήριο έχει συνάρτηση μεταφοράς $F = 3s + 1$, ενώ από διαδοχικές μετρήσεις σχηματίσαμε τον κάτωθι πίνακα:

Είσοδος	0	1	2	3	4	5
Έξοδος	1.5.5	4.3	7.1	10.2	13.5	17.2

Να χαραχθούν η ιδανική και η πραγματική καμπύλη συνάρτησης μεταφοράς και να υπολογιστεί η ακρίβεια ρύθμισης.

5. Να δοθεί η γραφική παράσταση των καμπυλών ιδανικής και πραγματικής συνάρτησης μεταφοράς ενός υποθετικού αισθητηρίου (σε χαρτί μιλιμετρέ) και από αυτές να υπολογιστούν τα όρια της ακρίβειας και η ακρίβεια των δύο μετρήσεων.
6. Τι ονομάζουμε κορεσμό και τί επαναληψιμότητα ενός αισθητηρίου;
7. Τι είναι η βραχύχρονη και τί η μακρόχρονη σταθερότητα ενός αισθητηρίου;
8. Τι ονομάζουμε αξιοπιστία ενός αισθητηρίου;

B. Να συμπληρώσετε τα κενά στις προτάσεις

1. Τα συστήματα μονάδων χωρίζονται σε δύο ομάδες: στις και στις
2. Τα σφάλματα είναι δυνατόν να είναι, ή
3. Αισθητήρια είναι κυκλώματα που δέχονται ένα από το περιβάλλον και απαντούν με ένα
4. Τα αισθητήρια δεν έχουν ανάγκη εξωτερικής τροφοδοσίας. Αντίθετα τα για να λειτουργήσουν χρειάζονται εξωτερική τροφοδοσία.
5. Σαν συνάρτηση μεταφοράς ορίζεται η ιδανική σχέση μεταξύ του σήματος και του σήματος του αισθητηρίου.
6. Σαν σφάλμα επαναληψιμότητας ορίζεται η μέγιστη διαφορά μεταξύ δύο τιμών που δίνουν την ίδια
7. Ένα μετατρέπει ενέργεια κάποιας μορφής σε ηλεκτρική, ενώ ένας μια μορφή ενέργειας σε άλλη μορφή, όχι απαραίτητα ηλεκτρική.

Γ. Να επιλέξετε την σωστή απάντηση στις ερωτήσεις

1. Ένας ενισχυτής με ενίσχυση ισχύος 30db έχει ενίσχυση:
 - i. 100
 - ii. 1000
 - iii. 300

2. Τα άστοχα σφάλματα οφείλονται:
 - i. στην βαθμολόγηση του οργάνου
 - ii. σε απροσδιόριστα αίτια
 - iii. σε ανθρώπινο παράγοντα

3. Διατάξεις που μετατρέπουν μιας μορφής ενέργεια σε ενέργεια άλλης μορφής, λέγονται:
 - i. αισθητήρια (sensors)
 - ii. μεταλλάκτες (transducers)
 - iii. ανιχνευτές (detectors)

4. Ακρίβεια ενός αισθητηρίου ονομάζεται:
 - i. η μεγαλύτερη απόκλιση της τιμής της εξόδου του αισθητηρίου, για κάποια συγκεκριμένη διέγερση
 - ii. η μικρότερη απόκλιση της τιμής της εξόδου του αισθητηρίου, για κάποια συγκεκριμένη διέγερση
 - iii. η μεγαλύτερη απόκλιση της τιμής της εξόδου από την τιμή της εισόδου του αισθητηρίου

5. Διακριτότητα ενός αισθητηρίου ονομάζεται
- i. η μικρότερη μεταβολή στην διέγερση, που μπορεί να γίνει αντιληπτή από το αισθητήριο
 - ii. η τιμή της εισόδου, στην οποία παύει να υπάρχει γραμμικότητα στο αισθητήριο
 - iii. η μικρότερη τιμή της εισόδου, που δίνει έξοδο στο αισθητήριο
6. Αν ένας κατασκευαστής δίνει μέγιστη θερμότητα λειτουργίας 70°C, η θερμοκρασία αυτή αφορά:
- i. την θερμοκρασία του εξωτερικού περιβάλλοντος
 - ii. την θερμοκρασία του χώρου λειτουργίας
 - iii. την θερμοκρασία του χώρου λειτουργίας συν την θερμοκρασία λόγω φαινομένου Joule

ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΑΙΣΘΗΤΗΡΙΩΝ

Όπως περιγράψαμε στο πρώτο κεφάλαιο, σε ένα σύστημα αυτοματισμού ιδιαίτερα σημαντικό ρόλο παίζουν τα αισθητήρια που χρησιμοποιούνται και ο τρόπος σύνδεσής τους στο υπόλοιπο κύκλωμα. Έτσι, για να σχεδιάσουμε ένα κύκλωμα μέτρησης και ελέγχου κάποιου φυσικού μεγέθους, πρέπει πρώτα να γνωρίζουμε τα αισθητήρια που υπάρχουν για τον σκοπό αυτό. Συνήθως, για κάθε φυσικό μέγεθος υπάρχουν περισσότερα από ένα αισθητήρια. Θα πρέπει λοιπόν να γίνει η κατάλληλη επιλογή του αισθητηρίου, ανάλογα με τις απαιτήσεις της εφαρμογής, και στην συνέχεια να προχωρήσουμε στον σχεδιασμό του κυκλώματος.

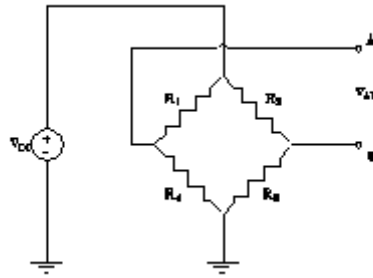
Στο κεφάλαιο αυτό θα δούμε μερικές βασικές εφαρμογές, όπως είναι η μέτρηση πίεσης και κάμψης, ο έλεγχος της στάθμης υγρού και ο έλεγχος φωτεινής στάθμης. Αρχικά θα εξετάσουμε τα αισθητήρια που μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε κάθε εφαρμογή και, στην συνέχεια, θα προχωρήσουμε στον σχεδιασμό ενός, τουλάχιστον, κυκλώματος μέτρησης ή ελέγχου του αντίστοιχου φυσικού μεγέθους. Στην συνέχεια θα περιγράψουμε τις κυριότερες αιτίες δημιουργίας ηλεκτρικού θορύβου σε κύκλωμα αυτοματισμού και θα δούμε τρόπους μείωσής του. Τέλος θα εξετάσουμε την σημασία της γείωσης και της θωράκισης στα κυκλώματα των αυτοματισμών.

ΜΟΝΑΔΕΣ ΤΟΥ ΚΥΚΛΩΜΑΤΟΣ ΕΛΕΓΧΟΥ

Κατά την κατασκευή ενός αυτοματισμού έχουμε να αντιμετωπίσουμε μια σειρά προβλημάτων, κοινών σε πολλές εφαρμογές. Το πρώτο πρόβλημα είναι ο τρόπος σύνδεσης του αισθητηρίου στο υπόλοιπο κύκλωμα. Στην συνέχεια το σήμα εισόδου πρέπει να ενισχυθεί και τελικά συνήθως συγκρίνεται με κάποιο άλλο σήμα που αποτελεί το σήμα αναφοράς (επιθυμητή τιμή). Στην παράγραφο αυτή θα δούμε μερικές απλές λύσεις για τα προβλήματα αυτά. Θα γνωρίσουμε επίσης μερικά στοιχεία που είναι απαραίτητα στην κατασκευή κάποιου αυτοματισμού.

Κύκλωμα προσαρμογής αισθητηρίου

Το πρώτο πρόβλημα που πρέπει να αντιμετωπισθεί είναι η σύνδεση του αισθητηρίου στο κύκλωμα μέτρησης. Όταν το αισθητήριο είναι παθητικό (δηλαδή χρειάζεται εξωτερική πηγή τροφοδοσίας), ένας συνηθισμένος τρόπος σύνδεσης είναι σε γέφυρα.



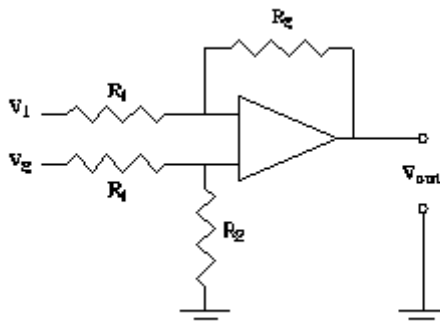
Σχήμα 9: Συνδεσμολογία αισθητηρίων σε γέφυρα

Μία συνδεσμολογία γέφυρας είναι αυτή του σχήματος 9. Το αισθητήριο μπορεί να είναι μία ή περισσότερες από τις αντιστάσεις του σχήματος. Έτσι έχουμε:

- συνδεσμολογία γέφυρας με ένα αισθητήριο. Στην περίπτωση αυτή, το αισθητήριο τοποθετείται στην θέση της R_4 . Αν υποθέσουμε ότι η (μεταβαλλόμενη) αντίσταση του αισθητηρίου είναι της μορφής $R(1+\delta)$ και θέσουμε $R_1 = R_2 = R_3 = R$, τότε $V_{AB} = V_{CC} \delta / 4$, δηλαδή ανεξάρτητο του R . Άρα, μεταβολή στην θερμοκρασία δεν επηρεάζει τη μέτρηση.
- συνδεσμολογία γέφυρας με δύο αισθητήρια. Τα αισθητήρια τοποθετούνται στις θέσεις των R_2 και R_4 και είναι της μορφής $R(1+\delta)$. Οπότε, αν θέσουμε $R_1 = R_3 = R$, αποδεικνύεται ότι $V_{AB} = V_{CC} \delta / 2$, δηλαδή διπλάσιο από την προηγούμενη περίπτωση. Αυτή η συνδεσμολογία χρησιμοποιείται αν πρόκειται να παρακολουθήσουμε την μεταβολή ενός μεγέθους (π.χ. για μέτρηση δύναμης σε ράβδο, χρησιμοποιούνται δύο αισθητήρες τύπου strain gauge, που τοποθετούνται αντίθετα στην ράβδο).
- συνδεσμολογία γέφυρας με τέσσερα αισθητήρια. Στην συνδεσμολογία αυτή, στη θέση όλων των αντιστάσεων υπάρχουν αισθητήρια. Στις θέσεις των R_2 και R_4 είναι τύπου $R(1+\delta)$, ενώ στις άλλες δύο είναι της μορφής $R(1-\delta)$. Αποδεικνύεται ότι $V_{AB} = V_{CC} \delta$.

Κύκλωμα ενίσχυσης του σήματος εισόδου

Το σήμα που δημιουργείται από τα προηγούμενα κυκλώματα θα πρέπει να ενισχυθεί. Για να οδηγήσουμε το σήμα στον ενισχυτή, χρησιμοποιούμε συνήθως έναν Τελεστικό Ενισχυτή σε συνδεσμολογία διαφορικού ενισχυτή. Στο σχήμα 10 φαίνεται ένας τέτοιος ενισχυτής



Σχήμα 10: Διαφορικός ενισχυτής

$$\text{Αποδεικνύεται ότι } V_{\text{out}} = \frac{R_2}{R_1}(V_1 - V_2)$$

Το κύκλωμα αυτό παρουσιάζει στην πράξη αρκετά μειονεκτήματα (προβλήματα αντιστάθμισης, γραμμικοποίησης) και γι' αυτό, συνήθως, χρησιμοποιούνται πιο σύνθετα κυκλώματα.

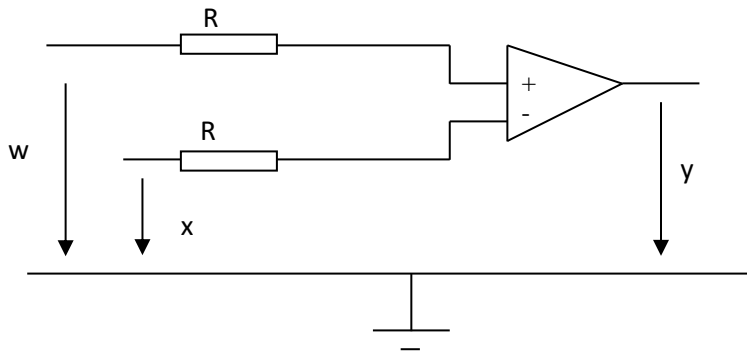
Κύκλωμα σύγκρισης

Σχεδόν σε όλα τα συστήματα αυτοματισμού γίνεται σύγκριση της τιμής ενός φυσικού μεγέθους, το οποίο θέλουμε να ελέγξουμε, με μια επιθυμητή τιμή του μεγέθους αυτού. Η σύγκριση αυτή μπορεί να γίνει είτε με αναλογικό, είτε με ψηφιακό τρόπο.

Ο αναλογικός συγκριτής είναι ένα αναλογικό κύκλωμα με δύο εισόδους και μια έξοδο. Στη μια είσοδο έχουμε την επιθυμητή τιμή σαν μια προτοποθετημένη τιμή (preset value), συνήθως μέσω ενός ποτενσιομέτρου. Στη δεύτερη είσοδο οδηγείται η έξοδος του αισθητηρίου, συνήθως μέσω ενός κυκλώματος ενίσχυσης και προσαρμογής. Ανάλογα με τη σχεδίαση του συγκριτή, η έξοδος του είναι ελάχιστη (min) ή μέγιστη (max), όταν η τιμή του σήματος του αισθητηρίου είναι μεγαλύτερη από την επιθυμητή τιμή. Δηλαδή:

$$y(t) = \begin{cases} Y_{\max} & \text{για } \dots w > x \\ Y_{\min} = -Y_{\max} & \text{για } \dots w < x \end{cases}$$

Η επιθυμητή τιμή μπορεί να είναι είτε η w, είτε η x. Ένα θεωρητικό κύκλωμα που υλοποιεί τη συνάρτηση αυτή είναι αυτό του σχήματος 11

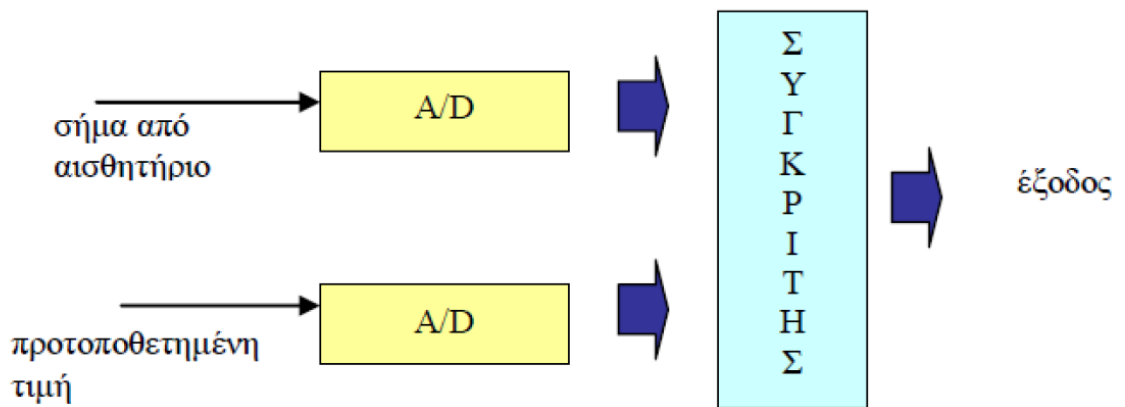


Σχήμα 11. Σχηματικό διάγραμμα αναλογικού συγκριτή

Ο ψηφιακός ή λογικός συγκριτής έχει και αυτός δύο εισόδους και μία έξοδο. Και εδώ έχουμε το σήμα από το αισθητήριο και μια προτοποθετημένη τιμή.

Όμως, τα σήματα οδηγούνται στο κύκλωμα του συγκριτή, αφού πρώτα μετατραπούν σε ψηφιακά (με αναλογοψηφιακούς ετατροπείς-Analog to Digital Converters- A/D), το δε κύκλωμα του συγκριτή είναι και αυτό ψηφιακό

Τελευταία έχουν κυκλοφορήσει ολοκληρωμένα κυκλώματα ψηφιακών συγκριτών. Έτσι το ολοκληρωμένο 74LS85 συγκρίνει δύο λέξεις των 4bits και ενεργοποιεί μία από τρεις εξόδους (για <, >, =). Στο Σχήμα 12 βλέπουμε το διάγραμμα βαθμίδων ενός ψηφιακού συγκριτή.

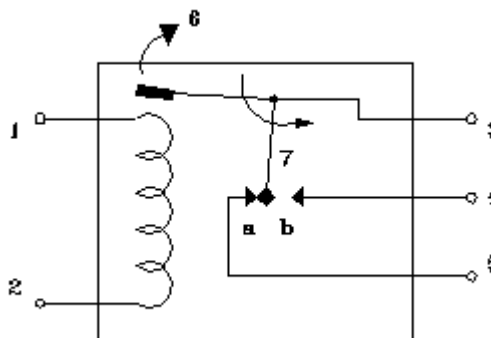


Σχήμα 12: Διάγραμμα βαθμίδων ψηφιακού συγκριτή

Υλικά αυτοματισμών

Κάθε κύκλωμα αυτοματισμού αποτελείται από διάφορα ηλεκτρικά, ηλεκτρονικά, μηχανικά και υδραυλικά στοιχεία, κατάλληλα συνδεδεμένα μεταξύ τους. Τα κυριότερα βοηθητικά στοιχεία του κυκλώματος είναι:

- Ρελέ ή ηλεκτρονόμοι (H/N). Πρόκειται για μηχανισμό που, όταν διεγείρεται, αποκαθιστά ή διακόπτει μια συνδεσμολογία. Στο σχήμα 13 βλέπουμε σχηματικά την κατασκευή του ηλεκτρονόμου.

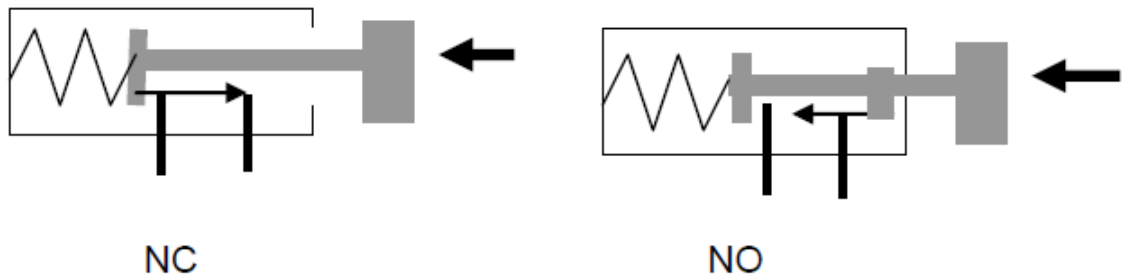


Σχήμα 13. Σχηματικό διάγραμμα ηλεκτρονόμου

Σε κατάσταση ηρεμίας είναι κλειστή η επαφή a του ρελέ, άρα υπάρχει επαφή μεταξύ των σημείων 3 και 5. Όταν στην είσοδο του ρελέ (σημεία 1 και 2) εφαρμοστεί τάση, το πηνίο διαρρέεται από ρεύμα και έλκει το έλασμα 6 (όπλιση του ρελέ). Τότε ο βραχίονας 7 περιστρέφεται, όπως δείχνει το βέλος, με αποτέλεσμα η επαφή a να ανοίξει και να κλείσει η επαφή b. Τώρα υπάρχει επαφή μεταξύ των σημείων 3 και 4 της εξόδου του ρελέ. Δηλαδή, ανάλογα με την τιμή του ρεύματος εισόδου, ο βραχίονας 7 μετάγεται από την μια επαφή στην άλλη, παρέχοντας τη δυνατότητα να θέσουμε σε λειτουργία ή να αποκόψουμε ένα κύκλωμα, προκαλώντας μεταβολή στην κατάσταση του συστήματος ισχύος. Να σημειώσουμε ότι ένα ρελέ, συνήθως, έχει περισσότερες από μία μεταγωγικές επαφές. Υπάρχει μεγάλη ποικιλία

ρελέ, ανάλογα με την τάση διέγερσης, την ισχύ, τον αριθμό και το μέγιστο ρεύμα των επαφών.

- Όργανα χειρισμών. Είναι εξαρτήματα, με τα οποία δίνονται στο κύκλωμα χειροκίνητα κάποιες εντολές (όπως εκκίνηση ή διακοπή). Αυτά διακρίνονται σε μπουτόν και διακόπτες. Το μπουτόν διαθέτει μια επαφή, που σε κατάσταση ηρεμίας είναι είτε ανοικτή (normal open-NO) και με πίεση κλείνει στιγμιαία, είτε κλειστή (normal close-NC) και με πίεση ανοίγει στιγμιαία. Στο Σχήμα 14 φαίνεται η λειτουργία των μπουτόν.



Σχήμα 14. Σχηματικά διαγράμματα μπουτόν

Οι διακόπτες διαθέτουν μια ή περισσότερες επαφές. Η διαφορά από τα μπουτόν είναι ότι η αλλαγή στην κατάστασή τους είναι μόνιμη και χρειάζεται νέο πάτημα για να επανέλθουν στην αρχική τους κατάσταση (δεν υπάρχει το ελατήριο επαναφοράς).

- Ενδεικτικά όργανα μετρήσεων: Αυτά βοηθούν στο να γνωρίζουμε ανά πάσα στιγμή τις τιμές των μεγεθών που ελέγχουμε. Τέτοια όργανα είναι το βολτόμετρο, το αμπερόμετρο, το συχνόμετρο, το βατόμετρο, όργανο μέτρησης πίεσης (μανόμετρο) κ.ά.

ΜΕΤΡΗΣΗ ΠΙΕΣΗΣ ΚΑΙ ΣΤΑΘΜΗΣ ΥΓΡΟΥ

Η πίεση είναι μια σημαντική παράμετρος σε πολλά κυκλώματα αυτοματισμού, κυρίως σε βιομηχανικές εφαρμογές, και η μέτρηση της τιμής της χρησιμοποιείται στη μέτρηση της ταχύτητας ροής ρευστού και στον υπολογισμό της στάθμης του. Ένα σημαντικό πρόβλημα όμως είναι ότι δεν μπορεί να μετρηθεί άμεσα. Γενικά, ένα μηχανικό κύκλωμα μπορεί να δώσει πληροφορίες μόνο για τη διαφορά πίεσης μεταξύ δύο σημείων. Έτσι, για να έχουμε απόλυτη μέτρηση, πρέπει να υποθέσουμε ένα σημείο αναφοράς (viewpoint), ως προς το οποίο θα γίνεται η μέτρηση.

Τα αισθητήρια πίεσης, συνήθως, διατίθενται σε τρεις μορφές, που επιτρέπουν τη μέτρηση απόλυτης (absolute), διαφορικής (differential) ή σχετικής (gauge) πίεσης.

Τα αισθητήρια διαφορικής πίεσης μετρούν τη διαφορά πίεσης μεταξύ δύο σημείων (πηγών πίεσης), όπου η πίεση του ενός σημείου θεωρείται σαν αναφορά. Αν η πίεση αναφοράς είναι του περιβάλλοντος (ατμοσφαιρική πίεση), τότε η μέτρηση αφορά σχετική πίεση. Αν η πίεση αναφοράς είναι η πίεση του κενού που θεωρείται (εξ ορισμού) ίση με μηδέν, τότε η μέτρηση αφορά την απόλυτη πίεση.

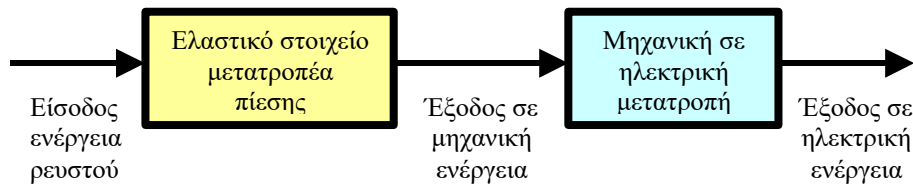
Αισθητήρια πίεσης

Σε όλους τους μετατροπείς (transducers) πίεσης, πρέπει να μετατραπεί ενέργεια από το σύστημα που πρόκειται να μετρηθεί σε άλλη μορφή.

Υπάρχουν δύο κατηγορίες μετατροπέων πίεσης. Στη πρώτη κατηγορία η πίεση μετράται άμεσα με μετατροπή της σε μηχανική κίνηση και σ' αυτήν ανήκουν τα μανόμετρα (manometers) και οι εξισοροποιητές πίεσης (pressure-balances) η λειτουργία των οποίων βασίζεται στην εξίσωση

Πίεση = δύναμη / μονάδα επιφανείας

Στην δεύτερη κατηγορία η πίεση μετράτε έμμεσα με μετατροπή της σε ηλεκτρικό σήμα . Τα όργανα της ομάδας αυτής βασίζονται στη μετατροπή της πίεσης σε ηλεκτρικό σήμα κατάλληλο για επεξεργασία, καθώς το ρευστό που πρόκειται να μελετηθεί πιέζει μια ελαστική επιφάνεια (π.χ. διάφραγμα) που προκαλεί την μεταβολή της αντίστασης ή της χωρητικότητας ενός στοιχείου που με την σειρά της προκαλεί μεταβολή στην τάση ή το ρεύμα ενός στοιχείου. Στο Σχήμα 15 φαίνεται η αρχή λειτουργίας ενός τέτοιου μετατροπέα



Σχήμα 15: Αρχή λειτουργίας μετατροπέα πίεσης

Οι μετατροπείς που συνήθως χρησιμοποιούνται είναι αυτοί που δίνουν ηλεκτρικό σήμα. Οι κυριότεροι τύποι που χρησιμοποιούνται βασίζονται στην μεταβολή αντίστασης, επαγωγής ή χωρητικότητας. Είναι περισσότερο ακριβείς από αυτούς της πρώτης κατηγορίας και δίνουν απ' ευθείας ένα ηλεκτρικό σήμα (π.χ. ηλεκτρικό ρεύμα έντασης 4-20mA). Στον κάτωθι πίνακα παρουσιάζεται μια σύγκριση των τριών αυτών τύπων.

Εκτός των μετατροπέων που αναφέρθηκαν, υπάρχουν και αρκετοί άλλοι, με κυριότερους τους πιεζοηλεκτρικούς. Αυτοί βασίζονται στο φαινόμενο, που παρουσιάζουν κάποια υλικά, να εμφανίζουν διαφορά δυναμικού στα άκρα τους, όταν ασκηθεί πάνω τους πίεση.

ΠΙΝΑΚΑΣ

τύπος	Περιοχή	ακρίβεια	Σχόλια
Χωρητικότητας	0.01Pa-200Kpa	0.2%	Μικρή επίδραση θερμοκρασίας Μεγάλη σταθερά χρόνου
Επαγωγής	1Pa-1Gpa	0.2%	Μικρή επίδραση θερμοκρασίας Μικρή σταθερά χρόνου
Αντίστασης	20Kpa-250Mpa	0.1%	Σημαντική επίδραση θερμοκρασίας Εξαιρετικά μικρή σταθερά χρόνου

Τα χαρακτηριστικά που παρουσιάζει ένας πιεζοηλεκτρικός μετατροπέας φαίνονται συνοπτικά στον κάτωθι πίνακα

ΠΙΝΑΚΑΣ

<u>Χαρακτηριστικά λειτουργίας</u>	
Περιοχή λειτουργίας	0 έως 15 psi *
Έξοδος	100 mV
Ευαισθησία	7mV/psi
Αντίσταση εισόδου	8KΩ±10%
Ακρίβεια	±0.1%
Συχνότητα μέτρησης	500KHz

*psi : pounts per square inch (πάουντς ανά τετραγωνική ίντσα) \approx 6.9 Kpa

Μέτρηση πίεσης

Σε ένα κύκλωμα μέτρησης πίεσης, το αισθητήριο συνήθως συνδέεται σε συνδεσμολογία γέφυρας. Μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε, λοιπόν, ένα αισθητήριο μεταβολής αντίστασης και να το συνδέσουμε σε γέφυρα, όπως έχουμε ήδη περιγράψει. Στη συνέχεια με ένα διαφορικό ενισχυτή (Σχήμα 18) οδηγούμε το σήμα σε ένα κύκλωμα ενίσχυσης και γραμμικοποίησης.

Να σημειώσουμε εδώ, ότι η ενίσχυση που πραγματοποιεί ο ενισχυτής πρέπει να έχει τέτοια τιμή, ώστε το σήμα εξόδου του να είναι συμβατό με το κύκλωμα απεικόνισης.

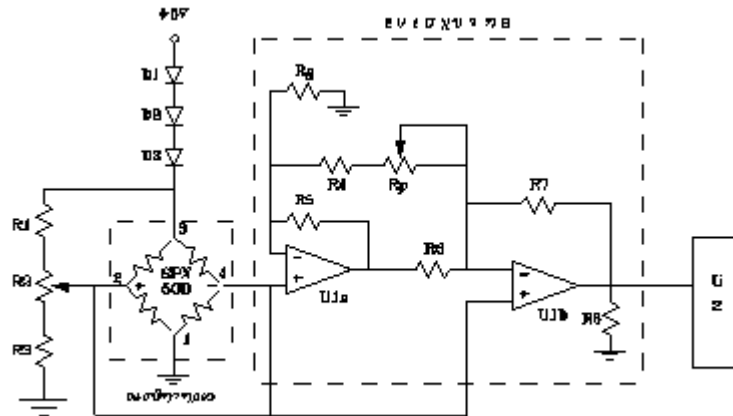
Εκτός από τη μέθοδο αυτή, μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε ένα αισθητήριο της σειράς Sensym SPX, που αποτελεί την ολοκληρωμένη μορφή της προηγούμενης διάταξης, αφού έχει το μεταλλάκτη συνδεδεμένο ήδη σε γέφυρα. Οι στάθμες μέτρησης των αισθητηρίων αυτών φαίνονται στον κάτωθι πίνακα .

ΠΙΝΑΚΑΣ

Περιοχή	Τύπος
0-1 PSI	SPX50D
0-10 PSI	SPX50DN
0-15 PSI	SPX-100
0-30 PSI	SPX-200

Στο σχήμα 16 εικονίζεται ένα κύκλωμα που χρησιμοποιεί το ολοκληρωμένο αισθητήριο SPX50D και κάνει απεικόνιση σε bar-graph

Τα ολοκληρωμένα που χρησιμοποιούνται είναι ο διπλός τελεστικός ενισχυτής LM358 (U1) και ο οδηγός LED dot display NSM3914B (U2).



Σχήμα 16 Μέτρηση πίεσης με ολοκληρωμένο κύκλωμα

Τα αισθητήρια πίεσης μπορούν να χρησιμοποιηθούν και για τη μέτρηση της ταχύτητας ροής ενός ρευστού. Από τον νόμο Bernoulli είναι γνωστό ότι:

$$v = \sqrt{\frac{2(P_T - P_S)}{\rho}}$$

όπου P_T η ολική πίεση του ρευστού (λόγω του βάθους που πραγματοποιείται η μέτρηση και της κίνησης του ρευστού), P_S η στατική (οφειλόμενη μόνο στο βάθος της μέτρησης) και ρ η πυκνότητα του ρευστού. Οι δύο πιέσεις μπορούν να μετρηθούν με αισθητήρια πίεσης (τοποθετημένα στο ίδιο βάθος) και οι έξοδοί τους να οδηγηθούν σε έναν διαφορικό ενισχυτή.

Μέτρηση στάθμης

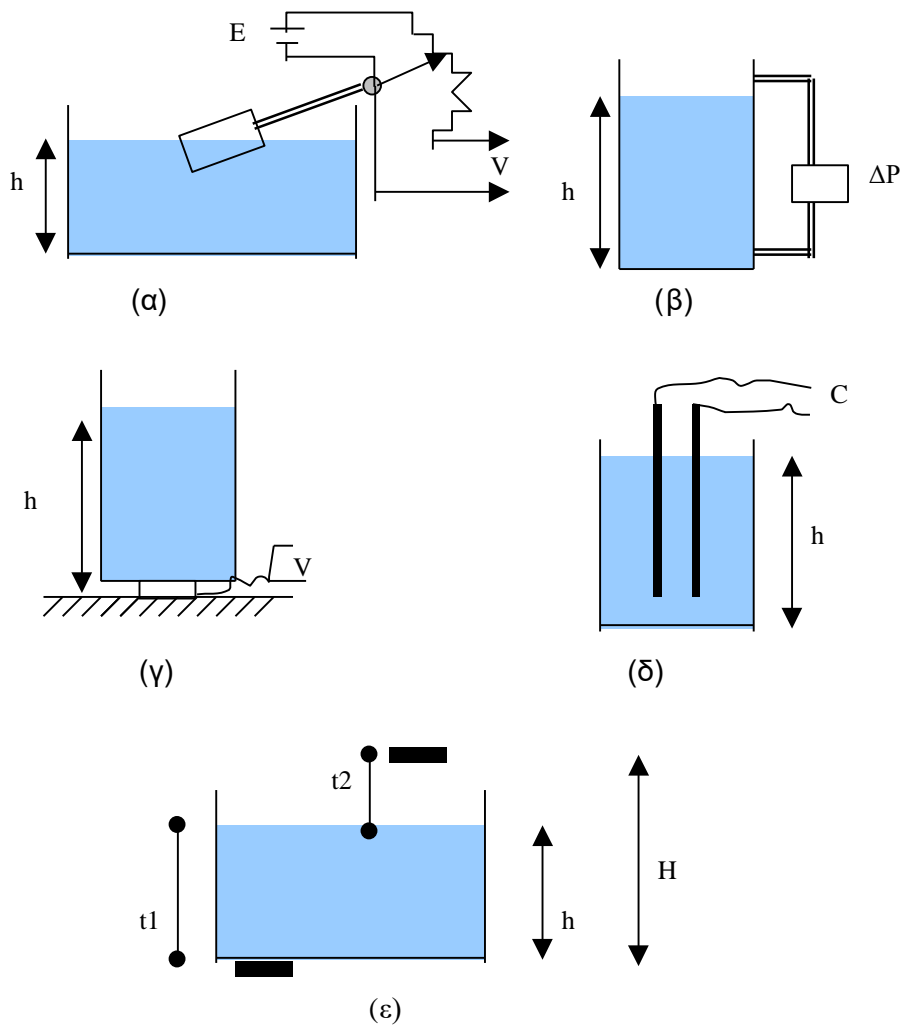
Οι μέθοδοι μέτρησης της στάθμης ενός υγρού διαφέρουν στην αρχή λειτουργίας τους καθώς και στον τρόπο υλοποίησή τους

Στο Σχήμα 17 βλέπουμε μερικές από τις χρησιμοποιούμενες τεχνικές μέτρησης. Η ακρίβεια των μετρήσεων με τις διατάξεις αυτές είναι μικρή, αλλά συνήθως δεν απαιτείται μεγαλύτερη.

\

Στο (α) έχουμε την παραγωγή απ' ευθείας τάσης, ανάλογης με τη στάθμη του υγρού ($V \propto h$). Στο (β) δημιουργείται μια διαφορά πίεσης, που μπορεί να μετρηθεί, όπως περιγράψαμε στην προηγούμενη παράγραφο ($\Delta P \propto h$). Στο (γ) το δοχείο ζυγίζεται ηλεκτρικά, οπότε έχουμε ξανά δημιουργία τάσης ($V \propto h$). Στο (δ) το υγρό αποτελεί διηλεκτρικό του πυκνωτή, που σχηματίζουν οι δύο κάθετες επιφάνειες, οπότε η χωρητικότητα αλλάζει ανάλογα με το ύψος της στάθμης ($C \propto h$). Τέλος, στο (ε) έχουν τοποθετηθεί δύο πομποδέκτες υπερηχητικού σήματος. Τα σήματα που εκπέμπουν αυτοί αντανακλώνται στην επιφάνεια του υγρού. Έτσι ο χρόνος $t_1 \propto h$ και $t_2 \propto (H-h)$.

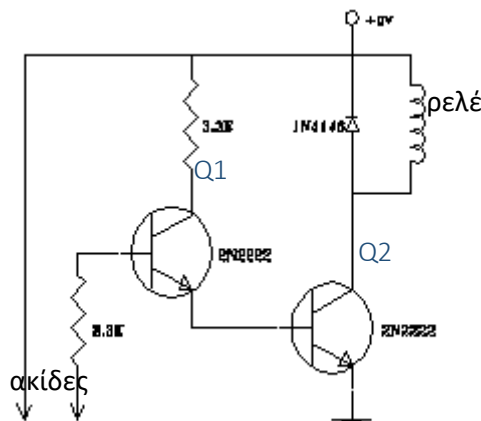
Όλες αυτές οι μέθοδοι χρησιμοποιούνται για την μέτρηση ομογενών ρευστών. Μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν για τη μέτρηση της πυκνότητας των υγρών, αν το ύψος της στάθμης διατηρείται σταθερό.



Σχήμα 17: Αισθητήρια στάθμης

Όταν πρόκειται για ανίχνευση μιας δεδομένης στάθμης ενός υγρού, η διάταξη είναι απλούστερη.

Έτσι, στο Σχήμα 18 βλέπουμε ένα απλό κύκλωμα, που ενεργοποιεί ένα ρελέ, όταν η στάθμη ενός (αγώγιμου) υγρού φτάσει στη θέση των ακίδων. Στο κάτω αριστερό άκρο του κυκλώματος είναι οι ακίδες, που τοποθετούνται στο σημείο της δεξαμενής που επιθυμούμε, ενώ πάνω δεξιά εικονίζεται το πηνίο του ρελέ. Όταν οι ακίδες έρθουν σε επαφή με αγώγιμο υγρό το κύκλωμα κλείνει, οπότε το τρανζίστορ $Q1$ άγει, το $Q2$ έρχεται σε κόρο και το ρελέ ενεργοποιείται. Το ρελέ αυτό με την σειρά του θα διεγείρει ένα κύκλωμα ισχύος



Σχήμα 18: Κύκλωμα ενεργοποίησης ρελέ

ΕΛΕΓΧΟΣ ΦΩΤΙΣΜΟΥ

Ο έλεγχος του φωτισμού ενός χώρου είναι ένα απλό πρόβλημα με οικιακές, κυρίως, εφαρμογές. Το ζητούμενο είναι να ενεργοποιηθεί ένας λαμπτήρας ή ένα δίκτυο λαμπτήρων, όταν ο φωτισμός σε ένα χώρο μειωθεί αρκετά. Θα εξετάσουμε κατ' αρχήν μερικά αισθητήρια φωτός και στην συνέχεια θα ασχοληθούμε με το κύκλωμα ελέγχου.

Αισθητήρια φωτός

Οι φωτοανιχνευτές (light detectors) διαιρούνται σε δύο κατηγορίες: τους κβαντικούς (quantum) και τους θερμικούς (thermal), ανάλογα αν ενεργοποιούνται με την ποσότητα της φωτεινής ακτινοβολίας ή με το θερμικό αποτέλεσμα της. Οι ποσοτικοί ανιχνευτές ενεργοποιούνται στην περιοχή του φάσματος από την υπεριώδη έως το μέσον της υπέρυθρης ακτινοβολίας του φωτός, ενώ οι θερμικοί ανιχνευτές ενεργοποιούνται κυρίως στο μέσον και στην ανώτερη περιοχή της υπέρυθρης ακτινοβολίας. Στην πρώτη κατηγορία ανήκουν οι φωτοδιόδοι, τα φωτοτρανζίστορς και οι φωτοαντιστάσεις, ενώ στη δεύτερη τα θερμοστοιχεία, τα πυροηλεκτρικά αισθητήρια και τα AFIR αισθητήρια.

Οι παράμετροι που εξετάζονται κατά την σύγκριση διαφόρων φωτοανιχνευτών είναι:

- Ισοδύναμη ισχύς θορύβου (noise equivalent power-NEP). Είναι η ποσότητα του φωτός, που είναι ισοδύναμη με τον θόρυβο που δημιουργεί ο ανιχνευτής. Δηλαδή η ποσότητα της ακτινοβολίας για την οποία ο λόγος σήμα προς θόρυβο ισούται με ένα. Συμβολίζεται με NEP και μετράται σε $\text{Watt}/\sqrt{\text{Hz}}$.
- Ικανότητα ανίχνευσης (detectivity- D^*). Είναι η ικανότητα ανίχνευσης που έχει αισθητήριο περιοχής 1cm^2 για θόρυβο 1Hz .

$$D^* = \frac{\sqrt{\text{περιοχή}(\text{cm}^2)}}{\text{NEP}}$$

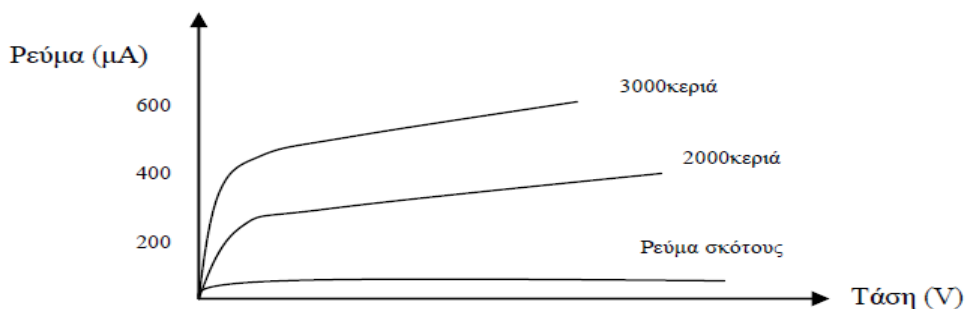
Η ικανότητα ανίχνευσης είναι ένας άλλος τρόπος μέτρησης του λόγου σήμα-προς-θόρυβο (S/N). Εκφράζεται σε $\text{cm}\sqrt{\text{Hz}}/\text{W}$ και, όσο μεγαλύτερη είναι, τόσο καλύτερο είναι το αισθητήριο.

- Μήκος κύματος αποκοπής (cutoff wavelength- λ_c). Είναι το μήκος κύματος της ακτινοβολίας που πέφτει στο αισθητήριο, για την οποία η ικανότητα ανίχνευσης πέφτει στο 10% της μέγιστης τιμής της.
- Μέγιστο ρεύμα (maximum current). Είναι η μέγιστη τιμή του ρεύματος, στην οποία μπορεί να δουλέψει το αισθητήριο.

- Μέγιστη ανάστροφη τάση (maximum reverse voltage). Υπέρβαση της τάσης αυτής μπορεί να οδηγήσει σε καταστροφή του αισθητηρίου.
- Ευαισθησία ακτινοβολίας (radiant responsivity). Είναι ο λόγος της εξόδου του αισθητηρίου προς την ισχύ της ακτινοβολίας ενός τυχαίου μήκους κύματος. Εκφράζεται σε A/W ή V/W.
- Πεδίο ακτινοβολίας (field of view-FOV). Είναι η γωνία που καλύπτει το χώρο ακτινοβολίας, που μπορεί να ενεργοποιήσει το αισθητήριο.
- Χωρητικότητα επαφής (junction capacitance- C_j). Είναι η ισοδύναμη χωρητικότητα της επαφής των ημιαγωγών, που σχηματίζουν το αισθητήριο. Σχετίζεται με την ταχύτητα απόκρισης του ανιχνευτή.

Ας δούμε τώρα τα κυριότερα είδη φωτοανιχνευτών.

1. Φωτοδίοδος (photodiode). Η λειτουργία των φωτοδίοδων βασίζεται στη δημιουργία ζευγαριών ηλεκτρονίων-οπών από φωτόνια που προσπίπτουν σε μία επαφή pn. Όταν η δίοδος πολώνεται ορθά, τότε λειτουργεί σαν απλή δίοδος και η μεταβολή του φωτισμού ελάχιστα μεταβάλλει την λειτουργία της. Όταν όμως πολώνεται ανάστροφα, η δίοδος διαρρέεται από ρεύμα, που αυξάνει ανάλογα με την αύξηση του φωτισμού που δέχεται η δίοδος. Για τάση πόλωσης μηδέν και απόλυτο σκοτάδι, περνά ένα ελάχιστο ρεύμα, που ονομάζεται ρεύμα σκότους και οφείλεται στη θερμική δημιουργία ηλεκτρονίων και οπών. Στο σχήμα 19 φαίνονται οι χαρακτηριστικές καμπύλες ρεύματος - τάσης μιας φωτοδίοδου για διάφορες φωτεινές ροές.



Σχήμα 19: Χαρακτηριστικές καμπύλες I - V μιας φωτοδίοδου για διάφορες τιμές της φωτεινής ροής

2. Φωτοτρανζίστορ (phototransistor). Τα φωτοτρανζίστορ βασίζονται στην ίδια αρχή λειτουργίας με την φωτοδίοδο και επιπλέον, προχωρούν σε ενίσχυση του ρεύματος που εμφανίζεται, αυξάνοντας με τον τρόπο αυτό την ευαισθησία. Η επαφή βάσης-συλλέκτη είναι μία δίοδος ανάστροφα πολωμένη, που λειτουργεί όπως περιγράφηκε προηγούμενα. Με κατάλληλη πόλωση η επαφή βάσης-εκπομπού πολώνεται ορθά και ενισχύει το ρεύμα του συλλέκτη.
3. Φωτοαντίσταση (photoresistor). Η λειτουργία της φωτοαντίστασης βασίζεται στη μεταβολή της τιμής της, ανάλογα με την ένταση του φωτός που πέφτει πάνω της. Σε απόλυτο σκοτάδι η αντίσταση είναι μέγιστη. Εφαρμόζοντας όμως τάση στα άκρα της, εμφανίζεται ένα ρεύμα που οφείλεται κυρίως σε θερμική λειτουργία (ρεύμα σκότους). Με την αύξηση της έντασης του φωτός, η αντίσταση του υλικού μικραίνει και επιτρέπει τη δημιουργία μεγάλων ρευμάτων.
4. Φωτο-μετατροπέας (light to light converter). Αποτελείται από ένα φωτοτρανζίστορ και μία δίοδο Laser (LD). Ο μετατροπέας αυτός απαιτεί μικρή τάση πόλωσης (4V) και πραγματοποιεί μεγάλη ενίσχυση (πάνω από $6 \cdot 10^5$), μπορεί μάλιστα να ανιχνεύσει ακτινοβολία με πολύ χαμηλή ισχύ (π.χ. 7nW).

5. Ψυχόμενοι ανιχνευτές (cooled detectors). Ένας σημαντικός παράγοντας για την καλή λειτουργία ενός ανιχνευτή είναι ο λόγος σήμα προς θόρυβο (signal to noise - S/N). Σε πολλές εφαρμογές (ιδίως όταν η θερμοκρασία λειτουργίας μεγαλώνει) ο θόρυβος αυξάνει, οπότε, στην περίπτωση μεγάλου μήκους κύματος (άρα μικρής συχνότητας και ενέργειας) η ακρίβεια και η ευαισθησία του αισθητηρίου ελαττώνεται κατά πολύ. Αντίθετα, στους ψυχόμενους ανιχνευτές το επίπεδο του θορύβου είναι ιδιαίτερα χαμηλό (αφού μειώνεται ο θερμικός θόρυβος), επομένως μπορούν να χρησιμοποιηθούν για ανίχνευση ακτινοβολιών με μεγάλο μήκος κύματος. Οι ανιχνευτές αυτοί έχουν μεγάλη ευαισθησία, έχουν όμως πιο αργή απόκριση, αφού η χωρητικότητα επαφής αυξάνει.
6. Θερμοηλεκτρικά αισθητήρια (thermopile sensors). Η λειτουργία του αισθητηρίου αυτού βασίζεται στο θερμοηλεκτρικό φαινόμενο, στο οποίο βασίζεται και η λειτουργία του θερμοζεύγους. Το αισθητήριο περιλαμβάνει μια περιοχή μεγάλης θερμικής μάζας, που αποτελεί τη ψυχρή επαφή, και μια δεύτερη περιοχή, που αποτελεί τη θερμή επαφή. Η περιοχή αυτή καλύπτεται από διαφανή μεμβράνη, που επιτρέπει στην ακτινοβολία να φτάσει στη θερμή περιοχή, αυξάνοντας τη θερμοκρασία της. Η διαφορά θερμοκρασίας ανάμεσα στις δύο περιοχές δημιουργεί μια ηλεκτρική τάση. Το αισθητήριο αυτό χαρακτηρίζεται από υψηλή ευαισθησία και χαμηλό θόρυβο. Ο θερμοηλεκτρικός συντελεστής είναι $230\mu V/^{\circ}C$.
7. Πυροηλεκτρικά αισθητήρια (pyroelectric sensors). Η λειτουργία τους βασίζεται στην ιδιότητα κάποιων υλικών να δημιουργούν ηλεκτρική τάση, ανάλογα με τη θερμική ακτινοβολία που δέχονται. Έχουν σχετικά καλή συμπεριφορά στο θόρυβο, αλλά παρουσιάζουν σχετικά μεγάλη καθυστέρηση στην απόκρισή τους.

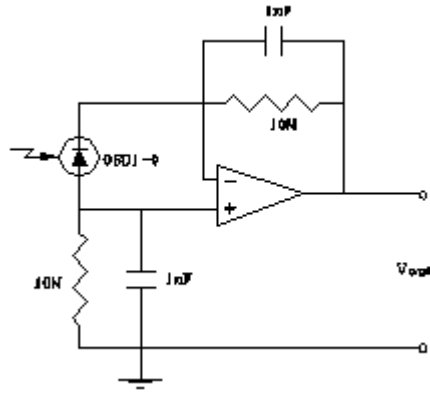
Κυκλώματα ελέγχου φωτεινής στάθμης

Ο έλεγχος της φωτεινής στάθμης μπορεί να γίνει με δύο τρόπους.

- ✓ Στην πρώτη περίπτωση η λειτουργία των λαμπτήρων είναι συνεχής και ανάλογα με τον φωτισμό του χώρου μεταβάλλεται και η ένταση του ρεύματος που τους διαρρέει, άρα αλλάζει και η ένταση της ακτινοβολίας τους
- ✓ Στην δεύτερη περίπτωση η λειτουργία των λαμπτήρων είναι διακοπτόμενη και το κύκλωμα που τους ηλεκτροδοτεί ενεργοποιείται όταν ο φωτισμός του χώρου γίνει χαμηλότερος από κάποια προκαθορισμένη τιμή.

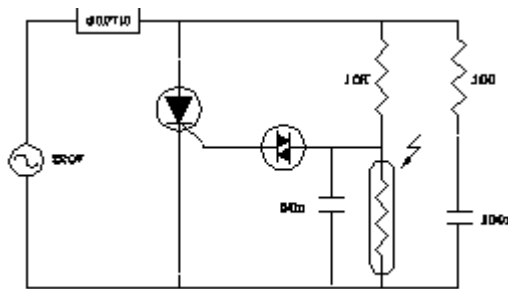
Στην παράγραφο αυτή θα ασχοληθούμε με την δεύτερη περίπτωση που είναι και η συνηθέστερη. Θα παρουσιαστούν δηλαδή μερικά κυκλώματα αυτοματισμού που ενεργοποιούν κάποιο σύστημα (π.χ. άνοιγμα και κλείσιμο φώτων), ανάλογα με τη φωτεινή στάθμη. Το σύστημα αυτό αποτελεί το υπό έλεγχο σύστημα, ενώ τα κυκλώματα που παρουσιάζονται είναι τα κυκλώματα ελέγχου. Κάθε κύκλωμα περιλαμβάνει κατάλληλο αισθητήριο (sensor) και ενεργοποιητή (actuator) που είναι είτε ρελέ είτε θυρίστορ. Αν χρησιμοποιήσουμε για αισθητήριο φωτοδίοδο, υπάρχουν δύο διαφορετικοί τρόποι εφαρμογής της: φωτοαγωγιμότητας (PC) και φωτοτάσης (PV). Στην δεύτερη περίπτωση δεν απαιτείται τάση πόλωσης και η δίοδος λειτουργεί σαν γεννήτρια ρεύματος. Έτσι, δεν υπάρχει ρεύμα σκότους, οπότε απομένει μόνο ο θερμικός θόρυβος, αυξάνοντας έτσι την ευαισθησία σε χαμηλούς φωτισμούς και βελτιώνοντας τον λόγο σήμα/θόρυβο (S/N). Μειονέκτημα της μεθόδου αυτής είναι ότι μεγαλώνει ο χρόνος απόκρισης και μικραίνει η απόκριση σε μεγάλα μήκη κύματος. Στην πρώτη περίπτωση, η δίοδος πολώνεται ανάστροφα με αποτέλεσμα την μείωση της χωρητικότητας επαφής, άρα βελτίωση του χρόνου απόκρισης. Στο Σχήμα 20 βλέπουμε μια βασική συνδεσμολογία φωτοδίοδου σε συνδεσμολογία PV. Το κύκλωμα αυτό παρουσιάζει πολύ καλή γραμμικότητα (δηλαδή, όσες φορές αυξάνει η φωτεινή ακτινοβολία, τόσες να αυξάνει και η τάση εξόδου).

Η αντίσταση των $10M\Omega$ μεταξύ φωτοδίοδου και γής ρυθμίζει την ευαισθησία της διάταξης (πάντως δεν μπορεί να είναι κατώτερη από $100K\Omega$)



Σχήμα 20: Κύκλωμα ελέγχου με φωτοδίοδο

Αντί για φωτοδίοδο στο ίδιο κύκλωμα μπορεί να χρησιμοποιηθεί φωτοτρανζίστορ. Μια άλλη μέθοδος είναι να χρησιμοποιήσουμε φωτοαντίσταση. Στο κύκλωμα του σχήματος 21 φαίνεται ένα κύκλωμα που ενεργοποιεί μια συσκευή ή μια σειρά λαμπτήρων, που τοποθετούνται στη θέση "φορτίο".

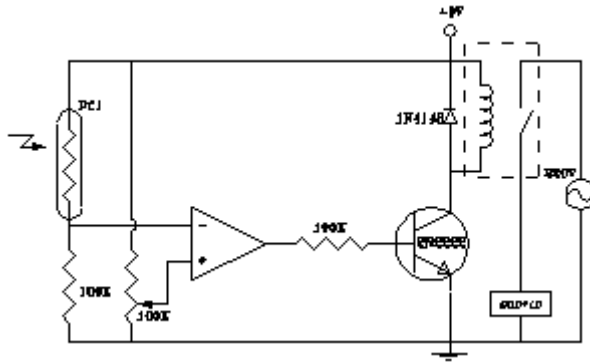


Σχήμα 21: Κύκλωμα ενεργοποίησης λαμπτήρων

Στο κύκλωμα αυτό ενεργοποιητής είναι ένα θυρίστορ. Το θυρίστορ μπορεί (όπως και το ρελέ) να ελέγχει μεγάλα ρεύματα (του κυκλώματος ισχύος), μέσω μικρών ρευμάτων (του κυκλώματος ελέγχου).

Η φωτοαντίσταση με την αντίσταση των 10K αποτελούν έναν διαιρέτη τάσης για τη πηγή. Όταν ο φωτισμός είναι χαμηλός, η φωτοαντίσταση παρουσιάζει μεγάλη τιμή, οπότε η τάση του DIAC αυξάνει με αποτέλεσμα, τελικά το ρεύμα που οδηγείται στην πύλη του θυρίστορ μέσω του DIAC να αποκτά μεγάλη τιμή. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα να μικραίνει το σημείο εκκίνησης του θυρίστορ, οπότε τελικά αυτό άγει, με αποτέλεσμα οι λάμπες του φορτίου να διαρέονται από ρεύμα.

Ένα κύκλωμα ενεργοποίησης φορτίου με έλεγχο μέσω ρελέ φαίνεται στο Σχήμα 22. Ο τελεστικός ενισχυτής λειτουργεί σαν συγκριτής. Όταν ο φωτισμός είναι χαμηλός ενεργοποιείται η έξοδος του τελεστικού που οδηγεί το τρανζίστορ σε κόρο. Τότε ενεργοποιείται το ρελέ και οι λάμπες ανάβουν. Με το ποτενσιόμετρο ρυθμίζουμε την φωτεινότητα, στην οποία θα ενεργοποιηθεί το κύκλωμα.



Σχήμα 22: Κύκλωμα ενεργοποίησης λαμπτήρων με ρελέ

Ο τελεστικός ενισχυτής μπορεί να είναι ένας απλός 741, ενώ το ρελέ πρέπει να είναι 6Vdc.

ΜΕΤΡΗΣΗ ΚΑΜΨΗΣ

Σε πολλές εφαρμογές χρειάζεται να μετρηθεί η δύναμη ή η πίεση, που ασκείται σε ένα σώμα ή μια επιφάνεια. Πίεση και δύναμη είναι μεγέθη σχετικά, αφού για να μετρηθεί η πίεση, πρέπει να μετρηθεί η δύναμη. Γενικά, μπορούμε να πούμε ότι δύναμη μετράμε σε περιπτώσεις στερεών, ενώ πίεση σε περιπτώσεις ρευστών (υγρών και αερίων).

Επίσης η εφαρμογή ροπής σε μια ράβδο, πιθανόν να την παραμορφώσει. Όπως φαίνεται στο σχήμα 23, η μια επιφάνεια επιμηκύνεται ενώ η άλλη βραχύνεται. Το φαινόμενο αυτό ονομάζεται κάμψη.

Αισθητήρια δύναμης

Τα κυριότερα αισθητήρια μέτρησης δύναμης είναι οι πιεζοαντιστάσεις (strain gauges), τα αισθητήρια αφής (tactile sensors) και τα πιεζοηλεκτρικά αισθητήρια (piezoelectric force sensors).

Η λειτουργία των πιεζοαντιστατών βασίζεται στην ιδιότητα ορισμένων υλικών να μεταβάλουν την ηλεκτρική τους αντίσταση, όταν παραμορφώνονται. Τα χαρακτηριστικά ενός τέτοιου αισθητηρίου φαίνονται στον κάτωθι πίνακα

Αντίθετα, τα πιεζοηλεκτρικά αισθητήρια βασίζονται στην ιδιότητα υλικών να εμφανίζουν τάση, όταν ασκείται πάνω τους δύναμη. Τέλος, τα αισθητήρια αφής αποτελούνται από πολλούς στοιχειώδεις πυκνωτές, που αλλάζει η χωρητικότητά τους, καθώς αλλάζει η απόσταση των οπλισμών τους, όταν δέχονται δύναμη.

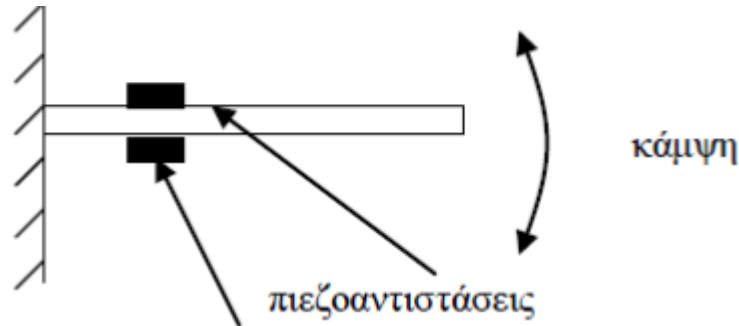
ΠΙΝΑΚΑΣ

<u>Χαρακτηριστικά λειτουργίας</u>	
Περιοχή μετρήσεων	30000 max
Ακρίβεια	0.15%
Σφάλμα θερμοκρασίας	$\pm 0.03\% \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$
Θερμοκρασία λειτουργίας	-30 $^\circ\text{C}$ έως 80 $^\circ\text{C}$
Αντίσταση	120 $\Omega \pm 0.5\%$
Συντελεστής αντίστασης	2.1 $\pm 1\%$
Συντελεστής θερμοκρασίας	<5% 100 $^\circ\text{C}^{-1}$
Μήκος αισθητηρίου	10mm

Μια κατηγορία των αισθητηρίων αφής είναι οι FSR, που αποτελούνται από στοιχειώδεις αντιστάσεις. Συγκρινόμενοι με τις πιεζοαντιστάσεις, οι FSR έχουν μεγαλύτερη δυναμική περιοχή μετρήσεων, αλλά μικρότερη ακρίβεια (περίπου 10%). Είναι όμως χαμηλού κόστους και χρησιμοποιούνται σε εφαρμογές, όπου δεν απαιτείται ιδιαίτερη ακρίβεια.

Μέτρηση κάμψης

Για μέτρηση δύναμης ενός βραχίονα, συνήθως χρησιμοποιούμε αισθητήρια πιεζοαντίστασης. Το αισθητήριο αυτό συνδέεται σε συνδεσμολογία γέφυρας με ένα, δύο ή τέσσερα στοιχεία. Ένας συνηθισμένος τρόπος χρήσης είναι η τοποθέτηση δύο αισθητηρίων σε αντίθετες θέσεις όπως φαίνεται στο σχήμα 23.



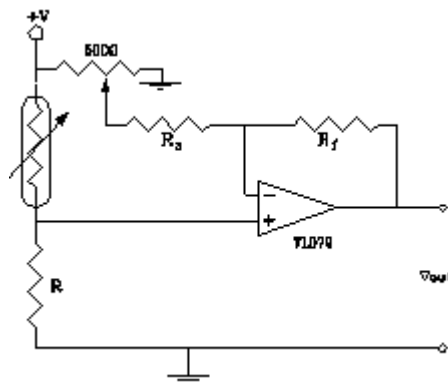
Σχήμα 23: Αισθητήρια σε ράβδο

Καθώς η ράβδος κάμπτεται, η αντίσταση για το ένα αισθητήριο γίνεται $R(1+\delta)$, και για το άλλο $R(1-\delta)$, όπου $\delta=Se$ με S την ευαισθησία του αισθητηρίου (με τιμές 2 έως 6 για μέταλλα και 40 έως 200 για ημιαγωγούς) και e η παραμόρφωση κάμψης, $e = \frac{\Delta l}{l}$, όπου l το μήκος του

βραχίονα και Δl η μεταβολή του μήκους.

Οι δύο αντιστάσεις των αισθητηρίων μπορούν να τοποθετηθούν σε γέφυρα, όπως έχει περιγραφεί νωρίτερα.

Στο Σχήμα 24 φαίνεται ένα κύκλωμα μετατροπής της μεταβολής της αντίστασης σε τάση, που στη συνέχεια μπορεί να οδηγηθεί σε μονάδα απεικόνισης



Σχήμα 24: Τάση από μεταβολή αντίστασης λόγω κάμψης

Η αντίσταση των 500Ω ρυθμίζει το ρεύμα αντιστάθμισης ώστε η γέφυρα να ισορροπεί, ενώ οι αντιστάσεις R_s και R_f καθορίζουν την ενίσχυση του κυκλώματος ($G = \frac{R_f}{R_s}$, αφού $R_s \gg$).

ΘΟΡΥΒΟΣ - ΓΕΙΩΣΕΙΣ

Στα κυκλώματα, τα οποία εξετάσαμε, αλλά και σε αυτά που θα εξετάσουμε στη συνέχεια του βιβλίου, υποθέσαμε μια ιδανική λειτουργία των στοιχείων. Στην πράξη όμως, σε ένα ηλεκτρικό κύκλωμα δημιουργούνται ανεπιθύμητα ηλεκτρικά σήματα, που οφείλονται σε διάφορους παράγοντες, καθώς επίσης και διάφορες απρόβλεπτες επιδράσεις, που επηρεάζουν τη σωστή λειτουργία του κυκλώματος.

Στην παράγραφο αυτή θα εξετάσουμε τα αίτια δημιουργίας τόσο των σημάτων αυτών, όσο και των διάφορων διαταραχών και θα προσπαθήσουμε να δώσουμε κάποιες αρχές αντιμετώπισής τους.

Θόρυβος

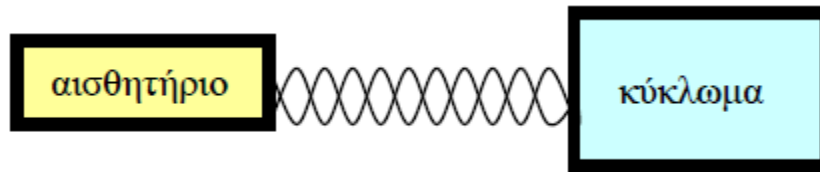
Σαν θόρυβος (noise) ονομάζουμε παρασιτικά σήματα (οφειλόμενα σε τυχαίες καταστάσεις ή γεγονότα), που εμφανίζονται τόσο σε αισθητήρια, όσο και σε κυκλώματα και παραμορφώνουν το σήμα. Ο θόρυβος είναι αδύνατον να εξαλειφθεί, παρά μόνο να μειωθεί. Σημαντικό δεν είναι τόσο η "ποσότητα" του θορύβου, όσο η σχέση της με το σήμα που αλλοιώνει. Για το λόγο αυτό, η ποσότητα που συνήθως ενδιαφέρει είναι ο λόγος σήμα-προς-θόρυβο (signal-to-noise S/N).

Σε ένα κύκλωμα υπάρχουν δύο βασικές κατηγορίες θορύβου : ο έμφυτος (inherent) θόρυβος, που δημιουργείται από το κύκλωμα, και ο θόρυβος παρεμβολής (interference), που εισέρχεται στο κύκλωμα από εξωτερικούς παράγοντες.

Επίσης, ένα αισθητήριο ποτέ δεν δημιουργεί ένα ηλεκτρικό σήμα, που να είναι ιδανική απεικόνιση της διέγερσης της εισόδου. Τα αίτια της απόκλισης αυτής οφείλονται στην ακρίβεια και στην ευαισθησία. Επίσης, σφάλματα μπορούν να δημιουργηθούν λόγω κακής κατασκευής, κακής ποιότητας υλικών ή κακής ρύθμισης. Όλους αυτούς τους παράγοντες συνήθως τους χαρακτηρίζουμε σαν θόρυβο του αισθητηρίου.

Ας επιστρέψουμε στον θόρυβο που δημιουργείται σε ένα κύκλωμα και ας δούμε αναλυτικότερα τις δύο κατηγορίες του

- έμφυτος θόρυβος. Για τα αισθητήρια ο έμφυτος θόρυβος σχετίζεται κυρίως με την ακρίβεια του αισθητηρίου. Στο κύκλωμα ενίσχυσης ο θόρυβος μπορεί να οφείλεται στη γραμμή ανατροφοδότησης, στην πόλωση, στον περιορισμό του εύρους συχνοτήτων, στην επίδραση της θερμοκρασίας στις αντιστάσεις (θερμικός θόρυβος) κ.λ.π. Στο κύκλωμα συνεχούς, για να περιορίσουμε το θόρυβο χρησιμοποιούμε αντιστάσεις με μικρές τιμές, κρατάμε χαμηλά το εύρος συχνοτήτων και χρησιμοποιούμε φίλτρα για να αποκόψουμε το θερμικό θόρυβο (χαμηλές συχνότητες). Στο κύκλωμα εναλλασσόμενου ρεύματος, για να περιορίσουμε το θόρυβο Schottky (που οφείλεται σε μετακίνηση φορτίων σε μία επαφή και έχει την μορφή λεπτών παλμών) χρησιμοποιούμε FET και CMOS ημιαγωγούς και χρησιμοποιούμε φίλτρα χαμηλών συχνοτήτων για τα άλλα είδη θορύβων.
- Θόρυβος παρεμβολής. Κυριότερες πηγές του θορύβου αυτού είναι η θερμοκρασία, που αλλάζει τις παραμέτρους εξαρτημάτων, μηχανικές καταπονήσεις (κτυπήματα), ηλεκτρικά ή μαγνητικά πεδία, χρήση διακοπών στη γραμμή τροφοδοσίας, πολύ υψηλές τάσεις κ.ά. και εμφανίζεται τόσο στα αισθητήρια, όσο και στα κυκλώματα. Για να περιορίσουμε την επίδρασή του στα αισθητήρια (που είναι ιδιαίτερα σημαντική, γιατί περνώντας από τον ενισχυτή αποκτά μια σημαντική τιμή), χρησιμοποιούμε αισθητήρια σε ζεύγη, όπου το ένα επηρεάζεται από τη διέγερση, ενώ το άλλο δέχεται σταθερή διέγερση (αναφοράς). Αφαιρώντας τα σήματα των εξόδων τους, ο θόρυβος ελαχιστοποιείται. Αν το αισθητήριο βρίσκεται σε απόσταση από το κύκλωμα ελέγχου, συνδέεται σε αυτό μέσω αγωγών. Οι ενώσεις των διαφορετικών μετάλλων των αγωγών και του αισθητηρίου, ή των αγωγών και του κυκλώματος, δημιουργούν παρασιτικά σήματα-θόρυβο που εξαλείφεται αν τα σύρματα των αγωγών σύνδεσης τυλιχθούν μεταξύ τους, όπως φαίνεται στο σχήμα 25.



Σχήμα 25 Σύνδεση αισθητηρίου με το κύκλωμα ελέγχου μέσω αγωγού

Ανάλογα με την αιτία τους οι θόρυβοι ταξινομούνται στις εξής κατηγορίες

- Θόρυβος Johnson ή θερμικός θόρυβος (thermal noise). Οφείλεται στην τυχαία κίνηση των ηλεκτρονίων στους αγωγούς, λόγω της θερμικής τους κατάστασης. Έτσι καθώς αυξάνει η θερμοκρασία, τα ηλεκτρόνια κινούνται με μεγαλύτερη ταχύτητα, οπότε αυξάνονται οι κρούσεις τους με τα δομικά στοιχεία των αγωγών, με αποτέλεσμα την αύξηση της αντίστασης του αγωγού.
- Θόρυβος αιχμής (shot noise). Παρουσιάζεται κατά την τυχαία μετακίνηση φορτίων κατά μήκος μιας επαφής (π.χ. σε μια λυχνία κενού ηλεκτρόνια μεταπηδούν τυχαία από την κάθοδο στην άνοδο) και έχει την μορφή παλμών μικρής διάρκειας.
- Υπερβολικός θόρυβος (Excess noise). Σαν υπερβολικός θεωρείται ο θόρυβος που οφείλεται σε αίτια πέρα του θερμικού και του θορύβου αιχμής και συνήθως εξαρτάται από την συχνότητα. Ο θόρυβος αυτός οφείλεται σε επαγωγικά ρεύματα που δημιουργούνται στους αγωγούς ενός κυκλώματος λόγω της ύπαρξης άλλων ρευματοφόρων αγωγών σε κοντινή τους απόσταση ή στην κυμάτωση της τάσης τροφοδοσίας.

Για το θόρυβο που εμφανίζεται σε ένα κύκλωμα, συνήθως χρησιμοποιούμε φίλτρα. Στον κάτωθι πίνακα βλέπουμε μερικές πηγές θορύβου και πώς ελαχιστοποιείται ο θόρυβος που δημιουργούν.

ΠΙΝΑΚΑΣ

Εξωτερική πηγή	Τυπική ποσότητα	Αντιμετώπιση
60/50 Hz τροφοδοσία	100pA	θωράκιση, γείωση, ισοστάθμιση ισχύος τροφοδοσίας Εφαρμογή φίλτρων
120/100 Hz κυμάτωση τροφοδοσίας	3μV	
180/150 Hz μαγνητική επίδραση M/T	0.5μV	Ελεγχος των εξαρτημάτων
ραδιο εκπομπή		Θωράκιση
δράση διακοπών	1mV 1mV	Φίλτρο για 5-100MHz, προστασία, γείωση
ταλαντώσεις	10pA	Κατάλληλες μηχανικές συζεύξεις, περιορισμό υψηλών τάσεων πλησίον αισθητηρίων και εισόδων
ταλάντωση καλωδίου	100pA	Χρήση καλωδίου χαμηλού θορύβου
πλακέτα κυκλώματος	0.01-10pA/Hz για f<10Hz	Καθαρισμός πλακέτας, χρήση τεφλόν για μόνωση

Στον πίνακα αναφέρεται συχνά η **θωράκιση**. Αυτή έχει διπλό σκοπό. Πρώτον, προστατεύει ένα κύκλωμα από την εμφάνιση θορύβου και, δεύτερον, αν ο θόρυβος έχει εμφανιστεί, τον εμποδίζει να προχωρήσει σε ευαίσθητα σημεία του μετατροπέα ή του κυκλώματος.

Ο συνηθέστερος τρόπος θωράκισης είναι με μεταλλικό κουτί γύρω από τις ευαίσθητες περιοχές, ή με αγωγίμο φύλλο γύρω από τον αγωγό στα καλώδια. Με τον τρόπο αυτό, τα πρόσθετα φορτία που δημιουργούνται (π.χ. από ηλεκτρικό πεδίο) δεν προχωρούν στο εσωτερικό του κλωβού, αλλά κατανέμονται στην εξωτερική του επιφάνεια.

Κατά τη χρησιμοποίηση ηλεκτρικής θωράκισης, πρέπει να εφαρμόζονται μερικοί πρακτικοί κανόνες:

- Η θωράκιση πρέπει να συνδέεται σε ένα δυναμικό αναφοράς. Αν το σήμα είναι γειωμένο (σε πλαίσιο ή στο έδαφος), η θωράκιση πρέπει να συνδέεται στην ίδια γείωση.

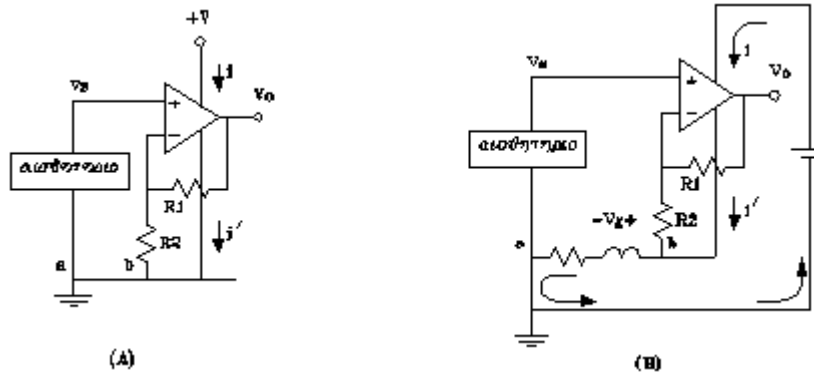
- Αν χρησιμοποιείται θωρακισμένο καλώδιο, η θωράκιση πρέπει να συνδέεται στον κόμβο αναφοράς του σήματος (π.χ. γείωση).
- Αν η θωράκιση είναι τμηματική (π.χ. καλώδια συνδεδεμένα μεταξύ τους), τότε κάθε κομμάτι θωράκισης πρέπει να συνδέεται με το επόμενο και το πρώτο να συνδέεται στο σημείο αναφοράς του σήματος
- Ο αριθμός των ανεξάρτητων θωρακίσεων σ' ένα κύκλωμα ισούται με τον αριθμό των ανεξάρτητων μετρήσιμων σημάτων . Κάθε σήμα μπορεί να έχει την δική του θωράκιση.
- Μια θωράκιση πρέπει να γειώνεται σ' ένα μόνο σημείο, κατά προτίμηση μετά το αισθητήριο. Η θωράκιση ενός καλωδίου δεν πρέπει ποτέ να γειώνεται και στα δύο άκρα της.
- Αν ένα αισθητήριο είναι στο εσωτερικό κλωβού θωράκισης και συνδέεται στο κύκλωμα με θωρακισμένο καλώδιο, τότε η θωράκιση του καλωδίου πρέπει να συνδέεται στον κλωβό.
- Μια θωράκιση πρέπει να γειώνεται μέσω λεπτών καλωδίων για να ελαττώνεται η επαγωγή.

Γειώσεις, βρόχος γείωσης

Όπως αναφέραμε ήδη, σ' ένα κύκλωμα είναι δυνατόν να υπάρχουν παρασιτικές τάσεις ή ρεύματα, που απομακρύνονται με κατάλληλη γείωση. Σε ένα κύκλωμα είναι απαραίτητο να υπάρχουν σημεία γείωσης, ώστε να ελαχιστοποιείται το φαινόμενο επαγωγής που παρουσιάζουν οι γραμμές . Επίσης το σημείο γείωσης είναι το σημείο με μηδενική τάση, ως προς το οποίο μετρούνται όλες οι τάσεις στο κύκλωμα. Ύπαρξη διαφορετικών γειώσεων, έχει σαν αποτέλεσμα να μην υπάρξει σταθερό δυναμικό αναφοράς. Η γείωση σ' ένα τυπωμένο κύκλωμα, συνήθως, είναι μία μεταλλική επιφάνειά του. Μερικοί πρακτικοί κανόνες για την δημιουργία μιας γείωσης είναι:

- δημιουργήστε μεγάλη επιφάνεια γείωσης, αν είναι δυνατόν στην πλευρά των εξαρτημάτων. Όσο μεγαλύτερες είναι οι συχνότητες των σημάτων, τόσο μεγαλύτερη πρέπει να είναι η επιφάνεια.
- Η γείωση σε ένα κύκλωμα πρέπει να είναι ενιαία.
- Το μήκος των άκρων των εξαρτημάτων να είναι μικρό.

Όταν ένα κύκλωμα χρησιμοποιείται για μικρά σήματα, τότε τα προβλήματα της γείωσης ή της θωράκισης, επηρεάζουν την ακρίβεια της λειτουργίας του. Κατά το σχεδιασμό ενός κυκλώματος, είναι απαραίτητη η δημιουργία γραμμών τροφοδοσίας (power supply bus) και γραμμών γείωσης (ground bus). Μία γραμμή τροφοδοσίας μεταφέρει το ρεύμα τροφοδοσίας σε όλα τα σημεία του κυκλώματος, ενώ μια γραμμή γείωσης μεταφέρει επίσης το ρεύμα τροφοδοσίας, αλλά χρησιμοποιείται και για να καθορίσει το σημείο αναφοράς για τα ηλεκτρικά σήματα. Η αλληλεπίδραση των δύο αυτών λειτουργιών οδηγεί σε ένα πρόβλημα, που λέγεται βρόχος γείωσης. Στο Σχήμα 26 (Α) βλέπουμε τη σύνδεση ενός αισθητηρίου σε κύκλωμα ενίσχυσης με τελεστικό ενισχυτή.

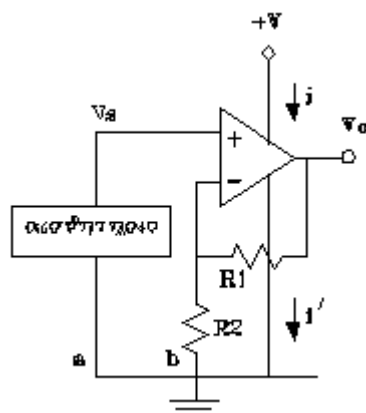


Σχήμα 26: Σύνδεση αισθητηρίου - τελεστικού ενισχυτή

Ο ενισχυτής συνδέεται σε πηγή τροφοδοσίας και δέχεται ένα ρεύμα i , που επιστρέφει στη γραμμή γείωσης σαν i' . Το αισθητήριο δημιουργεί μια τάση V_s , που εφαρμόζεται στη θετική είσοδο του τελεστικού ενισχυτή. Μια γραμμή γείωσης συνδέεται στο κύκλωμα στο σημείο a , ακριβώς δίπλα στο άκρο του αισθητηρίου. Το κύκλωμα αυτό, ενώ δεν έχει κάποια ορατή πηγή σφάλματος, παρουσιάζει στην έξοδό του κάποιο πραγματικό σφάλμα. Ο λόγος είναι ότι η ένωση της γείωσης δεν είναι ιδανική, όπως φαίνεται στο Σχήμα 26 (B), λόγω της ύπαρξης δύο κόμβων γείωσης. Έτσι, μεταξύ των σημείων a και b του κυκλώματος υπάρχει μια ωμική αντίσταση και μια επαγωγή, που δημιουργούν μια τάση V_g . Η τάση αυτή αφαιρείται από την τάση του αισθητηρίου, δημιουργώντας έτσι σφάλμα στην μέτρηση. Ο λόγος της δημιουργίας σφάλματος είναι η δημιουργία ενός βρόχου γείωσης (ground loop), όπου κυκλοφορεί το ρεύμα πόλωσης (σχήμα 26 B).

Ένας βασικός κανόνας για την αποφυγή δημιουργίας βρόχων γείωσης είναι όλες οι γραμμές γείωσης να ενώνονται σε ένα σημείο (το σημείο b του κυκλώματος του σχήματος 27).

Βέβαια στην περίπτωση που έχουμε απομακρυσμένες μετρήσεις, δεν μπορούμε να αποφύγουμε διαφορετικές γειώσεις για τις πηγές σήματος και το μετρητικό όργανο. Στην περίπτωση αυτή απαιτείται η χρήση κατάλληλων βαθμίδων εισόδου (instrumentation amplifier).



Σχήμα 27: Αποφυγή βρόχου γείωσης

ΑΝΑΚΕΦΑΛΑΙΩΣΗ

Για την μέτρηση πίεσης χρησιμοποιούνται συνήθως αισθητήρια που δίνουν ηλεκτρικό σήμα, βασιζόμενα στην μεταβολή αντίστασης, επαγωγής ή χωρητικότητας. Το κύκλωμα μέτρησης βασίζεται σε έναν διαφορικό ενισχυτή, ενώ το αισθητήριο συνδέεται στο υπόλοιπο κύκλωμα με συνδεσμολογία γέφυρας.

Για τον έλεγχο φωτισμού χρησιμοποιούνται συνήθως φωτοδίοδοι ή φωτοανιχνεύσεις, που μέσω κατάλληλου κυκλώματος ηλεκτροδοτούν ή όχι μία ή περισσότερες λάμπες.

Ο συνδυασμός αισθητηρίων και κατάλληλων ενισχυτών παρέχει τη δυνατότητα μετρήσεων διαφόρων μεγεθών και έλεγχο βασικών λειτουργιών. Για την ορθή λειτουργία τέτοιων συστημάτων απαιτείται προστασία από το θόρυβο, δημιουργία γειώσεων και κατάλληλη θωράκιση.

ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ

A. Να απαντήσετε συνοπτικά στις ερωτήσεις

1. Εξηγείστε την λειτουργία ενός αναλογικού συγκριτή.
2. Τι τύπο αισθητηρίου θα χρησιμοποιήσετε για να μετρήσετε πιέσεις μερικών δεκάδων Pa, σε περιβάλλον υψηλής θερμοκρασίας; Να δικαιολογήσετε την απάντησή σας.
3. Εξηγείστε γιατί χρησιμοποιούμε δύο αισθητήρια Strain gauge σε συνδεσμολογία γέφυρας, για να μετρήσουμε την κάμψη μιας ράβδου.
4. Σχεδιάστε ένα κύκλωμα μέτρησης της ταχύτητας ροής ενός ρευστού.
5. Αναφέρατε τις σημαντικότερες παραμέτρους ενός φωτοανιχνευτή.
6. Αναφέρατε τα κυριότερα είδη φωτοανιχνευτών.
7. Στο κύκλωμα του σχήματος 3.3.3, ποιο είναι το τμήμα ισχύος και ποι του ελέγχου;
8. Τι εννοούμε με τον όρο γραμμικοποίηση του αισθητηρίου; Εξηγείστε με την βοήθεια γραφικών παραστάσεων.
9. Τι ονομάζουμε θόρυβο και τι λόγο σήμα-προς-θόρυβο. Από ποιό μπορούμε να συμπεράνουμε για το μέγεθος του θορύβου;
10. Τι επιτυγχάνουμε με τη θωράκιση ενός τμήματος του κυκλώματος;
11. Πώς μπορούμε να αποφύγουμε τη δημιουργία βρόχου γείωσης σε ένα κύκλωμα;

B. Να συμπληρώσετε τα κενά στις προτάσεις

1. Οι κυριότεροι τύποι μεταλλακτών βασίζονται σε φαινόμενο, και
2. Ένας πιεζοηλεκτρικός μεταλλάκτης βασίζεται στο φαινόμενο που παρουσιάζουν κάποια υλικά να εμφανίζουν στα άκρα τους, όταν ασκηθεί πάνω τους
3. Σ' ένα κύκλωμα μέτρησης πίεσης, το αισθητήριο συνήθως συνδέεται σε συνδεσμολογία, ενώ σαν μονάδα προσαρμογής χρησιμοποιείται ένα κύκλωμα
4. Για τη μέτρηση της ταχύτητας ροής ενός ρευστού χρειάζονται δύο και ένας
5. Οι ανιχνευτές φωτός (light detectors) διαιρούνται σε και, ανάλογα αν ενεργοποιούνται με την της φωτεινής ακτινοβολίας ή με το αποτέλεσμά της.
6. Το ρεύμα που διαρρέει μια φωτοδίοδο σε απόλυτο σκοτάδι ονομάζεται

7. Η λειτουργία των βασίζεται στην ιδιότητα ορισμένων υλικών να μεταβάλλουν την ηλεκτρική τους, όταν δέχονται πίεση.
8. Σε ένα κύκλωμα υπάρχει ο θόρυβος που δημιουργείται από το και ο θόρυβος που εισέρχεται στο κύκλωμα από
9. Σκοπός της είναι να απομακρύνει παρασιτικές και

Γ. Να επιλέξετε την σωστή απάντηση στις ερωτήσεις

1. Κατά την έμμεση μέτρηση της πίεσης, αυτή μετατρέπεται σε
 - i. άλλο τυχαίο φυσικό μέγεθος
 - ii. ηλεκτρικό σήμα
 - iii. μηχανική κίνηση
2. Για τη μέτρηση της ταχύτητας ροής ενός ρευστού, η διαφορά πίεση μεταξύ δύο σημείων υπολογίζεται
 - i. με ένα διαφορικό ενισχυτή
 - ii. με ένα λογικό αφαιρέτη
 - iii. με ένα κύκλωμα συγκριτή
3. Στους θερμικούς ανιχνευτές φωτός η λειτουργία τους βασίζεται
 - i. στο θερμικό αποτέλεσμα του φωτός
 - ii. στην θερμοκρασία του περιβάλλοντος
 - iii. στην θέρμανση λόγω φαινομένου Joule
4. Μια φωτοδίοδος πολώνεται
 - i. πάντα ορθά
 - ii. πάντα ανάστροφα
 - iii. ανάλογα με την εφαρμογή
5. Η λειτουργία ενός αισθητηρίου FSR βασίζεται
 - i. σε μεταβολή χωρητικότητας
 - ii. σε μεταβολή αντίστασης
 - iii. σε μεταβολή επαγωγής
6. Για να έχουμε ακριβή εικόνα της αλλοίωσης ενός σήματος από θόρυβο, πρέπει να γνωρίζουμε
 - i. το μέγεθος του σήματος
 - ii. το μέγεθος του θορύβου
 - iii. τον λόγο σήμα προς θόρυβο

11. ΑΙΣΘΗΤΗΡΙΑ - ΜΕΤΑΤΡΟΠΕΙΣ



Κεφάλαιο 6

Αισθητήρια – Μετατροπείς (Sensors – Transducers)

Επιδιωκόμενοι στόχοι:

Ο σκοπός αυτού του κεφαλαίου είναι να βοηθήσει τους μαθητές:

- ☒ Να αναγνωρίζουν και εξηγούν τη λειτουργία των διαφόρων τύπων αισθητηρίων – μετατροπέων.
- ☒ Να υπολογίζουν τα τεχνικά χαρακτηριστικά με τη βοήθεια των καμπύλων.

6. Αισθητήρια – Μετατροπείς (Sensors – Transducers)

Όπως ήδη γνωρίζουμε, το κλειστό σύστημα, για να εκτελέσει την εργασία του αυτομάτου ελέγχου, πρέπει να μετρά αδιάκοπα την ελεγχόμενη μεταβλητή.

Το στοιχείο το οποίο μετατρέπει την ελεγχόμενη μεταβλητή -συνήθως μη ηλεκτρικό μέγεθος- σε ηλεκτρικό σήμα λέγεται αισθητήριο (sensor element).

Ανάλογα με τον τρόπο λειτουργίας τους, έχουμε τα παθητικά και τα ενεργά αισθητήρια.

- ▶ Τα παθητικά αισθητήρια είναι αντιστάσεις (ωμικές, επαγωγικές, χωρητικές αντιστάσεις ή συνδυασμός αυτών), η τιμή των οποίων αλληιάζει από το προς μέτρηση μέγεθος (ελεγχόμενη μεταβλητή). Τα παθητικά αισθητήρια χρειάζονται βοηθητική ενέργεια (τροφοδοσία), για να αποκτήσουμε το σήμα του αισθητηρίου.

Στα αισθητήρια αυτά ανήκουν όλες οι αντιστάσεις, οι οποίες μεταβάλλουν την τιμή τους με τη θερμοκρασία ή τη διαφορά δυναμικού (τάση), καθώς επίσης οι αντιστάσεις, η τιμή των οποίων μεταβάλλεται με μηχανική καταπόνηση.

- ▶ Τα ενεργά αισθητήρια, σε αντίθεση με τα παθητικά, μετατρέπουν την ενέργεια του μη ηλεκτρικού μεγέθους (ελεγχόμενης μεταβλητής) σε ηλεκτρική ενέργεια (τάση, ρεύμα ή μεταβολή φορτίου).

Παραδείγματος χάριν στα ενεργά αισθητήρια ανήκουν τα φωτοστοιχεία και τα θερμοστοιχεία.

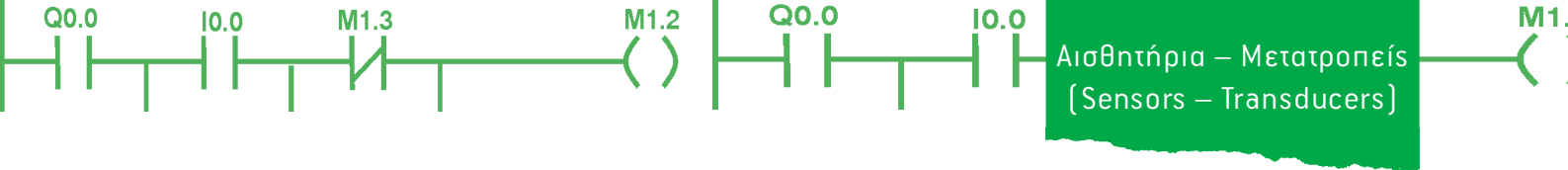
Το σήμα το οποίο λαμβάνουμε από το αισθητήριο συνήθως δεν είναι κατάλληλο, για να χρησιμοποιηθεί στον αυτόματο έλεγχο. Μερικά σήματα είναι πάρα πολύ μικρά -μερικά μιλιβόλτ (mV) με μεγάλη εσωτερική αντίσταση- και πρέπει να ενισχυθούν, ενώ άλλα είναι πολύ μεγάλα.

Επομένως, μετά από κάθε αισθητήριο υπάρχουν διάφορες βαθμίδες ηλεκτρονικών κυκλωμάτων ενίσχυσης και προσαρμογής του σήματος του αισθητηρίου.

Κατ' αρχήν υπάρχει ένα αισθητήριο το οποίο μετατρέπει το μετρούμενο φυσικό μέγεθος σε ηλεκτρικό. Το σήμα αυτό είναι συνήθως ασθενές και δεν μπορεί να μεταφερθεί στον ελεγκτή. Γι' αυτό στο περίβλημα του αισθητηρίου ή σε ξεχωριστή βαθμίδα τοποθετείται ένας μετασχηματιστής σήματος, ο οποίος μετασχηματίζει το σήμα του αισθητηρίου σ' ένα ηλεκτρικό σήμα κατάλληλο προς μεταφορά.

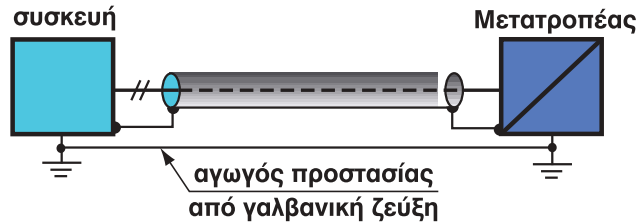
Το σήμα κατά τη μεταφορά του προς τον ελεγκτή υφίσταται εξωτερικές διαταραχές. Οι διαταραχές αυτές είναι διαφόρων προελεύσεων:

- Α) Επαγωγικές:** Όταν η γραμμή μεταφοράς βρίσκεται σε γεινίαση με μεταβαλλόμενα μαγνητικά πεδία, τότε δημιουργείται στη γραμμή ρεύμα εξ επαγωγής. Η καταπολέμηση αυτής της διαταραχής γίνεται είτε με αποφυγή αυτών των πεδίων είτε με συστροφή δύο αγωγών της γραμμής μεταφοράς είτε με τη χρησιμοποίηση ομοαξονικού καλωδίου.
- Β) Χωρητικές:** Οι διαταραχές αυτές δημιουργούνται, όταν η γραμμή μεταφοράς βρίσκεται κοντά σε γραμμές εναλλασσόμενης τάσης. Η καταπολέμηση γίνεται είτε με αποφυγή τέτοιων γραμμών είτε με καλή γείωση της μεταλλικής επένδυσης του καλωδίου.
- Γ) Γαλβανικές διαταραχές:** Οι διαταραχές αυτές εμφανίζονται, όταν σε μια από τις γραμμές μεταφοράς του σήματος δημιουργηθεί πτώση τάσης λόγω γαλβανικής επαφής με κάποιο κύκλωμα. Τα περισσότερα προβλήματα γαλβανικών διαταραχών ανάγονται κυρίως στο γεγονός ότι η γείωση της συσκευής στην οποία



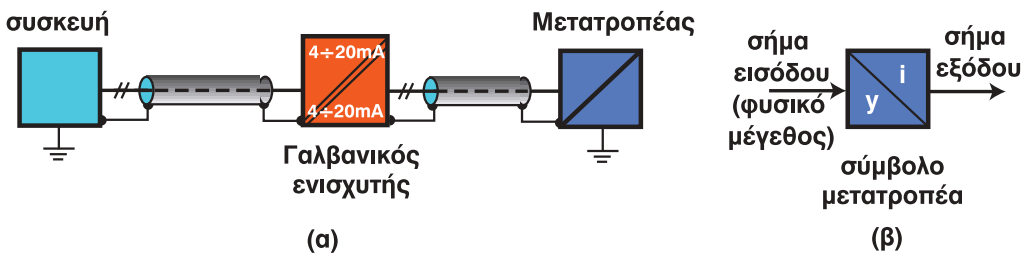
**Αισθητήρια – Μετατροπείς
[Sensors – Transducers]**

γίνεται η μέτρηση, και η γείωση του μεταλλικού πλέγματος του μετατροπέα δεν έχουν το ίδιο δυναμικό. Η αντιμετώπιση της γαλβανικής σύζευξης γίνεται με τη σύνδεση των αγωγών γείωσης (σχήμα 6.1)



Σχήμα 6.1: Προστασία αισθητηρίου από γαλβανική σύζευξη.

ή με τη χρησιμοποίηση ενισχυτών γαλβανικού διαχωρισμού (σχήμα 6.2).



Σχήμα 6.2: Προστασία αισθητηρίου με την βοήθεια ενισχυτών γαλβανικού διαχωρισμού.

Το συνολικό κύκλωμα – αισθητήριο και ηλεκτρονικό κύκλωμα προσαρμογής – λέγεται μετατροπέας. [Transducer sensor].

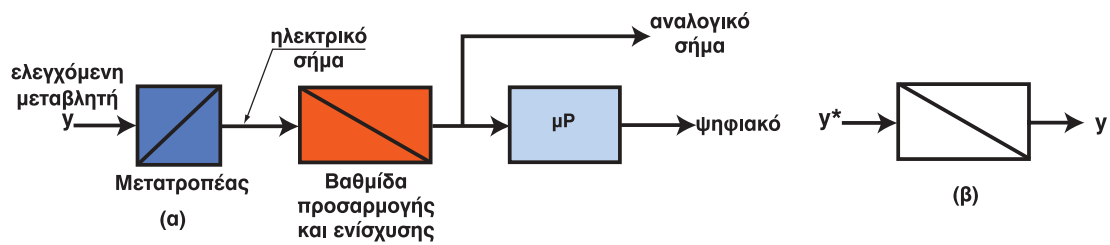
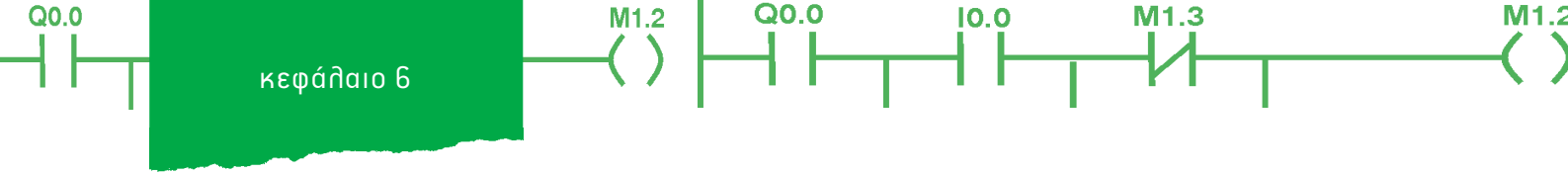
Εάν το σήμα εξόδου του μετατροπέα είναι ένα τυποποιημένο σήμα των συστημάτων αυτομάτου ελέγχου, δηλ.

- 0 ÷ 10V
- 0...± 10
- 0...20mA
- 4...20mA (live zero)
- 5...25Hz (παλμικό)

τότε, ονομάζεται τυποποιημένος μετατροπέας [Transmitter] (σχήμα 6.3).

Στο παρακάτω σχήμα φαίνεται η δομή και το σύμβολο ενός μετατροπέα.





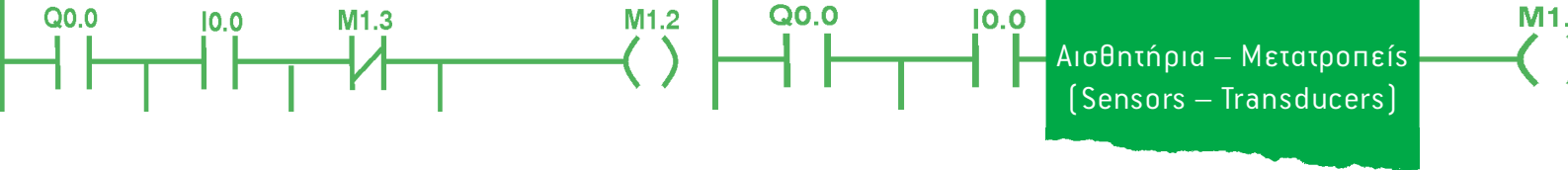
Σχήμα 6.3: Τυπική δομή ενός μετατροπέα (α) και σύμβολο (β).

Τα σπουδαιότερα φυσικά μη ηλεκτρικά μεγέθη τα οποία συναντούμε στις βιομηχανικές εφαρμογές είναι:

Μήκος – μετατόπιση	[l ή s]
Έλξη – εφελέκυσμός	[s]
Χρόνος	[t]
Μάζα	[m]
Βάρος	[B]
Θερμοκρασία	[θ]
Επιτάχυνση	[γ]
Υγρασία	[σ]
Ένταση φωτισμού	
Ταχύτητα	[υ]
Στροφές	[n]
Κυκλική ταχύτητα	[ω]
Δύναμη	[F]
Πίεση	[P]
Ροπή	[M]
IR-ακτινοβολία	
Πυκνότητα διαλυμάτων	

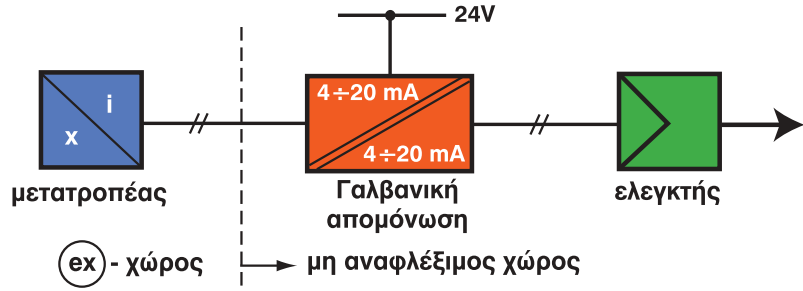
Τα περισσότερο διαδεδομένα σήματα στις βιομηχανικές εφαρμογές είναι τα σήματα 0...20mA, 4...20mA, διότι αφ' ενός δεν είναι ευαίσθητα στις διαταραχές και αφ' ετέρου δεν αλληλιώνονται (είναι αξιόπιστα) κατά τη μεταφορά τους λόγω πτώσης τάσης και παρέχουν μεγαλύτερη ασφάλεια σε χώρους, όπου υπάρχει κίνδυνος ανάφλεξης (ex-χώρους). Για τη μεταφορά του σήματος των 4...20mA απαιτείται πρόσθετη πηγή, η οποία συνήθως είναι 24V DC.





**Αισθητήρια – Μετατροπείς
(Sensors – Transducers)**

Στις περιπτώσεις όπου το αισθητήριο βρίσκεται σε χώρους ανάφλεξης -ειδικά στη χημική βιομηχανία- χρησιμοποιούνται ενισχυτές γαλβανικού διαχωρισμού, οι οποίοι απομονώνουν τους αγωγούς των αναφλέξιμων χώρων από τους αγωγούς όπου οδηγούνται στο κέντρο ελέγχου (σχήμα 6.4).



Σχήμα 6.4: Γαλβανικός διαχωρισμός αισθητηρίου από ελεγκτή.

Εάν το σήμα του αισθητηρίου – μετατροπέα οδηγείται σε μικροεπεξεργαστή (μP), τότε χρησιμοποιείται ως σήμα μεταφοράς η τάση 0 ÷ 10V, διότι μετατρέπεται εύκολα σε ψηφιακό σήμα.

Στο κεφάλαιο αυτό θα μελετήσουμε τα πιο σημαντικά αισθητήρια για τα συστήματα αυτομάτου ελέγχου.

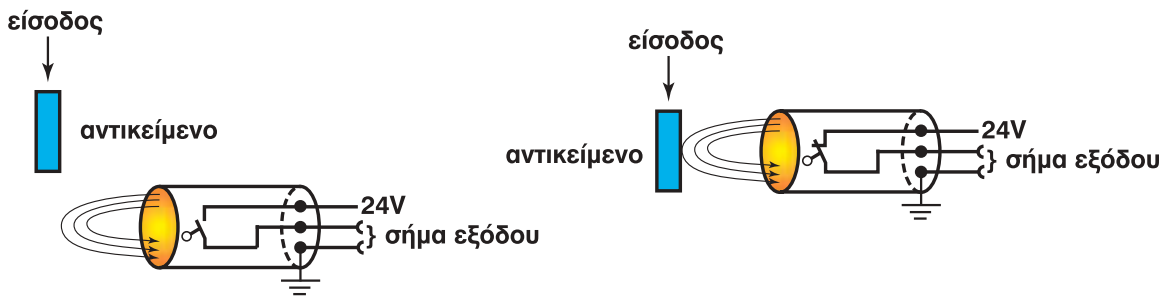
6.1 Αισθητήρια ανίχνευσης αντικειμένων

Μια από τις πιο συνηθισμένες εργασίες των αισθητηρίων είναι η ανίχνευση αντικειμένων. Αντιλαμβάνονται δηλαδή αν υπάρχει ένα αντικείμενο κοντά τους ή όχι.

Ανάλογα με τον τρόπο ανίχνευσης των αντικειμένων, διακρίνουμε τα εξής αισθητήρια:

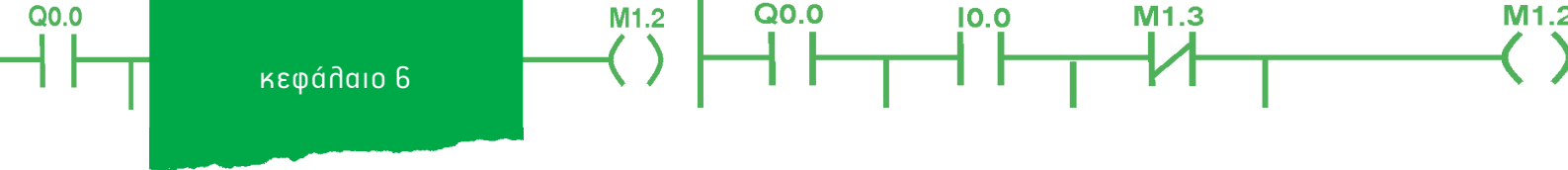
6.1.1 Ηλεκτρομηχανικά αισθητήρια

Τα αισθητήρια αυτά έχουν κινητά μέρη που ενεργοποιούνται με την επαφή με άλλα αντικείμενα. Ανάλογα με την κατασκευή τους, αλλά και το σκοπό για τον οποίο χρησιμοποιούνται, ενεργοποιούν μια ανοικτή ή κλειστή επαφή ή λειτουργούν σαν μεταγωγικοί διακόπτες (σχήμα 6.5).



Σχήμα 6.5: Ηλεκτρομηχανικό αισθητήριο.

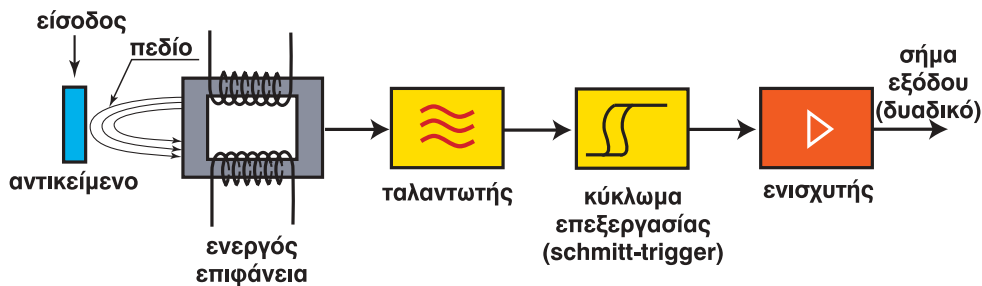




6.1.2 Επαγωγικοί διακόπτες προσέγγισης

Οι επαγωγικοί διακόπτες προσέγγισης αποτελούνται από τις εξής βαθμίδες (σχήμα 6.6)

- ▶ Τον ταλαντωτή με την ενεργό επιφάνεια
- ▶ Το ηλεκτρονικό κύκλωμα επεξεργασίας του σήματος του ταλαντωτή και
- ▶ Το κύκλωμα εξόδου – βαθμίδα ενίσχυσης.

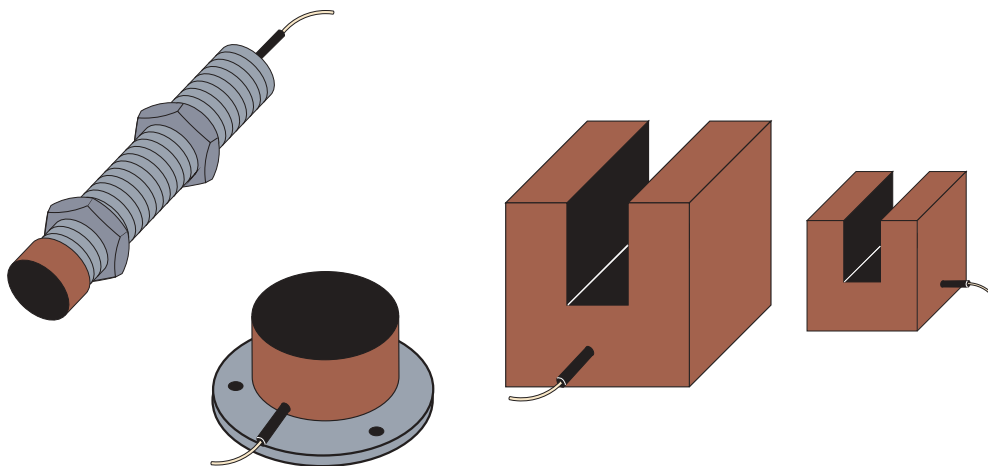


Σχήμα 6.6α: Δομή ενός επαγωγικού διακόπτη προσέγγισης.

Με τη βοήθεια του ταλαντωτή δημιουργείται ένα μαγνητικό πεδίο στην ενεργό επιφάνεια.

Όταν ένα μεταλλικό αντικείμενο πλησιάζει κοντά στην ενεργό επιφάνεια διαταράσσεται το μαγνητικό πεδίο και ο ταλαντωτής αποσυντονίζεται με αποτέλεσμα ν' αυξηθεί το ρεύμα του κυκλώματος. Η αλλαγή του ρεύματος γίνεται αντιληπτή από το κύκλωμα επεξεργασίας, το οποίο με τη σειρά του αλλάζει το σήμα εξόδου.

Στο παρακάτω σχήμα φαίνονται διάφορες κατασκευές επαγωγικών διακοπών και αναλογικών αισθητηρίων προσέγγισης, ανάλογα με την εφαρμογή που προορίζονται.



Σχήμα 6.6β: Διάφοροι τύποι επαγωγικών διακοπών.

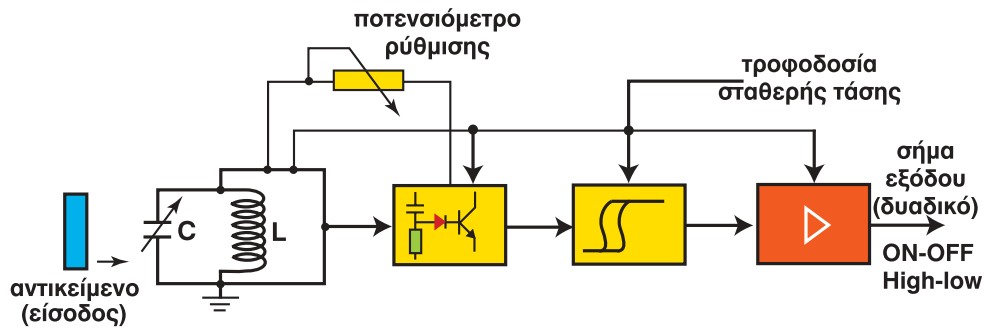


6.1.3 Χωρητικοί διακόπτες προσέγγισης (ΧΔΠ)

Οι ΧΔΠ βασίζονται στη μεταβολή της χωρητικότητας ενός ταλαντωτή υψηλής συχνότητας.

Οι ΧΔΠ αντιλαμβάνονται επομένως οτιδήποτε αλλιάζει τη χωρητικότητα του ταλαντωτή, όπως μέταλλα, ξύλο, χαρτί, μονωτικά υλικά ή γυαλί.

Στο παρακάτω σχήμα 6.7 φαίνεται ένα τυπικό διάγραμμα βαθμίδων ενός ΧΔΠ.



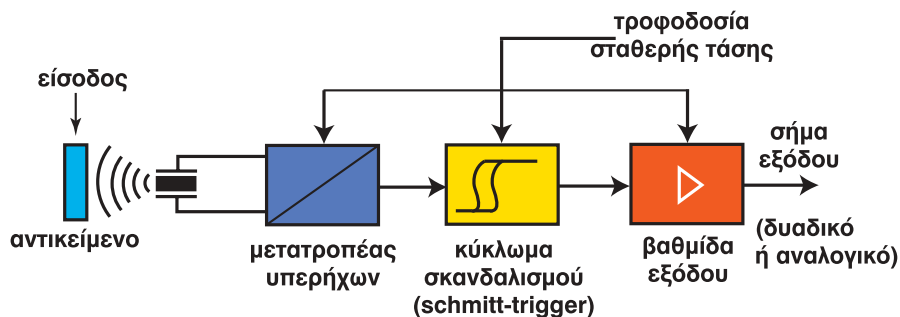
Σχήμα 6.7: Διάγραμμα βαθμίδων ενός ΧΔΠ.

Μπροστά από την ενεργό επιφάνεια του ταλαντωτή δημιουργείται ένα ανομοιογενές ηλεκτρικό πεδίο. Όταν εισέλθει στο χώρο του ηλεκτρικού πεδίου κάποιο αντικείμενο, μεταβάλλεται η χωρητικότητα του ταλαντωτή και παράγεται ημιτονοειδές σήμα υψηλής συχνότητας. Το σήμα αυτό εισέρχεται στην επόμενη βαθμίδα, όπου απομονώνεται και ανορθώνεται. Το ανορθωμένο σήμα διεγείρει το κύκλωμα σκανδαλισμού (Schmitt-Triggering) το οποίο στη συνέχεια ενεργοποιεί το κύκλωμα ενίσχυσης. Με το ποτενσιόμετρο μπορούμε να ρυθμίσουμε την ευαισθησία του ΧΔΠ.

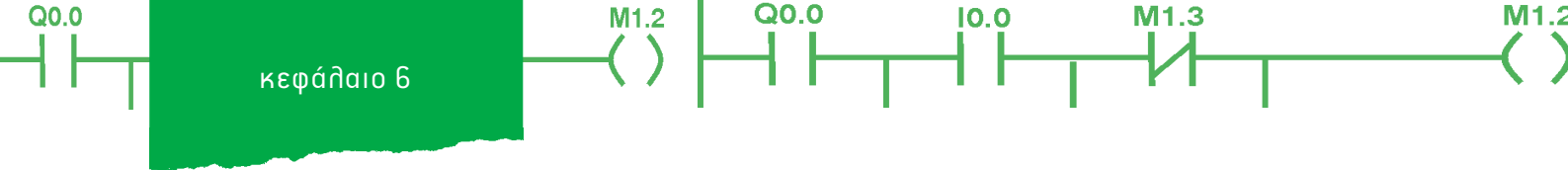
6.1.4 Αισθητήριο Υπερήχων (ΑΥ)

Τα αισθητήρια υπερήχων αποτελούνται από τις βαθμίδες:

- ▶ Μετατροπείας υπερήχων
- ▶ Κύκλωμα σκανδαλισμού και
- ▶ Βαθμίδα εξόδου



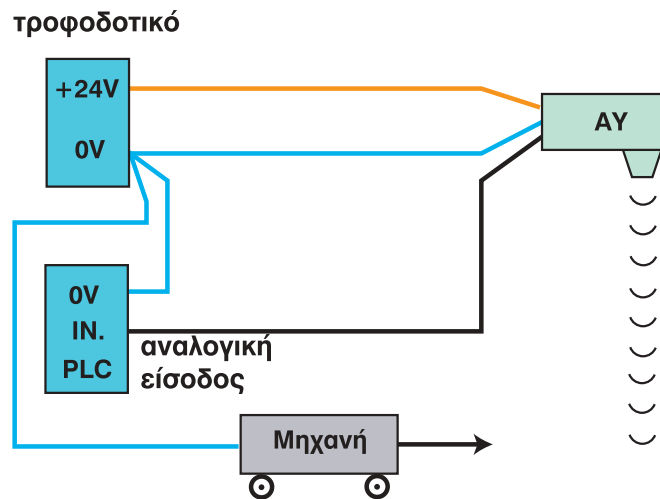
Σχήμα 6.8: Δομή ενός αισθητηρίου υπερήχων.



Ο μετατροπέας υπερήχων εκπέμπει υπέρηχους παλμούς συχνότητας $f > 100 \text{ kHz}$. Έτσι μειώνονται οι παρεμβολές από θορύβους του περιβάλλοντος χώρου.

Όταν ένα αντικείμενο πλησιάσει στο χώρο εκπομπής των υπερήχων, ενεργοποιείται το κύκλωμα σκανδαλισμού, το οποίο με τη σειρά του ενεργοποιεί τη βαθμίδα εξόδου.

Μια τυπική εφαρμογή ενός ΑΥ φαίνεται στο παρακάτω σχήμα 6.9.

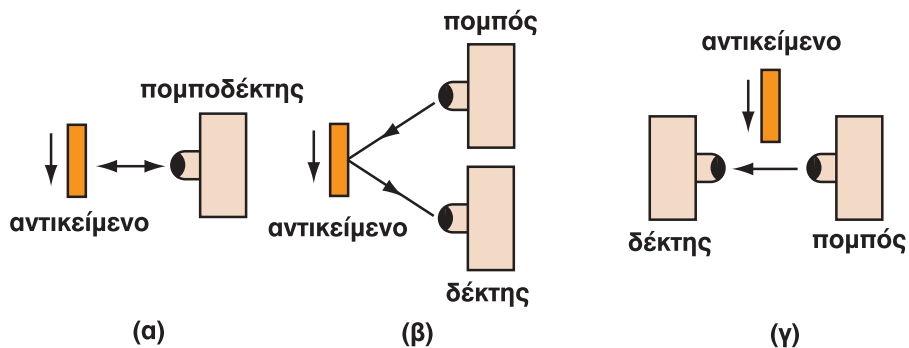


Σχήμα 6.9: Παράδειγμα εφαρμογής αισθητηρίου υπερήχων.

Η λειτουργία των ΑΥ είναι ανεξάρτητη από το είδος του υλικού του αντικείμενου που εισέρχεται στο χώρο επιτήρησης –εξαιρουμένου όμως του βαμβακιού. Τα ΑΥ μπορούν να αντιληφθούν ακόμη και μικρά αντικείμενα σε μεγάλες αποστάσεις.

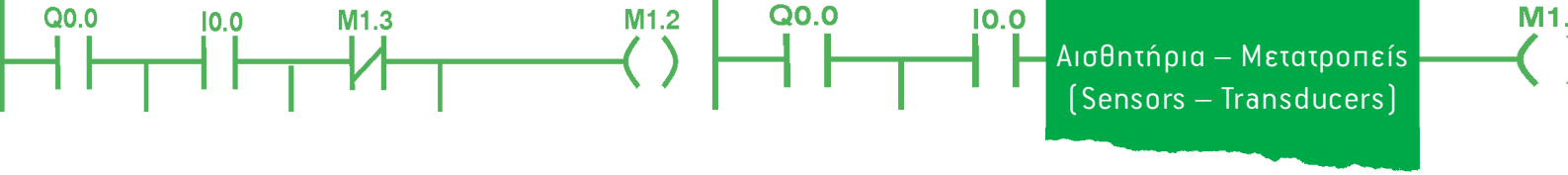
Συγκριτικά με άλλα αισθητήρια, τα ΑΥ ενεργοποιούνται με καθυστέρηση, δε λειτουργούν σε ex-χώρους ή χώρους με υψηλή ή χαμηλή πίεση. Επίσης, δεν μπορούν ν' αντιληφθούν αντικείμενα με υψηλή θερμοκρασία. Τα αισθητήρια υπερήχων ανάλογα με τη χρήση τους διακρίνονται σε τρεις κατηγορίες:

- A)** αισθητήρια υπερήχων μιας κεφαλής με ανάκλιση
- B)** αισθητήρια υπερήχων δύο κεφαλών με ανάκλιση
- Γ)** αισθητήρια υπερήχων δύο κεφαλών χωρίς ανάκλιση

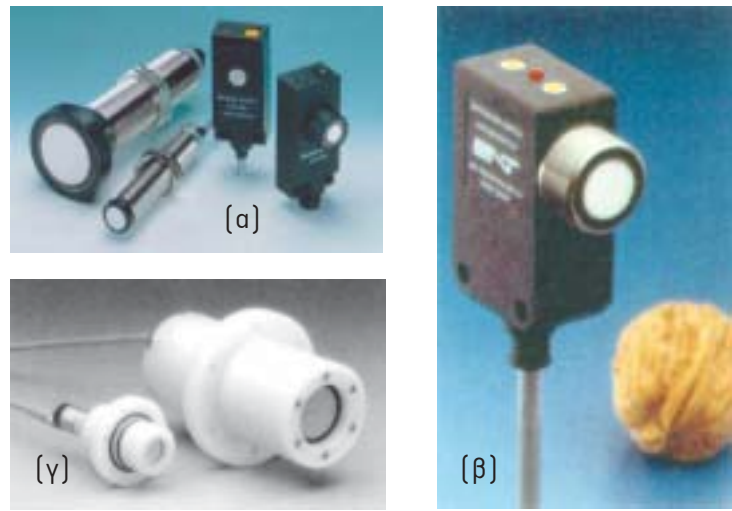


Σχήμα 6.10α: Κατηγορίες αισθητηρίων υπερήχων.

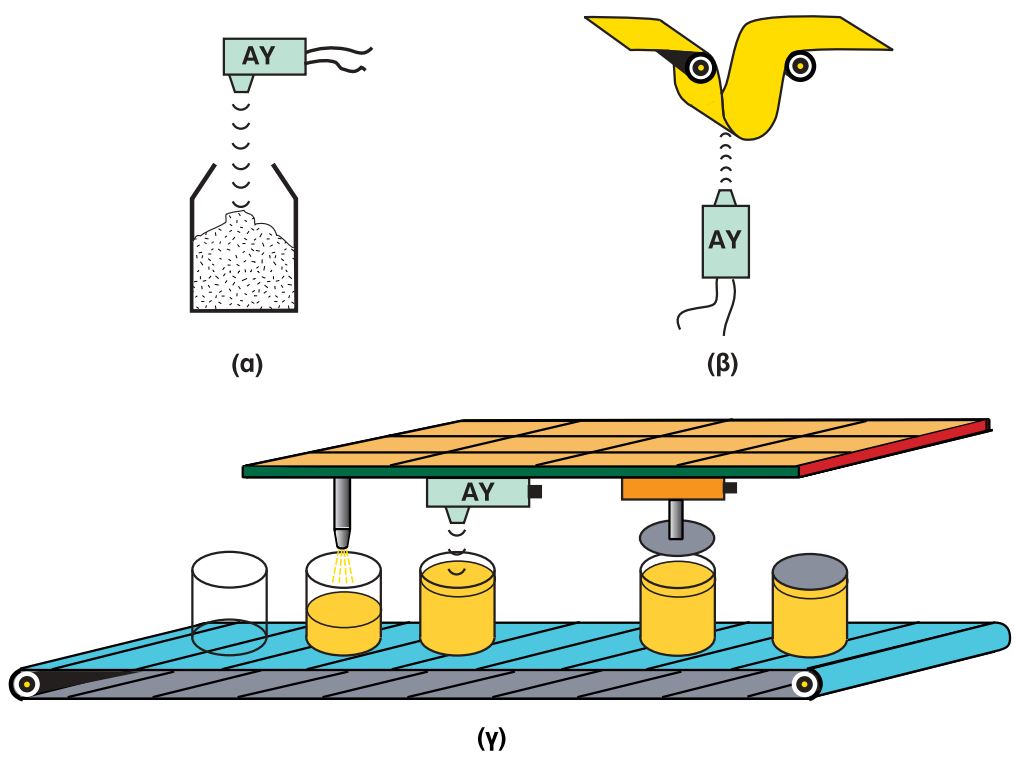




Αισθητήρια – Μετατροπείς
[Sensors – Transducers]



Σχήμα 6.10: Διάφορα εμπορικά αισθητήρια υπερήχων.

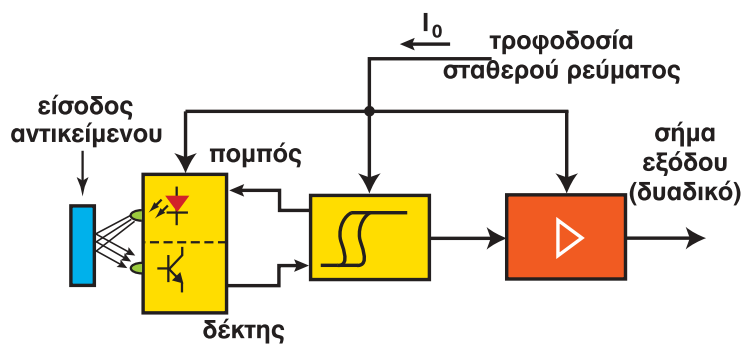


Σχήμα 6.11: Μερικές εφαρμογές των ΑΥ.
Επιτήρηση της στάθμης του υλικού ενός δοχείου χωρίς πίεση (α),
επιτήρηση της τάνσης ταινιών (β),
επιτήρηση του γεμίσματος φιαλών κ.λπ. (γ).



6.1.5 Οπτικοί διακόπτες

Οι οπτικοί διακόπτες αποτελούνται από τον πομπό, το δέκτη, το μετατροπέα και τη βαθμίδα ενίσχυσης (σχήμα 6.12).



Σχήμα 6.12: Δομή οπτικού διακόπτη ανάκλασης.

Ο πομπός με τη βοήθεια της φωτοδιόδου ακτινοβολεί. Όταν οι ακτίνες του φωτός προσπέσουν σε μια επιφάνεια, αντανakλώνται και διεγείρουν τη βάση ενός φωτοτρανζίστορ (δέκτης). Στην έξοδο λαμβάνουμε ένα δυαδικό σήμα (High – Low, ON – OFF, εντός – εκτός).

6.2 Αισθητήρια θερμοκρασίας

Για τη μέτρηση της θερμοκρασίας ρέοντος υγρών, αερίων και επιφανειών χρησιμοποιούνται διάφορα στοιχεία αισθητηρίων. Τα πιο συνηθισμένα είναι:

- ▶ Οι μεταλλικές αντιστάσεις
- ▶ Τα θερμοστοιχεία
- ▶ Το διμεταλλικό στοιχείο
- ▶ Τα ημιαγωγά αισθητήρια θερμοκρασίας
- ▶ Τα θερμίστορς κ.λπ.

6.2.1 Μεταλλικές αντιστάσεις

Οι αντιστάσεις αυτές κατασκευάζονται συνήθως από νικέλιο ή από πλάτινη. Η αντίστασή τους μεταβάλλεται με τη θερμοκρασία σύμφωνα με τη γνωστή σχέση

$$R_{\theta} = R_0 (1 + \alpha \cdot \Delta\theta)$$

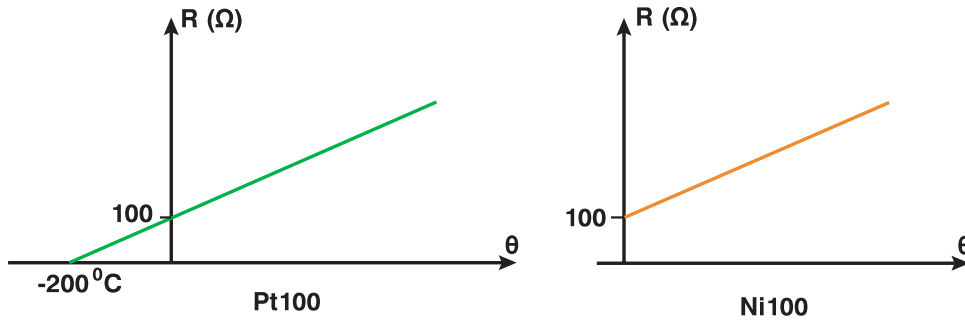
όπου η R_0 αντίσταση στους 0°C , συνήθως έχει τιμή 100Ω , 500Ω ή 1000Ω .

και $\Delta\theta$ διαφορά θερμοκρασίας σε $^{\circ}\text{C}$.

Ανάλογα με τις παραπάνω τιμές, έχουμε αισθητήρια Pt100, Pt500, Pt1000 ή Ni100, Ni500, Ni1000.

α: συντελεστής θερμοκρασίας, ο οποίος για το $\left\{ \begin{array}{l} \text{Ni: } \alpha = 6,17 \cdot 10^{-3} \text{K}^{-1} \rightarrow \text{περιοχή λειτουργίας: } -60^{\circ}\text{C} \div 180^{\circ}\text{C} \\ \text{Pt: } \alpha = 3,85 \cdot 10^{-3} \text{K}^{-1} \rightarrow \text{περιοχή λειτουργίας: } 220^{\circ}\text{C} \div 750^{\circ}\text{C} \end{array} \right.$

Στο παρακάτω σχήμα (6.13) φαίνονται οι χαρακτηριστικές δύο ευρέως διαδεδομένων στοιχείων αισθητηρίων των Pt100 και Ni100.

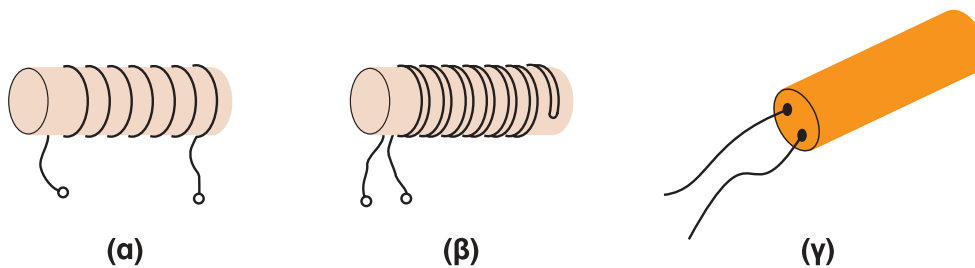


Σχήμα 6.13: Χαρακτηριστικές $R = f(\theta)$ των στοιχείων Pt100 και Ni100.

Οι χαρακτηριστικές είναι γραμμικές για ένα μεγάλο εύρος τιμών θερμοκρασίας. Έτσι δε χρειάζονται να γραμμικοποιηθούν. Η σχέση της αντίστασης από τη θερμοκρασία δίνεται από τις εξισώσεις:

$$R_{\text{Pt100}}(\theta) = 0,38 \frac{\Omega}{\text{K}} \cdot \theta \text{ και } R_{\text{Ni100}}(\theta) = 0,62 \frac{\Omega}{\text{K}} \cdot \theta$$

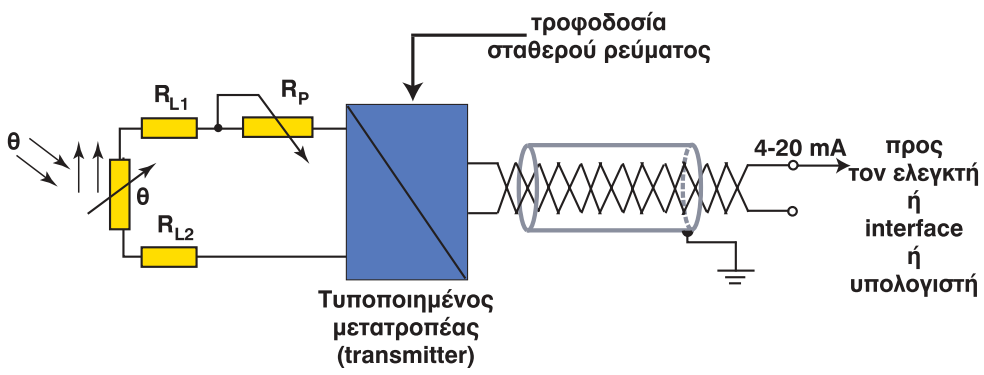
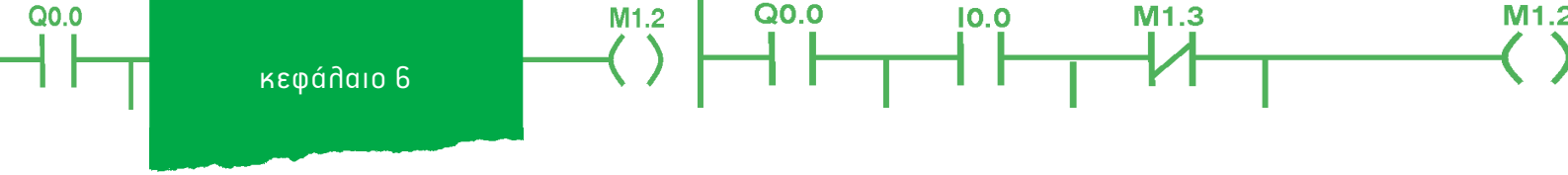
Οι μεταλλικές αντιστάσεις κατασκευάζονται από λεπτό σύρμα Νικελίου ή Πλατίνης, το οποίο τυλίγεται συνήθως πάνω σε κεραμικό υλικό, όπως δείχνει το παρακάτω σχήμα (6.14).



Σχήμα 6.14: α) Απλής περιέλιξης (γραμμικής) β) Διπλής περιέλιξης γ) Συνήθους κατασκευαστική μορφή του Pt100

Οι μεταλλικές αντιστάσεις συναντώνται σε συνδεσμολογίες

A) των δύο αγωγών (Τυποποιημένος μετατροπέας δύο αγωγών – σταθερή τροφοδοσία [ρεύμα]).



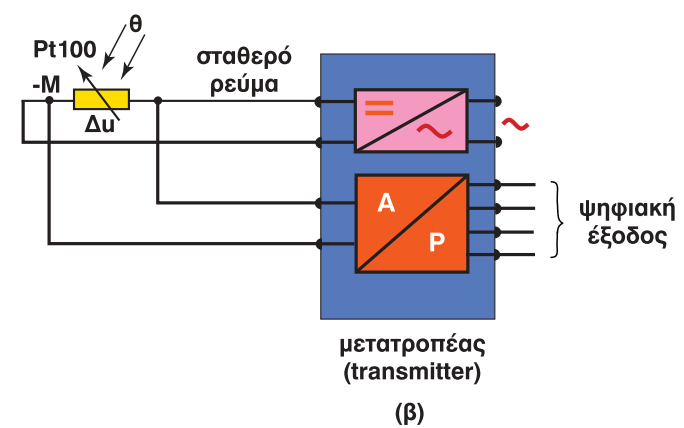
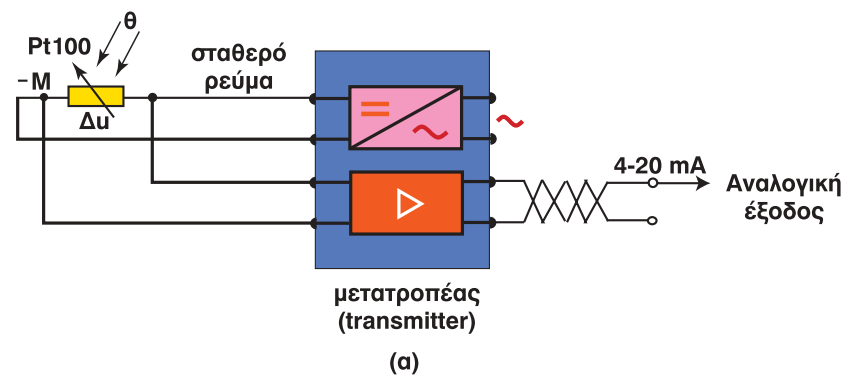
Σχήμα 6.15: Τυποποιημένος μετατροπέας δύο αγωγών με αισθητήριο Pt 100.

R_{L1}, R_{L2} = αντιστάσεις γραμμής

R_p = ποτενσιόμετρο ρύθμισης του ρεύματος τροφοδοσίας και αντιστάθμισης των απωλειών της γραμμής.

Β) των τεσσάρων αγωγών (τυποποιημένος μετατροπέας τεσσάρων αγωγών).

Οι παρακάτω συνδεσμολογίες (σχήμα 6.16) δείχνουν τον τρόπο σύνδεσης ενός Pt100 τεσσάρων αγωγών με αναλογική (α) και με ψηφιακή έξοδο (β).



Σχήμα 6.16: Διάγραμμα μετατροπέα τεσσάρων αγωγών με αναλογική (α) και ψηφιακή έξοδο (β).



6.2.2 Θερμίστορς

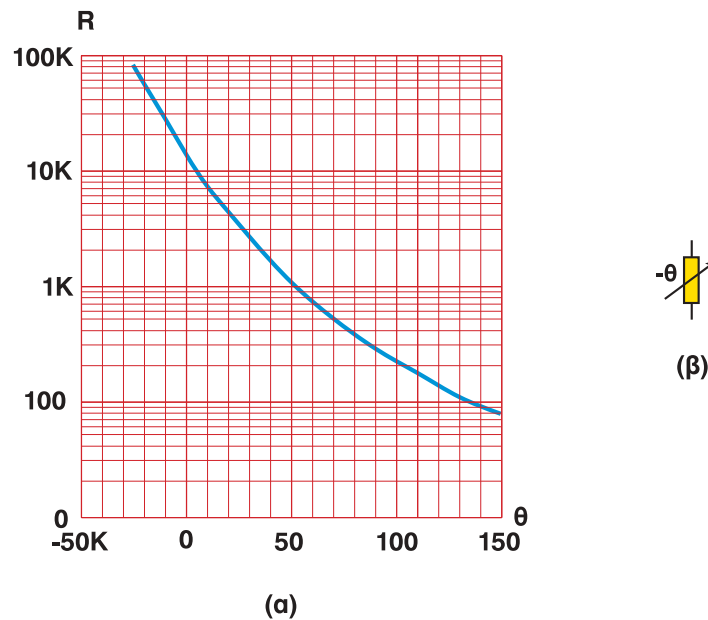
Τα θερμίστορς είναι αντιστάσεις, οι οποίες μεταβάλλονται επίσης με τη θερμοκρασία.

Τα θερμίστορς κατασκευάζονται από ημιαγωγά στοιχεία, όπως πυρίτιο (Si) ή από οξειδία μετάλλων (Ni, Co, Zn) και εμφανίζουν πολύ μεγάλο θετικό ή αρνητικό συντελεστή θερμοκρασίας ($\alpha_{\theta_{\text{ερ}}} \approx 10\alpha$ μεταλλικής αντίστασης). Αυτό σημαίνει ότι μπορούν να μετρήσουν πολύ μεγάλες μεταβολές της θερμοκρασίας (από -100°C έως 250°C). Η χαρακτηριστική των θερμίστορς δεν είναι γραμμική και γι' αυτό λαμβάνουμε πρόσθετα μέτρα για τη γραμμικοποίησή της.

Ανάλογα με τη συμπεριφορά τους στις μεταβολές της θερμοκρασίας διακρίνουμε:

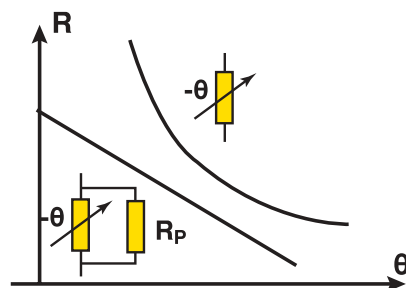
- ▶ NTC –αντιστάσεις και
- ▶ PTC –αντιστάσεις.

Οι αντιστάσεις –NTC (αρνητικό συντελεστή θερμοκρασίας = Negative Temperature coefficient), ονομάζονται και θερμές αντιστάσεις, μειώνουν την αντίστασή τους, όταν αυξάνεται η θερμοκρασία. Η συμπεριφορά τους αυτή φαίνεται στην παρακάτω χαρακτηριστική (σχήμα 6.17).



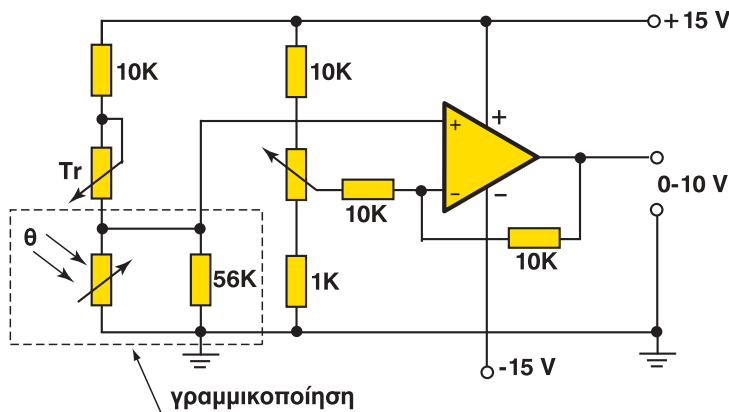
Σχήμα 6.17: Χαρακτηριστική (α) και σύμβολο (β) αντιστάσεων NTC.

Η γραμμικοποίηση των αντιστάσεων –NTC γίνεται με τη χρησιμοποίηση παραλλήλων αντιστάσεων (σχήμα 6.18).



Σχήμα 6.18: Γραμμικοποίηση αντίστασης – NTC με παράλληλη αντίσταση R_p .

Στο παρακάτω σχήμα (6.19) φαίνεται ένα απλό κύκλωμα μέτρησης της θερμοκρασίας με αντίσταση –NTC.



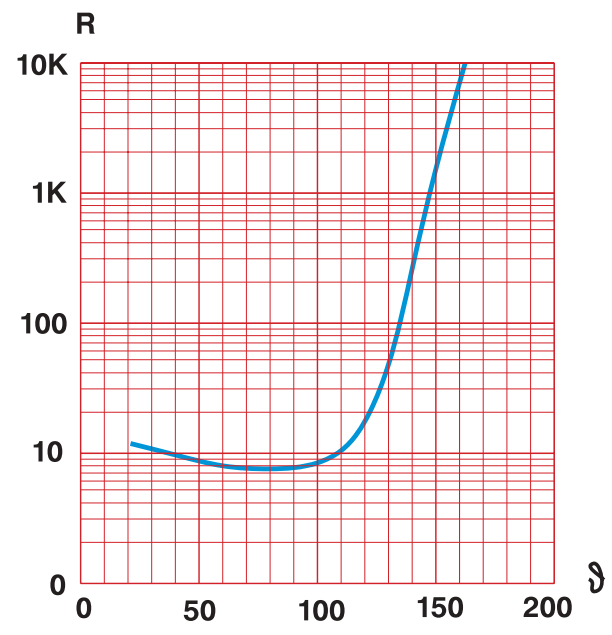
Σχήμα 6.19: Κύκλωμα μέτρησης της θερμοκρασίας και μετατροπής σε τάση.

Οι αντιστάσεις –PTC (αντιστάσεις με θετικό συντελεστή θερμοκρασίας α^+) ονομάζονται και ψυχρές αντιστάσεις, έχουν μικρή αντίσταση σε χαμηλές θερμοκρασίες, η οποία όμως αυξάνεται με την αύξηση της θερμοκρασίας (σχήμα 6.20).

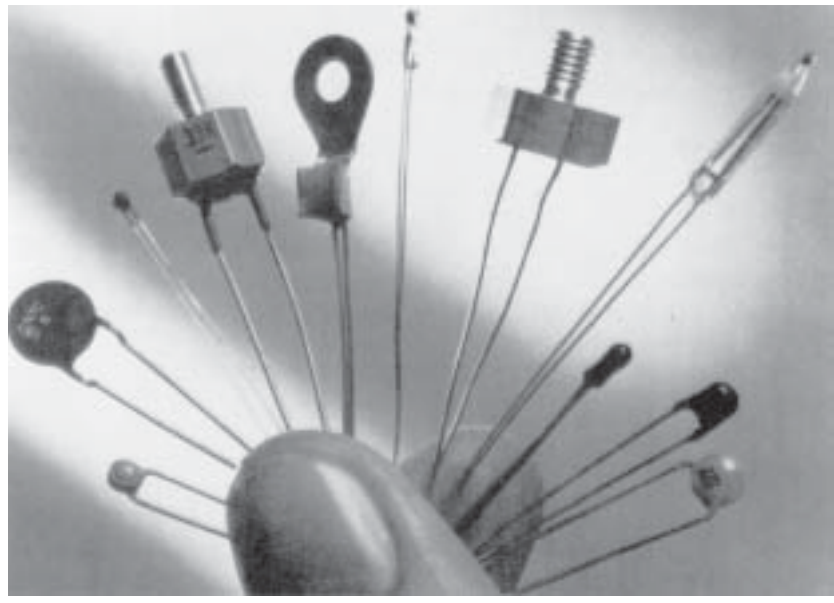
Οι αντιστάσεις –PTC μετρούν θερμοκρασίες από 40°C έως 180°C. Λόγω της κατακόρυφης μεταβολής της χαρακτηριστικής $R=f(\theta)$, δε χρησιμοποιούνται συνήθως για τη μέτρηση της θερμοκρασίας, αλλά για την επιτήρηση οριακών τιμών της θερμοκρασίας (π.χ. προστασία της περιέλιξης των κινητήρων από υπερθέρμανση (σχήμα 6.22)).



Αισθητήρια – Μετατροπείς
[Sensors – Transducers]

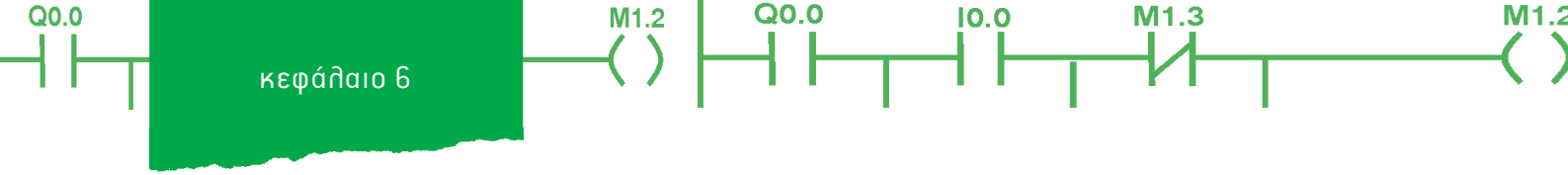


Σχήμα 6.20: Τυπική χαρακτηριστική μιας PTC- αντίστασης.

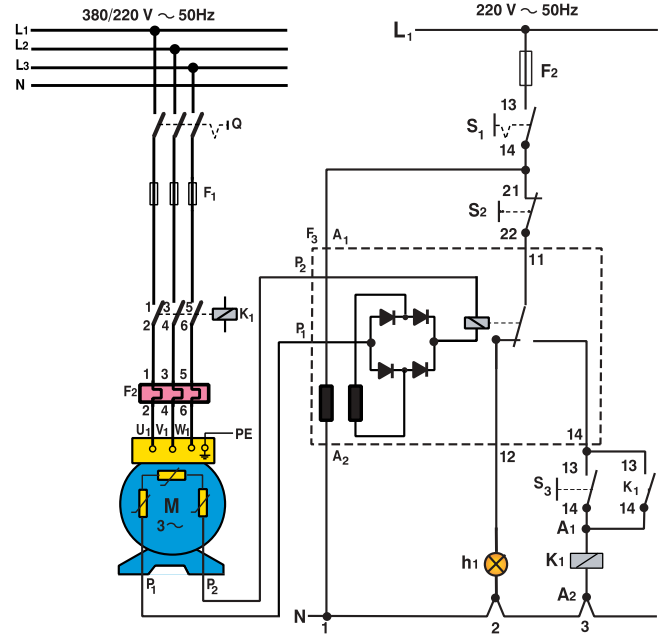


Σχήμα 6.21: Τυπικές PTC- αντιστάσεις εμπορίου.





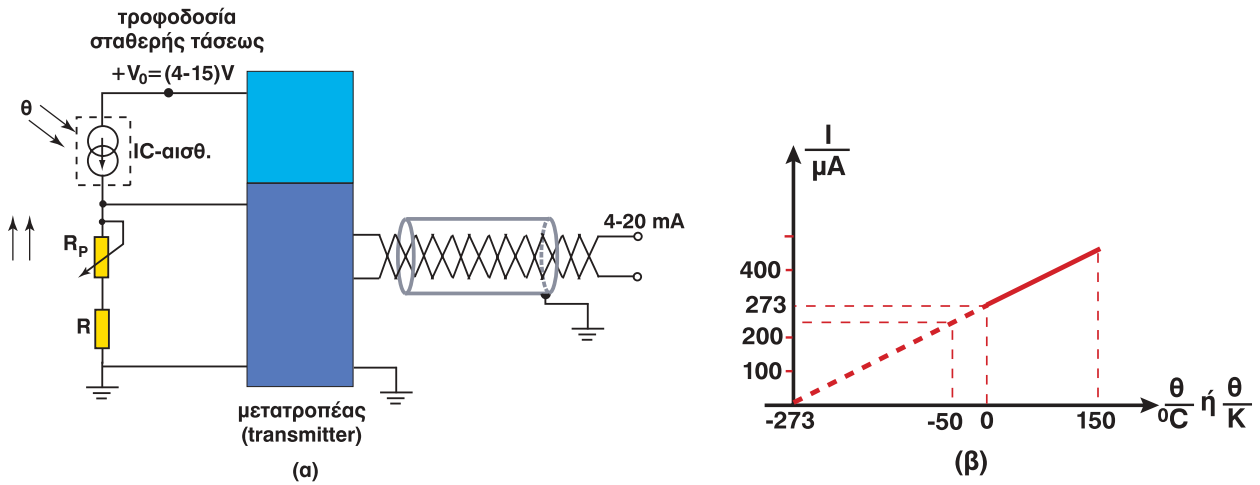
κεφάλαιο 6



Σχήμα 6.22: Προστασία περιέλιξης τριφασικού κινητήρα με PTC- αντιστάσεις.

6.2.3 IC's –αισθητήριο θερμοκρασίας

Τα IC-αισθητήρια είναι μοντέρνα αισθητήρια θερμοκρασίας σε μορφή ολοκληρωμένων ηλεκτρονικών κυκλωμάτων. Τα αισθητήρια αυτά χρησιμοποιούνται για τη μέτρηση θερμοκρασιών από -50°C έως 150°C και παράγουν ένα μικρό ρεύμα ανάλογο της θερμοκρασίας (σχήμα 6.23).



Σχήμα 6.23: Τυπικό κύκλωμα (α) και χαρακτηριστική (β) IC-αισθητήριου θερμοκρασίας.

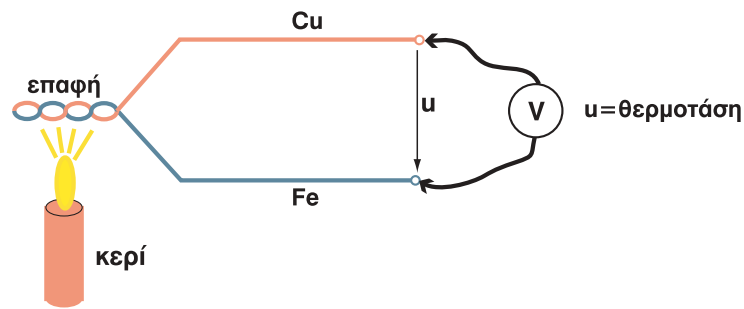


Από τη χαρακτηριστική του σχήματος διαπιστώνουμε ότι για κάθε βαθμό (°C) θερμοκρασίας έχουμε 1μΑ μεταβολή ρεύματος. Επομένως η πτώση τάσης στα άκρα της αντίστασης (R_p) είναι ανάλογη της θερμοκρασίας και μπορεί να υποστεί περαιτέρω επεξεργασία από τον τυποποιημένο μετατροπέα (Transmitter).

6.2.4 Θερμοστοιχεία

Τα θερμοστοιχεία αποτελούνται από δύο διαφορετικά μέταλλα, τα οποία έρχονται σε επαφή σε ένα σημείο. Εάν φέρουμε σε επαφή ένα σύρμα από χαλκό (Cu) μ' ένα σύρμα από σίδηρο (Fe) και στα ελεύθερα άκρα τους συνδέσουμε ένα βολτόμετρο, θα παρατηρήσουμε ότι το όργανο δείχνει μερικά μιλιβόλτ (mV).

Τοποθετώντας την επαφή πάνω από ένα αναμμένο κερί, διαπιστώνουμε ότι η ένδειξη της τάσης αυξάνει. (Θερμοηλεκτρικό φαινόμενο, σχήμα 6.24).



Σχήμα 6.24: Θερμοστοιχείο Cu – Fe.

Τα θερμοστοιχεία ανήκουν επομένως στην κατηγορία των ενεργών αισθητηρίων. Μεταξύ της τάσης (u) και της θερμοκρασίας ισχύει η γραμμική σχέση:

$$u = K \cdot \Delta\theta = K(\theta_2 - \theta_1)$$

K = συντελεστής αναλογίας.

Τα θερμοστοιχεία κατασκευάζονται με δύο τρόπους:

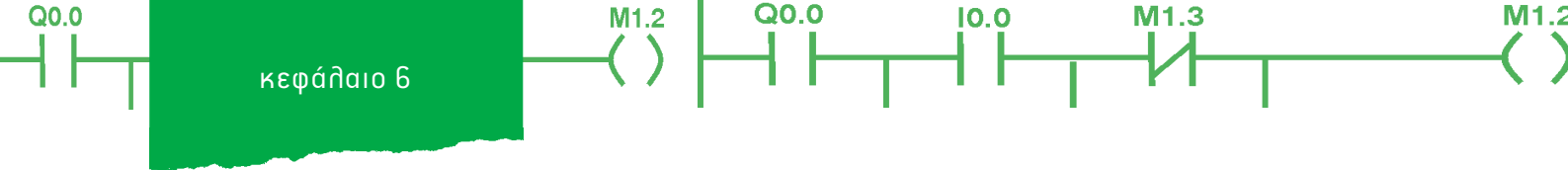
A) θερμοστοιχεία σε ρολούς των 100m (σχήμα 6.25) και συναντώνται σε διάφορους τύπους

Σχήμα 6.25: Θερμοστοιχείο τύπου K σύμφωνα με τα DIN.



Typ	Material	Aufbau IEC	Aufbau DIN
J	Fe-CuNi		
K	NiCr-Ni		
N	NiCr-NiSi		nach DIN nicht definiert!
S/R	PtRh-Pt		

Σχήμα 6.26: Πίνακας θερμοστοιχείων IEC και DIN.



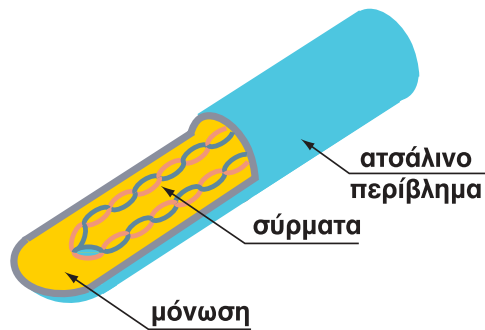
κεφάλαιο 6

Β) Θερμοστοιχεία με ειδικό περίβλημα

Τα θερμοστοιχεία με περίβλημα (ΘΠ) χρησιμοποιούνται εκεί όπου άλλα αισθητήρια θερμοκρασίας δε λειτουργούν λόγω των συνθηκών που επικρατούν.

Τα ΑΠ έχουν απλή κατασκευή.

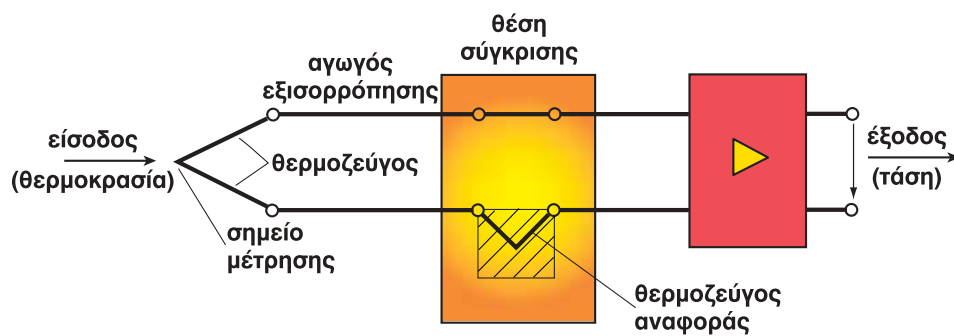
Τα δύο σύρματα – θερμοστοιχεία τοποθετούνται σ' ένα σωλήνα από χρωμοστασίλη με μονωτικό υλικό (σχήμα 6.27).



Σχήμα 6.27: Τομή ενός θερμοστοιχείου με ειδικό περίβλημα.

Τα θερμοστοιχεία αυτής της κατηγορίας έχουν μικρό όγκο και μεγάλη ανθεκτικότητα στις επιδράσεις του περιβάλλοντος. Η θερμοτάση που αναπτύσσεται στα άκρα τους είναι πολύ μικρή και γι' αυτό δεν ενισχύεται εύκολα.

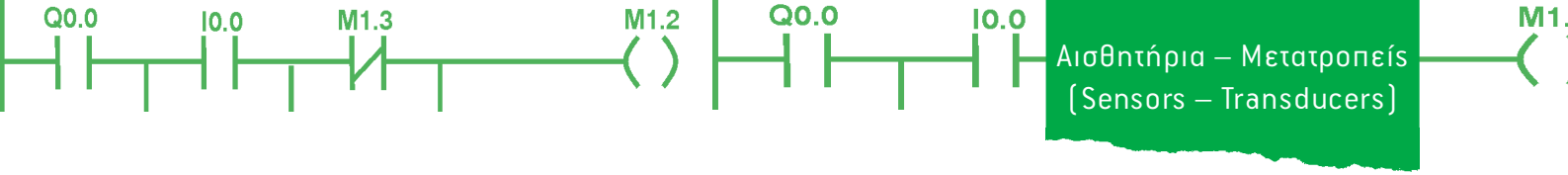
Η θερμοτάση των θερμοστοιχείων συγκρίνεται με την τάση ενός θερμοστοιχείου αναφοράς, προκειμένου να έχουμε ένα μέτρο σύγκρισης για τη μετρηθείσα θερμοκρασία (σχήμα 6.28).



Σχήμα 6.28: Διάταξη μέτρησης της θερμοκρασίας με θερμοστοιχείο.

Τα θερμοστοιχεία δίνουν αναλογικά σήματα, τα οποία με τη βοήθεια A/D –μετατροπέων μετατρέπονται σε ψηφιακά.





Τα περισσότερο χρησιμοποιούμενα θερμοστοιχεία σύμφωνα με τα DIN EN 60584-1 είναι:

Όνομασία	Χαρακτηριστικό γράμμα	Χρώμα
Cu-CuNi	T	Καφέ
Fe-CuNi	J	Μπλε
NiCr-Ni	K	Πράσινο
Pt13Rh-Pt	R	Άσπρο
Pt10Rh-Pt	S	Άσπρο
Pt30Rh-Pt6Rh	B	Άσπρο

6.2.5 Διμεταλλικά στοιχεία

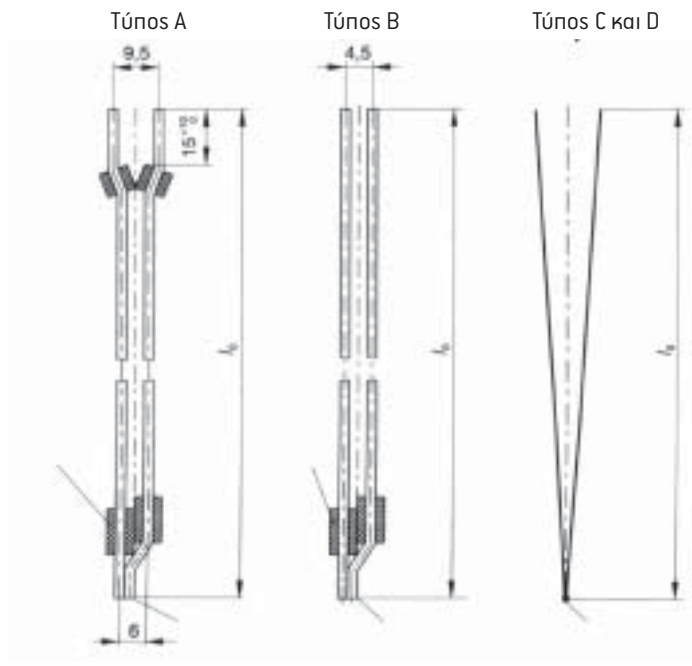
Τα διμεταλλικά στοιχεία αποτελούνται από δύο μέταλλα με διαφορετικό συντελεστή θερμοκρασίας (σχήμα 6.29).

Για να λειτουργήσουν, πρέπει να τροφοδοτούνται με τάση.

Η λειτουργία τους βασίζεται στη διαφορετική διαστολή των δύο μετάλλων κατά την επίδραση της θερμοκρασίας.

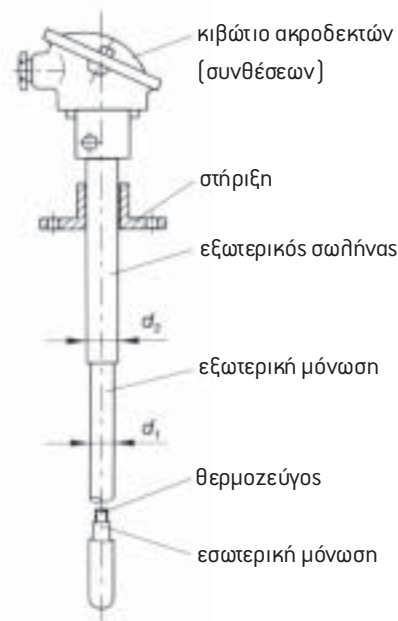
Όταν η θερμοκρασία των δύο μετάλλων φθάσει μια ορισμένη τιμή, τα δύο μέταλλα κάμπτονται και διακόπτεται η ροή του ρεύματος αφ' ενός και αφ' ετέρου μπορεί να ενεργοποιηθεί και μια βοηθητική επαφή NC ή NO.

Επομένως, τα διμεταλλικά στοιχεία δε μας δίνουν στην έξοδό τους αναλογικό αλλά ένα δυαδικό σήμα.



Σχήμα 6.29: Διμεταλλικό στοιχείο.





Σχήμα 6.30: Τυπική κατασκευή θερμοστοιχείου.

6.3 Αισθητήρια πίεσης

Η πίεση είναι επίσης ένα σημαντικό μέγεθος των βιομηχανικών διεργασιών. Χρησιμοποιείται συνήθως έμμεσα για τη μέτρηση άλλων μεγεθών, όπως της στάθμης υγρών σε μεγάλες δεξαμενές.

Με τον όρο πίεση εννοούμε τη δύναμη που ασκείται κάθετα πάνω σε μια επιφάνεια προς το εμβαδόν της επιφάνειας αυτής. Πίεση $(P) = \frac{\text{δύναμη}(F)}{\text{εμβαδό}(A)}$

Μονάδες μέτρησης της πίεσης είναι:

▶ το Pascal: $1Pa = \frac{1N}{m^2}$ όπου $9,81N = 1K_p$

▶ το bar: $1bar = 0,102 \cdot 10^5 \frac{K_p}{m^2}$

$$= 1,02 \frac{K_p}{cm^2}$$

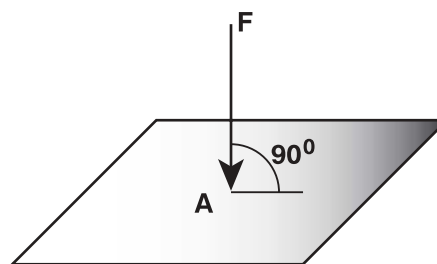
$$= 1,02at$$

$$= 0,987atm$$

$$= 10,504Psi$$

$$= 10^5Pa$$

$$= 750Torr$$



Τα περισσότερα αισθητήρια πίεσης ανήκουν στην κατηγορία των παθητικών αισθητηρίων με αναλογικό σήμα εξόδου.

Τα αισθητήρια πίεσης βρίσκουν εφαρμογή στη βιομηχανία αυτοκινήτων, στην ιατρική, σε οικιακές συσκευές, στον κλιματισμό, στις υδραυλικές και πνευματικές διατάξεις κ.λπ.

Ο παρακάτω πίνακας μας δίνει ενδεικτικά τις πιέσεις που επικρατούν σε διάφορες εφαρμογές.

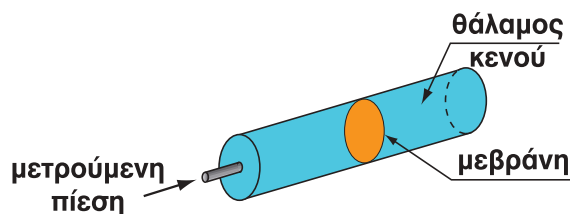
Πίνακας 6.1

Περιοχή πίεσης	Εφαρμογή
$P < 0,04 \cdot 10^5 \text{Pa}$	Μέτρηση στάθμης νερού σε οικιακές συσκευές (πλυντήρια πιάτων και ρούχων)
$P = 0,1 \cdot 10^5 \text{Pa}$	Σκούπες αναρρόφησης, μέτρηση ροής
$P = 0,2 \cdot 10^5 \text{Pa}$	Μέτρηση πίεσης αίματος
$P = 1 \cdot 10^5 \text{Pa}$	Βιομηχανία αυτοκινήτων, βαρόμετρα
$P = 10 \cdot 10^5 \text{Pa}$	Ψυγεία, πίεση λαδιού και αέρος φρένων αυτοκινήτων
$P = 50 \cdot 10^5 \text{Pa}$	Ρομποτική και πνευματικά συστήματα
$P = 500 \cdot 10^5 \text{Pa}$	Υδραυλικά συστήματα και ανυψωτικές μηχανές

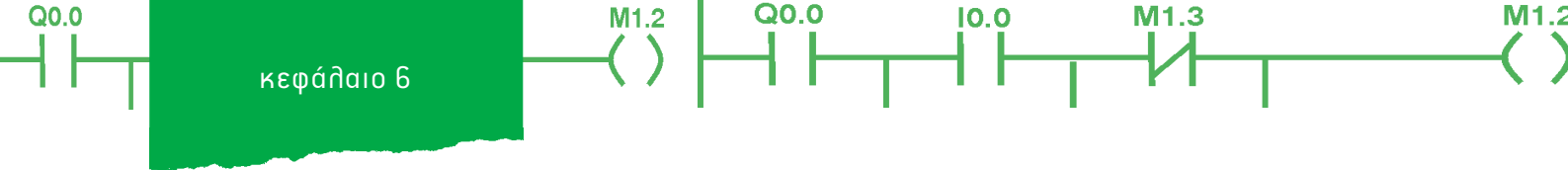
Ανάλογα με την πίεση αναφοράς που χρησιμοποιούμε, διακρίνουμε τα εξής στοιχεία αισθητηρίων πίεσης:

- ▶ Αισθητήρια απόλυτης πίεσης
- ▶ Αισθητήρια σχετικής πίεσης
- ▶ Αισθητήρια διαφοράς πίεσης.

Τα **αισθητήρια απόλυτης πίεσης** μετρούν τη διαφορά μεταξύ της μετρούμενης πίεσης και της πίεσης στο κενό. Ο θάλαμος μέτρησης της πίεσης χρησιμοποιεί την πίεση στο κενό σαν πίεση αναφοράς. Τα βαρόμετρα λειτουργούν με βάση αυτή την αρχή.



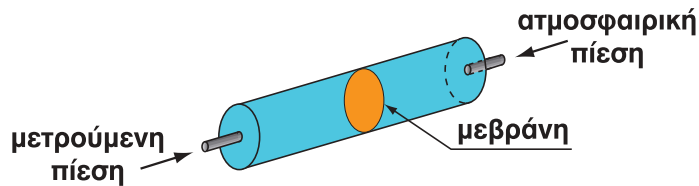
Σχήμα 6.30.1: Αισθητήριο απόλυτης πίεσης.



Τα **αισθητήρια σχετικής πίεσης** μετρούν τη διαφορά μεταξύ της μετρούμενης πίεσης και της ατμοσφαιρικής πίεσης σαν πίεση αναφοράς. Τα αισθητήρια αυτά είναι κατάλληλα για τη μέτρηση υπο- και υπερπιέσεων. Διαθέτουν δύο οπές, στη μια εκ των οποίων δέχονται τη μετρούμενη πίεση και στην άλλη την ατμοσφαιρική.

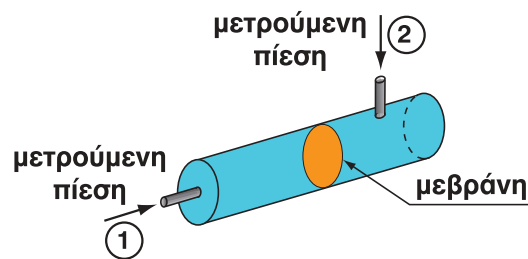
Η μετρούμενη πίεση εφαρμόζεται στη μια πλευρά της μεμβράνης και η ατμοσφαιρική στην άλλη πλευρά.

Ανάλογα με τη διαφορά των δύο πιέσεων έχουμε και αντίστοιχη μετατόπιση της μεμβράνης (βλέπε παρακάτω σχήμα).



Σχήμα 6.30.2: Αισθητήριο σχετικής πίεσης.

Τα **αισθητήρια διαφοράς πίεσης** είναι εφοδιασμένα με δύο εισόδους, κατάλληλες να δεχθούν δύο διαφορετικές πιέσεις. Τα αισθητήρια αυτά μετρούν τη διαφορά πίεσης μεταξύ δύο θέσεων (βλέπε παρακάτω σχήμα).



Σχήμα 6.30.3: Αισθητήριο διαφοράς πίεσης.

Η μετατροπή της πίεσης, που ασκείται πάνω στη μεμβράνη, σε ηλεκτρικό σήμα γίνεται:

Κυρίως με τη χρησιμοποίηση ραβδωτών αντιστάσεων επιμήκυνσης ή με τη χρησιμοποίηση χαλαζία.

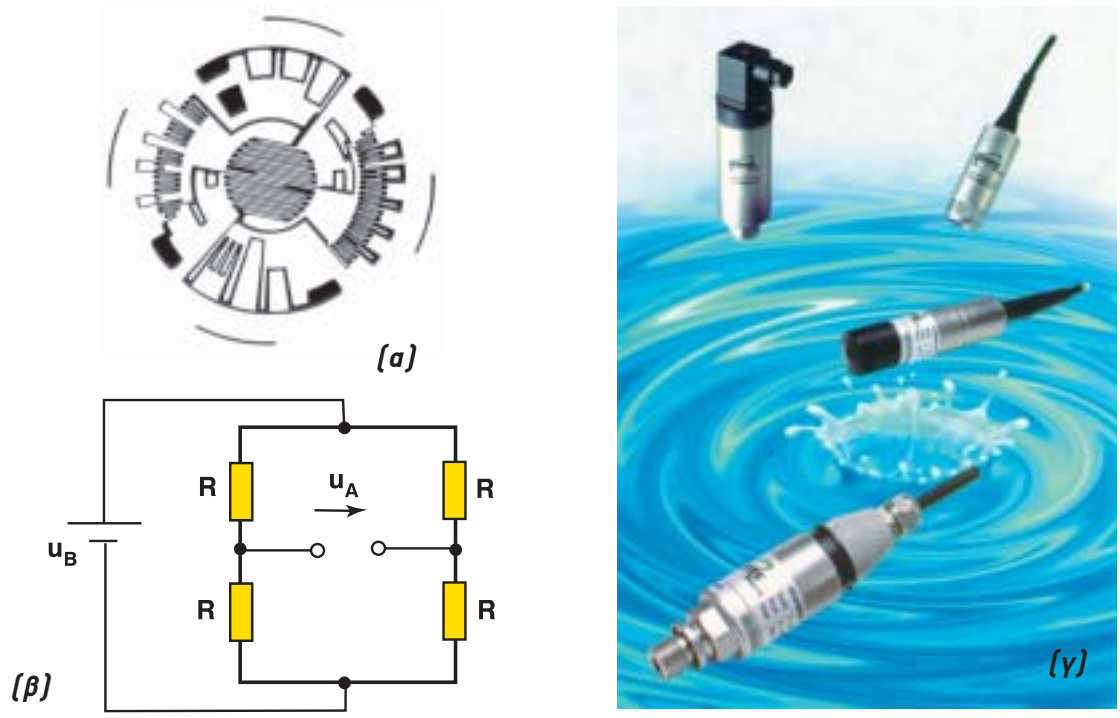
6.3.1 Αισθητήρια πίεσης ραβδωτών αντιστάσεων εφελκυσμού

Κατασκευή:

Η μεμβράνη των θαλάμων πίεσης είναι μεταλλική ή από πυρίτιο. Η επιφάνεια της μεμβράνης επικαλύπτεται με μια πολύ λεπτή στρώση μονωτικού υλικού. Πάνω στη μονωμένη επιφάνεια τοποθετούνται ραβδωτές αντιστάσεις επιμήκυνσης. Οι αντιστάσεις αυτές μεταβάλλουν την τιμή τους, όταν υφίστανται επιβράχυνση ή επιμήκυνση.

Οι αντιστάσεις συνδέονται υπό μορφή γέφυρας και μεταβάλλουν την τιμή τους όταν υφίστανται πίεση ή εφελκυσμό (έλιξη) (σχήμα 6.31).





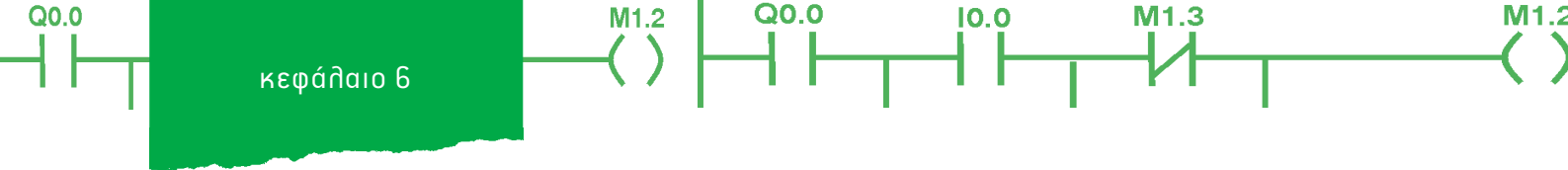
Σχήμα 6.31: Δομή (α) και συνδεσμολογία γέφυρας (β) των αντιστάσεων εφελκυσμού και (γ) συνήθη εμπορική μορφή.

Εάν οι αντιστάσεις της γέφυρας έχουν όλες την ίδια τιμή, τότε η τάση εξόδου της γέφυρας υπολογίζεται κατά προσέγγιση από τη σχέση:

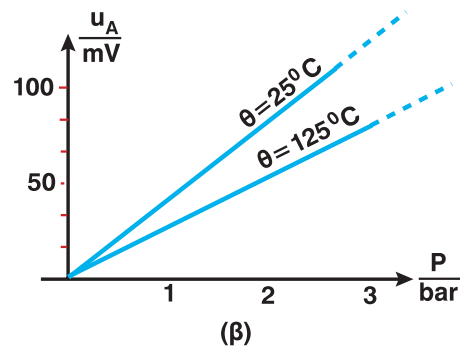
$$u_A = u_B \cdot \frac{\Delta R}{R_o} = u_B \cdot K \cdot \epsilon$$

- όπου u_A = τάση εξόδου αισθητηρίου
- u_B = τάση τροφοδοσίας
- ΔR = μεταβολή των αντιστάσεων
- R_o = αντίσταση πριν την παραμόρφωση
- K = αναλογικός συντελεστής
- ϵ = εφελκυσμός λόγω πίεσης

Η μεταβολή της τάσης σε συνάρτηση με την πίεση δίνεται στο παρακάτω σχήμα 6.32.

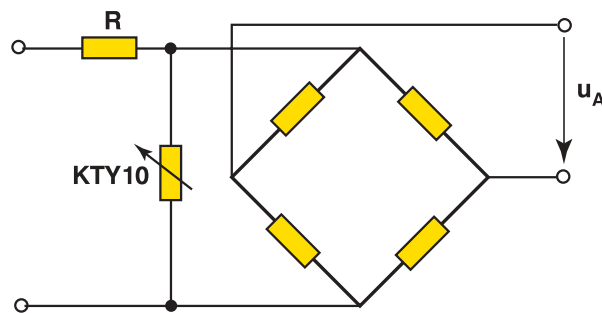


κεφάλαιο 6



Σχήμα 6.32: Χαρακτηριστικές εισόδου / εξόδου των αντιστάσεων επιμήκυνσης για διαφορετικές θερμοκρασίες.

Από την παραπάνω χαρακτηριστική διαπιστώνουμε ότι η μεταβολή της θερμοκρασίας δημιουργεί μεταβολές στην τάση εξόδου u_A . Η αντιστάθμιση των μεταβολών αυτών γίνεται με τη σύνδεση παράλληλης αντίστασης στο εξωτερικό κύκλωμα (σχήμα 6.33).



Σχήμα 6.33: Κύκλωμα γέφυρας, ραβδωτών αντιστάσεων.

Ανάλογα με το είδος των ραβδωτών αντιστάσεων επιμήκυνσης, συναντούμε τα εξής αισθητήρια:

- ▶ Αντιστάσεις επιμήκυνσης από μεταλλικό σύρμα (διάμετρος 0,02 mm). Χρησιμοποιούνται για μετρήσεις μεγάλης ακρίβειας
- ▶ Αντιστάσεις επιμήκυνσης τεχνολογίας λεπτού φιλμ
- ▶ Αντιστάσεις επιμήκυνσης από ημιαγωγά στοιχεία.

6.3.2 Πιεζοηλεκτρικό αισθητήριο πίεσης

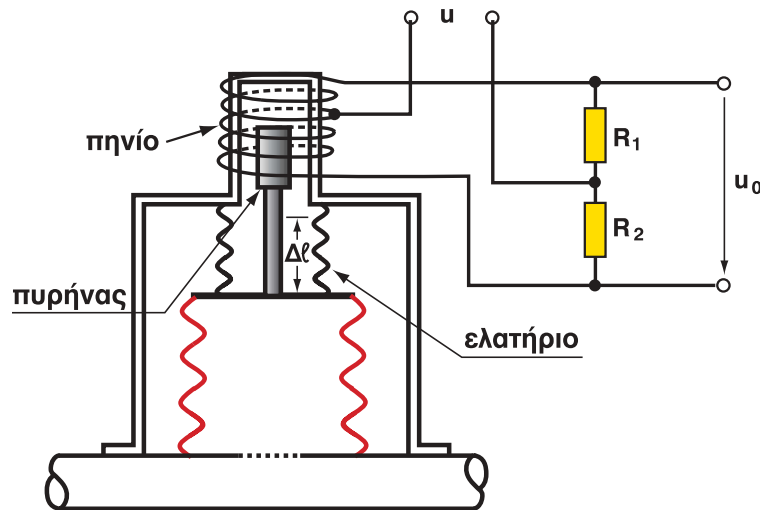
Το αισθητήριο αυτό στηρίζεται στην ιδιότητα ορισμένων στοιχείων (όπως ο χαλαζίας), τα οποία, όταν δέχονται πίεση στο εσωτερικό της κρυσταλλικής δομής τους, λαμβάνει χώρα μετατόπιση φορτίων. Η μετατόπιση των φορτίων δημιουργεί διαφορά τάσης στα άκρα του χαλαζία.

Τα πιεζοηλεκτρικά αισθητήρια χρησιμοποιούνται εκεί όπου έχουμε γρήγορες μεταβολές της πίεσης (μηχανές εσωτερικής καύσης).



6.3.3 Επαγωγικά αισθητήρια πίεσης

Η παρακάτω διάταξη (σχήμα 6.34) δείχνει παραστατικά τη λειτουργία αυτών των αισθητηρίων.



Σχήμα 6.34: Επαγωγικό αισθητήριο πίεσης.

Το υλικό το οποίο εισέρχεται μέσα στο σωλήνα πιέζει τη φυσούνα προς τα πάνω. Η φυσούνα με τη σειρά της μετακινεί τον πυρήνα του πηνίου κατά $\Delta\ell \sim \Delta P$. Η μετατόπιση δημιουργεί μεταβολή της τάσης εξόδου της γέφυρας:

$$\Delta P \sim \Delta\ell \sim \Delta u$$

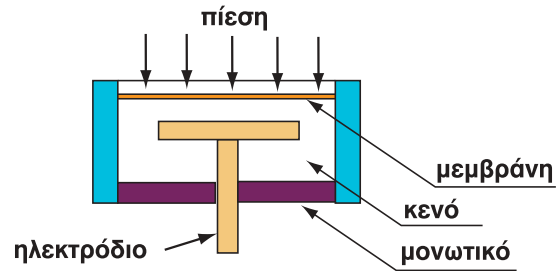
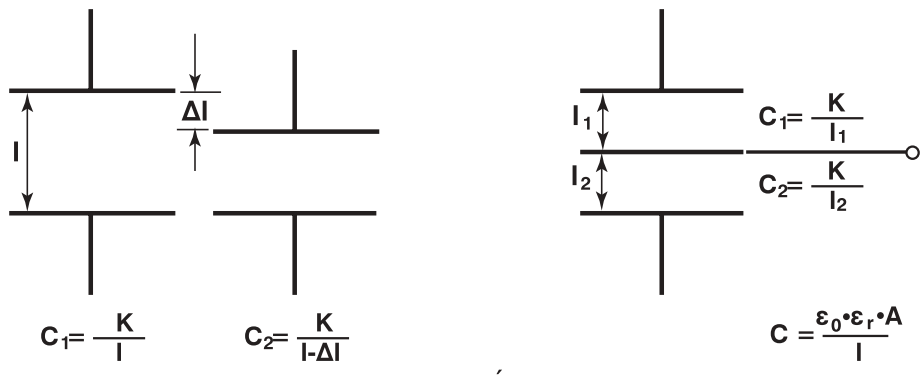
Τα επαγωγικά αισθητήρια πίεσης χρησιμοποιούνται για τη μέτρηση μικρών πιέσεων, λόγω της μεγάλης ευαισθησίας τους.

6.3.4 Χωρητικά αισθητήρια πίεσης

Τα χωρητικά αισθητήρια βασίζονται στη μετακίνηση δύο μεταλλικών πλάκων, οι οποίες αποτελούν τους οπλισμούς ενός πυκνωτή. Η μεταβολή της χωρητικότητας του πυκνωτή επιφέρει μεταβολή της τάσης εξόδου της διάταξης.

Τα χωρητικά αισθητήρια πίεσης μειονεκτούν, λόγω της μη γραμμικής τους συμπεριφοράς και της ευαισθησίας τους στις μεταβολές της θερμοκρασίας και της μικρής περιοχής μέτρησης από 2 έως 3mbar.

Στο παρακάτω σχήμα 6.35 φαίνονται μερικές διατάξεις πυκνωτών για τη μέτρηση της πίεσης.



Σχήμα 6.35: Δομή ενός χωρητικού αισθητηρίου πίεσης.

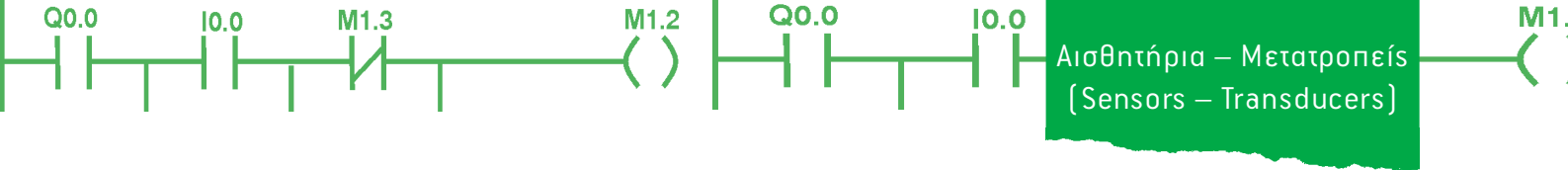
- όπου C = χωρητικότητα σε Farad
- ϵ_0 = διηλεκτρική σταθερά του κενού
- $= 8,85 \frac{As}{Vm}$
- ϵ_r = σχετική διηλεκτρική σταθερά
- A = εμβαδόν σε m^2
- l = απόσταση πηλακών σε m

Επιλογή του αισθητηρίου πίεσης

Στο εμπόριο υπάρχουν πολλά αισθητήρια πίεσης. Η επιλογή του κατάλληλου αισθητηρίου γίνεται με διάφορα κριτήρια. Μερικά απ' αυτά είναι:

- ▶ Είδος πίεσης: υπερπίεση, διαφορά πίεσης, απόλυτη πίεση
- ▶ Ύψος πίεσης
- ▶ Χρονική συμπεριφορά της πίεσης: στατική, μεταβλητή, δυναμική
- ▶ Σήμα εξόδου: αναλογικό, ψηφιακό
- ▶ Είδος υλικού: αέριο, υγρό, κ.λπ.





- ▶ Διάταξη μεταφοράς σήματος σε μεγάλη απόσταση
- ▶ Ακρίβεια
- ▶ Βοηθητικές επαφές και ένδειξη οριακών τιμών κ.λπ.

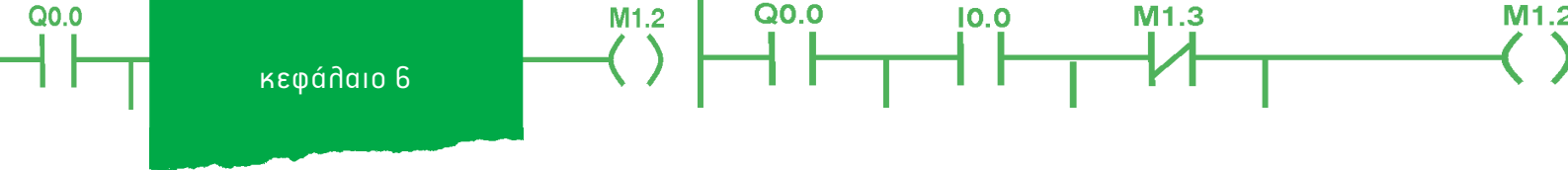
Διατάξεις αισθητηρίων πίεσης

Παρακάτω φαίνονται απλοποιημένα κυκλώματα αισθητηρίων πίεσης δύο και τριών αγωγών. Τα αισθητήρια τριών αγωγών (σχήμα 6.36) μας παρέχουν ως σήμα εξόδου συνήθως τάση 0...10V. Ενώ τα αισθητήρια δύο αγωγών μας δίνουν συνήθως σήμα εξόδου 4...20 mA.

Τα αισθητήρια δύο αγωγών πλεονεκτούν έναντι των άλλων διότι

- ▶ Η αντίσταση της γραμμής δεν αλλοιώνει το σήμα
- ▶ Η διακοπή της γραμμής γίνεται αμέσως αντιληπτή
- ▶ Οι εξωτερικές διαταραχές δεν επηρεάζουν το σήμα
- ▶ Η τροφοδοσία και το σήμα μεταφέρονται με δύο συνεστραμμένους αγωγούς.





κεφάλαιο 6

D1 = προστασία από λανθασμένη πολικότητα

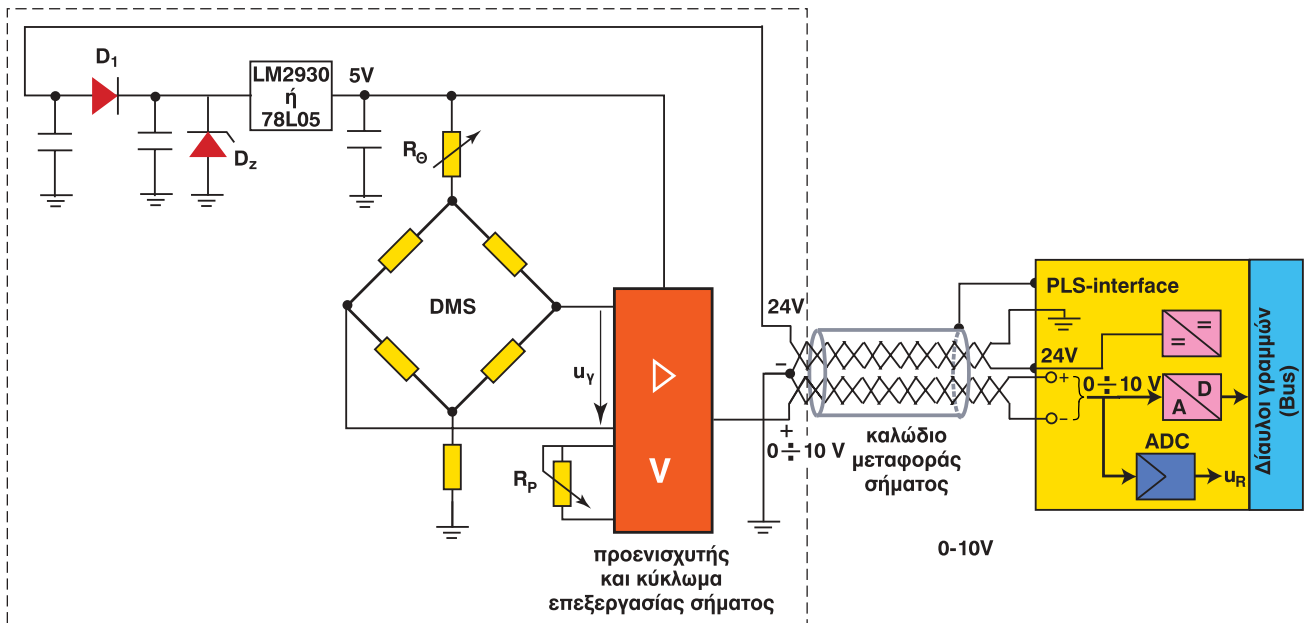
R θ = αντιστάθμιση των μεταβολών της θερμοκρασίας

RP = ρύθμιση του μηδενός

Dz = προστασία από υπερτάσεις

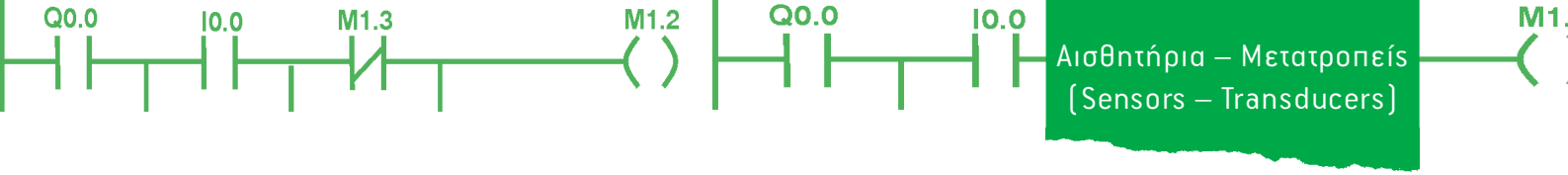
ADC = αναλογικός / ψηφιακός μετατροπέας

V = ενισχυτής, ο οποίος αποτελείται από δύο βαθμίδες. Στην πρώτη βαθμίδα γίνεται μια ισχυρή ενίσχυση του σήματος (u_r) των αντιστάσεων επιμήκυνσης και στη δεύτερη γίνεται επεξεργασία τυποποίησης του σήματος.



Σχήμα 6.36: Απλοποιημένο διάγραμμα τυποποιημένου μετατροπέα τριών αγωγών με σήμα εξόδου 0...10V.





D1 = προστασία από λανθασμένη πολικότητα

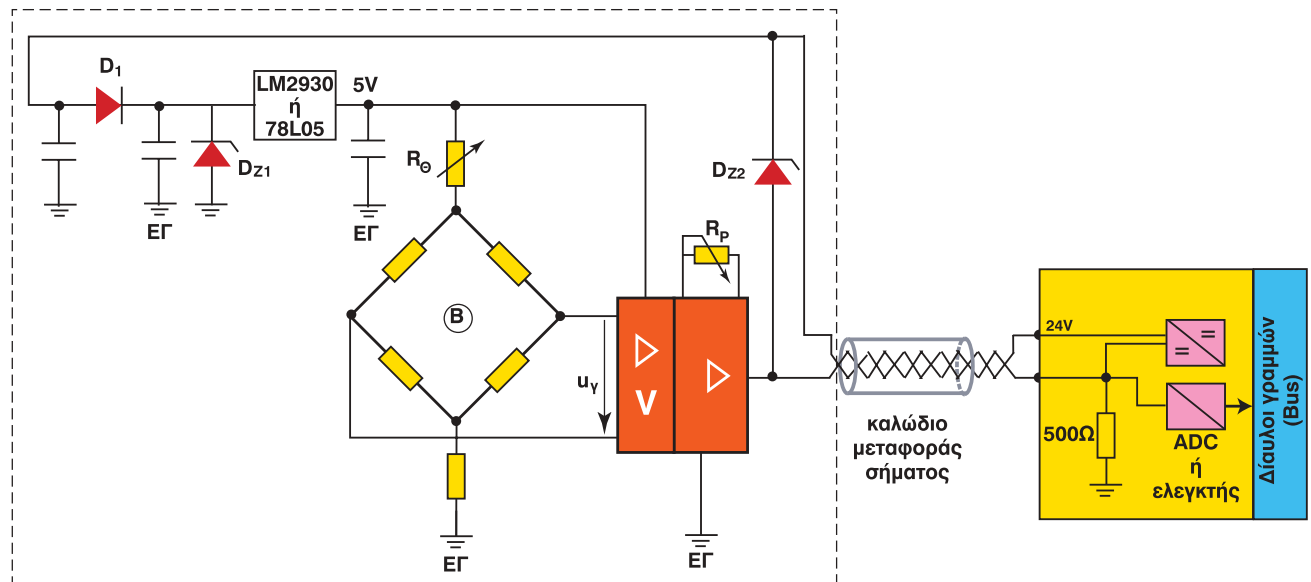
LM2930 } = σταθεροποιητής τάσης
78L05 }

(B) = γέφυρα από αντιστάσεις επιμήκυνσης

Rθ = αντιστάθμιση των μεταβολών της θερμοκρασίας

V = ενισχυτής

ΕΓ = εικονική γη. Η εικονική γη παράγεται στα αισθητήρια αυτά με ηλεκτρονικό τρόπο.



Σχήμα 6.31: Απλοποιημένο διάγραμμα τυποποιημένου μετατροπέα δύο αγωγών ($4 \pm 20\text{mA}$).



6.4 Αισθητήριο ροής

Τα αισθητήρια και οι μετρητές ροής σκοπό έχουν να μας δώσουν τον όγκο ή τη μάζα, η οποία ρέει δια μέσου ενός σωλήνα.

Τα βασικότερα μεγέθη για τη μέτρηση της ροής είναι η μάζα και ο όγκος. Επομένως έχουμε:

Ροή μάζας:

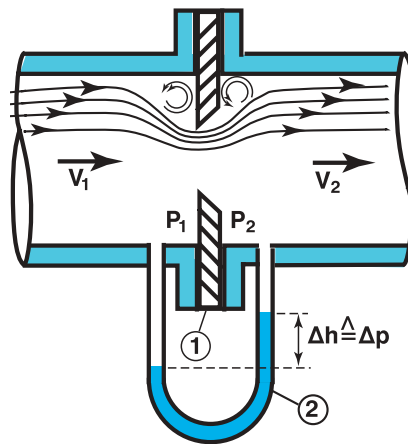
$$q_m = \frac{m}{t} \left[\frac{\text{kg}}{\text{sec}}, \frac{\text{gr}}{\text{sec}}, \frac{\text{kg}}{\text{h}} \right]$$

και ροή όγκου:

$$q_v = \frac{V}{t} \left[\frac{\text{m}^3}{\text{sec}}, \frac{\text{lt}}{\text{sec}}, \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \right]$$

Από τα δύο παραπάνω μεγέθη q_m και q_v προτιμάται η μέτρηση της ροής όγκου (q_v), διότι τα όργανα έχουν απλούστερη κατασκευή.

Υπάρχουν διάφορα ροόμετρα, τα οποία λειτουργούν με βάση τις κλασικές μεθόδους της φυσικής. Η πιο διαδεδομένη διάταξη μέτρησης της ροής με τη χρησιμοποίηση τυποποιημένου διαφράγματος φαίνεται στο σχήμα 6.38.



Σχήμα 6.38: Διάταξη μέτρησης ροής.

όπου V_1 = ταχύτητα ροής πριν από το διάφραγμα

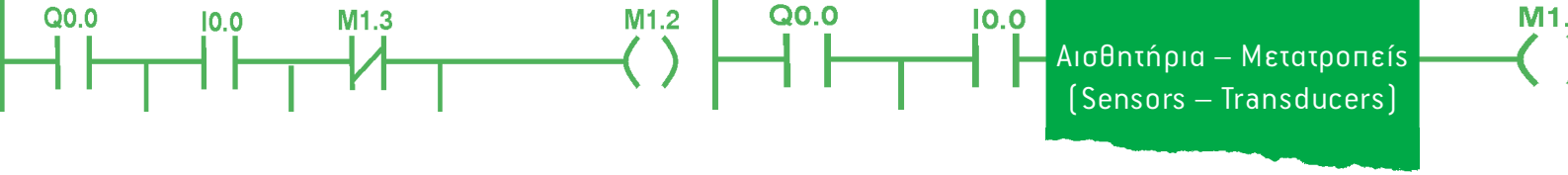
V_2 = ταχύτητα ροής στο διάφραγμα

P_1, P_2 = πιέσεις πριν και μετά το διάφραγμα

ΔP = διαφορά πίεσης

(1) = διάφραγμα

(2) = μανόμετρο



Λειτουργία:

Δια μέσου του σωλήνα ρέει ένα υγρό με ταχύτητα u_1 , η οποία λόγω του διαφράγματος αυξάνει στην τιμή u_2 . Σύμφωνα με το νόμο διατήρησης της ενέργειας, πρέπει η ενέργεια πριν και μετά από το διάφραγμα να είναι ίση.

Δηλαδή:

Το άθροισμα στατικής και κινητικής ενέργειας πριν και μετά από το διάφραγμα να είναι ίσο. Επομένως, όταν η ταχύτητα αυξάνει ($u_2 > u_1$), μειώνεται η πίεση:

$$u_2 > u_1 \Rightarrow p_1 > p_2$$

Η διαφορά της πίεσης μετριέται με τη βοήθεια ενός βαθμονομημένου μανομέτρου. Η σχέση η οποία μας δίνει τη ροή σε συνάρτηση με τη διαφορά πίεσης ($\Delta p = p_1 - p_2$) είναι:

$$q = 0,01252 \cdot a \cdot E \cdot m \cdot d^2 \sqrt{\frac{1}{\rho}} \sqrt{\Delta p}$$

όπου a = συντελεστής ροής

E = συντελεστής διαστολής

$$m = \frac{(\text{διατομή διαφράγματος})^2}{(\text{διατομή σωλήνα})^2}$$

d = διατομή σωλήνα

ρ = πυκνότητα υγρού

Εκτός από τη διαφορά πίεσης (Δp), όλα τα μεγέθη της παραπάνω σχέσης είναι σταθερά. Επομένως η τελευταία σχέση γράφεται:

$$q = K_1 \cdot \sqrt{\Delta p} = K_2 \cdot \sqrt{\Delta h}$$

$$\Delta p \sim \Delta h$$

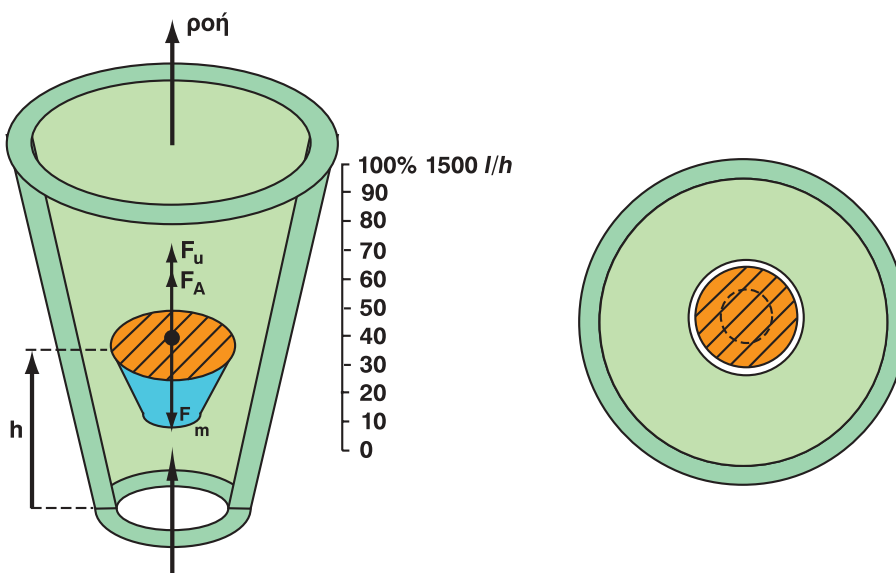
Δh = διαφορά ύψους υγρού. Από την τελευταία σχέση προκύπτει, ότι η ροή είναι ανάλογη του ύψους του υγρού.



6.4.1 Μέτρηση της ροής με τη μέθοδο του αιωρούμενου σώματος

Η μέθοδος αυτή είναι απλή και χρησιμοποιείται για τη μέτρηση της ροής αερίων και υγρών.

Για τη μέτρηση της ροής μέσα σ' ένα σωλήνα παρεμβάλλουμε κάθετα προς το έδαφος μια διάταξη, η οποία αποτελείται από έναν κωνικό σωλήνα (σχήμα 6.39).



Σχήμα 6.39: Μηχανικός μετρητής ροής.

Εντός του σωλήνα υπάρχει ένα σώμα το οποίο ωθείται προς τα επάνω, καθώς περνάει το υγρό δια μέσου του σωλήνα. Το αιωρούμενο σώμα ανεβαίνει, μέχρις ότου οι δυνάμεις που ασκούνται πάνω σ' αυτό γίνουν ίσες και αντίθετες, οπότε ισορροπεί.

Πάνω στο αιωρούμενο σώμα δρουν τρεις δυνάμεις:

F_m = το βάρος

F_A = η άνωση και η

F_u = δύναμη λόγω ροής

Όταν λοιπόν το σώμα ισορροπεί, τότε ισχύει:

$$F_m = F_A + F_u$$

Όσο μεγαλύτερη είναι η ροή, τόσο υψηλότερα ανέρχεται το αιωρούμενο σώμα.

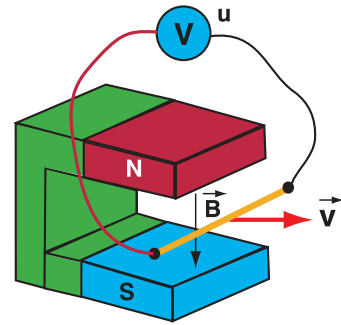
$$V \propto h$$

Οι παραπάνω διατάξεις μας δίνουν μόνο ένδειξη του μετρούμενου μεγέθους. Στα ΣΑΕ όμως χρειαζόμαστε ηλεκτρικό σήμα.

Παρακάτω θα περιγράψουμε ένα μετατροπέα ροής, ο οποίος βρίσκει ευρεία εφαρμογή.

6.4.2 Μαγνητικο-επαγωγικός μετατροπέας ροής (MEM)

Η αρχή λειτουργίας του MEM στηρίζεται στο νόμο επαγωγής του Faraday. Σύμφωνα με το νόμο επαγωγής, όταν ένας ηλεκτρικός αγωγός κινείται κάθετα προς τις μαγνητικές γραμμές ενός μαγνητικού πεδίου, τότε στα άκρα του αγωγού παράγεται τάση εξ επαγωγής (σχήμα 6.40).

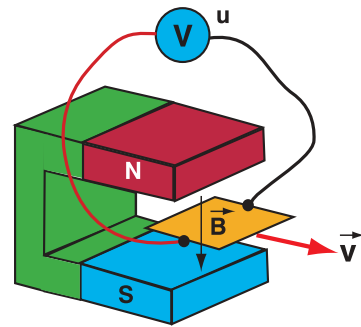


Σχήμα 6.40: Πειραματική διάταξη του νόμου της επαγωγής.

Η τάση εξ επαγωγής u είναι ανάλογη της μαγνητικής επαγωγής \vec{B} , της ταχύτητας του αγωγού (u) και του μήκους (ℓ) του αγωγού.

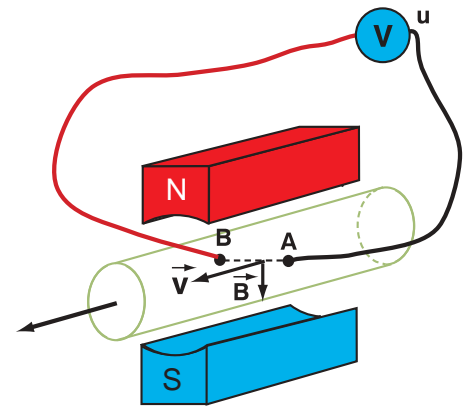
$$u = B \cdot u \cdot \ell$$

Εάν αντί του αγωγού θέσουμε μια μεταλλική λεπτή πλάκα (σχήμα 6.41), θα παρατηρήσουμε ότι ισχύει επίσης η παραπάνω σχέση.



Σχήμα 6.41: Πειραματική διάταξη του νόμου της επαγωγής με μεταλλική πλάκα.

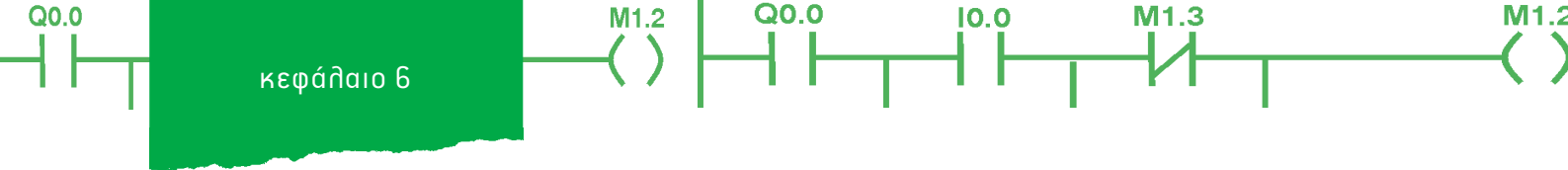
Στη συνέχεια αντικαθιστούμε τη μεταλλική πλάκα μ' ένα σωλήνα, δια μέσου του οποίου ρέει αγωγίμο υγρό (σχήμα 6.42).



Σχήμα 6.42: Σωλήνας διαρρεόμενος από αγωγίμο υγρό εντός μαγνητικού πεδίου.

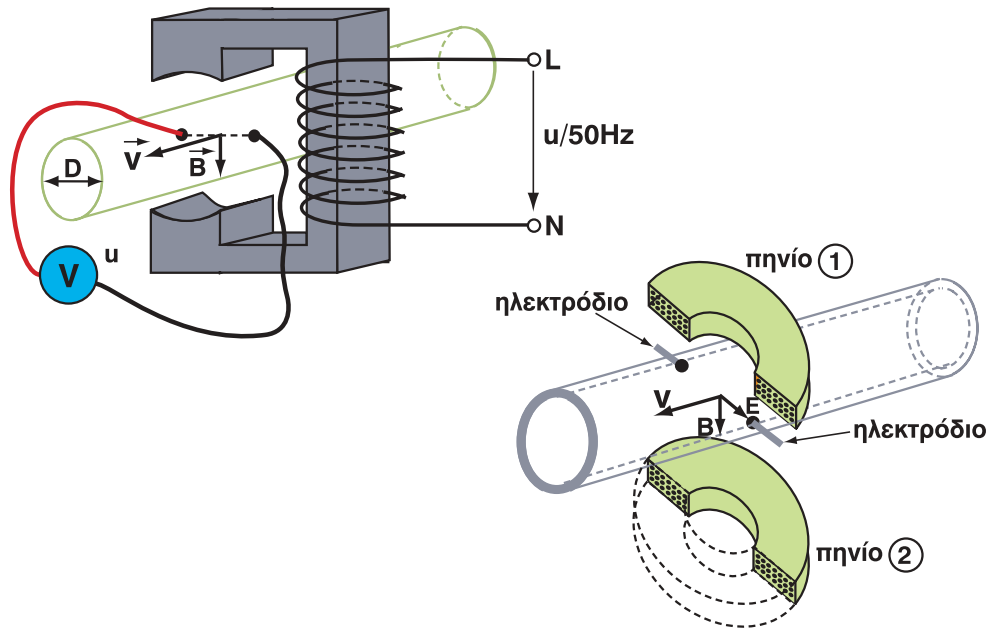
Το ρόλο του μεταλλικού αγωγού αντικαθιστά εδώ το κινούμενο νερό του σωλήνα. Στα σημεία A και B του σωλήνα, τα οποία βρίσκονται έξω από το μαγνητικό πεδίο, μετρούμε την εξ επαγωγής παραγόμενη τάση u . Η τάση αυτή είναι τόσο μεγαλύτερη, όσο αυξάνεται η ταχύτητα u του υγρού.

$$u \sim u$$



Στις πρακτικές εφαρμογές το μόνιμο μαγνητικό πεδίο αντικαθίσταται με ένα εναλλασσόμενο μαγνητικό πεδίο [σχήμα 6.43].

Το μόνιμο μαγνητικό πεδίο δημιουργεί, στα σημεία επαφής (A, B) των ηλεκτροδίων με το υγρό μόνιμη πόλωση. Η πόλωση αυτή έχει ως αποτέλεσμα την παραποίηση της επαγόμενης τάσης.



Σχήμα 6.43: Αρχή λειτουργίας του μαγνητο-επαγωγικού αισθητηρίου.

Η τάση εξ επαγωγής δίνεται από τη σχέση:

$$u = B \cdot v \cdot D$$

όπου D = διάμετρος σωλήνα

Ο όγκος του νερού που περνάει μέσα από το σωλήνα υπολογίζεται από τη σχέση:

$$q_v = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot v$$

και η επαγόμενη τάση ισούται με:

$$u = 1,273 \frac{B}{D} \cdot q_v$$

Τα ΜΕΡ μειονεκτούν, διότι δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη μέτρηση ροής μη αγωγίμων υγρών – όπως λάδι, παραφινέλαια.

Τα ηλεονεκτικότητά τους όμως είναι πολύ περισσότερα, όπως:



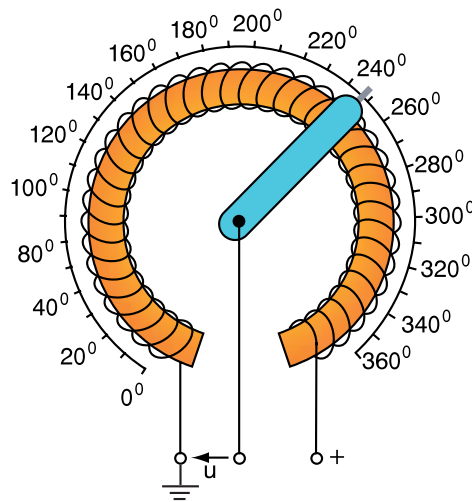
- ▶ Δεν απαιτείται κόψιμο του σωλήνα
- ▶ Δεν εισάγουμε εντός του σωλήνα μηχανικά κινητά τεμάχια
- ▶ Είναι δυνατή η μέτρηση χημικών-οξέων υγρών
- ▶ Είναι δυνατή η μέτρηση παλμικά ρέοντος υγρού
- ▶ Έχουν λειτουργία ανεξάρτητη της θερμοκρασίας και της πίεσης.

6.5 Αισθητήρια στροφών και γωνίας

6.5.1 Ποτενσιομετρικό αισθητήριο

Με τη χρήση ποτενσιομέτρων μπορούμε να μετρήσουμε με απλό τρόπο γωνίες ή αποστάσεις. Χρησιμοποιούνται συνήθως στα ΣΑΕ για τη μέτρηση μικρών αποστάσεων και γωνιών π.χ. σε βαλβίδες, υδραυλικά έμβολα και κλαπέτα.

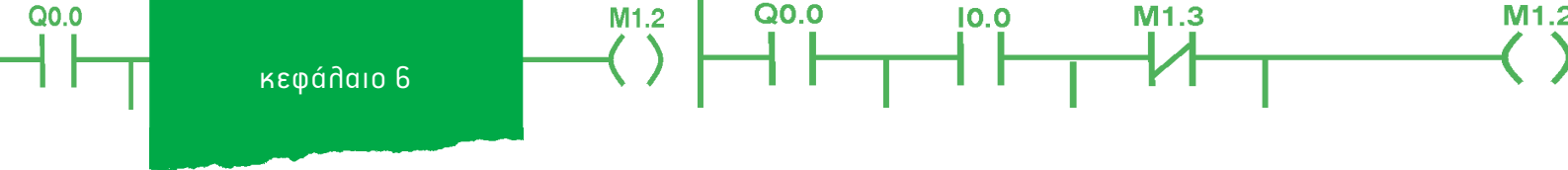
Η αντίσταση του ποτενσιομέτρου, συνήθως από κοινότητα ή νέο αγώγιμο υλικό, τυλίγεται γύρω από ένα κυκλικό μονωτικό σώμα. Τα δύο σταθερά άκρα του ποτενσιομέτρου τροφοδοτούνται με τάση, ενώ ο δρομέας (μεσαία λήψη) περιστρέφεται κυκλικά πάνω στην αντίσταση (σχήμα 6.44).



Σχήμα 6.44: Κυκλικό ποτενσιόμετρο για τη μέτρηση της γωνίας.

6.5.2 Ταχογεννήτριες

Η μετατροπή των στροφών σε ηλεκτρικό σήμα γίνεται αποκλειστικά με μικρές γεννήτριες, γνωστές με την ονομασία “ταχογεννήτριες” (TG), οι οποίες συναρμολογούνται και ευθυγραμμίζονται με τον άξονα της μηχανής.



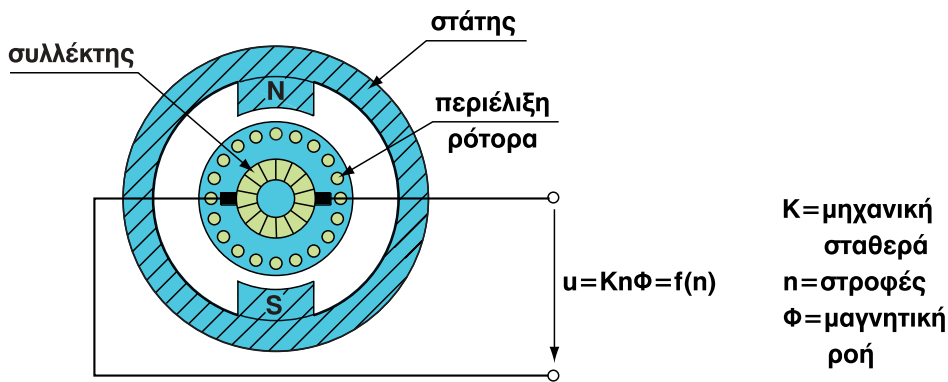
Οι ταχογεννήτριες διακρίνονται σε

- ▶ Ταχογεννήτριες συνεχούς ρεύματος
- ▶ Ταχογεννήτριες εναλλασσόμενου ή τριφασικού ρεύματος.

A) Ταχογεννήτριες συνεχούς ρεύματος (DC-TG)

Οι DC-TG αποτελούνται:

- ▶ Από το στάτι, ο οποίος στην εσωτερική του περιφέρεια φέρει μόνιμους μαγνήτες (permanent magnet).
- ▶ Από το ρότορα, στην περιφέρεια του οποίου είναι τοποθετημένη μονοφασική περιέλιξη. Τα άκρα της περιέλιξης καταλήγουν στο συλλέκτη, όπου η εναλλασσόμενη τάση ανορθώνεται (σχήμα 6.45).

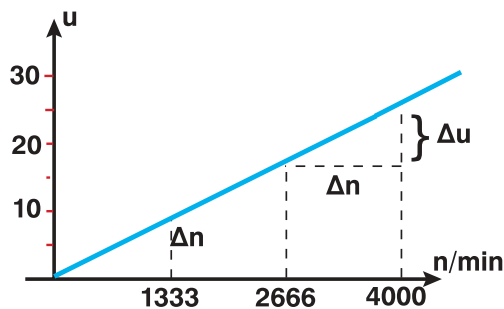


Σχήμα 6.45: Τομή μιας DC – TG.

Η τάση (u) στα άκρα της περιέλιξης είναι ανάλογη των στροφών (n), της ροής (Φ) και μιας μηχανικής σταθεράς (K).

Η γραφική απεικόνιση της τάσης (u) σε συνάρτηση με τις στροφές (n) φαίνεται στο παρακάτω σχήμα 6.46

$$K = \frac{\Delta u}{\Delta n} \text{ απολαβή.}$$



Σχήμα 6.46: Χαρακτηριστική ταχογεννήτριας.



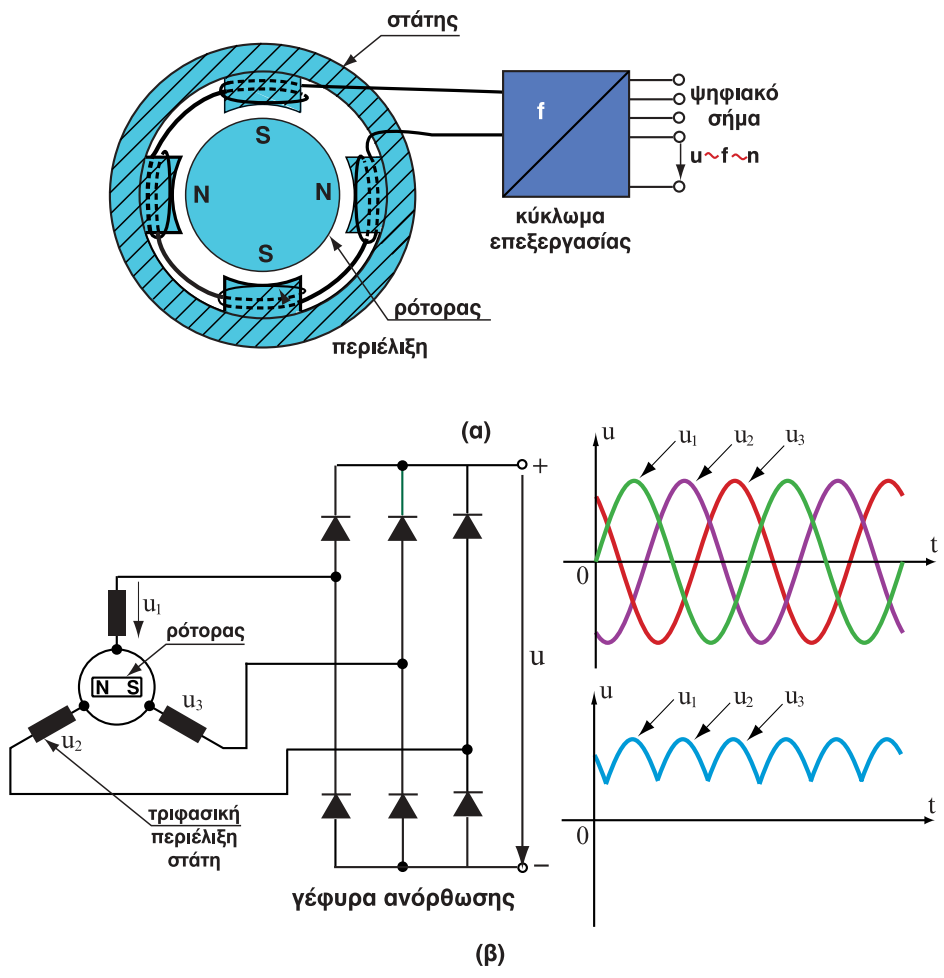
B) Ταχογεννήτριες εναλλασσόμενου ρεύματος (AC-ταχογεννήτριες – μονοφασικές, τριφασικές)

Οι ταχογεννήτριες εναλλασσόμενου ρεύματος είναι απλούστερες στην κατασκευή τους, διότι δεν απαιτούνται συλλέκτης και ψήκτες.

Οι AC-Ταχογεννήτριες αποτελούνται από:

- 1) το ρότορα, στην περιφέρεια του οποίου είναι τοποθετημένοι συμμετρικά μόνιμοι μαγνήτες και
- 2) το στάτη, στην περιφέρεια του οποίου είναι τοποθετημένη μια μονοφασική (σχήμα 6.47) ή μια τριφασική περιέλιξη. Καθώς ο ρότορας περιστρέφεται, παράγεται στην περιέλιξη του στάτη εναλλασσόμενη τάση εξ επαγωγής.

Η συχνότητα και το πλάτος της τάσης είναι ανάλογα των στροφών. Επειδή η συχνότητα είναι ανεξάρτητη των μεταβολών της θερμοκρασίας, γι' αυτό γίνεται συνήθως εκμετάλλευση της συχνότητας για τη μέτρηση των στροφών. Το σήμα της ταχογεννήτριας διέρχεται από μια σειρά ηλεκτρονικών κυκλωμάτων για την ενίσχυση και την μετατροπή του σε ψηφιακό.



Σχήμα 6.47: Δομή μιας AC-ταχογεννήτριας (α) και ηλεκτρικό κύκλωμα μιας τριφασικής ταχογεννήτριας με γέφυρα ανόρθωσης της τριφασικής τάσης (β).

6.5.3 Ψηφιακά αισθητήρια στροφών

Όταν αναφερόμαστε στις στροφές ενός περιστρεφόμενου άξονα, εννοούμε τις περιστροφές του άξονα σε χρονικό διάστημα ενός λεπτού.

$$n = \frac{z}{\Delta t} = \frac{\text{περιστροφές}}{1 \text{ min}} \quad [n] = \text{min}^{-1}$$

Ενώ ο αριθμός των περιστροφών στη μονάδα του χρόνου (1sec) εκφράζεται με τη συχνότητα (f).

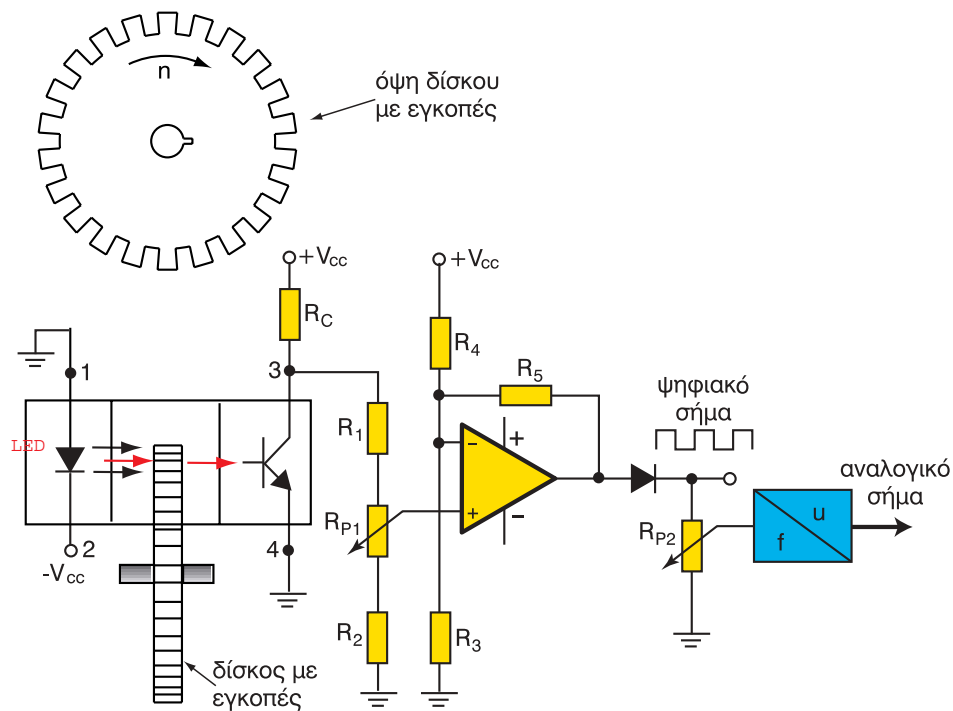
$$f = \frac{n}{60} = \frac{\omega}{2\pi}$$

όπου $\omega = 2\pi f = \text{κυκλική ταχύτητα}$ και $n = 3,14$

α) Οπτικοί δότες παλμών (optical incremental – οπτικοί μετρητές μικρών μεταβολών)

Ένας οπτικός δότης παλμών αποτελείται από τις εξής βαθμίδες: (σχήμα 6.48)

- ▶ Την πηγή φωτός (δίοδος LED)
- ▶ Το δέκτη φωτός (φωτοτρανζίστορ)
- ▶ Το δίσκο, ο οποίος φέρει εγκοπές ή οπές στην περιφέρειά του και
- ▶ Το ηλεκτρονικό κύκλωμα επεξεργασίας του σήματος του δέκτη.



Σχήμα 6.48: Σχηματική διάταξη οπτικού δότη παλμών.

Λειτουργία:

Καθώς περιστρέφεται ο δίσκος, το εκπεμπόμενο από τη φωτοδίοδο φως άλλοτε διακόπτεται και άλλοτε περνά δια μέσου των εγκοπών (οπών) και διεγείρει τη βάση του φωτοτρανζίστορ. Το σήμα από το συλλέκτη του τρανζίστορ οδηγείται σ' ένα κύκλωμα σκανδαλισμού (Schmitt-Trigger), από την έξοδο του οποίου λαμβάνουμε παλμούς. Η συχνότητα των παλμών είναι ανάλογη των στροφών.

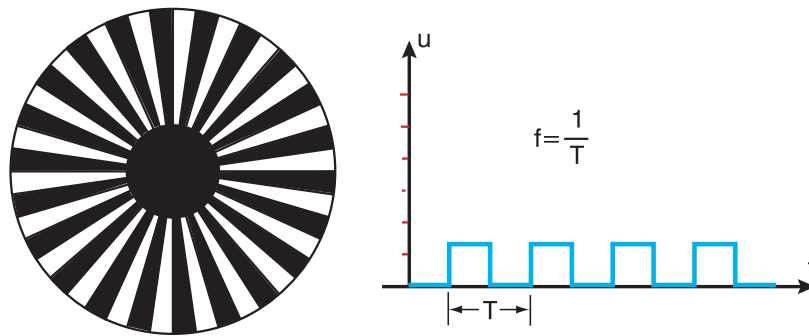
$$f \sim n$$

Εάν f είναι η συχνότητα των παραγομένων παλμών, n οι στροφές και ΑΠ ο αριθμός των παλμών (αριθμός εγκοπών του δίσκου), τότε ισχύει

$$n = \frac{f}{\text{ΑΠ}}$$

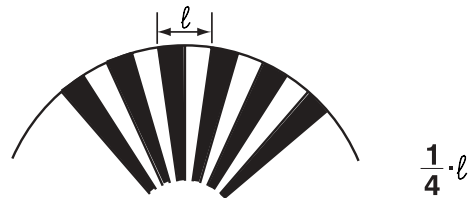
όπου $[n] = \text{sec}^{-1}$ και $[f] = \text{Hz}$

Παρακάτω φαίνονται οι πιο συνηθισμένες κατασκευές δίσκων και η αντίστοιχη παλμοσειρά.



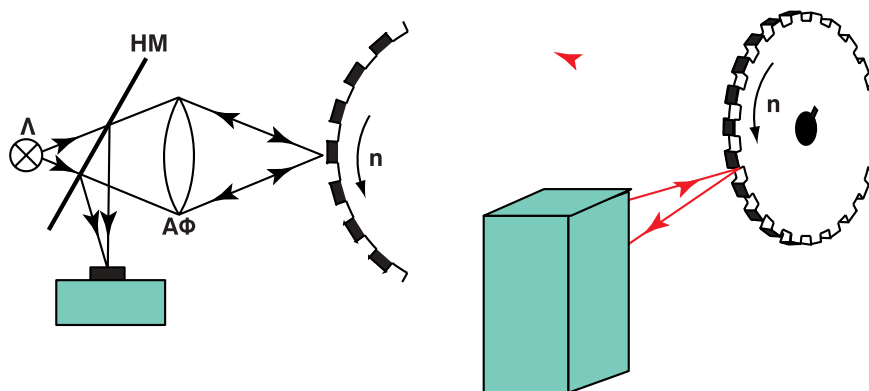
Σχήμα 6.49: Δίσκος και η αντίστοιχη παλμοσειρά.

Για την αναγνώριση της φοράς περιστροφής χρησιμοποιούνται δύο αισθητήρια μετατοπισμένα μεταξύ τους ή δύο δίσκοι μετατοπισμένοι κατά 1/4 του μήκους μιας εγκοπής και μιας μη εγκοπής (I).



Σχήμα 6.49.1: Τμήμα δίσκου περιστροφής.

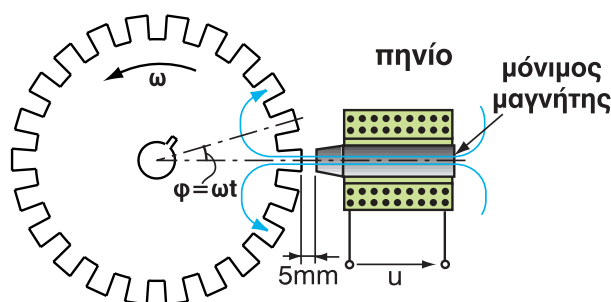
β) Μια άλλη κατασκευή μέτρησης των στροφών, η οποία πλεονεκτεί λόγω του μικρού όγκου, περιλαμβάνει τον πομπό και το δέκτη μέσα στο ίδιο ολοκληρωμένο. Η λειτουργία αυτού του αισθητηρίου βασίζεται σε έναν ημιδιαφανή (ΗΔ) και έναν αντικειμενικό φακό (ΑΦ). Οι ακτίνες της πηγής διέρχονται δια του ημιδιαφανούς φακού και με τη βοήθεια του αντικειμενικού φακού εστιάζονται πάνω στην περιφέρεια ενός δίσκου, ο οποίος φέρει αντακλαστικά (λευκά) και μη αντακλαστικά (μαύρα) τμήματα. Οι ανακλώμενες από το δίσκο ακτίνες εστιάζονται πάνω στο δέκτη κι έτσι παράγονται οι παλμοί (σχήμα 6.50).



Σχήμα 6.50: Οπτοηλεκτρονικό αισθητήριο στροφών με αντικειμενικό φακό.

6.5.4 Επαγωγικό αισθητήριο στροφών

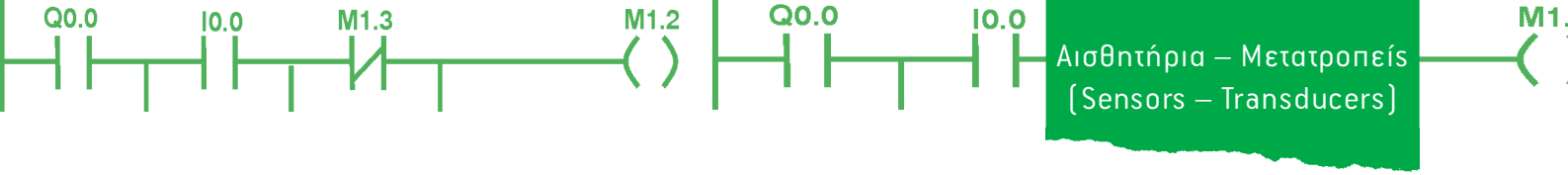
Για την επαγωγική μέτρηση των στροφών τοποθετούμε στον περιστρεφόμενο άξονα ένα μεταλλικό δίσκο από μαλακό σίδηρο. Η περιφέρεια του δίσκου φέρει 60 οδοντώσεις. Σε μικρή απόσταση από τις οδοντώσεις και κάθετα προς τον άξονα σε οριζόντια θέση τοποθετούμε ένα μόνιμο μαγνήτη, στην περιφέρεια του οποίου είναι τοποθετημένο ένα πηνίο (σχήμα 6.51).



Σχήμα 6.51: Αρχή λειτουργίας *u* επαγωγικού αισθητηρίου.

Καθώς περιστρέφεται ο δίσκος, ο βόρειος πόλος του μαγνήτη βρίσκεται διαδοχικά απέναντι από το δόντι και την εγκοπή. Αυτή η διαδοχική αλλαγή των θέσεων του μαγνήτη μεταβάλλει επίσης διαδοχικά τη μαγνητική ροή (Φ) του πηνίου.

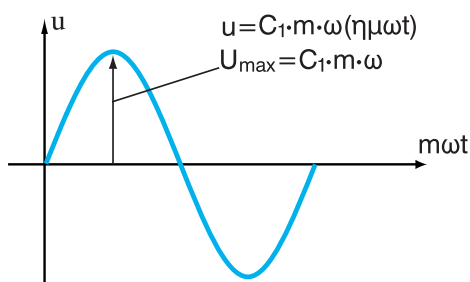
Από την ηλεκτροτεχνία όμως γνωρίζουμε ότι, όταν μεταβάλλεται η ροή ενός πηνίου, τότε στα άκρα του παράγεται τάση εξ επαγωγής.



$$u = - \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$$

Η επαγόμενη τάση εξαρτάται από το υλικό κατασκευής του μαγνήτη, το μήκος του διακένου, τη μαγνητική αντίσταση του δίσκου, τον αριθμό των σπειρών του πηνίου και την ταχύτητα περιστροφής (ω) του δίσκου.

$$u = c_1 \cdot m \cdot \omega \cdot \eta \mu(\mu\omega t)$$

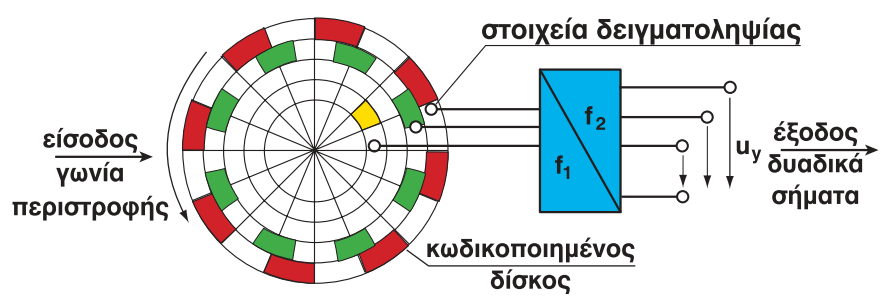


Σχήμα 6.51.1: Σήμα εξόδου του επαγωγικού αισθητηρίου στροφών.

- όπου m = αριθμός δοντιών
- c_1 = πλάτος μαγνητικής ροής
- $\omega = 2\pi f$

Για τη μέτρηση της γωνιακής ταχύτητας (ω) αναλύουμε το πλάτος ή τη συχνότητα (f) της επαγόμενης τάσης (u).

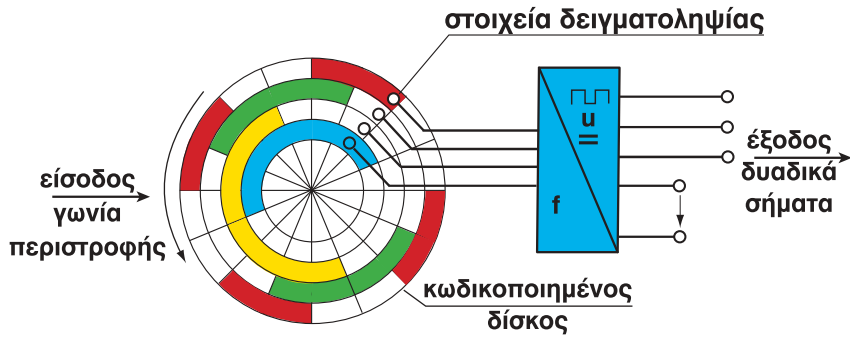
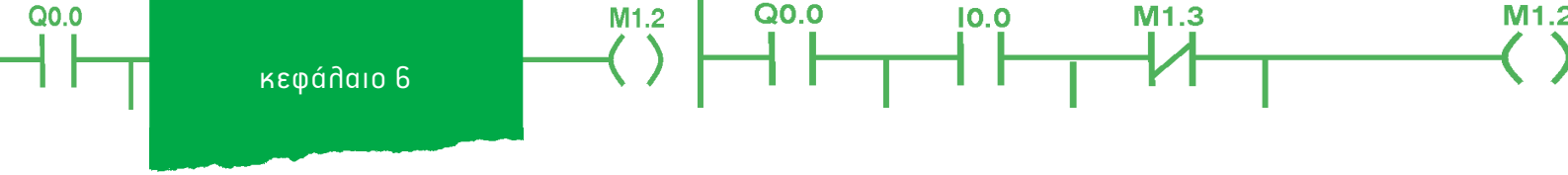
Μερικά άλλα είδη αισθητηρίων για τη μέτρηση στροφών τα οποία λειτουργούν με οπτοηλεκτρονικό τρόπο είναι: αισθητήρια απολύτου τιμής. Σύμφωνα με την κατασκευή (σχήμα 6.52) αυτών των αισθητηρίων σε κάθε θέση του περιστρεφόμενου άξονα (δίσκου) αντιστοιχεί ένα απολύτως συγκεκριμένο ψηφιακό σήμα.



Σχήμα 6.52: Οπτικοηλεκτρονικό αισθητήριο στροφών απολύτου τιμής.

Ο δίσκος Gray-code χαρακτηρίζεται από το γεγονός ότι κατά τη μετάβαση από τη μια θέση στην άλλη μόνο σε ένα κανάλι εξόδου λαμβάνει χώρα μεταβολή παλμού. Έτσι είναι σχεδόν αδύνατη μια εσφαλμένη ένδειξη της θέσης του άξονα.





Σχήμα 6.53: Οπτοηλεκτρονικό αισθητήριο απολύτου τιμής με δίσκο κωδικοποιημένο κατά Gray.

6.6 Γεννήτρια Hall (=Χωλ) Φαινόμενο Hall

Αρχή λειτουργίας:

Μια λεπτή κεραμική πλάκα είναι επικαλυμμένη από μια λεπτή στρώση ημιαγωγίου υλικού. Σε δυο παράλληλες πλευρές της τοποθετούμε δύο ηλεκτρόδια, των οποίων τα άκρα τα συνδέουμε με ένα βοητόμετρο και τις άλλες δυο παράλληλες πλευρές της τις συνδέουμε με τους πόλους μιας πηγής συνεχούς ρεύματος I .

Αν τοποθετήσουμε την πλάκα κάθετα μέσα στο πεδίο ενός μαγνήτη, παρατηρούμε ότι το βοητόμετρο μας δείχνει την ύπαρξη τάσης. Η τάση αυτή δίνεται από τη σχέση:

$$u_H = \frac{K_H}{d} \cdot I \cdot B$$

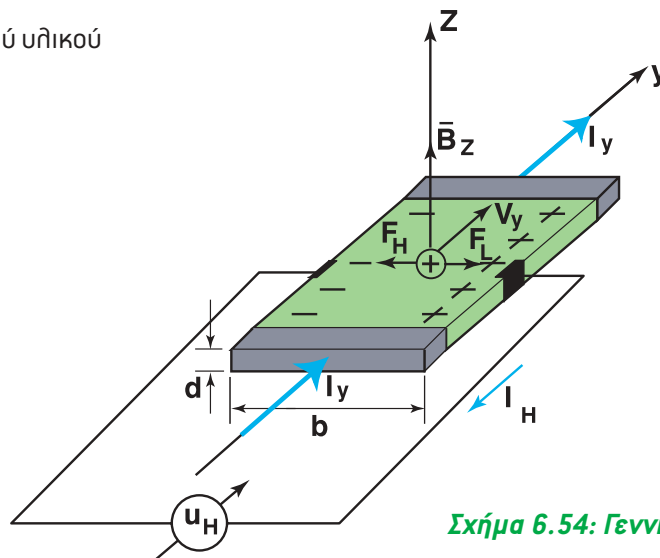
όπου u_H = τάση χωλ

K_H = σταθερά χωλ

d = πάχος του ημιαγωγού υλικού

I = ρεύμα σε mA

B = μαγνητική επαγωγή



Σχήμα 6.54: Γεννήτρια χωλ.



Εάν θεωρήσουμε ότι τα $K_H \cdot d$ και I είναι σταθερά, τότε η τάση u_H εξαρτάται μόνο από τις μεταβολές του μαγνητικού πεδίου:

$$u_H = K_{\sigma} \cdot B$$

$$K = \frac{K_H}{d} \cdot I$$

Η γεννήτρια Hall βρίσκει εφαρμογή στη:

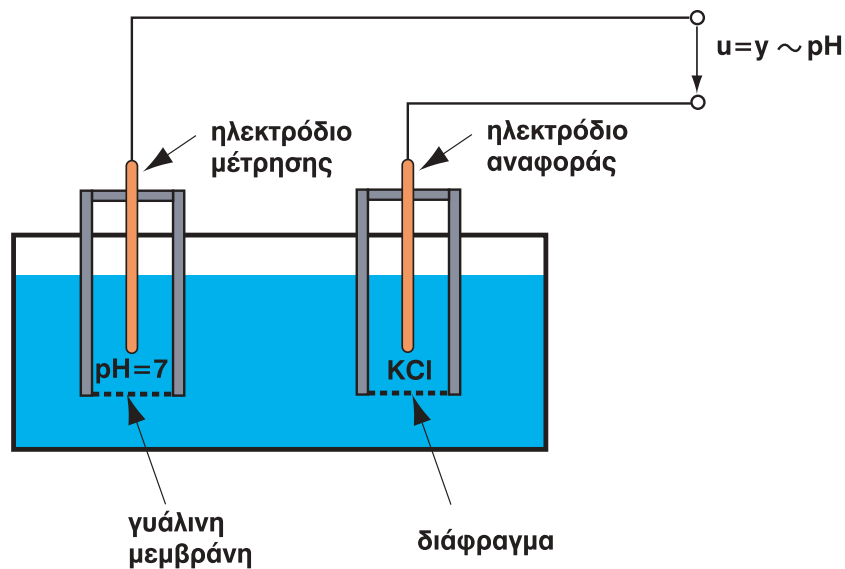
- ▶ Μέτρηση της έντασης του μαγνητικού πεδίου
- ▶ Μέτρηση της πραγματικής ισχύος στους ηλεκτρονικούς μετρητές
- ▶ Ενεργοποίηση διακοπών χωρίς επαφές κ.λπ.

6.7 Αισθητήριο μέτρησης – pH

Η αρχή λειτουργίας του pH-sensor βασίζεται στο γεγονός ότι, όταν τοποθετήσουμε δύο ηλεκτρόδια εντός ενός διαλύματος, τότε τα διαφορετικά ιόντα του διαλύματος δημιουργούν μεταξύ των ηλεκτροδίων μια διαφορά δυναμικού (ΗΕΔ). Η τάση αυτή είναι ανάλογη της συγκέντρωσης των ιόντων του υγρού.

Ο συντελεστής pH λαμβάνει τιμές από 0 έως 14. Η τιμή pH=0 σημαίνει μέγιστη περιεκτικότητα οξέος (όξινο), ενώ pH=7 σημαίνει ότι το υγρό είναι χημικά ουδέτερο και pH=14 σημαίνει μέγιστη περιεκτικότητα σε άλατα (αλκαλικά).

Το αισθητήριο – pH αποτελείται από δύο ηλεκτρόδια, το ηλεκτρόδιο μέτρησης και το ηλεκτρόδιο αναφοράς (σχήμα 6.55).



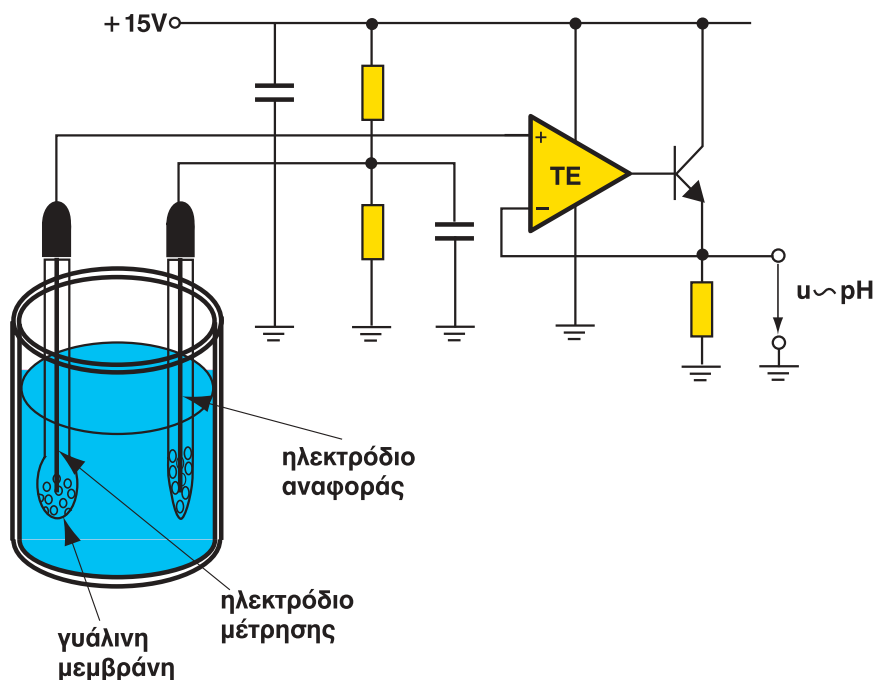
Σχήμα 6.55

Το ηλεκτρόδιο μέτρησης αποτελείται εξωτερικά από μια γυάλινη μεμβράνη η οποία ξεχωρίζει το προς μέτρηση υγρό από το ουδέτερο διάλυμα του ηλεκτροδίου ($pH=7$).

Τα ιόντα του προς μέτρηση υγρού συγκεντρώνονται στην επιφάνεια της μεμβράνης και έτσι σχηματίζεται η διαφορά δυναμικού (u).

$$pH \quad u = y$$

Ένα τυπικό κύκλωμα μέτρησης του συντελεστή pH φαίνεται στο παρακάτω σχήμα 6.56.

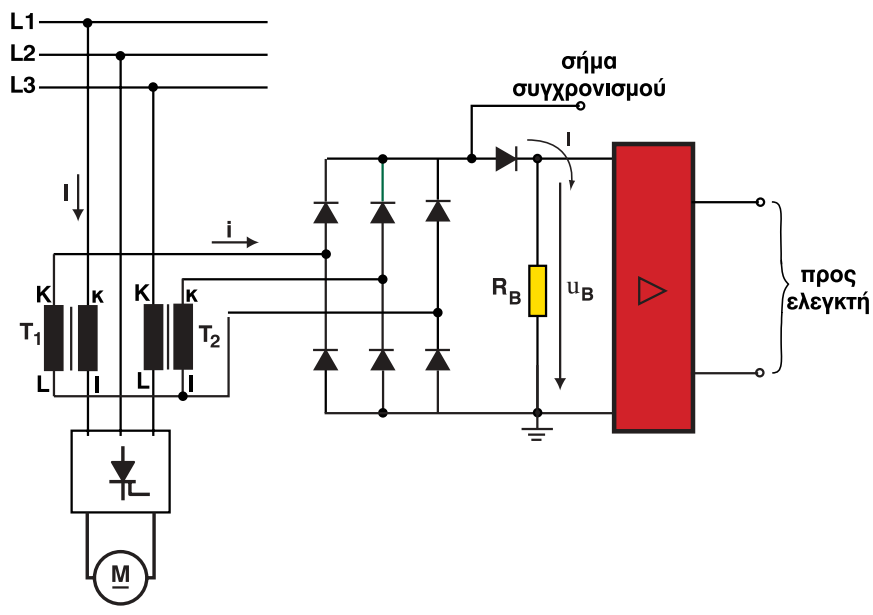


Σχήμα 6.56: Κύκλωμα μέτρησης -PH.

Επειδή η αντίσταση μεταξύ των δύο ηλεκτροδίων είναι αρκετά μεγάλη (30 έως 300 MΩ) έπεται ότι ο τελεστικός ενισχυτής (TE) είναι ένας ειδικός τελεστικός ενισχυτής με πολύ μεγάλη αντίσταση εισόδου, για να μη χάνεται το προς μέτρηση σήμα.

6.8 Μετασχηματιστής ρεύματος (MP)

Ο μετασχηματιστής ρεύματος χρησιμοποιείται στα ΣΑΕ για τη μέτρηση μεγάλων ρευμάτων. Συνήθως τοποθετείται στην είσοδο των ανορθωτών τροφοδοσίας κινητήρων, όπως δείχνει το παρακάτω σχήμα 6.57.

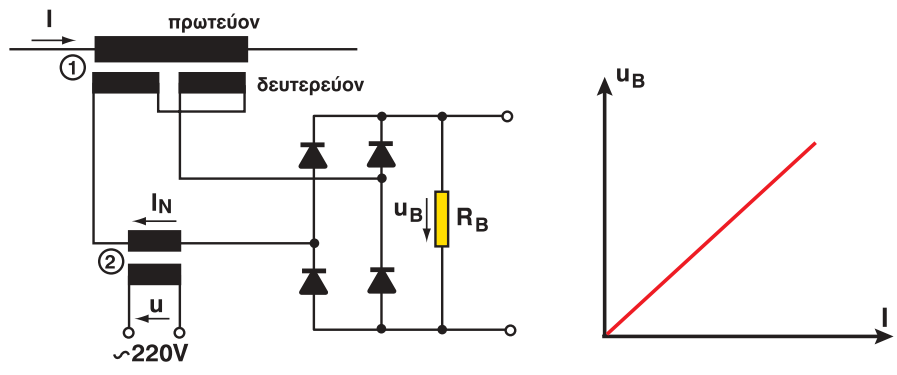


Σχήμα 6.57: Τυπικό κύκλωμα μέτρησης ρεύματος με μετασχηματιστές ρεύματος.

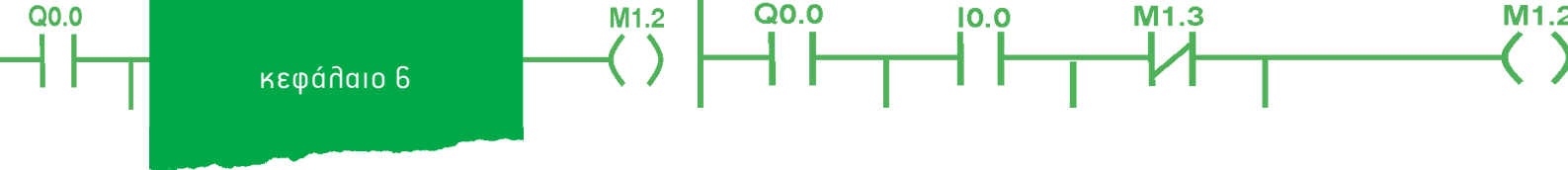
Μετασχηματιστές ρεύματος, όπως γνωρίζουμε υπάρχουν στο εμπόριο δύο ειδών, οι οποίοι μας δίνουν ρεύμα δευτερεύοντος 1Α και 5Α.

Το εναλλασσόμενο ρεύμα (i) που δημιουργείται στο δευτερεύον ανορθώνεται από την τριφασική γέφυρα και δημιουργεί πτώση τάσης στην αντίσταση R_B , η οποία είναι ανάλογη του ρεύματος του πρωτεύοντος I_p .

6.9 Αισθητήριο μέτρησης συνεχούς ρεύματος – Μετασχηματιστής συνεχούς ρεύματος



Σχ. 6.58: Κύκλωμα ενός μετασχηματιστή συνεχούς ρεύματος.



Λειτουργία:

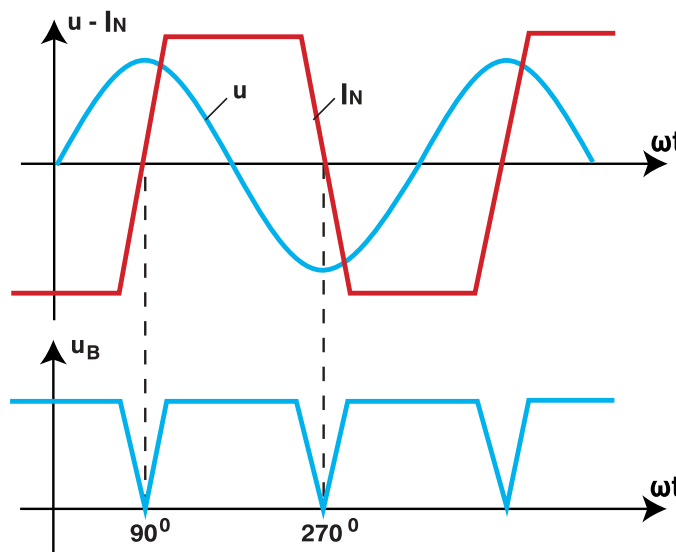
Το προς μέτρηση ρεύμα (I) ρέει από το πρωτεύον τύλιγμα του μετασχηματιστή. Λόγω του συνεχούς ρεύματος και τα δύο τυλίγματα (πρωτεύον και δευτερεύον) βρίσκονται στον κορεσμό. Σε σειρά με το δευτερεύον τύλιγμα συνδέεται ένας βοηθητικός μετασχηματιστής, του οποίου το πρωτεύον συνδέεται με το δίκτυο εναλλασσόμενης τάσης (220V).

Το ρεύμα που διαρρέει το δευτερεύον του βοηθητικού μετασχηματιστή διέρχεται από τις δύο περιελίξεις, οι οποίες είναι συνδεσμοποιημένες με αντίθετη φορά. Η μεν θετική ημιπερίοδος του ρεύματος (i_N) εξουδετερώνει το πεδίο στη μία περιέλιξη του δευτερεύοντος, η δε αρνητική στην άλλη περιέλιξη του δευτερεύοντος. Για να μπορέσει το ρεύμα (i_N) να εξουδετερώσει το πεδίο που δημιουργείται από το συνεχές ρεύμα I , πρέπει τα δύο αυτά ρεύματα να είναι ανάλογα

$$I \sim I_N$$

Το ρεύμα (i_N) στη συνέχεια ανορθώνεται και δημιουργεί στα άκρα της αντίστασης R_B πτώση τάσης ανάλογη του ρεύματος I .

$$u_B \sim I$$



Σχήμα 6.59: Κυματομορφές τάσης και ρεύματος του μετασχηματιστή συνεχούς ρεύματος.



ΠΕΡΙΛΗΨΗ

✓ Τα αισθητήρια-μετατροπείς χρησιμοποιούνται στα ΣΑΕ για τη μέτρηση της ελεγχόμενης μεταβλητής και τη μετατροπή της σε τυποποιημένο σήμα.

Τα κυριότερα αισθητήρια είναι:

- ▶ Τα αισθητήρια ανίχνευσης αντικειμένων, τα οποία διακρίνονται σε επαγωγικά ή χωρητικά ανάλογα με το τρόπο λειτουργίας τους.
- ▶ Τα αισθητήρια ανιχνεύουν αντικείμενα, τα οποία εισέρχονται στο χώρο επιτήρησής τους.
- ▶ Τα αισθητήρια μέτρησης της θερμοκρασίας, τα οποία διακρίνονται σε αισθητήρια μεταλλικών αντιστάσεων, θερμοστοιχεία, διμεταλλικά στοιχεία, ημιαγωγά αισθητήρια, θερμίστορ και αισθητήρια θερμοκρασίας με ολοκληρωμένα κυκλώματα.
- ▶ Τα αισθητήρια πίεσης, τα οποία μετατρέπουν την πίεση σε τυποποιημένο σήμα ρεύματος ή τάσης. Ανάλογα με τον τρόπο μέτρησης της πίεσης, διακρίνονται σε αισθητήρια σχετικής και απόλυτης διαφοράς δύο πιέσεων.

✓ Ανάλογα με την περιοχή μέτρησης και την επιθυμητή ακρίβεια, χρησιμοποιούνται είτε απλά αισθητήρια μεμβράνης είτε πιο πολύπλοκα επαγωγικά ή χωρητικά αισθητήρια ή αντιστάσεις εφελικισμού σε συνδεσμολογία γέφυρας.

✓ Τα αισθητήρια ροής, τα οποία χρησιμοποιούνται για τη μέτρηση της ροής (όγκου στη μονάδα του χρόνου) ενός ρευστού σε έναν αγωγό. Ανάλογα με την αρχή λειτουργίας τους διακρίνονται σε μηχανικούς μετρητές, σε επαγωγικούς μετατροπείς κ.λπ.

✓ Τα αισθητήρια στροφών και γωνίας, τα οποία μετατρέπουν τις στροφές συνήθως σε ηλεκτρικούς παλμούς μεταβλητής συχνότητας και στη συνέχεια σε τυποποιημένο σήμα ρεύματος ή τάσης. Τέτοια είναι τα ψηφιακά αισθητήρια στροφών, τα επαγωγικά αισθητήρια, η γεννήτρια χωλή η οποία χρησιμοποιείται για τη μέτρηση της μαγνητικής επαγωγής και της ισχύος, και τέλος το αισθητήριο μέτρησης του ΡΗ.

✓ Πολλές φορές, όπως π.χ. στον έλεγχο στροφών κινητήρων γίνεται έλεγχος των στροφών με τη μέτρηση του ρεύματος του κινητήρα. Στις περιπτώσεις αυτές χρησιμοποιούνται μετασχηματιστές συνεχούς και εναλλασσόμενου ρεύματος.

ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ

- 1) Ποιος είναι ο σκοπός των αισθητηρίων στα ΣΑΕ;
- 2) Ποιες κατηγορίες αισθητηρίων γνωρίζετε;
- 3) Που οδηγείται το σήμα εξόδου του μετατροπέα;
- 4) Ποιες διαταραχές υφίσταται το σήμα εξόδου του μετατροπέα κατά τη μεταφορά του;
- 5) Αναφέρατε τα τυποποιημένα σήματα εξόδου των μετατροπέων.
- 6) Αναφέρατε μερικά φυσικά μη ηλεκτρικά μεγέθη και τις αντίστοιχες μονάδες μέτρησης.
- 7) Σχεδιάστε το διάγραμμα βαθμίδων σύνδεσης ενός μετατροπέα τοποθετημένου σε χώρο ανάφλεξης και του ελεγκτή.
- 8) Ποιος ο σκοπός των αισθητηρίων ανίχνευσης;
- 9) Ποια αισθητήρια ανίχνευσης γνωρίζετε;
- 10) Ποια αντικείμενα γίνονται αντιληπτά από τα επαγωγικά και ποια από τα χωρητικά αισθητήρια ανίχνευσης;
- 11) Σχεδιάστε τρεις τύπους αισθητηρίων υπερήχων ανάλογα με τη χρήση τους.
- 12) Αναφέρατε μερικές εφαρμογές των αισθητηρίων ανίχνευσης.
- 13) Σε ποια περιοχή συχνοτήτων λειτουργούν τα αισθητήρια υπερήχων και γιατί;

Αισθητήρια θερμοκρασίας

- 1) Αναφέρατε τα πιο σημαντικά αισθητήρια θερμοκρασίας.
- 2) Σχεδιάστε τις χαρακτηριστικές $R = f(\theta)$ του Pt100, Ni100.
- 3) Σχεδιάστε ένα τυποποιημένο μετατροπέα (δύο και τεσσάρων αγωγών) με αισθητήριο μεταλλικές αντιστάσεις.

Θερμίστορς

- 1) Τι είναι τα θερμίστορς;
- 2) Αναφέρετε δύο βασικούς τύπους θερμίστορς.
- 3) Σε τι διαφέρουν τα θερμίστορς από τις μεταλλικές αντιστάσεις;
- 4) Σε τι διαφέρουν οι δύο τύποι των θερμίστορς μεταξύ τους;
- 5) Σχεδιάστε τη χαρακτηριστική $R = f(\theta)$ των θερμίστορς.
- 6) Τι είναι τα IC's – αισθητήρια θερμοκρασίας;

- 7) Τι είναι τα θερμοστοιχεία;
- 8) Ποιους τύπους θερμοστοιχείων γνωρίζετε;
- 9) Τι είναι τα διμεταλλικά στοιχεία;
- 10) Σε τι διαφέρουν τα θερμοστοιχεία από τα διμεταλλικά στοιχεία;

Αισθητήρια πίεσης

- 1) Πως ορίζεται η πίεση;
- 2) Ποιες είναι οι κυριότερες μονάδες μέτρησης της πίεσης;
- 3) Ποιες κατηγορίες αισθητηρίων πίεσης γνωρίζετε;
- 4) Σχεδιάστε τη γέφυρα με αντιστάσεις εφελκυσμού και εξηγήστε τη λειτουργία της.
- 5) Αναφέρατε την αρχή λειτουργίας των πιεζοηλεκτρικών αισθητηρίων.
- 6) Σχεδιάστε ένα επαγωγικό αισθητήριο πίεσης και εξηγήστε τη λειτουργία του.
- 7) Εξηγήστε τη λειτουργία του χωρητικού αισθητηρίου πίεσης.
- 8) Τι πρέπει να γνωρίζουμε για την επιλογή ενός αισθητηρίου πίεσης;
- 9) Σχεδιάστε ένα απλοποιημένο κύκλωμα μετατροπέα πίεσης με αντιστάσεις επιμήκυνσης δύο και τριών αγωγών.

Αισθητήρια ροής

- 1) Σε τι χρησιμεύουν τα αισθητήρια ροής;
- 2) Πως ορίζεται η ροή;
- 3) Αρχή λειτουργίας μετατροπέων και οργάνων μέτρησης της ροής.

Αισθητήρια στροφών και γωνίας

- 1) Αναφέρατε την αρχή λειτουργίας των ταχογεννητριών.
- 2) Σχεδιάστε ένα ποτενσιομετρικό αισθητήριο και εξηγήστε τη λειτουργία του.
- 3) Εξηγήστε τη λειτουργία των ψηφιακών και επαγωγικών αισθητηρίων στροφών.
- 4) Τι είναι το φαινόμενο χωλ;
- 5) Αρχή λειτουργίας αισθητηρίων μέτρησης του -PH.
- 6) Τι είναι οι μετασχηματιστές ρεύματος; Σχεδιάστε κύκλωμα εφαρμογής στα ΣΑΕ.
- 7) Εξηγήστε τη λειτουργία του μετασχηματιστή συνεχούς ρεύματος.

12.1. ΕΝΕΡΓΟΠΟΙΗΤΕΣ



Κεφάλαιο 5

Το Τελικό Στοιχείο Ελέγχου (ΤΣΕ) ή ενεργοποιητής

Επιδιωκόμενοι στόχοι:

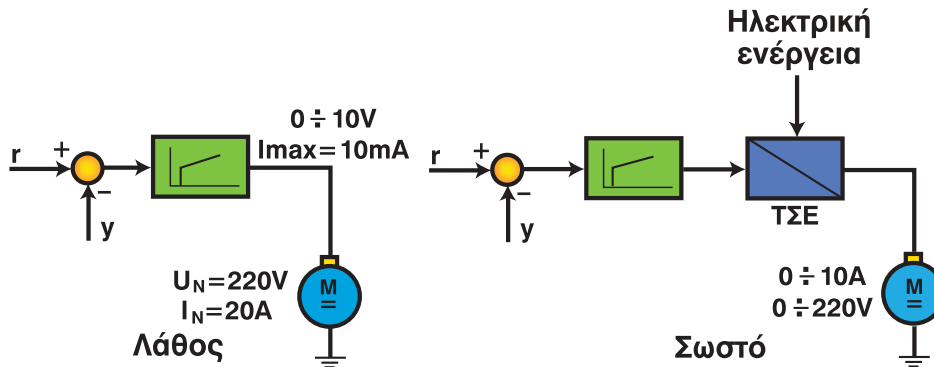
Σκοπός αυτού του κεφαλαίου είναι να βοηθήσει τους μαθητές:

- ☒ Να γνωρίζουν τον σκοπό του ΤΣΕ μέσα σ' ένα ΣΑΕ.
- ☒ Να αναγνωρίζουν ορισμένα είδη ΤΣΕ.
- ☒ Να αναγνωρίζουν τη δομή και τη λειτουργία τους.

5. Το Τελικό Στοιχείο Ελέγχου (ΤΣΕ)

Όπως ήδη γνωρίζουμε, το σήμα εξόδου του ελεγκτή παράγει σήμα μικρής ισχύος. Επομένως, εάν συνδέσουμε την έξοδο του ελεγκτή κατ' ευθείαν στο ρυθμιζόμενο σύστημα, τότε αυτό δεν πρόκειται να ενεργοποιηθεί.

Εάν θέλουμε π.χ. να ρυθμίζουμε τις στροφές ενός κινητήρα συνεχούς ρεύματος (ρυθμιζόμενο σύστημα), του οποίου η τάση λειτουργίας (ονομαστική τάση) είναι $U_N = 220V$ και το ονομαστικό ρεύμα $I_N = 20A$, τότε η κατ' ευθείαν τροφοδοσία του κινητήρα από τον ελεγκτή θα ήταν λάθος.

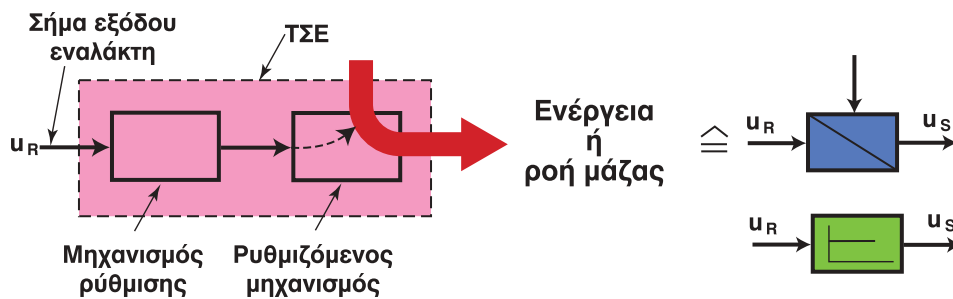


Σχήμα 5.1: Σύνδεση ΤΣΕ.

Είναι φανερό ότι μεταξύ του ελεγκτή και του ρυθμιζόμενου συστήματος (κινητήρας – DC) πρέπει να παρεμβάλλουμε μια βαθμίδα ενίσχυσης, η οποία ονομάζεται, ως γνωστόν, Τελικό Στοιχείο Ελέγχου (ΤΣΕ) ή ενεργοποιήτης.

Το ΤΣΕ είναι, λοιπόν, ο συνδετικός κρίκος (ενδιάμεση βαθμίδα) μεταξύ του ελεγκτή και του ρυθμιζόμενου συστήματος (DIN 19226).

Το ΤΣΕ αποτελείται από δύο διαφορετικά τμήματα, το μηχανισμό ρύθμισης και το ρυθμιζόμενο μηχανισμό. Παραδείγματος χάριν η αντλία είναι ένα ΤΣΕ, η οποία αποτελείται από έναν κινητήρα (μηχανισμός ρύθμισης) και από τη φτερωτή (ρυθμιζόμενος μηχανισμός), η οποία περιστρέφεται από τον κινητήρα.



Σχήμα 5.2: Σύμβολο τελικού στοιχείου ελέγχου.



Το τελικό στοιχείο ελέγχου (ΤΣΕ) ή ενεργοποιητής

Ο μηχανισμός ρύθμισης είναι το τελευταίο στοιχείο της ρυθμιστικής διάταξης. Ενώ ο ρυθμιζόμενος μηχανισμός δρα κατ' ευθείαν στη ροή της ενέργειας ή της μάζας, με την οποία τροφοδοτείται το ελεγχόμενο σύστημα και αποτελεί την είσοδό του.

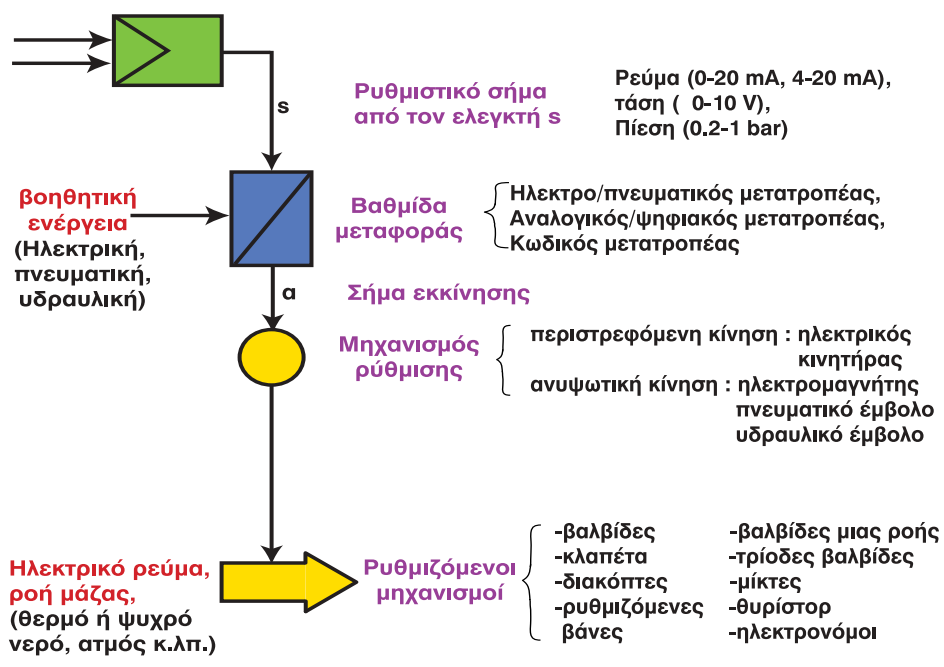
Μερικές φορές, όταν οι φυσικές ιδιότητες ή η ενέργεια του σήματος εξόδου του ελεγκτή δεν ταιριάζουν με το σήμα εισόδου του μηχανισμού ρύθμισης του τελικού στοιχείου ελέγχου, τότε παρεμβάλλουμε μια ενισχυτική βαθμίδα (βαθμίδα μεταφοράς).

Οι κανονισμοί των VDI/VDE 2174 μας δίνουν μια αναλυτική περιγραφή του τελικού στοιχείου ελέγχου, η οποία φαίνεται στο παρακάτω σχήμα 5.3.

Ανάλογα με το είδος του ρυθμιζόμενου συστήματος, έχουμε διάφορα τελικά στοιχεία ελέγχου, όπως ηλεκτρικά, ηλεκτρονικά, υδραυλικά, πνευματικά κ.λπ.

Το ΤΣΕ πρέπει να έχει:

- ▶ Μικρό όγκο,
- ▶ Μεγάλη ακρίβεια,
- ▶ Μικρό κόστος,
- ▶ Ελάχιστες θερμικές ή άλλες απώλειες,
- ▶ Μηδενική χρονική καθυστέρηση μεταξύ των σημάτων εισόδου/εξόδου. Η χρονική καθυστέρηση δημιουργεί αστάθεια στο κλειστό σύστημα,
- ▶ Γραμμική στατική χαρακτηριστική (0/1 χαρακτηριστική) ώστε το τελικό στοιχείο ελέγχου έχει σταθερή ενίσχυση σε όλη την περιοχή ελέγχου
- ▶ και να είναι αξιόπιστο.



Σχήμα 5.3: Τελικά στοιχεία ελέγχου, είδη και σήματα.

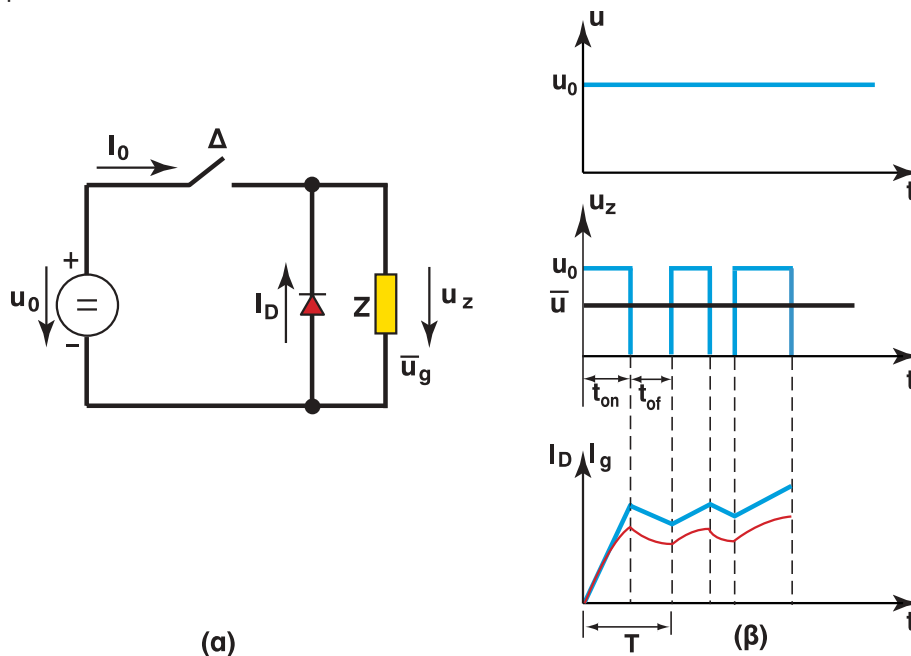
5.1 Ηλεκτρικά ΤΣΕ

Στην ιστορία της εξέλιξης της ηλεκτροτεχνίας/ηλεκτρονικής υπήρξαν πολλά προβλήματα, στα οποία οι επιστήμονες έδωσαν λύση. Ένα απ' αυτά είναι και η ρύθμιση της ροής της ενέργειας στο φορτίο. Ηλεκτρικές διατάξεις και κυκλώματα ρύθμισης της ενέργειας κατασκευάστηκαν μέχρι σήμερα πάρα πολλά.

5.1.1 Ρυθμιστής συνεχούς ρεύματος (μετατροπείας DC/DC-Chopper)

Ο ρυθμιστής συνεχούς ρεύματος (ΡΣΡ) είναι στην πραγματικότητα ένας ηλεκτρονικός διακόπτης, ο οποίος συνδέει περιοδικά μια πηγή συνεχούς τάσης με το φορτίο.

Στο παρακάτω σχήμα φαίνεται ένα απλό κύκλωμα, όπου μια αντίσταση [Z] τροφοδοτείται από μια πηγή συνεχούς τάσης (u_0) μέσω ενός χειροκίνητου μηχανικού διακόπτη. Ο διακόπτης εδώ επέχει θέση τελικού στοιχείου ελέγχου. Το φορτίο είναι το ελεγχόμενο σύστημα και η τάση στα άκρα του φορτίου είναι η ελεγχόμενη μεταβλητή.



Σχήμα 5.4: Αρχή λειτουργίας ενός ρυθμιστή συνεχούς τάσης (DC/DC converter).
α) κύκλωμα
β) κυματομορφές τάσης και ρεύματος
 $Z = R + j\omega L, L/R \gg T$

Όταν κλείσουμε το διακόπτη (Δ), τότε το ρεύμα I_0 ρέει από την πηγή U_0 στο φορτίο [Z]. Το φορτίο περιέχει ένα πηνίο με μεγάλη αυτεπαγωγή. Κατόπιν ανοίγουμε το διακόπτη (Δ) και σταματά η ροή του ρεύματος (I_0) από την πηγή στο φορτίο [Z]. Κατά την διακοπή της τάσης στο πηνίο δημιουργείται ρεύμα I_0 δια μέσου της διόδου και του φορτίου. Το ρεύμα αυτό μειώνεται εκθετικά με το χρόνο. Εάν όμως θεωρήσουμε ότι η σταθερά χρόνου του φορτίου είναι μεγάλη, τότε το ρεύμα I_0 μπορεί να θεωρηθεί σταθερό για μικρά χρονικά διαστήματα (t_{of}).



Ανοιγκλείνοντας περιοδικά το διακόπτη πετυχαίνουμε αυξομείωση της μέσης τιμής της τάσης (\bar{u}) φορτίου.

$$\bar{u} = u_0 \frac{t_{ON}}{T} = \alpha \cdot u_0$$

$$\alpha = \frac{t_{ON}}{T} = \text{βαθμός δειγματοληψίας}$$

Αν θεωρήσουμε το ρεύμα σταθερό, θα είναι:

$$\bar{i} = I_0 \frac{t_{ON}}{T} = \alpha \cdot I_0$$

Η ισχύς, η οποία απορροφάται από το φορτίο, υπολογίζεται από τη σχέση

$$P_z = \bar{u} \cdot \bar{i} = u_0 \cdot \alpha \cdot I_0 = f(\alpha)$$

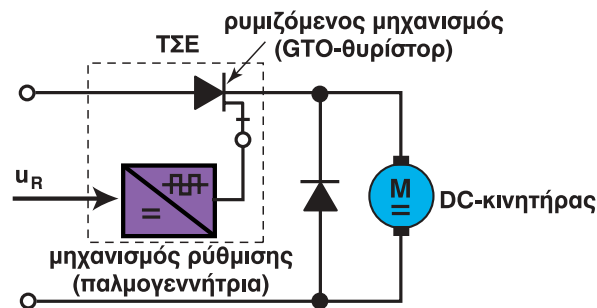
Παρατηρώντας την παραπάνω σχέση, διαπιστώνουμε ότι η ισχύς που καταναλώνεται στο φορτίο εξαρτάται από το ρυθμό λειτουργίας (α) του διακόπτη (Δ).

Στις πρακτικές εφαρμογές ο διακόπτης (Δ) αντικαθίσταται από ημιαγωγά στοιχεία.

Όταν η ελεγχόμενη ισχύς είναι μικρή χρησιμοποιούμε συνήθως, αντί για το μηχανικό διακόπτη, τρανζίστορ ισχύος, ενώ για μεγαλύτερη ισχύ χρησιμοποιούμε MOS-FET και IGBT τρανζίστορς και θυρίστορς διαφόρων ειδών.

5.1.2 Παραδείγματα ΤΣΕ

1) Έλεγχος στροφών κινητήρα –DC με GTO-θυρίστορ (GTO = Gate Turn Off-θυρίστορ)



Σχήμα 5.5: Έλεγχος στροφών κινητήρα –DC με τη βοήθεια GTO-θυρίστορ.

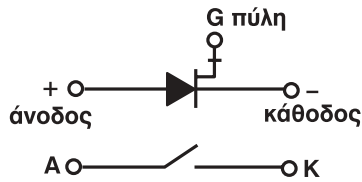
Οι στρόφες του κινητήρα μεταβάλλονται με τη μεταβολή του ρεύματος τροφοδοσίας του. Η μεταβολή του ρεύματος επιτυγχάνεται με τη χρήση ενός GTO-θυρίστορ.

Το GTO-θυρίστορ είναι ένα ημιαγωγό στοιχείο, το οποίο συμπεριφέρεται σαν ελεγχόμενος διακόπτης.

Για να λειτουργήσει το GTO-θυρίστορ, πρέπει να πληρούνται δύο προϋποθέσεις:

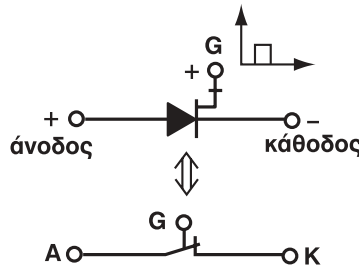


► Να είναι ορθά πολωμένο.



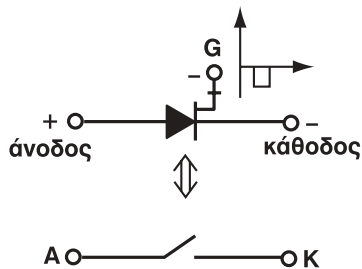
Σχήμα 5.5.1: GTO-θυρίστορ με ορθή πόλωση χωρίς παλμό έναυσης.

► Και να εφαρμοστεί ένας θετικός παλμός έναυσης στην πύλη.



Σχήμα 5.5.2: GTO-θυρίστορ με ορθή πόλωση και θετικό παλμό έναυσης.

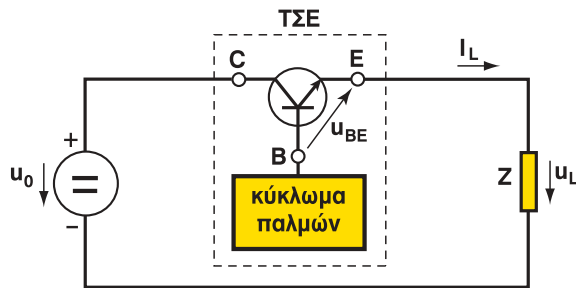
Όταν το GTO-θυρίστορ είναι κλειστό (λειτουργεί), μπορούμε να σταματήσουμε τη λειτουργία του εφαρμόζοντας στον ακροδέκτη της πύλης έναν αρνητικό παλμό.



Σχήμα 5.5.3: GTO-θυρίστορ με ορθή πόλωση και αρνητικό παλμό αβέσης.

Για τη λειτουργία ενός GTO-θυρίστορ χρησιμοποιείται μια παλμογεννήτρια, η οποία παράγει θετικούς και αρνητικούς παλμούς.

2) Έλεγχος ρεύματος του φορτίου (Z) με τη χρησιμοποίηση τρανζίστορ ισχύος



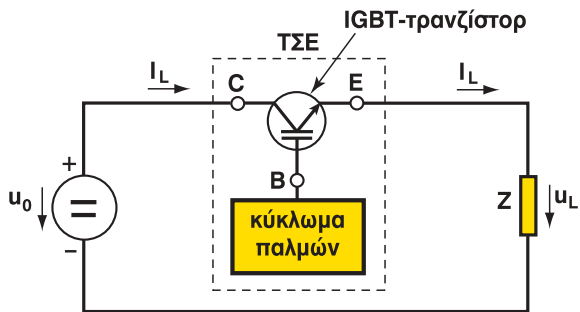
Σχήμα 5.5.4: Έλεγχος συνεχούς ρεύματος με τρανζίστορ ισχύος.



Το τελικό στοιχείο ελέγχου (ΤΣΕ) ή ενεργοποιητής

Όπως είναι γνωστόν, για να λειτουργήσει το τρανζίστορ, πρέπει να είναι ορθά πολωμένο, δηλαδή θετικός συλλέκτης / αρνητικός εκπομπός και θετικός παλμός (δυναμικό) μεταξύ βάσης-εκπομπού (u_{BE}).

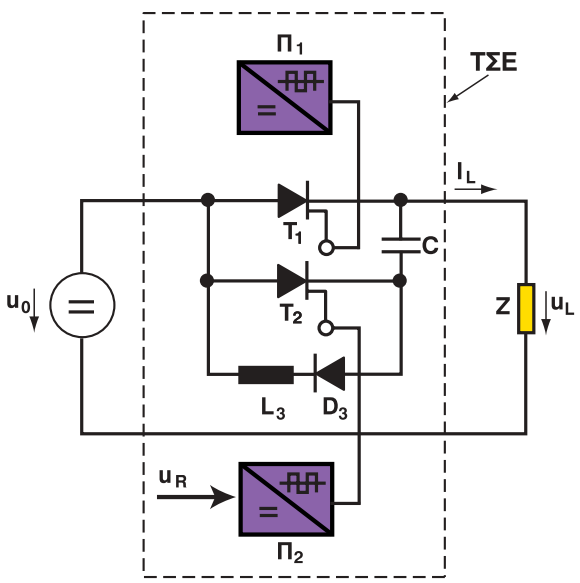
3) Έλεγχος ρεύματος φορτίου με τη βοήθεια IGBT



Σχήμα 5.5.5: Κύκλωμα ρύθμισης συνεχούς ρεύματος με τη βοήθεια IGBT-τρανζίστορ.

Το τρανζίστορ IGBT λειτουργεί όπως και τα γνωστά διπολικά τρανζίστορ. Επιτρέπει τη διέλευση και τον έλεγχο μεγάλων ρευμάτων και πλεονεκτεί έναντι των άλλων τρανζίστορς για τις σχεδόν μηδαμινές απώλειες οδήγησης.

4) Έλεγχος ρεύματος φορτίου με τη βοήθεια chopper



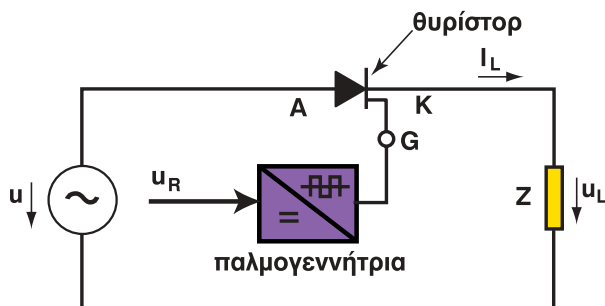
Σχήμα 5.5.6: Κύκλωμα chopper.

Το κύκλωμα του chopper αποτελείωσε το βασικότερο κύκλωμα ελέγχου συνεχούς ρεύματος, μέχρις ότου αντικαταστάθηκε σε μεγάλο βαθμό από το τρανζίστορ IGBT.

Το θυρίστορ T_1 χρησιμεύει για τον έλεγχο της ροής του ρεύματος του φορτίου. Ο πυκνωτής και το θυρίστορ T_2 χρησιμεύουν για τη σβέση του θυρίστορ T_2 . Ο κλάδος D_3L_3 βοηθά στην αλλαγή πολικότητας του πυκνωτή. Η παλμογεννήτρια Π_1 παράγει παλμούς με σταθερή διαφορά φάσης για τη σβέση του T_1 , ενώ η παλμογεννήτρια Π_2 παράγει παλμούς ελεγχόμενους από την τάση u_R του ελεγκτή.



5) Έλεγχος εναλλασσόμενου ρεύματος με τη βοήθεια θυρίστορ



Σχήμα 5.5.7: Κύκλωμα ελέγχου εναλλασσομένου ρεύματος με τη βοήθεια θυρίστορ.

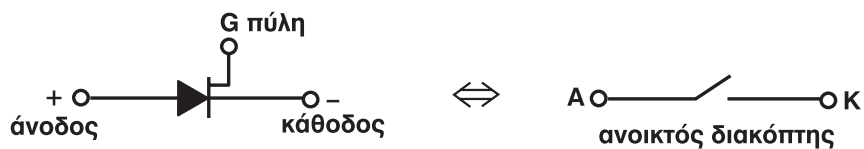
Το θυρίστορ είναι ένα ημιαγωγό στοιχείο, το οποίο λειτουργεί σαν ελεγχόμενος διακόπτης.

Το θυρίστορ για να λειτουργήσει, χρειάζεται ορθή πόλωση, δηλαδή θετική άνοδο, αρνητική κάθοδο και θετικό παλμό στον ακροδέκτη της πύλης.



Σχήμα 5.5.8: Θυρίστορ ορθά πολωμένο.

Χαρακτηριστικό γνώρισμα του θυρίστορ είναι ότι επιτρέπει τη ροή ρεύματος (I) μόνο από την άνοδο προς την κάθοδο. Το θυρίστορ διακόπτει τη λειτουργία του, όταν πολωθεί ανάστροφα, δηλαδή αρνητική Άνοδος και θετική Κάθοδος.

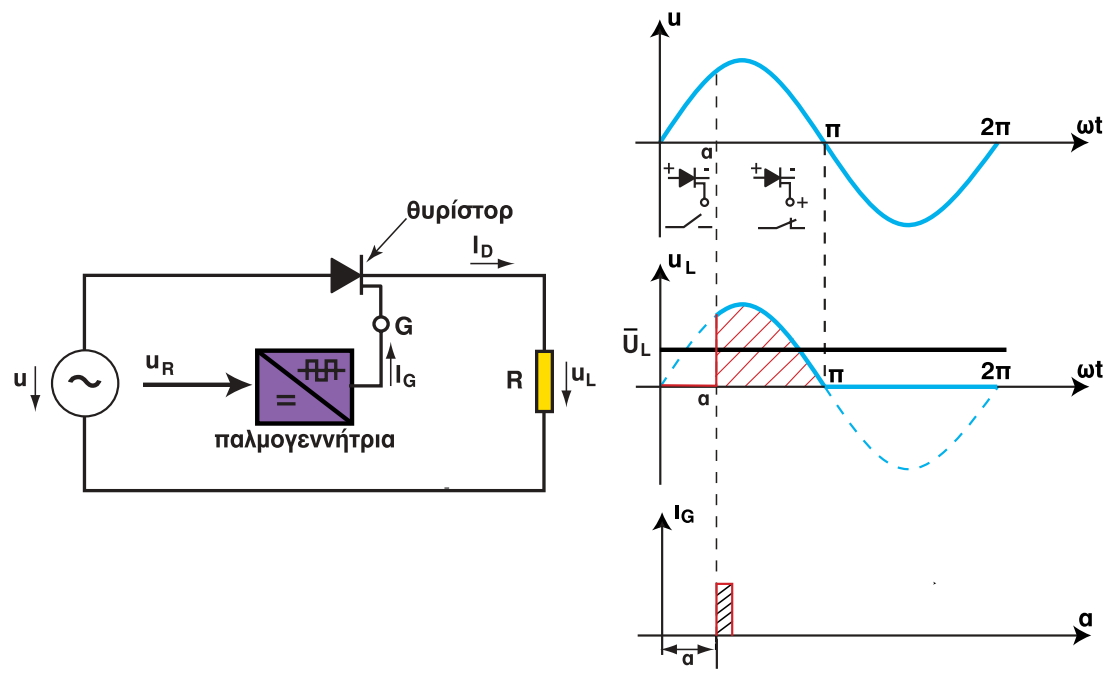


Σχήμα 5.5.9: Θυρίστορ ανάστροφα πολωμένο.



Το τελικό στοιχείο ελέγχου (ΤΣΕ) ή ενεργοποιητής

Βασική λειτουργία:



Σχήμα 5.6: Κυματομορφές τάσης φορτίου για γωνία έναυσης α .

Σχόλια:

1) $0 \leq \omega t \leq \alpha$

Στο διάστημα αυτό το θυρίστορ είναι ορθά πολωμένο, αλλά δεν έχει παλμό έναυσης στην πύλη και έτσι παραμένει ένας ανοικτός διακόπτης. Επομένως δεν έχουμε ροή ρεύματος και η τάση στο φορτίο είναι επίσης μηδέν.

2) $\alpha \leq \omega t \leq \pi$

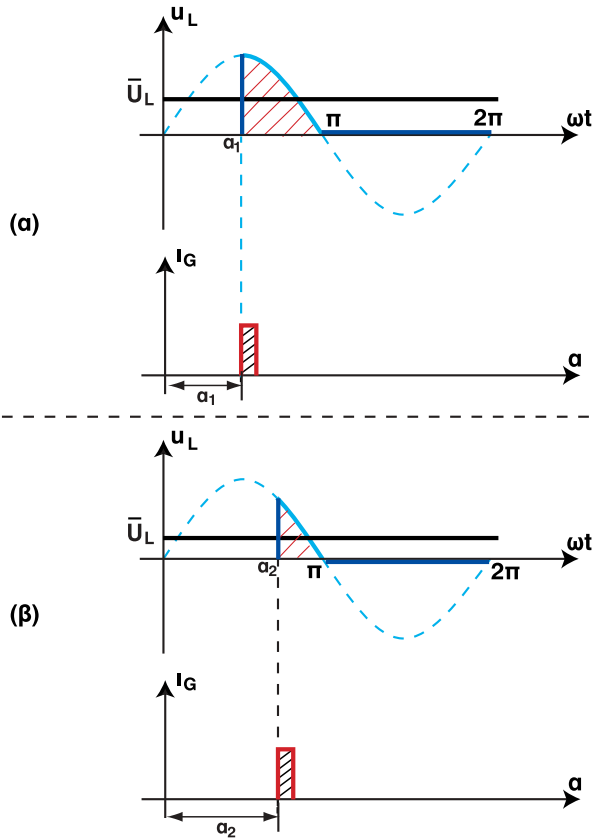
Στο σημείο $\omega t = \alpha$ δίνουμε παλμό έναυσης στο θυρίστορ, οπότε αυτό συμπεριφέρεται ως κλειστός διακόπτης. Η τάση της πηγής εφαρμόζεται στο φορτίο. (γραμμοσκιασμένη επιφάνεια) [σχήμα 5.7α].

Η μέση τιμή της τάσης \bar{u}_L εξαρτάται από τη γωνία έναυσης (α). $\bar{u}_L = f(\alpha)$

Για το χρονικό διάστημα $\pi < \omega t < 2\pi$ το θυρίστορ πολώνεται ανάστροφα και παύει να άγει.

Όταν μεγαλώσουμε τη γωνία έναυσης (α_2), μειώνεται η μέση τιμή της τάσης \bar{u}_L και αντιστρόφως [σχήμα 5.7β].

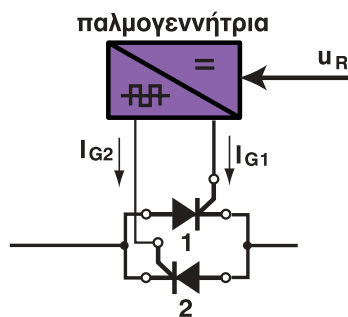




Σχήμα 5.7: Κυματομορφή τάσης φορτίου για διάφορες γωνίες έναυσης α_1 και α_2 .

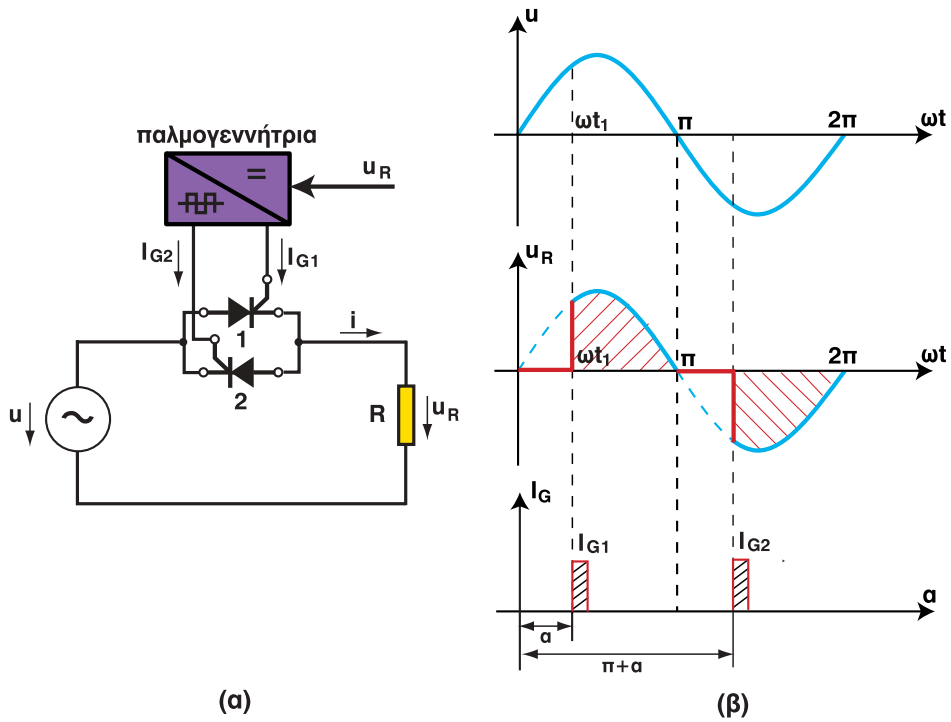
6) Ηλεκτρονικός διακόπτης εναλλασσομένου ρεύματος (TRIAC)

Το TRIAC αποτελείται από δυο θυρίστορ συνδεδεμένα αντιπαράλληλα (σχήμα 5.8). Είναι ένα πολύ σημαντικό στοιχείο για τη ρύθμιση της ενέργειας του εναλλασσόμενου ρεύματος.



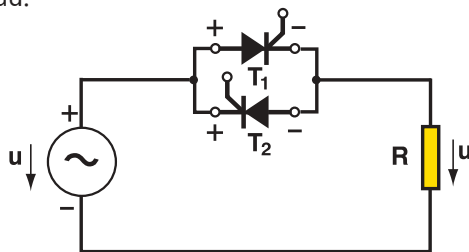
Σχήμα 5.8: Κύκλωμα αντιπαράλληλων θυρίστορ (TRIAC).

Για να μελετήσουμε τη λειτουργία του TRIAC, παρατηρούμε το παρακάτω απλό κύκλωμα και τις αντίστοιχες κυματομορφές (σχήμα 5.9).



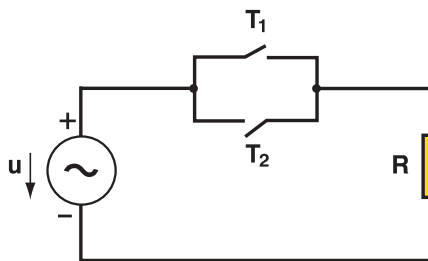
Σχήμα 5.9: Κύκλωμα TRIAC με ωμικό φορτίο (α) και κυματομορφές φορτίου (β).

Διάστημα 0 έως π: Στο διάστημα από 0 έως π η τάση της πηγής είναι θετική. Τα δυναμικά του κυκλώματος φαίνονται στο παρακάτω κύκλωμα.



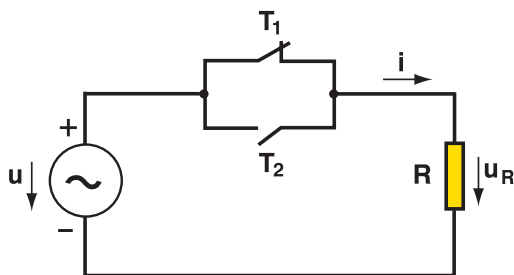
Σχήμα 5.9.1: Κύκλωμα TRIAC.

Από τα δύο θυρίστορ μόνο το θυρίστορ (T_1) είναι ορθά πολωμένο. Επειδή όμως δεν υπάρχει παλμός στην πύλη του, το θυρίστορ συμπεριφέρεται σαν ανοιχτός διακόπτης.



Σχήμα 5.9.2: Ισοδύναμο κύκλωμα του σχήματος 5.9.1.

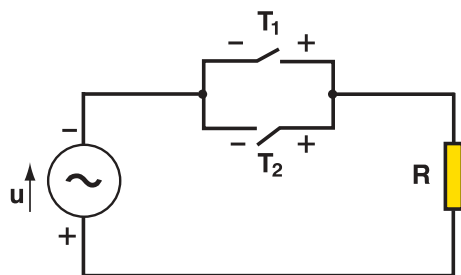
Στο χρονικό σημείο t_1 ($\omega t_1 = \alpha_1$) δίνουμε παλμό έναυσης στο thyristor T_1 . Το thyristor T_1 άγει κι έτσι το ρεύμα ρέει από την πηγή δια μέσου του thyristor T_1 στο φορτίο (R).



Σχήμα 5.9.3: Κύκλωμα λειτουργίας του TRIAC στη θετική ημιπερίοδο.

Το thyristor T_1 παραμένει κλειστό (αγωγίμο) από τη στιγμή της έναυσης ($\omega t = \alpha_1$) έως $\omega t = \pi$, όπου η τάση u είναι ακόμη θετική.

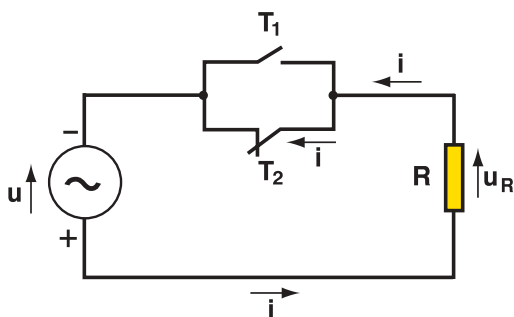
Διάστημα π έως 2π : Καθώς όμως η τάση στο σημείο $\omega t = \pi$ αρχίζει να βυθίζεται προς τα αρνητικά το thyristor πολώνεται ανάστροφα και σβήνει. Το thyristor T_2 πολώνεται ορθά, αλλά δεν άγει, διότι δεν έχει παλμό έναυσης στην πύλη.



Σχήμα 5.9.4: Ισοδύναμο κύκλωμα TRIAC με τα δυναμικά για το διάστημα π έως 2π .

Η παλμογεννήτρια έχει την ιδιότητα να παράγει παλμούς συμμετρικούς και σε διαφορά φάσης 180° . Άρα, αφού ο πρώτος παλμός δόθηκε στο σημείο $\omega t_1 = \alpha_1$, ο δεύτερος δίνεται στο thyristor T_2 για $\omega t_2 = \pi + \alpha_1$.

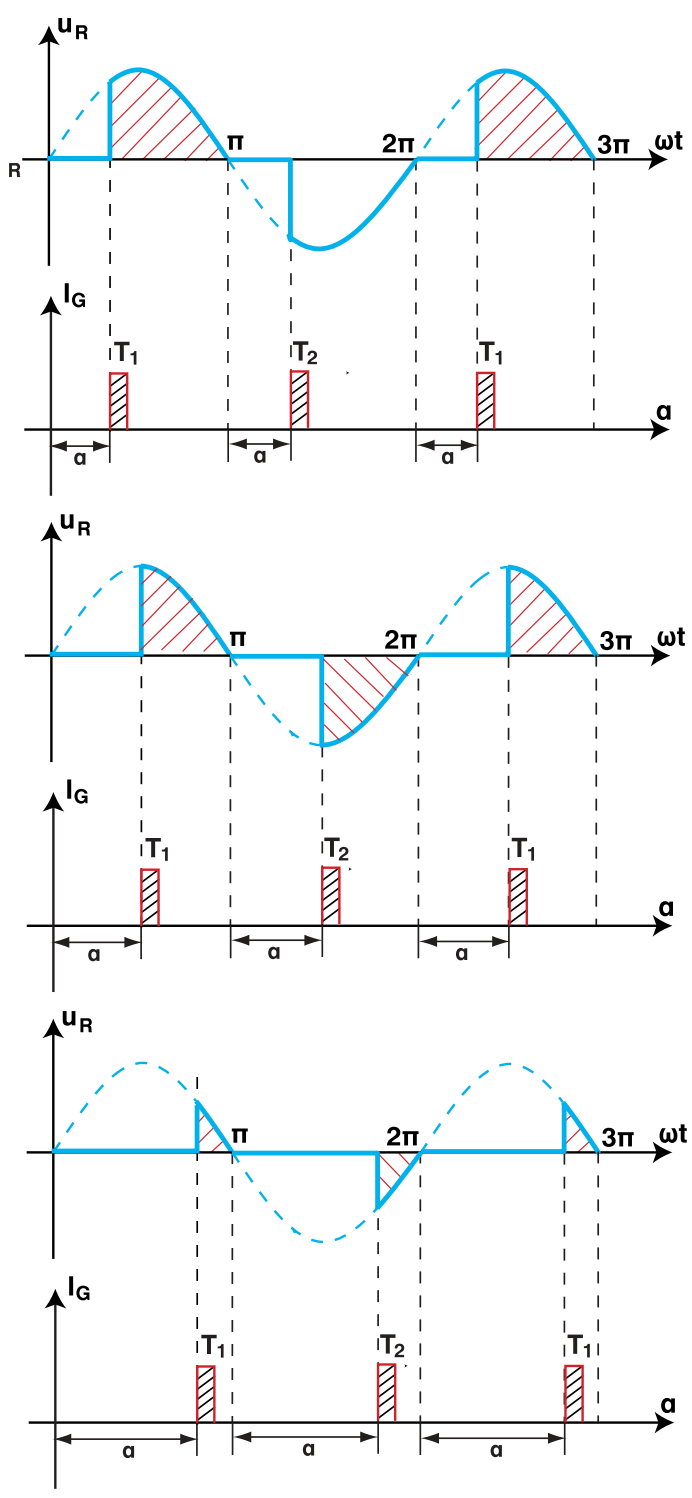
Στο σημείο $\omega t_2 = \pi + \alpha_1$ δίνεται παλμός έναυσης στην πύλη του thyristor T_2 και, επειδή είναι ορθά πολωμένο, γίνεται αγωγίμο.



Σχήμα 5.9.5: Ισοδύναμο κύκλωμα TRIAC με λειτουργία στην αρνητική ημιπερίοδο.



Παρακάτω παρατίθενται μερικές ακόμη κυματομορφές τάσης για διάφορες γωνίες έναυσης (α) (σχήμα 5.10).



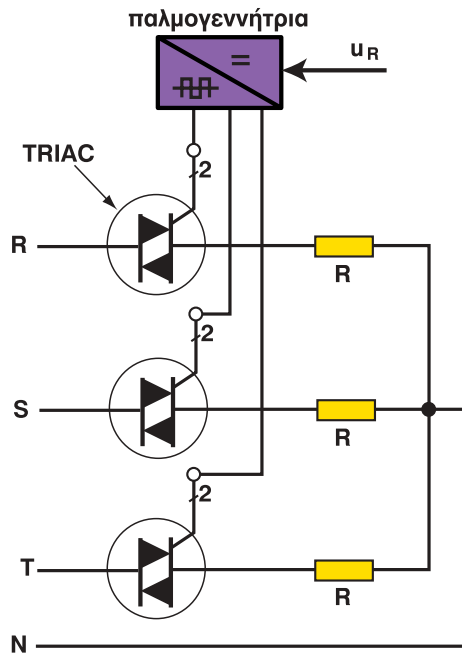
Σχήμα 5.10: Κυματομορφές τάσης φορτίου και παλμοί για διάφορες γωνίες έναυσης.



Από τη λειτουργία και τις κυματομορφές του TRIAC διαπιστώνουμε ότι μεταβάλλοντας τη γωνία έναυσης μεταβάλλουμε την τάση στο φορτίο. Αυτό σημαίνει ότι μεταβάλλουμε την ενεργό τιμή της τάσης και του ρεύματος φορτίου.

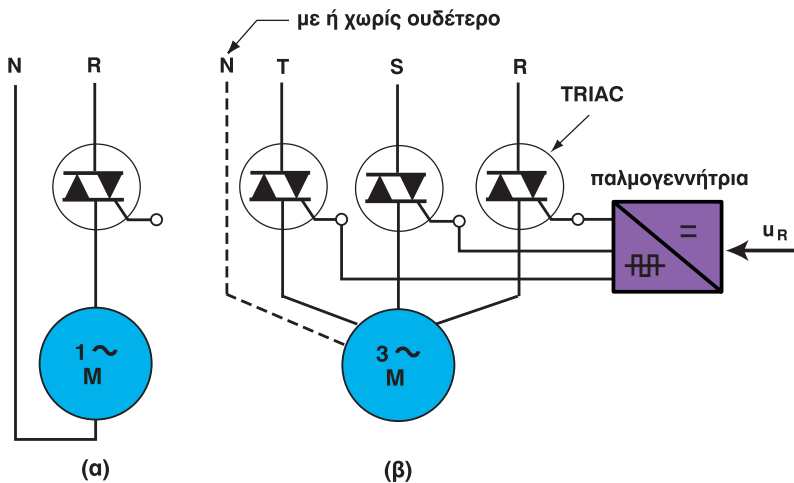
Εφαρμογές:

A) Με τη βοήθεια του TRIAC μπορούμε να ρυθμίσουμε την ενεργό ισχύ σε ωμικά φορτία (μονοφασικά ή τριφασικά (σχήμα 5.11)).



Σχήμα 5.11: Ρύθμιση ισχύος τριφασικού ωμικού φορτίου.

B) Ομαλή εκκίνηση και έλεγχος στροφών μονοφασικού, τριφασικού ασύγχρονου κινητήρα.

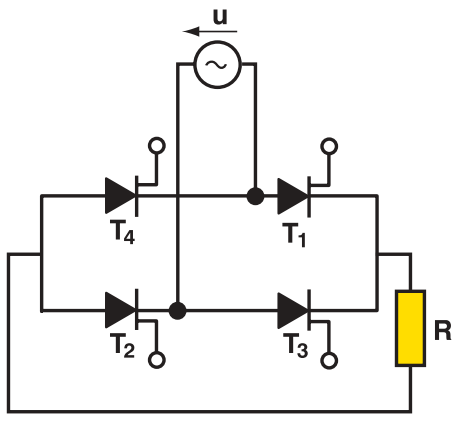


Σχήμα 5.12: Ρύθμιση στροφών μονοφασικού (α) ή τριφασικού ασύγχρ. κινητήρα (β).



7)

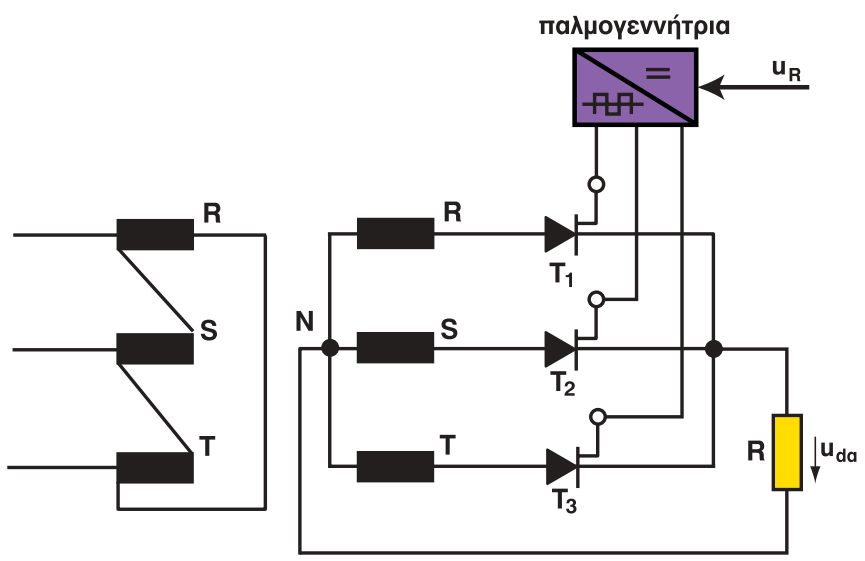
Στο παρακάτω κύκλωμα φαίνεται το κύκλωμα της γέφυρας $-B_2$



Σχήμα 5.13: Κύκλωμα γέφυρας $-B_2$.

Η γέφυρα $-B_2$ χρησιμοποιείται σε πολλές εφαρμογές π.χ. για τη φόρτωση συσσωρευτών, για τον έλεγχο στροφών κινητήρων συνεχούς ρεύματος κλπ.

8) Τριφασικός ανορθωτής τριών παλμών



Σχήμα 5.14: Τριφασικός μετατροπέας τριών παλμών.

Ωμικό φορτίο

Στον τριφασικό ανορθωτή η λειτουργία είναι η ίδια με τη λειτουργία του προηγούμενου κυκλώματος. Διαφέρει μόνο ως προς τον αριθμό των φάσεων και στη μέτρηση της γωνίας έναυσης.

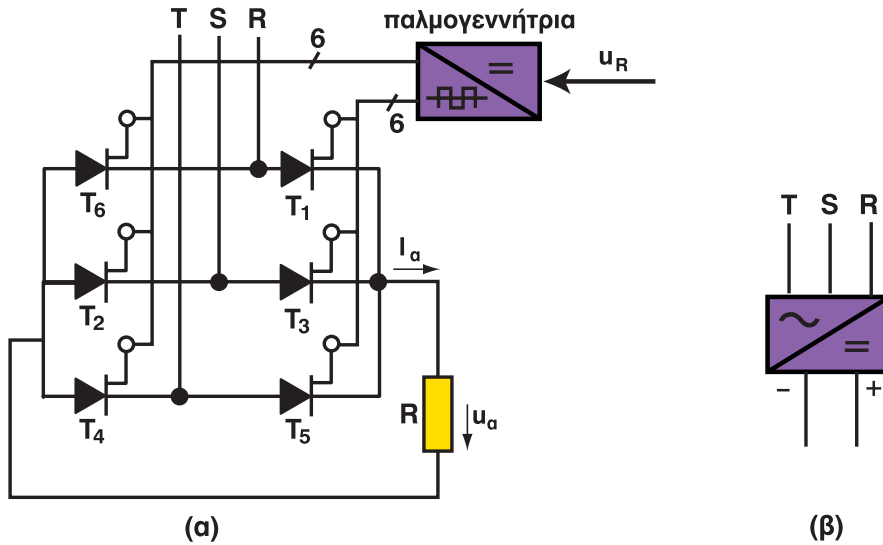




9) Τριφασική γέφυρα B_6

Η τριφασική γέφυρα $-B_6$ είναι το περισσότερο διαδεδομένο κύκλωμα ανόρθωσης και ελέγχου του τριφασικού ρεύματος και της αντιστροφής του συνεχούς ρεύματος σε τριφασικό.

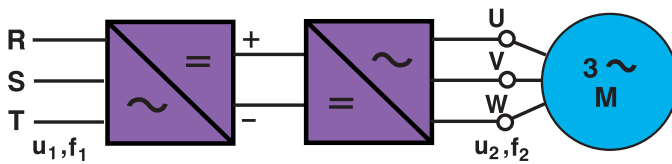
Το κύκλωμα της τριφασικής γέφυρας αποτελείται από δύο κυκλώματα $-M3$ συνδεδεμένα σε σειρά (σχήμα 5.15).



Σχήμα 5.15: Σύνδεση τριφασικής γέφυρας B_6 (α) και το σύμβολό της.

Επομένως, η λειτουργία της γέφυρας $-B_6$ είναι αντίστοιχη του μετατροπέα $-M3$ τριών παλμών.

Με την αντιπαράλληλη σύνδεση δύο γεφυρών $-B_6$ (σχήμα 5.16) επιτυγχάνουμε τη μεταβολή της συχνότητας της τάσης τροφοδοσίας ενός ασύγχρονου τριφασικού κινητήρα και με αυτόν τον τρόπο ελέγχουμε τις στροφές του.



Σχήμα 5.16: Διάταξη ελέγχου στροφών τριφασικού κινητήρα δια μέσου της συχνότητας.





5.2 Μηχανικά τελικά στοιχεία ελέγχου ή ενεργοποιητές

5.2.1 Αναλογικές βαλβίδες

Στις βαλβίδες αυτές ο μηχανισμός φραγής της ροής του υγρού κινείται προς τη διεύθυνση της ροής. Με τη βοήθεια του κωνικού μηχανισμού, ο οποίος ανοίγει και κλείνει την οπή διέλευσης του υγρού, πετυχαίνουμε μεταβολές της ροής από τη μηδενική έως τη μέγιστη τιμή.

A) Μονοθέσιες αναλογικές βαλβίδες επαφής.

Στις βαλβίδες αυτές η φορά της ροής του υγρού είναι σημειωμένη στο κέλυφος μ' ένα βέλος. Επομένως και ο τρόπος σύνδεσης της βαλβίδας είναι σύμφωνα με τη φορά ροής του υγρού. Έτσι, όταν ο κωνικός μηχανισμός κλείνει την οπή της βαλβίδας, η στατική πίεση πιέζει τον κώνο με κατεύθυνση να τον ανοίξει. Στην αντίθετη περίπτωση η πίεση του υγρού θα πίεζε τον κώνο πάνω στο σώμα της βαλβίδας και θα πλήγωνε την κωνική επιφάνεια.

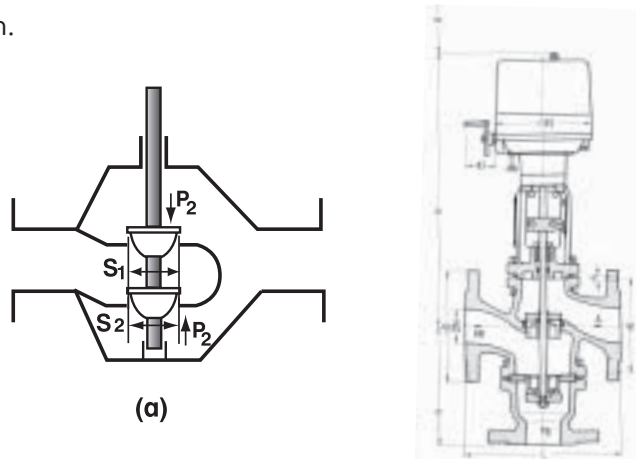


Σχήμα 5.17: Τομή μονοθέσιας αναλογικής βαλβίδας (α), εμπορική μορφή (β), σύμβολο (γ).

B) Αναλογική βαλβίδα δύο θέσεων.

Η βαλβίδα δύο θέσεων διαθέτει δύο οπές για τη διέλευση του υγρού, άρα έχει και μηχανισμό με δύο κώνους για το άνοιγμα και το κλείσιμο των οπών. Η ροή του υγρού μπορεί να ακολουθεί δύο κατευθύνσεις.

Στη στατική κατάσταση οι κώνοι αυτοί καταπονούνται και από τις δύο κατευθύνσεις και έτσι ο κωνικός μηχανισμός δε βρίσκεται υπό πίεση.



Σχήμα 5.18: Τομές βαλβίδων δύο θέσεων (Siemens).





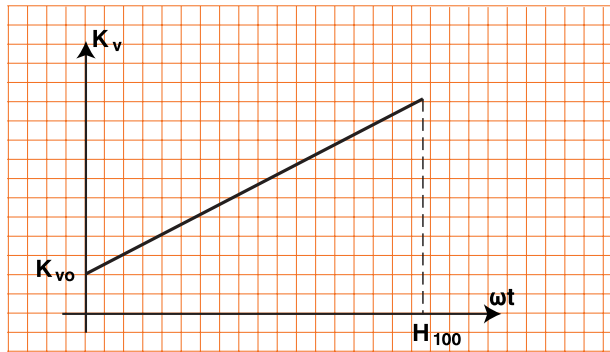
Βασικά τεχνικά χαρακτηριστικά (VDI/VDE 2173):

Για την αγορά και την εφαρμογή των βαλβίδων απαιτείται η γνώση ορισμένων τεχνικών χαρακτηριστικών.

Σύμφωνα με τους κανονισμούς VDI και VDE 2173, τα σπουδαιότερα τεχνικά χαρακτηριστικά των βαλβίδων είναι:

- ▶ Το άνοιγμα H_{100} : είναι το μέγιστο ύψος που διανύει ο κώνος, όταν μετακινείται από την κάτω θέση (κλειστή οπή) μέχρι την επάνω θέση (οπή εντελώς ανοικτή).
- ▶ Ο συντελεστής $-K_v$: είναι ο όγκος του ρέοντος υγρού ανά ώρα που περνά μέσα από τη βαλβίδα για τυχαίο άνοιγμα της οπής, όταν η διαφορά πίεσης μεταξύ εισόδου/εξόδου της βαλβίδας είναι 1bar ($\Delta P_0 = 1\text{bar}$).
- ▶ Στατική χαρακτηριστική: η στατική χαρακτηριστική μας δίνει τη σχέση μεταξύ του ανοίγματος (H) της οπής της βαλβίδας και του συντελεστή K_v .

K_{v100} : είναι η τιμή του συντελεστή K_v μιας βαλβίδας, όταν η βαλβίδα είναι εντελώς ανοικτή H_{100} .

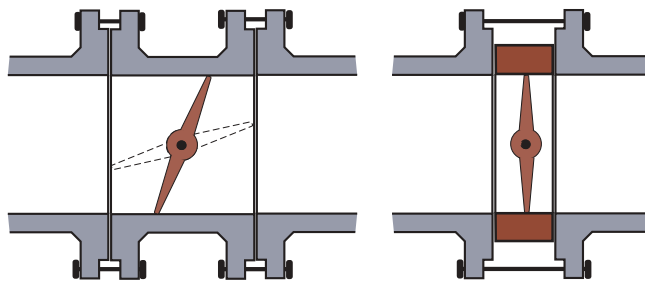


Σχήμα 5.21: Στατιστική χαρακτηριστική αναλογικής βαλβίδας.

5.2.2 Ρυθμιστικά κλαπέτα

Τα ρυθμιστικά κλαπέτα είναι μηχανισμοί, οι οποίοι αυξομειώνουν τη ροή των υγρών μέσα σε αγωγούς μεγάλης διατομής (DN150 - DN 1600).

Έχουν απλή κατασκευή και γι' αυτό χρησιμοποιούνται σαν τελικό στοιχείο ελέγχου, ειδικότερα εκεί όπου επικρατούν μεγάλες θερμοκρασίες.

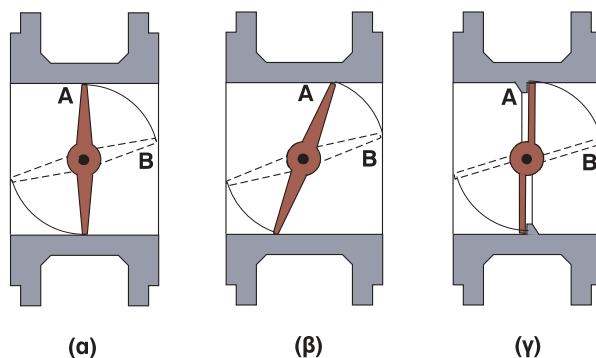


Σχήμα 5.22: Ρυθμιζόμενα κλαπέτα.



Ανάλογα με τον τρόπο κλεισίματος φραγής διακρίνουμε:

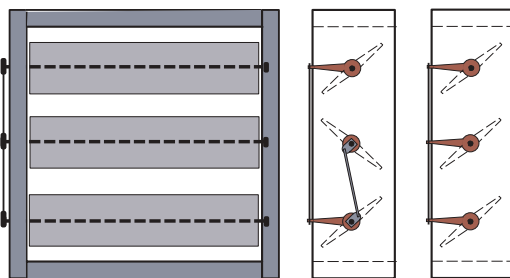
α) κλαπέτα (περσίδες) πλήρους περιστροφής και β) κλαπέτα (περσίδες) πλάγιας θέσης.



Σχήμα 5.23: Διάφορες τομές κλαπέτων.

Μια άλλη κατηγορία κλαπέτων είναι: **γ) τα κλαπέτα Jalousie (Γιαλουζί).**

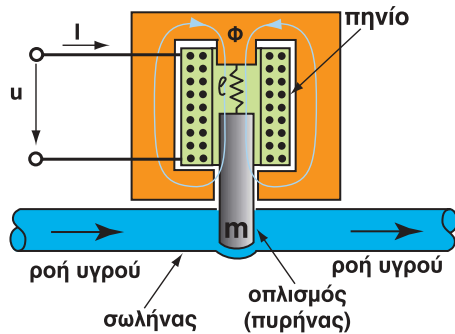
Τα κλαπέτα αυτά είναι στερεωμένα πάνω στον ίδιο άξονα και έτσι ανοίγουν και κλείνουν ταυτόχρονα (σχήμα 5.24).



Σχήμα 5.24: Κλαπέτα Γιαλουζί.

5.3 Ηλεκτρομαγνητική βαλβίδα

Η ηλεκτρομαγνητική βαλβίδα (σχήμα 5.25) χρησιμοποιείται κυρίως για το άνοιγμα οπών ή σωλήνων μικρής διαμέτρου.



- B = μαγνητική επαγωγή
- $B = \Phi/A$
- Φ = μαγνητική ροή
- A = επιφάνεια
- ℓ = μήκος πηνίου
- m = μάζα οπλισμού
- I = ρεύμα πηνίου
- N = σπείρες πηνίου
- R = ωμική αντίσταση πηνίου

Σχήμα 5.25: Τομή ηλεκτρομαγνητικής βαλβίδας.



Όταν τροφοδοτήσουμε με ρεύμα το πηνίο δημιουργείται μαγνητικό πεδίο ροής Φ , το οποίο έλκει τον σπλιισμό και ανοίγει το σωλήνα.

Η δύναμη που ασκεί ο ηλεκτρομαγνήτης πάνω στον σπλιισμό δίνεται από τη σχέση:

$$F = B \cdot I \cdot N \cdot \ell$$

5.4 Βηματικοί κινητήρες

Ορισμός: Οι βηματικοί κινητήρες είναι ηλεκτρομηχανικοί ψηφιακοί/αναλογικοί μετατροπείς. Αυτοί είναι σε θέση να μετατρέψουν ηλεκτρικούς παλμούς σε συγκεκριμένες γωνίες περιστροφής (αναλογικό μέγεθος). Η γωνία περιστροφής του άξονα του κινητήρα είναι ανάλογη των παλμών που δέχεται.

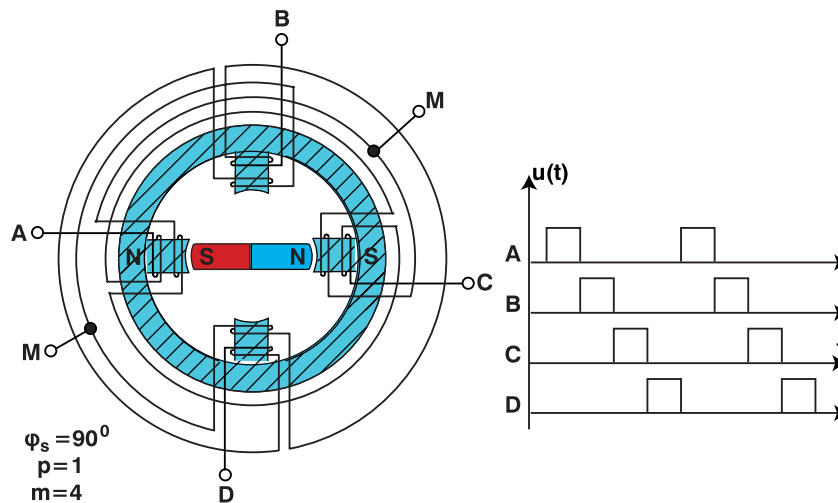
Είδη βηματικών κινητήρων:

Οι βηματικοί κινητήρες ανάλογα με την κατασκευή του ρότορα διακρίνονται σε:

- A) βηματικούς κινητήρες με ρότορα από μόνιμους μαγνήτες και
- B) βηματικούς κινητήρες με ρότορα από ηλεκτρομαγνήτες.

5.4.1 Βηματικοί κινητήρες με ρότορα από μόνιμους μαγνήτες

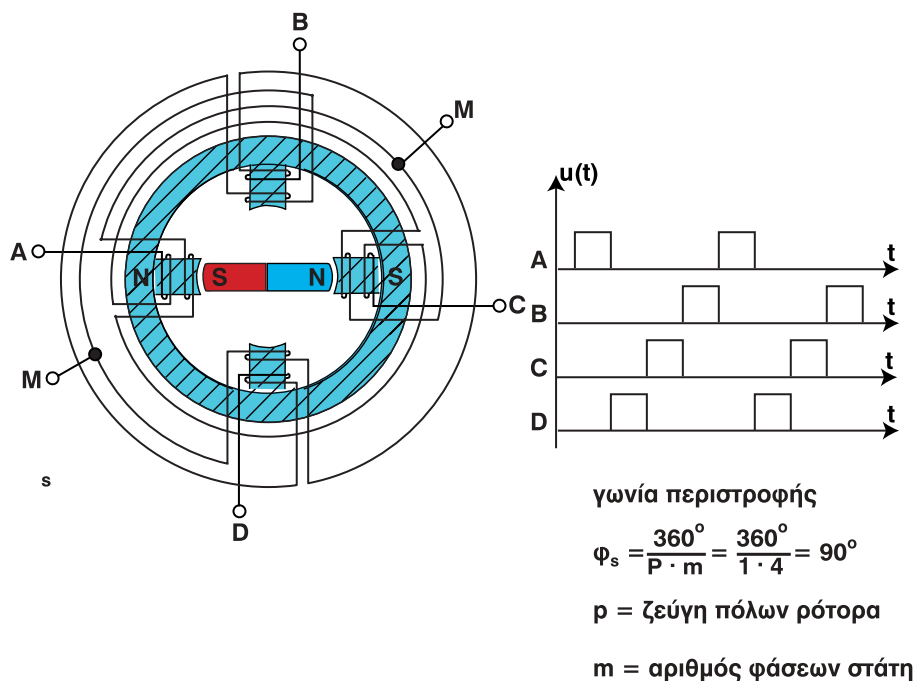
Στην παρούσα ενότητα θα εξετάσουμε τη λειτουργία των βηματικών κινητήρων με μόνιμους μαγνήτες, διότι αυτοί έχουν μεγαλύτερη εφαρμογή στην πράξη.



Σχήμα 5.26: Τομή ενός βηματικού κινητήρα με μόνιμους μαγνήτες και διάγραμμα παλμών για δεξιό περιστροφή.

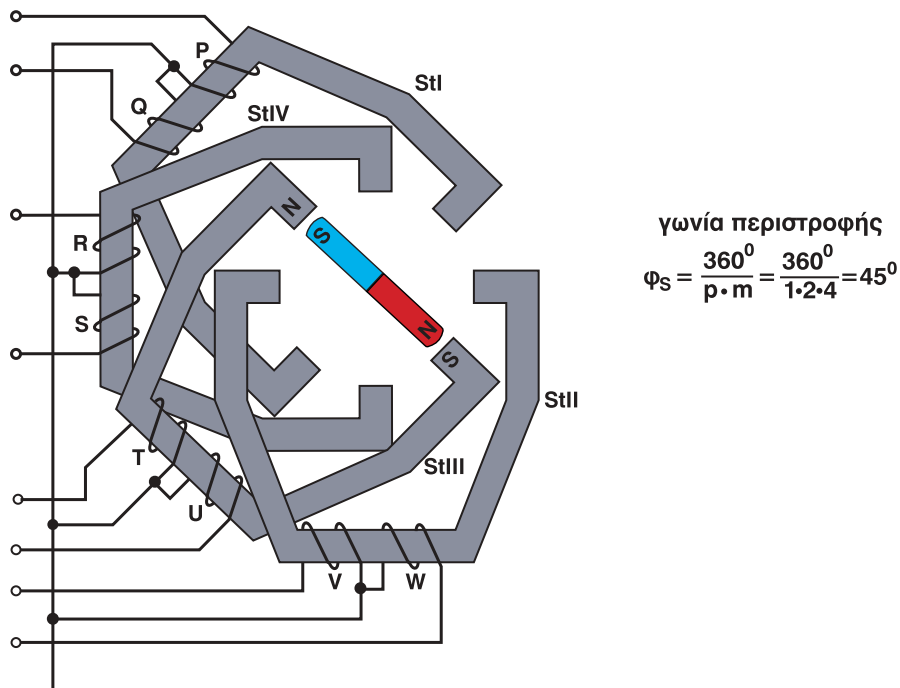
Η λειτουργία του βηματικού κινητήρα είναι ανεξάρτητη από την κατασκευή του ρότορα. Ο ρότορας των κινητήρων αυτών αποτελείται από ένα ή περισσότερα ζεύγη μονίμων μαγνητών, ενώ ο στάτης είναι εφοδιασμένος με περιελίξεις. Στο παραπάνω σχήμα (5.26) φαίνεται η τομή ενός βηματικού κινητήρα τεσσάρων φάσεων (A, B, C, D) δύο ζευγών πόλων.





Σχήμα 5.27: Διάγραμμα παλμών για αριστερή περιστροφή (A, D, C, B).

Οι περιελίξεις των φάσεων A, B, C, D είναι έτσι συνδεδεμένες μεταξύ τους, ώστε, όταν στην περιέλιξη A εφαρμόζεται ένας παλμός, τότε δημιουργείται σ' αυτήν ένας βόρειος πόλος και στην απέναντι φάση C ένας νότιος πόλος.



Σχήμα 5.28: Παραστατική διάταξη των πόλων και των τυλιγμάτων ενός βηματικού κινητήρα.



Ο βόρειος πόλος του μαγνητικού πεδίου του στάτη έλκει το νότιο πόλο του μόνιμου μαγνήτη του ρότορα και έτσι έχουμε τη διάταξη του σχήματος 5.26.

Όταν εφαρμοστεί ο παλμός A στην περιέλιξη A, έχουμε βόρειο πόλο στο πέδηλο της περιέλιξης A και νότιο στο πέδηλο της περιέλιξης C. Ο ρότορας θα περιστραφεί και θα πάρει, την αντίστοιχη θέση (σχήμα 5.26).

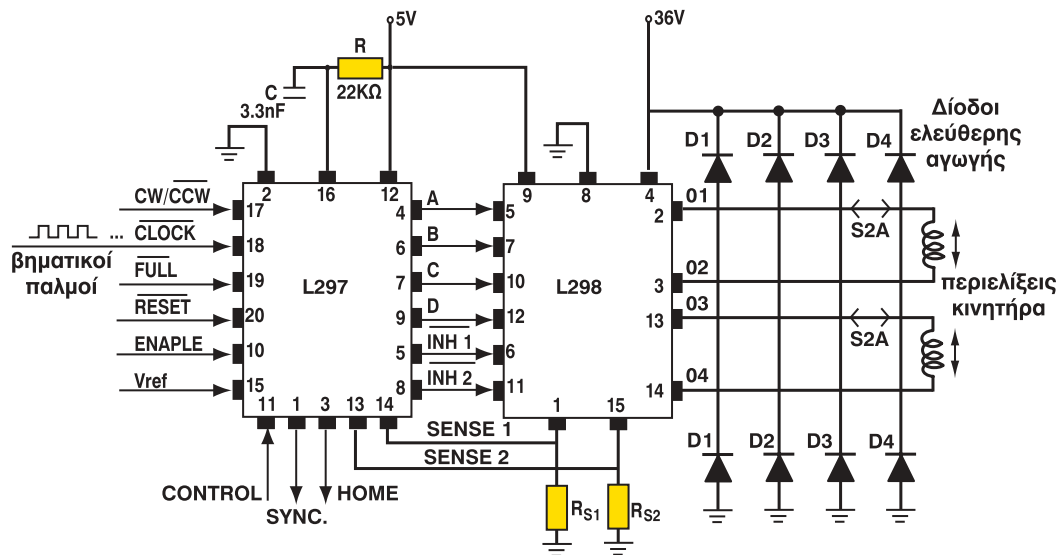
Το ίδιο θα συμβεί, εάν εφαρμόσουμε τους παλμούς στις περιελίξεις B, C και D.

Με την παραπάνω χρονική διάταξη των παλμών A, B, C, D ο ρότορας περιστρέφεται δεξιά. Αν αλλάξουμε τη διαδοχή των παλμών σε A, D, C, B, τότε ο κινητήρας θα περιστρέφεται αριστερά (σχήμα 5.27).

Εύκολα διαπιστώνει κανείς, ότι το βήμα περιστροφής του παραπάνω κινητήρα είναι 90°. Εάν επιθυμούμε μικρότερες γωνίες περιστροφής, τότε πρέπει να έχουμε περισσότερους πόλους στο στάτη (σχήμα 5.28).

Για να επιτύχουμε μικρότερες γωνίες περιστροφής του ρότορα, μια άλλη δυνατότητα είναι να τροφοδοτήσουμε ταυτόχρονα με παλμούς δύο διαδοχικές περιελίξεις, οπότε ο ρότορας θα λάβει θέση ανάμεσα από τους πόλους των A και B. Στην περίπτωση αυτή οι παλμοί θα είχαν την ακόλουθη σειρά A, AB, B, BC, C, CD, D, DA, A κλπ.

Ενδεικτικά παραθέτουμε ένα κύκλωμα ελέγχου βηματικού κινητήρα (σχήμα 5.29).



Σχήμα 5.29: Κύκλωμα ελέγχου βηματικού κινητήρα δύο φάσεων.

5.4.2 I/p-Μετατροπές Μετατροπές ρεύματος σε πίεση

Στα υδραυλικά και πνευματικά ΣΑΕ, όπως εγκαταστάσεις τροφοδοσίας νερού, αερίων και εγκαταστάσεις κλιματισμού, απαιτείται πολλές φορές η μετατροπή του ρεύματος σε πίεση.

Το όργανο, το οποίο μετατρέπει το ρεύμα σε πίεση λέγεται i/p-μετατροπές.

Η έξοδος του ελεγκτή είναι συνήθως ένα τυποποιημένο ρεύμα 4.....20mA, ενώ η αναλογική πνευματική βαλβίδα δέχεται πίεση 0,2.....1 bar.

Επομένως, μεταξύ ελεγκτή και βαλβίδας πρέπει να συνδεθεί ένας i/p-μετατροπές.

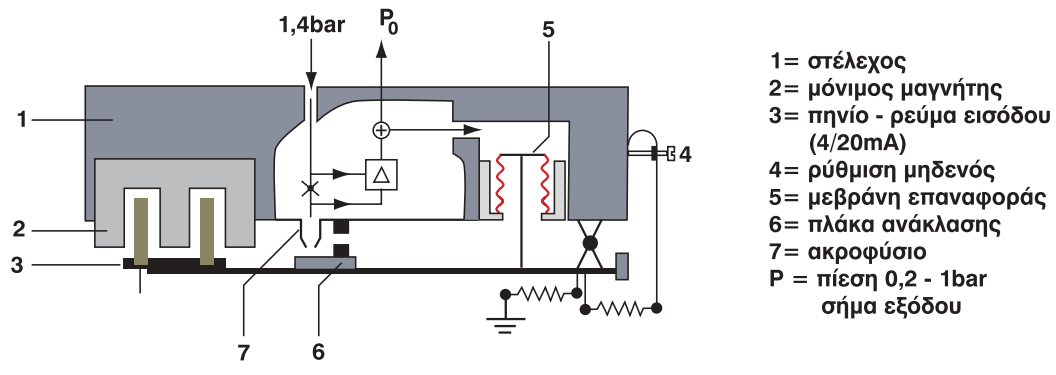




κεφάλαιο 5

Παρακάτω φαίνεται μια τομή ενός μετατροπέα. Η αρχή λειτουργίας του βασίζεται σε έναν μόνιμο μαγνήτη σχήματος [E] εντός του οποίου μετακινείται ο πυρήνας ενός πηνίου. Όταν το πηνίο διαρρέεται από ρεύμα ($i = 4 \dots 20 \text{mA}$), ο πυρήνας έλκεται, ανάλογα με το ρεύμα, από το μαγνήτη.

Στη συνέχεια αυξομειώνεται η απόσταση μεταξύ ακροφυσίου και πλάκας, οπότε έχουμε μια αντιστρόφως ανάλογη μεταβολή της πίεσης εξόδου από $0,2 \dots 1 \text{ bar}$.



Σχήμα 5.30: Τομή μετατροπέα -ί/ρ.



ΠΕΡΙΛΗΨΗ

- ✓ Το Τελικό Στοιχείο Ελέγχου (ΤΣΕ) είναι ο συνδετικός κρίκος μεταξύ του ελεγκτή και του ελεγχόμενου συστήματος και έχει την ικανότητα, λαμβάνοντας το ασθενές τυποποιημένο σήμα του ελεγκτή, να ελέγξει μεγάλες ποσότητες ενέργειας ή μάζας που ρέουν προς το ελεγχόμενο σύστημα.
- ✓ Διακρίνονται σε ηλεκτρονικά, μηχανικά και ηλεκτροπνευματικά τελικά στοιχεία ελέγχου.
- ✓ Ως τελικά στοιχεία ελέγχου μπορούν να χρησιμοποιηθούν τρανζίστορ ισχύος, θυρίστορς διαφόρων τύπων ή ολόκληρες διατάξεις των ηλεκτρονικών ισχύος, ηλεκτροπνευματικές και ηλεκτρομαγνητικές βάνες κλπ. Σε μερικές περιπτώσεις χρησιμοποιούνται βηματικοί κινητήρες και μετατροπείς ρεύματος σε πίεση.
- ✓ Τα θυρίστορ και τα τρανζίστορ παντός τύπου είναι ημιαγωγοί ελεγχόμενοι διακόπτες με μεγάλη ακρίβεια ρύθμισης.
- ✓ Τα μηχανικά στοιχεία ελέγχου χρησιμοποιούνται κυρίως για τον έλεγχο μη ηλεκτρικών μεγεθών.



ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ

- 1) Ποιος ο σκοπός του ΤΣΕ;
- 2) Ποια θέση κατέχει το ΤΣΕ μέσα σ' ένα ΣΑΕ;
- 3) Ποιο είναι το χαρακτηριστικό γνώρισμα του ΤΣΕ;
- 4) Σχεδιάστε το σύμβολο του ΤΣΕ.
- 5) Αναφέρατε παραδείγματα τελικών Στοιχείων Ελέγχου και μια απλή εφαρμογή τους.
- 6) Αναφέρατε τα τυποποιημένα σήματα εισόδου του ΤΣΕ.
- 7) Εξηγήστε με ένα απλό παράδειγμα τη λειτουργία του θυρίστορ.
- 8) Εξηγήστε τη λειτουργία του TRIAC, χρησιμοποιώντας ένα απλό παράδειγμα [π.χ. τροφοδοσία λαμπτήρος φωτισμού (βοηφραμίου) μέσω TRIAC].
- 9) Σχεδιάστε το κύκλωμα ρύθμισης στροφών ενός τριφασικού ασύγχρονου κινητήρα μέσω TRIAC.
- 10) Αναφέρατε τα είδη των αναλογικών πνευματικών βαλβίδων.
- 11) Εξηγήστε τη λειτουργία της ηλεκτρομαγνητικής βαλβίδας.
- 12) Περιγράψτε την αρχή λειτουργίας του βηματικού κινητήρα.
- 13) Τι είναι ο i/p-μετατροπέας;

12.2. ΕΝΕΡΓΟΠΟΙΗΤΕΣ

12.2. Πνευματικοί Ελεγκτές

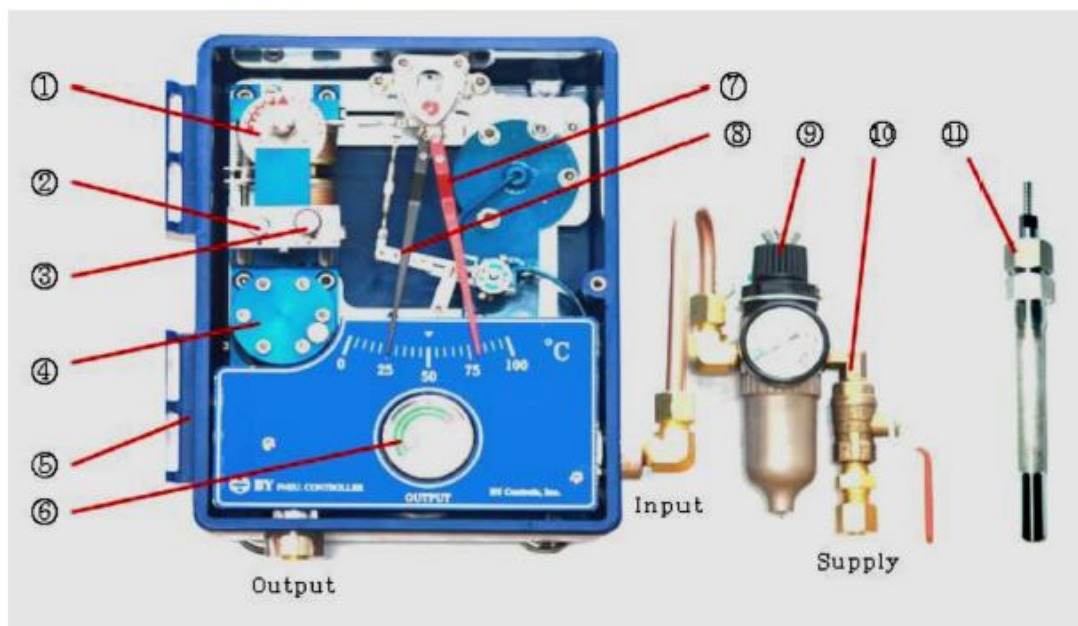
Πνευματικός ελεγκτής ονομάζεται οποιοδήποτε σύστημα χρησιμοποιεί την ενέργεια που έχει αποθηκευθεί στον πεπιεσμένο αέρα για να παράγει ωφέλιμο έργο. Οι πνευματικοί ελεγκτές χρησιμοποιούνται για την εκτέλεση μιας εργασίας που μπορεί να είναι επαναλαμβανόμενη, επικίνδυνη για τους χειριστές, να πραγματοποιείται σε μη φιλικό περιβάλλον ή να απαιτεί ακρίβεια ή ταχύτητα. Στα πλοία χρησιμοποιείται ο πνευματικός ελεγκτής για δίοδες και τρίοδες βαλβίδες στον έλεγχο υγρού, αερίου ή ατμού.

Χρησιμοποιείται γενικά σε συνδυασμό με συσκευή ελέγχου θερμοκρασίας ή πίεσης όπως βαλβίδα ελέγχου. Ο ελεγκτής ανιχνεύει συνεχώς τη διαφορά μεταξύ μιας μέτρησης διεργασίας και του σημείου ρύθμισης και παράγει ένα σήμα αέρα εξόδου. Το σήμα εξόδου μεταδίδεται στη συσκευή ελέγχου και στη συνέχεια ενεργοποιείται σωστά. Μπορούν να καθοριστούν μορφές ελέγχου για την παροχή ενεργειών on/off, αναλογικού (P), αναλογικού και ολοκληρωτικού (P + I), αναλογικού και ολοκληρωτικού και διαφορικού (P + I + D). Μια τέτοια μορφή ελέγχου μπορεί να είναι ένας παράγοντας που αποφασίζει τα χαρακτηριστικά της διαδικασίας του συστήματος. Τα κύρια χαρακτηριστικά που έχει ο παραπάνω ελεγκτής είναι:

- Εύκολη συντήρηση
- Απλή και οικονομική κατασκευή
- Ακριβής βαθμονόμηση με απλές ρυθμίσεις
- Ευαίσθητη και σωστή απόκριση για υψηλή απόδοση
- Χαμηλή κατανάλωση αέρα
- Εύκολη σύνδεση ανάδρασης
- Απλή μετατροπή σε άμεση ενέργεια ή αντίστροφη ενέργεια

Κατασκευή

Ο πνευματικός ελεγκτής πρέπει να τοποθετηθεί σε θέση που επιτρέπει εύκολη πρόσβαση για ρυθμίσεις ή συντήρηση. Μια θέση σε απόσταση 15 μέτρων από τη βαλβίδα ελέγχου συνιστάται για την αποφυγή πιθανής χρονικής υστέρησης (καθυστέρηση απόκρισης) στο πνευματικό σήμα. Η θερμοκρασία γύρω από την θέση τοποθέτησης πρέπει να διατηρείται μεταξύ -20°C και 80°C για αξιόπιστες αποδόσεις. Ο πνευματικός ελεγκτής θα πρέπει να εγκατασταθεί σε σημείο όπου επηρεάζεται ελάχιστα από τις μεγάλες διακυμάνσεις της θερμοκρασίας, των διαβρωτικών ατμών, της σκόνης και των κραδασμών που υπερβαίνουν τα συνιστώμενα όρια.



<i>Αρ.</i>	<i>Ονοματολογία</i>	<i>Αρ.</i>	<i>Ονοματολογία</i>
1	Αναλογική ζώνη	7	Ρύθμιση δείκτη (κόκκινο)
2	Κουμπί ολοκληρωτικής δράσης	8	Δείκτης μέτρησης (μαύρο)
3	Κουμπί διαφορικής δράσης	9	Ρυθμιστής φίλτρου αέρα
4	Πνευματικό ρελέ	10	Βαλβίδα διακοπής αέρα
5	Σώμα	11	Αισθητήρας
6	Έλεγχος πίεσης αέρα εξόδου		

Υπάρχουν ωστόσο και κάποιες προδιαγραφές για τους πνευματικούς ελεγκτές:

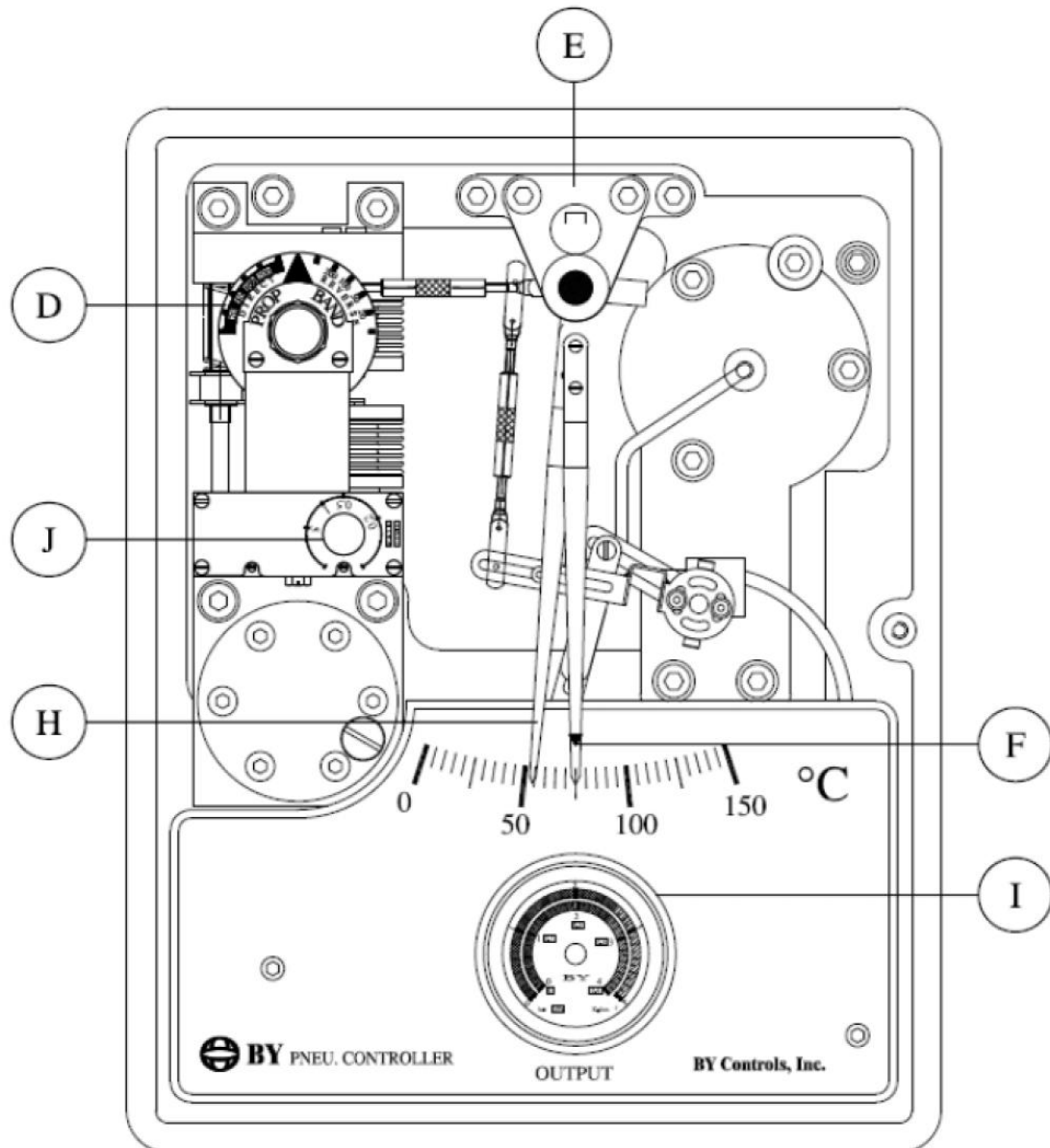
Δράση ελέγχου	Άμεση ή αντίστροφη
Μέθοδος ελέγχου	PI, PID
Αέρας εισόδου	2,4 ± 0,1 bar (35 ± 1.5 psi)
Αέρας εξόδου	0.4 ~ 2.0 bar (6 ~ 30 psi)
Κατανάλωση αέρα	Σταθερά: 0,13 Nm ³ /h, Μέγιστο: 2,6 Nm ³ /h
Αναλογική δράση	Αναλογική ζώνη 0~200%
Ολοκληρωτική δράση	0~10 λεπτά ανά επανάληψη
Διαφορική δράση	0~5 λεπτά ανά επανάληψη
Ακρίβεια	Μεταξύ 1% κλίμακα
Πνευματική σύνδεση	PT 1/4"
Βαθμολογημένη θερμοκρασία περιβάλλοντος	-20 ~ 60°C
Υλικό	Πολυάνθρακας

Λειτουργία

Για αναλογικό – ολοκληρωτικό έλεγχο (P + I) όπως φαίνεται στην εικόνα 1.

1. Πλήρως κλειστές οι μπρος και πίσω βαλβίδες διακοπής της βαλβίδας ελέγχου καθώς επίσης και την βαλβίδα παράκαμψης.
2. Εφαρμογή μια παροχή αέρα 2,4 bar και άνοιγμα της βαλβίδας εξαέρωσης του ρυθμιστή φίλτρου αέρα μέχρι να αδειάσει εντελώς το συμπύκνωμα.
3. Άνοιγμα της βαλβίδας ολοκληρωτικής δράσης περιστρέφοντας τη λαβή (J) δεξιόστροφα. Μετακίνηση του κόκκινου δείκτη περιστρέφοντας το δείκτη ρύθμισης (E) για να ρυθμίσετε το μανόμετρο σήματος εξόδου (I) στα 1,2 bar. Κλείσιμο Πλήρως της βαλβίδας περιστρέφοντας τη λαβή (J) αριστερόστροφα στη κλειδαριά.
4. Χρήση του δείκτη ρύθμισης (E) για να γίνει ρύθμιση της κόκκινης ένδειξης (F) στο σημείο ρύθμισης.
5. Περιστροφή του επιλογέα αναλογικής ζώνης για να προσαρμοστεί σε πλάτος 20% και έλεγχος της επιλεγμένης ενέργειας της βαλβίδας ελέγχου (**άμεση ενέργεια** = το σήμα εξόδου αυξάνεται καθώς αυξάνεται η μεταβλητή, **αντίστροφη ενέργεια** = το σήμα εξόδου αυξάνεται καθώς η μεταβλητή μειώνεται).
6. Πλήρως άνοιγμα της πίσω βαλβίδας διακοπής και της βαλβίδας παράκαμψης.
7. Άνοιγμα της μπροστινής βαλβίδας διακοπής αργά και πλήρως.
8. Αν η ρύθμιση ελέγχου τείνει να κυμαίνεται και ο μαύρος δείκτης ταλαντεύεται συνεχώς προς τον κόκκινο δείκτη, αυξάνεται σταδιακά το πλάτος της αναλογικής ζώνης μέχρι την αποκατάσταση της σταθερότητας.
9. Για να είναι σίγουρο ότι η αναλογική τιμή ζώνης είναι κατάλληλη, πραγματοποιείται μια σκόπιμη διακοπή μετακινώντας γρήγορα τον κόκκινο δείκτη από την επιθυμητή τιμή. Εάν η ταλάντωση ξανασυμβεί, να γίνει μια ελαφρώς διεύρυνση της αναλογικής ζώνης και επανάληψη της λειτουργίας μέχρι να αποκατασταθεί η σταθερότητα. Ο

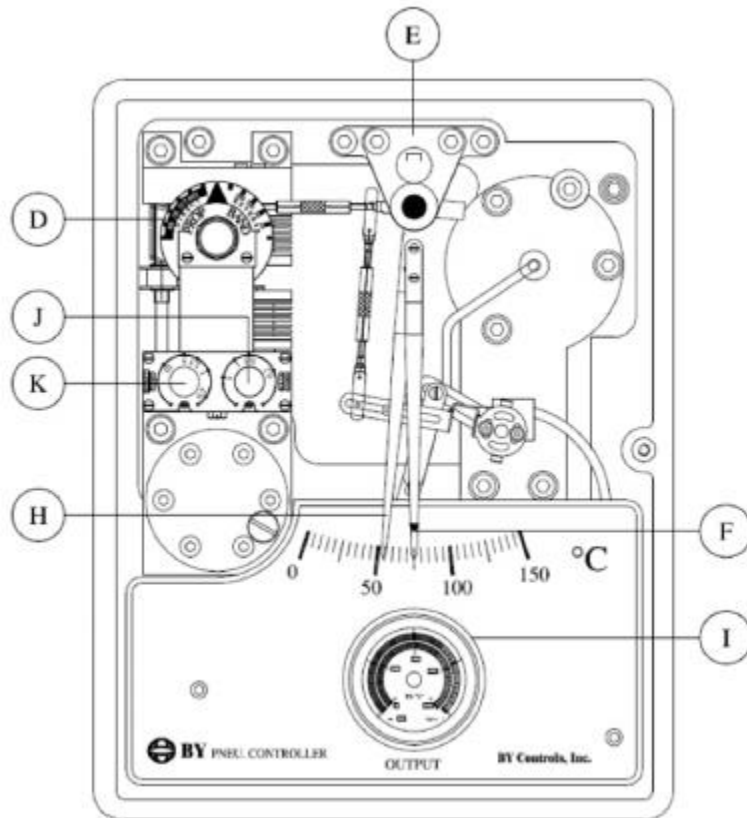
- καλύτερος έλεγχος επιτυγχάνεται με τη στενότερη αναλογική ζώνη, η οποία είναι συμβατή με τη σταθερότητα της διαδικασίας στα διάφορα φορτία.
10. Η μαύρη ένδειξη ενδέχεται να μην συμπίπτει με την κόκκινη ένδειξη στην επιθυμητή τιμή. Για να εξαιρεθεί η διαφορά, γίνεται σταδιακό άνοιγμα της βαλβίδας πλήρους δράσης μέχρι να συμπέσουν οι ενδείξεις και να προκληθεί σκόπιμη διακοπή, μετακινώντας γρήγορα την κόκκινη ένδειξη από την επιθυμητή τιμή. Εάν η μαύρη ένδειξη αρχίσει να κυμαίνεται, γίνεται αργό κλείσιμο της βαλβίδας πλήρους δράσης (J) μέχρι να αποκατασταθεί η σταθερότητα και οι δείκτες συμπίπτουν. Ξεκινά μια νέα διακοπή και γίνεται έλεγχος της διακύμανσης της μαύρης ένδειξης. Γύρισμα της βαλβίδας πλήρους δράσης (J) ξανά, εάν είναι απαραίτητο.



Εικόνα 1. Αναλογικός – Ολοκληρωτικός ελεγκτής (θερμοκρασίας)

Για αναλογικό – ολοκληρωτικό – διαφορικό έλεγχο (P + I + D) όπως φαίνεται στην εικόνα 2.

1. Πλήρως κλειστές οι βαλβίδες διακοπής προς και πίσω της βαλβίδας ελέγχου και της βαλβίδας παράκαμψης.
2. Άνοιγμα της βαλβίδας διαφορικής ενέργειας περιστρέφοντας τη λαβή (K) προς τα δεξιά.
3. Εφαρμογή παροχής αέρα στα 2,4 bar και άνοιγμα της βαλβίδας εξαέρωσης του ρυθμιστή φίλτρου αέρα μέχρι να αδειάσει τελείως το συμπύκνωμα.
4. Άνοιγμα της βαλβίδας πλήρους δράσης περιστρέφοντας τη λαβή (J) δεξιόστροφα. Μετακίνηση του κόκκινου δείκτη περιστρέφοντας το δείκτη ρύθμισης (E) για να ρυθμιστεί το μανόμετρο σήματος εξόδου (I) στα 1,2 bar. Κλείσιμο πλήρως της βαλβίδας περιστρέφοντας τη λαβή (J) αριστερόστροφα στη κλειδαριά.
5. Χρήση του δείκτη ρύθμισης (E) για ρύθμιση της κόκκινης ένδειξης (F) στο Σημείο ρύθμισης.
6. Περιστροφή του επιλογέα αναλογικής ζώνης ελέγχου (D) για ρύθμιση της αναλογικής ζώνης σε πλάτος 20% και έλεγχος της επιλεγμένης ενέργειας της βαλβίδας ελέγχου (**άμεση ενέργεια** = το σήμα εξόδου αυξάνεται καθώς αυξάνεται η μεταβλητή, **αντίστροφη ενέργεια** = το σήμα εξόδου αυξάνεται καθώς η μεταβλητή μειώνεται).
7. Άνοιγμα πλήρως της πίσω βαλβίδας διακοπής της βαλβίδας ελέγχου και της βαλβίδας παράκαμψης.
8. Άνοιγμα της εμπρός βαλβίδας διακοπής αργά και πλήρως.
9. Αν η ρύθμιση ελέγχου τείνει να κυμαίνεται και ο μαύρος δείκτης ταλαντεύεται συνεχώς προς τον κόκκινο δείκτη, αυξάνεται σταδιακά το πλάτος της αναλογικής ζώνης μέχρι την αποκατάσταση της σταθερότητας.
10. Για να είναι σίγουρο ότι η αναλογική τιμή ζώνης είναι κατάλληλη, ξεκινάει μια σκόπιμη διακοπή μετακινώντας γρήγορα τον κόκκινο δείκτη από την επιθυμητή τιμή. Εάν η ταλάντωση ξανασυμβεί, γίνεται ελαφρώς διεύρυνση της αναλογικής ζώνης και η λειτουργία επαναλαμβάνεται μέχρι να αποκατασταθεί η σταθερότητα. Ο καλύτερος έλεγχος επιτυγχάνεται με τη στενότερη αναλογική ζώνη, η οποία είναι συμβατή με τη σταθερότητα της διαδικασίας στα διάφορα φορτία.
11. Η μαύρη ένδειξη ενδέχεται να μην συμπίπτει με την κόκκινη ένδειξη στην επιθυμητή τιμή. Για να εξαιρεθεί η διαφορά, γίνεται σταδιακό άνοιγμα της βαλβίδας πλήρους δράσης μέχρι να συμπέσουν οι ενδείξεις και να προκληθεί σκόπιμη διακοπή, μετακινώντας γρήγορα την κόκκινη ένδειξη από την επιθυμητή τιμή. Εάν η μαύρη ένδειξη αρχίσει να κυμαίνεται, γίνεται αργό κλείσιμο της βαλβίδας πλήρους δράσης (J) μέχρι να αποκατασταθεί η σταθερότητα και οι δείκτες συμπίπτουν. Ξεκινά μια νέα διακοπή και γίνεται έλεγχος της διακύμανσης της μαύρης ένδειξης. Γύρισμα της βαλβίδας πλήρους δράσης (J) ξανά, εάν είναι απαραίτητο.



Εικόνα 2. Αναλογικός – Ολοκληρωτικός – Διαφορικός ελεγκτής (θερμοκρασίας)

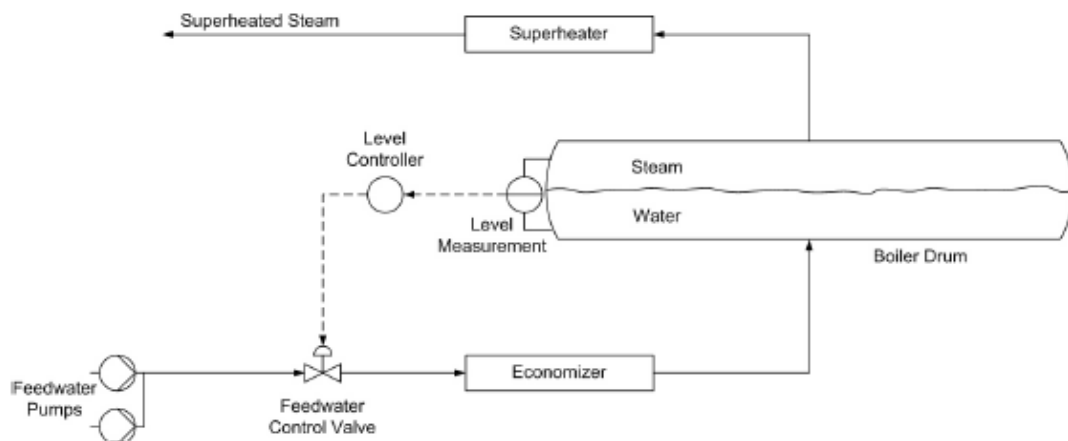
Αναλογικός έλεγχος στάθμης ατμοϋδροθαλάμου λέβητα

Οι ατμοπαραγωγοί συγκαταλέγονται στις σημαντικότερες και συνηθέστερες πηγές ισχύος των πλοίων είτε αποτελούν τμήμα του κύριου συστήματος κινήσεως με ατμοστρόβιλο είτε τροφοδοτούν βοηθητικά συστήματα όπως ατμοκινητήρες για τους γεραμούς φορτίου, αεροσυμπιεστές, διατάξεις την εκκίνηση μηχανών Diesel κτλ. Το παρόν κεφάλαιο παρουσιάζει το πνευματικό σύστημα ελέγχου, που χρησιμοποιείται για τη συνεχή ρύθμιση της στάθμης του νερού στον ατμοϋδροθάλαμο το λέβητα. Εάν η στάθμη του νερού ανέβει υπερβολικά, υπάρχει ο κίνδυνος διοχετεύσεως υγρού στον υπερθερμαντήρα και στην κατανάλωση, με αποτέλεσμα την ανεπαρκή λειτουργία του υπερθερμαντήρα ή και ενδεχόμενες καταστρεπτικές συνέπειες για τα ατμοκίνητα μηχανήματα. Εάν αντίθετα η στάθμη του νερού πέσει υπερβολικά υπάρχει ο κίνδυνος κυκλοφορίας αερίου στους αυλούς του λέβητα, με συνέπεια αναποτελεσματική μεταφορά θερμότητας ή και υπέρμετρη θερμική καταπόνηση και ζημιά στα στοιχεία εναλλαγής θερμότητας του ατμοπαραγωγού. Επομένως, η διατήρηση σταθερής στάθμης στον ατμοϋδροθάλαμο συμβάλει:

- Στην αποδοτική εκμετάλλευση του λέβητα, κάτι που έχει επίπτωση όχι μόνο στο χαμηλό κόστος καυσίμου αλλά και στον περιορισμό της περιβαλλοντικής επιβαρύνσεως από τις εκπομπές καυσαερίων.
- Στην ασφαλή λειτουργία και τη διάρκεια ζωής της εγκαταστάσεως. Η μάζα του νερού που ατμοποιείται αναπληρώνεται από νερό τροφοδοσίας (feedwater), το οποίο προσάγεται στο κατώτερο σημείο του θαλάμου. Στόχος του συστήματος ελέγχου (εικόνα 3) είναι να ρυθμίζει την τροφοδοσία νερού και να διατηρεί τη στάθμη του ατμοϋδροθαλάμου σταθερή, παρά τις διακυμάνσεις στη ζήτηση του ατμού και τις τυχόν αλλαγές στο σημείο λειτουργίας του λέβητα.

Το σύστημα ελέγχου περιλαμβάνει:

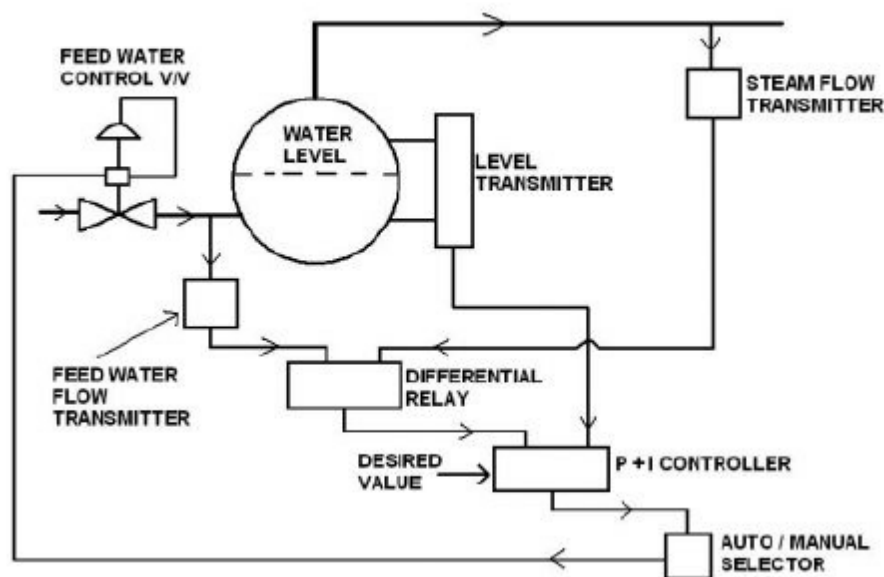
- **Αισθητήριο της στάθμης (Level transmitter – LT).** Πρόκειται για αναλογικό στοιχείο πίεσεως αέρα, που συνδέεται μηχανικά στον πλωτήρ ενός υδροδείκτη. Η στήλη του υδροδείκτη συνδέεται υδραυλικά παράλληλα με τον ατμοϋδροθάλαμο και μεταφέρει τη θερμική κατάσταση του νερού και του ατμού (temperature equalizing column) χωρίς τις διαταραχές της στάθμης λόγω ατμοποίησης.
- **Αισθητήρια της παροχής όγκου (Flow transmitters – FT)** του ατμού και του νερού. Συνήθως τα όργανα αυτά μετρούν την πτώση πίεσεως στις δυο πλευρές μιας ειδικά διαμορφωμένης στενώσεως (calibrated orifice). Η πτώση πίεσεως μετατρέπεται μηχανικά σε παροχή και μεταδίδεται στην έξοδο του οργάνου, ως πίεση αέρα.
- **Πνευματικά ελεγχόμενη βαλβίδα ρυθμίσεως** της παροχής του νερού τροφοδοσίας. Η βαλβίδα μετατρέπει το σήμα πίεσεως αέρα σε μετακίνηση της θέσεως ενός διαφράγματος που στραγγαλίζει ή απελευθερώνει τη ροή του νερού το οποίο προσάγει η καταθλιπτική αντλία τροφοδοσίας.
- **Ελεγκτής στάθμης (Level controller – LC),** ο οποίος εφαρμόζει το νόμο του ελέγχου με στόχο τη διατήρηση της στάθμης στην επιθυμητή τιμή στάθμη αναφοράς).



Εικόνα 3. Αναλογικός έλεγχος στάθμης ατμοϋδροθαλάμου

Στην κανονική λειτουργία του λέβητα, η ζήτηση ενέργειας είναι συνεχής και ο ατμός διοχετεύεται συνεχώς στην κατανάλωση. Αυτή η διαρκής απομάκρυνση ατμού πρέπει να αντισταθμίζεται από αντίστοιχη ροή νερού τροφοδοσίας έτσι ώστε να διατηρείται το ισοζύγιο μάζας δια μέσου του λέβητα. Επομένως, το σύστημα ελέγχου πρέπει να διατηρεί τη βαλβίδα τροφοδοσίας σε μια ενδιάμεση ανοικτή θέση και να ρυθμίζει τις μεταβολές γύρω από αυτήν όπως φαίνεται στην **εικόνα 4**. Στην περίπτωση συχνών και σημαντικών μεταβολών της ζήτησεως ατμού, ο ελεγκτής δυο στοιχείων έχει την τάση να προκαλεί ταχείες αλλαγές της παροχής τροφοδοσίας. Τα θερμικά φαινόμενα του λέβητα δεν μπορούν να ακολουθήσουν αυτές τις διαταραχές της τροφοδοσίας με αποτέλεσμα το σύστημα ελέγχου στάθμης να οδηγείται σε ταλαντευόμενη συμπεριφορά. Το φαινόμενο αυτό είναι ιδιαίτερα έντονο σε μεγάλους λέβητες, γι αυτό το λόγο χρησιμοποιείται ελεγκτής τριών στοιχείων με μια πρόσθετη αρνητική πρόσω-τροφοδότηση. Ειδικότερα ο ελεγκτής συνυπολογίζει την ήδη υφιστάμενη παροχή νερού τροφοδοσίας και μετριάζει, ανάλογα, την «προκαταβολική» δράση που αναφέρθηκε παραπάνω. Έτσι η συμμετοχή του τρίτου όρου μειώνει την ταχύτητα αποκρίσεως του συστήματος κλειστού βρόγχου χωρίς να επηρεάζει το σφάλμα μόνιμης κατάστασης.

Το πνευματικό σύστημα ελέγχου της στάθμης του ατμοϋδροθαλάμου συμβάλλει στη διατήρηση της ασφαλούς και οικονομικής λειτουργίας του λέβητα. Οι μικρότερες εγκαταστάσεις εφαρμόζουν απλό οικονομικό ελεγκτή που χρησιμοποιεί το σφάλμα της στάθμης για να μεταβάλλει τη θέση της βαλβίδας στη γραμμή του νερού τροφοδοσίας. Οι μεγαλύτεροι λέβητες χρησιμοποιούν ελεγκτές δυο ή τριών όρων με πρόσω-τροφοδότηση όπως φαίνεται στην **εικόνα 4**. Εάν οι ρυθμοί που εισάγονται από το σύστημα ελέγχου της στάθμης είναι χαμηλότεροι από τις ταχύτητες αποκρίσεως των θερμοδυναμικών φαινομένων του λέβητα, η απόκριση κλειστού βρόγχου προσεγγίζεται από ένα σύστημα πρώτης τάξεως.



Εικόνα 4. Έλεγχος στάθμης ναυτικού λέβητα με ελεγκτή δυο ή τριών όρων

Έλεγχος θερμοκρασίας λιπαντικού κύριας μηχανής

Η καλή λειτουργία των κινητήρων στηρίζεται στην αποδοτική λίπανση, που με τη σειρά της εξαρτάται από τη σωστή και συστηματική απομάκρυνση θερμότητας (ψύξη) του λιπαντικού. Ακολούθως αναφέρεται σε απλή ηλεκτρονική διάταξη ελέγχου, που χρησιμοποιείται για τη ρύθμιση της θερμοκρασίας του λαδιού σε μηχανές εσωτερικής καύσεως.

Ο σχεδιασμός των ΜΕΚ προβλέπει συγκεκριμένες προδιαγραφές για τη θερμοκρασία του λιπαντικού λαδιού. Εάν η θερμοκρασία του λαδιού είναι υψηλή, υπάρχει ο κίνδυνος υπέρμετρης αυξήσεως της τριβής στα έδρανα και τις άλλες επιφάνειες ολισθήσεως στον κινητήρα με αποτέλεσμα την ταχύτερη φθορά όλων των στρεφόμενων μερών και εν τέλει την καταστροφή του κινητήρα. Ταυτόχρονα, η αυξημένη θερμοκρασία σημαίνει μειωμένη απαγωγή θερμότητας από τα σημεία έντονης θερμικής καταπονήσεως, όπως οι βαλβίδες ή οι θυρίδες εξαγωγής, τα οποία σύντομα καταρρέουν (καίγονται). Ανάλογα, αν και λιγότερο έντονα, φαινόμενα συμβαίνουν και στην περίπτωση που η θερμοκρασία λαδιού είναι χαμηλή. Το «ψυχρό» λάδι έχει αυξημένο ιξώδες, κάτι που δεν συμφωνεί με την προδιαγραφή σχεδιασμού των εδράνων του κινητήρα. Επομένως, οι τριβές καταναλώνουν υπέρμετρα μεγάλο ποσοστό της παρεχόμενης στον κινητήρα ισχύος, με αποτέλεσμα ο κινητήρας να λειτουργεί με μικρή απόδοση μηχανικής ισχύος και ατελή καύση που επιβαρύνει το περιβάλλον.

Συνεπώς, η διατήρηση της θερμοκρασίας λαδιού του κινητήρα συμβάλλει:

- Στον περιορισμό των απαιτήσεων έκτακτης συντηρήσεως του κινητήρα που επιδρά άμεσα στην αντίστοιχη εξοικονόμηση δαπανών συντηρήσεως και έμμεσα στην διασφάλιση της απρόσκοπτης λειτουργίας του πλοίου.
- Στην αποδοτική εκμετάλλευση του κινητήρα, που έχει επίπτωση όχι μόνο στο χαμηλότερο κόστος καυσίμου αλλά και στον περιορισμό της περιβαλλοντικής επιβαρύνσεως από τις εκπομπές καυσαερίων, τις διαρροές λιπαντικού κλπ.
- Στην ασφαλή λειτουργία και τη διάρκεια ζωής της μηχανής.

Το λάδι ψύχεται σε εναλλάκτη (ψυγείο), όπου μεταφέρει τη θερμότητά του στο νερό ψύξεως. Στόχος του συστήματος ελέγχου είναι να ρυθμίζει τη ροή του νερού στο ψυγείο και να διατηρεί τη θερμοκρασία του λαδιού σταθερή παρά τις αλλαγές στις στροφές και το φορτίο του κινητήρα. Το σύστημα περιλαμβάνει:

- Αισθητήριο της θερμοκρασίας του λαδιού (Temperature transmitter –ΤΤ). Πρόκειται για αναλογικό στοιχείο ηλεκτρικής τάσεως αέρα που συνδέεται στη γραμμή προσαγωγής του λαδιού στη μηχανή.
- Ηλεκτρονικό αναλογικό ρυθμιστή. Ο ρυθμιστής φέρει όργανο με διπλή ένδειξη: τη μετρούμενη και την επιθυμητή θερμοκρασία του λαδιού. Ο χειριστής καταχωρεί τη θερμοκρασία αναφοράς τοποθετώντας το δείκτη της επιθυμητής θερμοκρασίας στην αντίστοιχη θέση.
- Ενισχυτή ρεύματος. Μέρος του ρυθμιστή ο ενισχυτής ρεύματος μετατρέπει το χαμηλής ισχύος σήμα του ρυθμιστή σε συνεχές ρεύμα σταθερής τιμής, ανάλογης με το επίπεδο του σήματος.
- Ηλεκτρικά ελεγχόμενη βαλβίδα ρυθμίσεως της παροχής του νερού ψύξεως. Μέσω ενός σωληνοειδούς πηνίου, η βαλβίδα μετατρέπει το ηλεκτρικό ρεύμα σε μετακίνηση της θέσεως ενός διαφράγματος, που στραγγαλίζει ή απελευθερώνει τη ροή του νερού, το οποίο προσάγει η αντλία νερού ψύξεως.

Το ηλεκτρονικό σύστημα ρυθμίσεως θερμοκρασίας λαδιού στον κινητήρα εξασφαλίζει ομαλή λίπανση και απαγωγή της θερμότητας από τον κινητήρα, αντισταθμίζοντας τις μεταβολές της ισχύος και τις αλλαγές στη θερμοκρασία του νερού ψύξεως. Η λειτουργία του στηρίζεται σε έναν απλό αναλογικό ελεγκτή τύπου P αλλά επαρκεί για την αποτελεσματική διατήρηση της θερμοκρασίας του λαδιού σε επιθυμητά επίπεδα.

ΥΔΡΑΥΛΙΚΟΙ ΕΝΕΡΓΟΠΟΙΗΤΕΣ

Οι υδραυλικοί επενεργητές (επενεργοποιητές) είναι οι πλέον ευέλικτοι από τους επενεργητές που χρησιμοποιούνται στις ναυτικές εγκαταστάσεις ελέγχου, διότι μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε εφαρμογές μεγάλης γκάμα ισχύος.

Οι υδραυλικοί ενεργοποιητές έχουν την ικανότητα της ομαλής ανταπόκρισης προς την ροή του ελεγχόμενου ρευστού, που είναι συνήθως λάδι, σχεδιάζονται για την παροχή της απαιτούμενης στρεπτικής ροπής χωρίς να χρησιμοποιούνται και άλλες μηχανικές διατάξεις.

Στο κάτωθι σχήμα 1 σημειώνονται ορισμένες χαρακτηριστικές περιπτώσεις που χρησιμοποιούνται στον αυτόματο έλεγχο ναυτικών εγκαταστάσεων.

Στο σχήμα 1(α) σημειώνεται τυπική περίπτωση υδραυλικού παλινδρομικού επενεργητή απλής ενέργειας. Σε αυτόν τον έλεγχο το λάδι εισέρχεται από την θυρίδα Α του εμβόλου και ασκεί την πίεση του στην αριστερή όψη του εμβόλου, ωθεί το βάκτρον του Χ προς τα δεξιά, εφόσον η δύναμη από την πίεση του λαδιού στην αριστερά πλευρά του εμβόλου υπερβεί την ασκούμενη από το ελατήριο δύναμη στην δεξιά πλευρά του εμβόλου. Αντιθέτως εάν η δύναμη του ελατηρίου υπερβεί την δύναμη από την πίεση του λαδιού το έμβολο και άρα και το βάκτρον του Χ κινούνται προς τα αριστερά.

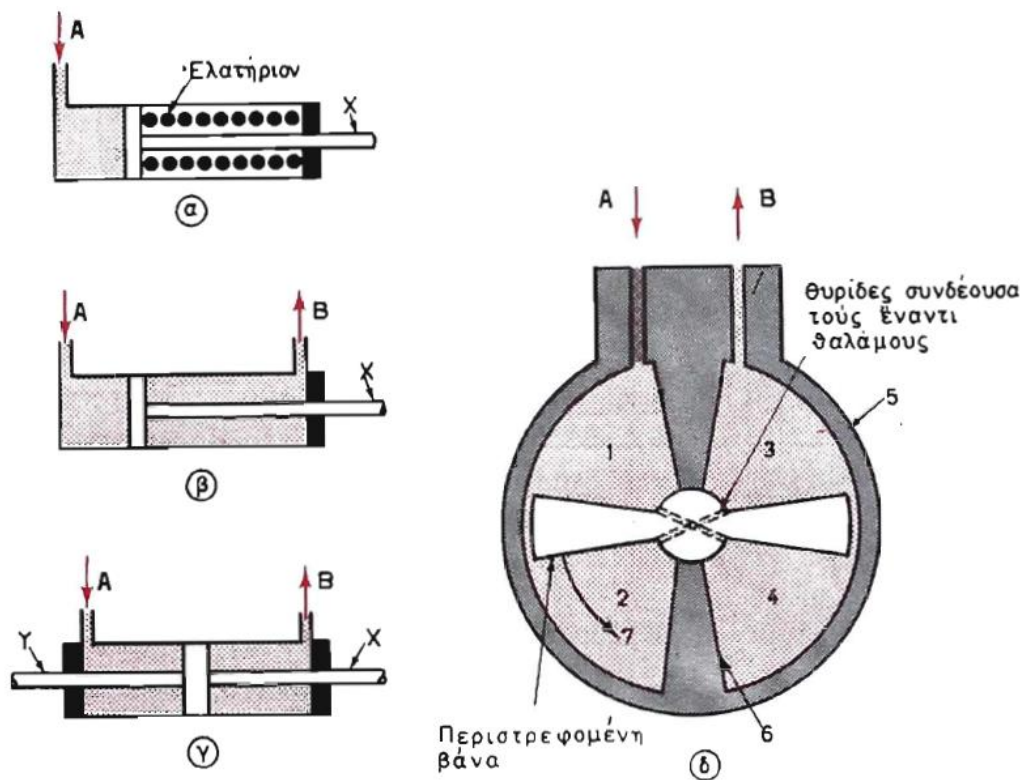
Στα σχήμα 1(β) και 1(γ) σημειώνονται επίσης τυπικές περιπτώσεις υδραυλικών παλινδρομικών επενεργητών διπλής ενέργειας με ένα ή δύο βάκτρα.

Στους ενεργοποιητές αυτούς, το ελεγχόμενο λάδι εισέρχεται από την θυρίδα Α του εμβόλου και ασκεί την πίεση του στην αριστερή όψη του εμβόλου, ωθεί το βάκτρον του Χ (περιπτώσεις β και γ) και Υ (περίπτωση γ) προς τα δεξιά. Συγχρόνως το λάδι που ευρίσκεται στον δεξιό χώρο του κυλίνδρου, ωθούμενο από το έμβολο, επιστρέφει μέσω της θυρίδας Β. Για την αντίστροφη κίνηση του εμβόλου, δηλαδή από δεξιά προς τα αριστερά, η θυρίδα Β γίνεται θυρίδα καταθλίψεως του λαδιού και η θυρίδα Α επιστροφής.

Οι ενεργοποιητές των περιπτώσεων α,β,γ, του σχήματος 1, εκτελούν γραμμική (παλινδρομική ευθύγραμμη) κίνηση, από δε τα βάκτρα Χ και Υ λαμβάνει κίνηση ο μηχανισμός της διορθωτικής δράσης.

Στο σχήμα 1 (δ) σημειώνεται επίσης τυπική περίπτωση υδραυλικού περιστροφικού επενεργητή. Αυτός αποτελείται από στρεφόμενη βάνα που βρίσκεται μέσα στον κύλινδρο 5, ο οποίος χωρίζεται σε δύο θαλάμους 1,2 και 3,4 με την βοήθεια του διαφράγματος 6. Το καταθλιβόμενο στον χώρο 1 λάδι, μέσω της θυρίδας Α, ωθεί την βάνα περιστρέφοντας την κατά την διεύθυνση του βέλους 7. Την ίδια στιγμή το ευρισκόμενο στον χώρο 3 λάδι ωθείται από την βάνα προς την θυρίδα Β, η οποία είναι και η θυρίδα επιστροφής του λαδιού στην εξεταζόμενη περίπτωση.

Εάν τώρα αλλάξει η διεύθυνση ροής του λαδιού δηλαδή ένα το λάδι καταθλίβεται από την θυρίδα Β και επιστρέφει από την θυρίδα Α, αλλάζει η φορά περιστροφής της βάνας η οποία τώρα κινείται ανάποδα από το βέλος 7. Στον περιγραφέντα υδραυλικό περιστροφικό επενεργητή από τον άξονα της βάνας λαμβάνει περιστροφική κίνηση ο μηχανισμός της διορθωτικής δράσης.



Σχήμα 1: Υδραυλικοί επενεργητές: A = θυρίδα καταθλίψεως λαδιού, B = θυρίδα επιστροφής λαδιού, Y, X = Βάκτρα που μεταβιβάζουν την δύναμη και κίνηση στο έμβολο, α) Υδραυλικός επενεργητής απλής ενέργειας, β) Υδραυλικός παλινδρομικός επενεργητής διπλής ενέργειας απλού βάκτρου, γ) Υδραυλικός παλινδρομικός επενεργητής διπλής ενέργειας διπλού βάκτρου, δ) Υδραυλικός περιστροφικός επενεργητής

ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΤΩΝ ΥΔΡΑΥΛΙΚΩΝ ΕΠΕΝΕΡΓΗΤΩΝ

- Υψηλή απόδοση στην μέγιστη ισχύ και ταχύτητα
- Ομαλή κίνηση σε ευρεία περιοχή ταχυτήτων
- Εξαιρετικά υψηλή ισχύς εξόδου και ταχύτητα αντίδρασης για δεδομένο μέγεθος και βάρος
- Αυτολίπανση λόγω του χρησιμοποιούμενου λαδιού σαν κινητήριο μέσο
- Σε περίπτωση ανωμαλίας ο επενεργητής παραμένει ακίνητος στην θέση του που παρουσιάστηκε η ανωμαλία, λόγω της ύπαρξης ειδικών ανεπίστροφων βαλβίδων στις γραμμές παροχής και επιστροφής του λαδιού

ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΤΩΝ ΥΔΡΑΥΛΙΚΩΝ ΕΠΕΝΕΡΓΗΤΩΝ

- Ανάγκη συντήρησης των δικτύων υψηλής πίεσης λαδιού για να μην υπάρχουν διαρροές
- Σε περίπτωση ύπαρξης αέρα μέσα στο σύστημα η διορθωτική δράση του επενεργητή είναι εσφαλμένη
- Η πιθανή ύπαρξη διαρροής του λαδιού στο δίκτυο επηρεάζει την ακρίβεια λειτουργίας του επενεργητή

- Η μεταβολή του ιξώδους του λαδιού λόγω μεταβολών της θερμοκρασίας επηρεάζει την απόδοση του επενεργητή
- Η τυχόν διαρροή λαδιού από το δίκτυο εγκυμονεί κινδύνους βλάβης των παρακειμένων συσκευών ή μηχανημάτων

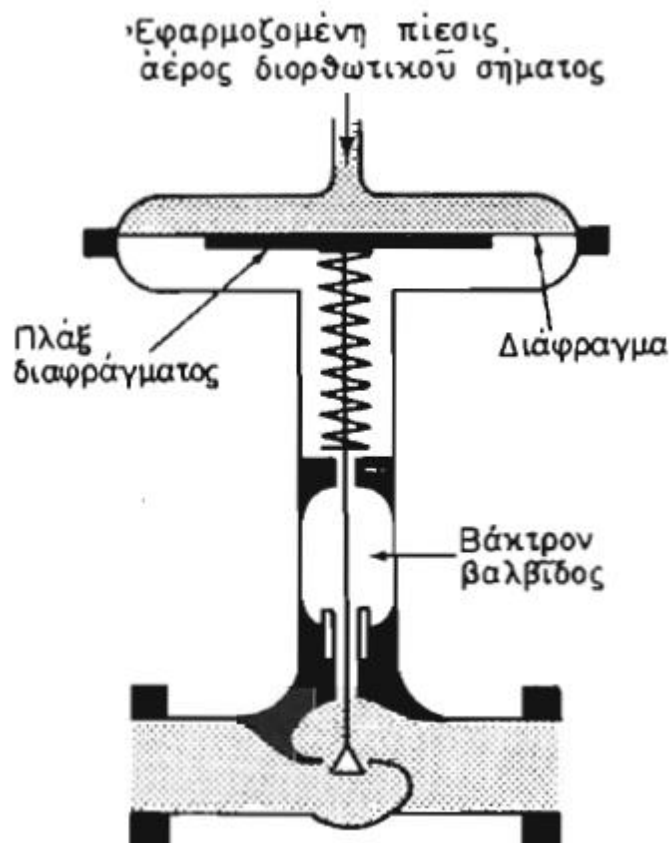
ΠΝΕΥΜΑΤΙΚΟΙ ΕΠΕΝΕΡΓΗΤΕΣ

Οι πνευματικοί επενεργητές είναι ίσως οι πλέον ευρέως χρησιμοποιούμενοι στα συστήματα αυτομάτου ελέγχου των ναυτικών εγκαταστάσεων.

Στους επενεργητές αυτούς χρησιμοποιείται πεπιεσμένος αέρας τόσο για την μετάδοση του διορθωτικού σήματος από τον ελεγκτή στον επενεργητή όσο και για την λειτουργία του ιδίου του επενεργητή

Οι πνευματικοί επενεργητές χρησιμοποιούνται γενικά στα συστήματα αυτομάτου ελέγχου, όπου η μεγάλη ταχύτητα ανταπόκρισης του συστήματος δεν είναι βασικής σημασίας.

Στο σχήμα 2.α., φαίνεται το σκαρίφημα ενός εκ των ευρύτατων διαδεδομένων ειδών πνευματικού επενεργητή. Ο επενεργητής αυτός είναι τύπου διαφράγματος, η δε λειτουργία του είναι προφανής από το σχήμα. Το είδος αυτό επενεργητή είναι το καταλληλότερο για την λειτουργία βαλβίδων, σε εφαρμογές χαμηλής πτώσης πίεσης του παράγοντος ελέγχου.



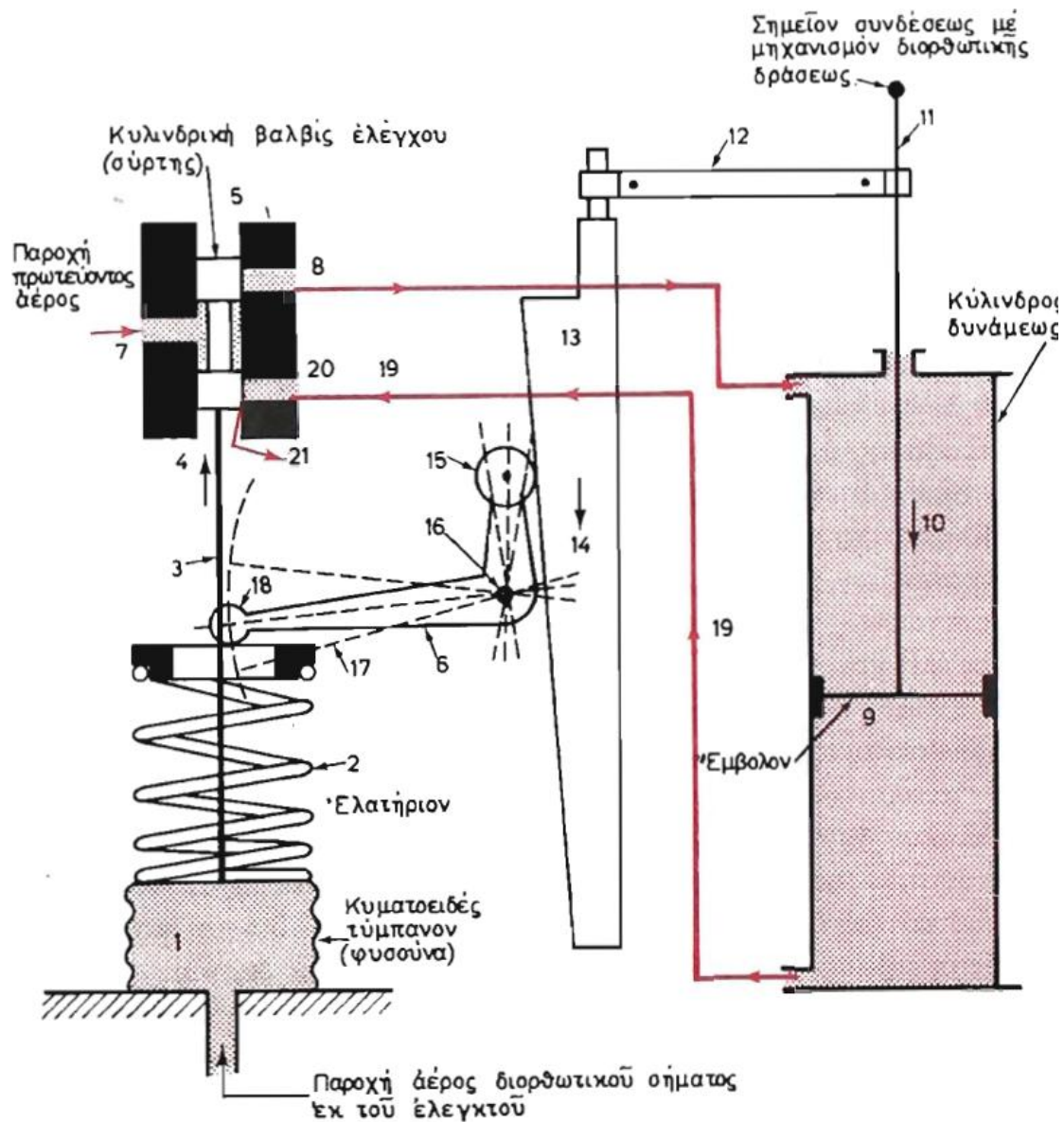
Σχήμα 2.α: Πνευματικός επενεργητής

Στο σχήμα 2.β., φαίνεται το σκαρίφημα ενός άλλου είδους πνευματικού επενεργητή κατάλληλο για την λειτουργία συστημάτων (όπως βαλβίδες κλπ) που απαιτούν μεγαλύτερη δύναμη για την λειτουργία τους, δεδομένου ότι οι επενεργητές του σχήματος 2.α., δίνουν ικανοποιητικής ακρίβειας αποτέλεσμα μόνο για την λειτουργία βαλβίδων, των οποίων το βάκτρο δεν παρουσιάζει μεγάλη τριβή κατά την λειτουργία του.

Στον επενεργητή του σχήματος 2.β., η πίεση του αέρα του διορθωτικού σήματος, που προέρχεται από τον ελεγκτή, εφαρμόζεται στο κυματοειδές τύμπανο (φυσούνα) 1. Ας υποθέσουμε λοιπόν ότι η πίεση του αέρα στην φυσούνα 1 αυξάνει, με αποτέλεσμα η δύναμη που δημιουργείται να υπερνικήσει την δύναμη του ελατηρίου 2, τότε το βάκτρο 3 που είναι προσαρμοσμένο επί της φυσούνας θα κινηθεί κατά την διεύθυνση του βέλους 4, ωθώντας προς τα πάνω την κυλινδρική βαλβίδα ελέγχου (σύρτης) 5.

Συγχρόνως όμως το ελατήριο 2 θα συσπειρωθεί, δεδομένου ότι το στέλεχος 6 δεν το αφήνει να εκτονωθεί προς τα πάνω. Έτσι η δύναμη του ελατηρίου επί της φυσούνας αυξάνει και τελικά αυτή εξισώνεται με την δύναμη που προέρχεται από την πίεση του αέρα του διορθωτικού σήματος. Αποτέλεσμα αυτού είναι η βαλβίδα ελέγχου 5 να ισορροπήσει σε μία ορισμένη θέση προς τα πάνω. Τώρα λοιπόν η παροχή του πρωτεύοντος αέρα (ο οποίος ουδεμία σχέση έχει με τον αέρα του διορθωτικού σήματος αλλά προέρχεται κατευθείαν από το δίκτυο πεπιεσμένου αέρα), θα οδηγηθεί μέσω των θυρίδων 7, 8, στην άνω όψη του εμβόλου 9, σπρώχνοντας αυτό προς τα κάτω (δिएύθυνση βέλους 10). Η προς τα κάτω κίνηση του εμβόλου έχει ως αποτέλεσμα την προς τα κάτω επίσης κίνηση του βάκτρου 11, από το οποίο και λαμβάνει κίνηση ο μηχανισμός της διορθωτικής δράσης (π.χ. το βάκτρο μίας βαλβίδας ελέγχου της ροής του πετρελαίου). Συγχρόνως η προς τα κάτω (βέλος 10) κίνηση του βάκτρου 11, έχει ως αποτέλεσμα την προς τα κάτω επίσης κίνηση του βραχίονα 12, ο οποίος είναι στέρεα συνδεδεμένος και με το 11 αλλά και με το ειδικό κομμάτι 13. Αλλά η κατά την διεύθυνση του βέλους 14 κίνησης του 13, έχει σαν συνέπεια την περιστροφή του στελέχους 6 περί τον άξονα 16 έτσι, ώστε το κάτω σκέλος του στελέχους 6 να λάβει την θέση 17, συμπιέζοντας έτσι το ελατήριο 2. Τώρα η δύναμη από το ελατήριο 2 γίνεται μεγαλύτερη από την δύναμη, που προέρχεται από την πίεση του αέρα στην φυσούνα 1, με τελικό αποτέλεσμα την προς κάτω κίνηση του βάκτρου 3 και την θέση του σύρτη 5 στην μέση της θέσης του. Έτσι διακόπτεται η προς τα κάτω κίνηση του εμβόλου 9. Σημειώνεται εδώ ότι κατά την προς τα κάτω κίνηση του εμβόλου (η οποία προήλθε από την προς τα άνω κίνηση του σύρτη 5), ο αέρας που ευρίσκεται στην κάτω όψη του εμβόλου φεύγει στην ατμόσφαιρα (χώρος 21) ακολουθώντας τα βέλη 19, μέσω της θυρίδας 20.

Τα αντίθετα από τα ανωτέρω περιγραφέντα θα συμβούν εάν μειωθεί η πίεση του αέρα (διορθωτικού σήματος) στην φυσούνα 2.



Σχήμα.2.β.: Πνευματικός επενεργητής

ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΤΩΝ ΠΝΕΥΜΑΤΙΚΩΝ ΕΠΕΝΕΡΓΗΤΩΝ

- Το χρησιμοποιούμενο μέσο λειτουργίας τους , ο αέρας, διατίθεται ελεύθερος στην φύση, είναι ελαφρύς και δεν εγκυμονεί κινδύνους πυρκαγιάς (σε αντίθεση με το λάδι των υδραυλικών επενεργητών)
- Η τυχόν διαρροή αέρα από το δίκτυο δεν εγκυμονεί κινδύνους βλάβης στις παρακείμενες συσκευές ή μηχανήματα
- Οι μεταβολές της θερμοκρασίας του περιβάλλοντος δεν έχουν επίδραση επί του ιξώδους του μέσου λειτουργίας των πνευματικών επενεργητών
- Οι περισσότεροι των πνευματικών επενεργητών είναι φθηνοί στην κατασκευή τους

- Η συντήρησή τους είναι εύκολη και δεν απαιτείται να γίνεται σε μικρά χρονικά διαστήματα
- Στους πνευματικούς επενεργητές υπάρχει η δυνατότητα αποθηκείωσης του αέρα σε αεροφιάλες, πράγμα που τους καθιστά ικανούς να λειτουργούν απρόσκοπτα για κάποιο χρονικό διάστημα έστω και ένα έχει υποστεί βλάβη ο αεροσυμπιεστής παροχής πεπιεσμένου αέρα

ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΤΩΝ ΠΝΕΥΜΑΤΙΚΩΝ ΕΠΕΝΕΡΓΗΤΩΝ

- Στα συστήματα των πνευματικών επενεργητών καθίσταται αναγκαία η ύπαρξη ικανού αριθμού μεγάλων αεροφιαλών για την διατήρηση σταθερής πίεσης πεπιεσμένου αέρα, προκειμένου αυτός να μπορεί να ανταπεξέλθει τις ταχείες και συχνές αλλαγές των απαιτήσεων.
- Είναι αναγκαίο να υπάρχουν δύο αεροσυμπιεστές για την εξασφάλιση συνεχούς παροχής αέρα.
- Λόγω της συμπιεστότητας του αέρα, απαιτείται κάποιο χρονικό διάστημα για την ανάπτυξη της απαιτούμενης ωστικής δύναμης από τον επενεργητή
- Η ικανότητα μεταφοράς ισχύων είναι σχετικά αργή με αποτέλεσμα να καθίσταται δυσχερής η γρήγορη ανταπόκριση των πνευματικών επενεργητών
- Οι διατάξεις των πνευματικών επενεργητών είναι αρκετά πολύπλοκες, ιδίως όταν απαιτείται διατήρηση του επενεργητή στην θέση του σε περίπτωση απώλειας της παροχής πεπιεσμένου αέρα.

13. ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΛΟΓΙΚΟΥ ΑΥΤΟΜΑΤΙΣΜΟΥ

Σχεδίαση συστημάτων λογικού αυτοματισμού

6

6.1 Γενικά.

Σε αυτό το κεφάλαιο παρουσιάζεται η διαδικασία σχεδίασεως συστημάτων λογικού αυτοματισμού. Ειδικότερα, παρουσιάζονται τα κυκλώματα συνδυαστικού αυτοματισμού, με τη διαδικασία καταστρώσεως ενός προβλήματος αυτοματισμού σε μορφή λογικής εξισώσεως και την απλοποίηση του κυκλώματος που προκύπτει, καθώς επίσης και ο ακολουθιακός αυτοματισμός με τη μέθοδο απεικονίσεως και προδιαγραφής ακολουθιακών συστημάτων GRAFCET. Και οι δύο παραπάνω κατηγορίες ανήκουν στο πεδίο του λογικού αυτοματισμού και αποτελούν σημαντικά εργαλεία για την ανάπτυξη συστημάτων αυτοματισμού προετοιμάζοντας επίσης τον τεχνικό στη χρήση προγραμματιζομένων λογικών ελεγκτών (PLC).

6.2 Η διαδικασία σχεδίασεως.

Ο στόχος της σχεδίασεως είναι η διατύπωση του **προβλήματος αυτοματισμού** και η διαμόρφωση ενός κατάλληλου **κυκλώματος αυτοματισμού**. Δηλαδή, η σχεδίαση αφορά στη μετάβαση από τη διατύπωση του προβλήματος (εισερχόμενο βέλος στο σχήμα 6.2) στη λύση, δηλαδή στο σχέδιο ενός συστήματος αυτοματισμού, ικανού να αντιμετωπίζει επαρκώς το πρόβλημα (εξερχόμενο βέλος στο σχήμα 6.2).

Στη γενική περίπτωση, η διατύπωση του προβλήματος αυτοματισμού αποτελείται από δύο αλληλένδετα μέρη:

α) Την αναφορά και την καταγραφή ορισμένων σημαντικών φυσικών παραμέτρων (π.χ. η θερμοκρα-

σία ενός χώρου, η στάθμη μιας δεξαμενής, το ρεύμα που διαρρέει ένα πηνίο), που παρουσιάζουν ενδιαφέρον για τη συγκεκριμένη εφαρμογή για την οποία ο αυτοματισμός προορίζεται.

β) Την περιγραφή της επιθυμητής συμπεριφοράς αυτών των φυσικών παραμέτρων (π.χ. οι τιμές τους να διατηρούνται μέσα σε ορισμένα όρια που απαιτούνται για την ασφαλή λειτουργία των σχετικών μηχανών ή διατάξεων).

6.3 Λογικός αυτοματισμός και συνδυαστικός αυτοματισμός.

Εδώ θα επικεντρωθούμε σε προβλήματα λογικού αυτοματισμού. Πρόκειται για προβλήματα που διατυπώνονται με **λογικές προτάσεις**, δηλαδή με εκφράσεις που μπορούν να είναι είτε αληθείς είτε ψευδείς. Για παράδειγμα, ο σκοπός του αυτοματισμού για τη ρύθμιση της θερμοκρασίας ενός χώρου διατυπώνεται ως εξής: «**η θερμοκρασία να είναι μικρότερη από 28 °C**». Αυτό είναι κάτι που κάθε στιγμή είτε συμβαίνει (δηλ. επαληθεύεται) είτε όχι (δηλ. διαψεύδεται). Η εξέταση αυτής της κατηγορίας προβλημάτων μας επιτρέπει να εκφράσουμε το πρόβλημα αυτοματισμού ως σχέση μεταξύ **λογικών μεταβλητών**. Οι λογικές μεταβλητές είναι παράμετροι που παίρνουν δύο τιμές: «Αληθής» (true -1) ή «Ψευδής» (false - 0). Οι λογικές μεταβλητές συνδέονται μεταξύ τους μέσω λογικών πράξεων, σύμφωνα με την άλγεβρα Boole.

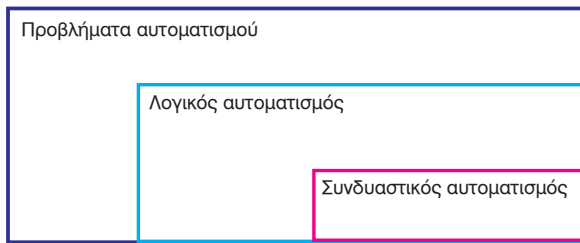
Το προϊόν της σχεδίασεως είναι το **κύκλωμα αυτοματισμού**, που μπορεί να λάβει τις εξής δύο μορφές:

α) Να είναι το σχέδιο του ηλεκτρικού κυκλώματος που υλοποιεί τον αυτοματισμό. Τα ηλεκτρικά κυκλώματα αυτοματισμού λειτουργούν ελέγχοντας την κατανομή του ηλεκτρικού ρεύματος διά μέσου επαφών, ηλεκτρονόμων και άλλων ηλεκτρικών στοιχείων. Για το λόγο αυτό ονομάζονται επίσης και **κυκλώματα επαφών**.



Σχ. 6.2.

Η διαδικασία σχεδίασεως κυκλωμάτων αυτοματισμού.



Σχ. 6.3α.

Κατηγορίες προβλημάτων αυτοματισμού.

β) Να είναι το λογικό κύκλωμα που αναπαριστά τη «λογική» του αυτοματισμού με συμβολικό τρόπο. Τα κυριότερα σύμβολα αυτής της αναπαραστάσεως είναι οι λογικές πύλες. Οι λογικές πύλες καθορίζουν τις σχέσεις και τις αλληλεξαρτήσεις μεταξύ των λογικών μεταβλητών που εμπλέκονται στο πρόβλημα αυτοματισμού. Για το λόγο αυτό τα λογικά κυκλώματα ονομάζονται επίσης και *κυκλώματα πυλών*.

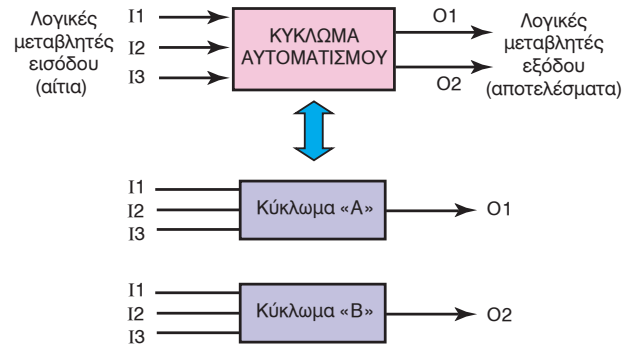
Επιπλέον θα αναφερθούμε σε μια ειδικότερη υποκατηγορία προβλημάτων λογικού αυτοματισμού, όπως δείχνει το σχήμα 6.3α, που είναι τα *συστήματα συνδυαστικού αυτοματισμού*, δηλαδή τα συστήματα των οποίων η έξοδος κάθε στιγμή καθορίζεται από τις τιμές των εισόδων κατά την ίδια χρονική στιγμή και όχι από τις προηγούμενες τιμές. Τα συστήματα αυτά ονομάζονται και *συστήματα χωρίς μνήμη*.

6.3.1 Διατύπωση πίνακα αληθείας.

Το πρώτο στάδιο για τη σχεδίαση ενός κυκλώματος συνδυαστικού αυτοματισμού είναι η διατύπωση του προβλήματος αυτοματισμού με τη μορφή *πίνακα αληθείας* (truth table). Η εργασία αυτή περιλαμβάνει δύο σημαντικά βήματα:

1) Διάκριση των μεταβλητών αιτίου-αποτελέσματος.

Το πρώτο βήμα αφορά στο νοηματικό διαχωρισμό μεταξύ των λογικών *μεταβλητών εισόδου* και των *μεταβλητών εξόδου* του κυκλώματος αυτοματισμού. Μεταβλητή εξόδου του κυκλώματος αυτοματισμού είναι εκείνη που δέχεται τιμές (καθορίζεται) από το κύκλωμα αυτοματισμού. Δηλαδή, στο κύκλωμα αυτοματισμού έχει ανατεθεί να χειρίζεται τις αντίστοιχες παραμέτρους. Μια μεταβλητή εξόδου ονομάζεται επίσης και *αποτέλεσμα* για προφανείς λόγους. Συνήθως, οι μεταβλητές εισόδου συμβολίζονται με το γράμμα I από τον αγγλικό όρο Input ή από παραπλήσιο σύμβολο (π.χ. το γράμμα Q, ώστε να αποφεύγεται η σύγχυση του κεφαλαίου όμιζρον «O» με το μηδέν «0»). Έτσι, οι μεταβλητές εξόδου μπορούν να συμβολίζονται ως O1, O2, O3 κλπ.



Σχ. 6.3β.

Το κύκλωμα αυτοματισμού ως σχέση «αιτίου-αποτελέσματος».

Αντίθετα, μεταβλητή εισόδου του κυκλώματος αυτοματισμού είναι μια εξωτερική, ως προς το κύκλωμα αυτοματισμού, συνθήκη που καθορίζεται από το περιβάλλον. Στην περίπτωση αυτή, στο κύκλωμα αυτοματισμού έχει ανατεθεί να ανταποκρίνεται στις αντίστοιχες παραμέτρους. Οι μεταβλητές αυτές ονομάζονται και *αίτια*, ακριβώς διότι προξενούν την αντίδραση του κυκλώματος αυτοματισμού. Συνήθως, οι μεταβλητές εισόδου συμβολίζονται με το γράμμα I από τον αγγλικό όρο Input. Έτσι, οι μεταβλητές εξόδου μπορούν να συμβολίζονται ως I1, I2, I3 κλπ. Η διάκριση αυτή οδηγεί στη διατύπωση του προβλήματος αυτοματισμού και του αντίστοιχου κυκλώματος αυτοματισμού με τη μορφή σχέσεως «αιτίου-αποτελέσματος», όπως παρουσιάζεται στο σχήμα 6.3β.

Το υποθετικό κύκλωμα του σχήματος 6.3β έχει τρεις λογικές εισόδους και δύο λογικές εξόδους. Επομένως, η διατύπωση του προβλήματος αυτοματισμού πρέπει να περιγράφει την επιθυμητή λογική τιμή (0 ή 1) κάθε εξόδου για όλους τους συνδυασμούς τιμών των τριών εισόδων. Αντίστοιχα, το κύκλωμα αυτοματισμού πρέπει να παρακολουθεί την κατάσταση των τριών λογικών μεταβλητών εισόδου και να επιβάλλει «κατάλληλες τιμές» στις δύο λογικές μεταβλητές εξόδου. Οι «κατάλληλες τιμές» περιγράφονται επίσης στη διατύπωση του προβλήματος αυτοματισμού.

2) Σχηματισμός του πίνακα αληθείας.

Ο πίνακας αληθείας απεικονίζει τις τιμές των λογικών μεταβλητών εξόδου για κάθε δυνατό συνδυασμό των τιμών των λογικών εισόδων. Από μόνη της, κάθε λογική είσοδος λαμβάνει δύο διαφορετικές τιμές: 1 ή 0. Εάν έχουμε άλλη μια είσοδο, τότε κάθε τιμή της πρώτης συνδυάζεται με τις δύο δυνατές τιμές της

δεύτερης. Επομένως, έχουμε τέσσερις συνδυασμούς συνολικά. Επαναλαμβάνοντας αυτόν το συλλογισμό για τρεις, τέσσερις κ.ο.κ. μεταβλητές εισόδου καταλήγουμε ότι N μεταβλητές εισόδου σχηματίζουν 2^N διαφορετικούς συνδυασμούς. Αυτός είναι και ο αριθμός των γραμμών του πίνακα αληθείας.

Έτσι, στην περίπτωση του κυκλώματος του σχήματος 6.3β, ο πίνακας αληθείας θα έχει $2^3=8$ γραμμές, που αντιστοιχούν στους συνδυασμούς τιμών των τριών εισόδων και $3+2=5$ στήλες, που αντιστοιχούν στις λογικές μεταβλητές (εισόδου και εξόδου) που εμπλέκονται στη διατύπωση του προβλήματος αυτοματισμού. Ο πίνακας αληθείας παρουσιάζεται στον πίνακα 6.3.1 (οι τιμές των μεταβλητών εξόδου είναι αυθαίρετες και δεν αντιστοιχούν σε μια συγκεκριμένη «επιθυμητή συμπεριφορά»).

Παράδειγμα.

Ένα σύστημα παροχής έχει ως σκοπό να απομακρύνει τα νερά της βροχής αποφεύγοντας όμως, κατά το δυνατόν, την υπερχείλιση των δεξαμενών και αγωγών που χρησιμοποιούνται για αυτήν την απομάκρυνση (σχ. 6.3γ). Τα νερά της βροχής (όμβρια ύδατα) συγκεντρώνονται αρχικά σε ένα φρεάτιο. Το φρεάτιο είναι εφοδιασμένο με διακόπτη συνδεδεμένο με πλωτήρα, που ενεργοποιείται όταν η στάθμη ανέβει σε σημείο υπερχείλισης. Το νερό του φρεατίου μπορεί να παροχετεύεται σε έναν κεντρικό σωλήνα αποχετεύσεως μέσω ηλεκτρικής αντλίας. Ο σωλήνας είναι επίσης εφοδιασμένος με πλωτήρα υπερχείλισης ακριβώς όπως και το φρεάτιο. Σκοπός του αυτοματισμού είναι να διατηρεί τη

στάθμη του φρεατίου και του σωλήνα κάτω από τη στάθμη υπερχείλισης, δίνοντας όμως προτεραιότητα στο σωλήνα. Εάν η στάθμη του σωλήνα πλησιάσει την υπερχείλιση, τότε το σύστημα πρέπει να ενεργοποιεί ένα ηχητικό σήμα (σειρήνα).

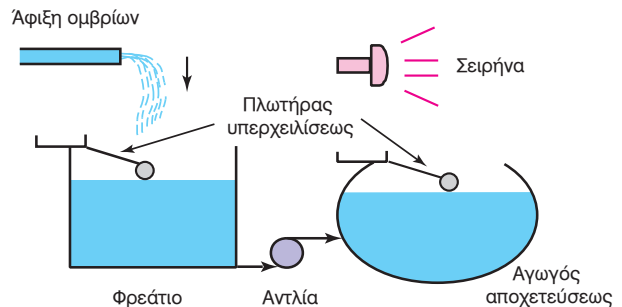
Από το παραπάνω πρόβλημα αυτοματισμού είναι φανερό ότι το κύκλωμα αυτοματισμού «χειρίζεται» δύο λογικές μεταβλητές (μεταβλητές εξόδου): τη λειτουργία της αντλίας και την ενεργοποίηση της σειρήνας. Συγκεκριμένα, το κύκλωμα αυτοματισμού παίρνει αποφάσεις και αναλόγως καθορίζει την τιμή της κάθε μιας μεταβλητής (αληθής ή ψευδής). Επομένως, αυτές είναι οι λογικές μεταβλητές εξόδου του κυκλώματος.

Σύμφωνα με την εκφώνηση του προβλήματος αυτοματισμού, για να καταλήξει στις όποιες αποφάσεις, το κύκλωμα εισόδου πρέπει να «γνωρίζει» δύο πράγματα: εάν έχει υπερχείλισει το φρεάτιο και εάν έχει υπερχείλισει ο σωλήνας αποχετεύσεως. Δηλαδή, το κύκλωμα πρέπει να ανταποκρίνεται στις λογικές καταστάσεις (αληθής ή ψευδής) αυτών των δύο μεγεθών. Επομένως, αυτές είναι οι λογικές μεταβλητές εισόδου. Συνολικά, το κύκλωμα αυτοματισμού συνδέεται με το περιβάλλον όπως στο σχήμα 6.3δ. Τα βέλη του σχήματος δείχνουν την κατεύθυνση της ροής της πληροφορίας. Η πληροφορία π.χ.

ΠΙΝΑΚΑΣ 6.3.1.

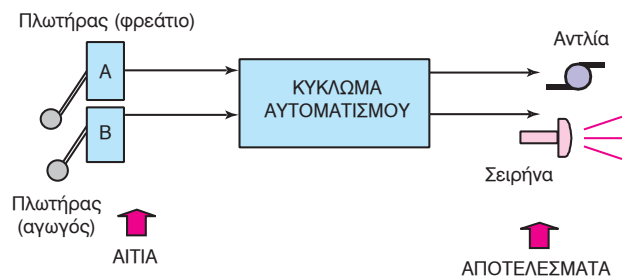
Πίνακας αληθείας για το υποθετικό κύκλωμα του σχήματος 6.3β.

I1	I2	I3	O1	O2
0	0	0	0	1
0	0	1	1	0
0	1	0	1	0
1	0	0	0	1
0	1	1	1	1
1	1	0	0	1
1	0	1	0	0
1	1	1	0	1
«αίτια»			«αποτελέσματα»	



Σχ. 6.3γ.

Στοιχεία του προβλήματος αυτοματισμού.



Σχ. 6.3δ.

Στοιχεία του προβλήματος αυτοματισμού.

για την υπερχείλιση (I2) μεταφέρεται από τον πλωτήρα υπερχείλισης του σωλήνα στο κύκλωμα αυτοματισμού ή η πληροφορία για την ενεργοποίηση της αντλίας (O1) εκπορεύεται από το κύκλωμα αυτοματισμού προς την αντλία. Αντίθετα, τα βέλη του σχήματος 6.3γ δείχνουν τη ροή του νερού.

Συγκρίνοντας τα δύο σχήματα θα διαπιστώσετε ότι δεν υπάρχει κανένα κοινό σημείο αφού στο πρώτο (σχ. 6.3γ) η αντλία τροφοδοτείται με νερό από το φρεάτιο, ενώ στο δεύτερο (σχ. 6.3δ) τροφοδοτείται με εντολές από το κύκλωμα αυτοματισμού. Επομένως, όλες οι εμπλεκόμενες μεταβλητές είναι συνολικά τέσσερις και ο πίνακας αληθείας έχει τέσσερις στήλες. Επίσης, οι δύο μεταβλητές εισόδου μπορούν να σχηματίσουν $2^2=4$ διαφορετικούς συνδυασμούς και επομένως ο πίνακας αληθείας έχει τέσσερις γραμμές. Για να καταστρώσουμε τον πίνακα αληθείας, πρέπει να υπολογίσουμε τις τιμές των μεταβλητών εξόδου για κάθε δυνατό συνδυασμό των εισόδων, δηλαδή για κάθε γραμμή του πίνακα. Οι τιμές αυτές καταχωρούνται στις αντίστοιχες δύο τελευταίες στήλες του πίνακα αληθείας και μπορούν να υπολογισθούν χωριστά για κάθε μεταβλητή εξόδου ως εξής:

α) **Λειτουργία της αντλίας.** Η αντλία ενεργοποιείται μόνο στην περίπτωση που το φρεάτιο υπερχειλίζει και ταυτόχρονα ο σωλήνας δεν έχει υπερχειλίζει. Διαφορετικά, η αντλία δε λειτουργεί.

β) **Λειτουργία της σειρήνας.** Η σειρήνα ειδοποιεί για την υψηλή στάθμη του κεντρικού αγωγού, όταν ο αγωγός υπερχειλίζει. Η ενεργοποίηση της σειρήνας πρέπει να γίνεται ανεξάρτητα από την κατάσταση του φρεατίου. Στις υπόλοιπες περιπτώσεις η αντίστοιχη έξοδος είναι «ψευδής» (λογικό 0).

Στον πίνακα 6.3.2 παρουσιάζεται ο πίνακας αληθείας του παραδείγματος.

ΠΙΝΑΚΑΣ 6.3.2.

Πίνακας αληθείας του παραδείγματος.

I1 Το φρεάτιο υπερχειλίζει	I1 Ο αγωγός υπερχειλίζει	O1 Η αντλία λειτουργεί	O2 Η σειρήνα ειδοποιεί
0	0	0	0
0	1	0	1
1	0	1	0
1	1	0	1

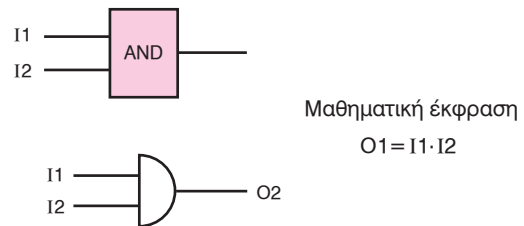
6.3.2 Οι λογικές πράξεις και οι λογικές πύλες.

Η επεξεργασία του κυκλώματος αυτοματισμού χρησιμοποιεί τις κυριότερες λογικές πράξεις και τις αντίστοιχες λογικές πύλες. Οι βασικότερες λογικές πύλες είναι τρεις: η πύλη «ΚΑΙ» (AND), η πύλη «Ή» (OR) και η πύλη «ΟΧΙ» (NOT). Άλλη χρήσιμη πύλη είναι εκείνη του «ΑΠΟΚΛΕΙΣΤΙΚΟΥ Ή» (EX-OR). Οι πύλες αυτές παρουσιάζονται στη συνέχεια.

1) Η λογική πύλη «ΚΑΙ» (AND).

Η λογική πράξη AND συνδέει δύο ή περισσότερες λογικές μεταβλητές εισόδου (αίτια) με μια μεταβλητή εξόδου (αποτέλεσμα). Η μεταβλητή εξόδου είναι αληθής, εάν και μόνον όλες ανεξαιρέτως οι λογικές μεταβλητές εισόδου είναι αληθείς. Η λογική πράξη AND παριστάνεται με το σύμβολο της τελείας (·).

Η πράξη AND απεικονίζεται με την αντίστοιχη λογική πύλη AND, όπως παρουσιάζεται στο σχήμα 6.3ε.



Σχ. 6.3ε.

Συμβολισμός λογικής πύλης AND.

Στον πίνακα 6.3.3 φαίνεται ο πίνακας αληθείας της πύλης AND.

ΠΙΝΑΚΑΣ 6.3.3.

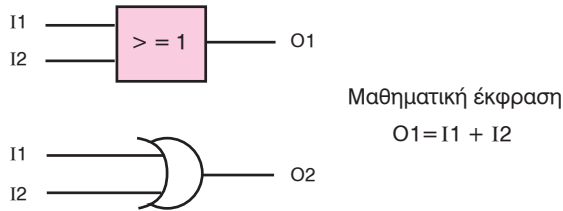
Πίνακας αληθείας πύλης AND.

I1	I2	O1
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

2) Η λογική πύλη «Ή» (OR).

Η λογική πράξη OR συνδέει δύο ή περισσότερες λογικές μεταβλητές εισόδου (αίτια) με μια μεταβλητή εξόδου (αποτέλεσμα). Η μεταβλητή εξόδου είναι αληθής εάν μια ή και περισσότερες λογικές μεταβλητές εισόδου είναι αληθείς. Η λογική πράξη OR παριστάνεται με το σύμβολο της αλγε-

βρικής προσθέσεως (σταυρός, +), που τοποθετείται μεταξύ των αιτίων. Η πράξη OR απεικονίζεται με την αντίστοιχη λογική πύλη OR, όπως παρουσιάζεται στο σχήμα 6.3στ.



Σχ. 6.3στ.

Συμβολισμός λογικής πύλης OR.

Στον πίνακα 6.3.4 παρουσιάζεται ο πίνακας αληθείας της πύλης OR.

ΠΙΝΑΚΑΣ 6.3.4.

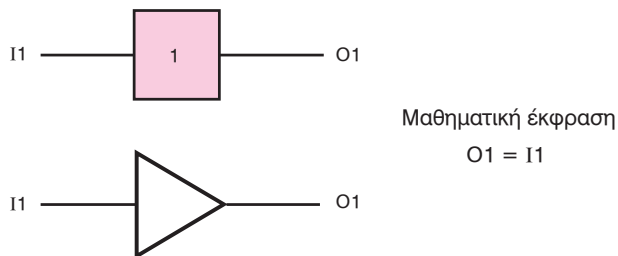
Πίνακας αληθείας πύλης OR.

I1	I2	O1
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

3) Η λογική πύλη «OXI» (NOT).

Η λογική πράξη NOT συνδέει μια λογική μεταβλητή εισόδου (αίτιο) με μια μεταβλητή εξόδου (αποτέλεσμα). Η μεταβλητή εξόδου είναι αληθής, εάν και μόνον η λογική μεταβλητή εισόδου είναι ψευδής, δηλαδή η τιμή του αιτίου αντιστρέφεται. Η λογική πράξη NOT παριστάνεται με μια γραμμή (-) που τοποθετείται πάνω από το σύμβολο της μεταβλητής εισόδου ή με το σύμβολο της αλγεβρικής αφαιρέσεως (μείον), που τοποθετείται στα αριστερά του αιτίου.

Η πράξη NOT απεικονίζεται με την αντίστοιχη λογική πύλη NOT, όπως φαίνεται στο σχήμα 6.3ζ.



Σχ. 6.3ζ.

Συμβολισμός λογικής πύλης NOT.

Στον πίνακα 6.3.5 φαίνεται ο πίνακας αληθείας της πύλης NOT.

ΠΙΝΑΚΑΣ 6.3.5.

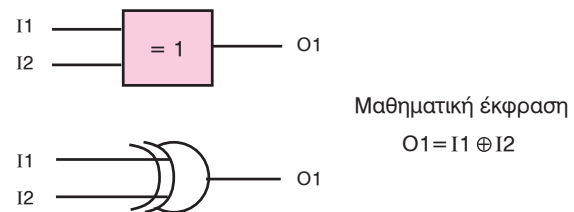
Πίνακας αληθείας πύλης NOT.

I1	O1
0	1
1	0

4) Η λογική πύλη «ΑΠΟΚΛΕΙΣΤΙΚΟΥ Ή» (EXOR).

Η λογική πράξη EXOR συνδέει δύο λογικές μεταβλητές εισόδου (αίτια) με μια μεταβλητή εξόδου (αποτέλεσμα). Η μεταβλητή εξόδου είναι αληθής εάν και μόνον οι τιμές των λογικών μεταβλητών εισόδου (αίτια) διαφέρουν μεταξύ τους, δηλαδή η μια είναι αληθής και η άλλη ψευδής. Η λογική πράξη EXOR παριστάνεται με ένα σταυρό σε κύκλο, που τοποθετείται μεταξύ των αιτίων.

Η πράξη EXOR απεικονίζεται με την αντίστοιχη λογική πύλη EXOR, όπως παρουσιάζεται στο σχήμα 6.3η.



Σχ. 6.3η.

Συμβολισμός λογικής πύλης EXOR.

Στον πίνακα 6.3.6 φαίνεται ο πίνακας αληθείας της πύλης EXOR.

ΠΙΝΑΚΑΣ 6.3.6.

Πίνακας αληθείας πύλης EXOR.

I1	I2	O1
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	0

6.3.3 Η λογική παράσταση.

Οι απλές λογικές πράξεις, όπως οι πράξεις AND, EXOR, OR, NOT, που είδαμε παραπάνω, είναι κατάλληλες, για να εκφράσουν απλές σχέσεις μεταξύ λογικών μεταβλητών. Αυτές όμως μπορούν να συνδυάζονται και σε σύνθετες λογικές εκφράσεις. Επίσης μπορούν να περιγράφουν πιο πολύπλοκες εξαρτήσεις μεταξύ λογικών μεταβλητών. Οι **λογικές παραστάσεις**, όπως ονομάζονται, αποτελού-

νται από σύμβολα λογικών μεταβλητών, από σύμβολα απλών λογικών πράξεων και από παρενθέσεις, π.χ. $Y = X1 \cdot (X2 + X3) \cdot X4$.

Οι λογικές παραστάσεις ακολουθούν ορισμένους απλούς κανόνες. Οι κανόνες αυτοί αποτελούν την «άλγεβρα» της μαθηματικής λογικής, όπως ακριβώς οι κανόνες της αριθμητικής αποτελούν την άλγεβρα των αριθμών. Οι κανόνες αυτοί επαληθεύονται και με την κοινή «λογική». Οι βασικότεροι παρουσιάζονται εδώ:

$A \cdot B = B \cdot A$ ο νόμος της αντιμεταθέσεως για το AND.

$A + B = B + A$ ο νόμος της αντιμεταθέσεως για το OR.

$A \cdot (B + C) = A \cdot C + A \cdot B$ ο επιμεριστικός νόμος.

$A \cdot (B \cdot C) = (A \cdot B) \cdot C = A \cdot B \cdot C$ ο προσεταιριστικός νόμος για το AND.

$A + (B + C) = (A + B) + C = A + B + C$ ο προσεταιριστικός νόμος για το OR.

$\left. \begin{array}{l} \overline{A \cdot B} = \overline{A} + \overline{B} \\ \overline{A + B} = \overline{A} \cdot \overline{B} \end{array} \right\} \text{ οι δύο μορφές του νόμου De Morgan}$

6.4 Ακολουθιακός αυτοματισμός.

Ο **ακολουθιακός αυτοματισμός** ανήκει στην κατηγορία του λογικού αυτοματισμού, διότι ασχολείται με την εξέλιξη **λογικών μεταβλητών**, δηλαδή με παραμέτρους που παίρνουν δύο τιμές: αληθή ή ψευδή.

Όμως, αντίθετα από ένα σύστημα συνδυαστικού αυτοματισμού, οι στιγμιαίες τιμές των εισόδων ενός συστήματος ακολουθιακού αυτοματισμού δεν καθορίζουν μονοσήμαντα την τιμή της εξόδου του συστήματος. Το σχήμα 6.4α παρουσιάζει διαγραμματικά ένα παράδειγμα ακολουθιακού αυτοματισμού, ο οποίος ελέγχει έναν ηλεκτροκινητήρα από ένα χειριστήριο με δύο πλήκτρα (μπουτόν) Start και Stop.

Η αρχή της λειτουργίας αυτού του συστήματος είναι γνωστή: όταν πιέσουμε το πλήκτρο Start, ο κινητήρας μπαίνει σε κίνηση εφόσον είναι σε στάση. Όταν πιέσουμε το πλήκτρο Stop ο κινητήρας σταματά, εφόσον κινείται.

Υποθέτουμε ότι μια δεδομένη χρονική στιγμή γνωρίζουμε τη στιγμιαία τιμή των εισόδων, π.χ. ότι δεν πιέζεται κανένα από τα δύο πλήκτρα του χειριστηρίου. Η πληροφορία αυτή δεν είναι από μόνη της επαρκής, για να καθορίσουμε με βεβαιότητα την κατάσταση της εξόδου, δηλαδή την κίνηση του κινητήρα. Ο κινητήρας μπορεί εξίσου καλά, να στρέφει ή να είναι σε στάση. Ειδικότερα, γνωρίζουμε ότι χω-

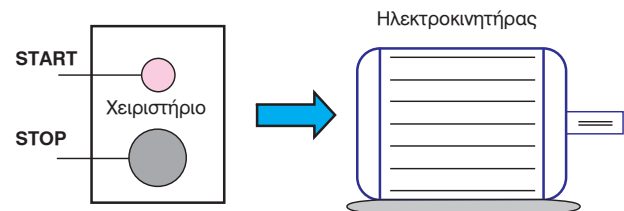
ρίς επέμβαση στο χειριστήριο ο κινητήρας θα κινείται, εάν ήταν ήδη σε κίνηση προηγουμένως και θα παραμένει σταματημένος, εάν ήταν ήδη σε στάση. Έτσι, αυτό το σύστημα αυτοματισμού θυμάται και διατηρεί την κατάσταση που είχε προηγουμένως, δηλαδή διαθέτει **μνήμη**. Αυτό είναι το βασικό χαρακτηριστικό των συστημάτων ακολουθιακού αυτοματισμού. Όπως δείχνει και το σχήμα 6.4β, το σύστημα αυτοματισμού καταχωρεί τιμές σε αυτές τις μνήμες και τις επαναχρησιμοποιεί μαζί με τις τιμές των εισόδων για τον υπολογισμό των τιμών των εξόδων του συστήματος.

6.4.1 Μέθοδος προδιαγραφής GRAFCET.

Οι ακολουθιακοί αυτοματισμοί υλοποιούνται με διαφορετικές τεχνολογίες: με ηλεκτρικά, ηλεκτρονικά, μηχανικά, πνευματικά, υδραυλικά και άλλα στοιχεία ή ακόμη και με συνδυασμό αυτών των τεχνολογιών. Για την ανάλυση των ακολουθιακών αυτοματισμών είναι αναγκαία η χρήση μεθόδων που να αποτυπώνουν τη «λογική» του αυτοματισμού, ανεξάρτητα από τον εκάστοτε συγκεκριμένο τρόπο τεχνικής υλοποίησης.

Μια τέτοια γενική μέθοδος απεικόνισης είναι η **GRAFCET (GRAPhe Fonctionnel de Commande Etape Transition)**. Η μέθοδος GRAFCET αναπτύχθηκε αρχικά από τη Γαλλική Ένωση για την Κυβερνητική στην Οικονομία και την Τεχνολογία (AFCET) και έχει ενταχθεί ως επίσημο πρότυπο σε αρκετές ευρωπαϊκές χώρες.

Σύμφωνα με τη μέθοδο, τα ακολουθιακά συστήματα απεικονίζονται με διαγράμματα. Τα κύρια στοι-



Σχ. 6.4α.

Έλεγχος ηλεκτροκινητήρα.



Σχ. 6.4β.

Γενική μορφή ακολουθιακού κυκλώματος αυτοματισμού.

χεία της μεθόδου απεικόνισης GRAFCET, όπως παρουσιάζονται και στο απλό παράδειγμα του σχήματος 6.4γ, είναι τα εξής:

α) Οι **φάσεις**. Κάθε φάση απεικονίζεται με ένα αριθμημένο τετράγωνο και αντιστοιχεί σε μια κίνηση ή εργασία. Οι κινήσεις απεικονίζονται πλάι στις αντίστοιχες φάσεις με παραλληλόγραμμα, στο εσωτερικό των οποίων αναγράφεται το όνομα της κίνησης. Μια φάση και η αντίστοιχη κίνηση συνδέονται με μια λεπτή γραμμή. Το σχήμα 6.4γ απεικονίζει δύο φάσεις (3 και 8) και αντίστοιχα δύο εργασίες (κίνηση εμπρός και στάση).

β) Οι **δεσμοί**. Ένας δεσμός απεικονίζεται με μια γραμμή που συνδέει δυο «διαδοχικές» φάσεις. Οι δεσμοί είναι προσανατολισμένοι, δηλαδή έχουν βέλος που δείχνει τη σειρά διαδοχής των φάσεων. Συνήθως το βέλος των δεσμών παραλείπεται, διότι η κατεύθυνση ροής των φάσεων είναι προφανής από το περιεχόμενο του διαγράμματος ή από τη λογική του συστήματος αυτοματισμού. Το σχήμα 6.4γ περιλαμβάνει ένα δεσμό που συνδέει τις δύο φάσεις και υποδηλώνει μετάβαση από τη φάση 3 στη φάση 8.

γ) Οι **μεταβάσεις**. Η μετάβαση απεικονίζεται με μια παχιά γραμμή κάθετη σε ένα δεσμό. Κάθε μετάβαση συνδέεται με μια συνθήκη, για να ενεργοποιηθεί η μετάβαση. Η συνθήκη γράφεται πλάι στο σύμβολο της μεταβάσεως. Το σχήμα 6.4γ, περιλαμβάνει μια μετάβαση που ενεργοποιείται, όταν η συνθήκη PRESS είναι αληθής.

Το σχήμα 6.4δ συνοψίζει τη μορφή και τα χαρακτηριστικά αυτών των δομικών στοιχείων της απεικόνισης GRAFCET.

6.4.2 Κανόνες της GRAFCET.

Κάθε φάση ενός διαγράμματος GRAFCET έχει δύο δυνατές καταστάσεις, είτε την **ενεργή**, είτε την **αδρανή** (απενεργοποιημένη). Οι ενεργές φάσεις σημειώνονται κάθε στιγμή με ένα στίγμα (τελεία), τοποθετημένο στην κάτω δεξιά γωνία του συμβόλου τους (αριθμημένο τετράγωνο).

Οι δεσμοί και οι μεταβάσεις που παρεμβάλλονται μεταξύ των φάσεων «μεταφέρουν» την ενεργοποίηση από τη μια φάση στην επόμενη. Η διαδικασία αυτή, δηλαδή η εξέλιξη του διαγράμματος GRAFCET, γίνεται σύμφωνα με τρεις κανόνες.

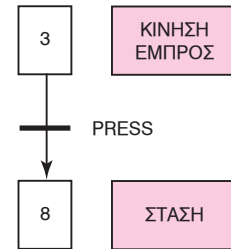
1) Αρχική φάση.

Πριν την έναρξη της λειτουργίας του αυτοματισμού, το ακολουθιακό σύστημα βρίσκεται στην **αρχική**

φάση του κατάστασης. Στο διάγραμμα η κατάσταση αυτή απεικονίζεται με μια ειδική φάση, την **αρχική φάση**, που σημειώνεται με ένα διπλό τετράγωνο, όπως στο σχήμα 6.4ε.

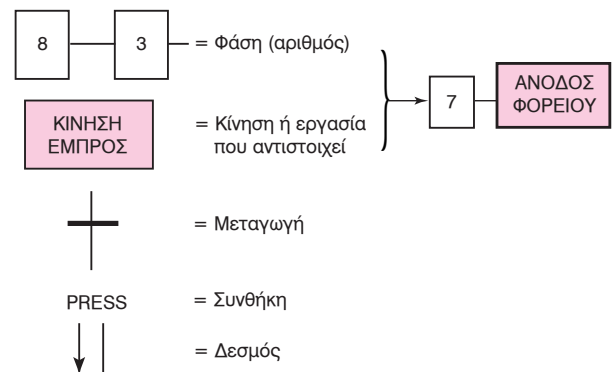
2) Μετάβαση.

Μια μετάβαση εφαρμόζεται υποχρεωτικά, όταν και μόνον όταν η συνθήκη με την οποία συνδέεται είναι αληθής και ταυτόχρονα η προηγούμενη φάση είναι ενεργή.



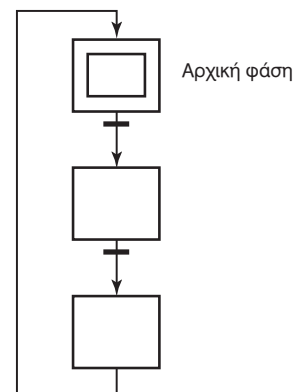
Σχ. 6.4γ.

Απλό παράδειγμα διαγράμματος GRAFCET.



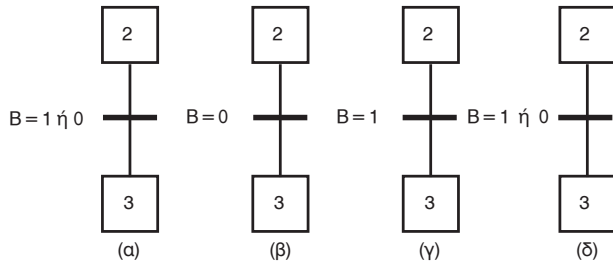
Σχ. 6.4δ.

Βασικά δομικά στοιχεία GRAFCET.



Σχ. 6.4ε.

Συμβολισμός της αρχικής φάσεως.



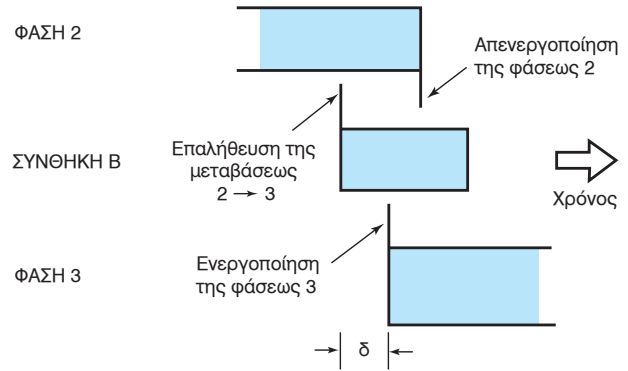
Σχ. 6.4στ.

Περιπτώσεις μεταβάσεως.

Το σχήμα 6.4στ παρουσιάζει μια μετάβαση σε διαφορετικές καταστάσεις. Στην περίπτωση (α) η μετάβαση 2/3 δεν εφαρμόζεται (ανεξάρτητα εάν η συνθήκη «β» είναι αληθής ή ψευδής), διότι η φάση 2 είναι αδρανής. Στην περίπτωση (β) η μετάβαση δεν εφαρμόζεται, παρόλο που η προηγούμενη φάση 2 είναι ενεργή, διότι η συνθήκη «β» είναι ψευδής. Στην περίπτωση (γ) η μετάβαση μπορεί να εφαρμοσθεί, διότι συντρέχουν όλες οι προϋποθέσεις του κανόνα: η φάση 2 είναι ενεργή και η συνθήκη της μεταβάσεως «β» είναι αληθής. Η (δ) δείχνει την κατάσταση του διαγράμματος μετά την εφαρμογή της μεταβάσεως: η φάση 2 απενεργοποιήθηκε και η φάση 3 έγινε ενεργή.

3) Διαδικασία ενεργοποίησης των φάσεων.

Όταν μια μετάβαση εφαρμόζεται, όλες οι φάσεις που βρίσκονται στο δεσμό αμέσως πριν τη μετάβαση γίνονται αδρανείς και όλες οι φάσεις που βρίσκονται στο δεσμό μετά τη μετάβαση ενεργοποιούνται.



Σχ. 6.4ζ.

Χρονική ακολουθία για την εφαρμογή της μεταβάσεως 2/3.

Θεωρητικά, αυτές οι αλλαγές συμβαίνουν ταυτόχρονα και στιγμιαία. Το σχήμα 6.4ζ δείχνει την **πρακτική χρονική ακολουθία**, με την οποία εφαρμόζεται η μετάβαση από τη φάση 2 στη φάση 3.

6.5 Ερωτήσεις.

1. Ποιες μορφές μπορεί να λάβει το κύκλωμα αυτοματισμού;
2. Περιγράψτε τα βήματα που ακολουθούμε για τη διατύπωση ενός πίνακα αληθείας (χρησιμοποιείτε παράδειγμα).
3. Τι γνωρίζεται για τις πύλες AND, OR, EXOR;
4. Ποια είναι τα κύρια στοιχεία της μεθόδου απεικόνισης GRAFCET;
5. Σχεδιάστε ένα παράδειγμα χρησιμοποιώντας τους κανόνες της μεθόδου GRAFCET.

14. ΨΗΦΙΑΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΥΤΟΜΑΤΟΥ ΕΛΕΓΧΟΥ



Κεφάλαιο 10

Ψηφιακά Συστήματα Αυτόματου Ελέγχου

Επιδιωκόμενοι στόχοι:

Ο σκοπός αυτού του κεφαλαίου είναι να βοηθήσει τους μαθητές:

- ☒ Να αναγνωρίζουν τα ψηφιακά σήματα.
- ☒ Να εννοούν τη χρησιμότητα των μετατροπέων.
- ☒ Να αναγνωρίζουν τις βαθμίδες των ψηφιακών ΣΑΕ.

10. Ψηφιακά Συστήματα Αυτόματου Ελέγχου

10.1 Εισαγωγή

Οι αρχές λειτουργίας των ψηφιακών ΣΑΕ είναι ίδιες μ' αυτές των αναλογικών. Η διαφορά των ψηφιακών από τα αναλογικά ΣΑΕ έγκειται κυρίως στη μορφή και στον τρόπο μεταφοράς των σημάτων. Επίσης ενώ στα αναλογικά ΣΑΕ η λειτουργία τους είναι δεδομένη και εξαρτάται από τα στοιχεία της διάταξης και τον τρόπο διασύνδεσής τους στα ψηφιακά η λειτουργία τους προγραμματίζεται και επομένως είναι περισσότερο ευέλικτα.

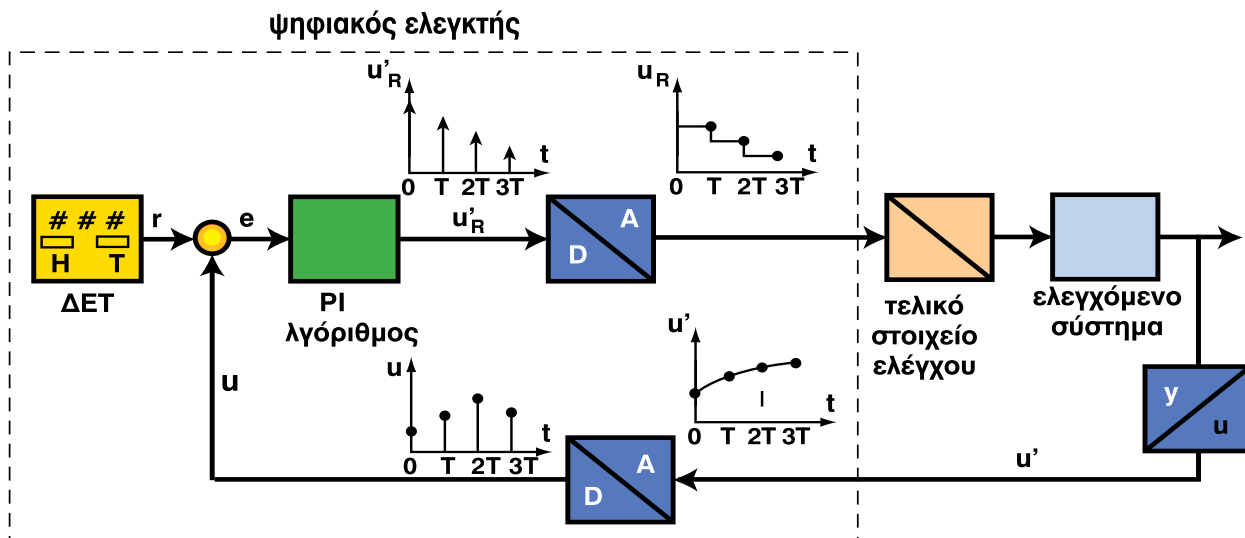
Τα ψηφιακά ΣΑΕ καταλαμβάνουν μικρό χώρο και απαιτούν λιγότερες καλωδιώσεις. Έχουν την ικανότητα της γρήγορης διάγνωσης και αποκατάστασης των σφαλμάτων. Λόγω της μνήμης που διαθέτει ο ψηφιακός ελεγκτής, μπορεί να αποθηκεύσει και να καταγράψει πλήθος δεδομένων. Μειονεκτούν όμως έναντι των αναλογικών λόγω της δυσκολίας κατανόησης της λειτουργίας τους και γι' αυτό απαιτείται εξειδικευμένο τεχνικό προσωπικό.

Σε μεγάλες βιομηχανικές εγκαταστάσεις, όπου απαιτείται ο έλεγχος ταυτόχρονα πολλών και διαφορετικών ελεγχόμενων συστημάτων, χρησιμοποιούνται ψηφιακοί ελεγκτές υπό μορφή μικροεπεξεργαστών ή ηλεκτρονικών υπολογιστών.

Οι ηλεκτρονικοί υπολογιστές συνδέονται με το ελεγχόμενο σύστημα με διάφορους τρόπους:

1. Σύνδεση του ηλεκτρονικού υπολογιστή, έτσι ώστε τα σήματα εξόδου του να χρησιμοποιούνται ως επιθυμητές τιμές από άλλους υφιστάμενους ελεγκτές (σχήμα 1.8) Στην περίπτωση αυτή ο υπολογιστής οδηγεί ένα ή περισσότερα συστήματα αυτόματου ελέγχου, (set point control).
2. Ο ηλεκτρονικός υπολογιστής συνδέεται άμεσα με τα ελεγχόμενα συστήματα. Λαμβάνει τις τιμές της ελεγχόμενης μεταβλητής από τους μετατροπείς, τις συγκρίνει με τις επιθυμητές τιμές και παράγει μόνος του τα ρυθμιστικά σήματα για τα τελικά στοιχεία ελέγχου. Ο έλεγχος αυτός ονομάζεται άμεσος ψηφιακός έλεγχος (DDC = Direct Digital Control) (σχήμα 1.8 και 10.1).

Στο παρακάτω σχήμα 10.1 φαίνεται ένα ψηφιακό σύστημα αυτόματου ελέγχου με τις βασικές βαθμίδες από τις οποίες αποτελείται.



Σχήμα 10.1: Διάγραμμα βαθμίδων ενός ψηφιακού ΣΑΕ (DDC-σύστημα).

Από το διάγραμμα βαθμίδων του σχήματος 10.1 ξεχωρίζουμε τις εξής νέες βαθμίδες:

Μετατροπές:

Ο μετατροπές εκτελεί την ίδια λειτουργία που εκτελεί και στα αναλογικά ΣΑΕ, δηλαδή μετατρέπει την ελεγχόμενη μεταβλητή σ' ένα τυποποιημένο αναλογικό ηλεκτρικό σήμα.

Αναλογικός/ψηφιακός μετατροπές (A/D-converter):

Ο A/D μετατροπές μετατρέπει το αναλογικό σήμα της ελεγχόμενης μεταβλητής σε ψηφιακό.

Συγκριτής:

Ο συγκριτής υπολογίζει το σφάλμα $[e]$ με ψηφιακό τρόπο, αφού η επιθυμητή τιμή καθώς και η ελεγχόμενη μεταβλητή είναι ψηφιακά σήματα.

Ψηφιακός ελεγκτής:

Ο ψηφιακός ελεγκτής εκτελεί τις εργασίες του αναλογικού ελεγκτή αλλά με ψηφιακό τρόπο και σύμφωνα με έναν αλγόριθμο. Η σύγκριση και η συμπεριφορά του ελεγκτή καθορίζονται από το πρόγραμμα που χρησιμοποιείται.

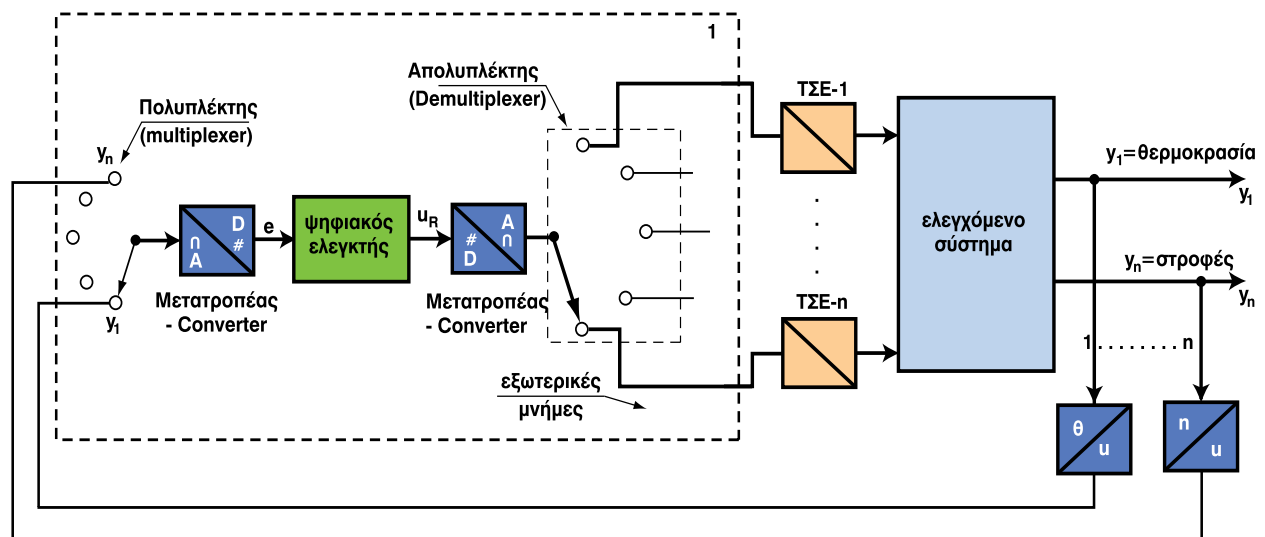
Δότης επιθυμητής τιμής (ΔΕ):

Ο ΔΕ είναι ενσωματωμένος στον ελεγκτή και παρέχει την επιθυμητή τιμή υπό μορφή ψηφιακού σήματος.

Ψηφιακός/Αναλογικός μετατροπές (D/A-converter):

Ο D/A-μετατροπές μετατρέπει το ψηφιακό σήμα εξόδου του ελεγκτή σε αναλογικό, διότι το τελικό στοιχείο ελέγχου λειτουργεί με αναλογικά τυποποιημένα σήματα.

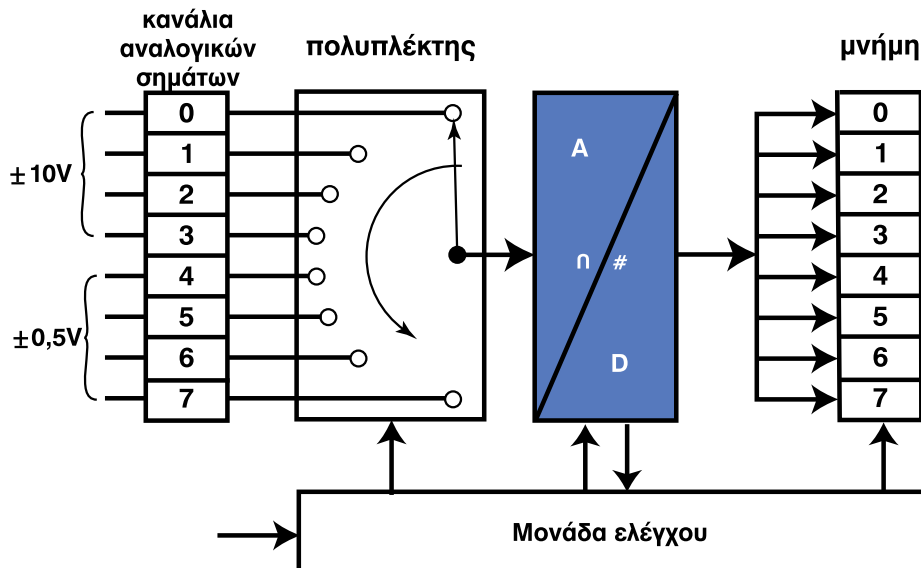
Στο σχήμα 10.2 φαίνεται ένα πολυπλοκότερο άμεσο ψηφιακό σύστημα αυτόματου ελέγχου.



Σχήμα 10.2: Block διάγραμμα ενός σύνθετου ψηφιακού συστήματος αυτόματου ελέγχου (DDC).

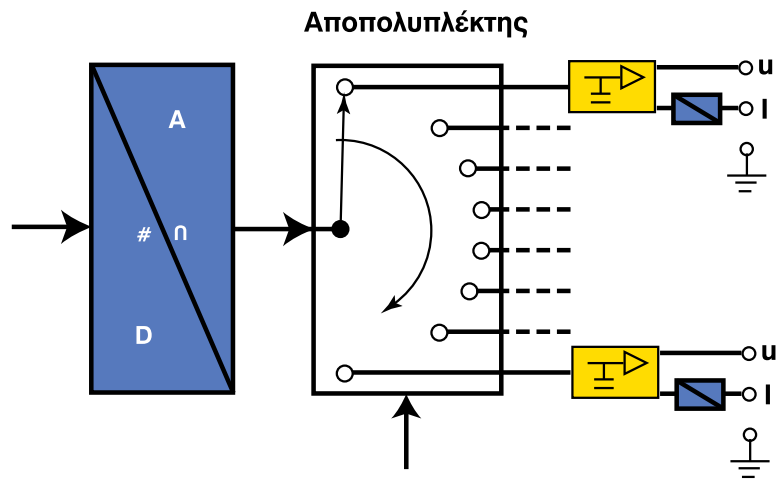
Για να εξηγήσουμε την πορεία των εργασιών που εκτελούνται σε ένα άμεσο ψηφιακό σύστημα αυτομάτου ελέγχου λαμβάνουμε το block-διάγραμμα του σχήματος 10.2.

- ▶ Από την έξοδο του ελεγχόμενου συστήματος λαμβάνουμε την ελεγχόμενη μεταβλητή [π.χ. θερμοκρασία (θ), στροφές (n)], η οποία μετατρέπεται σε ένα αναλογικό σήμα, συνήθως ρεύμα 4-20mA ή τάση $\pm 10V$.
- ▶ Τα σήματα των μετατροπέων εισάγονται στην είσοδο ενός πολυπλέκτη (Multiplexer). Ο πολυπλέκτης εργάζεται κυκλικά και επιλέγει κάθε φορά ένα σήμα εισόδου. Το σήμα αυτό συνδέεται με την έξοδό του. Άρα, ο πολυπλέκτης έχει σκοπό να συνδέει διαδοχικά τα σήματα της εισόδου με την έξοδο. Η επιλογή των εισόδων γίνεται με τη βοήθεια ενός κωδικοποιημένου σήματος, το οποίο έρχεται από τη μονάδα ελέγχου.
- ▶ Τα σήματα εξόδου του πολυπλέκτη οδηγούνται στον αναλογικό-ψηφιακό μετατροπέα και στη συνέχεια αποθηκεύονται στη μνήμη του υπολογιστή, σχήμα 10.3.



Σχήμα 10.3: Πολυπλέκτης και Α/D-μετατροπέας.

- ▶ Ο ψηφιακός ελεγκτής, ανάλογα με την εξίσωση (αλγόριθμο) που τον διέπει, παράγει ψηφιακά σήματα, τα οποία οδηγούνται στον D/A-μετατροπέα, σχήμα 10.4.



Σχήμα 10.4: D/A-μετατροπέας και Αποπολυπλέκτης.

- ▶ Το αναλογικό σήμα από την έξοδο του D/A-μετατροπέα οδηγείται με τη βοήθεια του αποπολυπλέκτη στα τελικά στοιχεία ελέγχου υπό μορφή τυποποιημένων σημάτων $\pm 10V$, $0...20\text{ mA}$ και $4...20\text{ mA}$.

10.2 Σήματα

Τα σήματα είναι φυσικά μεγέθη, τα οποία μας παρέχουν πληροφορίες. Κάθε σήμα αποτελείται από δύο συνιστώσες:

- A)** το φορέα του σήματος, δηλαδή το φυσικό μέγεθος που μεταφέρει το σήμα και
- B)** την παράμετρο του σήματος που περιέχει την πληροφορία.

Π.χ.

- Σήμα: {
- Φορέας σήματος = φυσικό μέγεθος (π.χ. τάση, ρεύμα)
 - Παράμετρος της πληροφορίας (π.χ. στιγμιαία τιμή τάσης ή ρεύματος, πλάτος, συχνότητα, φασική διαφορά, διάρκεια παλμού).

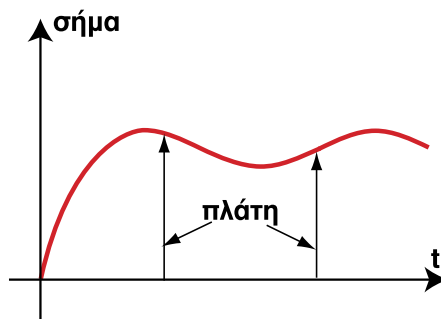
10.2.1 Αναλογικά σήματα

Όπως είδαμε στα ψηφιακά συστήματα αυτομάτου ελέγχου υπάρχουν δύο ειδών σήματα, το αναλογικό και το ψηφιακό.

Αναλογικό σήμα είναι εκείνο, το οποίο παίρνει άπειρες τιμές (συνεχείς τιμές) του μετρούμενου μεγέθους.

Παράδειγμα αναλογικής ένδειξης είναι τα ρολόγια παλαιού τύπου με τους δείκτες, διότι, καθώς ο δείκτης και ο λεπτοδείκτης περιστρέφονται, δεν περνούν μόνον από τις ενδείξεις 1, 2, 3,..., 12, αλλά και απ' όλα τα ενδιάμεσα σημεία.

Χαρακτηριστικό των αναλογικών σημάτων είναι ότι η χρονική μεταβολή του σήματος είναι συνεχής (σχήμα 10.4).



Σχήμα 10.4: Αναλογικό σήμα (π.χ. θερμοκρασία).

Η πληροφορία που μεταφέρει ένα αναλογικό σήμα αποδίδεται με τη μεταβολή του πλάτους ή με άλλα χαρακτηριστικά μεγέθη, όπως συχνότητα, φασική διαφορά, κ.λπ.

10.2.2 Δυαδικά σήματα

Ένα σήμα λέμε ότι είναι δυαδικό, όταν η πληροφορία του σήματος λαμβάνει μόνο δύο διακριτές τιμές. Οι τιμές αυτές παριστάνονται με το {0} και το {1}.

Η μεγάλη χρησιμότητα ενός δυαδικού σήματος συνίσταται στη δυνατότητα αναπαράστασής του από οποιαδήποτε δισταθή διάταξη. Οτιδήποτε μπορεί να βρεθεί σε δύο καταστάσεις, όπως “ανοικτό” ή “κλειστό”, “υψηλό” ή “χαμηλό” δυναμικό, μπορεί να παρασταθεί με το “1” στη μια κατάσταση και με το “0” στην άλλη. Οι τιμές {1} και {0} λέγονται και λογικό {1} ή λογικό {0}.

Τα παραδείγματα του παρακάτω πίνακα μας βοηθούν ακόμη περισσότερο στην κατανόηση του δυαδικού σήματος.

	Κατάσταση σήματος	
	Λογικό "1" = = υπάρχει	Λογικό "0" = = δεν υπάρχει
επαφή	κλειστή	ανοικτή
επαφέας (ρελέ)	ενεργοποιημένος	ανενεργός
τρανζίστορ	άγει	δεν άγει
τάση	υπάρχει (+ 10 V)	δεν υπάρχει (0 V)
τάση		
τάση		

Πίνακας 10.1

Η ελάχιστη πληροφορία την οποία μπορούμε να λάβουμε από ένα δυαδικό σήμα ονομάζεται bit (binary digit=δύτιμο ψηφίο). Παραδείγματος χάριν ο αριθμός 1011 έχει τέσσερα (4) bits.

10.2.3 Ψηφιακά σήματα

Ένα σήμα, το οποίο παίρνει μόνο συγκεκριμένες και διακριτές τιμές και μας δίνει πληροφορίες για δύο ή περισσότερες καταστάσεις σε κωδικοποιημένη μορφή, λέγεται ψηφιακό.

Παράδειγμα ψηφιακής ένδειξης είναι τα νέου τύπου ρολόγια χωρίς δείκτες. Στα ρολόγια αυτά οι ενδείξεις της ώρας πηγαίνουν από τη μιά τιμή στην επόμενη, χωρίς να δείξουν όλες τις ενδιάμεσες τιμές. Μπορούν δηλαδή να δείξουν ένα συγκεκριμένο και πεπερασμένο αριθμό ενδείξεων ενός εικοσιτετραώρου (περιοχή μέτρησης).

10.2.4 Κωδικοποίηση

Με τον όρο κωδικοποίηση εννοούμε τη μετατροπή μιας πληροφορίας (σήματος) από μιά μορφή σε άλλη. Παραδείγματος χάριν ο αριθμός 5 του δεκαδικού συστήματος μετατρέπεται σε δυαδικό της μορφής 0101.

Η κωδικοποίηση έχει πολύ μεγάλη σημασία στην τεχνολογία (πληροφορική, τηλεπικοινωνίες, ψηφιακά συστήματα αυτομάτου ελέγχου), διότι με τη χρήση της:

- ▶ Μπορούμε να μεταφέρουμε μεγάλο όγκο πληροφοριών με μεγάλη ταχύτητα και ασφάλεια μνήμης καταλαμβάνοντας μικρό χώρο.
- ▶ Είναι δυνατή η επεξεργασία αριθμών και γραμμάτων από τον ηλεκτρονικό υπολογιστή (ψηφιακό ελεγκτή).
- ▶ Κατά τη μεταφορά πληροφοριών είναι δυνατή η εντόπιση και διόρθωση σφαλμάτων.

Για την κωδικοποίηση των μεταφερομένων πληροφοριών αναπτύχθηκαν διάφοροι κώδικες. Οι πιο γνωστοί κώδικες είναι:

1. Κώδικας BCD (Binary coded Decimal)

Το γνωστό σε μας δεκαδικό σύστημα αποτελείται από δέκα διαφορετικά ψηφία, δηλαδή: 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9.

Σύμφωνα με τον κώδικα –BCD αντιστοιχίζουμε σε κάθε ψηφίο τέσσερα δυαδικά ψηφία. Οι πιο συνηθισμένοι κώδικες –BCD είναι:

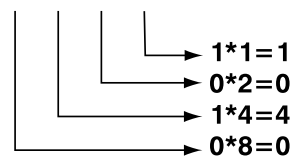
1α) Code 8-4-2-1

Ο αριθμός 5 του δεκαδικού συστήματος αναπαρίστανται

στον κώδικα 8-4-2-1 ως εξής:

Παράδειγμα: $0101 \cong 5_{10}$

8	4	2	1
0	1	0	1



σύνολο : 5₁₀

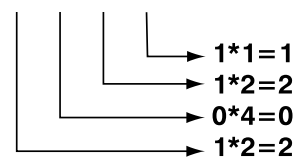
1β) Code 2-4-2-1

Ο αριθμός 5 του δεκαδικού συστήματος μετατρέπεται

στον παραπάνω κώδικα ως εξής:

Παράδειγμα: $1011 \cong 5_{10}$

2	4	2	1
1	0	1	1



σύνολο : 5₁₀



1γ) Gray – code

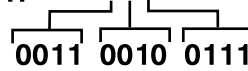
Όπως και στους προηγούμενους κώδικες έτσι και στον κώδικα –Gray κάθε ψηφίο του δεκαδικού συστήματος αντιπροσωπεύεται από μια τετράδα δυαδικών ψηφίων. Χαρακτηριστικό γνώρισμα αυτού του κώδικα είναι ότι κατά τη μετάβαση από ένα δεκαδικό ψηφίο στο άλλο μεταβάλλεται μόνο ένα δυαδικό ψηφίο της τετράδας.

Ο κώδικας –Gray χρησιμοποιείται κυρίως στη μέτρηση γωνιών και θέσης.

Πίνακας 10.2

Δεκαδικά ψηφία	Gray-code
0	0000
1	0001
2	0011
3	0010
4	0110
5	0111
6	0101
7	0100
8	1100
9	1101

παράδειγμα : 235



Δηλαδή: $235_{10} \cong 0011\ 0010\ 0111$

2. Δεκαεξαδικός κώδικας

Ο δεκαεξαδικός κώδικας χρησιμοποιείται κυρίως για την αναπαράσταση δεδομένων, διευθύνσεων και εντολών του ηλεκτρονικού υπολογιστή.

Ο δεκαεξαδικός κώδικας αποτελείται από 16 ψηφία, δηλαδή: 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, A, B, C, D, E, F.

Όπως και στους κώδικες –BCD έτσι και στο δεκαεξαδικό κώδικα κάθε ψηφίο του αναπαρίσταται με τέσσερα δυαδικά ψηφία.

Παράδειγμα: Μετατροπή του δεκαεξαδικού αριθμού 19BA σε δυαδικό.

$$19BA \Big|_{16} \cong \underbrace{0001}_1 \ \underbrace{1101}_9 \ \underbrace{1011}_B \ \underbrace{1010}_A \Big|_2$$

Δυαδικά ψηφία				BCD Κώδικες			Δεκα-εξαδικός-κώδικας
$2^3=8$	$2^2=4$	$2^1=2$	$2^0=1$	8-4-2-1 κώδικας	2-4-2-1 κώδικας	Gray κώδικας	
0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	1	1	1	1	1
0	0	1	0	2	2	3	2
0	0	1	1	3	3	2	3
0	1	0	0	4	4	7	4
0	1	0	1	5	δεν χρησιμοποιείται	6	5
0	1	1	0	6	δεν χρησιμοποιείται	4	6
0	1	1	1	7	δεν χρησιμοποιείται	5	7
1	0	0	0	8	δεν χρησιμοποιείται	δεν χρησιμοποιείται	8
1	0	0	1	9	δεν χρησιμοποιείται	δεν χρησιμοποιείται	9
1	0	1	0	δεν χρησιμοποιείται	δεν χρησιμοποιείται	δεν χρησιμοποιείται	A
1	0	1	1	δεν χρησιμοποιείται	5	δεν χρησιμοποιείται	B
1	1	0	0	δεν χρησιμοποιείται	6	8	C
1	1	0	1	δεν χρησιμοποιείται	7	9	D
1	1	1	0	δεν χρησιμοποιείται	8	δεν χρησιμοποιείται	E
1	1	1	1	δεν χρησιμοποιείται	9	δεν χρησιμοποιείται	F

Πίνακας 10.3: Πίνακας αντιστοιχίας κωδίκων –BCD και δεξαεξαδικού.

3. Κώδικας ASCII

Εάν, εκτός από τα δεκαδικά ψηφία 0 έως 9, πρέπει να αναπαραστήσουμε και γράμματα του λατινικού αλφαβήτου από Α έως Ζ, καθώς επίσης και σύμβολα, τότε δεν αρκούν τα τέσσερα δυαδικά ψηφία του κώδικα BCD με τους 16-συνδυασμούς.

Για το σκοπό αυτό αναπτύχθηκε ένας κώδικας των 7-bit γνωστός με το όνομα ASCII (American Standard Code for Information Interchange).

Ο κώδικας αυτός μας δίνει $2^7=128$ συνδυασμούς. Επομένως μας δίνεται η δυνατότητα να αναπαραστήσουμε 128 διαφορετικά σύμβολα.

Παρακάτω φαίνεται ένα τμήμα του κώδικα –ASCII.

BITS 3 - 0	BITS 6 - 4							
	000	001	010	011	100	101	110	111
0000	NUL	DLE	SP	0	@	P	'	p
0001	SOH	DC1	!	1	A	Q	a	q
0010	STX	DC2	,	2	B	R	b	r
0011	ETX	DC3	#	3	C	S	c	s
0100	EOT	DC4	\$	4	D	T	d	t
0101	ENQ	NAK	%	5	E	U	e	u
0110	ACK	SYN	&	6	F	V	f	v
0111	BEL	ETB	'	7	G	W	g	w
1000	BS	CAN	(	8	H	X	h	x
1001	HT	EM	)	9	I	Y	i	y
1010	LF	SUB	*	:	J	Z	j	z
1011	VT	ESC	+	;	K	[	k	{
1100	FF	FS	,	<	L	\	l	!
1101	CR	GS	-	=	M	]	m	}
1110	SO	RS	.	>	N		n	'''
1111	SI	US	/	?	O		o	DEL

Πίνακας 10.4

Παράδειγμα: Μετατροπή ενός στοιχείου του κώδικα ASCII στον κώδικα BCD 8421 και στο δεκαεξαδικό- κώδικα.

Στοιχείο ASCII: m

Δυαδικός κώδικας: 0110 1101

Δεκαεξαδικός κώδικας: 6D

10.3 Μετατροπείς ψηφιακού σήματος σε Αναλογικό (D/A-Converter) και Αναλογικού σήματος σε ψηφιακό (A/D-Converter)

10.3.1 Μετατροπείς–D/A (D/A-Converter)

Πολλές φορές απαιτείται η μετατροπή των ψηφιακών σημάτων σε αναλογικά.

Η μετατροπή ενός ψηφιακού σήματος σε αναλογικό στην περίπτωση των ψηφιακών ΣΑΕ γίνεται κυρίως για δύο λόγους:

- 1) για να έχουμε αναλογική ένδειξη και
- 2) διότι το τελικό στοιχείο ελέγχου λειτουργεί με αναλογικά τυποποιημένα σήματα.

Οι D/A-μετατροπείς διακρίνονται σε δύο κατηγορίες:

- A) D/A-μετατροπείς με έξοδο τάση και
- B) D/A-μετατροπείς με έξοδο ρεύμα.

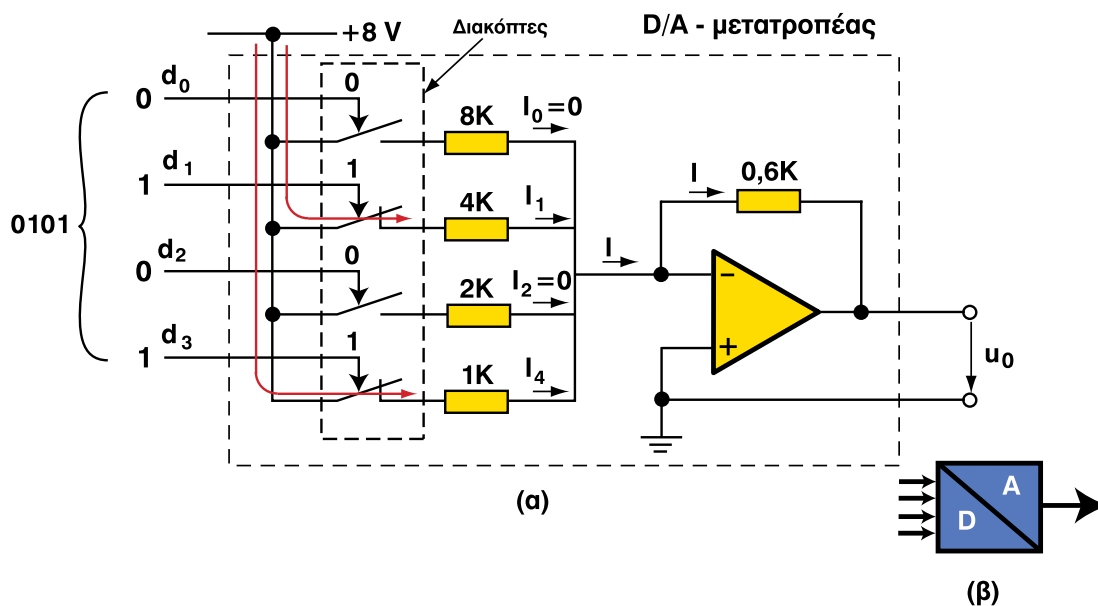
Στο κεφάλαιο αυτό θα εξετάσουμε μόνο τους μετατροπείς με έξοδο τάση, διότι αυτοί είναι οι περισσότερο διαδεδομένοι.

Μετατροπέας-D/A με έξοδο τάση

Ένα απλό και πρακτικά εφαρμόσιμο κύκλωμα μετατροπής ενός ψηφιακού σήματος σε αναλογικό είναι αυτό του σχήματος 10.5, το οποίο χρησιμοποιεί βηματικά αυξανόμενα ρεύματα. Η μετατροπή γίνεται σε δυό στάδια:

- α) Το δυαδικό σήμα ενός bit (1bit) μετατρέπεται σε ανάλογη τιμή ρεύματος αντίστοιχης της θέσης του bit στο ψηφιακό σήμα.
- β) Τα επί μέρους ρεύματα όλων των δυαδικών ψηφίων (bits) προστίθενται. Το συνολικό ρεύμα είναι ανάλογο της τιμής του ψηφιακού σήματος.
- γ) Το συνολικό ρεύμα μετατρέπεται σε ανάλογη τάση με τη βοήθεια ενός τελεστικού ενισχυτή.

Με τη βοήθεια του παρακάτω σχήματος θα εξετάσουμε την αρχή λειτουργίας ενός D/A-μετατροπέα τεσσάρων bits κατά BCD-8-4-2-1.



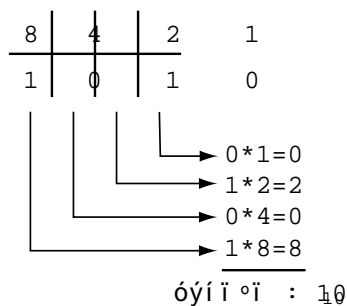
Σχήμα 10.5: Απλό κύκλωμα D/A –μετατροπέα, τεσσάρων bits (α) και το σύμβολό του (β).

Το κύκλωμα αποτελείται από ένα δίκτυωμα τεσσάρων παραλληλίων αντιστάσεων, οι οποίες τροφοδοτούνται από μια πηγή συνεχούς τάσης των +8V μέσω διακοπών. Οι διακόπτες ανοίγουν και κλείνουν ανάλογα με την τιμή του bit του ψηφιακού σήματος.

Έστω ότι έχουμε ένα ψηφιακό σήμα (0101), το οποίο εφαρμόζεται στις εισόδους d_0, d_1, d_2 και d_3 , όπως φαίνεται στο παραπάνω κύκλωμα (σχήμα 10.5). Παρατηρούμε λοιπόν ότι οι διακόπτες των εισόδων d_1 και d_3 είναι κλειστοί και ρέει ρεύμα I_1, I_4 από την πηγή προς τον ΤΕ, διότι στις εισόδους $[d_1, d_3]$ εφαρμόζεται "1" bit.

Αντίθετα στις εισόδους d_0, d_2 εφαρμόζεται σήμα λογικό "0" bit και οι αντίστοιχοι διακόπτες είναι ανοικτοί και οι αντιστάσεις των 8KΩ και 2KΩ δεν διαρρέονται από ρεύμα ($I_0=0, I_2=0$).

Το κωδικοποιημένο κατά BCD-8-4-2-1 σήμα εισόδου (0101) του μετατροπέα αντιστοιχεί στην τιμή 10_{10} του δεκαδικού συστήματος.



Την ίδια τιμή ρεύματος λαμβάνουμε στην έξοδο του κυκλώματος των αντιστάσεων.

$I_0 = 0 \rightarrow$ ανοικτός διακόπτης

$I_1 = \frac{8V}{4 \cdot 10^3 \Omega} = 2 \cdot 10^{-3} mA = 2mA$

$I_2 = 0$

$I_4 = \frac{8V}{1 \cdot 10^{-3} \Omega} = 8 \cdot 10^{-3} A = 8mA$

$\sum I = I = 10mA$

Η τάση εξόδου του μετατροπέα υπολογίζεται από την παρακάτω σχέση:

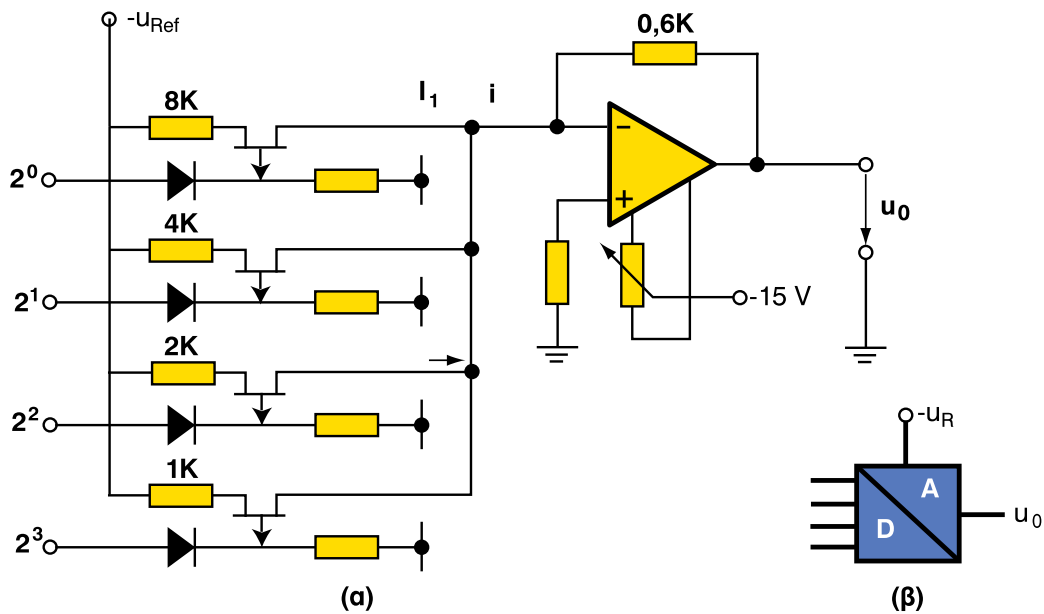
$u_o = I \cdot 0,6 K\Omega = 10 \cdot 10^{-3} A \cdot 0,6 \cdot 10^3 = 6V$

Στον παρακάτω πίνακα φαίνονται οι τιμές της τάσης εξόδου του D/A –μετατροπέα για τους $2^4=16$ συνδυασμούς του δυαδικού σήματος εισόδου.

d_3	d_2	d_1	d_0	I_3	I_2	I_1	I_0	ΣI mA	u [V]
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	1	0	0	0	1	1	0,6
0	0	1	0	0	0	2	0	2	1,3
0	0	1	1	0	0	2	1	3	2,0
0	1	0	0	0	4	0	0	4	2,6
0	1	0	1	0	4	0	1	5	3,3
0	1	1	0	0	4	2	0	6	4,0
0	1	1	1	0	4	2	1	7	4,6
1	0	0	0	8	0	0	0	8	5,3
1	0	0	1	8	0	0	1	9	6,0
1	0	1	0	8	0	2	0	10	6,6
1	0	1	1	8	0	2	1	11	7,3
1	1	0	0	8	4	0	0	12	8,0
1	1	0	1	8	4	0	1	13	8,6
1	1	1	0	8	4	2	0	14	9,3
1	1	1	1	8	4	2	1	15	10,0

Πίνακας 10.5: Πίνακας τιμών του μετατροπέα $-D/A$ τεσσάρων bits.

Οι διακόπτες του κυκλώματος του σχήματος 10.5 στις πρακτικές εφαρμογές αποτελούνται από FET-τρανζίστορς (σχήμα 10.6), τα οποία εμφανίζουν μεγάλη αντίσταση, όταν δεν λειτουργούν και μικρή αντίσταση κατά τη λειτουργία.



Σχήμα 10.6: Κύκλωμα μετατροπέα $-D/A$ τεσσάρων bits.

10.3.2 Μετατροπείς –A/D (A/D – Converter)

Κάθε ψηφιακή διάταξη μέτρησης αποτελείται βασικά από τις εξής βαθμίδες:

- ▶ Το στοιχείο του αισθητηρίου (sensor), το οποίο μετατρέπει το προς μέτρηση φυσικό μέγεθος σε αναλογικό ηλεκτρικό σήμα (τάση ή ρεύμα).
- ▶ Τον ενισχυτή, ο οποίος ενισχύει το σήμα του αισθητηρίου.
- ▶ Το φίλτρο, το οποίο εξουδετερώνει τις παρασιτικές επιδράσεις που δέχεται το σήμα κατά τη μεταφορά του.
- ▶ Τον A/D-μετατροπέα, ο οποίος μετατρέπει το αναλογικό σήμα σε ψηφιακό. Μερικές φορές, όταν το φυσικό μέγεθος μεταβάλλεται συνεχώς κατά τη διάρκεια της μέτρησης, τοποθετείται μια βαθμίδα συγκράτησης τιμών (sample/hold-elemente) μεταξύ φίλτρου και μετατροπέα.

Η μετατροπή ενός αναλογικού σήματος σε ψηφιακό γίνεται σε δύο στάδια:

A) Καθορισμός του αριθμού των δειγματοληπτικών μετρήσεων του αναλογικού σήματος.

Γνωρίζουμε ότι οι μετατροπείς μας δίνουν στην έξοδό τους ένα τυποποιημένο σήμα από 0 έως 10V.

Έστω ότι στο σήμα των 0 έως 10V, εκτελούμε 8 μετρήσεις.

Άρα: $10V:8=1,25V$

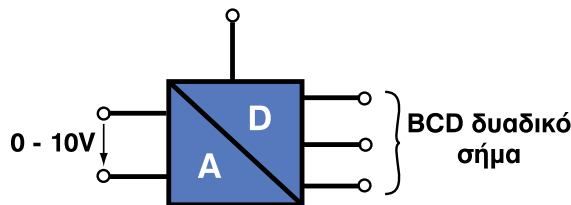
μέτρηση 1 ^η	0V	5 ^η	5V
2 ^η	1,25V	6 ^η	6,25V
3 ^η	2,5V	7 ^η	7,5V
4 ^η	3,75V	8 ^η	8,75V

B) Αντιστοίχιση σε κάθε μια από τις παραπάνω αναλογικές τιμές μιας κωδικοποιημένης δυαδικής τιμής.

Επειδή $2^n = 8 \Rightarrow \ln 2^n = \ln 8 \Rightarrow n \ln 2 = \ln 8 \Rightarrow n = \frac{\ln 8}{\ln 2} = 3, 2^n = 8 \Rightarrow n = 3\text{bits}$

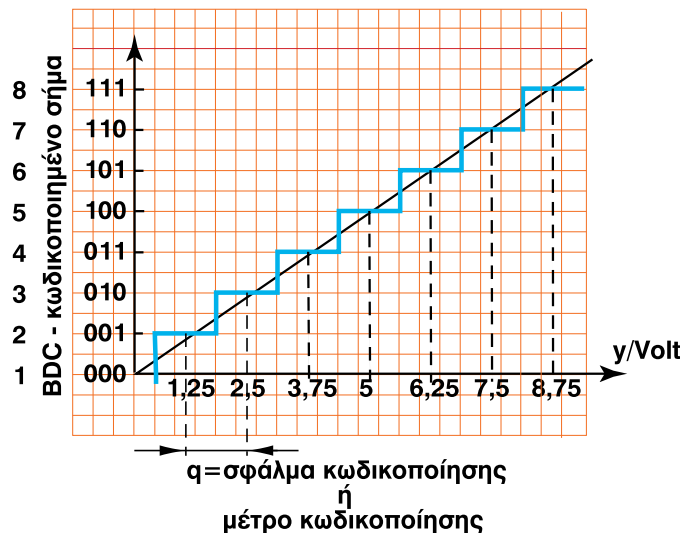
Χρειαζόμαστε, λοιπόν, 8 δυαδικούς αριθμούς, που ο καθένας θα έχει 3bits, δηλαδή:

- 000
- 001
- 010
- 011
- 100
- 101
- 110
- 111



Σχήμα 10.7: Σύμβολο μετατροπέα –A/D τριών bits.

Στη συνέχεια κατασκευάζουμε το διάγραμμα αντιστοίχησης των αναλογικών και των δυαδικών κωδικοποιημένων τιμών.



Σχήμα 10.8: Σφάλμα κωδικοποίησης ή μέτρο κωδικοποίησης.

Ανάλογα με τον τρόπο μετατροπής του αναλογικού σήματος σε ψηφιακό διακρίνουμε τις εξής μεθόδους μετατροπής αναλογικών σημάτων σε ψηφιακά:

- ▶ Μέθοδος της άμεσης ή απευθείας μετατροπής.
- ▶ Μέθοδος μετατροπής τάσης σε χρόνο.
- ▶ Μέθοδος μετατροπής τάσης σε συχνότητα.

1) Μέθοδος της απευθείας μετατροπής A/D

Με τη μέθοδο αυτή το αναλογικό σήμα μετατρέπεται άμεσα –χωρίς χρονική καθυστέρηση- σε ψηφιακό.

Υπάρχουν δύο ειδών μετατροπείς, των οποίων η αρχή λειτουργίας βασίζεται στη μέθοδο αυτή:

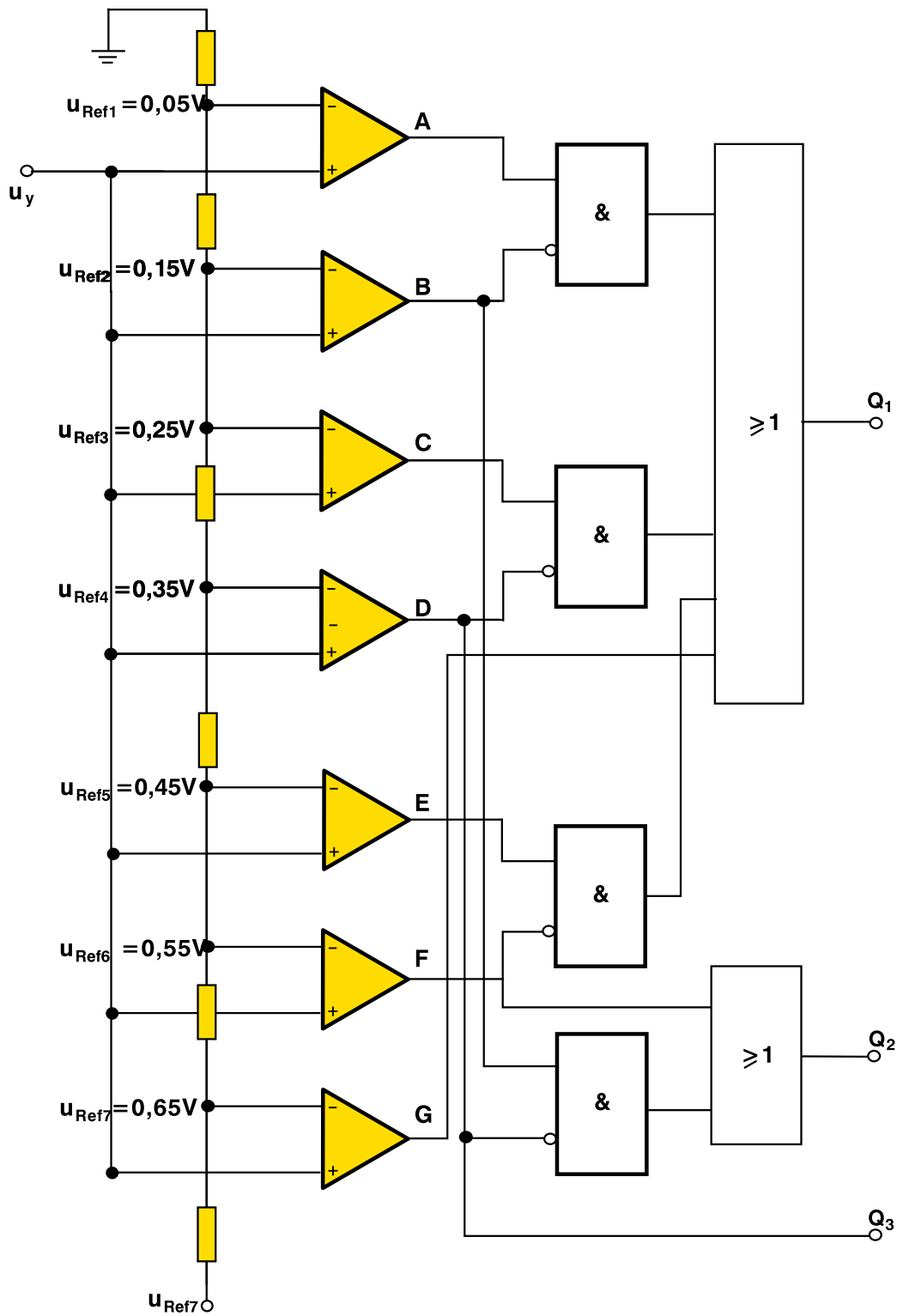
Παράλληλοι μετατροπείς –A/D

Το κύκλωμα του παράλληλου μετατροπέα αποτελείται από συγκριτές (comparators), στη μια είσοδο των οποίων εισάγεται το προς σύγκριση αναλογικό σήμα. Στην άλλη είσοδο του συγκριτή εφαρμόζουμε την τάση αναφοράς με τη βοήθεια ενός διαιρέτη τάσης.

Η τάση αναφοράς διαιρείται σε τόσα τμήματα όσοι είναι και οι συνδυασμοί του ψηφιακού σήματος.

Παραδείγματος χάριν για ένα μετατροπέα τριών bits ($n=3$) έχουμε, ως γνωστό, $2^3=8$ συνδυασμούς. Άρα, η τάση αναφοράς πρέπει να διαιρεθεί σε οκτώ ίσα τμήματα. Η μικρότερη τιμή της τάσης αναφοράς καθορίζει και την ελάχιστη τιμή του ψηφιακού σήματος.

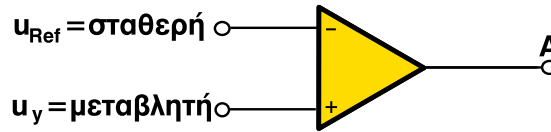
Στο παρακάτω σχήμα 10.9 φαίνεται το κύκλωμα ενός A/D- μετατροπέα παράλληλης συνδεσμολογίας, ο οποίος χρησιμοποιείται στις πρακτικές εφαρμογές.



Σχήμα 10.9: A/D-μετατροπές παράλληλης συνδεσμολογίας.

Παρατηρώντας το κύκλωμα του σχήματος 10.9 διαπιστώνουμε, ότι ο A/D-μετατροπέας αποτελείται από επτά συγκριτές, στη μη αναστρέφουσα είσοδο των οποίων συνδέεται παράλληλα το αναλογικό σήμα (u_y) της ελεγχόμενης μεταβλητής ($u_{y_{max}}=0,7\text{ V}$).

Στην αναστρέφουσα είσοδο συνδέονται οι τάσεις αναφοράς, με τις οποίες συγκρίνεται το αναλογικό σήμα (u_y).



Σχήμα 10.10: Απλοποιημένο κύκλωμα συγκριτή.

Στο συγκριτή (σχήμα 10.10), όταν η τάση u_y είναι μικρότερη από την u_{ref} τότε η έξοδος A είναι μηδέν

$$u_y < u_{ref} \Rightarrow A = "0"$$

Αν η τάση u_y είναι μεγαλύτερη από την τάση u_{ref} τότε η έξοδος είναι διάφορος του μηδενός (λογικό "1")

$$u_y > u_{ref} \Rightarrow A = "1"$$

Οι έξοδοι των επτά συγκριτών οδηγούνται σε ένα ψηφιακό κύκλωμα, το οποίο έχει σκοπό από τις εξόδους των συγκριτών να δημιουργήσει ένα ψηφιακό σήμα τριών bits.

Οι εξισώσεις οι οποίες προκύπτουν για τις εξόδους Q_1 , Q_2 και Q_4 είναι της μορφής:

$$Q_1 = A\bar{B} + C\bar{D} + E\bar{F} + G$$

$$Q_2 = B\bar{D} + F$$

$$Q_4 = D$$

Με τη βοήθεια του κυκλώματος του σχήματος 10.9 και των παραπάνω λογικών εξισώσεων, κατασκευάζουμε τον παρακάτω πίνακα:

Αναλογικό σήμα	έξοδος συγκριτών							ψηφιακών δεκαδικά			δεκαδική τιμή
	A	B	C	D	E	F	G	Q ₄	Q ₂	Q ₁	
< 0,05 V	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0 V
0,05 V ... 0,15 V	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0,1 V
0,15 V ... 0,25 V	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0,2 V
0,25 V ... 0,35 V	1	1	1	0	0	0	0	0	1	1	0,3 V
0,35 V ... 0,45 V	1	1	1	1	0	0	0	1	0	0	0,4 V
0,45 V ... 0,55 V	1	1	1	1	1	0	0	1	0	1	0,5 V
0,55 V ... 0,65 V	1	1	1	1	1	1	0	1	1	0	0,6 V
> 0,65 V	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,7 V

Πίνακας 10.6: Πίνακας αλήθειας του κυκλώματος του σχήματος 10.9.

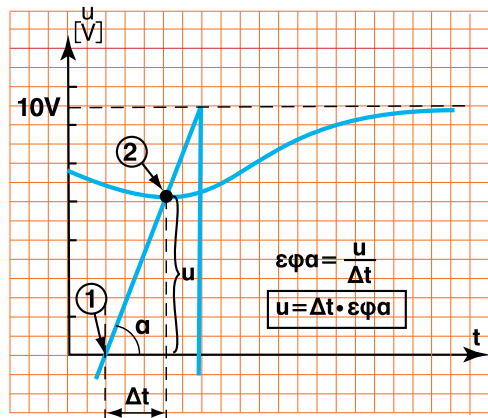
2) A/D-μετατροπείς με τη μέθοδο της μετατροπής τάσης σε χρόνο

- ▶ Σύμφωνα με τη μέθοδο αυτή η αναλογική τάση μετατρέπεται σε ανάλογες τιμές χρόνου, οι οποίες στη συνέχεια μετατρέπονται σε ψηφιακές.
- ▶ Αντιπροσωπευτικοί μετατροπείς αυτής της κατηγορίας είναι:
 - A/D-μετατροπείς με τη μέθοδο της πριονωτής τάσης
 - A/D μετατροπείς σύμφωνα με τη μέθοδο Dual slop και
 - A/D-μετατροπείς σύμφωνα με τη μέθοδο της βηματικής προσέγγισης.

Παρακάτω θα αναπτύξουμε το μετατροπέα με τη μέθοδο της πριονωτής τάσης.

A/D-μετατροπείς σύμφωνα με τη μέθοδο της πριονωτής τάσης

Σύμφωνα με τη μέθοδο αυτή, ο μετατροπέας συγκρίνει την αναλογική τάση με μια πριονωτή τάση σταθερής κλίσης (σχήμα 10.11). Έτσι η αναλογική τάση μετατρέπεται σε ανάλογες τιμές χρόνου, οι οποίες μετρούνται ψηφιακά.

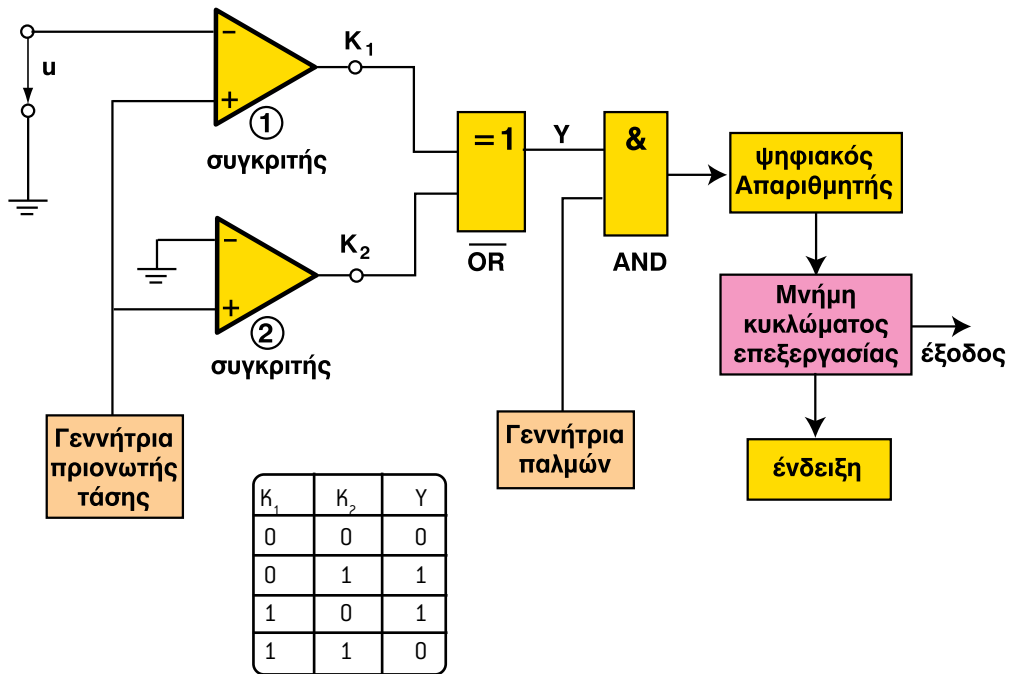


Σχήμα 10.11: Σύγκριση του αναλογικού σήματος με μια πριονωτή τάση.

Η πριονωτή τάση αρχίζει να αυξάνει από αρνητικές τιμές (σχήμα 10.11). Όταν φθάσει τον άξονα των χρόνων (σημείο 1), τίθεται σε λειτουργία ένας μετρητής χρόνου. Μόλις η πριονωτή τάση γίνει ίση με την αναλογική (σημείο 2), τότε ο μετρητής σταματά. Στο διάστημα αυτό ο μετρητής έχει μετρήσει το χρόνο Δt . Επειδή η κλίση (α) της πριονωτής τάσης είναι γνωστή, μπορούμε εύκολα να υπολογίσουμε την τάση u ως

$$u = \Delta t \cdot \epsilon\phi\alpha$$

Το διάγραμμα βαθμίδων του A/D-μετατροπέα φαίνεται στο παρακάτω σχήμα 10.12.



Σχήμα 10.12: Διάγραμμα βαθμίδων ενός A/D-μετατροπέα πριονωτής τάσης.

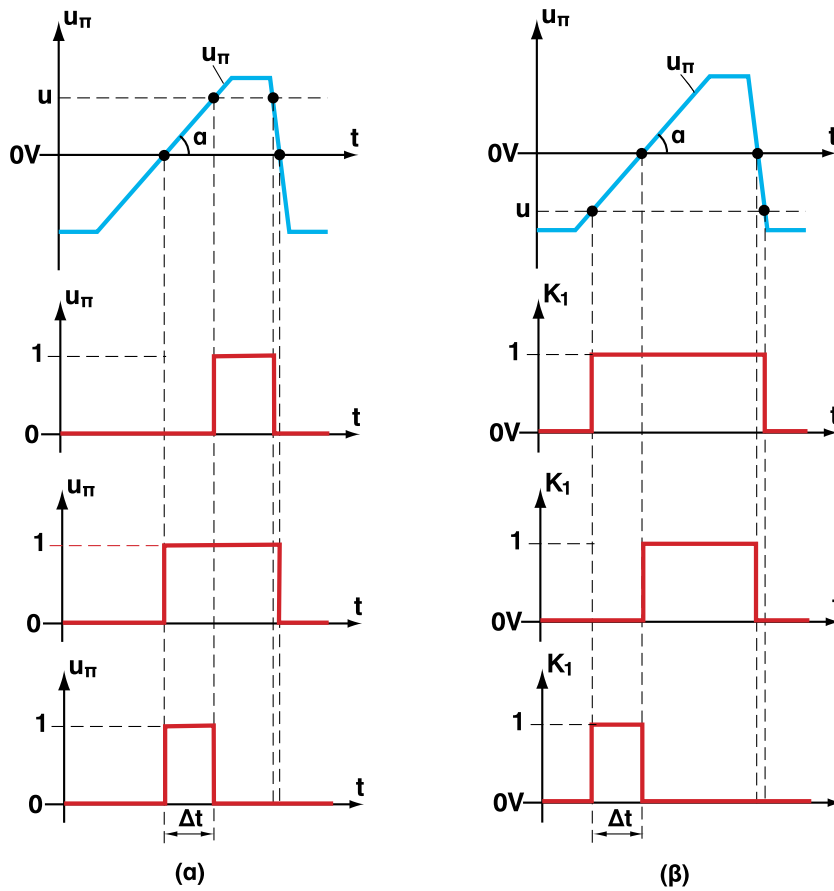
Λειτουργία:

Μόλις η πριονωτή τάση ξεπεράσει την τιμή μηδέν η έξοδος του συγκριτή 2 γίνεται "1". Επειδή τη χρονική αυτή στιγμή το $K_1=0$, έπεται ότι η έξοδος (Y) της πύλης EXCLUSIVE-OR είναι "1". Η πύλη AND επιτρέπει να περάσουν οι παλμοί της γεννήτριας στον ψηφιακό απαριθμητή.

Καθώς η πριονωτή τάση αυξάνεται, μετά από την πάροδο του χρόνου (Δt) γίνεται ίση με την αναλογική τάση (u). Τη στιγμή αυτή η έξοδος (K_1) του συγκριτή γίνεται "1". Επειδή και τα δύο σήματα εισόδου της πύλης OR είναι "1", η έξοδος της μηδενίζεται και η πύλη AND σταματά τη διέλευση των παλμών της γεννήτριας και ο απαριθμητής σταματά τη λειτουργία του.

Το σήμα του ψηφιακού μετρητή οδηγείται στη μνήμη για περαιτέρω επεξεργασία.

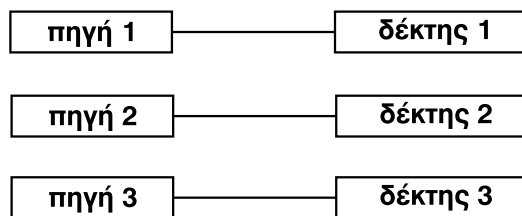
Στο παρακάτω σχήμα 10.10 φαίνονται οι κυματομορφές των τάσεων στις εξόδους K_1 , K_2 και y για θετική και αρνητική αναλογική τάση (u).



Σχήμα 10.13: Κυματομορφές τάσεων α) για θετική και β) για αρνητική αναλογική τάση (U) ενός A/D-μετατροπέα πριονωτής τάσης.

10.4 Πολυπλέκτες και αποπολυπλέκτες (Multiplexer και Demultiplexer)

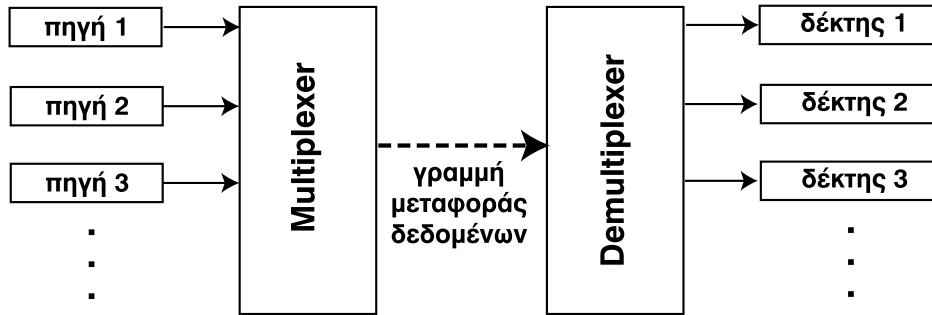
Στα πολύπλοκα συστήματα αυτομάτου ελέγχου εμφανίζεται πολλές φορές το πρόβλημα της μεταφοράς ψηφιακών σημάτων από ένα μεγάλο αριθμό πηγών σε συγκεκριμένους δέκτες. Παλαιότερα η μεταφορά αυτή γινόταν συνδέοντας κάθε πηγή με το δέκτη με ξεχωριστό καλώδιο (σχήμα 10.14).



Σχήμα 10.14: Πηγές – δέκτες με απ' ευθείας καλωδιακή σύνδεση.

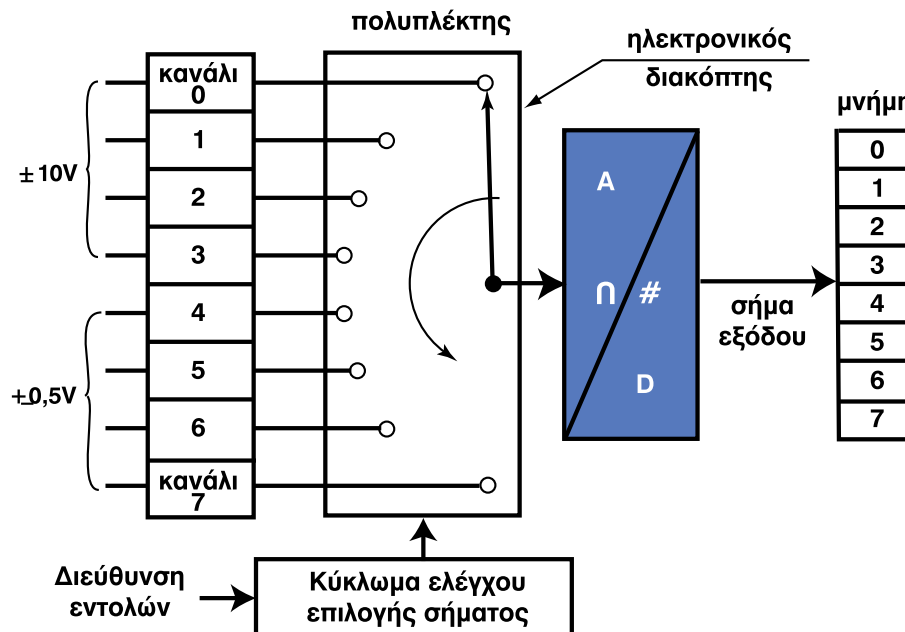
Η λύση όμως αυτή, είναι φανερό, ότι είναι αντιοικονομική και τεχνικά ασύμφορη.

Με την πρόοδο της τεχνολογίας αναπτύχθηκαν ηλεκτρονικά κυκλώματα, τα οποία διαθέτουν μόνο μία γραμμή μεταφοράς σημάτων και έχουν την ικανότητα να επιλέγουν τις πηγές διαδοχικά και να τις συνδέουν με τους αντίστοιχους δέκτες (σχήμα 10.15).



Σχήμα 10.15: Πολυπλέκτης και αποπολυπλέκτης.

Ο πολυπλέκτης δέχεται στη μονάδα εισόδου αναλογικά σήματα $\pm 10V$ ή $0,5V$. Τα σήματα αυτά συνδέονται διαδοχικά με τον δέκτη, ο οποίος μπορεί να είναι ένας A/D-μετατροπέας (σχήμα 10.16), με τη βοήθεια ενός διακόπτη που περιστρέφεται ηλεκτρονικά.



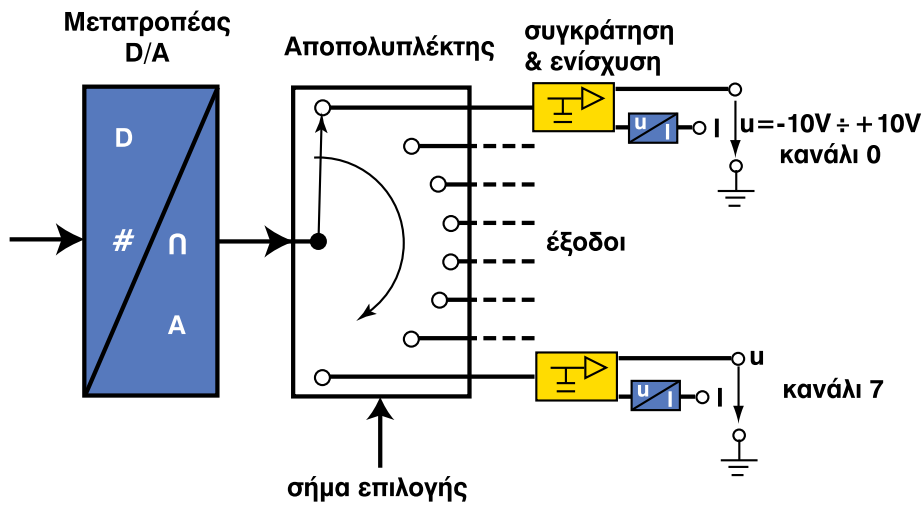
Σχήμα 10.16: Απλοποιημένο λειτουργικό διάγραμμα ενός πολυπλέκτη.



Τα κανάλια (0 έως 7), τα οποία συνδέονται με την είσοδο του πολυπλέκτη, επιλέγονται από τη μονάδα ελέγχου.

Ο πολυπλέκτης, λοιπόν, επιλέγει από ένα ορισμένο αριθμό καναλιών (κανάλι 0...7) ένα κανάλι με τη βοήθεια μιας διεύθυνσης της μονάδας ελέγχου και συνδέει το επιλεγθέν κανάλι (σήμα εισόδου) με την έξοδό του. Στη συνέχεια το σήμα εξόδου του πολυπλέκτη μετατρέπεται σε κωδικοποιημένο ψηφιακό σήμα με τη βοήθεια ενός A/D-μετατροπέα και αποθηκεύεται στη μνήμη.

Ο αποπολυπλέκτης δέχεται τις αναλογικές τιμές –συνήθως από έναν D/A- μετατροπέα- και τις διοχετεύει στα αντίστοιχα κυκλώματα αυτοσυγκράτησης και ενίσχυσης. Από την έξοδο των ενισχυτών λαμβάνουμε συνήθως τυποποιημένα σήματα, όπως τάση -10 έως $+10V$ και ρεύμα 0 έως $20mA$ ή 4 έως $20mA$ (σχήμα 10.17), τα οποία οδηγούνται στο τελικό στοιχείο ελέγχου.

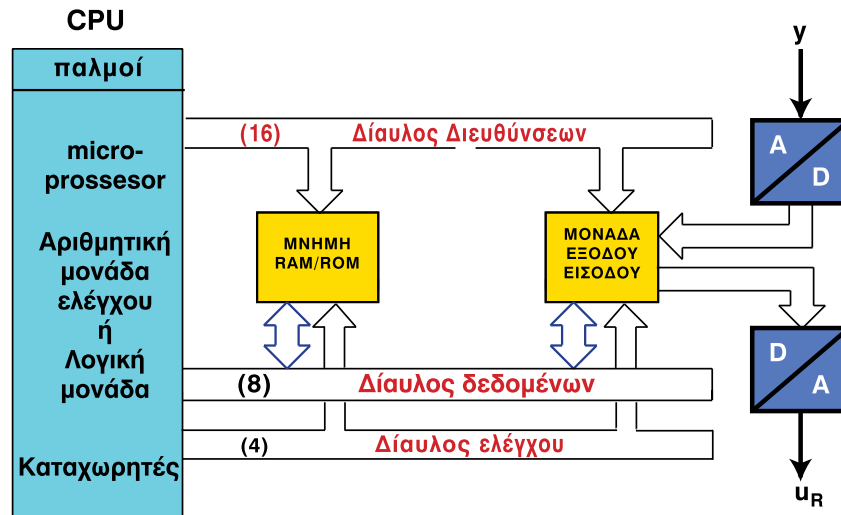


Σχήμα 10.17: Απλοποιημένο λειτουργικό διάγραμμα ενός αποπολυπλέκτη.

Ο αποπολυπλέκτης λοιπόν συνδέει το σήμα που δέχεται στην είσοδό του με μια από τις εξόδους του. Η επιλογή της εξόδου γίνεται από το κύκλωμα ελέγχου με τη βοήθεια μιας κωδικοποιημένης διεύθυνσης εντολής.



10.5 Ψηφιακός ελεγκτής



Σχήμα 10.18: Τυπική δομή ενός ψηφιακού ελεγκτή.

Ο ψηφιακός ελεγκτής, αν και εκτελεί τα ίδια καθήκοντα με τον αναλογικό, διαφέρει ως προς τον τρόπο της εσωτερικής του λειτουργίας.

Οι λειτουργίες που εκτελεί ένας ψηφιακός ελεγκτής είναι:

- ▶ Δειγματοληψία και
- ▶ Αποθήκευση (συγκράτηση) τιμών στην εξωτερική μνήμη.
- ▶ Γραμμικοποίηση των τιμών του αισθητηρίου (μαθηματική γραμμικοποίηση)
- ▶ Σύγκριση
- ▶ Υπολογισμοί
- ▶ Αποθήκευση στη μνήμη των τιμών
- ▶ Δημιουργία σήματος εξόδου
- ▶ D/A –μετατροπή του σήματος εξόδου
- ▶ Διευθυνσιοποίηση σημάτων

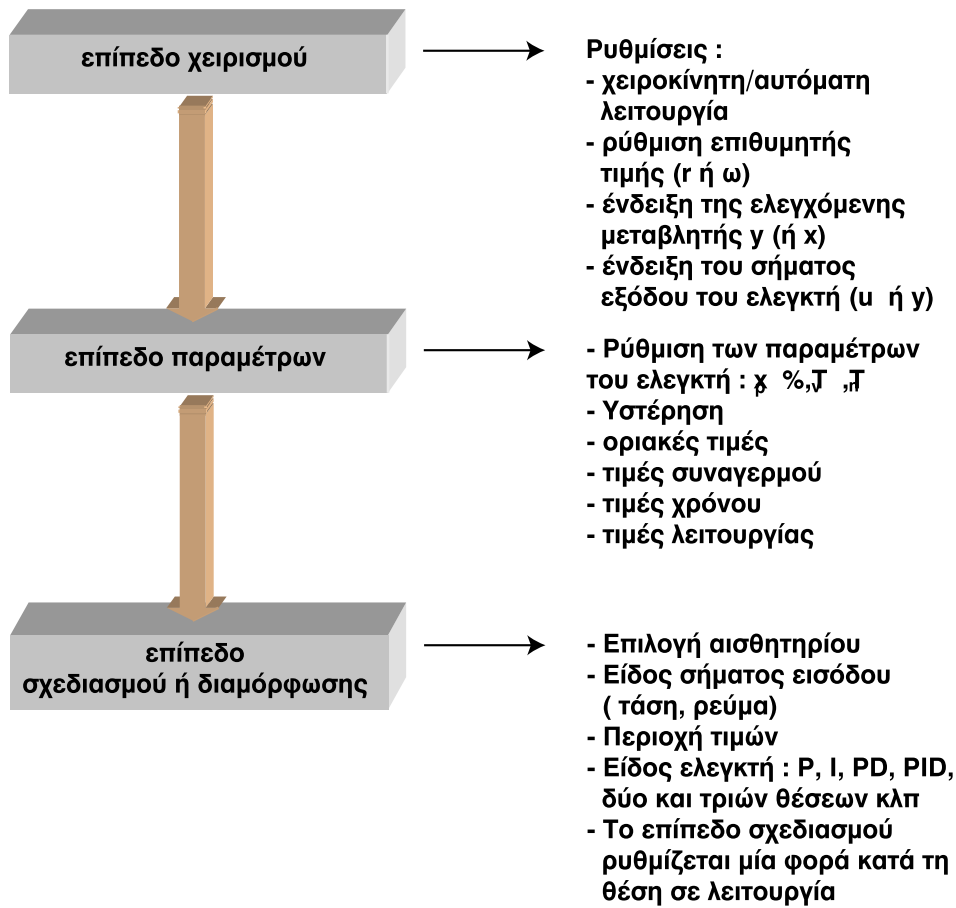
Οι ψηφιακοί ελεγκτές είναι περισσότερο ακριβείς σε σχέση με τους αναλογικούς, διότι δεν εξαρτώνται από τη θερμοκρασία, τη γήρανση των ηλεκτρονικών στοιχείων και από τις μεταβολές των παραμέτρων.

Μειονεκτούν όμως, διότι λόγω της πολυπλοκότητας της λειτουργίας τους απαιτούν εξειδικευμένο προσωπικό.

Η πρόσβαση του χρήστη στη λειτουργία του ψηφιακού ελεγκτή γίνεται σε τρία επίπεδα. Τα επίπεδα λειτουργίας είναι μεταξύ τους ηλεκτρονικά μανδαλωμένα, για να μην υπάρξουν λανθασμένοι χειρισμοί. Πατώντας π.χ. ένα πλήκτρο για 5 sec, αλλάζει η οθόνη του ελεγκτή από το ένα επίπεδο στο άλλο. Η παρέμβαση στα επίπεδα μπορεί να γίνει και δια μέσου του υπολογιστή. Τα επίπεδα λειτουργίας του ελεγκτή είναι τρία (σχήμα 10.19):



κεφάλαιο 10



Σχήμα 10.19: Επίπεδα λειτουργίας ενός ψηφιακού ελεγκτή.

Μια τυπική μορφή ψηφιακού ελεγκτή σύμφωνα με τις υποδείξεις NAMUR είναι ο ελεγκτής του σχήματος 10.20.



Σχήμα 10.20: Ψηφιακός τυποποιημένος ελεγκτής.





Η πρόσοψη των ψηφιακών ελεγκτών είναι τυποποιημένη τόσο ως προς την εξωτερική κατασκευή, όσο και ως προς τα πλήκτρα χρήσης (χειρισμού). Αυτό δίνει το πλεονέκτημα στους χρήστες να αντικαθιστούν έναν ελεγκτή με έναν άλλο άλλης εταιρείας.

Ο ελεγκτής έχει στο αριστερό ήμισυ της πρόσοψης μια κάθετη ένδειξη, η οποία μας δείχνει την τρέχουσα τιμή της ελεγχόμενης μεταβλητής ($y \hat{=} x$) και την επιθυμητή τιμή $r \hat{=} w$. Η ένδειξη γίνεται με δείκτη ή με φωτιζόμενη ταινία. Οι ενδείξεις δίνονται πάντα επί τοις εκατό [π.χ. $w=30\%$, $y=60\%$ κ.λπ.]. Στο κάτω μέρος σε οριζόντια θέση υπάρχει η ένδειξη της τρέχουσας τιμής του σήματος εξόδου του ελεγκτή.

Στο υπόλοιπο δεξιό ήμισυ της πρόσοψης υπάρχουν τα πλήκτρα για τη ρύθμιση των παραμέτρων (K_p ή $X_p\%$, T_v , T_n κ.λπ.), και για τη ρύθμιση της επιθυμητής τιμής.

Επίσης υπάρχει διακόπτης για χειροκίνητη και αυτόματη λειτουργία.

Άλλες ρυθμίσεις, όπως η επιλογή των σημάτων, γίνονται στην πλάγια όψη του ελεγκτή κατά την θέση λειτουργίας από τους τεχνικούς. Ένα διαδεδομένο τυποποιημένο σήμα είναι τα $4 \div 20\text{mA}$.

Με το σήμα αυτό γίνεται αντιληπτό από τον ελεγκτή αν το καλώδιο μεταφοράς είναι κομμένο ή όχι. Αυτή η δυνατότητα δεν υπάρχει, όταν επιλέξουμε το σήμα των $0 \div 20\text{mA}$.



ΠΕΡΙΛΗΨΗ

✓ Η αρχή λειτουργίας των ψηφιακών είναι ίδια με αυτή των αναλογικών ΣΑΕ. Διαφέρουν όμως μεταξύ τους ως προς τη μορφή των σημάτων και τον τρόπο επεξεργασίας τους. Τα ψηφιακά ΣΑΕ επεξεργάζονται ψηφιακά σήματα και επομένως οι πράξεις γίνονται σύμφωνα με τους κανόνες της ψηφιακής λογικής. Τα ψηφιακά ΣΑΕ αποτελούνται από τις εξής διατάξεις: το ελεγχόμενο σύστημα, το μετατροπέα (αισθητήριο), τον αναλογικό/ψηφιακό μετατροπέα, τον ψηφιακό ελεγκτή, τον ψηφιακό/αναλογικό μετατροπέα και το τελικό στοιχείο ελέγχου.

✓ Τα σήματα είναι φυσικά μεγέθη, (π.χ. τάση, ρεύμα), τα οποία μας παρέχουν πληροφορίες. Η πληροφορία λαμβάνεται από τις παραμέτρους του σήματος (π.χ. στιγμιαία τιμή, πλάτος, συχνότητα, φασική διαφορά).

✓ Τα σήματα διακρίνονται σε αναλογικά και δυαδικά ή ψηφιακά.

Το αναλογικό σήμα λαμβάνει άπειρες τιμές, το δυαδικό μόνο δύο τιμές και το ψηφιακό περισσότερες διαδοχικές τιμές σε κωδικοποιημένη μορφή.

✓ Κωδικοποίηση είναι η μετατροπή μιας πληροφορίας από μια μορφή σε άλλη. Για την κωδικοποίηση των πληροφοριών αναπτύχθηκαν διάφοροι κώδικες, όπως:

Ο κώδικας BCD, ο δεκαεξαδικός κώδικας και ο κώδικας ASCII.

✓ Οι ψηφιακοί/αναλογικοί μετατροπείς μετατρέπουν το ψηφιακό σήμα του ελεγκτή σε αναλογικό.

Ανάλογα με το σήμα εξόδου οι D/A –μετατροπείς διακρίνονται σε D

-D/A –μετατροπείς με έξοδο τάση. Το κωδικοποιημένο κατά BCD δυαδικό σήμα μετατρέπεται σε ανάλογη τιμή ρεύματος. Τα επί μέρους ρεύματα αθροίζονται και στη συνέχεια μετατρέπονται σε ανάλογη τάση.

✓ Οι αναλογικοί/ψηφιακοί μετατροπείς μετατρέπουν το αναλογικό σήμα της μετρητικής διάταξης (μετατροπέας μέτρησης) σε ψηφιακό σήμα. Το σήμα εισόδου είναι συνήθως τάση και ανάλογα με το ρυθμό δειγματοληψίας, έχουμε μεγαλύτερη ή μικρότερη ακρίβεια μετατροπής του αναλογικού σε ψηφιακού.

✓ Η μετατροπή του αναλογικού σήματος σε ψηφιακό γίνεται με διάφορες μεθόδους, όπως:

- ▶ μέθοδος της άμεσης ή απ' ευθείας μετατροπής
- ▶ μέθοδος μετατροπής τάσης σε χρόνο και
- ▶ μέθοδος μετατροπής τάσης σε συχνότητα.

Λόγω οικονομίας χώρου και χρόνου εξετάσαμε μόνο τη λειτουργία δύο A/D-μετατροπέων:

- A)** A/D-παράλληλοι μετατροπείς, οι οποίοι χρησιμοποιούν τη μέθοδο της απευθείας μετατροπής. Στους παράλληλους μετατροπείς η τάση αναφοράς με τη βοήθεια ενός διαιρέτη τάσης διαιρείται σε τόσα τμήματα, όσα είναι οι κωδικοποιημένοι δυαδικοί αριθμοί. Στη συνέχεια κάθε τμήμα της τάσης αναφοράς συγκρίνεται με τη μετρούμενη τάση. Το αποτέλεσμα της σύγκρισης εισάγεται σ' ένα λογικό κύκλωμα για την παραγωγή του ψηφιακού σήματος.
- B)** A/D-μετατροπείς σύμφωνα με τη μέθοδο της πριονωτής τάσης. Ο μετατροπείς αυτός μετατρέπει τη μετρηθείσα τάση σε ανάλογη τιμή χρόνου

$$u \approx \Delta t$$

Ο χρόνος αυτός είναι ο χρόνος ανόδου μιας πριονωτής τάσης σταθερής κλίσης και συμπίπτει με το χρονικό σημείο όπου η μετρούμενη αναλογική τάση είναι ίση με την πριονωτή τάση.

✓ Πολυπλέκτες και αποπολυπλέκτες: Ο πολυπλέκτης βρίσκεται στην είσοδο του ψηφιακού ελεγκτή και χρησιμοποιείται κυρίως εκεί όπου έχουμε πολλά σήματα προς επεξεργασία. Τα σήματα αυτά συνδέονται διαδοχικά με την έξοδό του και στη συνέχεια μετατρέπονται.

Αντίθετα, ο αποπολυπλέκτης βρίσκεται στην έξοδο του ψηφιακού ελεγκτή και συνδέει τα αναλογικά σήματα του D/A-μετατροπέα με την έξοδό του. Τα σήματα αυτά αφού ενισχυθούν οδηγούνται στα αντίστοιχα τελικά στοιχεία ελέγχου.

Η σύνδεση των εισόδων με την έξοδο ή της εισόδου με τις εξόδους γίνεται με τη βοήθεια μιας κωδικοποιημένης εντολής διεύθυνσης, η οποία προέρχεται από τη μονάδα ελέγχου.

✓ Ο ψηφιακός ελεγκτής έχει τα ίδια καθήκοντα με τον αναλογικό. Η εσωτερική του όμως λειτουργία και ο τρόπος χειρισμού είναι εντελώς διαφορετικός. Ο ψηφιακός ελεγκτής διαθέτει τρία επίπεδα λειτουργίας.

- A)** Επίπεδο χειρισμού. Στο επίπεδο αυτό επιλέγουμε τη χειροκίνητη ή αυτόματη λειτουργία, ρυθμίζουμε την επιθυμητή τιμή και λαμβάνουμε ένδειξη για τις στιγμιαίες τιμές της ελεγχόμενης μεταβλητής (y) και του σήματος εξόδου του ελεγκτή ή του τελικού στοιχείου ελέγχου.
- B)** Επίπεδο παραμέτρων. Στο επίπεδο αυτό ρυθμίζουμε τα τεχνικά χαρακτηριστικά (ή παραμέτρους) του ελεγκτή.
- Γ)** Επίπεδο σχεδιασμού ή διαμόρφωσης. Το επίπεδο σχεδιασμού ρυθμίζεται κατά την έναρξη λειτουργίας και δεν επιτρέπονται συνεχείς μεταβολές. Στο επίπεδο αυτό γίνεται επιλογή του είδους του ελεγκτή και ρύθμιση των παραμέτρων του προγράμματος.

ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ

- 1) Σχεδιάσε ένα ψηφιακό ΣΑΕ.
- 2) Σύγκρινε ένα αναλογικό με ένα ψηφιακό ΣΑΕ.
- 3) Ποια η διαφορά του αναλογικού από το ψηφιακό ελεγκτή;
- 4) Τι είναι οι ψηφιακοί μετατροπείς (A/D και D/A converter) και σε τι χρησιμεύουν;
- 5) Εξηγήστε τη λειτουργία ενός ψηφιακού ΣΑΕ (DDC- συστήματος).
- 6) Τι είναι η κωδικοποίηση;
- 7) Ποιούς κώδικες γνωρίζετε και σε τι χρησιμεύουν;
- 8) Τι είναι ο κώδικας ASCII;
- 9) Εξηγήστε τη λειτουργία του D/A – μετατροπέα και σχεδιάστε το σύμβολό του.
- 10) Εξηγήστε τη λειτουργία του A/D μετατροπέα και σχεδιάστε το σύμβολό του.
- 11) Ποια είναι τα επίπεδα λειτουργίας του ψηφιακού ελεγκτή;

15. ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΖΟΜΕΝΟΙ ΛΟΓΙΚΟΙ ΕΛΕΓΚΤΕΣ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΖΟΜΕΝΟΙ ΛΟΓΙΚΟΙ ΕΛΕΓΚΤΕΣ

3.1 Εισαγωγή.

Οι τεχνολογικές εξελίξεις των τελευταίων δεκαετιών, κυρίως στον τομέα της ηλεκτρονικής και των ψηφιακών συστημάτων, είχαν ως αποτέλεσμα την επανάσταση και στον τομέα της **εφαρμοσμένης μηχανικής ελέγχου** (control engineering). Στις απαρχές του προηγούμενου αιώνα και κατά τις πρώτες δεκαετίες του, η παρουσία του ανθρώπου κατά την λειτουργία ενός συστήματος ήταν απαραίτητη για τον έλεγχο του. Οι πρώτοι αυτοματισμοί ήταν καθαρά μηχανικοί και βασίζονταν στη λειτουργία γραναζιών και μοχλών. Στην συνέχεια για τον έλεγχο συστημάτων και διαδικασιών χρησιμοποιήθηκε ο ηλεκτρισμός. Ο ηλεκτρικός έλεγχος βασίστηκε στην λειτουργία των **ηλεκτρονόμων** (relays), ηλεκτρικών διακοπών που ανοίγουν και κλείνουν ηλεκτρομηχανικά ή ηλεκτρονικά. Με τον τρόπο αυτόν επιτρέπουν την σύνδεση και αποσύνδεση μεγάλων φορτίων στα ελεγχόμενα κυκλώματα (κυκλώματα ισχύος) όχι άμεσα, αλλά έμμεσα με τον χειρισμό βοηθητικών κυκλωμάτων (κυκλώματα αυτοματισμού), τα οποία λειτουργούν με χαμηλότερη ισχύ από τα ελεγχόμενα κυκλώματα.

Η ανακάλυψη του τρανζιστορ στις αρχές της δεκαετίας του '50 οδήγησε στην επανάσταση των ημιαγωγών. Οι ημιαγωγοί στα επόμενα χρόνια αντικατέστησαν τις ηλεκτρονικές λυχνίες, οι οποίες ήταν συσκευές ογκώδεις, ενεργοβόρες και μεγάλου κόστους και χρησιμοποιούνταν στα ηλεκτρονικά κυκλώματα. Με την εμφάνιση των ημιαγωγών δημιουργήθηκε μία επανάσταση στην εξέλιξη των ηλεκτρονικών υπολογιστών και οι μηχανικοί ήδη από την δεκαετία του '60 προσπάθησαν να εκμεταλλευτούν την εξέλιξη αυτή στον αυτόματο έλεγχο. Οι πρώτες μηχανές που δέχτηκαν την ευεργετική επίδραση της εξέλιξης αυτής ήταν μηχανές όπως οι τόννοι και οι φρέζες.

Το επόμενο βήμα σε αυτήν την επανάσταση ήρθε την δεκαετία του '70 με την εμφάνιση των μικροεπεξεργαστών. Ο όγκος των αυτοματισμών όπως και

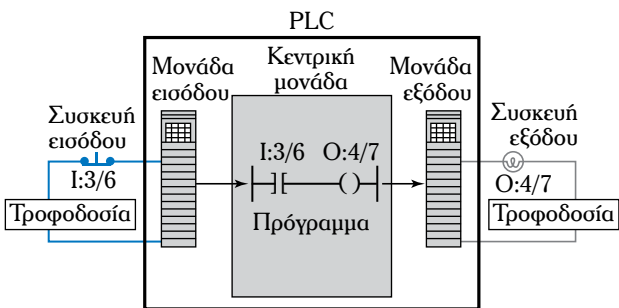
των ηλεκτρονικών υπολογιστών, καθώς και το κόστος αυτών των συστημάτων συμπίεστηκε κατά πολύ και ως αποτέλεσμα η νέα αυτή τεχνολογία πέρασε σε πολλούς τομείς της καθημερινής ζωής. Έτσι φτάσαμε στα τέλη της δεκαετίας του '70 και στις αρχές της δεκαετίας του '80, όταν οι εταιρείες ηλεκτρολογικού υλικού παρουσιάζουν ένα νέο προϊόν, το οποίο ονομάζουν **Προγραμματιζόμενο Λογικό Ελεγκτή** (Programmable Logic Controller – PLC). Το νέο αυτό προϊόν υπόσχεται μία νέα επανάσταση στην βιομηχανία, αφού αποβλέπει στην αντικατάσταση των κλασικών πολύπλοκων πινάκων αυτοματισμού. Αντί για την κατασκευή ενός πίνακα κλασικού αυτοματισμού, ο οποίος θα περιέχει μεγάλο πλήθος από ηλεκτρονόμους, χρονικά και απαριθμητές με πολύπλοκες συνδεσμολογίες και καλωδιώσεις μεταξύ τους, γίνεται χρήση των PLC, όπου η λειτουργία του αυτοματισμού προγραμματίζεται μέσω μίας ειδικής συσκευής ή μέσω ηλεκτρονικού υπολογιστή με τη χρήση κατάλληλου λογισμικού. Με τον τρόπο αυτόν απλοποιείται ο πίνακας του αυτοματισμού, καθώς και το σύνολο των καλωδιώσεων, ενώ ο χρόνος που απαιτείται για την σχεδίαση του αυτοματισμού, τον προγραμματισμό του PLC και την κατασκευή του πίνακα αυτοματισμού είναι μόλις ένα κλάσμα του χρόνου που απαιτείται για την υλοποίηση μίας αντίστοιχης διατάξεως κλασικού αυτοματισμού.

Ουσιαστικά ο PLC είναι ένας μικροϋπολογιστής κατάλληλα προσαρμοσμένος για την λειτουργία αυτοματισμών. Χρησιμοποιείται δηλαδή για να ελέγχονται μηχανές και διεργασίες όπου απαιτείται να εκτελείται μία αυτόματη λειτουργία. Το φάσμα των εφαρμογών σήμερα είναι τεράστιο και ξεκινά από τη βιομηχανία, τη ναυτιλία και φτάνει στον έλεγχο ανελκυστήρων, σε εφαρμογές φωτισμού, οικιακές εφαρμογές κ.λπ.. Η λειτουργία τους βασίζεται στην συλλογή πληροφοριών από διακόπτες και αισθητήρες, στην επεξεργασία αυτών των πληροφοριών βάσει ενός προγράμματος που είναι αποθηκευμένο στη μνήμη του PLC και στην λήψη αποφάσεων για

το πώς και πότε θα ενεργοποιηθούν μηχανές και ενεργοποιητές γενικά, προκειμένου να ολοκληρωθεί μία αυτόματη λειτουργία (σχ. 3.1).

Σήμερα οι κλασικοί αυτοματισμοί με ηλεκτρονόμους τείνουν να εκλείψουν και τη θέση τους καταλαμβάνουν τα PLC. Στα **πλεονεκτήματα** των τελευταίων περιλαμβάνονται τα παρακάτω:

- 1) Απαιτείται μικρότερος χώρος για την κατασκευή του πίνακα αυτοματισμού,
- 2) οι απαιτήσεις συντηρήσεως είναι μικρές,
- 3) λιγότερη και απλούστερη καλωδίωση,
- 4) γρηγορότερη απόκριση του συστήματος αυτοματισμού,
- 5) αυξημένη αξιοπιστία του αυτοματισμού,
- 6) μεγαλύτερη ευελιξία στην σχεδίαση αλλά και στην τροποποίηση του υπάρχοντος αυτοματισμού,
- 7) ευκολότερη αντιμετώπιση προβλημάτων (troubleshooting), τα οποία μπορεί να προκύψουν κατά την λειτουργία του συστήματος,
- 8) δυνατότητα απομακρυσμένου χειρισμού (remote control),
- 9) εύκολη επέκταση του υπάρχοντος αυτοματισμού είτε μόνο μέσω αλλαγής του προγράμματος που εκτελείται στον PLC, είτε και με την κατάλληλη προσθήκη μονάδων εισόδου-εξόδου, και
- 10) αξιόπιστη λειτουργία και αντοχή σε περιβάλλοντα υψηλών θερμοκρασιών, πιθανών εκρήξεων, συγκεντρώσεως ατμών, θορύβου, δονήσεων και υγρασίας.



Σχ. 3.1

Απλή παρουσίαση της λειτουργίας ενός PLC.

Στα **μειονεκτήματα** των PLC θα μπορούσαμε να αναφερθούμε στο ότι:

- 1) Απαιτείται εξειδικευμένο προσωπικό για τον προγραμματισμό και τον χειρισμό τους, και
- 2) όταν η λογική του συστήματος που υλοποιείται είναι πολύ απλή, η χρήση ηλεκτρονόμων ίσως είναι προτιμότερη.

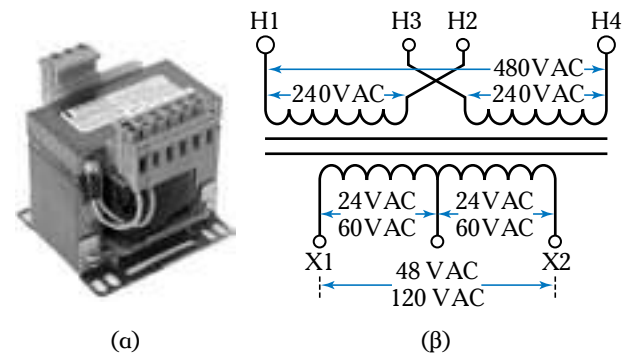
Το κυρίως θέμα του παρόντος κεφαλαίου είναι η διεξοδική παρουσίαση και ανάλυση των PLC.

Παρόλ' αυτά κρίνεται σκόπιμο πριν προχωρήσουμε στην παρουσίασή τους να γίνει μία παράθεση του βασικού ηλεκτρολογικού εξοπλισμού που χρησιμοποιείται στα παραδοσιακά **συστήματα αυτομάτου ελέγχου** (ΣΑΕ), έτσι ώστε να είναι πιο εύκολη η άμεση σύγκρισή τους.

3.2 Βασικός ηλεκτρολογικός εξοπλισμός συστήματος ελέγχου.

Για την υλοποίηση ενός συστήματος ελέγχου χρησιμοποιείται κατάλληλος ηλεκτρολογικός εξοπλισμός και εξαρτήματα. Τα πιο κοινά απ' αυτά είναι:

1) **Μετασχηματιστές Ελέγχου** (Control Transformers): Πρόκειται για μετασχηματιστές που υποβιβάζουν την τάση του δικτύου (230 V AC, 440 V AC ή και περισσότερο) σε τάσεις όπως είναι τα 120 V AC ή και μικρότερες (σχ. 3.2a).

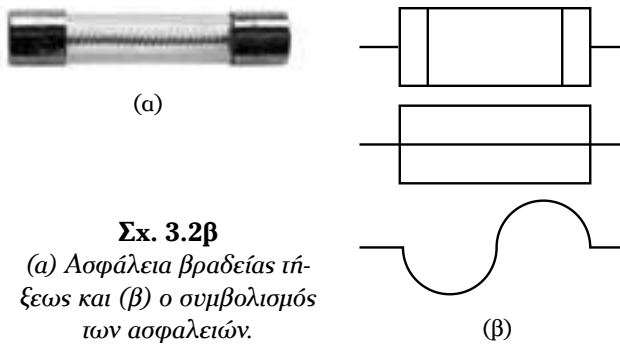


Σχ. 3.2α

(α) Μετασχηματιστής ελέγχου και (β) σχέδιο.

Είναι άξιο παρατηρήσεως στο σχέδιο του σχήματος 3.2α το γεγονός ότι ο μετασχηματιστής αποτελείται από δύο πρωτεύοντα τυλίγματα. Συνδέοντας τα δύο πρωτεύοντα τυλίγματα παράλληλα, η τάση πρωτεύοντος μπορεί να φτάσει τα 240 V AC, ενώ συνδέοντάς τα σε σειρά η τάση γίνεται 480 V AC. Η ύπαρξη πολλαπλών τυλιγμάτων πρωτεύοντος είναι μία συνηθισμένη πρακτική που ακολουθούν οι κατασκευαστές μετασχηματιστών ελέγχου, αφού με τον τρόπο αυτόν επιτυγχάνεται η μείωση του κόστους των συστημάτων ελέγχου αλλά και γίνεται πιο ευέλικτη η χρήση των μετασχηματιστών ανάλογα με την εφαρμογή στην οποία πρόκειται να χρησιμοποιηθούν.

2) **Ασφάλειες** (fuses): Τα κυκλώματα των συστημάτων ελέγχου προστατεύονται με ασφάλειες. Οι ασφάλειες προστατεύουν τον εξοπλισμό από πιθανά βραχυκυκλώματα στο κύκλωμα ελέγχου. Οι ασφάλειες που χρησιμοποιούνται γενικά στα κυκλώματα



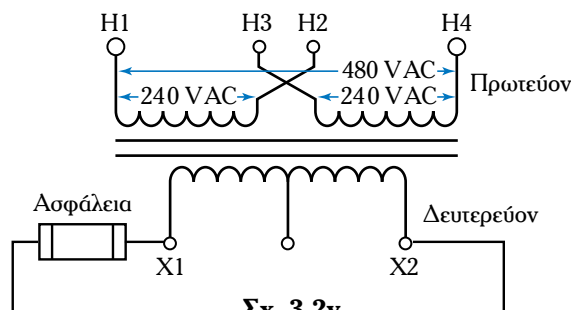
Σχ. 3.2β

(α) Ασφάλεια βραδείας τήξεως και (β) ο συμβολισμός των ασφαλειών.

ελέγχου είναι **βραδείας τήξεως** (slow blow fuse), έτσι ώστε να επιτρέπουν αιχμές¹ ρεύματος για μικρά χρονικά διαστήματα, όπως συμβαίνει όταν ξεκινά η παροχή ισχύος (σχ. 3.2β).

Οι ασφάλειες συνδέονται σε σειρά με το δευτερεύον τύλιγμα του μετασχηματιστή και υπολογίζονται για ρεύμα μικρότερο ή ίσο με το ονομαστικό ρεύμα δευτερεύοντος τυλίγματος. Πολλοί μετασχηματιστές ελέγχου περιλαμβάνουν ενσωματωμένη θήκη για τοποθέτηση της ασφάλειας δευτερεύοντος. Στο σχήμα 3.2γ παρουσιάζεται το σχέδιο συνδέσεως της ασφάλειας στο κύκλωμα δευτερεύοντος.

3) **Διακόπτες** (switches): Υπάρχουν δύο βασικές χρήσεις των διακοπών. Η πρώτη χρήση τους είναι για να αποστέλλονται εντολές εισόδου στο κύκλωμα ελέγχου. Συχνά συναντώνται με τον όρο «ξηρές επαφές». Η δεύτερη χρήση τους είναι για να παρέχεται αυτόματη ανάδραση στο σύστημα ελέγχου. Για την χρήση αυτή χρησιμοποιούνται κατάλληλοι διακόπτες στα κινούμενα μέρη ενός μηχανισμού. Ως προς την ενέργεια που επιτελούν μπορεί να είναι **κανονικά ανοικτοί** (Normally Open – NO), όταν πιεζόμενοι κλείνουν ένα κύκλωμα, και **κανονικά κλειστοί** (Normally Closed – NC), όταν πιεζόμενοι ανοίγουν ένα κύκλωμα. Υπάρχουν πάρα πολλοί τύποι διακοπών που δεν μπορούν να καλυφθούν

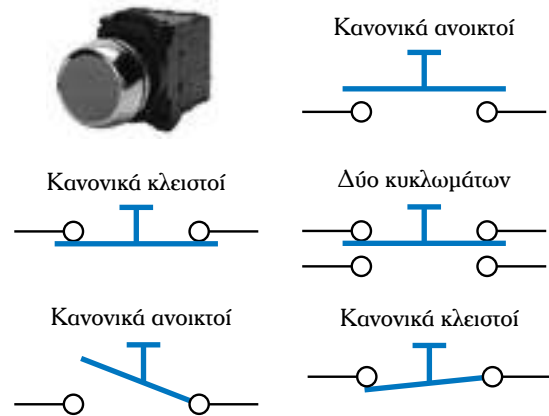


Σχ. 3.2γ

Τοποθέτηση ασφάλειας στο δευτερεύον του μετασχηματιστή ελέγχου.

όλοι από το παρόν σύγγραμμα. Για την κατανόηση της πλειονότητας των διακοπών παρουσιάζουμε τους εξής τύπους:

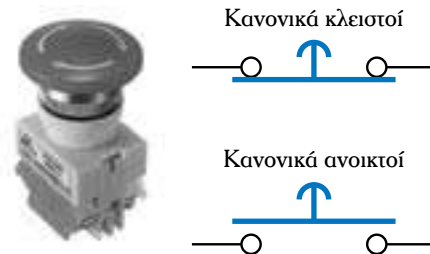
α) **Πιεζόμενο κομβίο (κουμπί)** (pushbutton) (σχ. 3.2δ): Πρόκειται για τον πιο κοινό διακόπτη. Χρησιμοποιείται ευρέως στα συστήματα ελέγχου. Διακρίνεται σε κομβίο στιγμιαίο, που ενεργοποιείται όταν πιέζεται και απενεργοποιείται όταν απελευθερώνεται, και σε κομβίο διατηρήσεως της καταστάσεως, το οποίο όταν απελευθερώνεται, παραμένει ενεργοποιημένο και για να απενεργοποιηθεί πρέπει να ξαναπιεστεί.



Σχ. 3.2δ

Διακόπτης πιεζόμενου κομβίου και ο συμβολισμός του.

Σε περιπτώσεις έκτακτης ανάγκης (emergency) είναι σημαντικό να διευκολύνεται η ταχύτατη πρόσβαση σε διακόπτη, το πάτημα του οποίου θα μπορεί να ανοίξει το κύκλωμα απενεργοποιώντας το. Για αυτού του είδους την χρήση οι καταλληλότεροι διακόπτες είναι με **κομβίο τύπου «μανιτάρι»** (mushroom pushbutton) (σχ. 3.2ε).

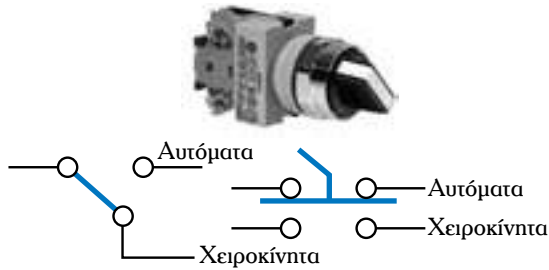


Σχ. 3.2ε

Κομβίο τύπου «μανιτάρι» και σύμβολα.

¹ **Αιχμές ρεύματος:** δηλ. υψηλή τιμή ρεύματος για μικρό χρονικό διάστημα.

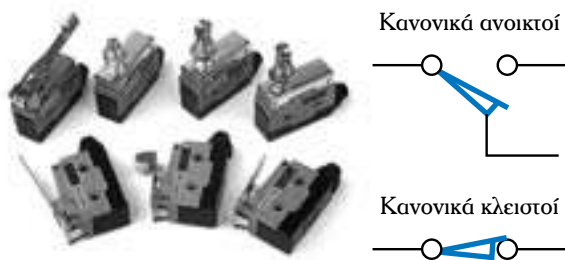
β) **Επιλεκτικός διακόπτης** (selector switch): Γνωστός επίσης και ως **περιστροφικός διακόπτης** (σχ. 3.2στ). Με τον επιλεκτικό διακόπτη μιά δίνεται η δυνατότητα να επιλέξουμε μεταξύ δυο καταστάσεων λειτουργίας. Η πιο συνηθισμένη του χρήση είναι η επιλογή λειτουργίας της ελεγχόμενης εγκαταστάσεως είτε αυτόματα είτε χειροκίνητα.



Σχ. 3.2στ
Επιλεκτικός διακόπτης και σύμβολο.

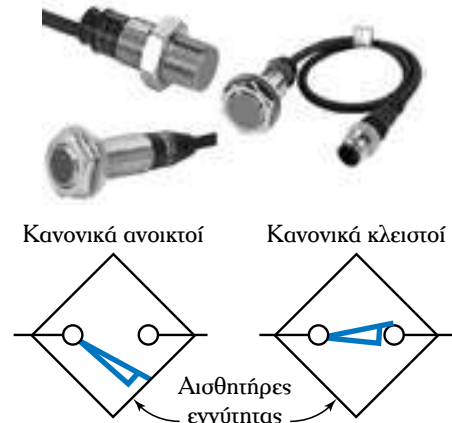
γ) **Οριακός διακόπτης** (limit switch): Πρόκειται κυρίως για διακόπτη, που, συνήθως, δεν είναι προσβάσιμος στον χειριστή αλλά ενεργοποιείται από κινούμενα μέρη μηχανών, από μοχλούς ή την παρουσία αντικειμένων. Στο σχήμα 3.2ζ παρουσιάζονται διάφοροι τύποι μηχανικών οριακών διακοπών μαζί με το αντίστοιχο σύμβολο. Οι οριακοί διακόπτες κλείνουν ή ανοίγουν ένα κύκλωμα, στο οποίο είναι συνδεδεμένοι, με την παρουσία ή την απουσία ενός αντικειμένου. Έτσι, ανάλογα με τον τύπο του οριακού διακόπτη, μπορούν να ανιχνεύσουν το πέρασμα ενός αντικειμένου από μία καθορισμένη θέση, την αλλαγή θέσεως του αντικειμένου ή το τέλος της πορείας του.

Εκτός από τους μηχανικούς οριακούς διακόπτες, που απαιτούν την επαφή με το αντικείμενο την θέση του οποίου ελέγχουν, υπάρχουν και οι οριακοί διακόπτες που ενεργοποιούνται επαγωγικά, χωρητικά, μαγνητικά ή με το φως. Αυτοί οι οριακοί διακόπτες ονομάζονται και **διακόπτες εγγύτητας** ή **αισθητήρες εγγύτητας** (proximity sensors). Οι διακόπτες αυτοί



Σχ. 3.2ζ
Οριακοί διακόπτες και ο συμβολισμός τους.

δεν απαιτούν φυσική επαφή με το αντικείμενο που ελέγχουν, αλλά μπορούν να ενεργοποιηθούν από απόσταση. Οι **επαγωγικοί αισθητήρες** (inductive sensors) χρησιμοποιούνται για την ανίχνευση μεταλλικών αντικειμένων, οι **χωρητικοί** (capacitive sensors) για την ανίχνευση και μεταλλικών αλλά και μη μεταλλικών αντικειμένων (πλαστικά, ξύλο κ.λπ.), οι **μαγνητικοί αισθητήρες** (magnetic sensors) για την ανίχνευση μαγνητικών και σιδηρομαγνητικών υλικών και οι **φωτοηλεκτρικοί αισθητήρες** (photoelectric sensors) για την ανίχνευση αντικειμένων, ανεξάρτητα από το υλικό κατασκευής τους, ενεργοποιούνται μέσω της ανακλάσεως του φωτός. Στο σχήμα 3.2η παρουσιάζονται οι διάφοροι τύποι διακοπών εγγύτητας και το σύμβολο αυτού του διακόπτη.

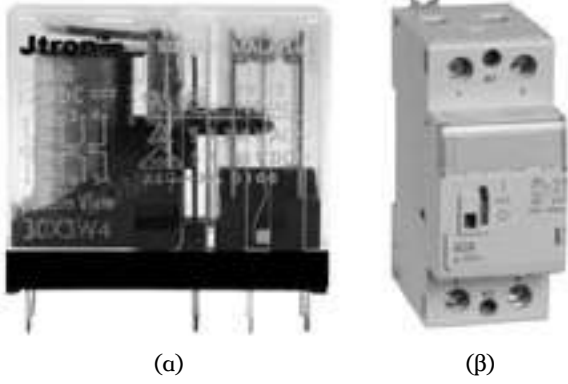


Σχ. 3.2η
Διακόπτες ή αισθητήρες εγγύτητας και ο συμβολισμός τους.

4) **Ενδεικτικές λυχνίες** (indicator lamps): Όλοι οι πίνακες ελέγχου περιλαμβάνουν ενδεικτικές λυχνίες (σχ. 3.2θ) που δείχνουν την ενεργοποίηση ή όχι ενός μηχανισμού ή κάποιου τμήματος του συστήματος ελέγχου. Οι λυχνίες που χρησιμοποιούνται είναι συνήθως πυρακτώσεως και καλύπτονται με χρωματιστούς φακούς συνήθως χρώματος κόκκινου και πράσινου. Οι κόκκινες λυχνίες χρησιμοποιούνται για την ένδειξη υπάρξεως παροχής ισχύος σε μία



Σχ. 3.2θ
Ενδεικτικές λυχνίες πινάκων ελέγχου και σύμβολο.



(α) (β)

Σχ. 3.21

Ηλεκτρονόμοι (ρελέ) (α) γενικής χρήσεως, και (β) ράγας πίνακα αυτοματισμών.

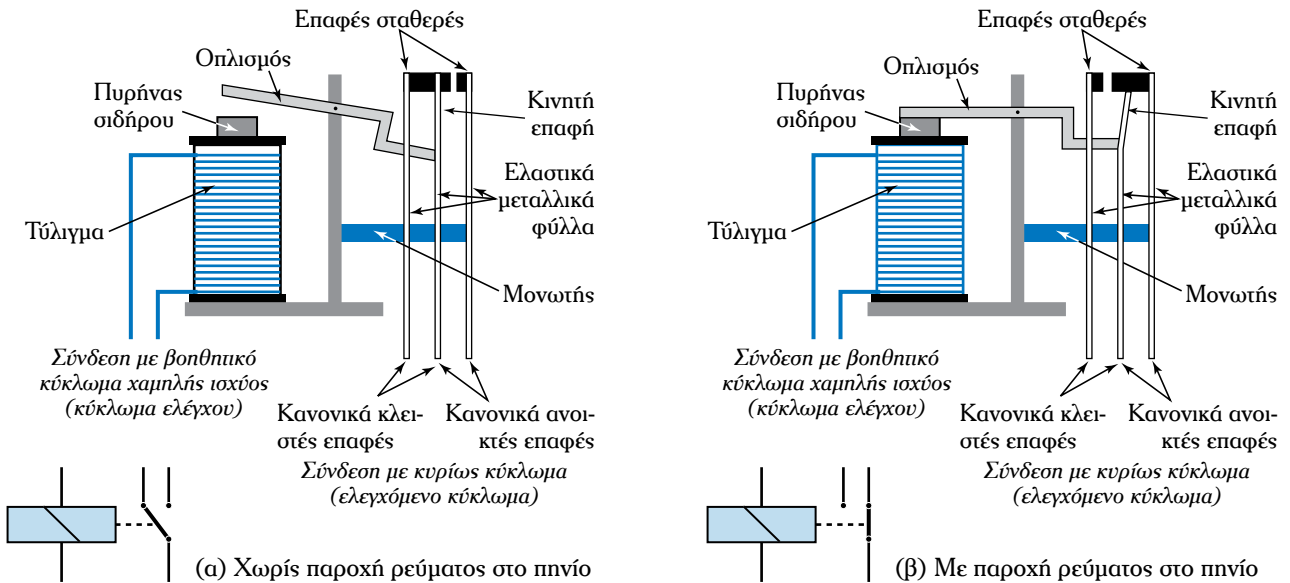
μηχανή ή για καταστάσεις σφαλμάτων και οι πράσινες λυχνίες για την παύση της παροχής ισχύος ή την ενεργοποίηση συστημάτων φρένων κ.λπ. Άλλα χρώματα χρησιμοποιούνται για καταστάσεις όπως η χαμηλή στάθμη υγρών, η συμπλήρωση των ωρών λειτουργίας για συντήρηση μίας μηχανής κ.λπ.. Λειτουργούν συνήθως με χαμηλές τάσεις λειτουργίας όπως τα 12 V ή 24 V AC.

5) **Ηλεκτρονόμοι** (relays) (σχ. 3.21): Πρόκειται για ηλεκτρομαγνητικές συσκευές οι οποίες χρησιμοποιούνται για τον έλεγχο ενός κυκλώματος μέσω ενός δευτερεύοντος κυκλώματος χαμηλής ισχύος.

Ο ηλεκτρονόμος πιο γνωστός και ως **ρελέ** αποτελείται από ένα πηνίο τυλιγμένο γύρω από έναν πυρήνα σιδήρου. Το τύλιγμα του πηνίου αποτελεί

μέρος του κυκλώματος διεγέρσεως ή ελέγχου και συνήθως είναι χαμηλής ισχύος. Όταν το τύλιγμα διαρρέεται από ρεύμα, ο πυρήνας μετατρέπεται σε ηλεκτρομαγνήτη, το μαγνητικό πεδίο του οποίου είναι τόσο ισχυρότερο όσο υψηλότερη είναι η ένταση του ρεύματος που διαρρέει το τύλιγμα. Το ρεύμα διεγέρσεως μπορεί να είναι εναλλασσόμενο (AC) ή συνεχές (DC) ανάλογα με τον τύπο ρελέ. Το μαγνητικό πεδίο έλκει έναν οπλισμό, ο οποίος πιέζει μία κινητή επαφή πάνω σε μία άλλη επαφή που είναι σταθερή και κλείνει το κυρίως κύκλωμα στο οποίο είναι συνδεδεμένες αυτές οι επαφές.

Στην αγορά υπάρχουν ρελέ με ένα μόνο ζευγάρι επαφών, με δύο αλλά και με πολλά ζευγάρια επαφών. Στο σχήμα 3.21α(α) παρουσιάζεται το σχέδιο ενός ρελέ με δύο ζευγάρια επαφών, τα οποία δημιουργούνται από μία επαφή κοινή (common) και από δύο άλλες. Όταν το τύλιγμα του πηνίου (κύκλωμα διεγέρσεως) δεν διαρρέεται από ρεύμα, το ρελέ είναι σε κατάσταση ηρεμίας και το κύκλωμα που είναι συνδεδεμένο στις **NC επαφές** είναι αυτό το οποίο λειτουργεί, ενώ το κύκλωμα που είναι συνδεδεμένο στις **NO επαφές** είναι ανοικτό. Όταν στο πηνίο δοθεί ένα ρεύμα μέσω του κυκλώματος ελέγχου, τότε ο οπλισμός έλκεται από τον πυρήνα σιδήρου και «σπρώχνει» την κινητή επαφή, η οποία είναι κοινή ανάμεσα στις δύο άλλες, μεταβάλλοντας την κατάσταση των επαφών. Έτσι τώρα ενεργοποιείται το κύκλωμα που είναι συνδεδεμένο στις **NO** επαφές. Η νέα κατάσταση



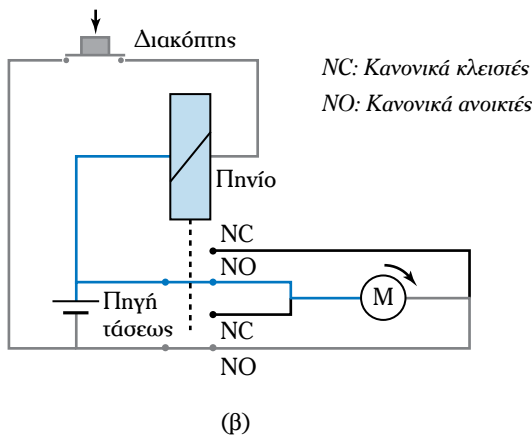
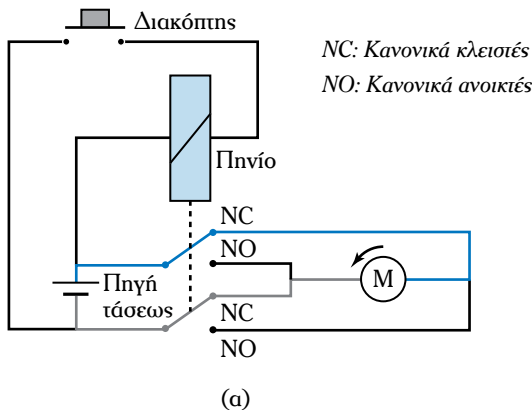
Σχ. 3.21α

Σχέδιο ρελέ με δύο ζευγάρια επαφών και σύμβολο του ρελέ.

του κυκλώματος παρουσιάζεται στο σχήμα 3.21α(β). Οι επαφές αυτού του τύπου όπως στο σχήμα 3.21α ονομάζονται και μεταγωγής, λόγω του ότι η μετακίνηση της κοινής επαφής ελέγχει την λειτουργία δύο διαφορετικών κυκλωμάτων. Στο ίδιο σχήμα παρουσιάζεται και το σύμβολο του συγκεκριμένου ρελέ.

Στο σχήμα 3.21β παρουσιάζεται ένα παράδειγμα λειτουργίας ενός ρελέ για την αντιστροφή της φοράς περιστροφής ενός κινητήρα συνεχούς ρεύματος. Στο συγκεκριμένο παράδειγμα η πηγή που τροφοδοτεί το βοηθητικό κύκλωμα, τροφοδοτεί και το κύκλωμα του κινητήρα. Το συγκεκριμένο ρελέ που χρησιμοποιείται είναι τεσσάρων επαφών.

Στα ρελέ ράγας, τα οποία ελέγχουν φορτία υψηλής ισχύος (π.χ. κινητήρες), υπάρχουν οι κύριες ή ισχύος και οι βοηθητικές επαφές. Οι κύριες επαφές είναι συνήθως NO επαφές και χρησιμοποιούνται για τον έλεγχο ισχυρών ρευμάτων, τα οποία τροφοδοτούν τα φορτία υψηλής ισχύος. Τα ζεύγη των κύριων επαφών συμβολίζονται με τους μονοψήφιους αριθμούς 1-2, 3-4, 5-6 για κάθε φάση του δικτύου.



Σχ. 3.21β

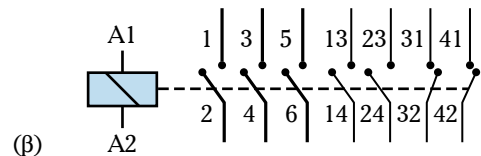
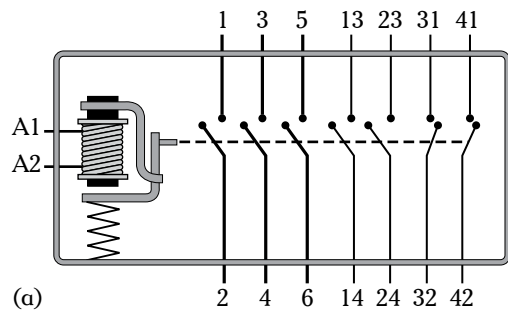
(α) Αριστερόστροφη περιστροφή του κινητήρα,
(β) δεξιόστροφη περιστροφή του κινητήρα.

Οι βοηθητικές επαφές χρησιμοποιούνται για κυκλώματα ασθενέστερων ρευμάτων (ενεργοποίηση άλλων ρελέ, αυτοσυγκράτηση, τροφοδότηση ενδεικτικών λυχνιών, σειρήνων κ.λπ.). Οι NC βοηθητικές επαφές συμβολίζονται με δύο διψήφιους αριθμούς που τελειώνουν σε 1 ή 2 (π.χ. 11-12, 21-22 κ.λπ.). Οι NO βοηθητικές επαφές συμβολίζονται με δύο διψήφιους αριθμούς που τελειώνουν σε 3 ή 4 (π.χ. 13-14, 23-24 κ.λπ.). Οι ακροδέκτες του πηνίου διέγερσης συμβολίζονται συνήθως με A1-A2. Τα παραπάνω γίνονται πιο κατανοητά παρατηρώντας το σχήμα 3.21γ.

Ένας τύπος ρελέ που χρησιμοποιείται συχνά είναι το ρελέ λυχνίας [σχ. 3.21δ(α)]. Τα ρελέ τύπου λυχνίας έχουν ακροδέκτες (pins) σε κυκλική συνήθως διάταξη και «κουμπώνουν» σε ειδικές βάσεις [σχ. 3.21δ(β)], μέσω των οποίων συνδέονται με τα κυκλώματα που ελέγχουν. Το ρελέ του σχήματος 3.21δ(α) είναι ρελέ λυχνίας οκτώ ακροδεκτών και το σχέδιο των επαφών του φαίνεται στο σχήμα 3.21ε.

Όπως φαίνεται από το διάγραμμα των επαφών, το συγκεκριμένο ρελέ έχει δύο ζευγάρια NO επαφών (ακροδέκτες 1-3 και 8-6) και δύο ζευγάρια NC επαφών (ακροδέκτες 1-4 και 8-5) (σχ. 3.21ε). Η διέγερση του πηνίου τοποθετείται στους ακροδέκτες 2-7 και μπορεί να είναι συνεχής ή εναλλασσόμενη τάση. Στο σχήμα 3.21στ δίνεται ένα παράδειγμα συνδεολογίας ενός ρελέ λυχνίας οκτώ επαφών για την εκκίνηση ενός μονοφασικού κινητήρα με ένα κομβίο και η παύση του με άλλο κομβίο.

Όταν πιεστεί το κομβίο START, ενεργοποιείται



Σχ. 3.21γ

(α) Αρίθμηση των ακροδεκτών ρελέ,
(β) σύμβολο του ρελέ του σχήματος 3.21γ(α).



(α)



(β)

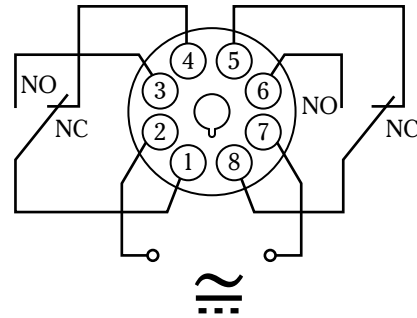
Σχ. 3.2ιδ

(α) Ρελέ λυχνίας οκτώ ακροδεκτών,
(β) βάση του ρελέ λυχνίας οκτώ ακροδεκτών.

το πνίο του ρελέ, το οποίο βρίσκεται ανάμεσα στις επαφές 2-7. Τότε η επαφή 1-3 από *NO*, που είναι κλείνει και ως αποτέλεσμα ο κινητήρας συνδέεται στο δίκτυο και αρχίζει να περιστρέφεται. Ταυτόχρονα η επαφή 6-8 από *NO* κλείνει και συγκρατεί την τροφοδοσία του πνιού του ρελέ όταν το κομβίο *START* επιστρέψει στην αρχική του θέση. Θα πρέπει να πατηθεί το κομβίο *STOP* για να απενεργοποιηθεί το ρελέ και να σταματήσει ο κινητήρας, αφού οι επαφές 1-3 και 6-7 θα επιστρέψουν στην θέση ηρεμίας τους.

Υπάρχουν δύο ειδικές κατηγορίες ρελέ, τα **χρονικά** και τα **θερμικά** ρελέ. Ειδικότερα:

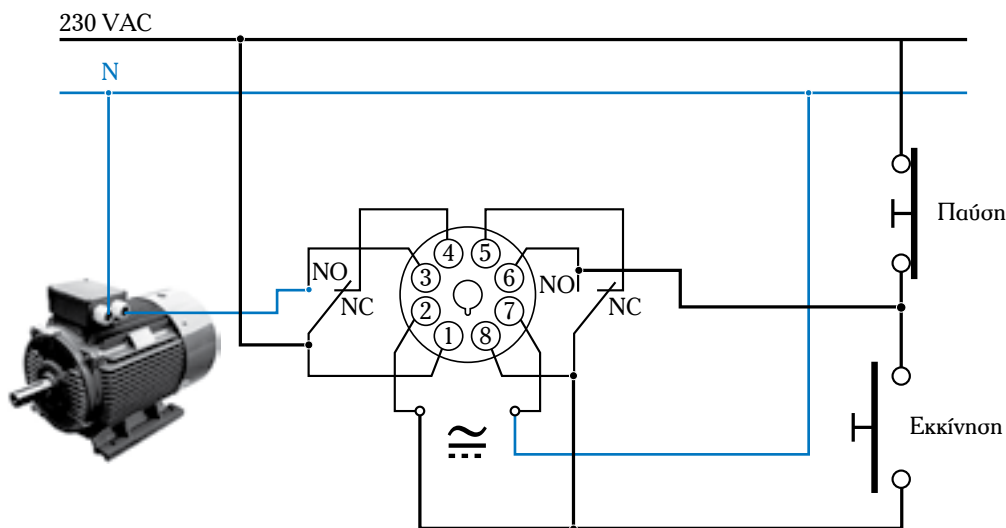
α) Τα **χρονικά ρελέ** ή αλλιώς **ρελέ χρονικής καθυστέρησης** (time delay relays) επιτρέπουν μία

**Σχ. 3.2ιε**

Επαφές ρελέ λυχνίας 8 ακροδεκτών (pins).

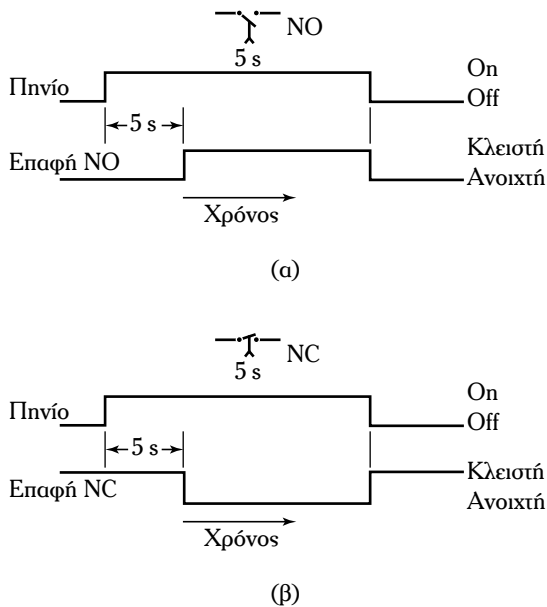
χρονική καθυστέρηση στην μετάδοση της εντολής που έχει δοθεί. Υπάρχουν ρελέ χρονικά που είναι μηχανικά, πνευματικά και ηλεκτρονικά. Τα χρονικά ρελέ διαιρούνται σε δύο κύριες κατηγορίες:

- Χρονικά ρελέ **DOE** (Delay On Energize) ή αλλιώς **On-Delay relay**, στα οποία η χρονική καθυστέρηση λειτουργίας των επαφών τους ξεκινά αμέσως μετά την ενεργοποίηση του πνιού τους. Εάν το κυρίως κύκλωμα είναι συνδεδεμένο σε επαφές *NO*, τότε μετά τον χρόνο καθυστέρησης το κύκλωμα θα κλείσει, ενώ το αντίθετο θα συμβεί στην περίπτωση που το κυρίως κύκλωμα είναι συνδεδεμένο στις επαφές *NC*. Στο σχήμα 3.2ιζ παρουσιάζεται η χρονική λειτουργία και το σύμβολο των επαφών του κυρίως κυκλώματος για καθυστέρηση 5 s. Όπως φαίνεται από τα σχέδια, όταν το πνίο ενεργοποιείται το χρονικό ρελέ, καθυστερεί 5 s

**Σχ. 3.2ισι**

Παράδειγμα χρήσεως ρελέ λυχνίας.

και στην συνέχεια κλείνει τις επαφές *NO* [σχ. 3.2ιζ(α)], ενώ αντίστοιχα 5 s μετά την ενεργοποίηση του πηνίου ανοίγουν οι επαφές *NC*. Και στις δύο περιπτώσεις, εάν διακοπεί η παροχή ρεύματος στο πηνίο, οι επαφές επανέρχονται στην κατάσταση ισορροπίας τους.



Σχ. 3.2ιζ

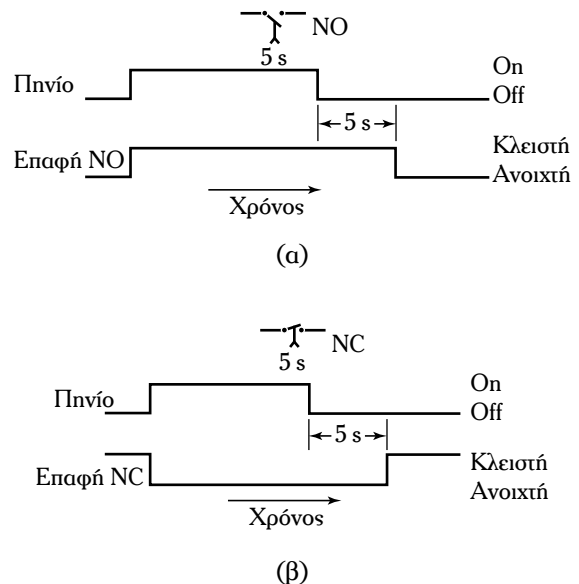
Χρονική καθυστέρηση (α) στο κλείσιμο μίας *NO* επαφής και (β) στο άνοιγμα μίας *NC* επαφής και τα αντίστοιχα σύμβολα των επαφών χρονικού ρελέ (*DOE*).

– Χρονικά ρελέ ***DODE*** (*Delay On De-Energize*) ή αλλιώς ***Off-Delay relay***, στα οποία όταν το πηνίο ενεργοποιηθεί, αμέσως αλλάζει η κατάσταση των επαφών. Παρόλ’ αυτά, όταν απενεργοποιηθεί το πηνίο, ξεκινά να μετρά ο χρόνος της καθυστέρησης μέχρι την επαναφορά των επαφών στην κατάσταση ηρεμίας. Τα παραπάνω αποτυπώνονται στο σχήμα 3.2ιη στα σχέδια (α) και (β) για *NO* και για *NC* ζευγάρια επαφών αντίστοιχα και για καθυστέρηση 5 s. Σε αυτήν την κατηγορία χρονικών, δηλαδή, ο χρόνος καθυστέρησης μετρά πάντοτε από την απενεργοποίηση του πηνίου και μέχρι την επαναφορά των επαφών στην αρχική τους κατάσταση.

Οι χρονικές βοηθητικές επαφές σε ένα ρελέ ράγας συμβολίζονται με τα ψηφία 15-16, 55-56, 65-66 για κανονικά κλειστές επαφές και με τα ψηφία 17-18, 57-58, 67-68 για κανονικά ανοικτές επαφές.

β) Τα **θερμικά ρελέ** (*thermal relays*) χρησιμοποιούνται ως επί το πλείστον για την προστασία κινητήρων. Όσο το φορτίο ενός κινητήρα αυξάνει, αυξάνει και το ρεύμα που διαρρέει τα τυλίγματά του. Οριακές καταστάσεις όπως είναι η υπερβολική αύξηση του φορτίου ή οι αυξημένες τριβές έχουν ως άμεση συνέπεια την υπερθέρμανση των τυλιγμάτων του κινητήρα και την καταστροφή του, εάν δεν προβλεφθεί κάποια προστασία. Τα θερμικά ρελέ προκαλούν άνοιγμα του κυκλώματος ισχύος του κινητήρα όταν το ρεύμα τροφοδοσίας των τυλιγμάτων του ξεπεράσει την ονομαστική τιμή που προβλέπει ο κατασκευαστής. Το θερμικό ρελέ περιλαμβάνει ένα διμεταλλικό στοιχείο, το οποίο θερμαίνεται από το ρεύμα λειτουργίας του κινητήρα. Σε περίπτωση υπερφορτίσεως διακόπτει την τροφοδοσία στον κινητήρα μέσω του ρελέ που ελέγχει. Η ενεργοποίηση του θερμικού ρελέ απαιτεί πάντα κάποιον χρόνο, οπότε στιγμιαίες υπερεντάσεις κατά την εκκίνηση του κινητήρα δεν το επηρεάζουν. Ένα θερμικό ρελέ επιτρέπει την ρύθμιση της εντάσεως του ρεύματος στο οποίο θα ενεργοποιηθεί από μία περιοχή εντάσεων ρεύματος.

Τα θερμικά ρελέ χρησιμοποιούν μία επαφή *NC* και μία επαφή *NO*, οι οποίες συνήθως συμβολίζονται με τα ψηφία 95-96 και 97-98 αντίστοιχα. Η επαφή *NC* είναι κλειστή εάν η θερμοκρασία είναι εντός ορί-

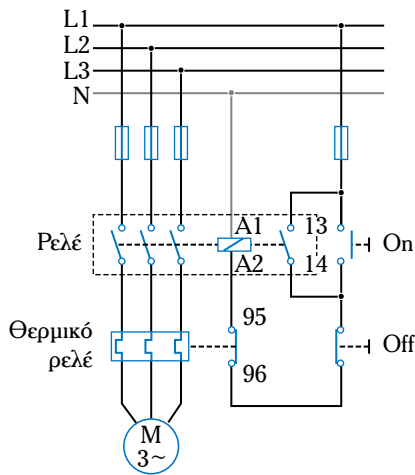


Σχ. 3.2ιη

Χρονική καθυστέρηση (α) στην επαναφορά σε ανοικτή μίας *NO* επαφής και (β) στην επαναφορά σε κλειστή μίας *NC* επαφής και τα αντίστοιχα σύμβολα των επαφών χρονικού ρελέ (*DODE*).

ων και σε αυτήν συνδέεται το πηνίο ελέγχου του ρελέ που διακόπτει την λειτουργία του κινητήρα. Η επαφή NO είναι ανοικτή εάν η θερμοκρασία δεν ξεπεράσει την μέγιστη επιτρεπτή και συνδέεται με εξοπλισμό σηματοδοτήσεως (π.χ. ενδεικτική λυχνία). Μετά την διακοπή λειτουργίας του κινητήρα λόγω υπερφορτώσεως, η επανεκκίνησή του γίνεται χειροκίνητα αφού διαπιστωθεί και επιδιορθωθεί η αιτία που προκάλεσε την υπερφόρτωση. Στο σχήμα 3.2ιθ φαίνεται η σύνδεση του θερμικού ρελέ σε έναν κινητήρα.

Όταν πιεστεί το κομβίο «on», ενεργοποιείται το ρελέ μέσω του πηνίου A1-A2 και παράλληλα ενεργοποιείται η NO επαφή 13-14 η οποία κρατά το πηνίο ενεργοποιημένο. Η κατάσταση αυτή ονομάζεται **αυτοσυνκράτηση**. Ταυτόχρονα κλείνουν οι κύριες επαφές του ρελέ που τροφοδοτούν τον κινητήρα. Εάν υπάρξει υπερφόρτωση του κινητήρα, ανοίγει η επαφή 95-96 και απενεργοποιεί το πηνίο A1-A2, με αποτέλεσμα το άνοιγμα των κύριων επαφών του ρελέ και άρα την διακοπή λειτουργίας του κινητήρα.

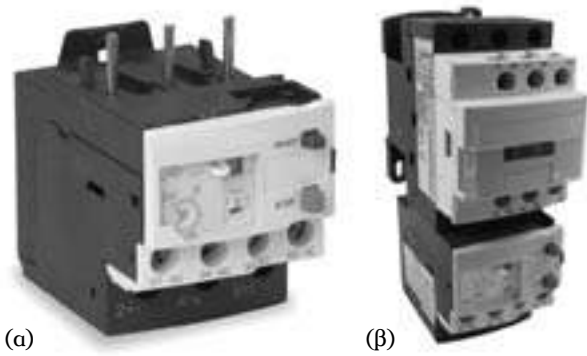


Σχ. 3.2ιθ

Σύνδεση του θερμικού ρελέ σε κινητήρα.

Η σύνδεση του θερμικού ρελέ [σχ. 3.2κ(α)] με το ρελέ ελέγχου του κινητήρα [σχ. 3.2κ(β)] γίνεται μέσω τριών ακροδεκτών, έναν για κάθε φάση, και μέσω ειδικών συνδέσεων στο σώμα κάθε συσκευής.

Ένας ειδικός τύπος ρελέ, ο οποίος λειτουργεί ηλεκτρονικά και όχι ηλεκτρομαγνητικά, είναι τα **ρελέ ημιαγωγών** (Solid State Relay-SSR) [σχ. 3.2κα(α)]. Τα ρελέ ημιαγωγών δεν χρησιμοποιούν κινητές επαφές όπως οι κοινοί ηλεκτρονόμοι. Ως συνέπεια αποφεύγεται η δημιουργία ηλεκτρικών εκκενώσεων-σπινθήρων κατά το ανοιγοκλείσιμο των



(α)

(β)

Σχ. 3.2κ

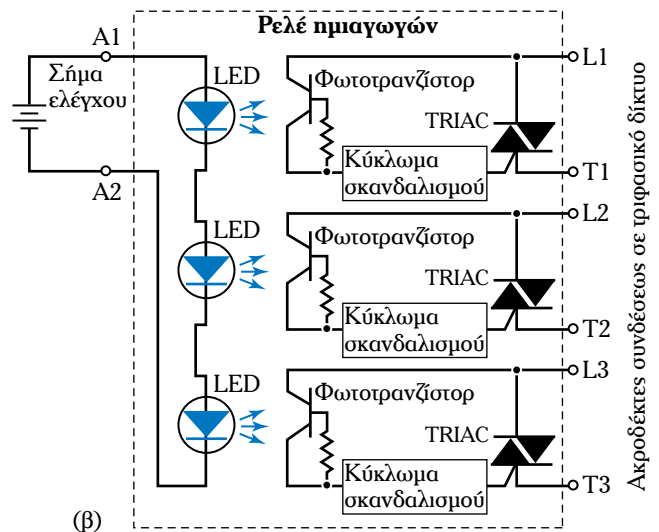
(α) Θερμικό ρελέ, (β) θερμικό ρελέ μαζί με το ρελέ για τον έλεγχο του κινητήρα.

επαφών και άρα η φθορά τους και καταστροφή τους. Η συχνότητα διακοπής και ενεργοποιήσεως στα SSR μπορεί να είναι πολύ υψηλότερη, ενώ απουσιάζει πλήρως και ο θόρυβος.

Όπως και τα ηλεκτρομαγνητικά ρελέ, τα SSR



(α)



(β)

Σχ. 3.2κα

(α) SSR ισχύος 400 V-25 A, (β) εσωτερικό κύκλωμα οπτικού SSR ισχύος.

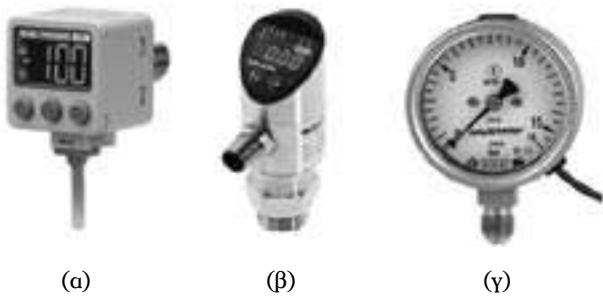
απαιτούν ένα σήμα ελέγχου, το οποίο μεταβάλλει την κατάσταση της εξόδου από off (ανοικτός διακόπτης) σε on (κλειστός διακόπτης) και αντίστροφα.

Ένας από τους πιο κοινούς τύπους SSR είναι το **οπτικό ρελέ ημιαγωγών** (Photo-coupled – SSR) [σχ. 3.2κα(β)]. Σε αυτό, το σήμα ελέγχου εφαρμόζεται σε μία πηγή ορατού ή υπέρυθρου φωτός, ως επί το πλείστον μίας διόδου **LED** (Light Emitting Diode). Το φως της διόδου ανιχνεύεται από έναν ευαίσθητο ημιαγωγό (φωτοδίοδο, φωτοτρανζίστορ ή φωτοευαίσθητο θυρίστορ), του οποίου η έξοδος είναι το σήμα σκανδαλισμού στην πύλη (gate) ενός TRIAC ή ενός SCR. Το φως της διόδου LED είναι η μοναδική σύνδεση του κυκλώματος ελέγχου με το ελεγχόμενο κύκλωμα, οπότε η απομόνωση που επιτυγχάνεται ανάμεσα στα δύο κυκλώματα είναι άριστη.

6) **Πιεσοστάτες** ή **πρεσοστάτες** (pressure switches): Πρόκειται για αυτόματους ηλεκτρικούς διακόπτες, οι οποίοι ενεργοποιούνται (κλείνουν) ή απενεργοποιούνται (ανοίγουν) όταν στην είσοδό τους η πίεση φτάσει μία ορισμένη τιμή. Χρησιμοποιούνται για την ρύθμιση της πίεσεως σε ένα υδραυλικό ή πνευματικό δίκτυο. Ο πιεσοστάτης τοποθετείται μέσω ενός σωλήνα μικρότερης διατομής πάνω στον κύριο σωλήνα, όπου διέρχεται το ελεγχόμενο ρευστό. Ανάλογα με τον σχεδιασμό του μπορεί να ενεργοποιηθεί είτε κατά την αύξηση της μετρούμενης πίεσεως όταν αυτή φτάσει σε ορισμένη τιμή, είτε κατά τη μείωση. Υπάρχουν **ηλεκτρονικοί-ψηφιακοί** και **αναλογικοί πιεσοστάτες** (σχ. 3.2κβ), τα κύρια μέρη των οποίων είναι τα εξής:

α) Το **αισθητήριο πίεσεως**, που μπορεί να είναι ένα έμβολο ή πιστόνι [σχ. 3.2κγ(α)], μία μεμβράνη, ένας φυσητήρας [σχ. 3.2κγ(β)] και το οποίο μετακινείται με την επίδραση της πίεσεως.

β) Ο **διακόπτης**, που είναι συνήθως διακόπτης μεταγωγής αποτελούμενος από μία επαφή **NC** και μία επαφή **NO**.



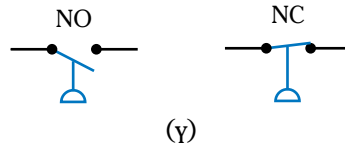
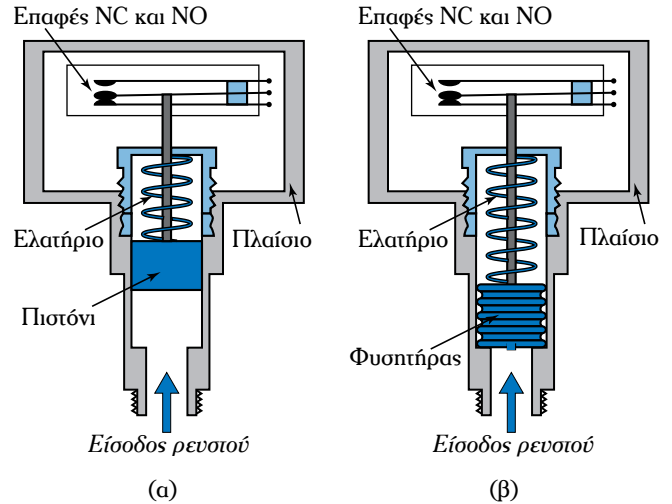
Σχ. 3.2κβ

(α), (β) Ψηφιακοί και (γ) αναλογικός πιεσοστάτης.

γ) Ο **μηχανισμός ρυθμίσεως της πίεσεως**.

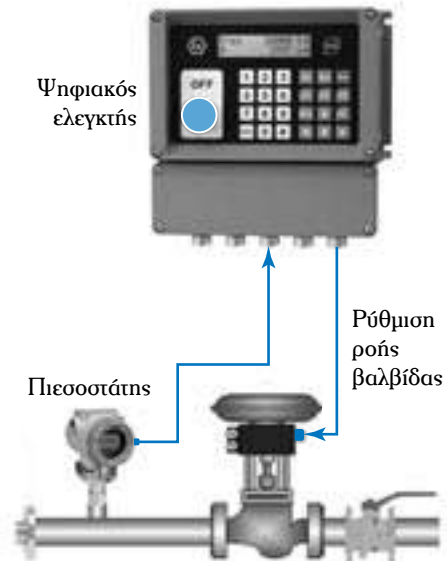
δ) Η **βάση** ή **πλαίσιο**.

Στο σχήμα 3.2κδ παρουσιάζεται μία εφαρμογή ενός πιεσοστάτη, το σήμα του οποίου επεξεργάζεται ένας ψηφιακός ελεγκτής και προκύπτει ένα σήμα ελέγχου της ροής του ρευστού μέσω της βαλβίδας.



Σχ. 3.2κγ

Πιεσοστάτης (α) με πιστόνι, (β) με φυσητήρα, (γ) σύμβολα.



Σχ. 3.2κδ

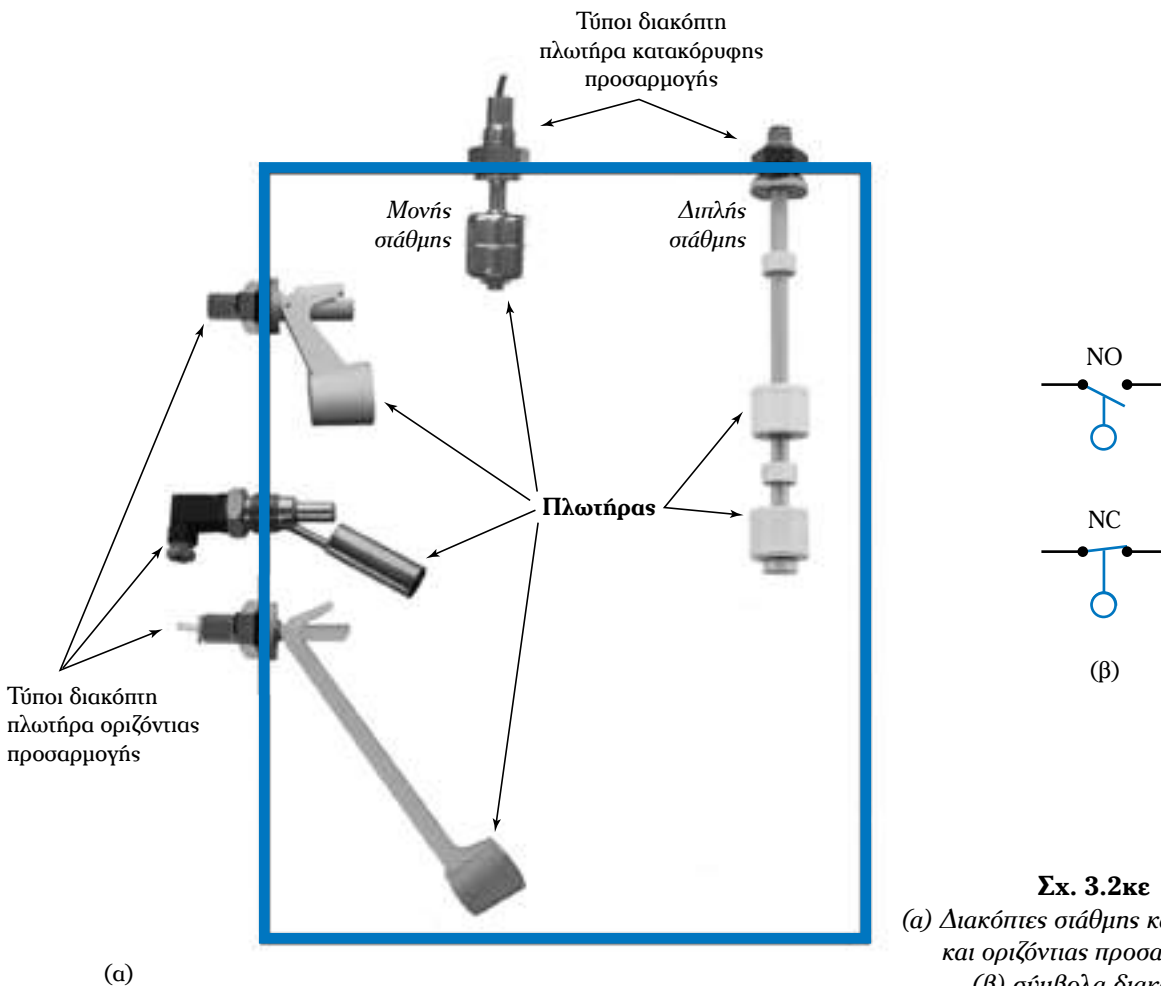
Παράδειγμα εφαρμογής πιεσοστάτη.

7) **Διακόπτες στάθμης ή πλωτήρας** (level or flow switches): Πρόκειται για διακόπτες, οι οποίοι βοηθούν στην ανίχνευση της στάθμης ενός υγρού. Υπάρχουν δύο είδη τέτοιων διακοπών, οι **κατακόρυφης** και οι **οριζόντιας προσαρμογής** [σχ. 3.2κε(α)]. Οι διακόπτες αυτοί λόγω της ανώσεως του μηχανισμού πλωτήρα που διαθέτουν, μεταβάλλουν την θέση μίας **NO** ή **NC** επαφής ενεργοποιώντας ή απενεργοποιώντας ένα ηλεκτρικό κύκλωμα. Το σύμβολο του διακόπτη φαίνεται στο σχήμα 3.2κε(β). Η μέθοδος που ακολουθείται για το κλείσιμο ή άνοιγμα των επαφών είναι συνήθως μαγνητική ή μηχανική.

3.3 Δομή του προγραμματιζόμενου λογικού ελεγκτή.

Όπως αναφέρθηκε και στην εισαγωγή του παρόντος κεφαλαίου, οι PLC έφεραν επανάσταση στον αυτόματο έλεγχο απλοποιώντας αλλά και διευκολύνοντας την κατασκευή διατάξεων ελέγχου αλλά και την μετατροπή τους, έτσι ώστε να μπορούν να

προσαρμοστούν σε αλλαγές των αναγκών ελέγχου. Οι πρώτοι PLC που κατασκευάστηκαν ήταν δύσκολοι στον προγραμματισμό τους και απαιτούσαν προγραμματιστές υψηλής κατάρτισης και πολυπλοκότητας. Παρόλ' αυτά με την πάροδο του χρόνου και την εξέλιξή τους οι PLC μετατράπηκαν σε συσκευές που ενσωματώνουν τεχνολογίες αιχμής και μπορούν να προσαρμοστούν εύκολα σε οποιοδήποτε πρόβλημα ελέγχου ενός συστήματος ή μίας διαδικασίας. Οι μονάδες PLC σήμερα μπορούν να εκτελέσουν πολύπλοκες μαθηματικές συναρτήσεις, συμπεριλαμβανομένης της αριθμητικής ολοκλήρωσης και διαφορίσεως, ενώ ενσωματώνουν επεξεργαστές υψηλών ταχυτήτων. Οι πρώτοι PLC μπορούσαν να χειριστούν μόνο σήματα δύο καταστάσεων, δηλαδή on-off, τα οποία προέρχονταν ως επί το πλείστον από διακόπτες. Οι σημερινοί PLC είναι σε θέση να δεχθούν και να επεξεργαστούν αναλογικά και ψηφιακά σήματα από αισθητήρες όπως ακριβώς και ένας σύγχρονος Η/Υ.



Σχ. 3.2κε

(α) Διακόπτες στάθμης κατακόρυφης και οριζόντιας προσαρμογής, (β) σύμβολα διακόπτη.

Καθώς όλο και περισσότεροι κατασκευαστές έχουν εμπλακεί στην παραγωγή και την ανάπτυξη PLC, σαν λογική συνέπεια και οι γλώσσες προγραμματισμού έχουν κι αυτές εξελιχθεί, προκειμένου να γίνει δυνατή η εκμετάλλευση των νέων δυνατοτήτων που προσφέρουν οι ελεγκτές. Έτσι κάθε κατασκευαστής τείνει να αναπτύσσει την δική του έκδοση καθιερωμένων γλωσσών προγραμματισμού, ενώ κάθε εταιρεία παρέχει μία ποικιλία πολλών διαφορετικών μοντέλων, προκειμένου να καλύψει τις ανάγκες της αγοράς από μικρές εφαρμογές αυτοματισμού μέχρι πολύπλοκες και μεγάλης κλίμακας εφαρμογές.

Παρά την ποικιλία των PLC η βασική δομή τους απαρτίζεται από τα εξής κύρια μέρη (σχ. 3.3α):

- 1) Μονάδα επεξεργαστή (Processing unit),
- 2) μνήμες (RAM, ROM, EEPROM),
- 3) μονάδες εισόδων-εξόδων (I/O Modules),
- 4) θύρες επικοινωνίας (interfaces) με άλλες συσκευές, και

5) μονάδα τροφοδοσίας.

Εκτός των παραπάνω είναι επίσης απαραίτητα το πλαίσιο (rack) για την στήριξη του PLC και των μονάδων επεκτάσεως εισόδων και εξόδων, καθώς και η συσκευή προγραμματισμού του PLC, η οποία συνήθως είναι ένας Η/Υ.

Η μονάδα του επεξεργαστή περιλαμβάνει την **Κεντρική Μονάδα Επεξεργασίας - ΚΜΕ** (Central Processing Unit - CPU), η οποία μεταφράζει τα σήματα εισόδου και βάσει του προγράμματος που είναι αποθηκευμένο στην μνήμη αποφασίζει τις δράσεις ελέγχου, οι οποίες μεταφέρονται στις εξόδους.

Η μονάδα τροφοδοσίας αναλαμβάνει την μετατροπή της τάσεως τροφοδοσίας (230 V ή 110 V AC ή 24 V AC-DC) σε DC τάση 5 V για την τροφοδοσία

των κυκλωμάτων του επεξεργαστή και των μονάδων εισόδων και εξόδων.

Η συσκευή προγραμματισμού χρησιμοποιείται για την εισαγωγή του προγράμματος που θα εκτελεί ο PLC στην μνήμη του. Το πρόγραμμα δημιουργείται στην συσκευή και στην συνέχεια μεταφέρεται στην μνήμη.

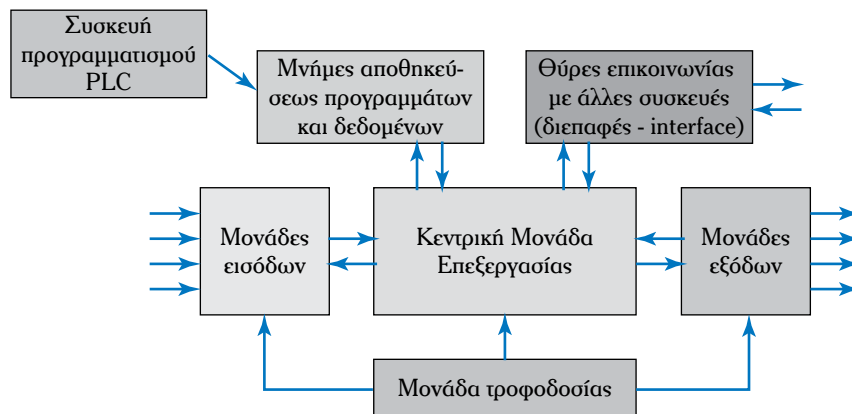
Στις μνήμες αποθηκεύεται το πρόγραμμα που εκτελεί ο PLC, τα δεδομένα από τις εισόδους και αυτά που θα οδεύσουν προς τις εξόδους αλλά και το πρόγραμμα που αναλαμβάνει βασικές λειτουργίες του PLC.

Μέσω των μονάδων εισόδων λαμβάνει ο PLC πληροφορίες από εξωτερικές πηγές ή συσκευές, ενώ μέσω των μονάδων εξόδων μεταφέρει εντολές προς τους μηχανισμούς που ελέγχει. Στις μονάδες εισόδων συνδέονται συσκευές όπως διακόπτες και αισθητήρες (θερμοκρασίας, πίεσεως, στάθμης κ.λπ.), ενώ οι εξοδοί μπορεί να είναι ρελέ ενεργοποιήσεως κινητήρων, σωληνοειδών βαλβίδων, ενδεικτικές λυχνίες, σειρήνες κ.λπ.. Οι συσκευές που συνδέονται στις μονάδες εισόδων και εξόδων μπορούν να κατηγοριοποιηθούν σε αυτές που δίνουν ή δέχονται διακριτά σήματα και σε αυτές που δίνουν ή δέχονται αναλογικά σήματα (βλ. κεφ. 2).

Οι θύρες επικοινωνίας με άλλες συσκευές χρησιμοποιούνται συνήθως για την επικοινωνία του PLC μέσω δικτύων με άλλους PLC.

Ως προς το μέγεθος της μονάδας PLC υπάρχουν δύο δυνατές υλοποιήσεις. Οι **συμπαγείς PLC** (compact PLC) και οι **επεκτάσιμοι** (modular PLC).

Για μικρές εφαρμογές είναι πιο κατάλληλη η χρήση των συμπαγών PLC [σχ. 3.3β(α)]. Ένας συμπαγής PLC περιλαμβάνει μέσα του το τροφοδοτικό, την



Σχ. 3.3α

Βασική δομή ενός PLC.

CPU και την μονάδα εισόδων και εξόδων. Συνήθως ο αριθμός εισόδων και εξόδων είναι περιορισμένος. Τυπικός αριθμός εισόδων για συμπαγείς PLC είναι 6, 8, 12 ή 24 εισοδοί, ενώ τυπικός αριθμός εξόδων είναι 4, 8 ή 16 έξοδοι. Για παράδειγμα ο PLC του σχήματος 3.3β(α) έχει την δυνατότητα 12 εισόδων και 8 εξόδων. Όσον αφορά στην μνήμη των συμπαγών PLC, αυτή μπορεί να αποθηκεύσει περιορισμένο αριθμό εντολών προγράμματος.

Μερικοί συμπαγείς PLC έχουν την δυνατότητα να επεκταθούν αυξάνοντας τις εισόδους και εξόδους τους, συνδέοντας μεταξύ τους περισσότερες συμπαγείς μονάδες [σχ. 3.3β(β)].



(α)



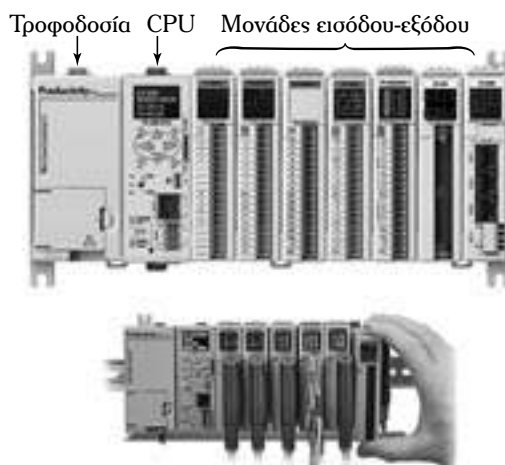
(β)

Σχ. 3.3β

(α) Συμπαγής PLC,
(β) επεκτάσιμος συμπαγής PLC.

Όταν ο αριθμός των εισόδων και εξόδων αυξάνει σημαντικά, τότε χρησιμοποιείται η λύση των επεκτάσιμων PLC. Οι επεκτάσιμοι PLC (σχ. 3.3γ) αποτελούνται από τα τμήματα-κομμάτια (modules) που είδαμε παραπάνω, τα οποία είναι ξεχωριστά και τοποθετούνται πάνω στο πλαίσιο στηρίξεως το οποίο τα διασυνδέει. Τα διάφορα τμήματα των επεκτάσιμων PLC συνδέονται στο πλαίσιο σε ειδικές **υποδοχές** (sockets). Οι PLC αυτοί μπορούν να επεκταθούν με την προσθήκη μονάδων εισόδων-εξόδων, προκειμένου να συνδεθούν περισσότεροι αισθητήρες ή διακόπτες στην είσοδο ή συσκευές στην έξοδο. Οι επεκτάσιμοι PLC χρησιμοποιούνται κυρίως σε μεγάλες

εφαρμογές όπου μπορεί να υπάρχουν πάρα πολλές εισοδοί ή και έξοδοι. Οι PLC αυτοί διαθέτουν CPU που μπορεί να δεχθεί μέχρι έναν συγκεκριμένο αριθμό εισόδων και εξόδων. Για παράδειγμα ο PLC του σχήματος 3.3γ μπορεί να δεχθεί μέχρι 4320 εισόδους και εξόδους συνολικά.



Σχ. 3.3γ
Επεκτάσιμος PLC.

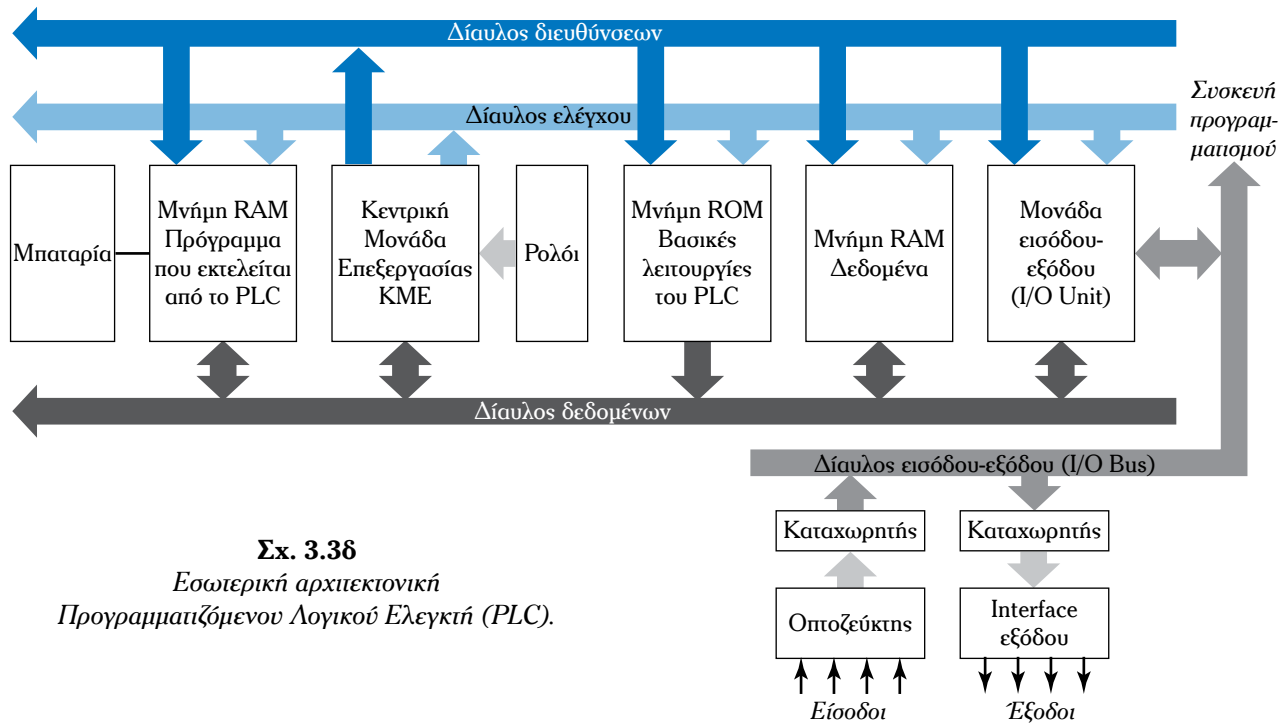
Το είδος των τμημάτων που θα συνδυαστούν για να σχηματίσουν έναν επεκτάσιμο PLC, εξαρτάται από τις ιδιαίτερες ανάγκες του χρήστη. Κυρίως βέβαια η διαφοροποίηση αφορά στο πλήθος των διαφορετικών μονάδων εισόδων-εξόδων και στο πλήθος των μονάδων μνήμης.

3.3.1 Εσωτερική αρχιτεκτονική.

Στο σχήμα 3.3δ απεικονίζεται η εσωτερική αρχιτεκτονική ενός PLC. Αποτελείται από την **CPU**, τους **διαύλους**, τις **μνήμες** και τις **μονάδες εισόδων-εξόδων**.

1) Κεντρική Μονάδα Επεξεργασίας.

Η **Κεντρική Μονάδα Επεξεργασίας**, γνωστότερη ως CPU, ελέγχει και επεξεργάζεται κάθε λειτουργία μέσα στον PLC. Για την λειτουργία της είναι απαραίτητοι οι παλμοί χρονισμού που της παρέχει το ρολόι (clock), των οποίων η συχνότητα φθάνει έως και δεκάδες MHz. Ο χρονισμός αυτός είναι απαραίτητος για τον συγχρονισμό όλων των κυκλωμάτων του PLC. Βασικό στοιχείο της CPU, όπως και σε έναν Η/Υ, είναι η **αριθμητική λογική μονάδα** (Arithmetic Logic Unit – ALU), η οποία εφαρμόζει πάνω στα δεδομένα τις αριθμητικές πράξεις της προσθέσεως,



Σχ. 3.36
Εσωτερική αρχιτεκτονική
Προγραμματιζόμενου Λογικού Ελεγκτή (PLC).

της αφαιρέσεως και τις λογικές πράξεις *OR*, *AND*, *NOT* και *XOR*. Η CPU, επίσης, αποτελείται από **καταχωρητές** για προσωρινή αποθήκευση των δεδομένων που χειρίζεται, και από την **Μονάδα Ελέγχου** (Control Unit), η οποία διευθύνει την λειτουργία των τμημάτων της CPU.

2) Δίαυλος.

Οι **δίαυλοι** (buses) είναι τα μονοπάτια που χρησιμοποιούνται για την μεταφορά των δεδομένων και την επικοινωνία εντός του PLC. Πρόκειται για παράλληλους, συνήθως, αγωγούς που μεταφέρουν ταυτόχρονα την πληροφορία μίας ψηφιακής λέξεως (Byte), η οποία αποτελείται από τουλάχιστον οκτώ ψηφία (bits). Υπάρχουν τέσσερα είδη διαύλων:

1) Ο **δίαυλος δεδομένων** (data bus), που μεταφέρει τα δεδομένα που πρόκειται να επεξεργαστεί η CPU. Ένας επεξεργαστής 8-bits σημαίνει ότι μπορεί να μεταφέρει μέσω του διαύλου δεδομένα 8-bits και να εκτελέσει πράξεις μεταξύ δυαδικών αριθμών 8-bits.

2) Ο **δίαυλος διευθύνσεων**² (address bus), που μεταφέρει την διεύθυνση μνήμης στην οποία είναι αποθηκευμένα τα δεδομένα, που στην συνέχεια θα με-

ταφερθούν για επεξεργασία στην CPU. Εναλλακτικά, μεταφέρει την διεύθυνση μνήμης στην οποία θα μεταφερθούν τα δεδομένα προς αποθήκευση. Το πλήθος των αγωγών από το οποίο απαρτίζεται ο συγκεκριμένος δίαυλος είναι ενδεικτικό του μεγέθους της μνήμης. Έτσι, εάν ο δίαυλος αυτός αποτελείται από οκτώ αγωγούς, δηλαδή μπορεί να μεταφέρει ταυτόχρονα 8-bits, στο σύστημα υπάρχουν $2^8 = 256$ θέσεις μνήμης, ενώ εάν ο δίαυλος έχει πλάτος 16-bit, ο αριθμός των διαφορετικών θέσεων μνήμης είναι $2^{16} = 65.536$.

3) Ο **δίαυλος ελέγχου** (control bus), ο οποίος μεταφέρει τα σήματα που χρησιμοποιεί η CPU για να εκτελεί τις διάφορες διεργασίες της. Για παράδειγμα μέσα από αυτόν τον δίαυλο ο επεξεργαστής ενημερώνει την μνήμη εάν θα δεχθεί δεδομένα από τις εισόδους ή εάν θα δεχθεί δεδομένα που είναι για τις εξόδους. Επίσης, μέσω του διαύλου ελέγχου μεταφέρονται τα σήματα χρονισμού που χρησιμοποιούνται για να συγχρονίσουν τις διάφορες λειτουργίες των κυκλωμάτων του επεξεργαστή.

4) Ο **δίαυλος συστήματος εισόδου-εξόδου** (input-output system bus), που αναλαμβάνει την μεταφορά δεδομένων μεταξύ των θυρών εισόδου-εξόδου και της μονάδας εισόδου-εξόδου.

² Πρόκειται για τον δίαυλο που μεταφέρει τις πληροφορίες της διεύθυνσης μνήμης, στην οποία είναι αποθηκευμένα τα δεδομένα που στη συνέχεια θα μεταφερθούν για επεξεργασία στην CPU.

3) Μνήμες.

Υπάρχουν διάφορα στοιχεία μνήμης σε έναν PLC, τα οποία χωρίζονται στις ακόλουθες τρεις κύριες κατηγορίες:

1) Την **μνήμη τυχαίας προσπελάσεως RAM** (Random Access Memory – RAM), στην οποία αποθηκεύονται προσωρινά τα δεδομένα από τους αισθητήρες και γενικά τις εισόδους, τα δεδομένα που αφορούν στην ενεργοποίηση των εξόδων, τα δεδομένα για τα χρονικά και τους απαριθμητές, καθώς και όλα τα δεδομένα που προκύπτουν κατά την λειτουργία του προγράμματος του αυτοματισμού. Χρησιμοποιείται, επίσης, για την αποθήκευση του προγράμματος του χρήστη κατά την διάρκεια αναπτύξεώς του και πριν αυτό μεταφερθεί μόνιμα στην μνήμη EEPROM. Η RAM μπορεί να αποθηκεύσει δεδομένα μόνο εφόσον τροφοδοτείται με ηλεκτρική ισχύ. Παρόλ' αυτά για να αποφευχθεί απώλεια προγράμματος και δεδομένων, εάν η ηλεκτρική τροφοδοσία σταματήσει, η RAM παραμένει πάντα συνδεδεμένη σε ηλεκτρική ισχύ μέσω μπαταρίας (συσσωρευτή).

2) Την **μνήμη μόνο για ανάγνωση ROM** (Read Only Memory – ROM), στην οποία αποθηκεύεται το λειτουργικό πρόγραμμα του PLC, καθώς και δεδομένα τα οποία χρησιμοποιούνται από την CPU για τις βασικές λειτουργίες. Η ROM, που παρουσιάστηκε στο κεφάλαιο 1 (παράγρ. 1.8.4), δεν εξαρτάται από την παροχή ηλεκτρικής τροφοδοσίας για την διατήρηση των δεδομένων της.

3) Την **μνήμη EEPROM** (Electrically Erasable Programmable Read Only Memory, Ηλεκτρικά Διαγράψιμη και Προγραμματιζόμενη Μνήμη μόνο για Ανάγνωση), η οποία διαφέρει από την ROM στο ότι, ενώ η ROM προγραμματίζεται μία φορά και τα δεδομένα της στη συνέχεια δεν μπορούν να σβηστούν, η EEPROM μπορεί να σβηστεί και να επαναπρογραμματιστεί. Όπως και η ROM, δεν εξαρτάται από την ηλεκτρική τροφοδοσία για να διατηρήσει τα δεδομένα της. Η EEPROM χρησιμοποιείται για την μόνιμη αποθήκευση του προγράμματος του χρήστη. Σε πολλούς PLC η EEPROM μπορεί να αφαιρεθεί και να αντικατασταθεί με άλλη μεταβάλλοντας έτσι την λειτουργία του αυτοματισμού (σχ. 3.3ε).

Το μέγεθος μίας μνήμης συνήθως παριστάνεται με το πλήθος των διαθέσιμων διευθύνσεων μνήμης για αποθήκευση, όπου το μέγεθος 1 kB αντιπροσωπεύει $2^{10} = 1024$ διευθύνσεις μνήμης. Εάν ο δίαυλος διευθύνσεων μεταφέρει διευθύνσεις των 16 bits, το πλήθος των δυνατών διευθύνσεων είναι $2^{16} = 65.536$

και διαιρώντας με 1024 προκύπτει 64. Έτσι αυτή η μνήμη ονομάζεται μνήμη 64 kB. Αντιστρόφως, εάν θέλομε να δούμε πόσες διευθύνσεις διαφορετικές περιέχει μία μνήμη 2 MB, εργαζόμαστε ως εξής:

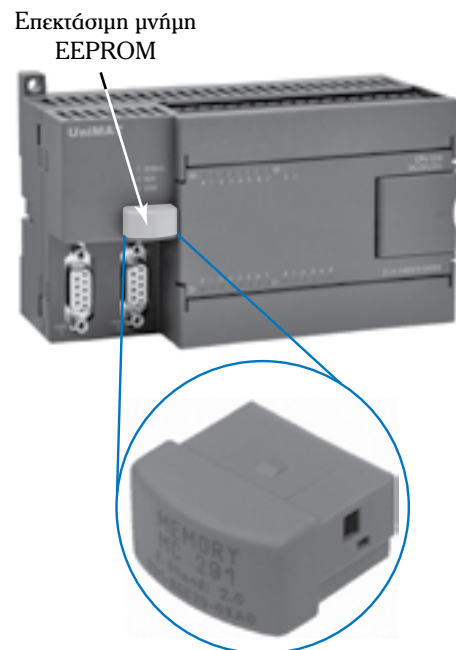
$$2 M = 2 \cdot 1024 \text{ kB} = 2 \cdot 1024 \cdot 1024 \text{ B} = 2 \cdot 2^{10} \cdot 2^{10} = 2^{21} = 2.097.152 \text{ διευθύνσεις,}$$

ενώ ο δίαυλος διευθύνσεων θα έχει πλάτος 21 bits.

4) Μονάδες εισόδων-εξόδων.

Οι μονάδες εισόδου-εξόδου παρέχουν την απαραίτητη διασύνδεση μεταξύ του συστήματος του ελεγκτή και του έξω κόσμου. Επιτρέπει την σύνδεση αισθητήρων, διακοπών, κομβίων στις εισόδους και συσκευών όπως είναι οι ηλεκτρονόμοι ισχύος των κινητήρων, οι ηλεκτρομαγνητικές βαλβίδες, οι ενδεικτικές λυχνίες κ.λπ. στις εξόδους. Επί πλέον, μέσω της μονάδας εισόδου-εξόδου εισάγονται τα προγράμματα από μία συσκευή προγραμματισμού. Κάθε είσοδος και κάθε έξοδος έχει μία μοναδική διεύθυνση, μέσω της οποίας η CPU μπορεί και την διακρίνει και την αναγνωρίζει.

Οι μονάδες εισόδων-εξόδων προσαρμόζουν τα επίπεδα τάσεως και ρεύματος των σημάτων εισόδου στα επίπεδα που θα πρέπει να βρίσκονται για την επεξεργασία τους από την CPU. Επιπροσθέτως, βάσει

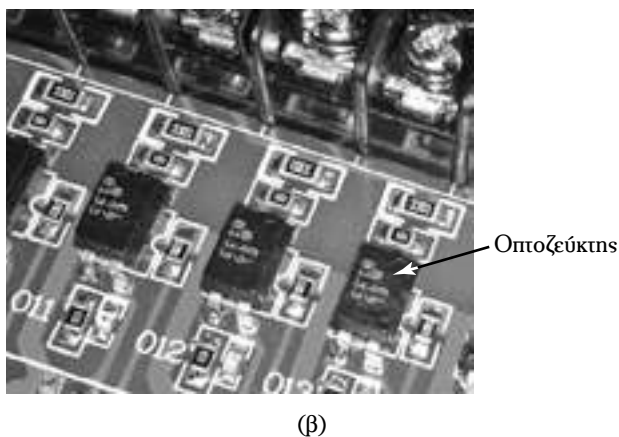
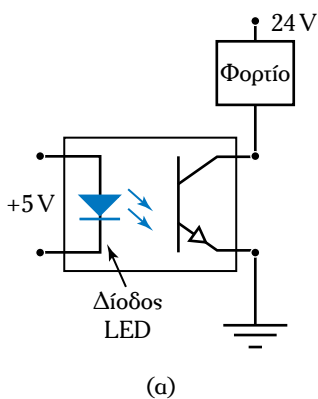


Σχ. 3.3ε

Θέση στο PLC επεκτάσιμη μνήμη EEPROM και αφαιρούμενο ολοκληρωμένο κύκλωμα επεκτάσιμης μνήμης EEPROM.

των σημάτων που παράγει η CPU προσαρμόζουν τα επίπεδα τάσεως και ρεύματος στην έξοδο για την ενεργοποίηση των συσκευών εξόδου. Εκτός τούτου, προσφέρουν την απαραίτητη απομόνωση ανάμεσα στα κυκλώματα εισόδου και εξόδου και στην CPU.

Μία μέθοδος για την επίτευξη απομονώσεως της CPU από τον εξωτερικό κόσμο, που χρησιμοποιείται κατά κόρον, είναι μέσω κυκλωμάτων **οπτοαπομονωτών** (optoisolators) ή **οπτοζευκτών** (optocouplers). Τα οποία χρησιμοποιούν το φως για την μετάδοση ενός ηλεκτρικού σήματος από ένα κύκλωμα σε ένα άλλο. Το σχήμα 3.3στ(α) δείχνει το κύκλωμα ενός οπτοζεύκτη. Όταν ένας παλμός περάσει από την δίοδο LED, παράγεται ακτινοβολία υπέρυθρη που ανιχνεύεται από το φωτοτρανζιστορ, το οποίο δίνει μία τάση στην έξοδό του. Το κενό ανάμεσα στην δίοδο και στο τρανζιστορ προσφέρει την απαραίτητη ηλεκτρική απομόνωση ανάμεσα στις δύο πλευρές του κυκλώματος του οπτοζεύκτη, ενώ ταυτόχρονα επιτρέπει σε μία τάση η οποία θα παράγει το κύκλωμα που είναι συνδεδεμένο στην δίοδο LED, να προκαλέσει μία τάση στο κύκλωμα



Σχ. 3.3στ

(α) Κύκλωμα οπτοζεύκτη, (β) τέσσερις οπτοζεύκτες σε πλακέτα μονάδας εξόδου PLC.

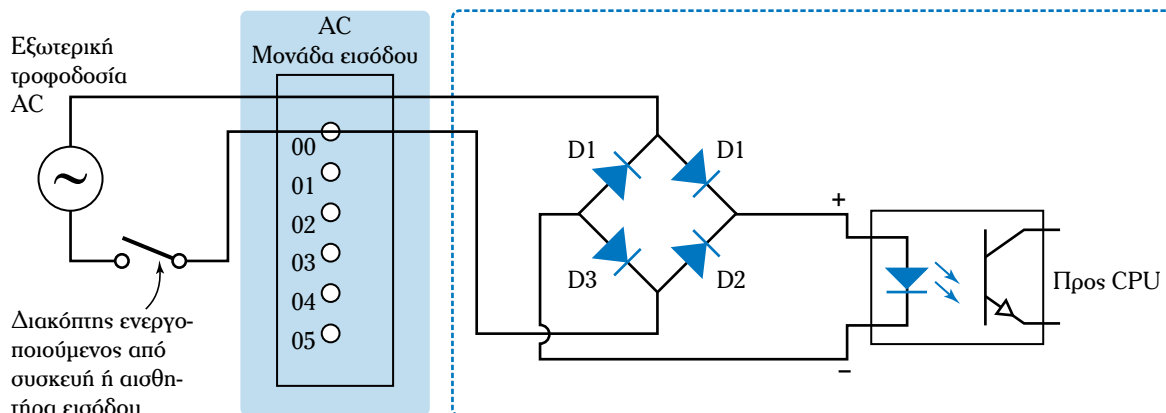
που συνδέεται με το φωτοτρανζιστορ. Στο σχήμα 3.3στ(β) παρουσιάζεται τμήμα πλακέτας μονάδας εξόδου PLC, στο οποίο διακρίνονται οι οπτοζεύκτες.

Η τάση που είναι συμβατή με την λειτουργία του επεξεργαστή είναι τα 5 V DC. Εντούτοις, στην μονάδα εισόδου ενός PLC μπορεί να εισαχθούν τάσεις οι οποίες είναι 5 V, 12 V, 24 V, 48 V, 110 V, 240 V. Τις τάσεις αυτές η μονάδα εισόδου αναλαμβάνει να τις μετατρέψει, απομονώνοντας τα κυκλώματα εισόδου σε συνεχή τάση 5 V. Ακριβώς το αντίστροφο συμβαίνει στην μονάδα εξόδου, η οποία δέχεται ως είσοδο τα 5 V DC από την CPU και θα πρέπει να βγάλει στις συσκευές εξόδου, ανάλογα με την συσκευή, 12 V, 24 V, 110 V ή 240 V με εντάσεις ρεύματος από λίγα mA έως αρκετά Ampere.

Όταν η είσοδος είναι ένα σήμα που προέρχεται από διακόπτη, ο οποίος ελέγχει εναλλασσόμενο ρεύμα (Alternating Current – AC), τότε η είσοδος συνδέεται στις υποδοχές AC και το κύκλωμα που αναλαμβάνει την μετατροπή του σε συνεχές και την απομόνωση του κυκλώματος εισόδου από την CPU, είναι παρόμοιας μορφής του σχήματος 3.3ζ. Στο σχήμα παρουσιάζεται η σύνδεση στο PLC του κυκλώματος εισόδου στην υποδοχή 00 και το εσωτερικό κύκλωμα του ελεγκτή που μετατρέπει κατάλληλα την είσοδο για χρήση από την CPU.

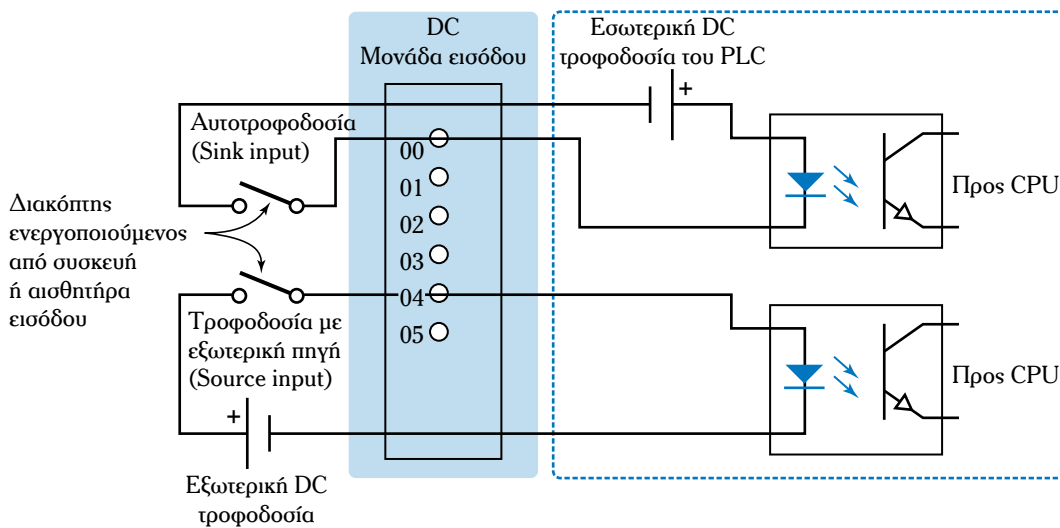
Στην περίπτωση που η είσοδος είναι σήμα διακριτό συνεχές, συνδέεται στις υποδοχές DC και η εσωτερική διάταξη που προσαρμόζει την τάση για την χρήση από την CPU παρουσιάζεται στο σχήμα 3.3η. Εδώ υφίστανται δύο διαφορετικές διατάξεις ανάλογα με το εάν ο αισθητήρας ή διακόπτης εισόδου μπορεί να τροφοδοτηθεί από την τροφοδοσία του ίδιου του PLC (sink input) ή συνδέεται σε εξωτερική πηγή (source input).

Όταν η είσοδος προέρχεται από έναν αισθητήρα, ο οποίος ανάλογα με την φυσική ποσότητα που μετρά μεταβάλλει την τιμή μίας DC τάσεως ή ενός DC ρεύματος, η σύνδεση γίνεται στο τμήμα της μονάδας εισόδου που αφορά σε αναλογικά σήματα. Το σήμα, το οποίο μπορεί να ακολουθεί κάποιο από τα γνωστά πρωτόκολλα (π.χ. 4-20 mA), αφού μεταφερθεί στα εσωτερικά κυκλώματα του PLC μέσω ενός οπτοζεύκτη, μετατρέπεται σε ψηφιακό από τον εσωτερικό μετατροπέα αναλογικού σε ψηφιακό σήμα και στη συνέχεια η ψηφιακή αναπαράσταση του σήματος πηγαίνει για επεξεργασία από την CPU. Στο σχήμα 3.3θ παρουσιάζεται μία σύνδεση ενός αναλογικού αισθητήρα στην μονάδα εισόδου του PLC σχηματίζοντας με το εσωτερικό κύκλωμα του PLC βρόχο 4-20 mA.



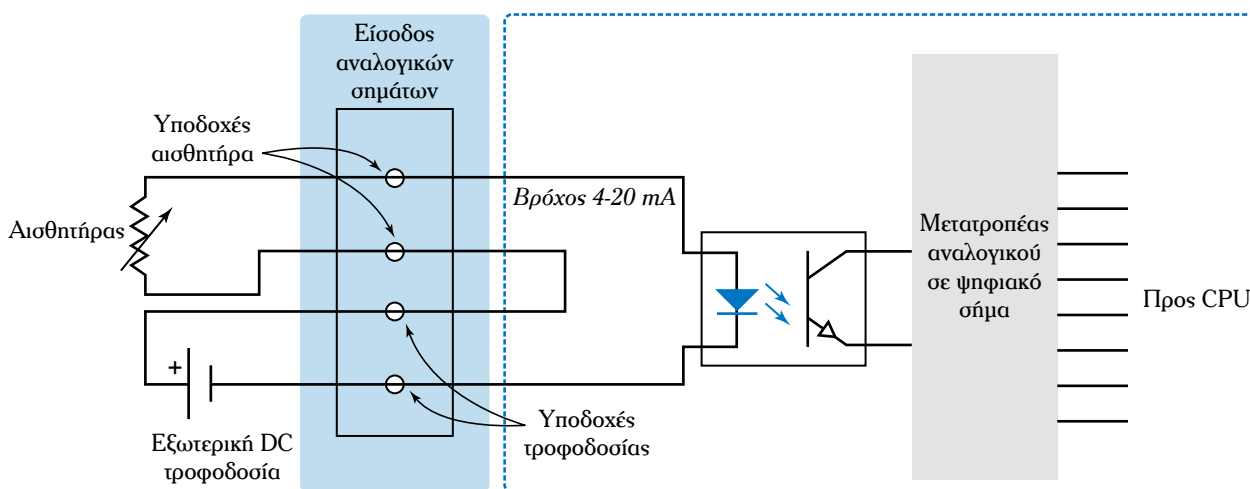
Σχ. 3.3ζ

Σύνδεση διακριτής AC εισόδου και μετατροπή σε κατάλληλο σήμα για την CPU.



Σχ. 3.3n

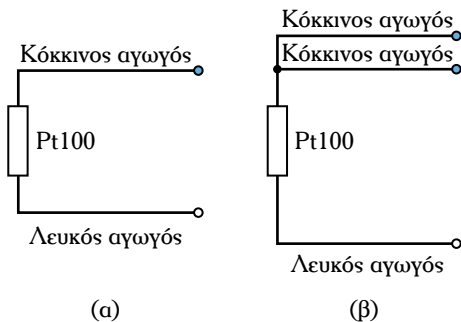
Σύνδεση διακριτών DC εισόδων sink και source.



Σχ. 3.30

Σύνδεση αναλογικής εισόδου.

Μία ιδιαίτερη περίπτωση συνδέσεως αισθητήρα σε αναλογική είσοδο ενός PLC είναι η χρήση αισθητήριου θερμοκρασίας ηλεκτρικής αντιστάσεως Pt 100. Το αισθητήριο αυτό αποτελείται από πλατίνα και στους 0°C η αντίσταση του αισθητήριου είναι 100Ω. Οι πιο συνηθισμένες μορφές του αισθητήριου Pt 100 είναι με δύο ή τρεις αγωγούς (σχ. 3.3ι). Συνήθως ο ένας αγωγός έχει επένδυση λευκού χρώματος και ο άλλος ή οι άλλοι δύο κόκκινου.



Σχ. 3.3ι

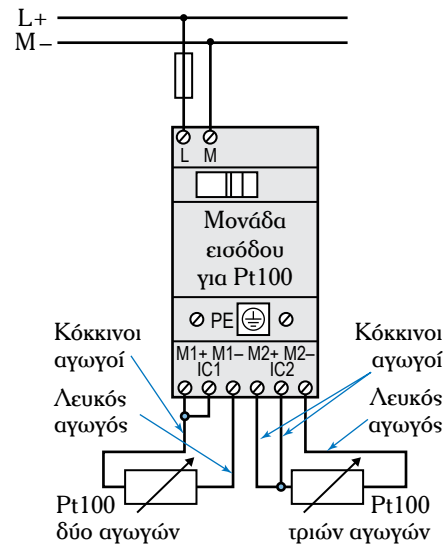
Αισθητήριο Pt100

(α) δύο αγωγών, (β) τριών αγωγών.

Ο λόγος υπάρξεως του τρίτου αγωγού στο αισθητήριο είναι για να αντισταθμίζεται το σφάλμα στην μέτρηση από την πρόσθετη αντίσταση που εισάγουν οι δύο αγωγοί συνδέσεως του αισθητήριου. Το αισθητήριο αυτό συνδέεται στις αναλογικές εισόδους μονάδας επεκτάσεως PLC ειδικής για σύνδεση αυτού του αισθητήριου. Στο σχήμα 3.3ια παρουσιάζεται μία μονάδα επεκτάσεως για είσοδο Pt 100. Η τροφοδοσία της μονάδας γίνεται μέσω των επαφών *L* και *M* με DC τάση. Οι εισοδοί στην μονάδα είναι οι επαφές που φαίνονται στο κάτω μέρος. Όταν υπάρχουν τρεις αγωγοί, ο ένας κόκκινος συνδέεται στην επαφή *IC* και ο άλλος κόκκινος σε μία από τις επαφές *M*. Όταν οι αγωγοί είναι δύο, γεφυρώνεται η επαφή *M+* του κόκκινου αγωγού με την επαφή *IC*. Ο λευκός αγωγός συνδέεται στην άλλη επαφή *M-*. Εάν υπάρχει θωράκιση των αγωγών, αυτή συνδέεται στους ακροδέκτες γειώσεως PE.

Στην μονάδα εξόδου αντίστοιχα, όταν πρέπει να τροφοδοτηθεί φορτίο AC, η έξοδος του PLC ελέγχει την παροχή ή όχι ρεύματος (on/off) σε κάποιο ρελέ ή σωληνοειδές πηνίο που ελέγχει το φορτίο. Εδώ η έξοδος του οπτοζεύκτη ελέγχει την αγωγιμότητα ενός TRIAC (σχ. 3.3ιβ).

Για DC φορτία εξόδου που ελέγχονται με ON/OFF της τάσεως εξόδου, η σύνδεση του ενεργοποιητή του φορτίου γίνεται είτε με μέθοδο αυτοτροφοδο-



Σχ. 3.3ια

Τρόποι συνδέσεως σε PLC αισθητήριου Pt100.

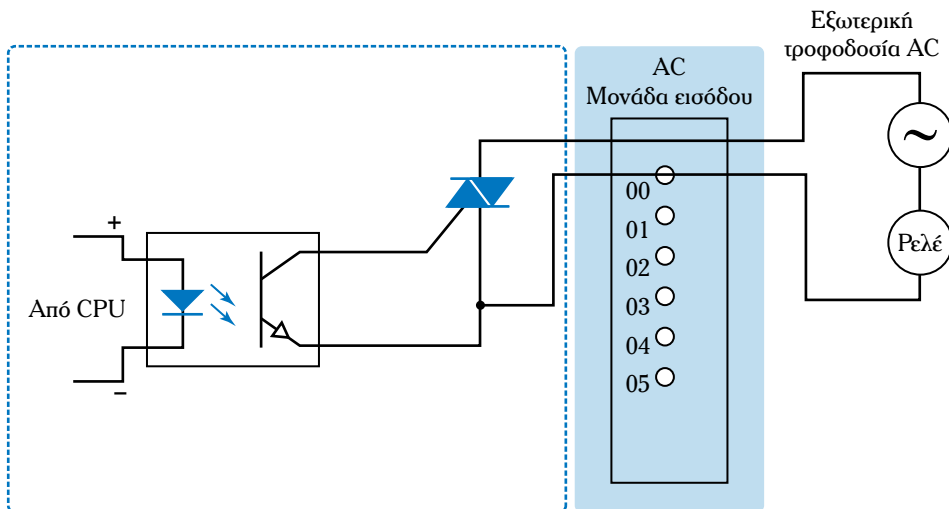
σίας (sink output) (ο ενεργοποιητής τροφοδοτείται από την εσωτερική πηγή του PLC) είτε με μέθοδο που ο ενεργοποιητής τροφοδοτείται από εξωτερική πηγή (source output) (σχ. 3.3ιγ).

Στις αναλογικές εξόδους που λειτουργούν με συνεχή αναλογικά σήματα, όπως είναι το πρωτόκολλο 4-20 mA, ακολουθείται αντίστροφη διαδικασία από ό,τι συμβαίνει στην σύνδεση αναλογικών εισόδων. Εδώ, η ψηφιακή έξοδος από την CPU μετατρέπεται σε αναλογική μέσω ενός μετατροπέα ψηφιακού σε αναλογικό σήμα. Στην έξοδο του μετατροπέα ένας οπτοζεύκτης αναλαμβάνει την τροφοδότηση του αναλογικού φορτίου, το οποίο τροφοδοτείται από μία εξωτερική πηγή συνεχούς τάσεως (σχ. 3.3ιδ).

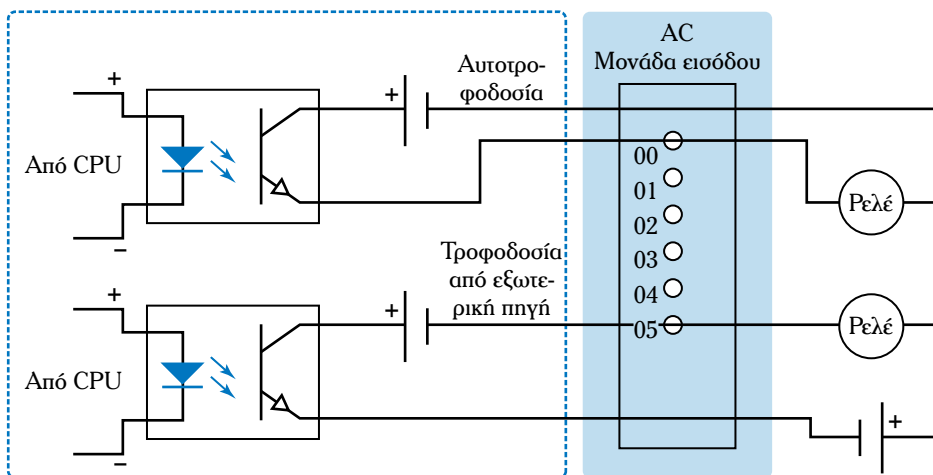
Οι αναλογικές εισοδοί και έξοδοι απαιτούν περισσότερο χρόνο επεξεργασίας από την CPU. Αυτό οφείλεται στον περισσότερο χρόνο που χρειάζεται για μετατροπή των σημάτων στους μετατροπείς αναλογικού σήματος σε ψηφιακό και ψηφιακού σε αναλογικό, όπως επίσης και στον παραπάνω χρόνο που απαιτεί η CPU να επεξεργαστεί τα σήματα αυτά σε σχέση με εισόδους και εξόδους που αφορούν σε δύο μόνο τιμές σημάτων και ελέγχονται από διακόπτες.

Τα κυκλώματα των μονάδων εξόδου ανήκουν σε έναν από τους παρακάτω τύπους:

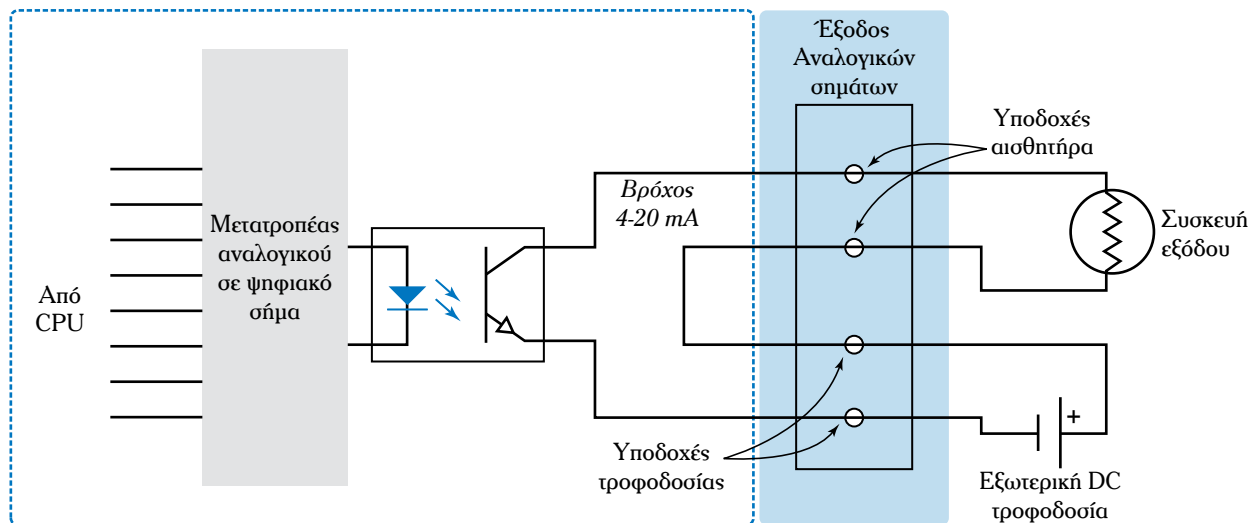
1) **Τύπου ρελέ:** Πρόκειται για κυκλώματα που χρησιμοποιούν ρελέ για τον έλεγχο λειτουργίας των συσκευών εξόδου τις οποίες ελέγχει ο PLC. Χρησιμοποιούνται τόσο για έλεγχο DC και AC φορτίων. Τα ρεύματα που μπορούν να ελεγχθούν με αυτόν τον τρόπο είναι της τάξεως των λίγων Ampere.



Σχ. 3.31β
Σύνδεση φορτίου AC στην μονάδα εξόδου.



Σχ. 3.31γ
Σύνδεση στην μονάδα εξόδου συσκευών DC.



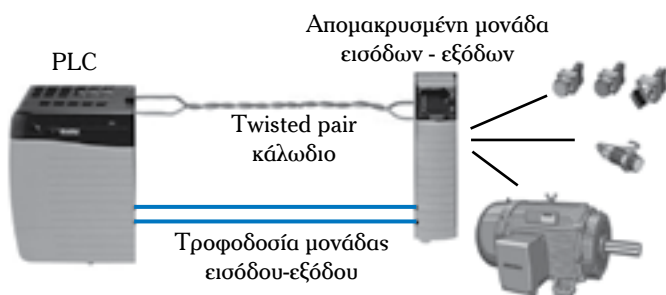
Σχ. 3.31δ
Σύνδεση αναλογικών εξόδων σε μονάδα εξόδου σε PLC.

Στα κυκλώματα αυτού του τύπου η απομόνωση του κυκλώματος ελέγχου από την εξωτερική συσκευή επιτυγχάνεται μέσω του ρελέ. Έχουν δε το πλεονέκτημα ότι μπορούν να αντέξουν στιγμιαίες υπερεντάσεις και υπερτάσεις. Εντούτοις, το μειονέκτημα αυτών των κυκλωμάτων είναι η **χαμηλή διακοπική συχνότητα** (slow switching)³ του κυκλώματος που ελέγχουν.

2) **Τύπου TRIAC:** Πρόκειται για κυκλώματα που χρησιμοποιούν οπτοζεύκτες για απομόνωση και TRIAC για την οδήγηση φορτίων AC. Έχουν το μειονέκτημα ότι καταστρέφονται πολύ εύκολα από υπερεντάσεις, οπότε θα πρέπει να προστατεύονται από κατάλληλες ασφάλειες.

3) **Τύπου τρανζιστορ:** Πρόκειται για κυκλώματα που ελέγχουν φορτία DC και χρησιμοποιούν τρανζιστορ για τον διακοπικό έλεγχο των φορτίων στην έξοδο. Και αυτά, όπως και η προηγούμενη κατηγορία, καταστρέφονται εύκολα από υπερεντάσεις και ανάστροφες τάσεις. Για τον λόγο αυτόν, προστατεύονται είτε με ασφάλεια είτε με ηλεκτρονικό κύκλωμα προστασίας. Έχουν το πλεονέκτημα της **υψηλής διακοπικής συχνότητας**³ (fast switching) του κυκλώματος εξόδου.

Όταν οι εισόδοι και εξόδοι του PLC βρίσκονται απομακρυσμένοι σε αρκετή απόσταση από αυτόν, είναι δυνατόν να τοποθετηθούν οι μονάδες εισόδου και εξόδου κοντά στις εισόδους και εξόδους και μέσω κατάλληλου καλωδίου, όπως είναι τα **συνεστραμμένου ζεύγους καλώδια** (twisted pair cables), να γίνει η σύνδεση των μονάδων με τον ελεγκτή (σχ. 3.31ε). Ο τρόπος αυτός διασυνδέσεως παρουσιάζει το πλεονέκτημα ότι αποτελεί μία πιο αποδοτική διάταξη όταν οι εισόδοι ή οι εξόδοι είναι λίγες και καταλαμβάνουν αρκετά μεγάλο χώρο στην εγκατάσταση. Σε αυτές τις περιπτώσεις δεν είναι πάντα απαραίτητο ούτε πρακτικό να τοποθετείται ένας ελεγκτής σε κάθε



Σχ. 3.31ε

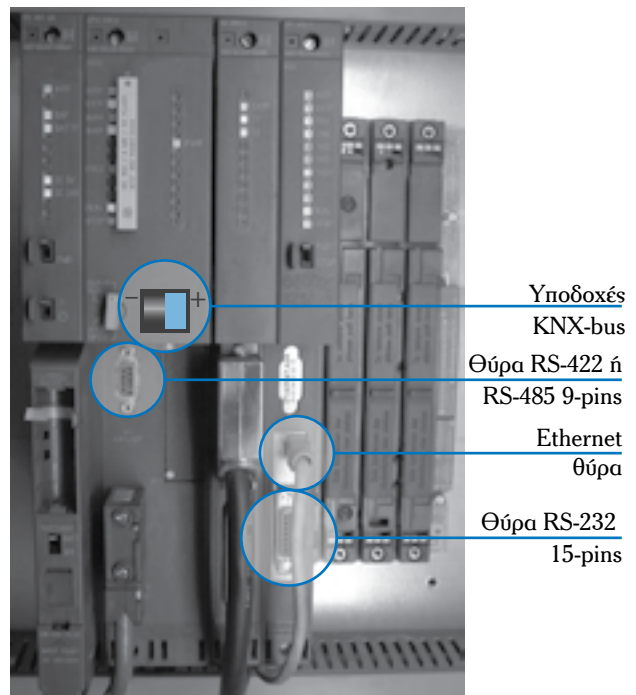
Σύνδεση απομακρυσμένων μονάδων I/O.

θέση που έχουμε εισόδους και εξόδους, ούτε είναι τεχνικά σωστό να δημιουργούμε μεγάλες σε μήκος συνδέσεις ανάμεσα στον ελεγκτή και στις εισόδους και εξόδους.

5) Θύρες επικοινωνίας με άλλες συσκευές.

Οι περισσότεροι σύγχρονοι PLC έχουν την δυνατότητα διασυνδέσεως σε δίκτυο για την επικοινωνία τους με άλλες συσκευές όπως με ηλεκτρονικούς υπολογιστές, οι οποίοι εκτελούν κατάλληλα προγράμματα. Για την επικοινωνία τους είτε μέσω δικτύου, είτε απευθείας με άλλες συσκευές χρησιμοποιούν ενσωματωμένες θύρες. Αυτές συνήθως είναι θύρες των 25 pins, 15 pins ή 9-pins που καλύπτουν τα πρωτόκολλα RS-232, RS-422, RS-485, θύρες Ethernet και υποδοχές για σύνδεση διπολικού καλωδίου του συστήματος bus KNX (βλ. κεφ. 4 και 5). Στο σχήμα 3.31στ παρουσιάζεται μία εγκατάσταση PLC, ενώ είναι εμφανής η μονάδα των θυρών επικοινωνίας.

Για κάποιες εφαρμογές είναι δυνατή η σύνδεση περισσότερων από μία μονάδων PLC σε διάταξη αφέντη-εργάτη (master-slave). Σε αυτόν τον τρόπο διατάξεως ο ένας προγραμματιζόμενος ελεγκτής είναι ο κύριος (αφέντης-master) ελεγκτής της διατά-

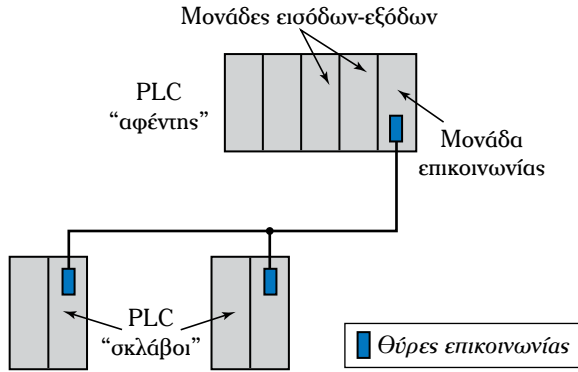


Σχ. 3.31στ

Μονάδα θυρών επικοινωνίας του PLC.

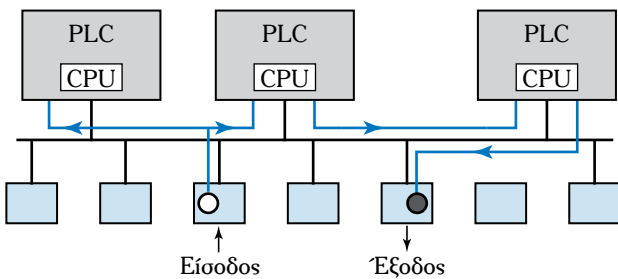
³ **Διακοπική συχνότητα:** ο ρυθμός διακοπής και επανασυνδέσεως της ηλεκτρικής τάσεως που εφαρμόζεται σε ένα κύκλωμα.

ξως (master) και οι άλλοι είναι οι δευτερεύοντες (οκλάβοι-slaves) (σχ. 3.3ιζ). Το πρόγραμμα το οποίο εκτελείται από την διάταξη εκτελείται στον master PLC, αφού αυτός είναι επιφορτισμένος με τον έλεγχο όλης της διαδικασίας του αυτοματισμού.



Σχ. 3.3ιζ
Master-Slave διάταξη
προγραμματιζόμενων λογικών ελεγκτών.

Μία άλλη λύση που εφαρμόζεται συνήθως σε πιο μεγάλες εγκαταστάσεις είναι η συνδεσμολογία **σημείου προς σημείο** (Peer to Peer – P2P). Σε αυτήν την συνδεσμολογία περισσότερα από ένα PLC συνδέονται σε σειρά το ένα μετά το άλλο χωρίς να υπάρχει κάποιος PLC που να είναι master στο δίκτυο. Κάθε PLC μπορεί να ανταλλάξει δεδομένα με τα υπόλοιπα, ενώ ταυτόχρονα το κάθε ένα είναι υπεύθυνο για την δική του περιοχή ευθύνης και εκτελεί το δικό του πρόγραμμα. Υπάρχει μία κοινή περιοχή μνήμης, στην οποία ό,τι γράφεται από κάποιον από τους PLC μπορεί να χρησιμοποιηθεί και από τους άλλους, ενώ οι μονάδες εισόδου και εξόδου μπορεί να είναι όλες προσβάσιμες από όλους τους PLC (σχ. 3.3ιν). Με τον τρόπο αυτόν επιτυγχάνεται αποκέντρωση των λειτουργιών ελέγχου και ενισχύεται η αξιοπιστία του συνολικού συστήματος.



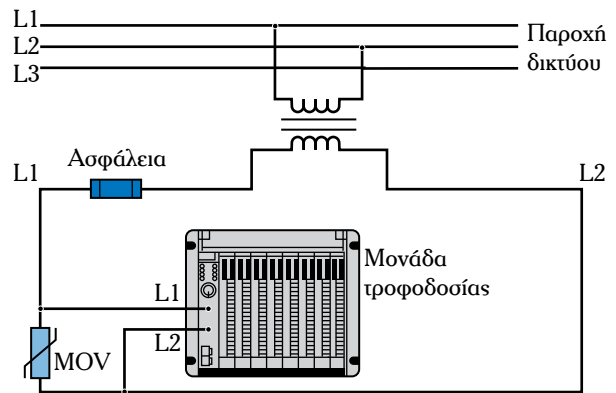
Σχ. 3.3ιν
Σημείο προς σημείο συνδεσμολογία PLC.

Κάποιες φορές είναι δυνατόν σε συνδεσμολογία P2P να υπάρχουν κάποιοι PLC που να επελούν τον ρόλο του master. Σε αυτές τις περιπτώσεις οι PLC αυτοί αναλαμβάνουν τον συντονισμό ομάδων PLC στέλνοντάς τους όλες τις απαραίτητες πληροφορίες και παραμέτρους για την επιτυχημένη εκτέλεση του προγράμματος ελέγχου.

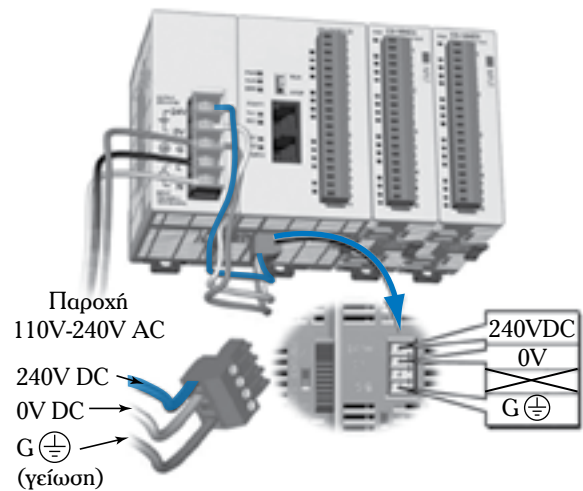
3.3.2 Μονάδα τροφοδοσίας.

Η μονάδα τροφοδοσίας τροφοδοτείται με την εναλλασσόμενη (AC) τάση της παροχής του δικτύου και μετατρέπει αυτήν την τάση στις απαραίτητες συνεχείς (DC) τάσεις που χρειάζονται στον PLC για την λειτουργία των εσωτερικών κυκλωμάτων που αναφέρθηκαν πιο πάνω. Στο σχήμα 3.3ιθ παρουσιάζεται ένα ηλεκτρολογικό διάγραμμα τροφοδοσίας ενός PLC.

Στο σχήμα 3.3κ παρουσιάζεται μία αναπαράστα-



Σχ. 3.3ιθ
Τροφοδοσία ενός PLC.



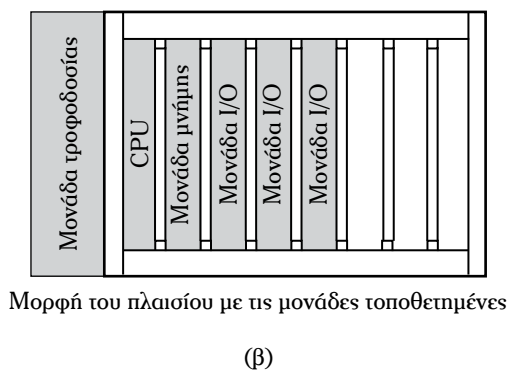
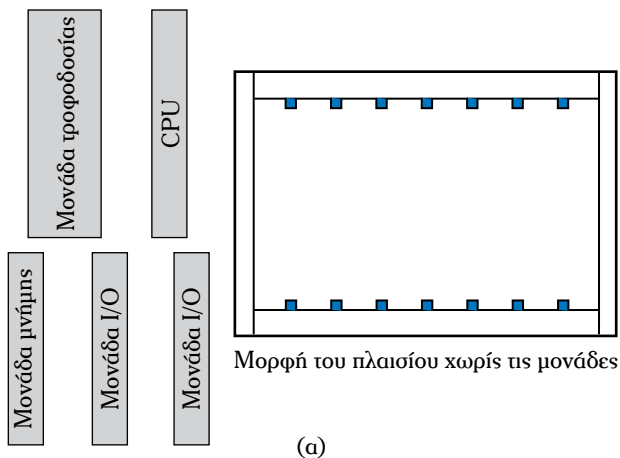
Σχ. 3.3κ
Αναπαράσταση της τροφοδοσίας ενός PLC.

ση της τροφοδοσίας ενός PLC με την τάση δικτύου 110 V–240 V AC και της λήψης 24 VDC για την λειτουργία των κυκλωμάτων του PLC.

Η AC τάση τροφοδοσίας προστατεύεται από υπερτάσεις γραμμής με τη χρήση **Βαρίστορ Οξειδίου Μετάλλου** (Metal Oxide Varistors – MOV), τα οποία δεν ξεπερνούν σε ονομαστική τάση λειτουργίας το 20% της τάσεως τροφοδοσίας (MOV στο σχ. 3.3ιθ).

3.3.3 Πλαίσιο στηρίξεως (rack).

Τα συστήματα PLC με μεγάλο αριθμό εισόδων και εξόδων, όπως προαναφέρθηκε, είναι συνήθως συστήματα **επεκτάσιμα** (modular). Τα συστήματα αυτά σχεδιάζονται για να προσαρμόζονται στις θέσεις ενός πλαισίου που συγκρατεί τις επιμέρους μονάδες (σχ. 3.3κα). Το πλαίσιο είναι ένα μεταλλικό συνθήως ερμάριο με ράγες ή θήκες μέσα στις οποίες προσαρμόζονται η μονάδα τροφοδοσίας, η μονάδα του επεξεργαστή, οι μονάδες μνήμης, οι μονάδες εισόδων και εξόδων και οι μονάδες με τις θύρες επικοινωνίας.

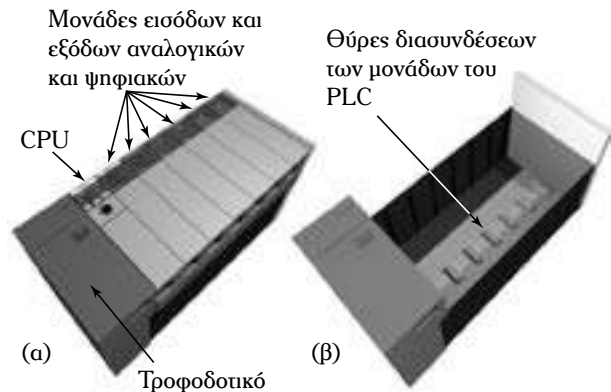


Σχ. 3.3κα

Πλαίσιο (α) χωρίς και (β) με τις μονάδες.

Η διάταξη, ο αριθμός και το είδος των μονάδων καθορίζεται από τον χρήστη. Η όλη διάταξη προσφέρει μεγάλη ευχρηστία, αφού επιτρέπει την προσθήκη ή αφαίρεση μνήμης και μονάδων εισόδων και εξόδων.

Το πλαίσιο διαθέτει θύρες για τη διασύνδεση των μονάδων του, προκειμένου να μεταφερθεί σε αυτές τροφοδοσία αλλά και να μπορεί να πραγματοποιηθεί μετάδοση δεδομένων μεταξύ τους. Στο σχήμα 3.3κβ(α) παρουσιάζεται ένας PLC επεκτάσιμος, όπου φαίνονται και οι μονάδες εισόδου και εξόδου. Στο σχήμα 3.3κβ(β) παρουσιάζεται το πλαίσιο στηρίξεως του PLC, όπου φαίνονται και οι θύρες συνδέσεως των μονάδων εισόδων-εξόδων για την τροφοδοσία τους με την κατάλληλη τάση και για την μετάδοση των δεδομένων προς και από την CPU.



Σχ. 3.3κβ

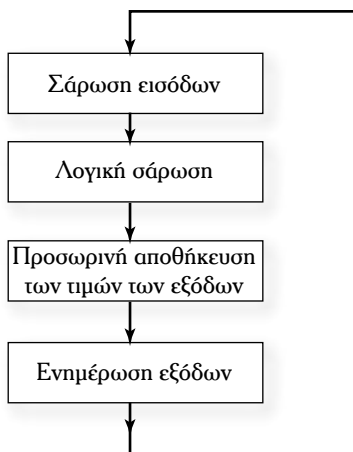
Πλαίσιο στηρίξεως (α) με συνδεδεμένες τις μονάδες και (β) χωρίς τις μονάδες όπου φαίνονται και οι θύρες διασυνδέσεως των μονάδων.

3.4 Κύκλος λειτουργίας ενός PLC.

Η λειτουργία ενός PLC βασίζεται στην λήψη αποφάσεων για ενεργοποίηση των εξόδων βάσει ενός προγράμματος, το οποίο εκτελείται και βάσει των καταστάσεων των εισόδων.

Κάθε PLC έχει τέσσερα βασικά στάδια λειτουργίας (σχ. 3.4), τα οποία επαναλαμβάνονται πολλές φορές το δευτερόλεπτο και κάθε επανάληψή τους ονομάζεται **κύκλος λειτουργίας**. Ειδικότερα:

1) Αρχικά, όταν ο PLC ανάψει, θα εξετάσει το υλικό του και το πρόγραμμα που θα εκτελέσει για σφάλματα. Εάν δεν υφίστανται προβλήματα, θα αντιγράψει τις τιμές των εισόδων στην μνήμη. Η ενέργεια αυτή ονομάζεται **σάρωση των εισόδων** (input scan) και κάνει πιο γρήγορη την λειτουργία του PLC.



Σχ. 3.4
Κύκλος λειτουργίας PLC.

2) Χρησιμοποιώντας τα δεδομένα των εισόδων, η CPU του PLC εκτελεί τις εντολές του προγράμματος που υλοποιούν τον αυτοματισμό. Η διαδικασία αυτή ονομάζεται **λογική σάρωση** (logic scan).

3) Κατά την διάρκεια εκτελέσεως των εντολών, οι τιμές που αφορούν στις εξόδους αποθηκεύονται σε μία περιοχή της μνήμης προσωρινά.

4) Όταν ολοκληρωθεί η σάρωση του προγράμματος και εκτελεστούν οι εντολές του, γίνεται ανανέωση των τιμών των εξόδων με βάση την προσωρινή αποθήκευση των τιμών τους από το προηγούμενο βήμα. Το στάδιο αυτό ονομάζεται **ενημέρωση εξόδων** (output update).

Ο PLC τώρα ξαναρχίζει την διαδικασία από το πρώτο στάδιο κάνοντας έναν αυτοέλεγχο για σφάλματα. Όσο ο PLC βρίσκεται στην κατάσταση RUN εκτελείται συνεχώς ο κύκλος λειτουργίας.

Ο κύκλος λειτουργίας που μόλις περιγράφηκε απαιτεί κάποιον χρόνο για να ολοκληρωθεί, που εξαρτάται από την ταχύτητα της CPU, τον αριθμό και το είδος των εντολών του προγράμματος. Ο χρόνος για να ολοκληρωθούν τα παραπάνω βήματα είναι γνωστός ως **χρόνος κύκλου**. Συνήθως ο αριθμός των πλήρων επαναλήψεων του κύκλου λειτουργίας είναι μεταξύ 10 και 100/s.

Η σάρωση των εισόδων και εξόδων είναι πολύ σημαντική. Όπως αναφέρθηκε στο πρώτο στάδιο, αποθηκεύονται οι τιμές των εισόδων στην μνήμη. Αυτό προστατεύει από δυνητικά προβλήματα που μπορεί να παρουσιαστούν όπως εάν μία είσοδος που χρησιμοποιείται σε πολλά σημεία του προγράμματος αλλάξει, ενώ ακόμη δεν έχει ολοκληρωθεί η σάρωση των εντολών του προγράμματος. Η αποθήκευση, παρόλ' αυτά, των εισόδων στην μνήμη,

παρουσιάζει και ένα σημαντικό μειονέκτημα. Εάν η διάρκεια της αλλαγής μίας εισόδου είναι μικρότερη από τον χρόνο κύκλου, υφίσταται ο κίνδυνος η αλλαγή της εισόδου να μην καταγραφεί και να χαθεί. Όσον αφορά στις εξόδους, όταν ολοκληρωθεί η λογική σάρωση του προγράμματος, τότε οι αποθηκευμένες τιμές περνούν στην έξοδο και γίνονται πραγματικές και όχι νωρίτερα. Αυτό επιταχύνει την λειτουργία του PLC, αφού οι εξόδοι αλλάζουν όλες μαζί μετά το τέλος του κύκλου λειτουργίας.

Από τα παραπάνω γίνεται φανερό ότι ο εξωτερικός κόσμος που εκφράζεται από τις εισόδους και εξόδους έχει επίδραση πάνω στον PLC μόνο κατά το διάβασμα των εισόδων και κατά την απόδοση τιμών στις εξόδους. Στον υπόλοιπο χρόνο λειτουργίας του, ο PLC είναι απομονωμένος από τον εξωτερικό κόσμο, καθώς οι εισοδοί του και οι έξοδοί του δεν μπορούν να μεταβάλλουν την λειτουργία του. Αντίθετα στα κλασικά κυκλώματα αυτοματισμών όπου χρησιμοποιούνται ηλεκτρονόμοι, η κατάσταση των εισόδων και εξόδων παρακολουθείται συνεχώς και η κάθε είσοδος μεταβάλλει ανάλογα την λειτουργία του αυτοματισμού την στιγμή που συμβαίνει. Από το παραπάνω μπορεί να εξαχθεί το συμπέρασμα ότι είναι πιο άμεση και ταχεία η λειτουργία ενός κλασικού αυτοματισμού σε σχέση με έναν PLC, που φαίνεται να καθυστερεί να λάβει υπόψη του την αλλαγή των εισόδων όταν αυτή συμβαίνει. Το συμπέρασμα αυτό δεν είναι σωστό, αφού ο χρόνος εκτελέσεως ενός κύκλου λειτουργίας του PLC και η ενημέρωση των εισόδων και εξόδων απαιτεί λίγα χιλιοστά του δευτερολέπτου.

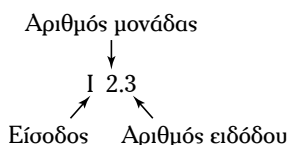
3.5 Ονοματοδοσία – Διευθύνσεις εισόδων και εξόδων.

Ένας PLC θα πρέπει να μπορεί να διακρίνει τις εισόδους και εξόδους του. Αυτό επιτυγχάνεται μέσω κατάλληλης ονοματοδοσίας-χαρακτηρισμού. Συνήθως η κάθε είσοδος και έξοδος χαρακτηρίζεται από ένα γράμμα, που ακολουθείται από έναν αριθμό.

Στους μικρούς ή συμπαγείς PLC κάθε εταιρεία ακολουθεί τον δικό της τρόπο ονοματοδοσίας. Έτσι για παράδειγμα μία μέθοδος που ακολουθείται είναι να ονομάζεται η κάθε είσοδος με το γράμμα **I** από την λέξη **Input** ακολουθούμενο από έναν αριθμό που δείχνει τον αριθμό της εισόδου, π.χ. **I1, I2, I3** κ.ο.κ.. Για τις εξόδους χρησιμοποιείται συνήθως το γράμμα **Q** ή **O** από την λέξη **Output**, για παράδειγμα **Q1, Q2, Q3** κ.ο.κ.. Άλλες εταιρείες χρησιμοποιούν το

γράμμα **X** για τις εισόδους και το γράμμα **Y** για τις εξόδους, π.χ. **X4, Y5** κ.ο.κ..

Στους μεγαλύτερους και επεκτάσιμους PLC το όνομα κάθε εισόδου και εξόδου περιέχει την πληροφορία για το εάν πρόκειται για είσοδο ή έξοδο μέσω συνήθως των γραμμάτων **I** για τις εισόδους και **Q** ή **O** για τις εξόδους, ακολουθούμενα από έναν αριθμό ο οποίος δείχνει την μονάδα εισόδου-εξόδου στην οποία βρίσκεται η αντίστοιχη είσοδος ή έξοδος και έναν αριθμό, ο οποίος χαρακτηρίζει την συγκεκριμένη είσοδο ή έξοδο. Έτσι για παράδειγμα, για να επισημανθεί η είσοδος 3 που βρίσκεται στην 2^η μονάδα **I/O** η οποία είναι τοποθετημένη στο πλαίσιο στηρίξεως δίπλα στην CPU γράφουμε:



Στο σχήμα 3.5 διακρίνεται ο τρόπος ονομασίας των εισόδων και εξόδων στην πρόσοψη ενός PLC.

Εκτός της ανάγκης για ονομασία των εισόδων και εξόδων ενός PLC υφίσταται και η ανάγκη για ονομασία εσωτερικών συναρτήσεων, που καλούνται κατά την δημιουργία και εκτέλεση ενός προγράμματος, και οι οποίες προσομοιώνουν την λειτουργία συσκευών, όπως είναι τα χρονικά και οι απαριθμητές. Σε αυτά ακολουθείται παρόμοιος τρόπος δηλώσεως με την ονομασία των εισόδων και εξόδων, με την διαφορά ότι το γράμμα που συνήθως χρησιμοποιείται για τα χρονικά είναι το **T** από την λέξη **Timer** (**T0, T1** κ.ο.κ.) και για τους απαριθμητές είναι το γράμμα **C** από την λέξη **Counter** (**C0, C1** κ.ο.κ.).

Για την αποθήκευση ενδιάμεσων καταστάσεων και πληροφοριών σε ένα πρόγραμμα χρησιμοποιούνται



Σχ. 3.5

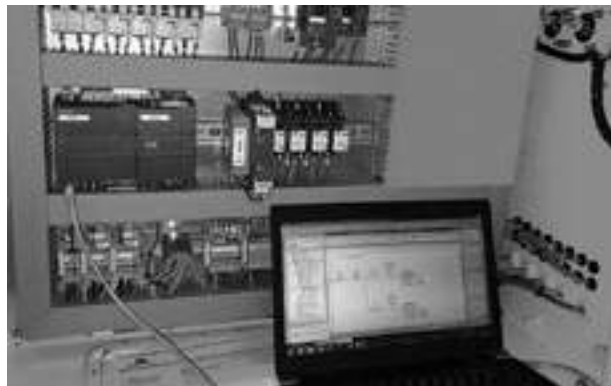
Λεπτομέρεια των εισόδων και εξόδων στην πρόσοψη ενός PLC.

ούνται βοηθητικές μνήμες, οι οποίες συμβολίζονται συνήθως με το γράμμα **M** (**M1, M2, M0.1, M1.5** κ.ο.κ.). Σε αυτές τις μνήμες μπορεί να αποθηκευθεί η τιμή μίας εσωτερικής εξόδου ή ενός εσωτερικού ρελέ, που στην πραγματικότητα είναι συναρτήσεως-μέρος του προγράμματος, και βοηθούν στον έλεγχο του προγράμματος και των πραγματικών εξόδων του PLC. Όπως με ένα πραγματικό ρελέ ελέγχεται η λειτουργία διακοπών, έτσι μέσω των εικονικών εξόδων ή ρελέ ελέγχεται η λειτουργία εικονικών διακοπών, οι οποίοι στην πραγματικότητα είναι συναρτήσεως⁴-μέρος του προγράμματος που εκτελεί το PLC. Οι εικονικές έξοδοι ονομάζονται και βοηθητικές και οι εικονικοί διακόπτες ονομάζονται και βοηθητικοί, αφού στην πραγματικότητα εξυπηρετούν την λογική του προγράμματος του PLC.

3.6 Συσκευές προγραμματισμού PLC.

Για την εισαγωγή του προγράμματος στον PLC χρησιμοποιούνται, κυρίως, οι ακόλουθοι δύο τρόποι:

1) **Προγραμματισμός μέσω H/Y** (σχ. 3.6α): Πρόκειται για την πιο συχνά χρησιμοποιούμενη μέθοδο σήμερα. Ο προγραμματισμός γίνεται με την χρήση κατάλληλου προγράμματος, το οποίο συνήθως παρέχεται από την εταιρεία η οποία παράγει και το προς προγραμματισμό PLC. Μέσω ενός H/Y μπορούν να χρησιμοποιηθούν και οι τρεις γλώσσες προγραμματισμού, οι οποίες θα αναλυθούν στην παράγραφο 3.8. Η μεταφορά του προγράμματος γίνεται μέσω μίας από τις σειριακές θύρες του υπο-



Σχ. 3.6α

Προγραμματισμός PLC πλοίου μέσω ηλεκτρονικού υπολογιστή.

⁴ **Συναρτηση** σε ένα πρόγραμμα (software) ονομάζεται ένα υποπρόγραμμα το οποίο εκτελεί μία συγκεκριμένη λειτουργία.



Σχ. 3.6β

Ασύρματη μεταφορά προγράμματος από τον Η/Υ στον PLC.

λογιστή και του ελεγκτή. Όπως είναι αναμενόμενο, η μέθοδος αυτή παρέχει μεγάλα πλεονεκτήματα, τα οποία σχετίζονται με την ευκολία αποθηκεύσεως προγραμμάτων, δεδομένων, αποτελεσμάτων κ.λπ.. Επί πλέον, υπάρχει η ευχρηστία του περιβάλλοντος της εφαρμογής μέσω της οποίας γίνεται ο προγραμματισμός.

Μία άλλη δυνατότητα προγραμματισμού ενός PLC με έναν Η/Υ είναι μέσω ασύρματης συνδέσεως (π.χ. WiFi, Bluetooth κ.λπ.) (σχ. 3.6β). Είναι δυνατό επίσης να μεταφερθεί το πρόγραμμα από τον Η/Υ σε ολοκληρωμένο κύκλωμα (chip) μνήμης EEPROM μέσω κατάλληλης συσκευής προγραμματισμού EEPROM. Η μνήμη EEPROM στην συνέχεια συνδέεται στον PLC που θα εκτελέσει το συγκεκριμένο πρόγραμμα.

2) Προγραμματισμός μέσω συσκευής χει-



Σχ. 3.6γ

Προγραμματιστές PLC χειρός.

ρός: Πρόκειται για μέθοδο, η οποία χρησιμοποιεί ειδικές συσκευές χειρός που συνήθως διαθέτουν ένα πληκτρολόγιο και μία μικρή οθόνη υγρών κρυστάλλων [σχ. 3.6γ(α)]. Συνήθως κάθε κατασκευαστής PLC διαθέτει μία δική του συσκευή χειρός. Τις περισσότερες φορές με αυτές τις συσκευές μπορεί να χρησιμοποιηθεί μόνο η γλώσσα λίστας εντολών, αν και υπάρχουν συσκευές, οι οποίες μπορούν να παρέχουν και δυνατότητα προγραμματισμού σε γλώσσα γραφικών [σχ. 3.6γ(β)].

Θα πρέπει να σημειωθεί ότι σήμερα διατίθενται στην αγορά PLC, οι οποίοι διαθέτουν οι ίδιοι οθόνη και πληκτρολόγιο ή ακόμη και **οθόνη αφής** (touch screen) και παρέχουν την δυνατότητα στον χρήστη να δημιουργήσει το πρόγραμμα κατευθείαν πάνω στην μονάδα του PLC αλλά και να παρακολουθεί μέσω της οθόνης την εξέλιξη της διαδικασίας του αυτοματισμού (σχ. 3.6δ).



Σχ. 3.6δ

PLC με οθόνη αφής.

3.7 Βασική ορολογία ελέγχου.

Υπάρχουν κάποιες λέξεις που χρησιμοποιούνται στον έλεγχο μηχανών, οι οποίες έχουν μία τυποποιημένη ειδική σημασία. Για λόγους ασφαλείας η σημασία αυτών των λέξεων είναι ρητή και κατηγορη-

ματική και δεν επιδέχεται άλλης ερμηνείας. Αυτές οι λέξεις χρησιμοποιούνται γενικά στην ονομασία κυκλωμάτων ελέγχου, διακοπών, θέσεων διακοπών στον πίνακα ελέγχου και τρόπων λειτουργίας μηχανών. Στον πίνακα 3.7 παρατίθενται κάποιοι όροι σημαντικοί στον έλεγχο μηχανών.

3.8 Γλώσσες προγραμματισμού των PLC.

Οι συσκευές οι οποίες βασίζονται στην λειτουργία κάποιου μικροεπεξεργαστή, όπως είναι οι Η/Υ, οι PLC κ.λπ., προκειμένου να μπορούν να εκτελέσουν κάποια λειτουργία, έχουν ανάγκη ενός προγράμματος. Για να μπορεί να κατανοηθεί από τον επεξεργαστή το πρόγραμμα που εκτελείται, μετατρέπεται σε μία αλληλουχία από δυαδικούς αριθμούς, οι οποίοι αναπαριστούν τις εντολές του προγράμματος αλλά και τα δεδομένα. Η αλληλουχία αυτή ονομάζεται **κώδικας** ή **γλώσσα μηχανής** (machine code) και όταν το πρόγραμμα είναι γραμμένο σε αυτήν την

μορφή εκτελείται άμεσα από την CPU, αφού δεν χρειάζεται κάποιου είδους μετάφραση, προκειμένου να γίνει κατανοητό από τον επεξεργαστή. Εντούτοις, ο προγραμματισμός σε γλώσσα μηχανής είναι μία εξαιρετικά επίπονη διαδικασία, ενώ απαιτεί υψηλού επιπέδου κατάρτιση σε προγραμματιστικό επίπεδο. Η διαδικασία μπορεί να διευκολυνθεί με την χρήση της γλώσσας **assembly**, η οποία είναι συμβολική γλώσσα πολύ κοντά στην γλώσσα μηχανής. Σε αυτήν την περίπτωση απαιτείται η ύπαρξη ενός ειδικού προγράμματος που ονομάζεται **μεταφραστής** (compiler), ο οποίος μεταφράζει τα σύμβολα στις δυαδικές λέξεις που αναγνωρίζει ο επεξεργαστής. Η διαδικασία του προγραμματισμού μπορεί να διευκολυνθεί ακόμη περισσότερο με την χρήση **γλωσσών υψηλότερου επιπέδου** (high level languages) όπως είναι οι γλώσσες **C, C++, PASCAL, BASIC** κ.λπ., οι οποίες συνοδεύονται από τον αντίστοιχο μεταφραστή. Παρόλ' αυτά, η χρήση όλων των πα-

Πίνακας 3.7
Σημαντικοί όροι στον έλεγχο μηχανών.

ON	Πρόκειται για κατάσταση της μηχανής κατά την οποία εφαρμόζεται ισχύς στην μηχανή και στα κυκλώματα ελέγχου και η μηχανή είναι έτοιμη να λειτουργήσει. Μερικές φορές ονομάζεται και STANDBY .
OFF	Πρόκειται για την αντίθετη κατάσταση από την ON. Δεν παρέχεται ισχύς στην μηχανή και στα κυκλώματα ελέγχου.
RUN	Στην κατάσταση αυτή η μηχανή εκτελεί την λειτουργία της βάσει των προβλεπομένων εντολών από τα κυκλώματα ελέγχου. Δεν θα πρέπει να συγχέεται με την λέξη ON, αφού η μηχανή θα μπορούσε να είναι σε κατάσταση ON, αλλά όχι σε κατάσταση RUN.
STOP	Πρόκειται για κατάσταση όπου η μηχανή είναι ON αλλά όχι σε κατάσταση RUN. Εάν η μηχανή είναι σε κατάσταση RUN και πιεστεί ο διακόπτης STOP, η κατάσταση RUN θα διακοπεί.
JOG	Κατάσταση κατά την οποία η μηχανή μπορεί να κάνει μικρή περιστροφή ή να κάνει μικρή κίνηση και να επιτρέψει στον χειριστή την ακριβή τοποθέτησή της σε σχέση με την εργασία που πρέπει να εκτελέσει. Το κύκλωμα ελέγχου θα πρέπει να σχεδιάζεται με τέτοιο τρόπο, ώστε να μην επιτρέπει το αυτόματο πέρασμα από την κατάσταση JOG στην κατάσταση RUN.
CYCLE	Πρόκειται για τρόπο λειτουργίας, κατά τον οποίο η μηχανή εκτελεί έναν κύκλο του προγράμματος εντολών βάσει του κυκλώματος αυτοματισμού και σταματά (έρχεται αυτόματα στην κατάσταση STOP). Εάν το κομβίο CYCLE κρατηθεί πατημένο, η μηχανή δεν θα συνεχίσει την λειτουργία της για πάνω από έναν κύκλο.
HAND OPERATION	Πρόκειται για τρόπο λειτουργίας κατά τον οποίο η μηχανή δεν μπορεί να έρθει σε κατάσταση RUN ή CYCLE παρά μόνο εάν πατηθούν ταυτόχρονα δύο ανεξάρτητα κομβία και με τα δύο χέρια του χειριστή. Αυτός ο τρόπος λειτουργίας απαιτείται σε διαδικασίες όπου ο χειριστής αλληλεπιδρά με το περιβάλλον της μηχανής και η αλληλεπίδραση αυτή δημιουργεί κινδύνους για την σωματική του ακεραιότητα (π.χ. τοποθετεί πρώτη ύλη στην μηχανή). Τα δύο κομβία πρέπει να τοποθετούνται σε θέσεις τέτοιες, ώστε να μην μπορούν να πιεστούν με το ένα χέρι ταυτόχρονα. Για την πραγματοποίηση δεύτερου CYCLE θα πρέπει τα κομβία να απελευθερωθούν και να πιεστούν ξανά.

ραπάνω μεθόδων απαιτεί αρκετά καλή γνώση των αντιστοίχων γλωσσών αλλά και επιδεξιότητα στον προγραμματισμό, απαιτήσεις οι οποίες δεν ταιριάζουν στο περιβάλλον των PLC, οι οποίοι θα πρέπει να μπορούν να προγραμματιστούν εύκολα ακόμη και από τεχνικούς που δεν έχουν ιδιαίτερες γνώσεις προγραμματισμού.

Έτσι, έχουν αναπτυχθεί κάποιες γλώσσες για χρήση αποκλειστικά στο περιβάλλον των PLC. Για λόγους συμβατότητας στην μορφή των γλωσσών που χρησιμοποιούνται στους PLC και στον τρόπο χρήσής τους από τις εταιρείες PLC, υιοθετήθηκε ένα διεθνές πρότυπο, το οποίο δημοσιεύτηκε το 1993. Πρόκειται για το πρότυπο **IEC 1131-3** (International Electrotechnical Commission), το οποίο αφορά στην βασική αρχιτεκτονική των προγραμμάτων για PLC. Το πρότυπο καθορίζει δύο γραφικές γλώσσες και δύο γλώσσες κειμένου. Οι γραφικές γλώσσες είναι η γλώσσα **Ladder** (Ladder diagram) και η γλώσσα **λογικών γραφικών** (functional block diagram), ενώ οι γλώσσες κειμένου είναι η **λίστα εντολών** (statement list ή instruction list) και η γλώσσα **δομημένου κειμένου** (structured text). Παρακάτω θα αναπτυχθούν οι τρεις πρώτες γλώσσες, που είναι οι κυριότερες και τις οποίες συναντάμε με μικρές διαφορές στους PLC όλων των εταιρειών.

Θα πρέπει να σημειωθεί ότι αν και το πρότυπο IEC 1131-3 καθιερώνει την βασική αρχιτεκτονική των προγραμμάτων, οι γλώσσες προγραμματισμού των PLC παρουσιάζουν αρκετές διαφορές από εταιρεία σε εταιρεία, ακόμη και για μοντέλα PLC της ίδιας εταιρείας. Οι διαφορές αφορούν τόσο στην μορφή των εντολών όσο και στο είδος και το πλήθος των εντολών. Εξαιτίας αυτών των διαφορών η παρουσίαση των τριών γλωσσών προγραμματισμού γίνεται κατά τέτοιον τρόπο, ώστε να καλύπτει όσο το δυνατόν περισσότερες εταιρείες και είναι ενδεικτική.

3.8.1 Ladder (Ladder Diagram – LD).

Η **Ladder** είναι μία γλώσσα ηλεκτρολογικών γραφικών και αποτελεί την γλώσσα που χρησιμοποιείται πιο συχνά σήμερα. Η μορφή της μοιάζει πάρα πολύ με το ηλεκτρολογικό σχέδιο του αυτοματισμού μίας εγκαταστάσεως και ακριβώς αυτό είναι ένα από τα κυριότερα πλεονεκτήματά της, αφού είναι πολύ εύκολη η εκμάθησή της και χρήση της από τεχνικό προσωπικό.

Η ονομασία «Ladder» προέρχεται από την ομοιότητα των διαγραμμάτων με μία σκάλα. Πρόκειται για διαγράμματα, όπου η παροχή ισχύος εισόδου παρι-

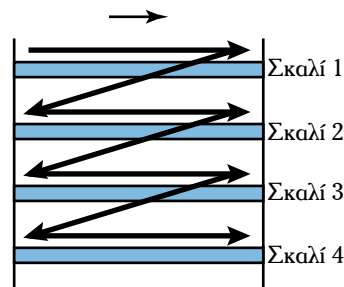
στάνεται με δύο κατακόρυφες γραμμές που ονομάζονται **ράγες** (rails). Σε ένα τέτοιο διάγραμμα η τροφοδοσία παριστάνεται πάντοτε με τις κατακόρυφες γραμμές και το υπόλοιπο κύκλωμα με τις οριζόντιες που ονομάζονται **σκαλιά** (rungs).

Για την σχεδίαση αυτών των διαγραμμάτων υιοθετούνται οι παρακάτω αρχές:

1) Οι κατακόρυφες γραμμές του διαγράμματος είναι οι γραμμές ισχύος. Η αριστερή γραμμή παριστάνει την γραμμή τροφοδοσίας και η δεξιά την γραμμή επιστροφής.

2) Κάθε **σκαλί** (rung) στο διάγραμμα Ladder προσδιορίζει μία μόνο λειτουργία στην διαδικασία ελέγχου.

3) Ένα διάγραμμα Ladder διαβάζεται από πάνω προς τα κάτω και από αριστερά προς τα δεξιά (σχ. 3.8α).



Σχ. 3.8α

Σειρά διαβάσματος
ενός διαγράμματος Ladder.

4) Κάθε σκαλί ξεκινά στα αριστερά του με την είσοδο ή τις εισόδους και περιέχει στα δεξιά του τουλάχιστον μία έξοδο. Ο όρος **είσοδος** χρησιμοποιείται για να δηλωθεί μία ενέργεια ελέγχου (π.χ. κλείσιμο ενός διακόπτη), ενώ ο όρος **έξοδος** χρησιμοποιείται για να δηλωθεί μία συσκευή, της οποίας η κατάσταση μεταβάλλεται από την λειτουργία των εισόδων (π.χ. πνίο ρελέ, ηλεκτροκινητήρας, λαμπτήρας κ.λπ.).

5) Οι ηλεκτρικές συσκευές σχεδιάζονται στην κανονική κατάστασή τους ή κατάσταση ηρεμίας τους. Αυτό σημαίνει ότι ένας διακόπτης **NO** αναπαριστάται ανοικτός και ένας **NC** αναπαριστάται κλειστός.

6) Μία συγκεκριμένη συσκευή μπορεί να εμφανίζεται σε περισσότερα από ένα σκαλιά. Έτσι για παράδειγμα ένα ρελέ, το οποίο ενεργοποιεί περισσότερες από μία εξόδους και χαρακτηρίζεται από ένα όνομα (γράμμα, λέξη ή αριθμός) θα εμφανίζεται περισσότερες από μία φορές, με το ίδιο πάντα όνομα, στα αντίστοιχα σκαλιά που ενεργοποιούν αυτές τις εξόδους.

7) Ενώ με την κλασική σχεδίαση των κυκλωμά-

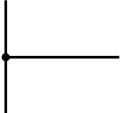

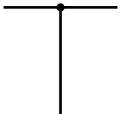
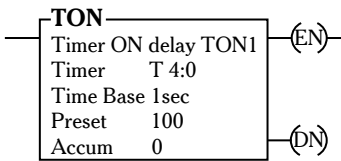

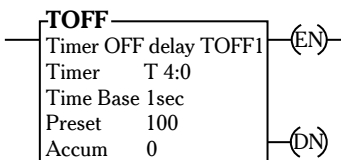
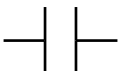
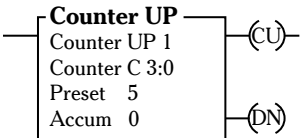

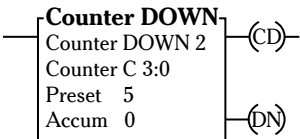
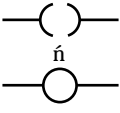
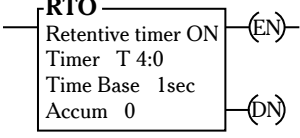
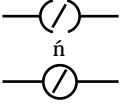
των επιδιώκεται, πολλές φορές, μία κατά το δυνατόν παρουσίαση της φυσικής θέσεως των εξαρτημάτων του κυκλώματος, στην σχεδίαση Ladder διαγραμμάτων δίνεται έμφαση μόνο στην ανάδειξη της λογικής ελέγχου, η οποία εξασκείται.

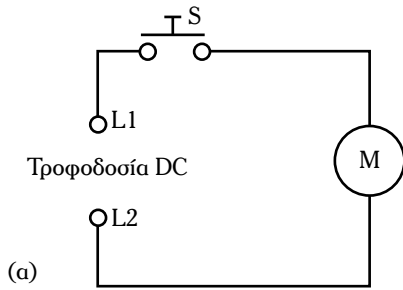
Στον πίνακα 3.8.1 παρουσιάζονται τα βασικά σύμβολα της γλώσσας Ladder βάσει του διεθνούς προτύπου IEC 1131-3.

Στο σχήμα 3.8β(α) παριστάνεται το κύκλωμα τροφοδοσίας ενός ηλεκτροκινητήρα μέσω του κομβίου

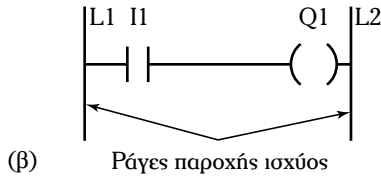
S. Στο σχήμα 3.8β(β) το ίδιο κύκλωμα αναπαριστάται με διάγραμμα Ladder. Όταν το κομβίο S, το οποίο είναι NO στην κατάσταση ηρεμίας, πιεστεί, τροφοδοτούνται με ρεύμα τα τυλίγματα του κινητήρα και αρχίζει να περιστρέφεται. Στην απεικόνιση σε πρόγραμμα Ladder [σχ. 3.8β(β)], ο διακόπτης τοποθετείται αριστερά στο σκαλί και ονομάζεται από την είσοδο του PLC, στην οποία είναι συνδεδεμένο το κομβίο S (I1 για το συγκεκριμένο παράδειγμα), ενώ δεξιά τοποθετείται η έξοδος, στην οποία είναι συνδεδεμέ-

Πίνακας 3.8.1
Βασικά σύμβολα γλώσσας Ladder.

Σύμβολο	Λειτουργία	Σύμβολο	Λειτουργία
	Κόμβος εισόδου		RS Flip-flop
	Κόμβος διακλαδώσεως		Χρονικό καθυστέρησης ενεργοποίησης
	Κόμβος εξόδου		Χρονικό καθυστέρησης απενεργοποίησης
	Είσοδος. Διακόπτης κανονικά ανοικτός (NO)		Απαριθμητής προς τα πάνω (Counter Up)
	Είσοδος. Διακόπτης κανονικά κλειστός (NC) Ισοδυναμεί με άρνηση (αντιστροφή) της εισόδου		Απαριθμητής προς τα κάτω (Counter Down)
	Έξοδος. Ηλεκτρονόμος-πηνίο (coil)		Χρονικό καθυστέρησης ενεργοποίησης με συγκράτηση, ο οποίος συνεχίζει την μέτρηση του χρόνου ακόμη κι όταν απενεργοποιηθεί η είσοδος.
	Άρνηση (αντιστροφή) της εξόδου		



(α)



(β)

Σχ. 3.8β

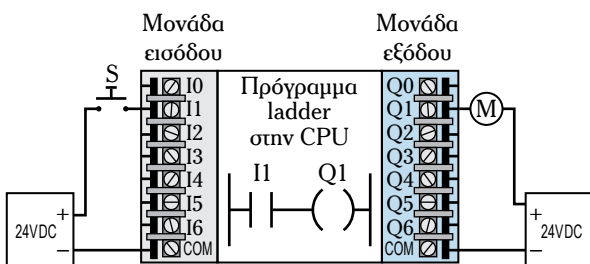
(α) Κύκλωμα τροφοδοσίας ηλεκτροκινητήρα,
 (β) κύκλωμα σε αναπαράσταση διαγράμματος Ladder.

νος ο ηλεκτροκινητήρας ($Q1$ για το συγκεκριμένο παράδειγμα).

Η συνδεσμολογία του κομβίου S στην μονάδα εισόδου και του ηλεκτροκινητήρα στην μονάδα εξόδου του PLC, μαζί με το πρόγραμμα Ladder που εκτελείται στην CPU, παρουσιάζονται στο σχήμα 3.8γ.

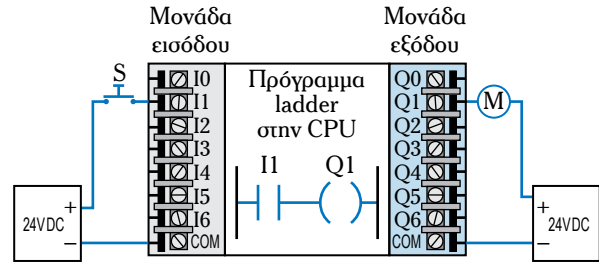
Στον PLC του σχήματος 3.8γ το NO κομβίο S συνδέεται στην είσοδο $I1$. Στο πρόγραμμα Ladder ο διακόπτης $I1$ δηλώνεται ότι είναι NO . Αυτό σημαίνει ότι όταν το κομβίο S κλείσει, τότε το πρόγραμμα θα αλλάξει την κατάσταση του $I1$ σε κλειστή και θα ενεργοποιηθεί η έξοδος $Q1$, η οποία θα ξεκινήσει τον ηλεκτροκινητήρα. Το αποτέλεσμα παρουσιάζεται στο σχήμα 3.8δ, όπου με μπλε ο χρώμα παρουσιάζεται η ενεργοποίηση των κυκλωμάτων.

Εάν στον PLC το κομβίο S συνδεόταν σαν NC , τότε με το παραπάνω πρόγραμμα το κύκλωμα θα



Σχ. 3.8γ

Συνδεσμολογία εισόδου και εξόδου στο PLC για υλοποίηση του κυκλώματος του σχήματος 3.8β.



Σχ. 3.8δ

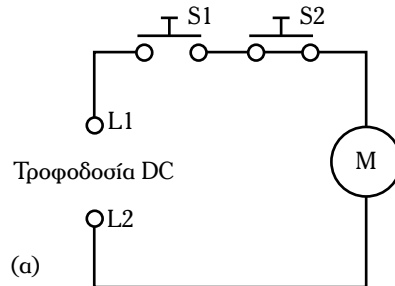
Ενεργοποίηση του ηλεκτροκινητήρα του σχήματος 3.8γ.

ήταν συνεχώς ενεργοποιημένο και με πίεση του διακόπτη θα σταματούσε η λειτουργία του κινητήρα.

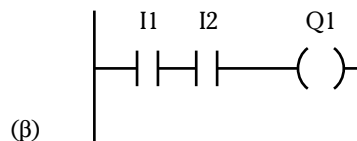
Στο ηλεκτρικό κύκλωμα του σχήματος 3.8ε(α) παρουσιάζεται η λειτουργία ενός φορτίου με την χρήση δύο κομβίων $S1$ και $S2$. Τα κομβία είναι συνδεδεμένα σε σειρά, συνεπώς απαιτείται το κλείσιμο και των δύο κομβίων για την ηλεκτρική τροφοδοσία του φορτίου. Η διασύνδεση των δύο κομβίων υλοποιεί την λογική AND , η οποία παρουσιάστηκε στο κεφάλαιο 1. Η λογική AND παρουσιάζεται και στην γλώσσα Ladder με την σύνδεση των διακοπών των εισόδων $I1$ και $I2$ σε σειρά στην αριστερή πλευρά του διαγράμματος. Η συνάρτηση που υλοποιείται από την σύνδεση αυτή των διακοπών είναι η εξής:

$$Q1 = I1 \cdot I2 \quad \acute{\eta} \quad Q1 = I1 \text{ AND } I2$$

Το προηγούμενο κύκλωμα σε πρόγραμμα διαγράμματος Ladder παρουσιάζεται στο σχήμα 3.8ε (β), ενώ στα χρονικά διαγράμματα του σχήματος



(α)



(β)

Σχ. 3.8ε

(α) Κύκλωμα συνδεσμολογίας διακοπών σε σειρά, (β) πρόγραμμα σε Ladder.

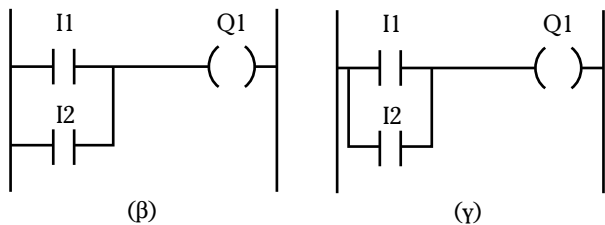
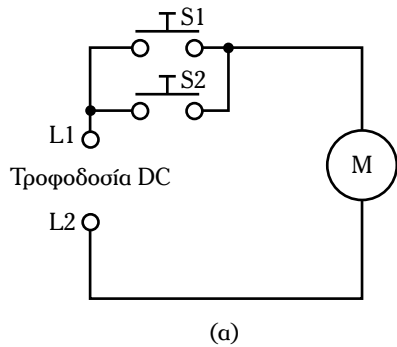
3.8στ παρατηρείται ότι η έξοδος Q1 είναι ενεργοποιημένη μόνο κατά την χρονική διάρκεια στην οποία οι δύο διακόπτες συμπίπτει να είναι κλειστοί.



Σχ. 3.8στ

Διάγραμμα χρονικό της ενεργοποίησης της εξόδου Q1 της Ladder του σχήματος 3.8ε(β).

Στο σχήμα 3.8ζ(α) τα κομβία είναι συνδεδεμένα παράλληλα. Η δισύνδεση αυτή επιτρέπει την λειτουργία του φορτίου με την ενεργοποίηση είτε του ενός διακόπτη, είτε του άλλου ή και των δύο. Το κύκλωμα αυτό εκφράζει την λογική OR. Το πρόγραμμα Ladder αυτού του κυκλώματος μπορεί να πάρει την μορφή του σχήματος 3.8ζ(β) ή του σχήματος 3.8ζ(γ), ενώ η χρονική συσχέτιση της ενεργοποίησης των διακοπτών και της εξόδου δείχνεται στο



Σχ. 3.8ζ

(α) Κύκλωμα με διακόπτες παράλληλα, (β), (γ) υλοποίηση σε Ladder.



Σχ. 3.8η

Διάγραμμα χρονικό της ενεργοποίησης της εξόδου Q1 της Ladder του σχήματος 3.8ε(β, γ).

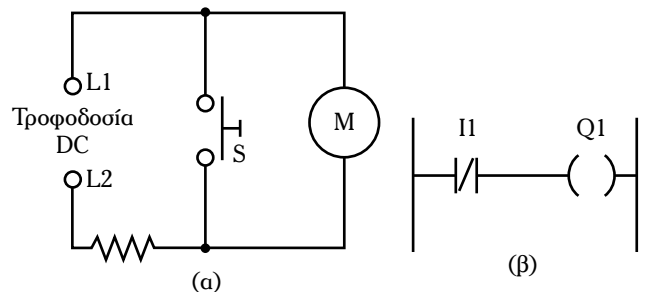
σχήμα 3.8η. Η συνάρτηση που υλοποιείται από την σύνδεση αυτή των διακοπτών είναι η εξής:

$$Q1 = I1 + I2 \quad \text{ή} \quad Q1 = I1 \text{ OR } I2$$

Μία ιδιαίτερη περίπτωση της γλώσσας Ladder είναι ο προγραμματισμός της λογικής NOT, δηλαδή της λογικής της αντιστροφής. Για την κατανόησή της ας υποθεθεί το κύκλωμα του σχήματος 3.8θ(α). Όπως είναι φανερό από το κύκλωμα, όταν το κομβίο S είναι ανοικτό, το φορτίο διαρρέεται από ρεύμα. Αντίθετα, όταν κλείσει το κομβίο S, βραχυκυκλώνεται το φορτίο από το κομβίο και σταματά η τροφοδοσία του φορτίου. Η κατάσταση αυτή προγραμματίζεται στην γλώσσα διαγραμμάτων Ladder με το διάγραμμα του σχήματος 3.8θ(β), ενώ η λογική συνάρτηση της αντιστροφής μπορεί να εκφραστεί ως εξής:

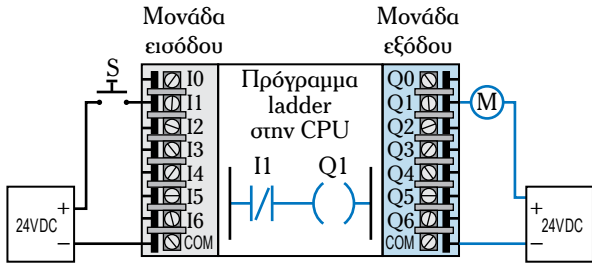
$$Q1 = I1 = \bar{S} \quad \text{ή} \quad Q1 = I1 = \text{NOT } S$$

Ο προγραμματισμός με την λογική των κανονικά κλειστών διακοπτών όπως στο διάγραμμα Ladder του σχήματος 3.8θ(β) χρειάζεται μεγάλη προσοχή επειδή αντιστρέφει την λειτουργία των διακοπτών που συνδέονται στον PLC. Ο PLC του σχήματος



Σχ. 3.8θ

(α) Κύκλωμα όπου ο διακόπτης εκτελεί την λογική της αντιστροφής, (β) διάγραμμα Ladder.



Σχ. 3.8ι

Συνδεσμολογία εισόδου και εξόδου στον PLC για υλοποίηση του προγράμματος του σχήματος 3.8θ(β).

3.8ι εκτελεί το πρόγραμμα του σχήματος 3.8θ(β).

Παρατηρούμε ότι στο παραπάνω πρόγραμμα Ladder το NO κομβίο S αναπαριστάται με τον NC εικονικό διακόπτη I1. Όσο το S είναι ανοικτό, υπάρχει τροφοδοσία της εξόδου από τον PLC, αφού μέσω του NC διακόπτη I1 αντιστρέφεται η λειτουργία της εισόδου. Δηλαδή, ο προγραμματισμός ενός διακόπτη σαν NC αντιστρέφει την λειτουργία του πραγματικού διακόπτη που συνδέεται στην είσοδο του PLC. Όταν το κομβίο S πιεστεί, τότε τροφοδοτείται με ρεύμα η είσοδος I1 του PLC και ανοίγει ο εικονικός διακόπτης I1, οπότε σταματά η τροφοδοσία της εξόδου (σχ. 3.8ια). Η χρονική σχέση που συνδέει την είσοδο με την έξοδο φαίνεται στο σχήμα 3.8ιβ.

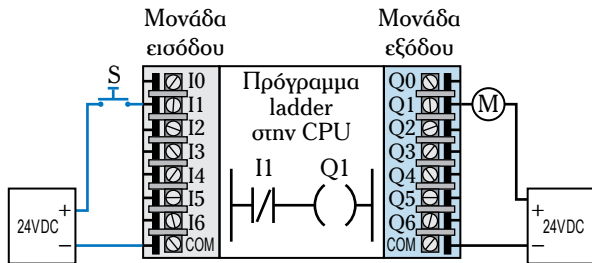
γιοποιείται ο εικονικός διακόπτης M1 και επομένως και η έξοδος, ενώ αντίθετα, όταν η είσοδος είναι ανοικτό κύκλωμα, ενεργοποιούνται ο εικονικός διακόπτης και η έξοδος. Τα παραπάνω οφείλονται στην αντιστροφή που πραγματοποιεί η βοηθητική έξοδος M1 του προγράμματος Ladder.

Στα κυκλώματα αυτοματισμού γίνεται πολύ συχνά χρήση διακοπών κομβίων για την ενεργοποίηση των κυκλωμάτων. Τα κομβία μετά την αρχική αλλαγή καταστάσεως που υφίστανται αφού πιεστούν,

Διακόπτης S στην είσοδο I1	ΑΝΟΙΚΤΟΣ	ΚΛΕΙΣΤΟΣ	ΑΝΟΙΚΤΟΣ
Διακόπτης I1			Χρόνος
Εξόδος Q1			Χρόνος
	ΚΛΕΙΣΤΟΣ	ΑΝΟΙΚΤΟΣ	ΚΛΕΙΣΤΟΣ
	ΕΝΕΡΓΟΠΟΙΗΜΕΝΗ	ΑΠΕΝΕΡΓΟΠΟΙΗΜΕΝΗ	ΕΝΕΡΓΟΠΟΙΗΜΕΝΗ
			Χρόνος

Σχ. 3.8ιβ

Διάγραμμα χρονικό της σχέσεως εισόδου-εξόδου του PLC του σχήματος 3.8ι.



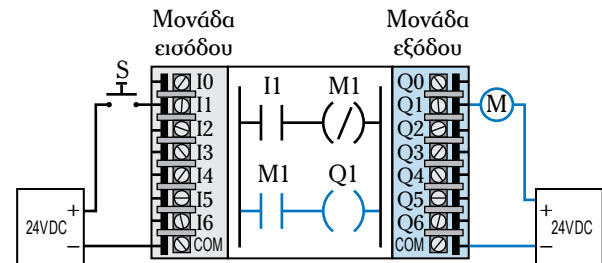
Σχ. 3.8ια

Παύση τροφοδοσίας της εξόδου με ενεργοποίηση της εισόδου I1.

Παρόμοια προσοχή με την χρήση των διακοπών NC σε ένα πρόγραμμα χρειάζεται με την χρήση της εντολής της αντιστροφής της εξόδου, αφού η σημασία της είναι να αντιστρέφει την λειτουργία της εξόδου. Στο σχήμα 3.8ιγ παρουσιάζεται μία συνδεσμολογία σε PLC ο οποίος εκτελεί ένα πρόγραμμα Ladder που κάνει χρήση της αντιστροφής της εξόδου.

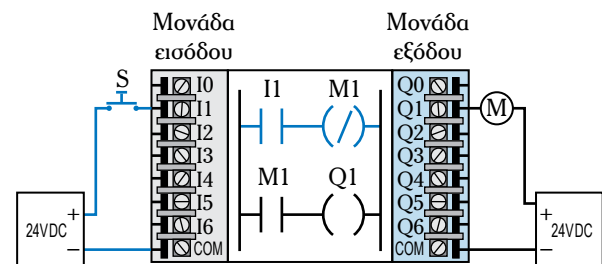
Στο σχήμα 3.8ιδ παρουσιάζεται η λειτουργία του ίδιου PLC με πιεσμένο το κομβίο S.

Από τις δύο προηγούμενες εικόνες παρατηρούμε πως όταν είναι ενεργοποιημένη η είσοδος, απενερ-



Σχ. 3.8ιγ

Λειτουργία ενός PLC με αντιστροφή της εξόδου.



Σχ. 3.8ιδ

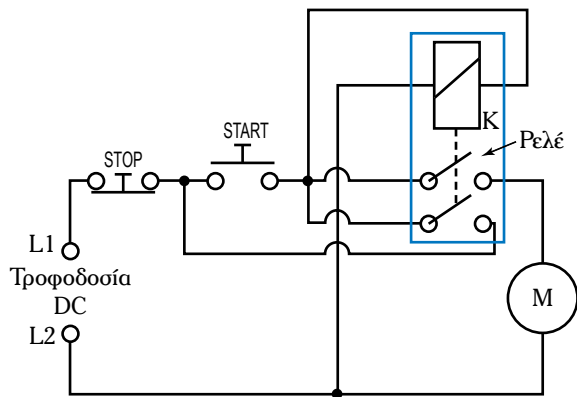
Αντιστροφή της εξόδου με ενεργοποιημένη την είσοδο.

επανέρχονται στην αρχική τους κατάσταση με την απελευθέρωσή τους. Το κύκλωμα του σχήματος 3.8ιε(α) ελέγχει έναν ηλεκτρικό κινητήρα με την χρήση δύο κομβίων και ενός ρελέ.

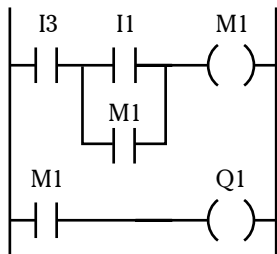
Όταν πιεστεί το NO κομβίο START, περνά ρεύμα στο πηνίο του ρελέ K, το οποίο κλείνει τις επαφές του ρελέ. Η μία επαφή του K εξασφαλίζει την ροή ρεύματος στο κύκλωμα του κινητήρα και η άλλη εξασφαλίζει ότι όταν το κομβίο STOP επιστρέψει στην αρχική του θέση, θα συνεχίσει η παροχή ρεύματος στο πηνίο του ρελέ, επιτυγχάνοντας μ' αυτόν τον τρόπο μία αυτοσυγκράτηση της τροφοδοσίας του ρελέ. Με πίεση του NC κομβίου STOP διακόπεται η παροχή ρεύματος στον ηλεκτροκινητήρα αλλά και στο πηνίο του ρελέ, οπότε σταματά και η αυτοσυγκράτηση.

Στο σχήμα 3.8ιε(β) είναι σχεδιασμένο το πρόγραμμα του κυκλώματος σε διάγραμμα Ladder, ενώ στο σχήμα 3.8ιστ παρουσιάζεται και η συνδεσμολογία των εισόδων και της εξόδου στον PLC.

Το πρόγραμμα Ladder αποτελείται από δύο σκαλιά. Στο πρώτο, δηλώνεται το NO κομβίο START με την ονομασία I1, αφού συνδέεται στην είσοδο I1



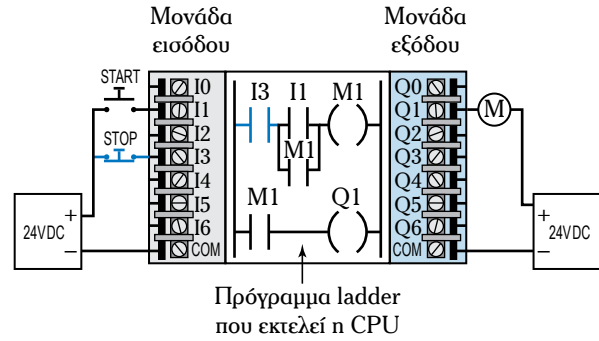
(α)



(β)

Σχ. 3.8ιε

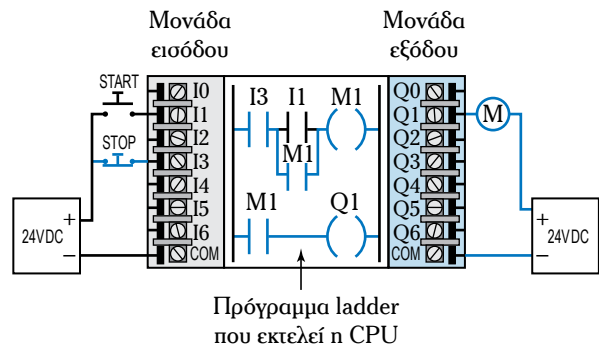
(α) Κύκλωμα τροφοδοσίας ηλεκτροκινητήρα με ρελέ,
(β) διάγραμμα Ladder.



Σχ. 3.8ιστ

Συνδεσμολογία στον PLC για εκτέλεση του προγράμματος του σχήματος 3.8ιε(β).

του PLC και το NC κομβίο STOP με την ονομασία I3, αφού αυτό συνδέεται στην είσοδο I3 του PLC. Η έξοδος του πρώτου σκαλιού ενεργοποιεί το εικονικό ρελέ M1, το οποίο επηρεάζει τους εικονικούς διακόπτες M1. Παρατηρούμε ότι επειδή το κομβίο STOP είναι κλειστό, κρατά ενεργοποιημένο τον διακόπτη I3 (η ενεργοποίηση δηλώνεται με το μπλε χρώμα). Εντούτοις, επειδή οι διακόπτες του παράλληλου συνδυασμού I1, M1 είναι ανοικτοί, δεν μπορεί να ενεργοποιηθεί το ρελέ M1. Όταν πατηθεί το κομβίο START, ενεργοποιείται ο διακόπτης I1 και το ρελέ M1 και κατά συνέπεια κλείνουν οι διακόπτες M1, τους οποίους ελέγχει το ρελέ M1. Ο διακόπτης M1 που βρίσκεται παράλληλα στον I1 κλείνει και αναλαμβάνει να εκτελέσει την αυτοσυγκράτηση της λειτουργίας του ρελέ M1 όταν το κομβίο START επιστρέψει στην αρχική του θέση και ανοίξει ο διακόπτης I1. Ο διακόπτης M1 στο δεύτερο σκαλί κλείνει και ενεργοποιεί την έξοδο Q1, στην οποία είναι συνδεδεμένος ο κινητήρας. Η κατάσταση τώρα παρουσιάζεται στο σχήμα 3.8ιζ.

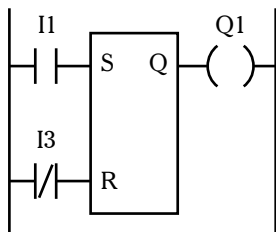


Σχ. 3.8ιζ

Η κατάσταση του PLC του σχήματος 3.8ιστ μετά το πάτημα και την επιστροφή του διακόπτη START.

Η πίεση του κομβίου STOP οποιαδήποτε χρονική στιγμή διακόπτει την αυτοσυγκράτηση του ρελέ MI και σταματά την λειτουργία του ηλεκτροκινητήρα, οπότε η λειτουργία του PLC επανέρχεται στην μορφή του σχήματος 3.8ιστ.

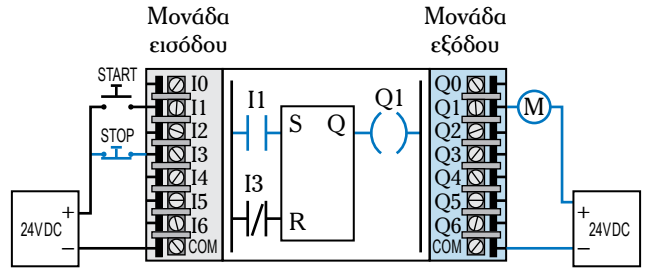
Στο παραπάνω παράδειγμα η αυτοσυγκράτηση επιτυγχάνεται μέσω ενός διακόπτη του προγράμματος Ladder (MI), ο οποίος συνδέεται παράλληλα στον διακόπτη I1, που αντιπροσωπεύει το κομβίο START. Μία άλλη μέθοδος προγραμματισμού της αυτοσυγκρατήσεως θα ήταν να χρησιμοποιηθεί το RS flip-flop, του οποίου η λειτουργία παρουσιάστηκε στο κεφάλαιο 1. Το RS flip-flop ως γραφική εντολή της Ladder αποτελείται από την είσοδο S (SET), την είσοδο R (RESET) και την έξοδο Q. Η λειτουργία του RS flip-flop είναι να δημιουργεί ένα στοιχείο μνήμης μέσω της ενεργοποίησης της εξόδου από την είσοδο S, ενώ μέσω της εισόδου R η έξοδος απενεργοποιείται. Το πρόγραμμα Ladder του σχήματος 3.8ιε(β) μπορεί να γραφεί όπως το πρόγραμμα του σχήματος 3.8ιν.



Σχ. 3.8ιν

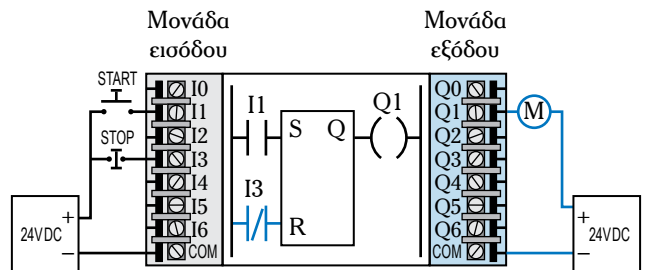
Πρόγραμμα Ladder για δημιουργία αυτοσυγκρατήσεως με τη χρήση RS flip-flop.

Κρίνεται σημαντικό να εξηγηθεί ο λόγος συνδέσεως του διακόπτη I3 στην είσοδο R ως NC. Συνήθως στα συστήματα αυτοματισμού για σταμάτημα της διαδικασίας χρησιμοποιείται ένα κομβίο STOP, το οποίο είναι NC. Στο σχήμα 3.8ιθ βλέπουμε την κατάσταση μετά την πίεση του κομβίου START και κατά συνέπεια την ενεργοποίηση της εισόδου S του flip-flop. Το κομβίο STOP συνδέεται στην είσοδο I3 του ελεγκτή. Εάν ο διακόπτης I3 προγραμματιζόταν στην Ladder σαν NO, λόγω του NC κομβίου STOP, θα ήταν συνεχώς ενεργοποιημένη η είσοδος R του RS flip-flop, το οποίο θα κρατούσε την έξοδο Q1 σε λογικό 0, δηλαδή απενεργοποιημένη. Τοποθετώντας στην είσοδο R έναν διακόπτη NC αντιστρέφεται η λειτουργία του κομβίου STOP. Κατά συνέπεια, όταν υπάρξει πίεση του STOP, θα ενεργοποιηθεί το



Σχ. 3.8ιθ

Συνδεομολογία στο PLC για την υλοποίηση του προγράμματος του σχήματος 3.8ιε(β) με RS flip-flop (παρουσιάζεται η κατάσταση μετά την πίεση του κομβίου START).

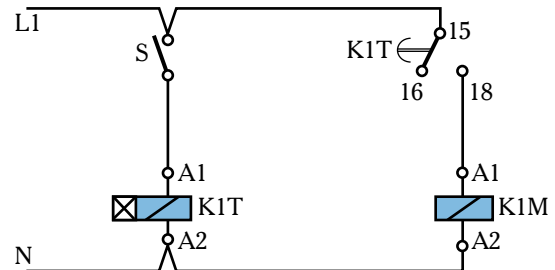


Σχ. 3.8κ

Απενεργοποίηση της εξόδου με πίεση του κομβίου STOP.

RESET του flip-flop και θα σταματήσει η τροφοδοσία της εξόδου (σχ. 3.8κ).

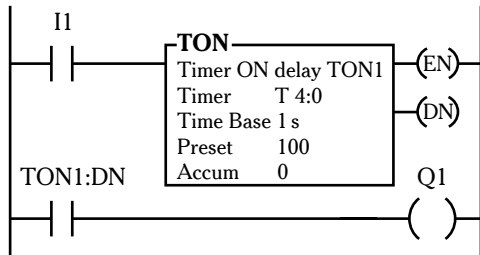
Παρακάτω θα παρουσιαστούν δύο παραδείγματα χρήσεως των χρονικών σε Ladder. Στο ηλεκτρικό κύκλωμα του σχήματος 3.8κα, όταν πιεστεί ο διακόπτης S και για όσο χρόνο είναι πιεσμένος, ενεργοποιείται η διαδικασία μετρήσεως χρόνου του χρονικού ρελέ on delay KIT. Όταν συμπληρωθεί ο χρόνος στον οποίο έχει ρυθμιστεί, το ρελέ KIT ενεργοποιείται και κλείνει την επαφή του 15-18, οπότε περνά ρεύμα στο ρελέ K1M που ενεργοποιεί την έξοδο.



Σχ. 3.8κα

Ηλεκτρικό κύκλωμα χρονοκαθυστερήσεως με ρελέ.

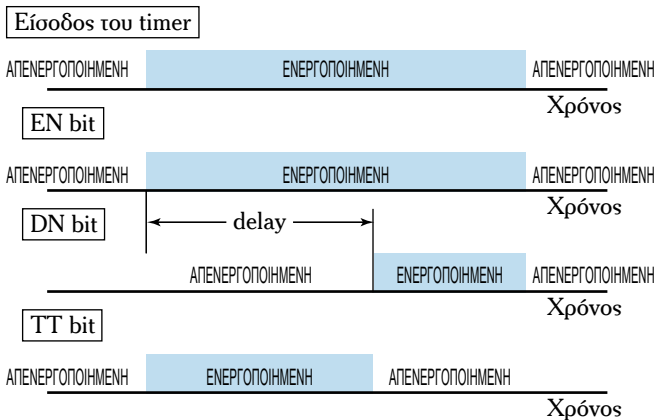
Στο σχήμα 3.8κβ παρουσιάζεται το ίδιο κύκλωμα σε Ladder. Όταν κλείσει ο NO διακόπτης *I1*, ο οποίος αντιστοιχεί στον διακόπτη *S* του κυκλώματος του σχήματος 3.8κα, ενεργοποιείται το χρονικό on delay *TON1*.



Σχ. 3.8κβ
 Πρόγραμμα Ladder
 για το κύκλωμα του σχήματος 3.8κα.

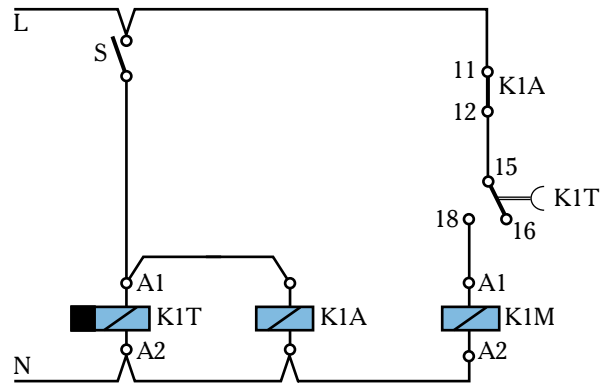
Το χρονικό (timer) έχει τρεις βοηθητικές εξόδους, οι οποίες ονομάζονται *bit* και χρησιμοποιούνται στον προγραμματισμό. Αυτές είναι: το **enable bit (EN)**, το **done bit (DN)** και το **timing bit (TT)**. Το *EN bit* γίνεται 1 όταν ενεργοποιηθεί η είσοδος και επανέρχεται σε 0 όταν η είσοδος απενεργοποιηθεί. Το *DN bit* γίνεται 1 όταν συμπληρωθεί ο χρόνος καθυστέρησης που έχει τεθεί (**PRESET**) και επανέρχεται στο 0 όταν απενεργοποιηθεί η είσοδος. Το *TT bit* γίνεται 1 όταν ενεργοποιηθεί η είσοδος και επανέρχεται στο 0 όταν απενεργοποιηθεί η είσοδος ή όταν συμπληρωθεί ο χρόνος καθυστέρησης (σχ. 3.8κγ).

Στο πρόγραμμα Ladder του σχήματος 3.8κβ, όταν συμπληρωθεί ο PRESET χρόνος των 100 s, ενεργοποιείται το *DN bit* του χρονικού και κλείνει ο NO διακόπτης *TON1:DN* στο δεύτερο σκαλί της Ladder τροφοδοτώντας με ρεύμα το φορτίο στην έξοδο *Q1*.



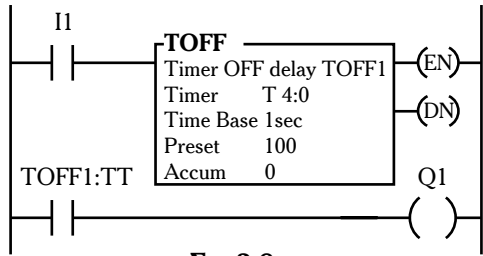
Σχ. 3.8κγ
 Χρονικό διάγραμμα των bit ενός χρονικού on delay.

Στο ηλεκτρικό κύκλωμα του σχήματος 3.8κδ, όταν πιεστεί ο διακόπτης *S* και για όσο χρόνο είναι πιεσμένος, ενεργοποιείται το χρονικό ρελέ off delay *K1T*, ενώ μεταγεται ο διακόπτης *K1T* από την θέση 15-16 στην θέση 15-18. Ταυτόχρονα ενεργοποιείται το ρελέ *K1A*, το οποίο ανοίγει τον NC διακόπτη *K1A*, οπότε δεν μπορεί να τροφοδοτηθεί το φορτίο από το ρελέ *K1M*. Όταν ο διακόπτης *S* ανοίξει ξανά, το off delay ρελέ *K1T* δεν απενεργοποιείται, αλλά ξεκινά η μέτρηση του χρόνου μέχρι την απενεργοποίησή του, ανάλογα με την ρύθμιση του χρόνου που έχει γίνει στο ρελέ. Ταυτόχρονα λόγω απενεργοποίησης του ρελέ *K1A* επανέρχεται στην NC θέση ο διακόπτης *K1A* και κυκλοφορεί ρεύμα στο ρελέ *K1M* τροφοδοτώντας το φορτίο. Όταν συμπληρωθεί ο χρόνος στον οποίο έχει ρυθμιστεί το ρελέ *K1T*, απενεργοποιείται και επιστρέφει στην θέση 15-16 ο διακόπτης *K1T* σταματώντας την λειτουργία του φορτίου.



Σχ. 3.8κδ
 Ηλεκτρικό κύκλωμα
 χρονοκαθυστερήσεως με ρελέ off delay.

Στο σχήμα 3.8κε παρουσιάζεται το παραπάνω κύκλωμα σε Ladder. Όταν κλείσει ο NO διακόπτης *I1*, ο οποίος αντιστοιχεί στον διακόπτη *S* του κυκλώματος του σχήματος 3.8κδ, ενεργοποιείται το χρονικό off delay *TOFF1*. Το χρονικό έχει τρεις βοηθητικές εξόδους: το **enable bit (EN)**, το **done bit (DN)** και το **timing bit (TT)**. Το *EN bit* γίνεται 1 όταν ενεργοποιηθεί η είσοδος και επανέρχεται σε 0 όταν η είσοδος απενεργοποιηθεί. Το *DN bit* γίνεται 1 όταν ενεργοποιηθεί η είσοδος και επανέρχεται στο 0 όταν θα έχει απενεργοποιηθεί η είσοδος και θα έχει συμπληρωθεί και ο χρόνος καθυστέρησης off delay. Το *TT bit* γίνεται 1 μόλις η είσοδος στο χρονικό απενεργοποιείται και παραμένει 1 μέχρι να συμπληρωθεί ο χρόνος της καθυστέρησης off delay (σχ. 3.8κστ).

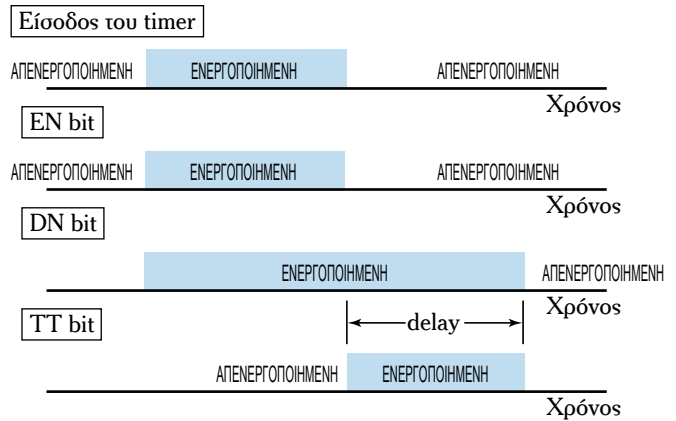


Σχ. 3.8κε
Πρόγραμμα Ladder για το κύκλωμα του σχήματος 3.8κδ.

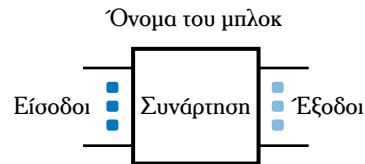
Στο πρόγραμμα Ladder του σχήματος 3.8κε, όταν παύσει η ενεργοποίηση της εισόδου του χρονικού off delay *TOFF1*, γίνεται 1 το *TT* bit μέχρι να παρέλθει ο PRESET χρόνος των 100 s, οπότε το *DN* bit και το *TT* bit του χρονικού γίνονται 0. Κατά την διάρκεια που το *TT* bit είναι 1, κλείνει ο *NO* διακόπτης *TOFF1:TT* στο δεύτερο σκαλί της Ladder τροφοδοτώντας με ρεύμα το φορτίο στην έξοδο *Q1*.

3.8.2 Γλώσσα λογικών γραφικών.

Η γλώσσα **λογικών γραφικών** (Functional Block Diagram – FBD) είναι μία γλώσσα που καλύπτεται από το πρότυπο IEC 1131-3 και περιγράφει την σχέση μεταξύ μεταβλητών εισόδων και μεταβλητών εξόδων με γραφικό τρόπο. Στην FBD παριστάνεται η ροή δεδομένων από τις εισόδους προς τις εξόδους με την χρήση **λειτουργικών μπλοκ** (function blocks). Τα λειτουργικά μπλοκ είναι παραλληλόγραμμα κουτιά (σχ. 3.8κζ), τα οποία στα αριστερά τους έχουν τις εισόδους τους και στα δεξιά τους τις εξόδους τους. Μέσα στο παραλληλόγραμμο κουτί ή πάνω από αυτό υπάρχει το όνομα ή ένα σύμβολο



Σχ. 3.8κστ
Χρονικό διάγραμμα των bit ενός χρονικού off delay.



Σχ. 3.8κζ
Λειτουργικό μπλοκ συναρτήσεως.

της συναρτήσεως που υλοποιείται από το μπλοκ. Η συνάρτηση αυτή μπορεί να είναι μία από τις λογικές συναρτήσεις που παρουσιάστηκαν στο κεφάλαιο 1, μία συνάρτηση χρονικού (timer), μία συνάρτηση απαριθμητή (counter) ή μία συνάρτηση που ορίζεται από τον χρήστη (π.χ. μία συνάρτηση η οποία εξάγει τον μέσο όρο των εισόδων).

Τα βασικά σύμβολα της γλώσσας FBD παρουσιάζονται στον πίνακα 3.8.2.

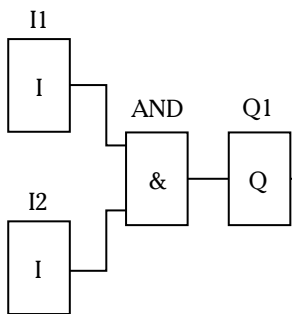
Πίνακας 3.8.2
Βασικά σύμβολα γλώσσας FBD.

Σύμβολο	Λειτουργία	Σύμβολο	Λειτουργία	Σύμβολο	Λειτουργία
	Είσοδος		Πύλη NAND		Ρολόι
	Έξοδος		Πύλη XOR		Εβδομαδιαίος μετρητής

(συνεχίζεται)

Σύμβολο	Λειτουργία	Σύμβολο	Λειτουργία	Σύμβολο	Λειτουργία
	Πύλη NOT		RS flip-flop		Γεννήτρια παλμών
	Πύλη OR		On Delay Timer		Απαριθμητής προς τα πάνω και προς τα κάτω
	Πύλη AND		Off Delay Timer		
	Πύλη NOR		Retentive On Timer (συγκρατήσεως)		

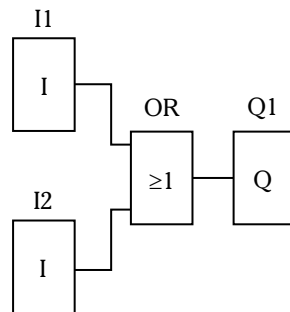
Στο σχήμα 3.8κπ παρουσιάζεται το πρόγραμμα σε γλώσσα FBD, προκειμένου να πραγματοποιηθεί το κύκλωμα του σχήματος 3.8ε(α) με έναν PLC. Τα ονόματα των εισόδων και της εξόδου στο πρόγραμμα FBD αναφέρονται στις εισόδους του PLC, στις οποίες συνδέονται οι διακόπτες S1 και S2 και στην έξοδο στην οποία συνδέεται το φορτίο. Η σύνδεση σε σειρά των διακοπών προγραμματίζεται με την πύλη AND.



Σχ. 3.8κπ
 Προγραμματισμός σε γλώσσα FBD του κυκλώματος του σχήματος 3.8ε(α).

Στο σχήμα 3.3κθ βλέπουμε το πρόγραμμα FBD για το κύκλωμα των δύο παραλλήλων διακοπών του σχήματος 3.8ζ(α). Αυτήν τη φορά χρησιμοποιείται η πύλη OR.

Για το κύκλωμα του σχήματος 3.8θ(α) θα χρησιμοποιηθεί η πύλη NOT, η οποία αντιστρέφει την λογική του διακόπτη εισόδου. Το πρόγραμμα εμφανίζεται στο σχήμα 3.8λ.

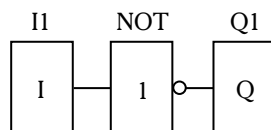


Σχ. 3.8κθ
 Προγραμματισμός σε γλώσσα FBD του κυκλώματος του σχήματος 3.8ζ(α).

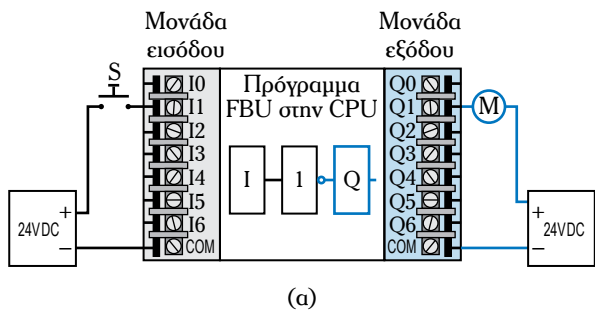
Όπως και με το αντίστοιχο πρόγραμμα Ladder, για το κύκλωμα του σχήματος 3.8θ(α), στην είσοδο I1 του PLC συνδέεται ένα κομβίο S NO, έτσι ώστε όταν είναι ανοικτό να υπάρχει ηλεκτρική τροφοδοσία στο φορτίο [σχ. 3.8λα(α)] και αντίστροφα [σχ. 3.8λα(β)].

Το πρόγραμμα λογικών γραφικών FBD του σχήματος 3.8λβ είναι για τον προγραμματισμό του PLC του σχήματος 3.8ιστ.

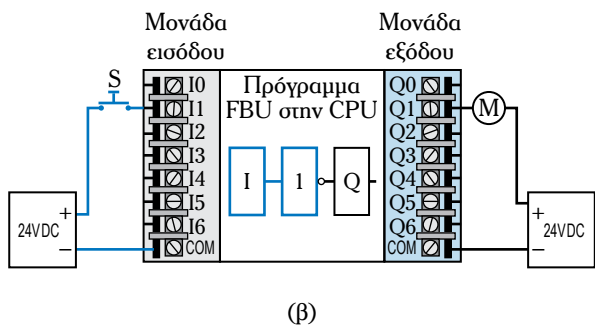
Το ίδιο αποτέλεσμα με το παραπάνω πρόγραμμα θα είχε η χρήση της εντολής RS flip-flop της γλώσσας FBD (σχ. 3.8λγ).



Σχ. 3.8λ
 Προγραμματισμός σε γλώσσα FBD του κυκλώματος του σχήματος 3.8θ(α).



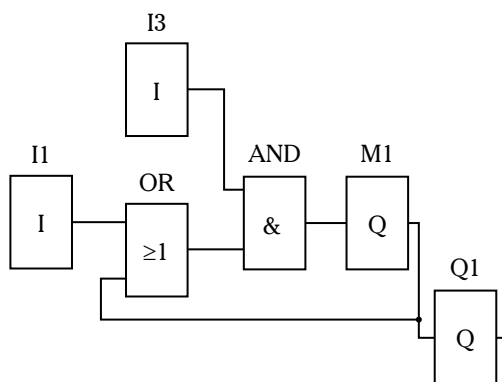
(α)



(β)

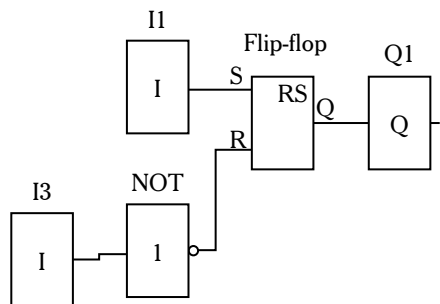
Σχ. 3.8λα

Αντιστροφή της λειτουργίας του διακόπτη εισόδου μέσω του προγράμματος FBD.



Σχ. 3.8λβ

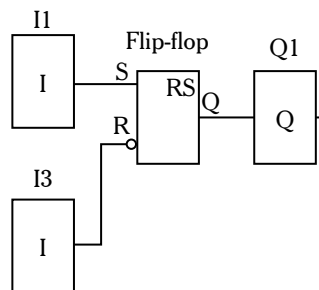
Πρόγραμμα σε FBD για το PLC του σχήματος 3.8ιστ.



Σχ. 3.8λγ

Πρόγραμμα σε FBD για το PLC του σχήματος 3.8ιστ με τη χρήση RS flip-flop.

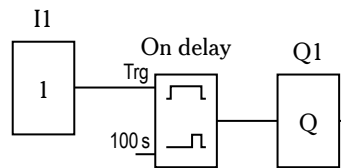
Στο παραπάνω πρόγραμμα η είσοδος *I3* αντιστρέφεται μέσω της εντολής *NOT*. Αντί της χρήσεως του μπλοκ της *NOT* θα μπορούσε να παρουσιαστεί η αντιστροφή με έναν μικρό κύκλο στην είσοδο του *RESET* (σχ. 3.8λδ). Όπως ακριβώς δηλαδή ο μικρός κύκλος στην έξοδο μίας πύλης αντιστρέφει την λογική της πύλης (π.χ. *NOT*, *NAND*, *NOR*), έτσι και όταν τοποθετείται στην είσοδο αντιστρέφει την λογική της συγκεκριμένης εισόδου.



Σχ. 3.8λδ

Το πρόγραμμα του σχήματος 3.8λγ με διαφορετικό τρόπο αναπαράστασης της πύλης *NOT*.

Στο σχήμα 3.8κβ είδαμε το παράδειγμα της χρήσεως ενός χρονικού on delay στην Ladder. Στο σχήμα 3.8λε παρουσιάζεται το ίδιο πρόγραμμα στην γλώσσα λογικών γραφικών FBD.

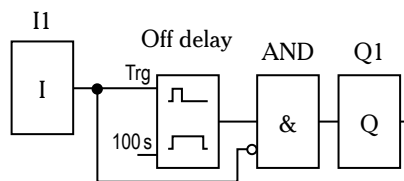


Σχ. 3.8λε

Πρόγραμμα σε FBD ενεργοποίησης της εξόδου μέσω χρονικού on delay.

Στο παραπάνω πρόγραμμα η είσοδος *I1* ενεργοποιεί την είσοδο *trigger* (σκανδάλη) του χρονικού on delay. Μετά την παρέλευση χρόνου 100s που είναι ο χρόνος που έχει τεθεί, και εφόσον δεν έχει απενεργοποιηθεί η είσοδος, περνά σε λογικό 1 η έξοδος *Q1* και τροφοδοτείται με ηλεκτρικό ρεύμα το φορτίο.

Το αντίστοιχο πρόγραμμα σε FBD (σχ. 3.8λστ) χρησιμοποιεί την λογική του χρονικού off delay και υλοποιεί την ίδια λειτουργία όπως το πρόγραμμα Ladder του σχήματος 3.8κε. Η έξοδος ενός χρονικού off delay



Σχ. 3.8λστ

Πρόγραμμα σε FBD ενεργοποίησης της εξόδου μέσω χρονικού off delay σύμφωνα με την λογική του προγράμματος του σχήματος 3.8κε.

στην γλώσσα FBD ταυτίζεται, συνήθως, με το *DN* bit του χρονικού off delay της Ladder. Αυτό σημαίνει ότι η έξοδος του χρονικού off delay ενεργοποιείται αμέσως με την ενεργοποίηση της εισόδου και απενεργοποιείται όταν συμπληρωθεί το χρονικό διάστημα που έχει τεθεί σαν καθυστέρηση. Στο πρόγραμμα, όμως, του σχήματος 3.8κε η έξοδος ενεργοποιείται όταν η είσοδος του χρονικού off delay περνά από λογικό 1 σε λογικό 0 και παραμένει ενεργοποιημένη για όλο τον χρόνο που έχει τεθεί σαν καθυστέρηση (100 s για το συγκεκριμένο παράδειγμα). Έτσι στο πρόγραμμα FBD πρέπει να χρησιμοποιηθεί μία πύλη AND, στην οποία οι εισόδους θα είναι η έξοδος του off delay timer και η αντίστροφη λογική της εισόδου *I1*. Τότε, όπως εύκολα διαπιστώνεται, μόνο όταν η είσοδος απενεργοποιείται και εφόσον και η έξοδος του χρονικού off delay είναι 1 θα είναι ενεργοποιημένη η έξοδος. Δηλαδή, με το πρόγραμμα του σχήματος 3.8λοτ είναι σαν να χρησιμοποιούμε το *TT* bit του χρονικού off delay της γλώσσας Ladder για την ενεργοποίηση της εξόδου.

3.8.3 Γλώσσα λίστας εντολών.

Η γλώσσα **λίστας εντολών** (Statement List-STL ή Instruction List-IL) είναι μία από τις γλώσσες που καθορίζει ο IEC 1131-3. Χρησιμοποιεί πολύ απλές εντολές για τον σχηματισμό του προγράμματος και πλησιάζει αρκετά τον τρόπο συντάξεως και δομής άλλων συμβολικών γλωσσών όπως η γλώσσα assembly. Πρόκειται για την γλώσσα που βρίσκεται στο κατώτερο και πιο βασικό προγραμματιστικό επίπεδο, αφού όλες οι άλλες γλώσσες, όπως η Ladder ή η FBD, είναι γλώσσες ανώτερου επιπέδου και μπορούν να μετατραπούν στην γλώσσα λίστας εντολών. Σήμερα δεν είναι πολύ συνηθισμένη η χρήση της τουλάχιστον από τους περισσότερους προγραμματιστές ή τους χρήστες των PLC και χρησιμοποιείται κυρίως με τις φορητές συσκευές χειρός (σχ. 3.6γ). Εκτός της δυσκολίας εκμαθήσεως και χρήσεως της STL σε σύγκριση με τις γραφικές γλώσσες, είναι πιο δύσκολη και η γρήγορη ανάγνωση και κατανόηση ενός προγράμματος σε STL. Το πρόβλημα αυτό ξεπερνιέται με την δυνατότητα παραθέσεως σχολίων δίπλα από κάθε γραμμή του προγράμματος.

Κάθε εντολή της γλώσσας εντολών αποτελεί μία γραμμή του προγράμματος, ενώ μία ομάδα εντολών υλοποιεί μία λογική πύλη. Χάρην ευκολίας εκμαθήσεως της STL παρακάτω θα γίνεται άμεση σύγκριση των προγραμμάτων με την γλώσσα FBD που είδαμε παραπάνω και χρησιμοποιεί για την εισαγωγή των εντολών σχέδια με λογικές πύλες.

Κάθε γραμμή εντολής της STL αποτελείται από δύο τμήματα (σχ. 3.8λζ). Το αριστερό τμήμα καθορίζει την εντολή που χρησιμοποιείται και το δεξί τμήμα αφορά στην παράμετρο (είσοδος, έξοδος, χρονικό, αριθμητική, βοηθητική μνήμη κ.λπ.), την οποία καλείται να διαχειριστεί η εντολή.

Εντολή	Παράμετρος	
LN	I1	Γραμμή εντολής
ON	I2	
O	I3	Ομάδα εντολών η οποία υλοποιεί μία λογική πύλη ή ενέργεια
=N	Q1	

Σχ. 3.8λζ

Μορφή της γλώσσας λίστας εντολών.

Οι βασικές εντολές της γλώσσας λίστας εντολών είναι:

1) **L (Load).**

Η εντολή *L* διαβάζει την λογική κατάσταση μίας εισόδου, εξόδου, χρονικού, βοηθητικής μνήμης και την αποθηκεύει σε έναν καταχωρητή. Μπορεί, συνεπώς να πάρει την μορφή *L I1*, *L Q1*, *L T1*, *L M1* κ.λπ.. Όταν συνοδεύεται από το γράμμα «*N*», το οποίο ισοδυναμεί με την εισαγωγή μίας πύλης *NOT*, διαβάζει και αποθηκεύει την αντίστροφη λογική κατάσταση της παραμέτρου (π.χ. *LN I1*).

2) **= (σύμβολο της ισότητας).**

Η παρούσα εντολή χρησιμοποιείται όταν αναφερόμαστε σε εξόδους και βοηθητικές μνήμες. Με αυτήν το αποτέλεσμα που προκύπτει μετά από μία λογική πράξη ή ενέργεια μεταφέρεται από τον καταχωρητή όπου είναι αποθηκευμένο το αποτέλεσμα στην αντίστοιχη έξοδο που περιγράφει η παράμετρος στα δεξιά της εντολής (π.χ. = *Q1*). Όταν η εντολή = συνοδεύεται από το γράμμα *N* στα δεξιά της (= *N*) πραγματοποιείται αντιστροφή της λογικής εξόδου της αντίστοιχης πύλης. Ισοδυναμεί, δηλαδή, με την σύνδεση μίας πύλης *NOT* στην έξοδο.

3) **A (AND).**

Η εντολή αυτή εκτελεί την λογική πράξη *AND*. Όπως και η εντολή *L* όταν ακολουθείται από το γράμμα *N* (*AN*) αντιστρέφει την λογική της εισόδου στην οποία αναφέρεται η παράμετρος στα δεξιά της (π.χ. *AN I3*).

4) **O (OR).**

Η συγκεκριμένη εντολή αντιστοιχεί στην λογική

πύλη *OR*. Και αυτή μπορεί να δεχτεί την άρνηση *N*, οπότε αντιστρέφεται η λογική της παραμέτρου στα δεξιά της εντολής (π.χ. *ON I2*).

5) Κλήση χρονικού καθυστερήσεως ενεργοποίησης.

$$\left(\begin{array}{l} L \text{ } KT \text{ } ttt \\ SD \text{ } T1 \end{array} \right).$$

Οι δύο αυτές σειρές καλούν ένα χρονικό on delay. Στην πρώτη σειρά η εντολή φορτώνει στο χρονικό τον χρόνο του delay με την παράμετρο *ttt*, που αντιστοιχεί στον χρόνο σε δευτερόλεπτα (συνήθως). Η δεύτερη σειρά ενεργοποιεί το χρονικό on delay με το όνομα *T1*. Η έξοδος του χρονικού on delay αντιστοιχεί στο *DN* bit του προγράμματος του χρονικού on delay στην Ladder (σχ. 3.8κγ).

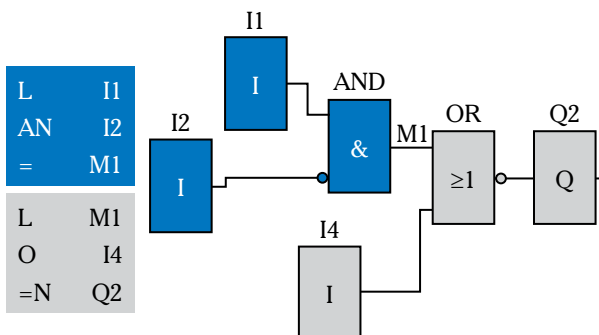
6) Κλήση χρονικού καθυστερήσεως απενεργοποίησης.

$$\left(\begin{array}{l} L \text{ } KT \text{ } ttt \\ SF \text{ } T1 \end{array} \right).$$

Οι δύο αυτές σειρές καλούν ένα χρονικό off delay. Στην πρώτη σειρά η εντολή φορτώνει στο χρονικό τον χρόνο του delay με την παράμετρο *ttt*, που αντιστοιχεί στον χρόνο σε δευτερόλεπτα (συνήθως). Η δεύτερη σειρά ενεργοποιεί το χρονικό off delay με το όνομα *T1*. Η έξοδος του χρονικού off delay (όπως και στο χρονικό on delay) αντιστοιχεί στο *DN* bit του προγράμματος του χρονικού off delay στην Ladder (σχ. 3.8κστ).

Στην γλώσσα STL η εντολή *N (NOT)* δεν υπάρχει αυτούσια. Χρησιμοποιείται πάντοτε μαζί με κάποια από τις άλλες εντολές για να αντιστρέψει την λογική των παραμέτρων.

Στο σχήμα 3.8λν παρουσιάζεται ένα μικρό πρόγραμμα σε STL για την επίδειξη κάποιων από τις εντολές που είδαμε μέχρι τώρα. Δίπλα στο πρόγραμ-



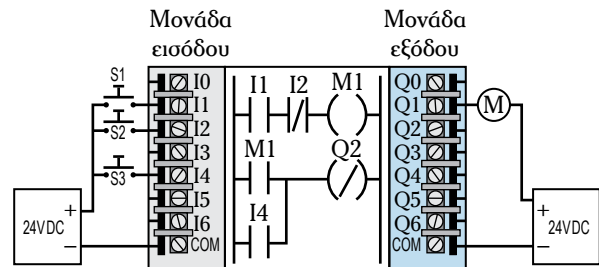
Σχ. 3.8λν

Παράδειγμα προγραμματισμού σε STL και σύγκριση με πρόγραμμα σε FBD.

μα δίνεται με τα αντίστοιχα χρώματα το σχέδιο σε FBD για την καλύτερη κατανόηση των εντολών της γλώσσας STL.

Στην πρώτη γραμμή «φορτώνεται» στην μνήμη του PLC η είσοδος *I1*. Η δεύτερη γραμμή εκτελεί την λογική πράξη *AND* μεταξύ της εισόδου *I1* και της εισόδου *I2*, έχοντας πρώτα αντιστρέψει την λογική της εισόδου *I2*. Το αποτέλεσμα της προηγούμενης λογικής πράξης αποθηκεύεται στην βοηθητική μνήμη *M1*, στην τρίτη γραμμή του παραπάνω προγράμματος. Το περιεχόμενο της μνήμης *M1*, στην τέταρτη γραμμή, «φορτώνεται» για χρήση στην επόμενη λογική πράξη, η οποία είναι η πράξη *OR* με την είσοδο *I4* (πέμπτη γραμμή). Το αποτέλεσμα, αφού αντιστραφεί στην έκτη γραμμή, ενεργοποιεί την έξοδο *Q2*.

Προκειμένου να γίνει άμεση σύγκριση των δύο παραπάνω προγραμμάτων με το πρόγραμμα σε γλώσσα Ladder, στο σχήμα 3.8λθ, παρατίθεται το πρόγραμμα σε γλώσσα Ladder μαζί με τις συνδέσεις στις εισόδους και εξόδους του PLC.

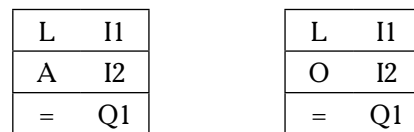


Σχ. 3.8λθ

Πρόγραμμα σε Ladder και συνδέσεις στο PLC για τα προγράμματα του σχήματος 3.8λν.

Το πρόγραμμα που υλοποιεί την λογική *AND* και το είδαμε μέχρι τώρα σε μορφή Ladder [σχ. 3.8ε(β)] και FBD (σχ. 3.8κν), στην γλώσσα λίστας εντολών STL παίρνει την μορφή του σχήματος 3.8μ(α), ενώ το αντίστοιχο πρόγραμμα για την λογική *OR* των προγραμμάτων των σχημάτων 3.8ζ και 3.8κθ δίνεται στο σχήμα 3.8μ(β).

Μία ιδιαίτερη περίπτωση εντολής είναι η **αποκλειστική OR**. Όπως είδαμε στο κεφάλαιο 1, η λο-



(α)

Σχ. 3.8μ

(β)

Πρόγραμμα σε STL (α) της λογικής *AND*, και (β) της λογικής *OR*.

γική πύλη της αποκλειστικής *OR* ονομάζεται *XOR*. Στην γλώσσα *STL* η εντολή αυτή έχει την ονομασία **XO** (π.χ. XO I2). Η λογική πράξη της αποκλειστικής *OR* είναι μία σύνθετη πράξη, η οποία μπορεί να συντεθεί από τις πύλες *AND*, *OR* και *NOT*. Στο σχήμα 3.8μα(α) παρουσιάζεται ένα πρόγραμμα *STL* με την χρήση της πύλης *XOR* και στο σχήμα 3.8μα(β) φαίνεται το ίδιο πρόγραμμα σε γλώσσα *FBD*. Στο σχήμα 3.8μα(γ) το πρόγραμμα *STL* εκτελεί την ίδια λειτουργία συνθέτοντας την εντολή *XOR* με τις εντολές που υλοποιούν τις πύλες *AND*, *OR* και *NOT*. Το αντίστοιχο πρόγραμμα σε γλώσσα *FBD* φαίνεται στο σχήμα 3.8μα(δ). Τέλος στο σχήμα 3.8μα(ε) παρουσιάζεται η υλοποίηση της πύλης *XOR* σε γλώσσα *Ladder*. Υπενθυμίζεται (βλ. παράγρ. 1.4.9) ότι η συνάρτηση *XOR* μεταξύ δύο μεταβλητών *A* και *B*

υλοποιείται με τις απλές λογικές πράξεις *AND* (\cdot), *OR* ($+$) και *NOT* ως εξής:

$$XOR = A \cdot \bar{B} + \bar{A} \cdot B,$$

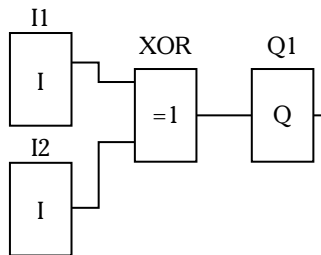
όπου η παύλα πάνω από την μεταβλητή δηλώνει την αντιστροφή της.

Το πρόγραμμα των σχημάτων 3.8ιε(β) και 3.8λβ σε γλώσσα *STL* γίνεται όπως αυτό του σχήματος 3.8μβ:

Το πρόγραμμα σε *STL* του σχήματος 3.8μγ παρουσιάζει την χρήση του *RS flip-flop* σε γλώσσα εντολών. Πρόκειται για το πρόγραμμα αυτοσυγκρατίσεως με *RS flip-flop* που είδαμε και στις γλώσσες *Ladder* (σχ. 3.8ιν) και *FBD* (σχ. 3.8λγ και 3.8λδ).

L	I1
XO	I2
=	Q1

(α)



(β)

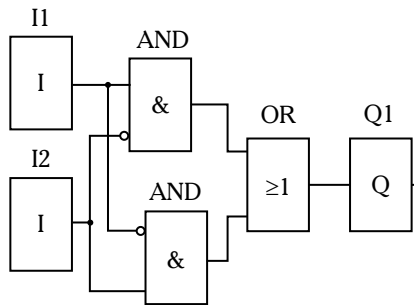
L	I1
O	M1
A	I3
=	M1
L	M1
=	Q1

Σχ. 3.8μβ

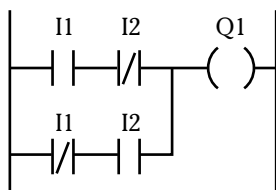
Πρόγραμμα σε *STL* των προγραμμάτων των σχημάτων 3.8ιε(β) και 3.8λβ.

L	I1
AN	I2
=	M1
LN	I1
A	I2
=	M2
L	M1
O	M2
=	Q1

(γ)



(δ)



(ε)

Σχ. 3.8μα

Διάφορα προγράμματα σε *STL*, *FBD* και *Ladder* που υλοποιούν την λογική *XOR*.

Η πρώτη γραμμή στο παραπάνω πρόγραμμα «φορτώνει» την είσοδο *I1* (*NO* – κανονικά ανοικτός διακόπτης *START*). Η δεύτερη γραμμή ενεργοποιεί την έξοδο (*SET*) όταν στην προηγούμενη γραμμή η είσοδος ενεργοποιηθεί. Στην τρίτη γραμμή δηλώνεται η μεταβλητή που θα ενεργοποιήσει το *RESET* και θα απενεργοποιήσει την έξοδο *Q1*. Και εδώ θα πρέπει να επισημανθεί η αποθήκευση της εισόδου που επηρεάζει το *RESET*, με την αντίστροφη τιμή από αυτήν που έχει (εντολή *LN*). Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, αυτό συμβαίνει λόγω της συνήθους συνδέσεως διακόπτη *STOP*, ο οποίος είναι κανονικά κλειστός, για την διακοπή της αυτοσυγκρατίσεως (σχ. 3.8ιθ).

Στο σχήμα 3.8μδ(α) παρουσιάζεται το πρόγραμμα ενεργοποιήσεως της εξόδου με την χρήση ενός χρονικού *on delay*. Στην πρώτη γραμμή φορτώνεται η κατάσταση της εισόδου *I1* και αποθηκεύεται στην βοηθητική μνήμη *M1*. Στην συνέχεια, στην τρίτη και τέταρτη γραμμή, ορίζεται ο χρόνος καθυστέρησης σε δευτερόλεπτα και ενεργοποιείται το χρονικό *on*

L	I1
S	Q1
LN	I3
R	Q1

Σχ. 3.8μγ

Πρόγραμμα σε *STL* της αυτοσυγκρατίσεως με ένα *RS flip-flop*.

L	I1
=	M1
L	KT100
SD	T1
L	T1
=	Q1

(α)

L	I1
=	M1
L	KT100
SF	T1
L	T1
AN	I1
=	Q1

(β)

Σχ. 3.8μδ

Πρόγραμμα σε STL χρήσεως ενός χρονικού
(α) on delay και (β) off delay.

delay. Τέλος, η έξοδος του χρονικού διαβάζεται από το πρόγραμμα (πέμπτη γραμμή) και ενεργοποιεί το φορτίο που είναι συνδεδεμένο στην έξοδο $Q1$.

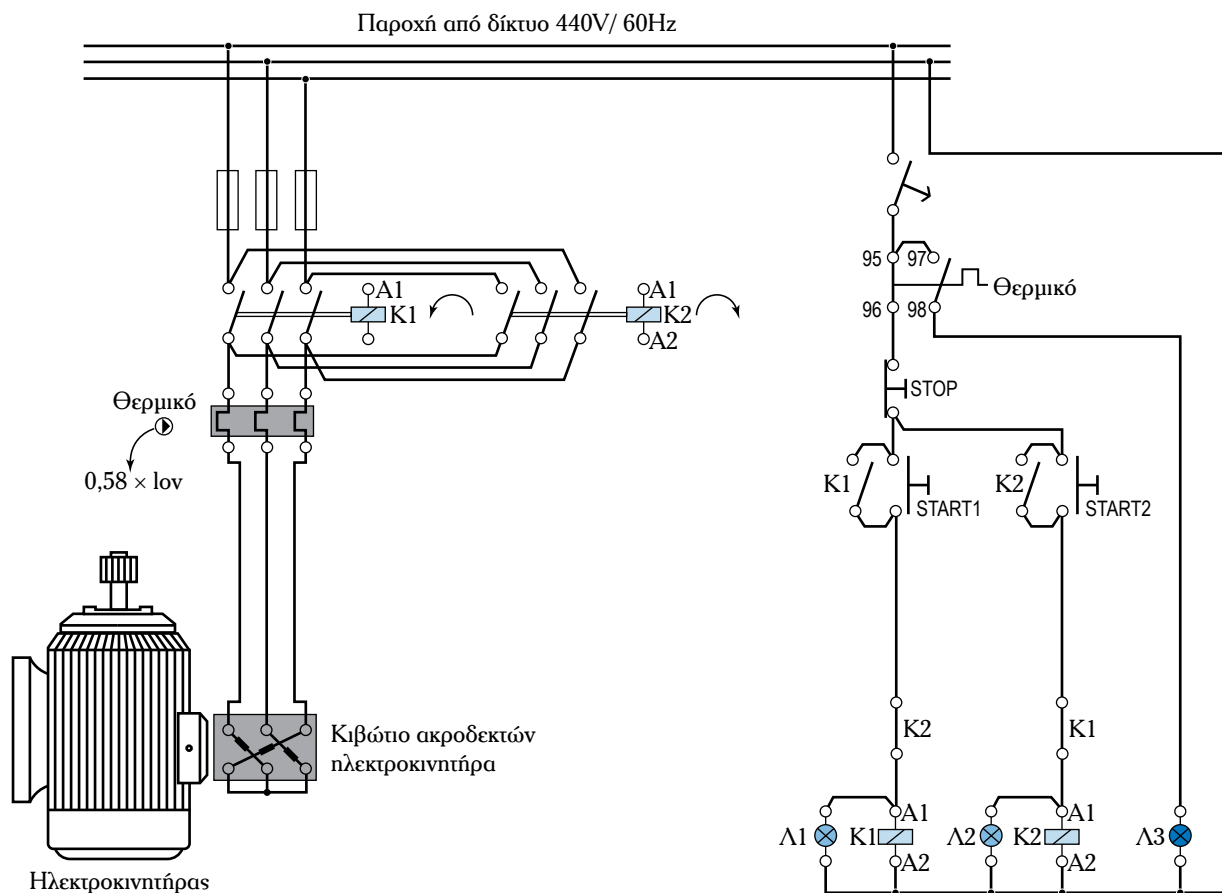
Στο σχήμα 3.8μδ(β) παρουσιάζεται το πρόγραμμα ενεργοποίησης της εξόδου με την χρήση ενός χρονικού off delay. Στην τρίτη και τέταρτη γραμμή ορίζεται ο χρόνος του delay και ενεργοποιείται το χρονικό off delay $T1$. Όπως και στο πρόγραμμα FBD του σχήματος 3.8λστ χρησιμοποιείται μία πύλη AND , η οποία

δέχεται ως εισόδους της την έξοδο του χρονικού off delay και την αντίστροφη λογική της εισόδου $I1$ [5^η και 6^η γραμμή του προγράμματος του σχ. 3.8μδ(β)]. Ο λόγος είναι ότι η έξοδος του χρονικού γίνεται 1 με την ενεργοποίηση της εισόδου και απενεργοποιείται αφού θα έχει συμπληρωθεί ο χρόνος του delay μετά την απενεργοποίηση της εισόδου. Στο συγκεκριμένο πρόγραμμα όμως, όπως είδαμε και στην υλοποίησή του από τα προγράμματα Ladder (σχ. 3.8κε) και FBD (σχ. 3.8λστ), ενδιαφερόμαστε για ενεργοποίηση της εξόδου μόνο κατά το διάστημα του delay. Αυτό επιτυγχάνεται με την χρήση της εντολής AND , η οποία ενεργοποιεί την έξοδο $Q1$ όταν η έξοδος του χρονικού είναι σε λογικό 1 και η είσοδος $I1$ σε λογικό 0 .

3.9 Παραδείγματα χρήσεως και προγραμματισμού των PLC.

3.9.1 Αλλαγή φοράς περιστροφής σε τριφασικό ασύγχρονο κινητήρα.

Στο σχήμα 3.9α παρουσιάζεται το ηλεκτρολογικό

**Σχ. 3.9α**

Ηλεκτρολογικό σχέδιο αλλαγής φοράς περιστροφής τριφασικού ασύγχρονου κινητήρα.

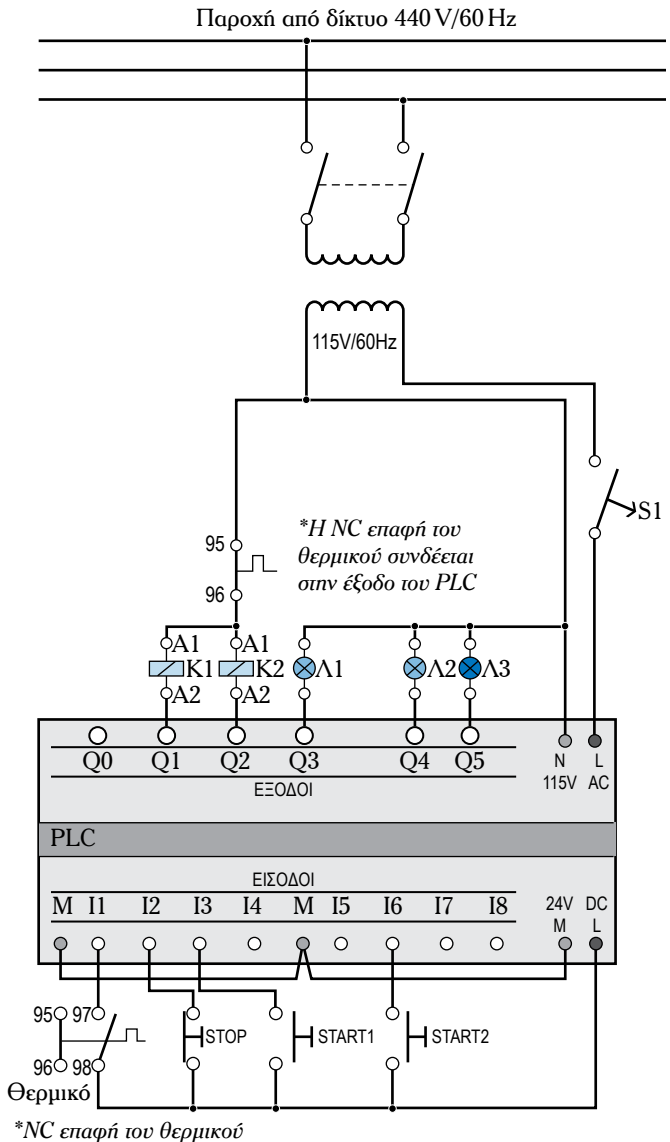
κό σχέδιο αλλαγής φοράς περιστροφής τριφασικού ασύγχρονου ηλεκτροκινητήρα. Το παραπάνω κύκλωμα αποτελείται από το κύκλωμα του ηλεκτροκινητήρα και από το κύκλωμα ελέγχου της αλλαγής φοράς περιστροφής. Όταν πιεστεί το κομβίο START1 του κυκλώματος ελέγχου, ενεργοποιείται το ρελέ *K1*, το οποίο κλείνει τον *NO* διακόπτη *K1* που είναι παράλληλα συνδεδεμένος στο κομβίο και πραγματοποιεί την αυτοσυγκράτηση του ρελέ όταν το κομβίο START1 επανέλθει στην αρχική του θέση. Ταυτόχρονα, κλείνει ο τριφασικός διακόπτης *K1*, ο οποίος συνδέει τον ηλεκτροκινητήρα στο δίκτυο, ενώ ανοίγει ο *NC* διακόπτης *K1*, που είναι συνδεδεμένος σε σειρά με το κομβίο START2, για να μην ενεργοποιηθεί το ρελέ *K2*. Η λυχνία *Λ1* είναι ενδεικτική της συγκεκριμένης φοράς περιστροφής. Με πίεση του κομβίου START2 κλείνει ο *NO* διακόπτης *K2*, που κάνει αυτοσυγκράτηση του ρελέ *K2* και ανοίγει ο *NC* διακόπτης *K2*, που είναι σε σειρά με το κομβίο START1 διακόπτοντας την τροφοδοσία του ρελέ *K1*. Η ενέργεια αυτή επαναφέρει τον *NC* διακόπτη *K1*, ο οποίος είναι συνδεδεμένος σε σειρά με το κομβίο START2 στην αρχική του θέση (κλειστή), κάτι το οποίο επιτρέπει την τροφοδοσία του ρελέ *K2*, το κλείσιμο του τριφασικού διακόπτη *K2* και την αλλαγή φοράς περιστροφής του ηλεκτροκινητήρα. Η λυχνία *Λ2* είναι ενδεικτική της νέας φοράς περιστροφής.

Ενεργοποίηση του θερμικού προκαλεί άνοιγμα της επαφής 95-96 του θερμικού διακόπτοντας την λειτουργία του ηλεκτροκινητήρα και άναμμα της λυχνίας *Λ3*. Πίεση του κομβίου STOP διακόπτει την λειτουργία του ηλεκτροκινητήρα.

Ο έλεγχος του παραπάνω αυτοματισμού μπορεί να γίνει μέσω ενός PLC, ο οποίος θα αντικαταστήσει το κύκλωμα ελέγχου. Η συνδεσμολογία των εισόδων και εξόδων παρουσιάζεται στο σχήμα 3.9β.

Τα δύο κομβία εκκίνησης (START1, START2) και παύσεως (STOP) της λειτουργίας του ηλεκτροκινητήρα συνδέονται στις εισόδους *I3*, *I6* και *I2* αντίστοιχα, ενώ στην είσοδο *I1* συνδέεται η *NO* επαφή του θερμικού. Το τελευταίο εξασφαλίζει την ενεργοποίηση του διακόπτη *I1* όταν υπάρξει υπερφόρτιση του κινητήρα από υπερβολικό ρεύμα ή από απώλεια μίας φάσεως.

Τα ρελέ ελέγχου της τροφοδοσίας του ηλεκτροκινητήρα για τις δύο φορές περιστροφής συνδέονται στις εξόδους *Q1* και *Q2* του PLC, ενώ οι λυχνίες ενδείξεως της λειτουργίας του ηλεκτροκινητήρα (*Λ1* και *Λ2*) σε κάθε φορά περιστροφής ή της παύσεως



**NC* επαφή του θερμικού

Σχ. 3.9β

Συνδεσμολογία του PLC

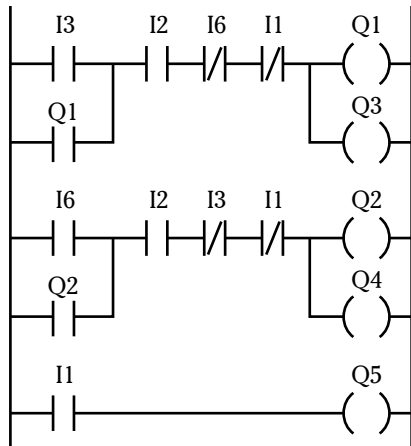
για την αλλαγή φοράς περιστροφής ηλεκτροκινητήρα.

του ηλεκτροκινητήρα λόγω ενεργοποίησης του θερμικού (*Λ3*) συνδέονται στις εξόδους *Q3*, *Q4* και *Q5* αντίστοιχα.

Για την τροφοδοσία του PLC χρησιμοποιείται, εάν χρειάζεται, μετασχηματιστής, έτσι ώστε να πληρούνται οι απαιτήσεις τροφοδοσίας του ελεγκτή. Στο παρόν παράδειγμα χρησιμοποιείται μετασχηματιστής, ο οποίος υποβιβάζει την τάση τροφοδοσίας του δικτύου σε 115 V AC. Η τροφοδοσία των εισόδων (24 V DC) επιτυγχάνεται μέσω των εσωτερικών κυκλωμάτων του ελεγκτή και είναι τύπου sink input (σχ. 3.3n). Η *NC* επαφή του θερμικού συνδέεται σε σειρά με τα ρελέ ελέγχου του κινητήρα.

Στο σχήμα 3.9γ παρουσιάζεται το πρόγραμμα Ladder που εκτελεί την αλλαγή φοράς περιστροφής του ηλεκτροκινητήρα.

Όταν το NO κομβίο START1 κλείσει, ενεργοποιείται η είσοδος I3 και εφόσον δεν είναι πατημένο το STOP είναι κλειστός και ο διακόπτης I2. Ο διακόπτης I1 του προγράμματος είναι κανονικά κλειστός, εάν δεν έχει κλείσει η επαφή 97-98 του θερμικού. Επίσης ο NC διακόπτης I6 επιτρέπει την διέλευση ρεύματος προς την έξοδο Q1 εφόσον δεν είναι ενεργοποιημένος ο NO διακόπτης I6 στο δεύτερο σκαλί. Έτσι, ενεργοποιείται η έξοδος Q1 και το ρελέ K1 που είναι συνδεδεμένο σε αυτήν και άρα ο ηλεκτροκινητήρας. Επίσης ενεργοποιείται η έξοδος Q3, η οποία ανάβει την λυχνία Λ1, ενδεικτική της φοράς περιστροφής. Ταυτόχρονα γίνεται αυτοσυγκράτηση του ρελέ Q1.



Σχ. 3.9γ

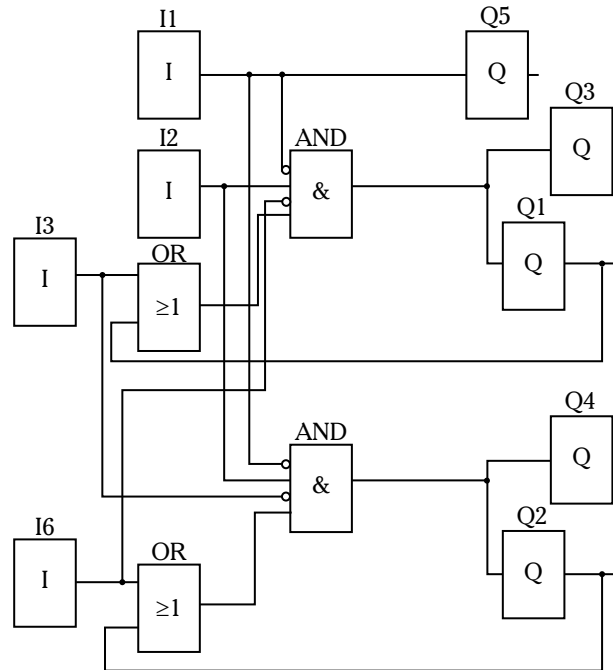
Πρόγραμμα Ladder για την αλλαγή φοράς περιστροφής ηλεκτροκινητήρα.

Εάν πατηθεί το NO κομβίο START2, ενεργοποιείται η είσοδος I6. Η ενεργοποίηση του I6 ανοίγει τον διακόπτη I6 του πρώτου σκαλιού και σταματά την λειτουργία της εξόδου Q1, άρα και του ρελέ K1. Τότε, ενεργοποιούνται οι εξοδοί Q2 και Q4, που ελέγχουν το ρελέ K2, το οποίο αναλαμβάνει να περιστρέψει αντίστροφα τον κινητήρα, και την λυχνία Λ2 που είναι ενδεικτική της νέας φοράς περιστροφής. Ο NC διακόπτης I3 είναι κλειστός, αφού το κομβίο START1 έχει επανέλθει σε ανοικτή θέση.

Με πίεση του κομβίου STOP διακόπτεται η αυτοσυγκράτηση του σκαλιού που είναι ενεργοποιημένο και σταματά ο κινητήρας. Με ενεργοποίηση του θερμικού ανοίγει ο NC διακόπτης I1 του προγράμματος

στο σκαλί που είναι ενεργοποιημένο και σταματά ο κινητήρας, ενώ στο τρίτο σκαλί κλείνει ο διακόπτης I1 και ανάβει η λυχνία Λ3, που δείχνει πρόβλημα υπερφορτώσεως.

Το αντίστοιχο πρόγραμμα σε γλώσσα FBD με την χρήση λογικών πυλών παρουσιάζεται παρακάτω στο σχήμα 3.9δ, ενώ στο σχήμα 3.9ε δίνεται το ίδιο πρόγραμμα σε γλώσσα λίστας εντολών.



Σχ. 3.9δ

Πρόγραμμα αλλαγής φοράς περιστροφής ηλεκτροκινητήρα σε γλώσσα FBD.

L	I1	=	Q3
=	Q5	L	I6
L	I3	O	Q2
O	Q1	=	M2
=	M1	LN	I1
LN	I1	A	I2
A	I2	AN	I3
AN	I6	A	M2
A	M1	=	Q2
=	Q1	L	Q2
L	Q1	=	Q4

Σχ. 3.9ε

Πρόγραμμα σε λίστα εντολών STL της αλλαγής φοράς περιστροφής ηλεκτροκινητήρα.

3.9.2 Αυτόματος διακόπτης αστέρα-τριγώνου.

Στο σχήμα 3.9στ παρουσιάζεται το ηλεκτρολογικό σχέδιο ενός **αυτόματου διακόπτη αστέρα-τριγώνου (star-delta switch)**.

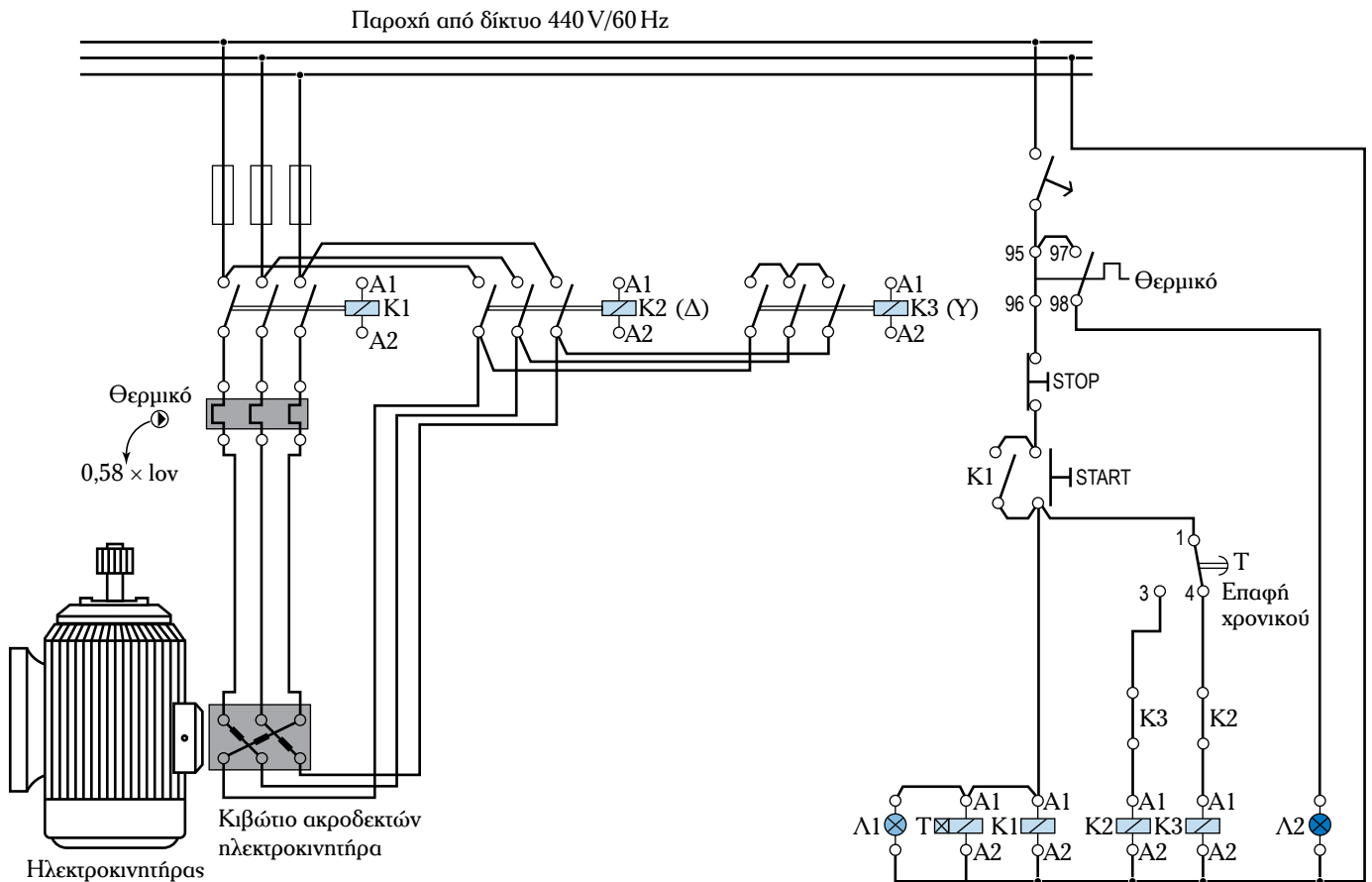
Το κύκλωμα αποτελείται από το κύκλωμα του ηλεκτροκινητήρα και από το κύκλωμα ελέγχου του αυτοματισμού αστέρα-τριγώνου. Όταν πιεστεί το κομβίο START του κυκλώματος ελέγχου, ενεργοποιούνται τα ρελέ *K1*, *K3* και το χρονικό *T*. Το ρελέ *K1* κλείνει τον διακόπτη *K1* και πραγματοποιεί την αυτοσυγκράτηση του ρελέ όταν το κομβίο START επανέλθει στην αρχική του θέση. Ταυτόχρονα, κλείνουν οι τριφασικοί διακόπτες *K1* και *K3*, οι οποίοι συνδέουν τον ηλεκτροκινητήρα στο δίκτυο σε συνδεσμολογία αστέρα (Y), ενώ το χρονικό *T* ξεκινά να μετρά τον προκαθορισμένο χρόνο πριν συμβεί μεταγωγή της επαφής του χρονικού *T* από την θέση 1-4 στην θέση 1-3. Με την συμπλήρωση του χρόνου στον οποίο ρυθμίστηκε το χρονικό, μετάγεται η επαφή του, με αποτέλεσμα την απενεργοποίηση του ρελέ *K3* και

την ενεργοποίηση του ρελέ *K2*, το οποίο κλείνει τον τριφασικό διακόπτη *K2* και συνδέει το κύκλωμα του κινητήρα σε τρίγωνο (Δ).

Ο έλεγχος του παραπάνω αυτοματισμού μπορεί να γίνει μέσω ενός PLC, ο οποίος θα αντικαταστήσει το κύκλωμα ελέγχου. Η συνδεσμολογία των εισόδων και εξόδων παρουσιάζεται στο σχήμα 3.9ζ.

Τα κομβία εκκινήσεως (START) και παύσεως (STOP) της λειτουργίας του κινητήρα συνδέονται στις εισόδους *I3* και *I2* αντίστοιχα, ενώ στην είσοδο *I1* συνδέεται η *NO* επαφή του θερμικού. Το τελευταίο εξασφαλίζει την ενεργοποίηση του διακόπτη *I1*, όταν υπάρξει υπερφόρτιση του κινητήρα από υπερβολικό ρεύμα ή από απώλεια μίας φάσεως.

Τα ρελέ ελέγχου της τροφοδοσίας και της συνδέσεως του ηλεκτροκινητήρα σε τρίγωνο ή αστέρα συνδέονται στις εξόδους του PLC *Q1*, *Q2* και *Q3* αντίστοιχα. Οι λυχνίες ενδείξεως της κανονικής λειτουργίας του ηλεκτροκινητήρα (*L1*) ή της παύσεως του κινητήρα λόγω ενεργοποίησης του θερμικού



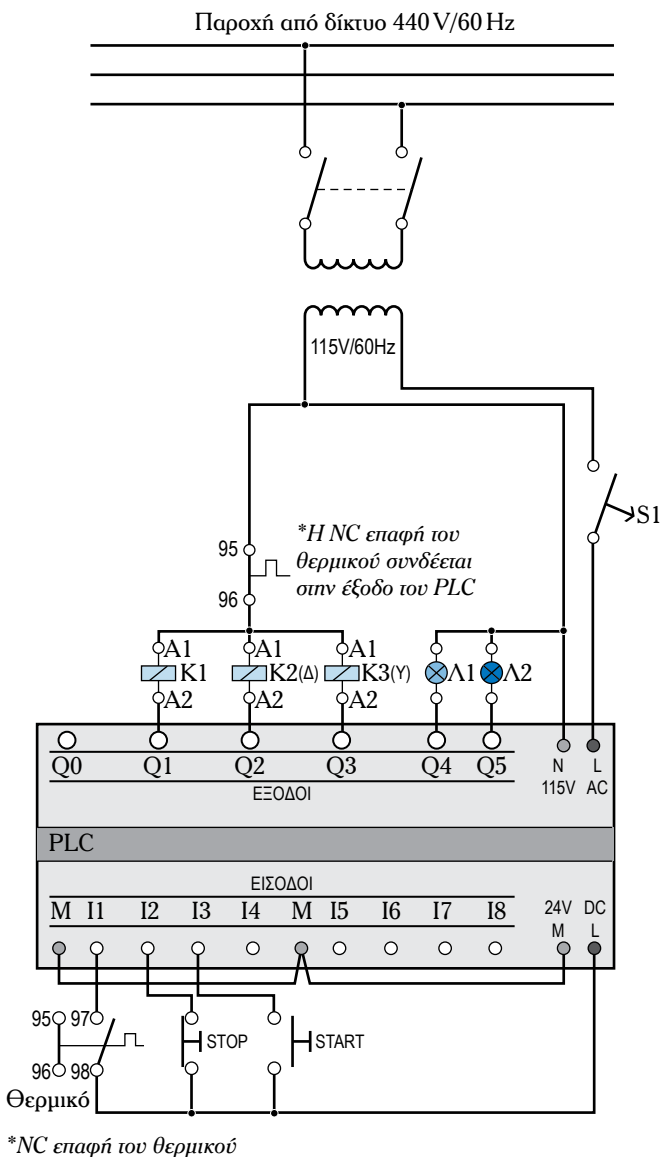
Σχ. 3.9στ

Ηλεκτρολογικό σχέδιο αυτόματου διακόπτη αστέρα-τριγώνου.

(Λ2) συνδέονται στις εξόδους Q4 και Q5 αντίστοιχα.

Για την τροφοδοσία του PLC χρησιμοποιείται, εάν χρειάζεται, μετασχηματιστής, έτσι ώστε να πληρούνται οι απαιτήσεις τροφοδοσίας του ελεγκτή. Στο παρόν παράδειγμα χρησιμοποιείται μετασχηματιστής, ο οποίος υποβιβάζει την τάση τροφοδοσίας του δικτύου σε 115 V AC. Η τροφοδοσία των εισόδων (24 V DC) επιτυγχάνεται μέσω των εσωτερικών κυκλωμάτων του ελεγκτή και είναι τύπου sink input (βλ. σخ. 3.3n). Η NC επαφή του θερμικού συνδέεται σε σειρά με τα ρελέ ελέγχου του κινητήρα.

Στο σχήμα 3.9n παρουσιάζεται το πρόγραμμα

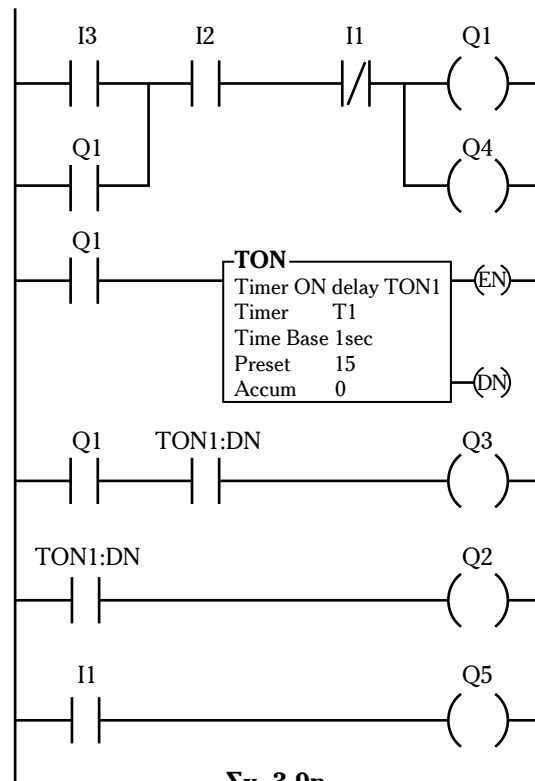


Σخ. 3.9ζ

Συνδεσμολογία του PLC για τον αυτόματο αστέρα-τριγώνου.

Ladder που εκτελεί τον αυτοματισμό του διακόπτη αστέρα-τριγώνου.

Όταν το NO κομβίο START κλείσει, ενεργοποιείται η είσοδος I3 και εφόσον δεν είναι πατημένο το STOP είναι κλειστός και ο διακόπτης I2. Ο διακόπτης I1 του προγράμματος είναι NC, εάν δεν έχει κλείσει η επαφή 97-98 του θερμικού, και επιτρέπει την διέλευση ρεύματος προς την έξοδο Q1, η οποία ενεργοποιεί το ρελέ K1, και προς την έξοδο Q4, η οποία ανάβει την λυχνία Λ1. Ταυτόχρονα γίνεται αυτοσυγκράτηση του ρελέ Q1 και κλείνουν οι διακόπτες του δεύτερου και τρίτου σκαλιού, οι οποίοι ελέγχονται από το εσωτερικό ρελέ Q1. Έτσι, στο τρίτο σκαλί ενεργοποιείται η έξοδος Q3, που συνδέει τον κινητήρα σε αστέρα και στο δεύτερο σκαλί ξεκινά η καταμέτρηση του χρόνου που πρέπει να συμπληρωθεί πριν την σύνδεση του ηλεκτροκινητήρα σε συνδεσμολογία τριγώνου. Για το συγκεκριμένο παράδειγμα έχει ρυθμιστεί ο χρόνος παραμονής σε συνδεσμολογία αστέρα να είναι 15 s. Η μη συμπλήρωση των 15 s κρατά το DN bit του χρονικού TON1 σε λογικό 0, άρα ο NC διακόπτης TON1:DN στο τρίτο σκαλί επιτρέπει την τροφοδότηση της εξόδου Q3. Όταν συμπληρωθεί ο χρόνος των 15 s, το DN bit του χρονικού γίνεται 1 και διακό-

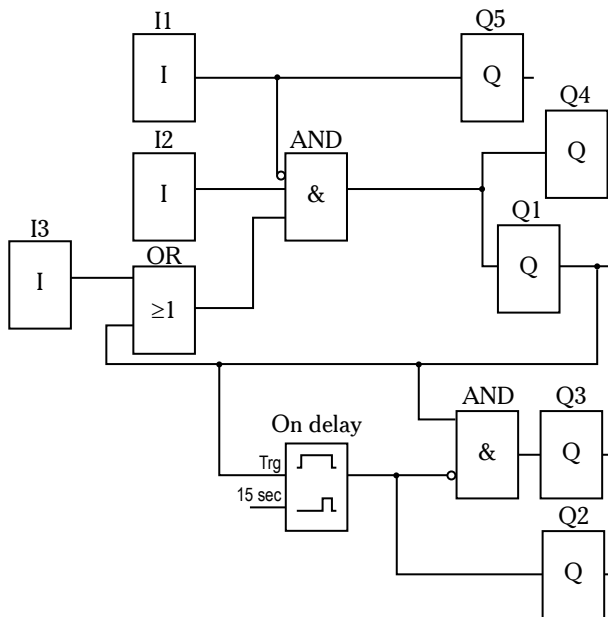


Σخ. 3.9n

Πρόγραμμα Ladder για τον διακόπτη αστέρα-τριγώνου.

πεται η τροφοδοσία της εξόδου Q3 στο τρίτο σκαλί, ενώ αντιθέτως κλείνει ο NO διακόπτης TONI:DN στο τέταρτο σκαλί και τροφοδοτεί την έξοδο Q2, που συνδέει τον κινητήρα σε συνδεσμολογία τριγώνου. Με πίεση του κομβίου STOP διακόπεται η αυτοσυγκράτηση του πρώτου σκαλιού και σταματά ο κινητήρας. Με ενεργοποίηση του θερμικού ανοίγει ο NC διακόπτης I1 του προγράμματος στο πρώτο σκαλί και σταματά ο κινητήρας, ενώ στο πέμπτο σκαλί κλείνει ο διακόπτης I1 και ανάβει η λυχνία Λ2, που δείχνει πρόβλημα υπερφορτώσεως.

Το αντίστοιχο πρόγραμμα σε γλώσσα FBD με την χρήση λογικών πυλών παρουσιάζεται στο σχήμα



Σχ. 3.90

Πρόγραμμα αντίματου διακόπτη αστέρα-τριγώνου σε γλώσσα FBD.

L	I1	L	Q1
=	Q5	=	Q4
L	I3	L	KT 15
O	Q1	SD	T1
=	M1	L	T1
LN	I1	=	Q2
A	I2	LN	T1
A	M1	A	Q1
=	Q1	=	Q3

Σχ. 3.91

Πρόγραμμα του αντίματου διακόπτη αστέρα-τριγώνου σε λίστα εντολών STL.

3.90, ενώ στο σχήμα 3.91 δίνεται το ίδιο πρόγραμμα σε γλώσσα λίστας εντολών.

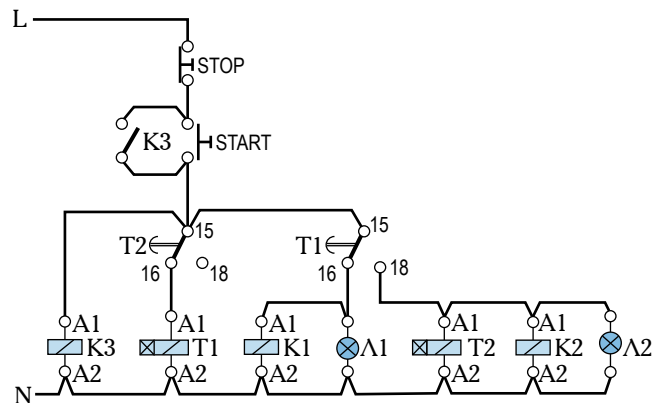
Είναι σημαντικό να παρατηρήσουμε ότι η σειρά εμφανίσεως των διαφόρων εντολών στις τρεις γλώσσες δεν είναι απαραίτητο να είναι η ίδια, αλλά μπορεί να μεταβάλλεται, προκειμένου να διευκολυνθεί η συγγραφή του προγράμματος.

3.9.3 Κυκλική λειτουργία μηχανημάτων.

Στο σχήμα 3.91α παρουσιάζεται το ηλεκτρολογικό σχέδιο του κυκλώματος ελέγχου ενός αυτοματισμού για την κυκλική λειτουργία δύο ηλεκτροκινητήρων. Το κύκλωμα αυτό έχει πολύ συχνή εφαρμογή στα δίκτυα και στα βοηθητικά μηχανήματα του πλοίου που σχετίζονται με τη λίπανση του εκκεντροφόρου και των κυλίνδρων της κύριας μηχανής, την άμεση (δίκτυο γλυκού νερού) ψύξη της κύριας μηχανής, την τροφοδοσία καυσίμου της κύριας μηχανής, τη λίπανση του πηδαλίου και γενικά όπου υπάρχουν διπλοί κινητήρες-αντλίες.

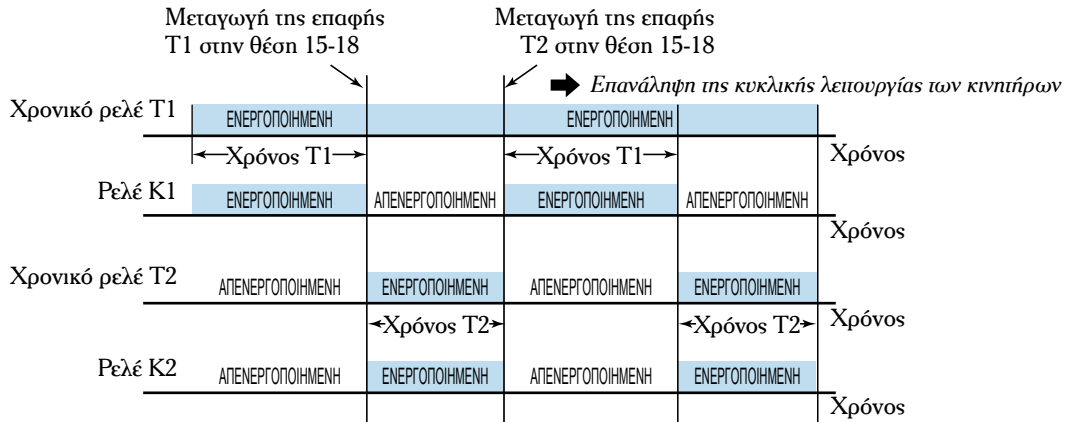
Η λειτουργία του πρώτου ηλεκτροκινητήρα ελέγχεται από το ρελέ K1 και του δεύτερου από το ρελέ K2. Το ρελέ K3 εξυπηρετεί την λειτουργία της αυτοσυγκρατήσεως στο κύκλωμα.

Η πίεση του κομβίου START ενεργοποιεί το ρελέ K3 της αυτοσυγκρατήσεως, το ρελέ K1 που εκκινεί τον πρώτο κινητήρα, την λυχνία Λ1, ενδεικτική της λειτουργίας του πρώτου ηλεκτροκινητήρα, και το χρονικό T1. Μετά την συμπλήρωση του χρόνου στον οποίο έχει ρυθμιστεί το χρονικό T1 μετατάγεται η επαφή T1 στην θέση 15-18. Η κίνηση αυτή προκαλεί απενεργοποίηση του ρελέ K1 με ταυτόχρονη ενεργοποίηση του ρελέ K2, το οποίο εκκινεί τον



Σχ. 3.91α

Ηλεκτρολογικό σχέδιο κυκλώματος κυκλικής λειτουργίας δύο ηλεκτροκινητήρων.



Σχ. 3.9ιβ

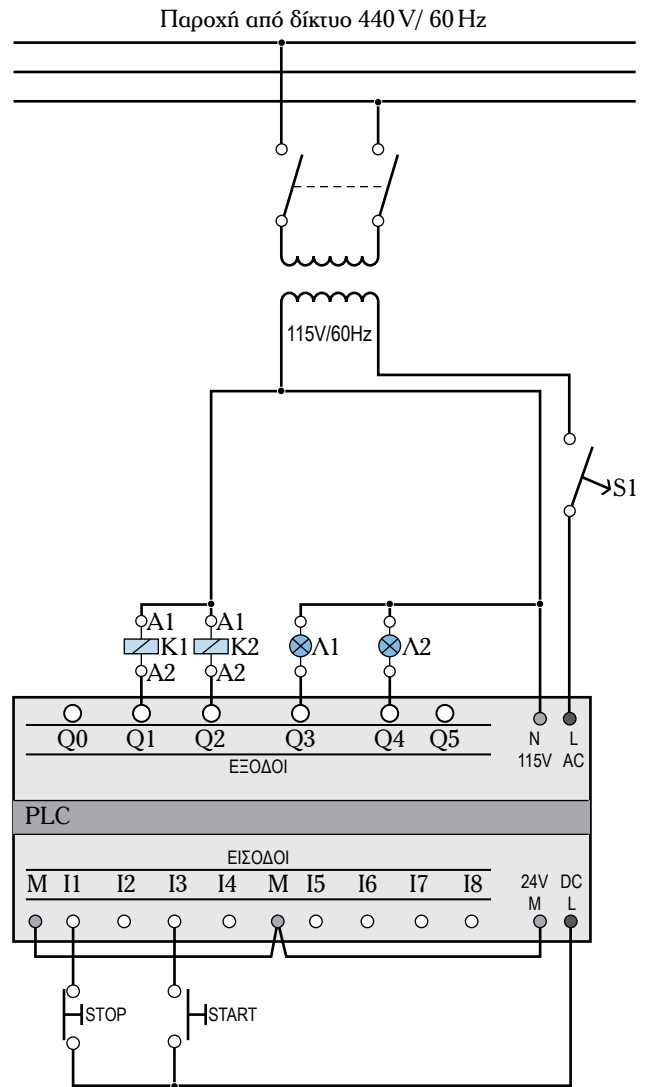
Χρονικό διάγραμμα του κυκλώματος κυκλικής λειτουργίας δύο ηλεκτροκινητήρων.

δεύτερο ηλεκτροκινητήρα. Επιπρόσθετα, όπως φαίνεται από το κύκλωμα, ανάβει η λυχνία Λ2, ενδεικτική της λειτουργίας του δεύτερου ηλεκτροκινητήρα, και ενεργοποιείται το χρονικό T2. Η συμπλήρωση του χρόνου στον οποίο έχει ρυθμιστεί το δεύτερο χρονικό, μετάγει την επαφή T2 στην θέση 15-18, γεγονός το οποίο σταματά την τροφοδότηση του ρελέ T1 και επαναφέρει την επαφή T1 στην θέση 15-16. Η επαναφορά της επαφής T1 στην αρχική της θέση προκαλεί απενεργοποίηση του ρελέ T2 και επαναφορά της επαφής T2 στην αρχική της θέση 15-16. Από το σημείο αυτό και μέχρι της πίεσεως του κομβίου STOP επαναλαμβάνεται η κυκλική λειτουργία των δύο ηλεκτροκινητήρων, αφού ενεργοποιείται ξανά το χρονικό ρελέ T1 και το ρελέ K1 του πρώτου ηλεκτροκινητήρα. Η χρονική αλληλουχία των γεγονότων εμφανίζεται στο σχήμα 3.9ιβ.

Στο σχήμα 3.9ιγ παρουσιάζεται η συνδεσμολογία των κομβίων, των ενδεικτικών λυχνιών και των ρελέ ενεργοποιήσεως των ηλεκτροκινητήρων για την υλοποίηση του αυτοματισμού μέσω ενός PLC.

Τα κομβία εκκινήσεως (START) και παύσεως (STOP) της λειτουργίας του κινητήρα συνδέονται στις εισόδους I3 και I1 αντίστοιχα. Τα ρελέ ελέγχου της τροφοδοσίας των ηλεκτροκινητήρων συνδέονται στις εξόδους του PLC Q1 και Q2 αντίστοιχα. Οι λυχνίες ενδείξεως (Λ1 και Λ2) του ηλεκτροκινητήρα, ο οποίος είναι ενεργοποιημένος, συνδέονται στις εξόδους Q3 και Q4 αντίστοιχα.

Για την τροφοδοσία του PLC χρησιμοποιείται, εάν χρειάζεται, μετασχηματιστής, έτσι ώστε να πληρούνται οι απαιτήσεις τροφοδοσίας του ελεγκτή. Στο παρόν παράδειγμα χρησιμοποιείται μετασχηματιστής, ο οποίος υποβιβάζει την τάση τροφοδοσίας



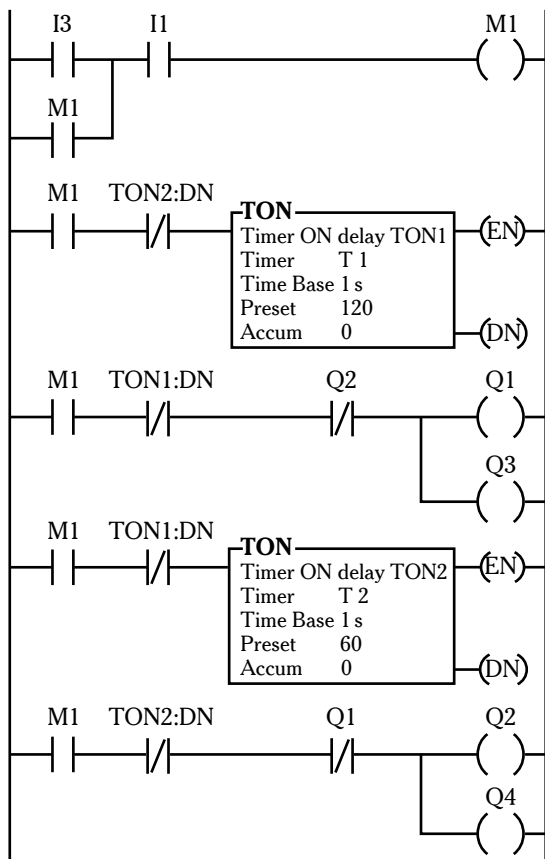
Σχ. 3.9ιγ

Συνδεσμολογία του PLC για την κυκλική λειτουργία δύο ηλεκτροκινητήρων.

του δικτύου σε 115 V AC. Η τροφοδοσία των εισόδων (24 V DC) επιτυγχάνεται μέσω των εσωτερικών κυκλωμάτων του ελεγκτή και είναι τύπου sink input (βλ. σخ. 3.3η).

Στο σχήμα 3.9ιδ παρουσιάζεται το πρόγραμμα Ladder, που εκτελεί τον αυτοματισμό της κυκλικής λειτουργίας δύο ηλεκτροκινητήρων.

Στο πρώτο σκαλί γίνεται η αυτοσυγκράτηση της λειτουργίας του κυκλώματος όταν κλείσει ο NO διακόπτης I3, ο οποίος αντιστοιχεί στο κομβίο START. Στο δεύτερο σκαλί ξεκινά η καταμέτρηση του χρόνου για το πρώτο χρονικό TON1. Για το συγκεκριμένο παράδειγμα ο χρόνος on delay στον TON1 έχει τεθεί 120 s. Εφόσον δεν έχουν συμπληρωθεί τα 120 s, το bit TON1:DN είναι σε λογικό 0 και άρα ο NC διακόπτης TON1:DN στο τρίτο σκαλί είναι κλειστός. Επειδή και ο NC διακόπτης Q2 είναι κλειστός, αφού δεν είναι ενεργοποιημένη η έξοδος Q2, τροφοδοτείται με ρεύμα η έξοδος Q1, στην οποία είναι συνδεδεμένος ο πρώτος ηλεκτροκινητήρας. Μόλις συμπληρωθούν τα 120 s ανοίγει ο διακόπτης TON1:DN στο



Σخ. 3.9ιδ

Πρόγραμμα Ladder για την κυκλική λειτουργία δύο ηλεκτροκινητήρων.

τρίτο σκαλί και διακόπεται η λειτουργία του πρώτου ηλεκτροκινητήρα. Ταυτόχρονα κλείνει ο NO διακόπτης TON1:DN στο τέταρτο σκαλί και ξεκινά η καταμέτρηση του χρόνου στο χρονικό TON2, του οποίου ο χρόνος on delay έχει τεθεί στο παράδειγμα 60 s. Επίσης, η απενεργοποίηση της εξόδου Q1 κλείνει τον NC διακόπτη Q1 στο πέμπτο σκαλί και ενεργοποιεί την έξοδο Q2, στην οποία είναι συνδεδεμένος ο δεύτερος ηλεκτροκινητήρας, εφόσον και ο NC διακόπτης TON2:DN είναι κλειστός. Μόλις συμπληρωθούν τα 60 s ανοίγει ο διακόπτης TON2:DN στο πέμπτο σκαλί και σταματά την λειτουργία του δεύτερου ηλεκτροκινητήρα. Ταυτόχρονα, ανοίγει ο διακόπτης TON2:DN στο δεύτερο σκαλί και απενεργοποιεί το χρονικό TON1. Η απενεργοποίηση του TON1 απενεργοποιεί και το χρονικό TON2 στο τέταρτο σκαλί, οπότε και ξανακλείνει ο διακόπτης TON2:DN στο δεύτερο σκαλί και επαναλαμβάνεται ξανά η προηγούμενη διαδικασία με ενεργοποίηση της εξόδου Q1 στο τρίτο σκαλί και εκκίνηση της καταμετρήσεως του χρόνου των 120 s στον TON1 στο δεύτερο σκαλί. Όπως είναι φανερό από το πρόγραμμα, κάθε φορά που ενεργοποιούνται οι εξοδοί Q1 και Q2 ενεργοποιούνται και οι εξοδοί Q3 και Q4 αντίστοιχα, στις οποίες είναι συνδεδεμένες οι λυχνίες Λ1 και Λ2.

Το αντίστοιχο πρόγραμμα σε γλώσσα FBD με την χρήση λογικών πυλών παρουσιάζεται παρακάτω στο σχήμα 3.9ιε, ενώ στο σχήμα 3.9ιστ δίνεται το ίδιο πρόγραμμα σε γλώσσα λίστας εντολών.

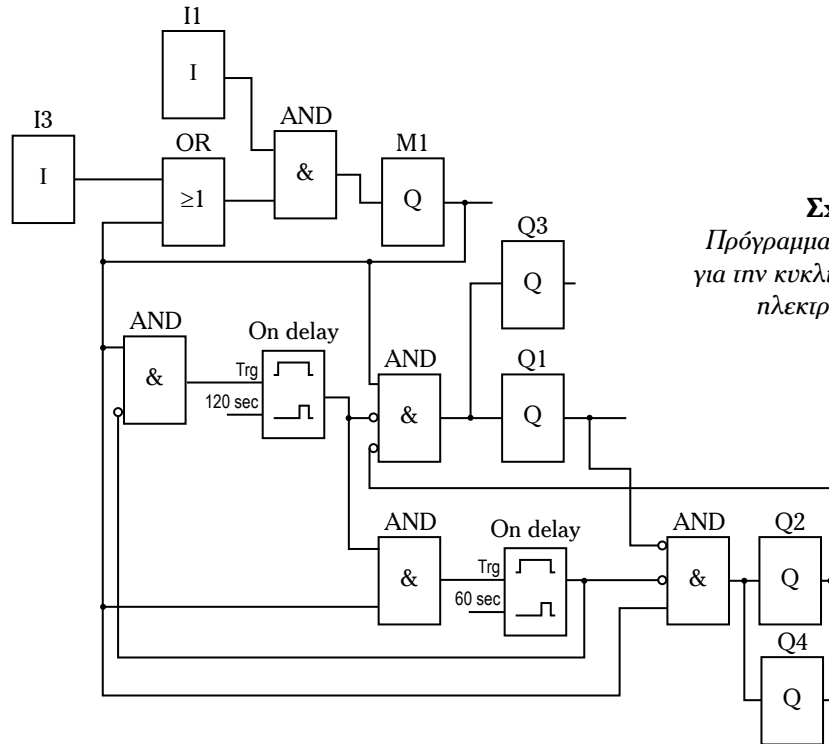
3.10 Παράδειγμα εφαρμογής των PLC στο σύστημα αποθηκείσεως-διανομής γλυκού νερού στο πλοίο.

3.10.1 Γενική περιγραφή του συστήματος.

Το δίκτυο γλυκού νερού του πλοίου θα μπορούσε να χωριστεί σε δύο δίκτυα. Στο δίκτυο αποθηκείσεως γλυκού νερού και στο δίκτυο διανομής γλυκού νερού.

Το γλυκό νερό αποθηκεύεται στις δεξαμενές αποθηκείσεως, οι οποίες συνήθως είναι δύο, μία για το πόσιμο νερό και μία για το γλυκό νερό που προορίζεται για άλλες χρήσεις. Το γλυκό νερό εκτός της παραγωγής και αποθηκείσεώς του, μπορεί να ληφθεί και αποθηκευθεί απευθείας από τη στεριά.

Στο δίκτυο διανομής του γλυκού νερού, το νερό αναρροφάται από τις δεξαμενές αποθηκείσεως με αντλίες και καταλήγει στους αεροκώδωνες ή στα πιεστικά δοχεία ή στις υδροφόρες. Οι υδροφόρες



Σχ. 3.9ιε
 Πρόγραμμα σε γλώσσα FBD
 για την κυκλική λειτουργία δύο
 ηλεκτροκινητήρων.

L	I3
O	M1
=	M2
L	I1
A	M2
=	M1
L	M1
AN	T2
=	M3
L	KT120
SD	T1
LN	T1
A	M1
AN	Q2

=	Q1
L	Q1
=	Q3
L	T1
A	M1
=	M4
L	KT60
SD	T2
LN	T2
AN	Q1
A	M1
=	Q2
L	Q2
=	Q4

Σχ. 3.9ιστ

Πρόγραμμα σε γλώσσα STL για την
 κυκλική λειτουργία δύο ηλεκτροκινητήρων.

είναι μία για το πόσιμο νερό και μία για το γλυκό νερό άλλων χρήσεων. Από τις υδροφόρες το γλυκό νερό διαμοιράζεται στα υπόλοιπα δίκτυα για χρήση. Στο σχήμα 3.10α παρουσιάζεται διάγραμμα τυπικού δικτύου γλυκού νερού πλοίου με την υδροφόρα (Π) και την δεξαμενή γλυκού νερού (Δ).

Η υδροφόρα είναι μία από τις πιο σημαντικές συ-

σκευές στο πλοίο. Είναι υπεύθυνη για την διανομή γλυκού νερού σε όλο το πλοίο. Στην ουσία πρόκειται για ένα πιεστικό δοχείο, το οποίο περιέχει νερό και πεπιεσμένο αέρα. Το νερό αναρροφάται από τις δεξαμενές αποθηκείωσης και καταθλίβεται στην υδροφόρα μέσω αντλιών. Η πίεση του αέρα στο πάνω μέρος της υδροφόρας είναι ο λόγος που το νερό έχει τη δυνατότητα να φτάσει έως το υψηλότερο κατάστρωμα του πλοίου. Κανονικά η υδροφόρα χρειάζεται να πληρώνεται με αέρα ανά τακτά χρονικά διαστήματα, πράγμα το οποίο κάνουν οι μηχανικοί βάρδιες. Η υδροφόρα αποκαλείται στο πλοίο και αεροκώδωνας, καθώς απορροφά τους κραδασμούς του δικτύου διανομής γλυκού νερού από το υδραυλικό χτύπημα.

Οι δεξαμενές αποθηκείωσης είναι συνήθως τρεις. Η **δεξαμενή πόσιμου νερού** (drinking water tank), η **δεξαμενή γλυκού νερού** (fresh water tank), που συνήθως χρησιμοποιείται για νερό λάτρως, και η **δεξαμενή απεσταγμένου νερού** (distilled water tank) που χρησιμοποιείται για τις ανάγκες του μηχανοστασίου.

3.10.2 Περιγραφή έργου.

Θα παρουσιαστεί ο αυτοματισμός ελέγχου του συστήματος καταθλίψεως γλυκού νερού από την

δεξαμενή γλυκού νερού στην υδροφόρα (πιεστικό δοχείο) μέσω δύο ηλεκτρικών αντλιών.

Όπως φαίνεται στο σχήμα 3.10α, οι δύο αντλίες $M1$ και $M2$ αναρροφούν νερό από τη δεξαμενή γλυκού νερού (Δ) και το καταθλίβουν στο πιεστικό δοχείο (Π). Παρεμβάλλονται τα κατάλληλα επιστόμια στην έξοδο της δεξαμενής γλυκού νερού και στην είσοδο του πιεστικού δοχείου, καθώς και ένα ανεπίστροφο επιστόμιο μετά από κάθε αντλία. Το πιεστικό δοχείο (Π) δέχεται αέρα από το αεροφυλάκιο (Γ), ο οποίος αποθηκεύεται εκεί με υψηλή πίεση που ελέγχεται από μανόμετρο τοποθετημένο στην κορυφή του πιεστικού δοχείου (σχ. 3.10α) (presostat). Μεταξύ πιεστικού δοχείου (Π) και αεροφυλάκιου (Γ) υπάρχει ένα ανεπίστροφο επιστόμιο και ένα απλό επιστόμιο, ώστε να γίνεται η ρύθμιση της παροχής του αέρα.

3.10.3 Εξοπλισμός.

Η παραπάνω διαδικασία θα αυτοματοποιηθεί μέσω της χρήσεως PLC.

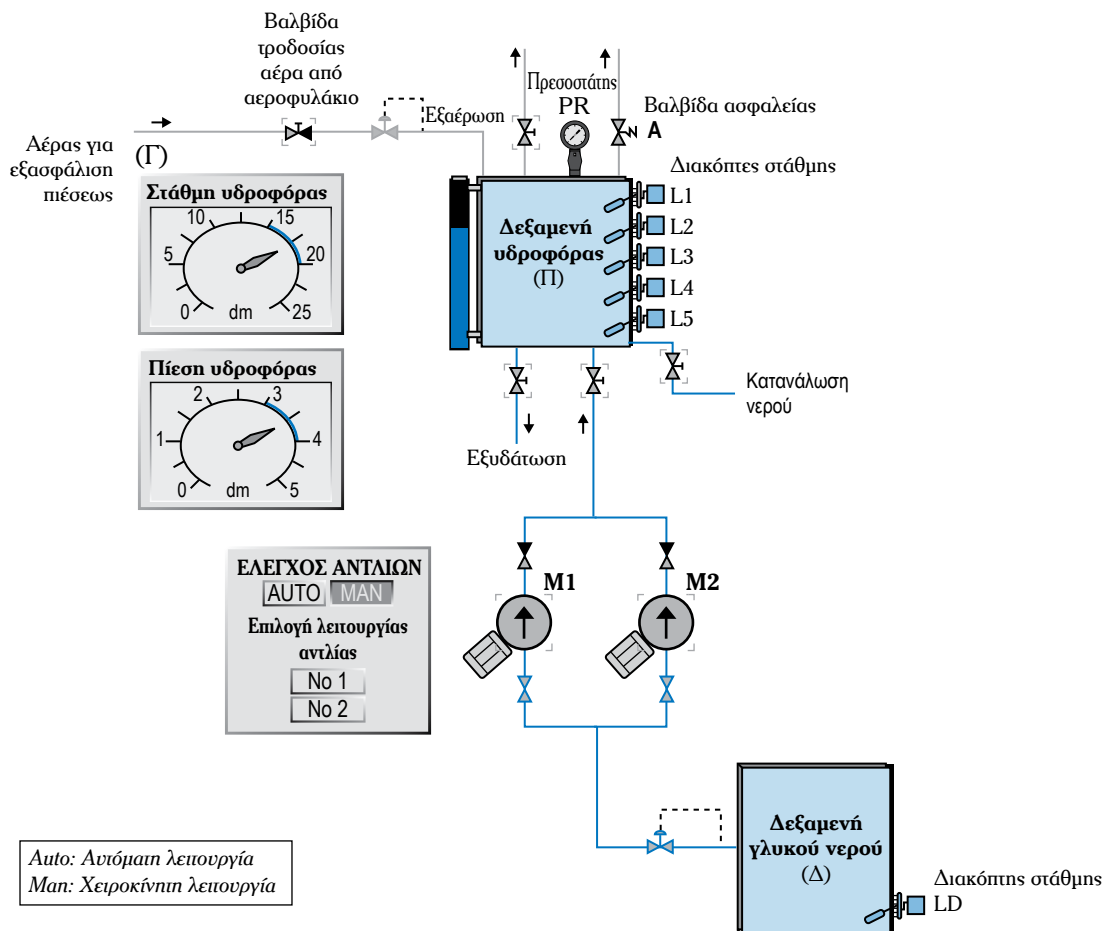
Χρησιμοποιούνται δύο ηλεκτρικοί τριφασικοί ασύγχρονοι κινητήρες για τις δύο αντλίες νερού ($M1$ και $M2$). Οι αντλίες αναρροφούν νερό από τη δεξαμενή (Δ) και το καταθλίβουν στο πιεστικό δοχείο (Π).

Λόγω ισχύος οι ηλεκτρικοί κινητήρες εκκινούν μέσω αυτόματου διακόπτη αστέρα-τριγώνου.

Μία σειράνα ($H8$, βλ. σχ. 3.10δ και 3.10ε) εγκαθίσταται για την σηματοδότηση ορισμένων καταστάσεων συναγερμού.

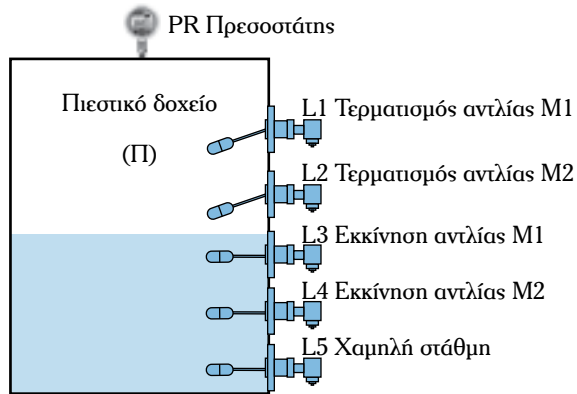
Για την μεταφορά του σήματος στάθμης στον PLC χρησιμοποιούνται διακόπτες στάθμης (level switches). Οι διακόπτες $L1$, $L2$, $L3$, $L4$ και $L5$ αφορούν στην στάθμη του πιεστικού δοχείου (σχ. 3.10α και 3.10β), ενώ ο διακόπτης LD αφορά στην μέτρηση της ελάχιστης επιτρεπτής στάθμης της δεξαμενής γλυκού νερού, προκειμένου να μπορεί αυτή να παρέχει νερό στο πιεστικό δοχείο.

Ένας πρεσοστάτης χρησιμοποιείται στο πιεστικό δοχείο για τον έλεγχο της πίεσεως σε αυτό, όπως παρουσιάζεται και στα σχήματα 3.10α και 3.10β.



Σχ. 3.10α

Τυπικό δίκτυο γλυκού νερού με την υδροφόρα (Π) και την δεξαμενή γλυκού νερού (Δ).



Σχ. 3.10β

Υδροφόρα και επίπεδα στάθμης
 τα οποία καθορίζουν την λειτουργία των αντλιών.

Υπάρχουν ενδεικτικές λυχνίες ενδείξεως της κανονικής λειτουργίας των ηλεκτροκινητήρων των αντλιών (*H1A* και *H2A* αντίστοιχα). Υπάρχουν ενδεικτικές λυχνίες ενδείξεως της υπερθερμάνσεως των ηλεκτροκινητήρων των αντλιών (*H5* και *H6*), της υψηλής πίεσεως μέσα στην υδροφόρα ή πιεστικό δοχείο (*H7*), της χαμηλής στάθμης της υδροφόρας (*H4*) και της χαμηλής στάθμης της δεξαμενής γλυκού νερού (*H3*, βλ. σχ. 3.10δ και 3.10ε).

3.10.4 Προδιαγραφές.

Η διαδικασία θα ξεκινά με κλείσιμο του διακόπτη *S*, ο οποίος συνδέει στην τριφασική παροχή το σύστημα των ηλεκτροκινητήρων κινήσεως των αντλιών και το υποσύστημα του αυτοματισμού ελέγχου.

Στο σχήμα 3.10β φαίνεται η υδροφόρα (Π) χωρισμένη σε 5 επίπεδα. Η λειτουργία των αντλιών όπως τις έχουμε συνδέσει έχει ως εξής: Η 1^η αντλία (*M1*) ξεκινά την λειτουργία της όταν η στάθμη του νερού φτάσει στο επίπεδο 3 και σταματά όταν φτάσει στο επίπεδο 1, ενώ η 2^η αντλία (*M2*) ξεκινά την λειτουργία της όταν το νερό φτάσει στο επίπεδο 4 και σταματά όταν φτάσει στο επίπεδο 2. Άρα μεταξύ επιπέδου 3 και επιπέδου 2 οι δύο αντλίες λειτουργούν ταυτόχρονα.

Στο επίπεδο 5 ενεργοποιείται η σειρήνα (alarm) (*H8*) χαμηλής στάθμης της υδροφόρας και ταυτόχρονα ανάβει η ενδεικτική λυχνία χαμηλής στάθμης της υδροφόρας (*H4*). Κατά την διάρκεια της λειτουργίας των ηλεκτροκινητήρων των αντλιών ανάβουν οι ενδεικτικές λυχνίες λειτουργίας τους (*H1A* για τον *M1* και *H2A* για τον *M2*).

Όταν η στάθμη του γλυκού νερού στην δεξαμενή

γλυκού νερού πέσει κάτω από το επίπεδο χαμηλής στάθμης, ενεργοποιείται η σειρήνα (*H8*), ανάβει η ενδεικτική λυχνία χαμηλής στάθμης της δεξαμενής γλυκού νερού (*H3*) και ταυτόχρονα σταματά η λειτουργία των δύο αντλιών.

Σε περίπτωση που κάποιος από τους ηλεκτροκινητήρες των δύο αντλιών υπερφορτιστεί, ανοίγουν οι επαφές των θερμικών *F1* για τον *M1* και *F2* για τον *M2* αντίστοιχα. Έτσι ο αντίστοιχος ηλεκτροκινητήρας σταματά να λειτουργεί, ώστε να προστατευτεί από υπερθέρμανση. Ταυτόχρονα ενεργοποιείται η σειρήνα (*H8*) και ανάβει η αντίστοιχη ενδεικτική λυχνία (*H5* για τον *M1* και *H6* για τον *M2*) υπερφορτίσεως του ηλεκτροκινητήρα.

Αν η πίεση στην υδροφόρα υπερβεί την πίεση στην οποία έχει ρυθμιστεί ο πρεσοστάτης (PR), τότε αλλάζει θέση η μεταγωγική επαφή του πρεσοστάτη και κόβεται η παροχή τάσεως στις αντλίες, ώστε να σταματήσουν να τροφοδοτούν με νερό την υδροφόρα. Έτσι ενεργοποιείται η σειρήνα (*H8*) και τροφοδοτείται με τάση η ενδεικτική λυχνία υψηλής πίεσεως της υδροφόρας (*H7*).

3.10.5 Λύση.

Για τη λύση του παραπάνω προβλήματος αυτοματισμού σχεδιάζονται τα παρακάτω:

- 1) Το **κύριο κύκλωμα**, το οποίο είναι ανεξάρτητο από τον ελεγκτή που θα χρησιμοποιηθεί,
- 2) το **κύκλωμα ελέγχου**, που περιλαμβάνει τις συνδέσεις εισόδου-εξόδου (*I/O*), και
- 3) το **πρόγραμμα ελέγχου**.

3.10.6 Κύριο κύκλωμα.

Το κύριο κύκλωμα αποτελείται από τους μεταγωγείς, την προστασία των ηλεκτροκινητήρων των αντλιών και τις απαραίτητες παροχές ισχύος (σχ. 3.10γ). Λόγω της ισχύος των ηλεκτροκινητήρων των αντλιών, αυτοί εκκινούν μέσω αυτόματου διακόπτη αστέρα (Υ)–τριγώνου (Δ) (σχ. 3.10γ), ο οποίος διακόπτης θα ελέγχεται από τον PLC.

Όπως φαίνεται στο σχήμα 3.10γ, η διαδικασία της πληρώσεως της υδροφόρας και του ελέγχου της στάθμης της εκκινεί με το κλείσιμο του διακόπτη *S*.

Οι γραμμές των δύο ασυγχρόνων ηλεκτροκινητήρων των αντλιών αποτελούνται από τις ασφάλειες, τα ρελέ και τα θερμικά. Λόγω της υψηλής ισχύος των ηλεκτροκινητήρων, αυτοί εκκινούν με αυτόματο διακόπτη αστέρα-τριγώνου. Για τον σκοπό αυτόν για κάθε ηλεκτροκινητήρα των δύο αντλιών υπάρχει

ένα ρελέ δικτύου ($K11$ για τον ηλεκτροκινητήρα $M1$ της 1^{ης} αντλίας και $K21$ για τον ηλεκτροκινητήρα $M2$ της 2^{ης} αντλίας), ένα ρελέ τριγώνου ($K12$ και $K22$ για τον $M1$ και τον $M2$ αντίστοιχα) και ρελέ αστέρα ($K13$ και $K23$ για τον $M1$ και τον $M2$ αντίστοιχα). Στην γραμμή κάθε ηλεκτροκινητήρα υπάρχει επίσης θερμικό ($F1$ και $F2$ για τον $M1$ και τον $M2$ αντίστοιχα). Σε περίπτωση που κάποιος από τους ηλεκτροκινητήρες υπερφορτιστεί, ανοίγουν οι επαφές των θερμικών $F1$ για τον ηλεκτροκινητήρα $M1$ και $F2$ για τον ηλεκτροκινητήρα $M2$ αντίστοιχα. Έτσι ο ηλεκτροκινητήρας σταματά να λειτουργεί, ώστε να προστατευτεί από υπερθέρμανση.

Στο σχήμα 3.10γ για χάρη απλότητας παρουσιάζεται πλήρως το σχέδιο του κυρίως κυκλώματος μόνο για τον ηλεκτροκινητήρα της 1^{ης} αντλίας με τους αντίστοιχους ηλεκτρονόμους και το θερμικό του.

3.10.7 Βοηθητικό κύκλωμα.

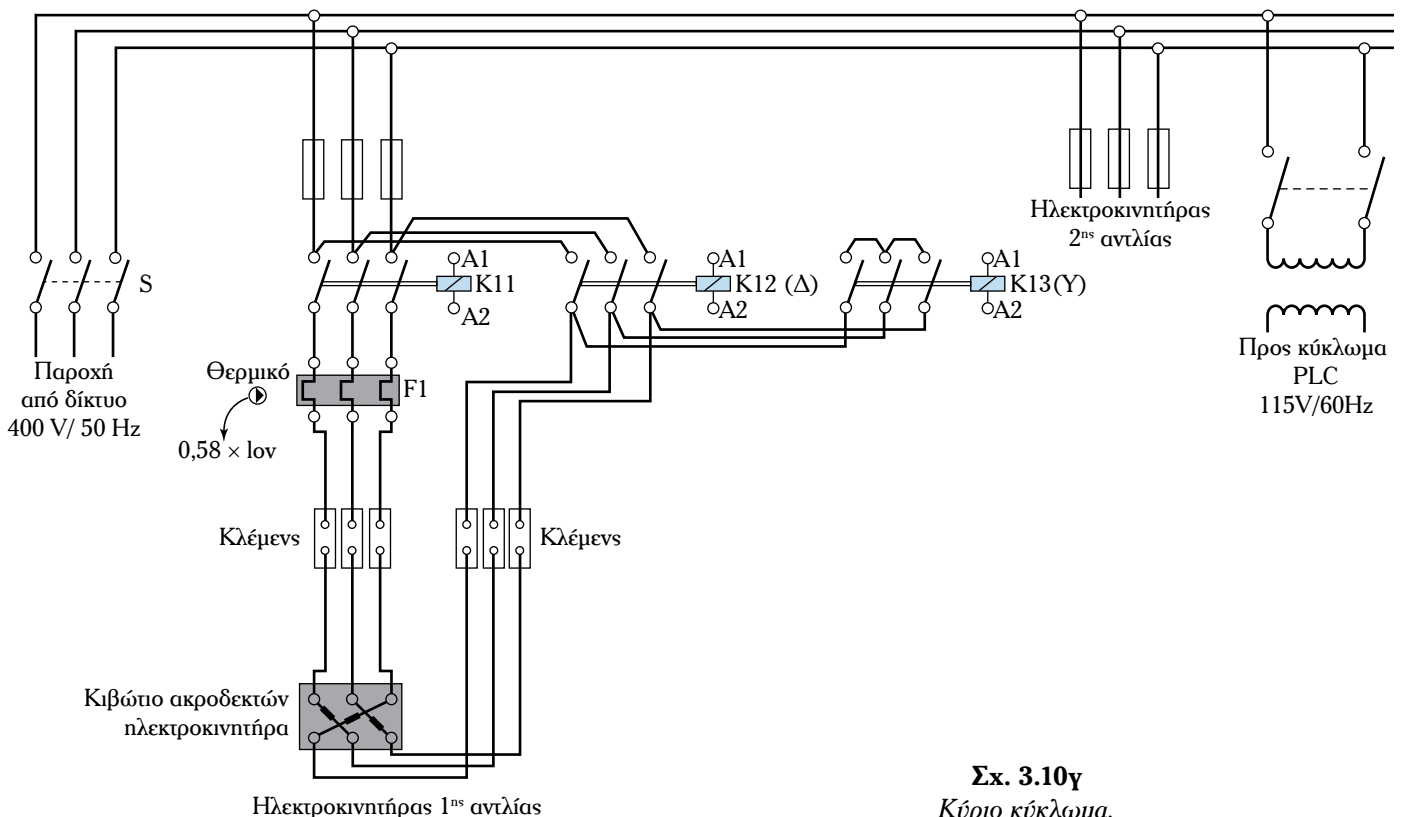
Το βοηθητικό κύκλωμα ελέγχου του αυτοματισμού παρουσιάζεται στο σχήμα 3.10δ. Όπως παρατηρείται, η διαδικασία εκκινεί μέσω του κομβίου START, ενώ μπορεί ανά πάσα στιγμή να διακοπεί μέσω του κομβίου STOP. Το ρελέ RUN χρησιμοποιείται για την αυτοσυγκράτηση των κυκλωμάτων.

Εάν η επαφή του προεσοστάτη (PR), που είναι ένας διακόπτης δύο θέσεων, αλλάζει θέση, τότε σημαίνει ότι έχει ξεπεραστεί η ρύθμιση για την μέγιστη πίεση στο πιεστικό δοχείο και αυτομάτως ενεργοποιείται η σειρήνα ($H8$), ενώ ανάβει και η ενδεικτική λυχνία υψηλής πίεσης $H7$ στο πιεστικό δοχείο.

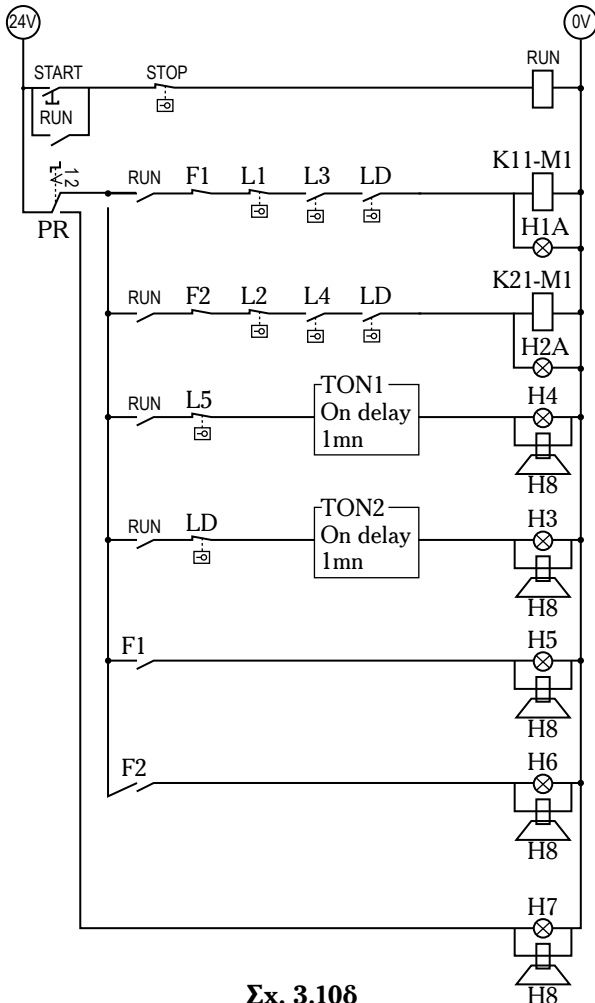
Εάν η πίεση είναι μικρότερη της μέγιστης, ο προεσοστάτης συνδέει στην τροφοδοσία το κύκλωμα των αντλιών και των υπολοίπων ελέγχων.

Σε περίπτωση υπερθερμάνσεως ενός από τους κινητήρες, η NC επαφή του θερμικού του ($F1$ για τον $M1$ και $F2$ για τον $M2$) στην οποία είναι συνδεδεμένο το κύκλωμα ελέγχου του αντίστοιχου κινητήρα θα ανοίξει, ενώ η NO επαφή του θερμικού του θα κλείσει, ενεργοποιώντας (σχ. 3.10δ) την σειρήνα ($H8$) και την αντίστοιχη ενδεικτική λυχνία ($H5$ για τον $M1$ και $H6$ για τον $M2$).

Οι διακόπτες στάθμης έχουν επαφές NC και NO και συνδέονται κατάλληλα (σχ. 3.10δ). Όταν η στάθμη στο πιεστικό δοχείο υποχωρήσει κάτω από τον αισθητήρα $L5$ ή στην δεξαμενή γλυκού νερού κάτω από τον αισθητήρα LD , οι NC επαφές αυτών των αισθητήρων-διακοπών δίνουν σήμα στην σειρήνα και στην αντίστοιχη ενδεικτική λυχνία ($H3$ για την δεξαμενή γλυκού νερού και $H4$ για το πιεσι-



Σχ. 3.10γ
Κύριο κύκλωμα.



Σχ. 3.106
Βοηθητικό κύκλωμα.

κό δοχείο). Εδώ να σημειωθεί ότι η ενεργοποίηση αυτών των γραμμών γίνεται μέσω μιας χρονοκαθυστερήσεως 1 min με ένα χρονικό για να αποφεύγουμε λανθασμένη εντολή λόγω ταλαντώσεων ή κλίσεων του σκάφους κ.λπ. (σχ. 3.10δ).

3.10.8 Κύκλωμα ελέγχου με PLC.

Στον ελεγκτή μπαίνουν συνολικά 11 είσοδοι και βγαίνουν 10 έξοδοι (πίν. 3.10).

Όπως φαίνεται στον πίνακα 3.10, υπάρχουν 11 είσοδοι συνολικά συμπεριλαμβανομένων των κομβίων εκκινήσεως START και έκτακτης παύσεως STOP, τα οποία είναι με επαναφορά με ελατήριο.

Πρέπει να οριστεί η συμπεριφορά των αισθητήρων στάθμης με την άνοδο και την κάθοδο του νερού στο πιεστικό δοχείο και στην δεξαμενή. Για την περίπτωση που εξετάζεται έχει υποθεθεί ότι ο ελεγκτής λαμβάνει σήμα όταν ο αισθητήρας έχει καλυφθεί από το γλυκό νερό.

Πίνακας 3.10
Κατάλογος εισόδων και εξόδων.

a/a	Κατάλογος εισόδων	
	Συσκευή	Συμβολισμός
1	Κομβίο εκκινήσεως	START
2	Κομβίο σταματήματος	STOP
3	Θερμικό κινητήρα M1	F1
4	Πιεστικό δοχείο στάθμη 1	L1
5	Πιεστικό δοχείο στάθμη 3	L3
6	Δεξαμενή γλυκού νερού	LD
7	Πρεσοστάτης	PR
8	Θερμικό κινητήρα M2	F2
9	Πιεστικό δοχείο στάθμη 2	L2
10	Πιεστικό δοχείο στάθμη 4	L4
11	Πιεστικό δοχείο στάθμη 5	L5
a/a	Κατάλογος εξόδων	
1	Κινητήρας 1 ^{ης} αντλίας M1	K11
2	Κινητήρας 2 ^{ης} αντλίας M2	K21
3	Λυχνία λειτουργίας του M1	H1A
4	Λυχνία λειτουργίας του M2	H2A
5	Λυχνία χαμηλής στάθμης δεξαμενής γλυκού νερού	H3
6	Λυχνία χαμηλής στάθμης πιεστικού δοχείου	H4
7	Λυχνία υπερθερμάνσεως του M1	H5
8	Λυχνία υπερθερμάνσεως του M2	H6
9	Λυχνία υψηλής πίεσεως	H7
10	Σειρήνα alarm	H8

Χρειάζεται μία έξοδος για κάθε ρελέ δικτύου ηλεκτροκινητήρα. Επίσης χρειάζεται μία έξοδος για κάθε μία από τις ενδεικτικές λυχνίες κανονικής λειτουργίας των ηλεκτροκινητήρων, τις ενδεικτικές λυχνίες υπερθερμάνσεως των ηλεκτροκινητήρων, τις ενδεικτικές λυχνίες χαμηλής στάθμης πιεστικού δοχείου και δεξαμενής γλυκού νερού, την ενδεικτική λυχνία υψηλής πίεσεως και για την σειρήνα-alarm (συνολικά 10 έξοδοι).

Όλα τα πηνία εργάζονται με την τάση λειτουργίας, στην περίπτωση αυτή 115 VAC. Στον ελεγκτή χρησιμοποιούνται είσοδοι 24 VDC, η τάση των

οποίων παράγεται από την υπομονάδα τροφοδοσίας του ίδιου του ελεγκτή.

Η σειρά και οι ενδεικτικές λυχνίες είναι για χρήση σε 115 VAC για λόγους απλότητας. Είναι κοινή πρακτική να τροφοδοτούνται οι ενδεικτικές λυχνίες με τάση 24 VAC, ιδιαίτερα όταν τοποθετούνται στο πορτάκι ενός πίνακα ελέγχου (λόγω αυξημένου κινδύνου επαφής με εξαρτήματα υπό τάση). Οι έξοδοι με επαγωγικά φορτία θα πρέπει να εφοδιαστούν με **δικτυώματα προστασίας** (snubber circuits) για τον περιορισμό των φθορών στα ρελέ εξόδου του ελεγκτή.

Στο σχήμα 3.10ε παρουσιάζεται μία τυπική διάταξη εισόδων-εξόδων σε έναν PLC για την συγκεκριμένη υλοποίηση.

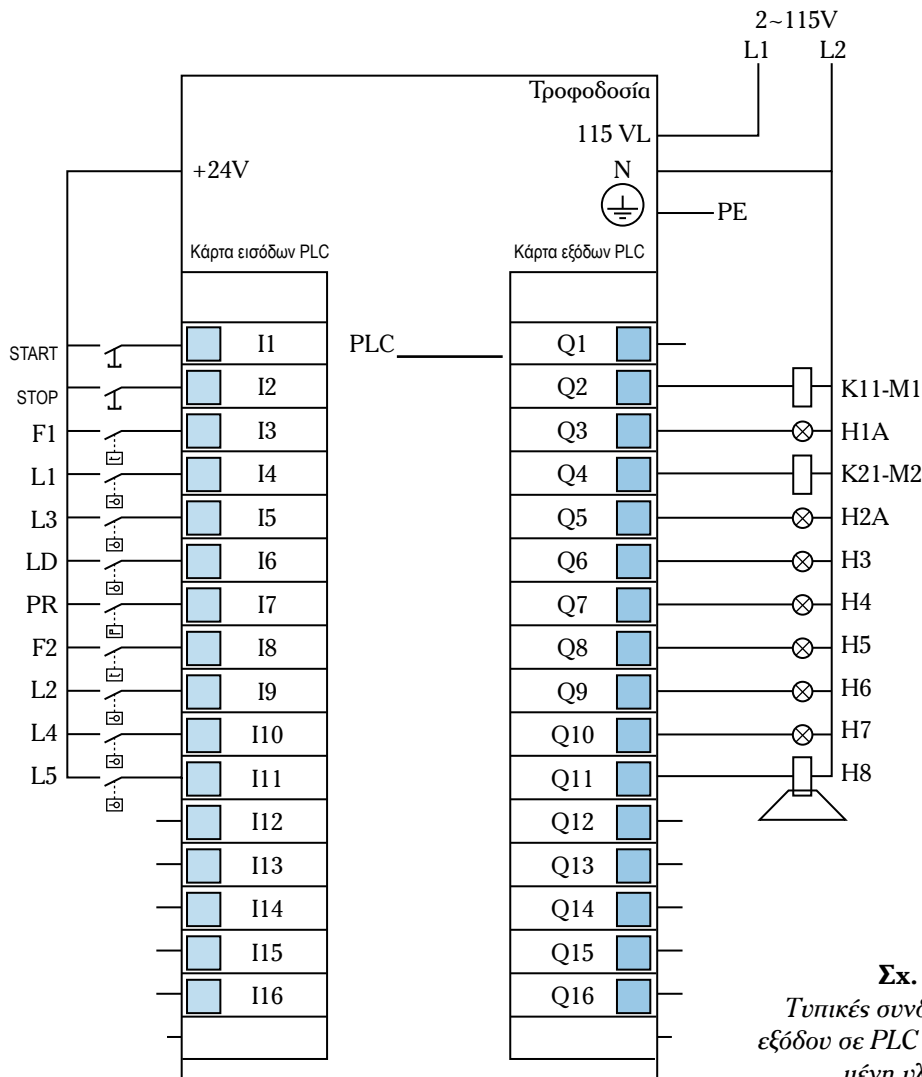
Όπως φαίνεται, υπάρχει η τροφοδοσία των 115 VAC, ενώ η τάση 24VDC παράγεται από την

υπομονάδα τροφοδοσίας του ίδιου του ελεγκτή. Εκτός της υπομονάδας τροφοδοσίας, ο PLC περιλαμβάνει υπομονάδα επεξεργαστή, μία υπομονάδα εισόδου και μία εξόδου.

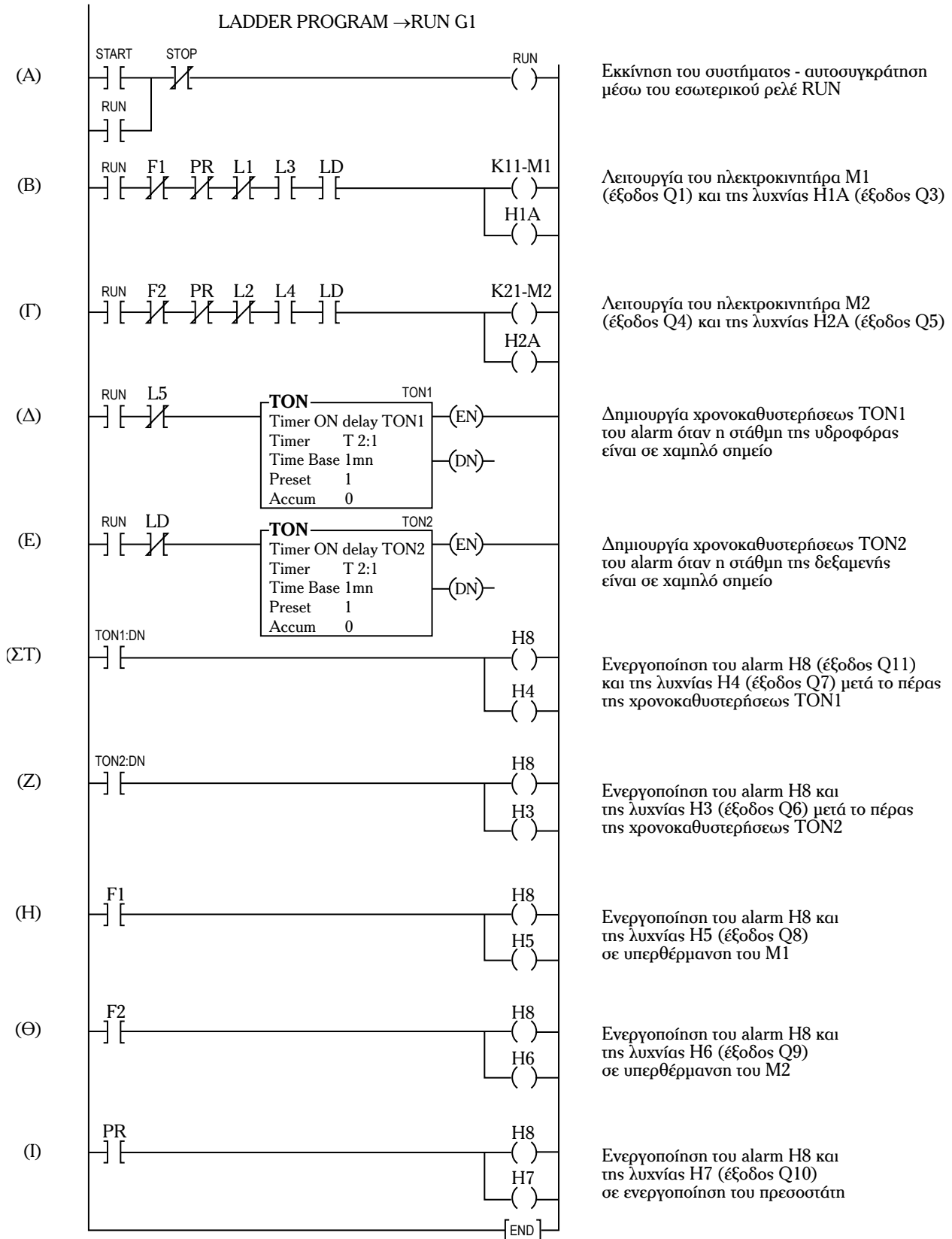
Όπως φαίνεται στην λύση που παρουσιάζεται, οι εισοδοί στον PLC είναι όλες NO. Μέσα στο πρόγραμμα Ladder (σχ. 3.10στ) οι διακόπτες που πρέπει να επιτρέπουν την διέλευση του ρεύματος όταν ο αντίστοιχος εξωτερικός διακόπτης είναι σε ημερία (δηλ. όχι πατημένος), δηλώνονται NC.

Οι εισοδοί στον PLC δηλώνονται με το γράμμα *I* και τον αντίστοιχο αριθμό της εισόδου, ενώ οι έξοδοι με το γράμμα *Q* και τον αντίστοιχο αριθμό της εξόδου.

Αφού η τροφοδοσία του PLC απαιτεί 115 VAC, θα πρέπει να προσεχθεί ιδιαίτερα η σύνδεση της παροχής δικτύου στους σωστούς ακροδέκτες του ελεγκτή.



Σχ. 3.10ε
Τυπικές συνδέσεις εισόδου-εξόδου σε PLC για την συγκεκριμένη υλοποίηση.

**Σχ. 3.10στ**

Πρόγραμμα του αυτοματισμού σε Ladder.

3.10.9 Πρόγραμμα σε Ladder.

Το σχήμα 3.10στ παρουσιάζει την υλοποίηση σε Ladder του προγράμματος οδηγήσεως του PLC. Το πρόγραμμα αυτό είναι ουσιαστικά ένα διάγραμμα κλίμακας με συμβολισμούς της εγκαταστάσεως (*L1, F1, H1A* κ.λπ.), αλλά στην τελική λύση αυτοί οι συμβολισμοί μπορούν να αντικατασταθούν από τους πραγματικούς αριθμούς των εισόδων και εξόδων για τον PLC που θα επιλεγεί.

Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι εφόσον στην γλώσσα Ladder δηλωθούν σαν *NC* οι επαφές των διακοπών, τότε οι διακόπτες στην είσοδο του PLC θα πρέπει να συνδεθούν σαν *NO* για να επιτρέπουν την διέλευση του σήματος εφόσον δεν έχουν πατηθεί. Η παραπάνω σημείωση καθίσταται εύκολα αντιληπτή παρατηρώντας το σχήμα 3.10στ του προγράμματος Ladder και το σχήμα 3.10ε των εισόδων στον PLC. Αναλυτικότερα τα τμήματα του σχήματος 3.10στ:

1) Στο **οριζόντιο τμήμα (Α)** βλέπομε τον έλεγχο του εσωτερικού ρελέ *RUN*. Το εσωτερικό αυτό ρελέ ενεργοποιείται με ένα σήμα από το κομβίο εκκινήσεως *START*, του οποίου η επαφή είναι *NO*, αλλά μετά συγκρατείται μέσω της αυτοσυγκρατήσεως του διακόπτη *RUN* όσο είναι παρόν το σήμα του διακόπτη παύσεως *STOP*. Όσο είναι ενεργοποιημένο το *RUN*, σημαίνει ότι η διαδικασία προχωρά. Η κατάσταση του *RUN* θα ελέγχεται σε διάφορα μέρη του προγράμματος. Το κομβίο *STOP*, σταματήματος της διαδικασίας, επιτρέπει τη λειτουργία της διαδικασίας εφόσον δεν έχει πατηθεί.

2) Στο **οριζόντιο τμήμα (Β)** ελέγχονται τα εξής: (α) ότι είναι ενεργοποιημένη η *NO* επαφή *RUN* μέσω του εσωτερικού ρελέ *RUN*, (β) ότι δεν έχει «πέσει» το θερμικό *F1* του πρώτου ηλεκτροκινητήρα, (γ) ότι ο πρεσοστάτης (*PR*) δεν έχει δώσει σήμα διακοπής λόγω υπερβάσεως της πίεσεως που έχει τεθεί για το πιεστικό δοχείο, (δ) ότι το νερό είναι χαμηλότερα από το επίπεδο 1 (*L1*) στο πιεστικό δοχείο, (ε) ότι το νερό είναι υψηλότερα από το επίπεδο 3 (*L3*) στο πιεστικό δοχείο, (στ) ότι το νερό στη δεξαμενή γλυκού νερού είναι υψηλότερα από το χαμηλότερο επίπεδο (*LD*). Εάν ισχύουν τα παραπάνω, ενεργοποιείται ο ηλεκτροκινητήρας *M1* της πρώτης αντλίας και ταυτόχρονα ανάβει η ενδεικτική λυχνία κανονικής λειτουργίας του *H1A*. Εδώ να σημειωθεί ότι οι *NC* επαφές παραμένουν κλειστές, εφόσον δεν υπάρχει σήμα ενεργοποίησης της εισόδου τους.

3) Στο **οριζόντιο τμήμα (Γ)** ελέγχονται τα εξής: (α) ότι είναι ενεργοποιημένη η *NO* επαφή *RUN* μέσω

του εσωτερικού ρελέ *RUN*, (β) ότι δεν έχει «πέσει» το θερμικό *F2* του δεύτερου ηλεκτροκινητήρα, (γ) ότι ο πρεσοστάτης (*PR*) δεν έχει δώσει σήμα διακοπής λόγω υπερβάσεως της πίεσεως που έχει τεθεί για το πιεστικό δοχείο, (δ) ότι το νερό είναι χαμηλότερα από το επίπεδο 2 (*L2*) στο πιεστικό δοχείο, (ε) ότι το νερό είναι υψηλότερα από το επίπεδο 4 (*L4*) στο πιεστικό δοχείο, (στ) ότι το νερό στη δεξαμενή γλυκού νερού είναι υψηλότερα από το χαμηλότερο επίπεδο (*LD*). Εάν ισχύουν τα παραπάνω, ενεργοποιείται ο ηλεκτροκινητήρας *M2* της δεύτερης αντλίας και ταυτόχρονα ανάβει η ενδεικτική λυχνία κανονικής λειτουργίας του *H2A*.

4) Στο **οριζόντιο τμήμα (Δ)** ελέγχονται τα εξής: (α) ότι είναι ενεργοποιημένη η *NO* επαφή *RUN* μέσω του εσωτερικού ρελέ *RUN*, (β) ότι η στάθμη του πιεστικού δοχείου έχει πέσει κάτω από το επίπεδο του αισθητήρα χαμηλής στάθμης μέσω της *NC* επαφής *L5*. Εφόσον η στάθμη στο πιεστικό δοχείο πέσει κάτω από τη χαμηλότερη επιτρεπτή, η *NC* επαφή *L5* ενεργοποιείται και δίνει σήμα στη χρονοκαθυστερήση 1 min του χρονοδιακόπτη *TON1*.

5) Στο **οριζόντιο τμήμα (Ε)** ελέγχονται τα εξής: (α) ότι είναι ενεργοποιημένη η *NO* επαφή *RUN* μέσω του εσωτερικού ρελέ *RUN*, (β) ότι η στάθμη της δεξαμενής γλυκού νερού έχει πέσει κάτω από το επίπεδο του αισθητήρα χαμηλής στάθμης μέσω της *NC* επαφής *LD*. Εφόσον η στάθμη στην δεξαμενή πέσει κάτω από την χαμηλότερη επιτρεπτή, η *NC* επαφή *LD* ενεργοποιείται και δίνει σήμα στη χρονοκαθυστερήση 1 min του χρονοδιακόπτη *TON2*.

6) Στο **οριζόντιο τμήμα (ΣΤ)** ελέγχεται η λήξη της χρονοκαθυστερήσεως 1 min του χρονοδιακόπτη *TON1*. Μόλις αυτή συμβεί, ενεργοποιείται η σειρήνα-alarm *H8*, καθώς και η λυχνία *H4* ενδείξεως χαμηλής στάθμης του πιεστικού δοχείου.

7) Στο **οριζόντιο τμήμα (Ζ)** ελέγχεται η λήξη της χρονοκαθυστερήσεως 1 min του χρονοδιακόπτη *TON2*. Μόλις αυτή συμβεί, ενεργοποιείται η σειρήνα-alarm *H8*, καθώς και η λυχνία *H3* ενδείξεως χαμηλής στάθμης της δεξαμενής γλυκού νερού.

8) Στο **οριζόντιο τμήμα (Η)** ελέγχεται η *NO* επαφή του θερμικού *F1* του κινητήρα *M1*. Εάν αυτή κλείσει, σημαίνει ότι υπάρχει υπερθέρμανση του κινητήρα και ενεργοποιείται η σειρήνα-alarm (*H8*) και η λυχνία ενδείξεως της υπερφορτίσεως του ηλεκτροκινητήρα (*H5*).

9) Στο **οριζόντιο τμήμα (Θ)** ελέγχεται η *NO* επαφή του θερμικού *F2* του κινητήρα *M2*. Εάν αυτή

κλείσει, σημαίνει ότι υπάρχει υπερθέρμανση του κινητήρα και ενεργοποιείται η σειρήνα-alarm (H8) και η λυχνία ενδείξεως της υπερφορτίσεως του ηλεκτροκινητήρα (H6), και

10) στο **οριζόντιο τμήμα (I)** ελέγχεται η NO επαφή του προσοστάτη PR. Εάν αυτή κλείσει, σημαίνει ότι υπάρχει υπέρβαση της μέγιστης πίεσεως στο πιεστικό δοχείο και ενεργοποιείται η σειρήνα-alarm (H8) και η λυχνία ενδείξεως υψηλής πίεσεως (H7).

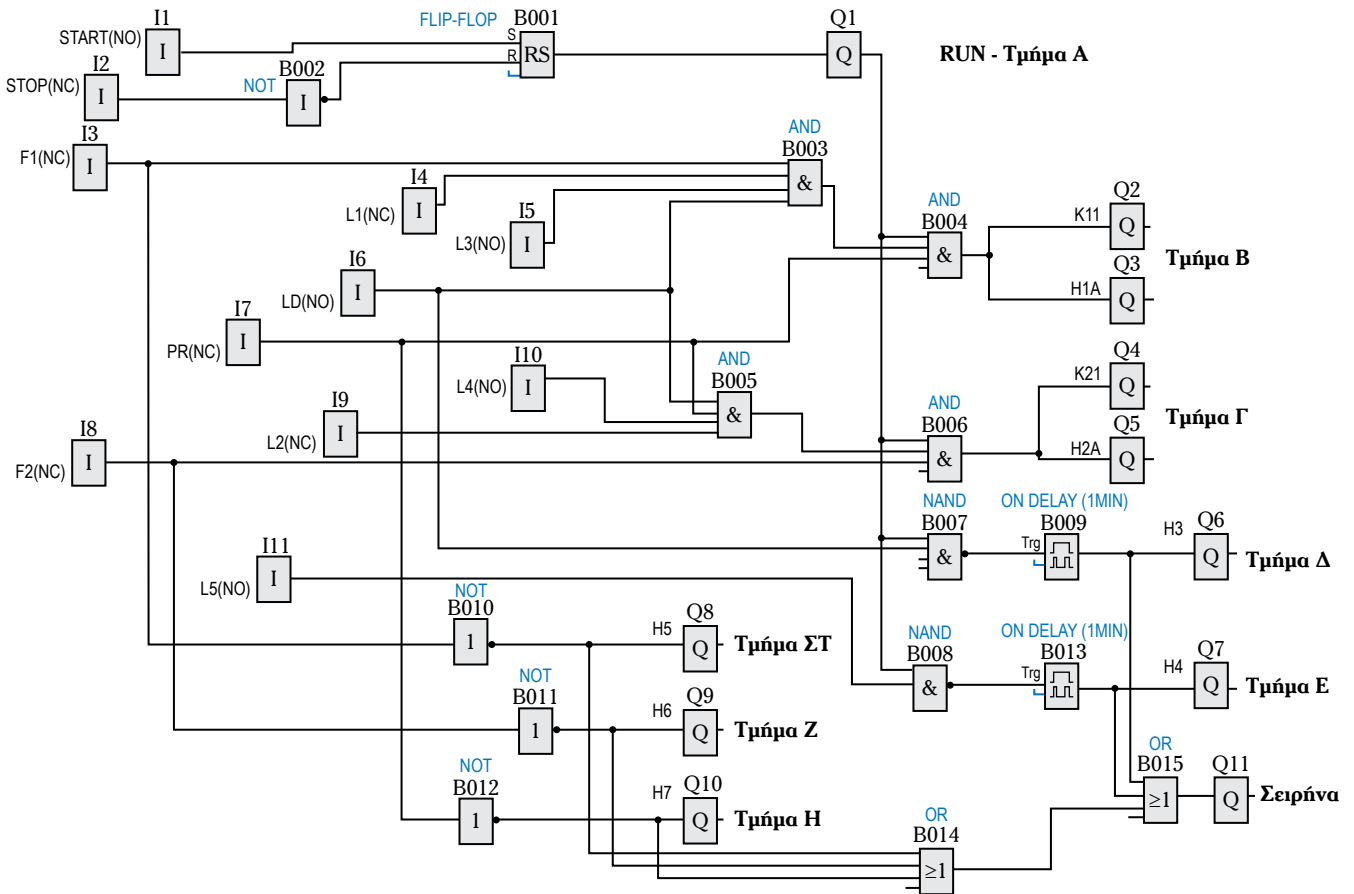
3.10.10 Πρόγραμμα σε FBD.

Ένας άλλος τρόπος προγραμματισμού ενός PLC είναι μέσω της γλώσσας FBD λογικών γραφικών. Ουσιαστικά πρόκειται για μία αναπαράσταση της λειτουργίας του αυτοματισμού με τη χρήση λογικών πυλών.

Στο σχήμα 3.10ζ παρουσιάζεται το πρόγραμμα οδηγήσεως του ελεγκτή με τη χρήση λογικών πυλών. Ο συμβολισμός των εισόδων-εξόδων είναι αυτός που ακολουθείται στα σχήματα 3.10ε και 3.10στ.

Στο **τμήμα Α** ξεκινώντας από το START, παρατηρείται ότι μαζί με το STOP εισάγονται σε ένα RS flip-flop (SET-RESET). Το STOP σε αυτό το διάγραμμα δηλώνεται σαν NC επαφή. Κατά συνέπεια πρέπει να περάσει από μία πύλη NOT, προκειμένου να ενεργοποιείται με πάτημα. Εδώ να σημειωθεί ότι επιλέχθηκε η λύση του flip-flop και όχι ο συνδυασμός άλλων πυλών για λόγους απλότητας. Η έξοδος του flip-flop Q1 χρησιμοποιείται σαν συμπληρωματική είσοδος σε παρακάτω πύλες.

Στο **τμήμα Β** για την λειτουργία του κινητήρα M1, η NC επαφή του θερμικού F1, η NC επαφή του διακόπτη στάθμης L1, οι NO επαφές των διακοπών στάθμης L3 και LD περνούν μέσα από μία πύλη AND, η έξοδος της οποίας μαζί με την NC επαφή του θερμοστάτη PR και την έξοδο Q1, μπαίνουν σε μία δεύτερη AND, της οποίας η έξοδος ενεργοποιεί τον ηλεκτρονόμο δικτύου K11 του κινητήρα M1 και την ενδεικτική λυχνία H1A λειτουργίας του M1 μέσω των εξόδων Q2 και Q3 αντίστοιχα.



Σχ. 3.10ζ
Πρόγραμμα σε FBD.

Στο **τμήμα Γ** για την λειτουργία του κινητήρα $M2$, η NC επαφή του θερμοστάτη PR , η NC επαφή του διακόπτη στάθμης $L2$, οι NO επαφές των διακοπών στάθμης $L4$ και LD περνούν μέσα από μία πύλη AND , η έξοδος της οποίας μαζί με την NC επαφή του θερμικού $F2$ και την έξοδο $Q1$, μπαίνουν σε μία δεύτερη AND , της οποίας η έξοδος ενεργοποιεί τον ηλεκτρονόμο δικτύου $K21$ του κινητήρα $M2$ και την ενδεικτική λυχνία $H2A$ λειτουργίας του $M2$ μέσω των εξόδων $Q4$ και $Q5$ αντίστοιχα.

Στο **τμήμα Δ** συνδυάζοντας το σήμα από τον διακόπτη LD και την έξοδο $Q1$ σε μία $NAND$ ενεργοποιείται η χρονοκαθυστέρηση 1 min πριν μπει σε λειτουργία η σειρήνα και η ενδεικτική λυχνία $H3$ χαμηλής στάθμης δεξαμενής γλυκού νερού (έξοδοι $Q11$ και $Q6$ αντίστοιχα).

Στο **τμήμα Ε** συνδυάζοντας το σήμα από τον διακόπτη $L5$ και την έξοδο $Q1$ σε μία $NAND$ ενεργοποιείται η χρονοκαθυστέρηση 1 min πριν τεθεί σε λειτουργία η σειρήνα και η ενδεικτική λυχνία $H4$ χαμηλής στάθμης πιεστικού δοχείου (έξοδοι $Q11$ και $Q7$ αντίστοιχα).

Στο **τμήμα ΣΤ** η NC επαφή του θερμικού $F1$ περνά από μία πύλη NOT , προκειμένου να ενεργοποιηθεί η έξοδος με άνοιγμα της επαφής και έτσι να τεθεί σε λειτουργία η σειρήνα και η ενδεικτική λυχνία $H5$ υπερφορτίσεως του $M1$ (έξοδοι $Q11$ και $Q8$ αντίστοιχα).

Στο **τμήμα Ζ** η NC επαφή του θερμικού $F2$ περνά από μία πύλη NOT , προκειμένου να ενεργοποιηθεί η έξοδος με άνοιγμα της επαφής και έτσι να τεθεί σε λειτουργία η σειρήνα και η ενδεικτική λυχνία $H6$ υπερφορτίσεως του $M2$ (έξοδοι $Q11$ και $Q9$ αντίστοιχα).

Στο **τμήμα Η** η NC επαφή του πρεσοστάτη PR περνά από μία πύλη NOT , προκειμένου να ενεργοποιηθεί η έξοδος με άνοιγμα της επαφής και έτσι να τεθεί σε λειτουργία η σειρήνα και η ενδεικτική λυχνία $H7$ υψηλής πίεσεως ($Q11$ και $Q10$ αντίστοιχα).

Τέλος στο **τμήμα της σειρήνας** παρατηρούμε ότι προκειμένου αυτή να ενεργοποιηθεί, συνδυάζονται δύο πύλες OR στη σειρά, οι οποίες έχουν ως είσοδο τις επαφές των διακοπών που περιγράφηκαν παραπάνω και οδηγούν σε κατάσταση ανάγκης.

3.11 Ερωτήσεις – Ασκήσεις.

1. Να εξηγήσετε τι είναι τα χρονικά ρελέ και τις κατηγορίες στις οποίες διακρίνονται. Για κάθε κατηγορία να δώσετε ένα παράδειγμα σχεδιάζοντας τη χρονική αλληλουχία των γεγονότων.

2. Σχεδιάστε το ηλεκτρολογικό σχέδιο συνδέσεως ενός θερμικού ρελέ για την προστασία ενός τριφασικού ασύγχρονου ηλεκτροκινητήρα.

3. Να αναφέρετε τα κύρια μέρη των προγραμματιζόμενων λογικών ελεγκτών.

4. Να αναφέρετε τις κύριες διαφορές των συμπαγών (compact) και των επεκτάσιμων (modular) PLC.

5. Να παρουσιάσετε τον κύκλο λειτουργίας ενός PLC.

6. Ποια είναι τα είδη μνήμης και ποιος ο σκοπός του καθενός σε ένα PLC;

7. Να παραστήσετε τον τρόπο συνδέσεως ενός αισθητήρα ηλεκτρικής αντιστάσεως $Pt100$ στην μονάδα εισόδου ενός PLC.

8. Να εξηγήσετε τους λόγους για τους οποίους έχουν αναπτυχθεί γλώσσες προγραμματισμού ειδικά για το περιβάλλον των PLC.

9. Να παρουσιάσετε τα είδη των διαύλων (buses) που χρησιμοποιούνται στην εσωτερική αρχιτεκτονική ενός PLC και τον ρόλο καθενός από αυτούς.

10. Ποιος είναι ο ρόλος και ο τρόπος λειτουργίας των οπτοζευκτών στις μονάδες εισόδου και εξόδου ενός PLC;

11. Περιγράψτε τους τύπους των κυκλωμάτων των μονάδων εξόδου σε ένα PLC.

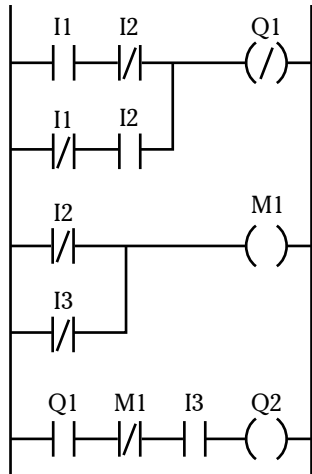
12. Να μετατρέψετε τα προγράμματα Ladder και FBD των παραδειγμάτων της παραγράφου 3.9 χρησιμοποιώντας την εντολή RS flip-flop.

13. Να γράψετε πρόγραμμα σε γλώσσα Ladder, το οποίο μετά την πίεση ενός κομβίου START στην είσοδο του PLC προκαλεί στην έξοδο σε ενδεικτική λυχνία το άναμμα της λυχνίας για 60 s και το σβήσιμό της για 30 s . Η διαδικασία θα διακόπτεται με την πίεση ενός κομβίου STOP. Να παρουσιαστεί ο τρόπος συνδέσεως των εισόδων και της εξόδου στον PLC.

14. Να γράψετε σε γλώσσα FBD και σε STL το πρόγραμμα Ladder του σχήματος 3.11α.

15. Να μετατρέψετε σε γλώσσα FBD το πρόγραμμα σε STL του σχήματος 3.11β.

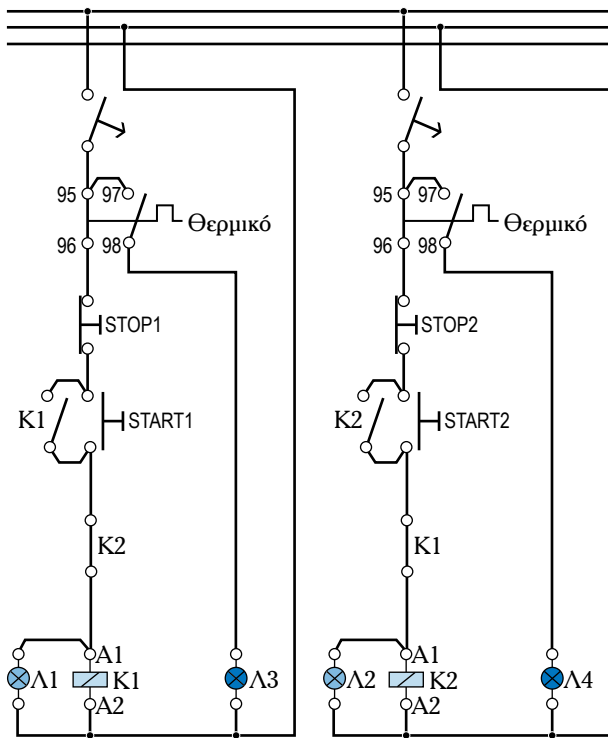
16. Το κύκλωμα του σχήματος 3.11γ ελέγχει την λειτουργία δύο κινητήρων ως εξής: Με το κάθε κομβίο START εκκινεί ο αντίστοιχος κινητήρας και ο άλλος σταματά. Οι ενδεικτικές λυχνίες $L1$ και $L2$ είναι για την ένδειξη του κινητήρα που λειτουργεί. Οι ενδεικτικές λυχνίες $L3$ και $L4$ είναι για ένδειξη υπερ-



Σχ. 3.11α

L	I1	=	Q1
O	Q1	L	Q1
=	M1	=	Q2
L	I2	L	I3
AN	I3	=	Q3
A	M1		

Σχ. 3.11β



Σχ. 3.11γ

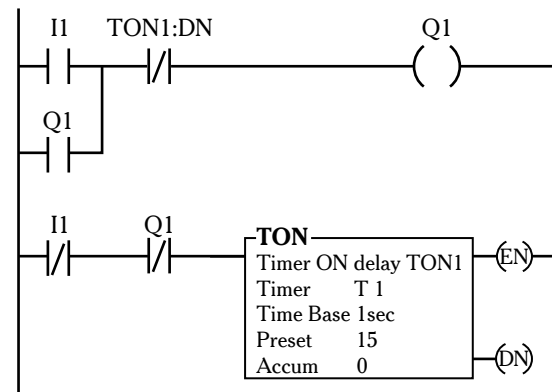
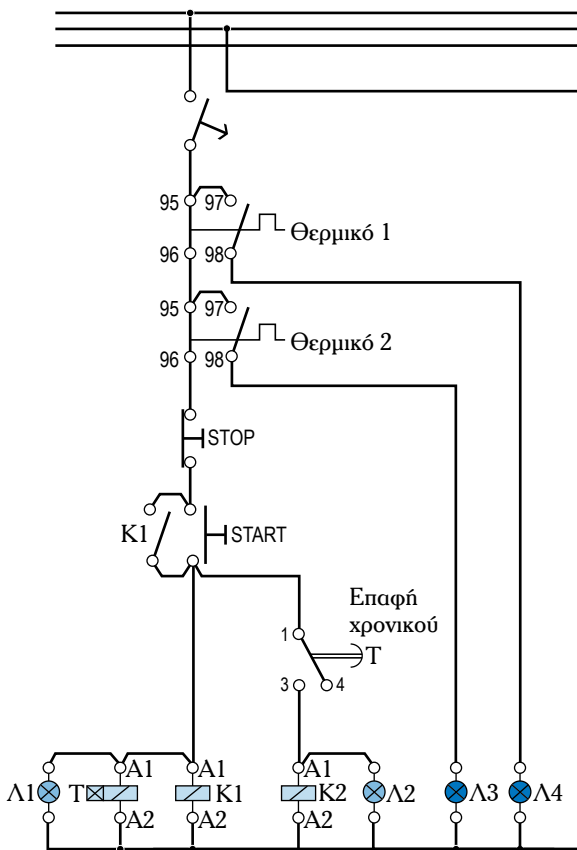
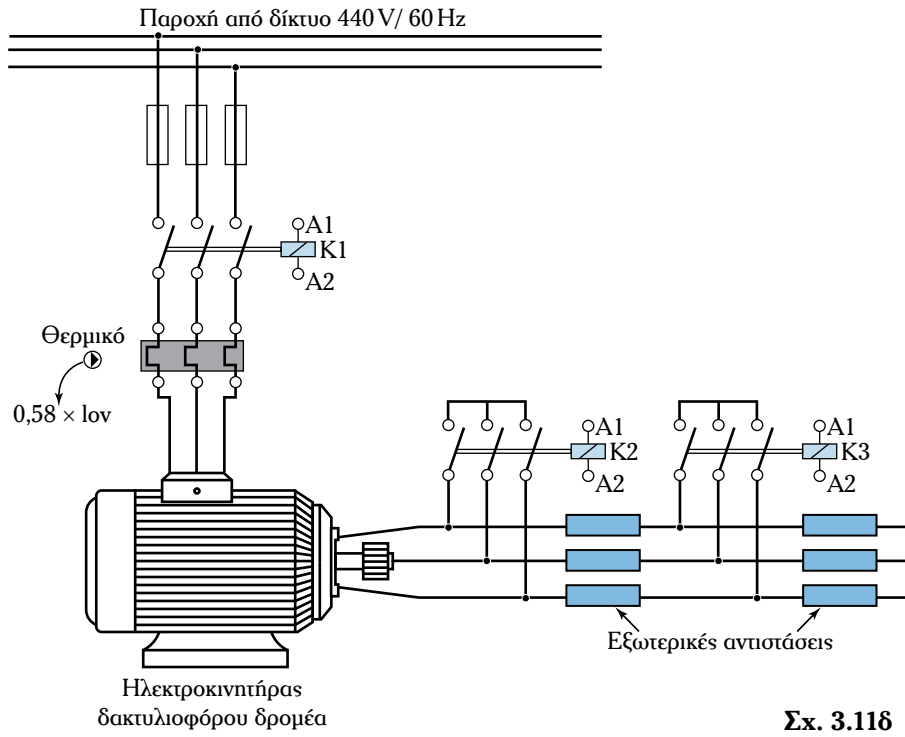
φορτώσεως του αντίστοιχου κινητήρα και ενεργοποίησης του θερμικού του. Να γραφεί πρόγραμμα και στις τρεις γλώσσες που υλοποιεί τον παραπάνω αυτοματισμό και να παρασταθεί ο τρόπος συνδέσεως των εισόδων και εξόδων σε έναν προγραμματιζόμενο λογικό ελεγκτή.

17. Να γραφεί πρόγραμμα σε γλώσσα Ladder που θα ελέγχει το ρεύμα του δρομέα του ασύγχρονου κινητήρα δακτυλιοφόρου δρομέα που φαίνεται στο σχήμα 3.11δ. Ο έλεγχος επιτυγχάνεται με την εισαγωγή της μέγιστης εξωτερικής αντιστάσεως κατά την εκκίνηση με ενεργοποίηση για 5 s, στη συνέχεια μείωση της τιμής της εξωτερικής αντιστάσεως με ενεργοποίηση του ρελέ K3 για 5 s και τέλος πλήρης βραχυκύκλωση του δρομέα με την ενεργοποίηση του ρελέ K2. Για την διαδικασία χρησιμοποιούνται ένα κομβίο START και ένα κομβίο STOP, καθώς επίσης και ένα θερμικό ρελέ και λυχνία ενδείξεως ενεργοποίησης του θερμικού. Να παρασταθεί ο τρόπος συνδέσεως των εισόδων και εξόδων σε έναν PLC.

18. Στο κύκλωμα ελέγχου του σχήματος 3.11ε με πίεση του κομβίου START εκκινεί ο πρώτος κινητήρας και μέσω του χρονικού T μετά από 30 s εκκινεί και ο δεύτερος. Ταυτόχρονα ανάβουν οι αντίστοιχες λυχνίες, οι οποίες δείχνουν την ενεργοποίησή τους. Στην περίπτωση που υπερφορτωθεί ένας από τους κινητήρες, διακόπεται η λειτουργία και των δύο, ενώ ταυτόχρονα ανάβει η ενδεικτική λυχνία του κινητήρα που υπερφορτώθηκε. Η λειτουργία των κινητήρων μπορεί να σταματήσει με το κομβίο STOP. Να γραφεί πρόγραμμα στις γλώσσες Ladder και FBD, που να υλοποιεί τον παραπάνω αυτοματισμό, και να παρασταθεί ο τρόπος συνδέσεως των εισόδων και εξόδων σε έναν PLC.

19. Το πρόγραμμα Ladder του σχήματος 3.11στ έχει ως σκοπό να υλοποιήσει την λογική του DN bit της εντολής ενός χρονικού off delay χρησιμοποιώντας την εντολή του χρονικού on delay. Δηλαδή με την ενεργοποίηση της εισόδου I1 ενεργοποιείται η έξοδος Q1, η οποία παραμένει ενεργοποιημένη μέχρι να παρέλθουν 15 s από την απενεργοποίηση της εισόδου I1. Θεωρείτε ότι το πρόγραμμα εκτελεί την λογική, για την οποία σχεδιάστηκε; Εάν όχι, τότε ποιο είναι το λάθος και πώς μπορεί να διορθωθεί;

20. Να γραφεί πρόγραμμα σε γλώσσα FBD, το οποίο θα υλοποιεί την εκκίνηση μέσω διακόπτη αστέρα-τριγώνου και θα μπορεί να εκτελέσει στον ίδιο κινητήρα αλλαγή φοράς περιστροφής. Να παρασταθεί ο τρόπος συνδέσεως των εισόδων και εξόδων σε έναν PLC.



16. ΕΠΙΛΥΣΗ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΩΝ ΑΥΤΟΜΑΤΙΣΜΟΥ ΜΕ ΠΛΕ

Επίλυση προβλημάτων αυτοματισμού με χρήση Προγραμματιζομένων Λογικών Ελεγκτών



8.1 Γενικά.

Σε αυτό το κεφάλαιο περιγράφεται μια συστηματική προσέγγιση στην αντιμετώπιση και επίλυση προβλημάτων αυτοματοποίησης με ολοκληρωμένες λύσεις αυτοματισμού (συστήματα), που στηρίζονται στη χρήση των *Προγραμματιζομένων Λογικών Ελεγκτών* (ΠΛΕ). Η προσέγγιση αυτή δίνει σημαντική βαρύτητα στον τρόπο καταγραφής και τεκμηρίωσης του προβλήματος αυτοματισμού και στην προτεινόμενη λύση, έτσι ώστε να μπορεί να επαναχρησιμοποιηθεί από διαφορετικούς τεχνικούς σε διαφορετικές χρονικές περιόδους.

8.2 Διαδικασία επίλυσης και τεκμηρίωσης.

Ο βασικός σκοπός της επίλυσης ενός προβλήματος αυτοματισμού είναι η ανάπτυξη μιας λύσης, που να επιβάλλει στο ελεγχόμενο σύστημα την επιθυμητή συμπεριφορά. Ταυτόχρονα, μια σωστή εφαρμογή αυτοματισμού πρέπει να ανταποκρίνεται και σε άλλα κριτήρια, όπως τα εξής:

- Να είναι οικονομικά εφικτή καταρχήν ως δαπάνη για την αρχική κατασκευή και εγκατάσταση της λύσης. Στο κόστος της εφαρμογής πρέπει να συνυπολογίζεται και η δαπάνη συντηρήσεως.
- Να είναι ασφαλής για τους χειριστές και για το περιβάλλον.

Μια συστηματική προσέγγιση με συγκεκριμένα βήματα και στάδια βοηθάει στην ανάπτυξη λύσεων, που να είναι αποτελεσματικές και ταυτόχρονα να ικανοποιούν τα παραπάνω κριτήρια. Τα συνήθη βήματα της διαδικασίας αναπτύξεως ολοκληρωμένων λύσεων αυτοματισμού με προγραμματιζόμενους λογικούς ελεγκτές είναι τα εξής:

- Περιγραφή του προβλήματος αυτοματισμού.
- Αναγνώριση των σημάτων και παραμέτρων που εμπλέκονται.
- Περιγραφή της λύσεως αυτοματισμού.
- Συνδεσμολογία και προγραμματισμός του ΠΛΕ.

Κάθε βήμα περιλαμβάνει την επεξεργασία πληροφοριών από το περιβάλλον και την κατασκευή ενός τμήματος της ολοκληρωμένης λύσεως. Ταυτόχρονα, κάθε βήμα περιλαμβάνει την αντίστοιχη τεκμηρίωση, ώστε να μπορεί να μεταδοθεί ή να καταχωρηθεί για μελλοντική χρήση.

8.3 Περιγραφή του προβλήματος.

Για να επιλυθεί ένα πρόβλημα αυτοματισμού, πρέπει καταρχήν να κατανοηθεί. Αυτή η κατανόηση αφορά σε δύο μέρη: στην αντίληψη του *περιβάλλοντος* του συστήματος του αυτοματισμού και στην αντίληψη του *στόχου* του αυτοματισμού.

8.3.1 Περιβάλλον του συστήματος αυτοματισμού.

Το *περιβάλλον του συστήματος αυτοματισμού* είναι η συγκεκριμένη βιομηχανική εφαρμογή ή η διάταξη στην οποία ανήκει ο αυτοματισμός. Αυτή η περιγραφή είναι αναγκαία, διότι ο σκοπός του συγκεκριμένου αυτοματισμού έχει νόημα μόνο για τη συγκεκριμένη διάταξη ή συσκευή. Επιπλέον, η περιγραφή του περιβάλλοντος δίνει πληροφορίες για τις συνθήκες στις οποίες ο αυτοματισμός πρέπει να λειτουργεί καθώς και για τους περιορισμούς που πρέπει να αντιμετωπίσει.

Το σχήμα 8.3α παρουσιάζει ένα παράδειγμα βιομηχανικής εφαρμογής. Πρόκειται για μια πρέσα θερμής συγκολλήσεως. Η πρέσα αποτελείται από έναν υδραυλικό κύλινδρο με έμβολο, στο άκρο του οποίου υπάρχει ένα ηλεκτρικό θερμαντικό στοιχείο. Τα υλικά που πρόκειται να συγκολληθούν (σε μορφή φύλλων) τοποθετούνται μεταξύ του εμβόλου του υδραυλικού κυλίνδρου και της βάσεως της πρέσας. Όταν ο κύλινδρος ενεργοποιηθεί, συμπιέζει τα δύο υλικά μεταξύ τους. Όταν το θερμαντικό στοιχείο ενεργοποιηθεί, θερμαίνει τα υλικά. Με αυτές τις δύο ενέργειες το πλαστικό από το οποίο αποτελούνται τα υλικά, «λιώνει» και τα δύο φύλλα ενώνονται σε ένα σώμα, δηλαδή συγκολλούνται.

Η πρέσα συγκολλήσεως λειτουργεί υπό την επί-

βλεψη ενός χειριστή, ο οποίος τοποθετεί τα υλικά προς συγκόλληση πάνω στη βάση της πρέσας. Ελέγχει την ενεργοποίηση του υδραυλικού κυλίνδρου και του θερμαντικού στοιχείου και, αφού ολοκληρωθεί η συγκόλληση, απομακρύνει τα συγκολλημένα υλικά.

8.3.2 Στόχος του συστήματος αυτοματισμού.

Ο στόχος του συστήματος αυτοματισμού είναι η συγκεκριμένη συμπεριφορά, την οποία το σύστημα αυτοματισμού πρέπει να εξασφαλίζει. Ο στόχος συνδέεται στενά με την περιγραφή της διατάξεως ή εφαρμογής, επειδή έτσι αποκτά νόημα μόνο για τις συγκεκριμένες συνθήκες και προδιαγραφές του περιβάλλοντος του συστήματος αυτοματισμού. Εξάλλου, ακόμη και ένας στόχος που είναι επιθυμητός σε διαφορετικές εφαρμογές, μπορεί για κάποιες να είναι ανέφικτος ή αντιοικονομικός.

Στην περίπτωση του παραδείγματος της πρέσας συγκολλήσεως ο στόχος του συστήματος αυτοματισμού είναι πολλαπλός:

α) Το σύστημα αυτοματισμού πρέπει να συμπιέξει τα δύο υλικά για αρκετό χρονικό διάστημα έτσι ώστε οι επιφάνειες που θα συγκολληθούν να διατηρούνται σε επαφή. Οι δοκιμές συγκολλήσεως έδειξαν ότι το διάστημα αυτό δεν χρειάζεται να ξεπερνά τα 20 δευτερόλεπτα. Παρατεταμένη συμπίεση μπορεί να προξενήσει μόνιμη παραμόρφωση στα υλικά.

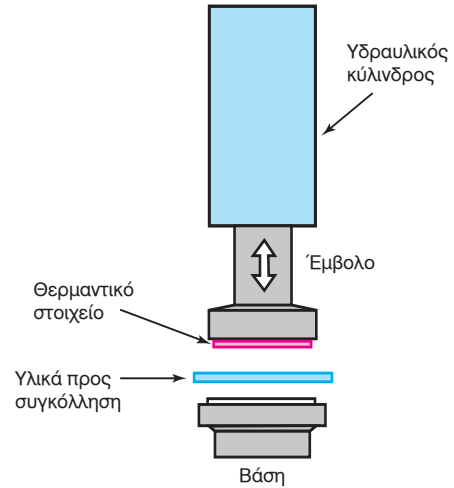
β) Ο αυτοματισμός πρέπει να διατηρεί τη θερμοκρασία της ενώσεως κάτω από τους 70 °C. Υψηλότερες θερμοκρασίες αλλοιώνουν το πλαστικό υλικό και η αντοχή του συγκολλημένου υλικού μειώνεται.

γ) Ο αυτοματισμός πρέπει να εξασφαλίζει ότι ο χειριστής της πρέσας, αφού τροφοδοτήσει την πρέσα με υλικά, έχει απομακρύνει τα χέρια του από το σημείο της συγκολλήσεως. Κατά την κάθοδό του, το έμβολο κινείται πολύ γρήγορα και με μεγάλη δύναμη και αποτελεί κίνδυνο για το χειριστή.

Όπως παρουσιάζει το σχήμα 8.3β, οι επιμέρους στόχοι αφορούν σε στοιχεία στην περιοχή της συγκολλήσεως, διότι εκεί επιτελείται και η βασική λειτουργία της πρέσας.

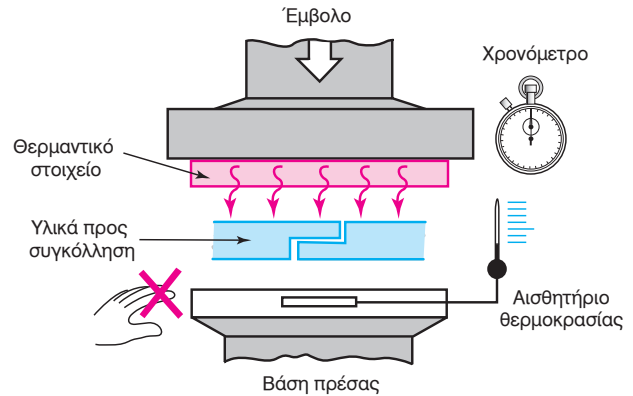
8.4 Περιγραφή σημάτων και συνδέσεων.

Η επιτυχημένη λύση αυτοματισμού με ΠΛΕ αξιοποιεί την υπολογιστική δύναμη και ευελιξία του ΠΛΕ, τον οποίο μπορούμε να προγραμματίσουμε, ώστε να επιτυγχάνει κατάλληλη επεξεργασία των πληροφοριών. Η μορφή αυτής της επεξεργασίας εξαρτάται από τις διαθέσιμες πληροφορίες. Άρα, η ανάπτυξη της λύσεως αυτοματισμού με ΠΛΕ προϋ-



Σχ. 8.3α.

Πρέσα (θερμής) συγκολλήσεως με ταυτόχρονη θέρμανση.



Σχ. 8.3β.

Η διαδικασία της θερμής συγκολλήσεως.

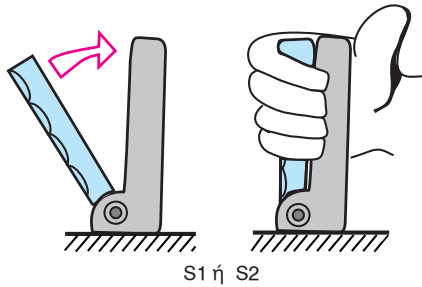
ποθέτει ότι καταρχήν γνωρίζουμε ποιες είναι οι διαθέσιμες πληροφορίες και ποιο είναι το περιεχόμενό τους.

Ειδικότερα, η επεξεργασία της λύσεως αυτοματισμού στηρίζεται σε προηγούμενη αναγνώριση και καταγραφή:

- Των παραμέτρων, που το σύστημα αυτοματισμού δέχεται από το περιβάλλον και ονομάζονται **σήματα εισόδου** ή **μεταβλητές εισόδου** ή **απλά εισόδοι** και
- των παραμέτρων, που το σύστημα αυτοματισμού μπορεί να επηρεάζει και ονομάζονται **σήματα εξόδου** ή **μεταβλητές εξόδου** ή **απλά εξόδοι**.

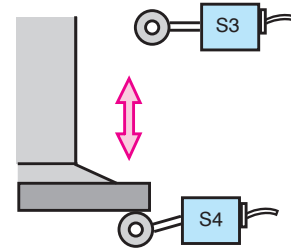
8.4.1 Είσοδοι.

Κάθε σήμα εισόδου παράγεται από αντίστοιχο αισθητήριο ή διάταξη εισόδου. Η πιο σημαντική πληροφορία σχετικά με ένα σήμα εισόδου είναι η



Σχ. 8.4α.

Ο χειροδιακόπτης ασφαλείας.



Σχ. 8.4β.

Οι διακόπτες θέσεως του εμβόλου.

αναγνώριση του οργάνου που το παράγει. Ανάλογα με τα χαρακτηριστικά του οργάνου, το σήμα εισόδου μπορεί να αντιστοιχεί σε λογική μεταβλητή, δηλαδή να παίρνει δύο ηλεκτρικές τιμές, που να αντιστοιχούν στις λογικές καταστάσεις «Αληθής» και «Ψευδής». Το σήμα εισόδου μπορεί να είναι αναλογικό και να παίρνει συνεχείς τιμές σε ένα διάστημα.

Στην περίπτωση του παραδείγματος της πρέσας συγκολλήσεως, το σύστημα αυτοματισμού δέχεται διάφορα λογικά (ψηφιακά) και αναλογικά σήματα. Το σχήμα 8.4α απεικονίζει έναν από τους δύο πανομοιότυπους χειροδιακόπτες ασφαλείας, που διαθέτει η πρέσα. Πρόκειται για μηχανικούς διακόπτες, που βρίσκονται τοποθετημένοι σε ασφαλή απόσταση από το σημείο συγκολλήσεως. Όταν ένας χειροδιακόπτης ενεργοποιηθεί, δίνει ένδειξη ότι ο χειριστής έχει τοποθετήσει το χέρι του στο διακόπτη και επομένως το έχει απομακρύνει από την επικίνδυνη ζώνη της πρέσας.

Ο χειροδιακόπτης είναι συνδεδεμένος ως «κανο-

νικά ανοικτός», δηλαδή στην κατάσταση ηρεμίας δεν άγει. Η επιλογή αυτή είναι η ασφαλέστερη, επειδή, εάν ο διακόπτης ήταν κανονικά κλειστός, σε περίπτωση διακοπής της ηλεκτρικής τροφοδοσίας το όργανο αυτό θα έδινε την εσφαλμένη ένδειξη ότι τα χέρια του χειριστή είναι ασφαλή. Ο πίνακας 8.4.1 παρουσιάζει τα χαρακτηριστικά των σημάτων εισόδου S1 και S2, που αντιστοιχούν στον αριστερό και δεξιό χειροδιακόπτη ασφαλείας.

Η βιομηχανική διάταξη του παραδείγματος περιλαμβάνει επίσης δύο μηχανικούς διακόπτες με τροχίσκο, τοποθετημένους στα άκρα της διαδρομής του εμβόλου, όπως παρουσιάζεται στο σχήμα 8.4β. Όταν ένας από τους διακόπτες ενεργοποιηθεί, δίνει ένδειξη ότι το έμβολο βρίσκεται στην αντίστοιχη θέση.

Ο πίνακας 8.4.2 που ακολουθεί καταγράφει τα χαρακτηριστικά των σημάτων εισόδου S3 και S4, που αντιστοιχούν στην ανώτερη και στην κατώτερη θέση της διαδρομής του εμβόλου.

ΠΙΝΑΚΑΣ 8.4.1.

Αναγνώριση εισόδων S1 και S2.

Είσοδος	Όργανο	Ηλεκτρικό σήμα	Λειτουργία
S1	Αριστερός (ΑΡ) χειροδιακόπτης, φέρει ένδειξη.	0 ή 12 V συνεχούς ρεύματος.	(Κλειστός/Ανοικτός) κλειστός (12 V), όταν πιέζεται από το χέρι. Ανοικτός (0 V) στην ελεύθερη θέση.
S2	Δεξιός (ΔΕ) χειροδιακόπτης, φέρει ένδειξη.	0 ή 12 V συνεχούς ρεύματος.	(Κλειστός/Ανοικτός) κλειστός (12 V), όταν πιέζεται από το χέρι. Ανοικτός (0 V) στην ελεύθερη θέση.

ΠΙΝΑΚΑΣ 8.4.2.

Αναγνώριση εισόδων S3 και S4.

Είσοδος	Όργανο	Ηλεκτρικό σήμα	Λειτουργία
S3	Άνω διακόπτης θέσεως, φέρει ένδειξη «S3».	0 ή 12 V συνεχούς ρεύματος.	(Κλειστός/Ανοικτός) κλειστός (12 V), όταν το έμβολο ανέβει. Ανοικτός (0 V) στην ελεύθερη θέση.
S4	Κάτω διακόπτης θέσεως, φέρει ένδειξη «S4».	0 ή 12 V συνεχούς ρεύματος.	(Κλειστός/Ανοικτός) κλειστός (12 V), όταν το έμβολο κατέβει. Ανοικτός (0 V) στην ελεύθερη θέση.

ΠΙΝΑΚΑΣ 8.4.3.
Αναγνώριση εισόδου TMP.

Είσοδος	Όργανο	Ηλεκτρικό σήμα	Λειτουργία
TMP	Αναλογικό θερμομέτρο ενσωματωμένο στη βάση της πρέσας.	0 έως 10 V	Περιοχή λειτουργίας από 20 έως 220 °C. Συντελεστής μετατροπής 0,05 Volt ανά βαθμό Κελσίου.

Η πρέσα συγκολλήσεως διαθέτει επίσης και ένα αναλογικό όργανο μετρήσεως της θερμοκρασίας, προσαρμοσμένο στη βάση της, όπως παρουσιάζεται στο σχήμα 8.4γ. Το όργανο περιέχει το καθαυτό αισθητήριο θερμοκρασίας και μια ηλεκτρονική διάταξη, που ενισχύει το σήμα το οποίο παράγεται από το αισθητήριο και το μετατρέπει σε ηλεκτρική τάση με μέγεθος ανάλογο προς τη θερμοκρασία.

Στον πίνακα 8.4.3 καταγράφονται τα χαρακτηριστικά του σήματος εισόδου TMP, το οποίο αντιστοιχεί στη μέτρηση της θερμοκρασίας συγκολλήσεως.

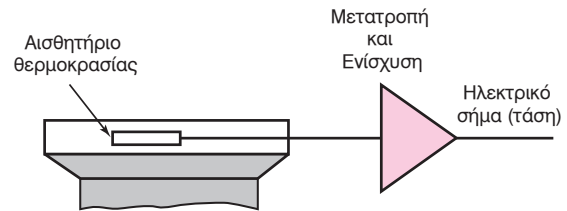
8.4.2 Έξοδοι.

Το σύστημα αυτοματισμού πρέπει να παράγει ένα σήμα εξόδου για κάθε διαθέσιμο όργανο, η λειτουργία του οποίου επηρεάζει το στόχο του αυτοματισμού. Η σημαντικότερη πληροφορία σχετικά με ένα σήμα εξόδου είναι η αναγνώριση του οργάνου που ελέγχεται από τον ΠΛΕ μέσω του συγκεκριμένου σήματος. Ανάλογα με τα χαρακτηριστικά του οργάνου, το σήμα εξόδου μπορεί να αντιστοιχεί σε λογική μεταβλητή, δηλαδή να παίρνει δύο ηλεκτρικές τιμές, που να αντιστοιχούν στις λογικές καταστάσεις «Αληθής» και «Ψευδής». Ακόμη, το σήμα εξόδου μπορεί να είναι αναλογικό και να παίρνει συνεχείς τιμές σε ένα διάστημα.

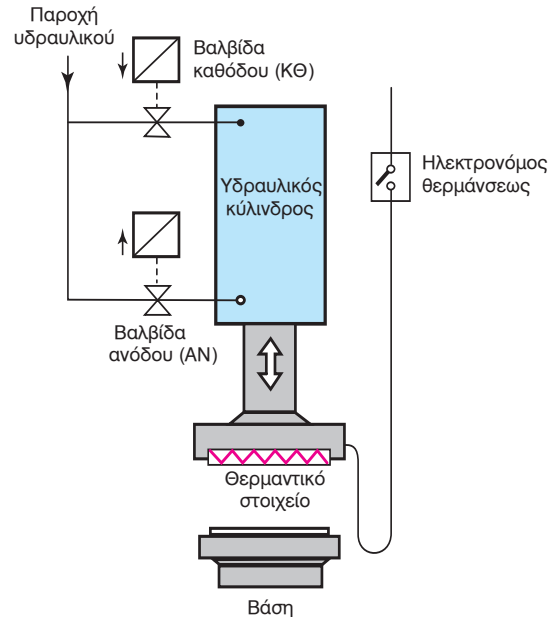
Στην περίπτωση του παραδείγματος της πρέσας συγκολλήσεως, το σύστημα αυτοματισμού παράγει τρία λογικά σήματα εξόδου, που απευθύνονται σε ισάριθμα όργανα δράσεως. Το σχήμα 8.4δ παρουσιάζει τη θέση και το ρόλο των οργάνων αυτών στη γενική διάταξη της πρέσας.

Η παροχή υδραυλικού υγρού υψηλής πίεσης στον υδραυλικό κύλινδρο ελέγχεται από δύο ηλεκτρομαγνητικές υδραυλικές βαλβίδες δύο θέσεων (ανοικτή ή κλειστή). Η μια βαλβίδα παρέχει υδραυλικό υγρό στο άνω διαμέρισμα του κυλίνδρου και προκαλεί την έκταση, δηλαδή την κάθοδο του εμβόλου και επομένως τη συμπίεση των υλικών στην πρέσα συγκολλήσεως. Η άλλη βαλβίδα παρέχει υδραυλικό υγρό στο κάτω διαμέρισμα του κυλίνδρου και προκαλεί τη συστολή, δηλαδή την άνοδο του εμβόλου.

Επίσης, η πρέσα διαθέτει θερμαντικό στοιχείο,



Σχ. 8.4γ.
Όργανο θερμοκρασίας.



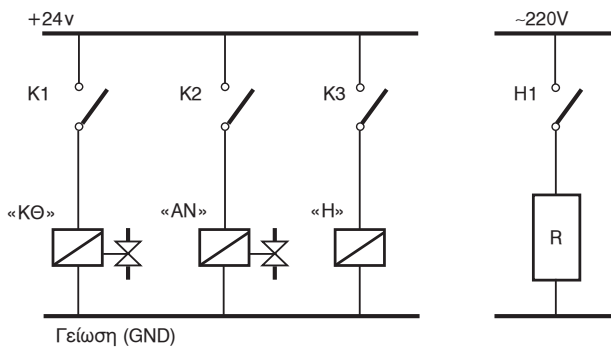
Σχ. 8.4δ.
Όργανα δράσεως της πρέσας.

ενσωματωμένο στην πλάκα πίεσης του εμβόλου. Το θερμαντικό στοιχείο είναι μια ηλεκτρική αντίσταση, η τροφοδοσία της οποίας ελέγχεται από την επαφή ενός ηλεκτρονόμου.

Το σχήμα 8.4ε παρουσιάζει τον τρόπο συνδέσεως των εξόδων του ΠΛΕ με τα όργανα δράσεως. Όπως δείχνει το κύκλωμα επαφών στην αριστερή πλευρά του σχήματος, η λογική έξοδος K1 του προγραμματιζόμενου λογικού ελεγκτή ελέγχει την ενεργοποίηση του πηνίου της υδραυλικής βαλβίδας «ΚΘ» για την κάθοδο του εμβόλου. Ομοίως, η έξοδος K2 ελέγχει το πηνίο της βαλβίδας «ΑΝ» για την άνοδο του εμβόλου. Ακόμη η λογική έξοδος K3

ΠΙΝΑΚΑΣ 8.4.4.
Αναγνώριση εξόδων.

Έξοδος	Όργανο	Ηλεκτρικό σήμα	Λειτουργία
K1	Πηνίο υδραυλικής βαλβίδας για την κάθοδο του εμβόλου.	0 ή 24 V	Εφόσον είναι «Αληθής», η βαλβίδα παρέχει υδραυλικό υγρό στο άνω διαμέρισμα του κυλίνδρου.
K2	Πηνίο υδραυλικής βαλβίδας για την άνοδο του εμβόλου.	0 ή 24 V	Εφόσον είναι «Αληθής», η βαλβίδα παρέχει υδραυλικό υγρό στο κάτω διαμέρισμα του κυλίνδρου.
K3	Ηλεκτρονόμος τροφοδοσίας θερμαντικού στοιχείου.	0 ή 24 V	Εφόσον είναι «Αληθής», ο ηλεκτρονόμος παρέχει 220 V (εναλλασσόμενου ρεύματος) στην αντίσταση του θερμαντικού στοιχείου.



Σχ. 8.4ε.

Κύκλωμα επαφών των εξόδων του ΠΑΕ.

ελέγχει το πηνίο του ηλεκτρονόμου Η. Μια επαφή αυτού του ηλεκτρονόμου (η Η1 στο σχήμα) ελέγχει με τη σειρά της την τροφοδοσία της ηλεκτρικής αντίστασης, που θερμαίνει την περιοχή της συγκολλήσεως.

Ο πίνακας 8.4.4 που ακολουθεί παρουσιάζει τα χαρακτηριστικά των σημάτων εξόδου για τον έλεγχο της κινήσεως του υδραυλικού κυλίνδρου και του θερμαντικού στοιχείου.

8.5 Περιγραφή της λύσεως αυτοματισμού.

Η βασική «λογική» οποιασδήποτε λύσεως αυτοματισμού μπορεί και πρέπει να περιγράφεται λεκτικά, με απλές φράσεις που να αποδίδουν τον τρόπο με τον οποίο λειτουργεί το σύστημα αυτοματισμού.

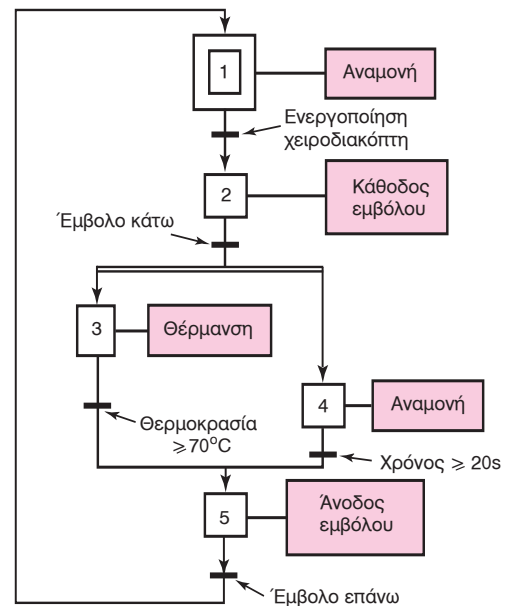
Στην περίπτωση του παραδείγματος της πρέσας συγκολλήσεως, η λειτουργία του συστήματος αυτοματισμού συνοψίζεται στις διαδικασίες που περιγράφονται παρακάτω.

- Αρχικά, το έμβολο βρίσκεται στην άνω θέση και ο χειριστής έχει τοποθετήσει τα υλικά προς συγκόλληση στη βάση της πρέσας. Όταν ο χειριστής ενεργοποιήσει ταυτόχρονα τους δύο χει-

ροδιακόπτες, το έμβολο κατεβαίνει και την ίδια στιγμή το θερμαντικό στοιχείο τροφοδοτείται με ηλεκτρικό ρεύμα.

- Το σύστημα ελέγχου παρακολουθεί την εξέλιξη της θερμοκρασίας της συγκολλήσεως καθώς και το χρόνο από την αρχή της συμπίεσης. Εάν η θερμοκρασία ξεπεράσει το προκαθορισμένο όριο των 70 °C ή εάν παρέλθει ο κανονικός χρόνος συμπίεσης των 20 δευτερολέπτων, η συγκόλληση έχει ολοκληρωθεί. Το έμβολο ανεβαίνει και η ηλεκτρική τροφοδοσία του θερμαντικού στοιχείου διακόπτεται.
- Ο χειριστής απομακρύνει το συγκολλημένο υλικό, τοποθετεί νέα υλικά στην πρέσα και ο κύκλος ξαναρχίζει.

Το σχήμα 8.5 παρουσιάζει αυτή τη λογική του



Σχ. 8.5.

Διάγραμμα φάσεων (GRAFCET) για το σύστημα αυτοματισμού της πρέσας.

ΠΙΝΑΚΑΣ 8.5.1.
Περιγραφή φάσεων και μεταβάσεων του διαγράμματος GRAFCET.

Φάση		Μετάβαση	
1	Αναμονή, καμμία κίνηση.	1/2	Ταυτόχρονη ενεργοποίηση του δεξιού και του αριστερού χειροδιακόπτη S1 και S2.
2	Κάθοδος εμβόλου, ενεργοποίηση πηνίου «ΚΘ» μέσω της εντολής K1.	2/3 2/4	Ενεργοποίηση του διακόπτη στην κάτω θέση του εμβόλου S4.
3	Θέρμανση, ενεργοποίηση πηνίου «Η» μέσω της εντολής K3.	3/5	Μετρούμενη θερμοκρασία TMP μεγαλύτερη ή ίση από 70 °C.
4	Αναμονή για χρονικό διάστημα 20 δευτερολέπτων, καμμία κίνηση.	4/5	Χρόνος αναμονής από την αρχή της συμπίεσως ίσος με 20 δευτερόλεπτα.
5	Άνοδος εμβόλου, ενεργοποίηση πηνίου «ΑΝ» μέσω της εντολής K2	5/1	Ενεργοποίηση του διακόπτη στην άνω θέση του εμβόλου S3.

αυτοματισμού με τη μορφή διαγράμματος φάσεων (GRAFCET). Πρόκειται για ένα κυκλικό διάγραμμα με πέντε φάσεις και πέντε μεταβάσεις.

Το διάγραμμα φάσεων συνοδεύεται από αναλυτικότερη περιγραφή του περιεχομένου των φάσεων και των μεταβάσεων. Ειδικότερα, ο πίνακας 8.5.1 περιγράφει τις εργασίες που περιλαμβάνονται σε κάθε φάση αναφέροντας τα συγκεκριμένα όργανα που ενεργοποιούνται, καθώς επίσης και τα σήματα εισόδου που χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό της συνθήκης για κάθε μετάβαση.

8.6 Συνδεσμολογία και προγραμματισμός του ΠΛΕ.

Ανεξάρτητα από τη μορφή στην οποία αποτυπώνεται το πρόγραμμα του ΠΛΕ, γραφική μορφή ή λίστα εντολών, πρέπει απαραίτητα να συνοδεύεται από αναλυτική κατάσταση, που να περιγράφει όλες τις χρησιμοποιούμενες μεταβλητές. Αυτή η κατάσταση σχηματίζεται ταυτόχρονα με την ανάπτυξη του κώδικα και αποτυπώνει την επιλογή των πλέον καταλλήλων μονάδων εισόδου, εξόδου, μνήμης και επεξεργασίας που ο ΠΛΕ διαθέτει, για να ανταποκριθεί στις απαιτήσεις του συστήματος αυτοματισμού.

Ο πίνακας 8.6.1 παρουσιάζει ένα παράδειγμα καταστάσεως μεταβλητών για έναν υποθετικό ΠΛΕ, που θα εξυπηρετήσει την αυτοματοποιημένη λειτουργία της πρέσας συγκολλήσεως. Η πρώτη στήλη του πίνακα αναφέρει την ονομασία της παραμέτρου, όπως αυτή χρησιμοποιείται κατά τον προγραμματισμό του ελεγκτή (π.χ. Π1.2). Η δεύτερη στήλη αναφέρει το συμβολικό όνομα του εξωτερι-

κού σήματος, που αντιστοιχεί (εφόσον υπάρχει) σε αυτήν την παράμετρο (π.χ. S2). Η τρίτη στήλη αναφέρει τα ειδικότερα χαρακτηριστικά της παραμέτρου και επιπρόσθετα τη σύνδεση της παραμέτρου με μια μονάδα (κάρτα) εισόδων ή εξόδων.

Στο παράδειγμα του πίνακα 8.6.1 οι εισοδοί που αντιστοιχούν στους διακόπτες S1, S2, S3 και S4 φιλοξενούνται στην κάρτα εισόδων που καταλαμβάνει τη θέση με αριθμό 1 στο σύστημα επεκτάσεως του ΠΛΕ. Η κάρτα αυτή αντιλαμβάνεται τις λογικές στάθμες «Αληθής» ή «Ψευδής» (True ή False) με ηλεκτρική τάση 0 ή 12 V αντίστοιχα.

Η αναλογική είσοδος της θερμοκρασίας υποστηρίζεται από διαφορετική κάρτα (αναλογικών εισόδων), εγκατεστημένη στη θέση με αριθμό 4. Όπως αναφέρεται στον πίνακα, αυτή η μονάδα εισόδου δέχεται τάσεις στην περιοχή 0 έως 10 V και τις μετατρέπει σε δυαδικές λέξεις των οκτώ bit, δηλαδή σε δεκαδικές τιμές 0 έως 255. Επομένως, το όργανο θερμοκρασίας αρχίζει να μετρά από τους 20 βαθμούς, με βήμα 0,1 V ανά βαθμό και συνολικό εύρος 200 βαθμούς. Άρα οι 70 βαθμοί αντιστοιχούν σε τιμή της τάσεως $(70 - 20) \times 0,05 = 2,5$ V. Η δεκαδική τιμή που αντιστοιχεί είναι $255 \times 2,5 / 10 = 64$.

Οι εξοδοί K1 και K2 χρησιμοποιούν μια κάρτα, εγκατεστημένη στη δεύτερη θέση. Η κάρτα αυτή παράγει σήματα τάσεως 0 ή 24 V και μπορεί να παράσχει στα πηνία των υδραυλικών βαλβίδων το αναγκαίο ρεύμα (στον πίνακα 8.6.1 εκτιμάται σε 250 mA). Η έξοδος K3, λόγω της χαμηλότερης απαιτήσεως του ηλεκτρονόμου σε ρεύμα, μπορεί να χρησιμοποιήσει μια ξεχωριστή κάρτα εξόδων μικρότερης

ΠΙΝΑΚΑΣ 8.6.1.
Κατάσταση μεταβλητών του προγράμματος της πρέσας.

Μνήμη	Σήμα	Είδος	Περιοχή λειτουργίας / μονάδα
I1.1	S1	Λογική είσοδος	0 ή 12 V (κάρτα εισόδων #1).
I1.2	S2	Λογική είσοδος	0 ή 12 V (κάρτα εισόδων #1).
I1.3	S3	Λογική είσοδος	0 ή 12 V (κάρτα εισόδων #1).
I1.4	S4	Λογική είσοδος	0 ή 12 V (κάρτα εισόδων #1).
DW4.2	TMP	Αναλογική είσοδος	0 έως 255 (οκτώ bit σε δυαδική απεικόνιση), αντιστοιχεί σε τάσεις εισόδου 0-10 V (κάρτα αναλογικών εισόδων #4).
Q2.1	K1	Λογική έξοδος	0 ή 24 V, 250 mA (κάρτα εξόδων #2).
Q2.2	K2	Λογική έξοδος	0 ή 24 V, 250 mA (κάρτα εξόδων #2).
Q3.1	K3	Λογική έξοδος	0 ή 24 V, 100 mA (κάρτα εξόδων #3).
T1	-	Χρονικό	0 έως 100 sec.

ισχύος, τοποθετημένη στην 3η θέση.

Οι μεταβλητές αυτές χρησιμοποιούνται στον παρακάτω κώδικα προγράμματος για ΠΛΕ.

```

-----
A I1.1 Αριστερός χειροδιακόπτης.
A I1.2 Δεξιός χειροδιακόπτης.
A I1.3 Έμβολο στην άνω θέση.
S Q2.1 Κάθοδος του εμβόλου.
-----
A I1.4 Έμβολο στην κάτω θέση.
S Q3.1 Θέρμανση.
-----
A I1.4 Έμβολο στην κάτω θέση.
KT 20S Φόρτωση χρόνου αναμονής 20 sec.
SD T1 Διέγερση της χρονικής λειτουργίας T1.
-----
L T1 Εκπνοή της χρονικής διάρκειας.
S Q2.2 Άνοδος του εμβόλου.
R Q3.1 Διακοπή της θερμάνσεως.
-----
L DW4.2 Ανάκτηση της θερμοκρασίας.
L KD64 Φόρτωση δεκαδικής τιμής 64.
>= Σύγκριση.
S Q2.2 Άνοδος του εμβόλου.
R Q3.1 Διακοπή της θερμάνσεως.

```

```

-----
A I1.3 Έμβολο στην άνω θέση.
R Q2.2 Διακοπή της ανόδου του εμβόλου.

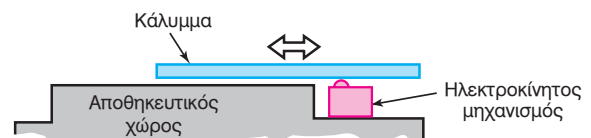
```

8.7 Παράδειγμα: έλεγχος θέσεως.

Η παρούσα ενότητα παρουσιάζει ένα απλό πρόβλημα αυτοματισμού, το οποίο επιλύεται με χρήση Προγραμματιζόμενου Λογικού Ελεγκτή. Η παρουσίαση ακολουθεί τη διαδικασία και τα στάδια επιλύσεως και τεκμηριώσεως που περιγράφηκαν στις προηγούμενες ενότητες.

8.7.1 Περιβάλλον και στόχος του συστήματος αυτοματισμού.

Το σχήμα 8.7α παρουσιάζει ένα απλό σύστημα σφραγίσεως αποθηκευτικού χώρου (αμπαριού φορτηγού πλοίου) με συρόμενο κάλυμμα. Το κάλυμμα συνδέεται με ηλεκτροκίνητο μηχανισμό, ο οποίος είναι σε θέση να το μετατοπίζει μεταξύ δύο ακραίων θέσεων: την πλήρη σφράγιση (τοποθέτη-



Σχ. 8.7α.

Σύστημα σφραγίσεως αποθηκευτικού χώρου.

ση του καλύμματος στο στόμιο του αποθηκευτικού χώρου) και την πλήρη αποκάλυψη (μέγιστη απόσυρση του καλύμματος από το στόμιο).

Η σφράγιση του αποθηκευτικού χώρου γίνεται υπό την επίβλεψη ενός χειριστή. Ο στόχος του συστήματος αυτοματισμού είναι διπλός:

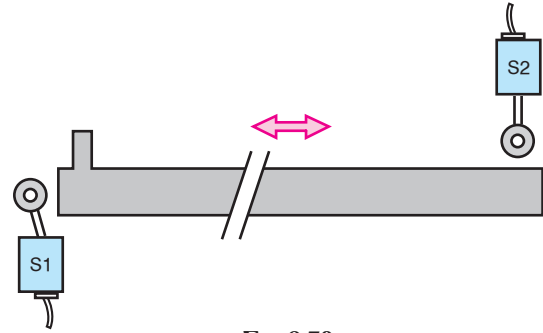
α) Να εξασφαλίζει ότι η τοποθέτηση του καλύμματος μεταξύ των ανωτέρω δύο ακραίων θέσεων ακολουθεί τις εντολές του χειριστή.

β) Να ενημερώνει, με κατάλληλες ενδείξεις, το χειριστή σχετικά με την τρέχουσα θέση του καλύμματος.

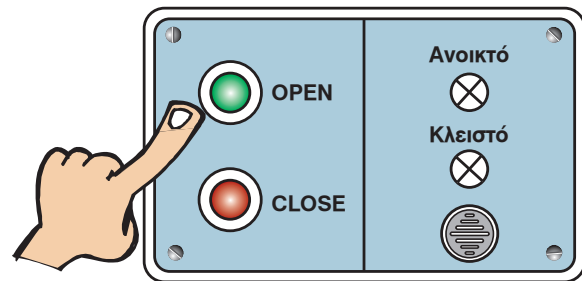
8.7.2 Περιγραφή εισόδων.

Το σύστημα αυτοματισμού δέχεται από το περιβάλλον τέσσερα λογικά (On/Off) σήματα εισόδου από ισάριθμα αισθητήρια. Ειδικότερα, η αναγνώριση της θέσεως του καλύμματος μεταξύ των ακραίων θέσεων (σφράγιση και αποκάλυψη) επιτυγχάνεται με δύο μηχανικούς διακόπτες με τροχίσκο, κατάλληλα τοποθετημένους στα άκρα της διαδρομής του καλύμματος, όπως παρουσιάζεται στο σχήμα 8.7β. Όταν ένας διακόπτης ενεργοποιηθεί (αλλάξει κατάσταση), δίνει ένδειξη ότι το κάλυμμα βρίσκεται στην αντίστοιχη θέση.

Επίσης, η αντίληψη των εντολών του χειριστή επιτυγχάνεται με δύο ηλεκτρομηχανικούς διακόπτες πλήκτρου, τοποθετημένους στον πίνακα ελέγχου και χειρισμού του συστήματος αυτοματισμού, όπως παρουσιάζεται στο σχήμα 8.7γ. Κάθε πλήκτρο αντιστοιχεί στην επιθυμητή κίνηση του καλύμ-



Σχ. 8.7β.
Διακόπτες θέσεως του καλύμματος.



Σχ. 8.7γ.
Πίνακας ελέγχου και χειρισμού.

ματος προς την αντίστοιχη ακραία θέση, δηλαδή σε εντολή σφραγίσεως ή αποκαλύψεως.

Ο πίνακας 8.7.1 καταγράφει τα χαρακτηριστικά των σημάτων εισόδου S1 έως S4 που αντιστοιχούν στις ανωτέρω αναφερθείσες εισόδους του συστήματος.

ΠΙΝΑΚΑΣ 8.7.1.
Αναγνώριση εισόδων.

Είσοδος	Όργανο	Ηλεκτρικό σήμα	Λειτουργία
S1	Διακόπτης αναγνώρισεως θέσεως σφραγίσεως, φέρει ένδειξη "S1".	0 ή 12 V συνεχούς ρεύματος.	Τύπος "Κανονικά Ανοικτός". Κλειστός (12 V), όταν το κάλυμμα σφραγίσει το στόμιο. Ανοικτός (0 V) στην ελεύθερη θέση.
S2	Διακόπτης αναγνώρισεως θέσεως αποκαλύψεως, φέρει ένδειξη "S2".	0 ή 12 V συνεχούς ρεύματος.	Τύπος "Κανονικά Ανοικτός". Κλειστός (12 V), όταν το κάλυμμα απομακρυνθεί από το στόμιο. Ανοικτός (0 V) στην ελεύθερη θέση.
S3	Πλήκτρο εντολής σφραγίσεως, φέρει ένδειξη "CLOSE".	0 ή 12 V συνεχούς ρεύματος.	Τύπος "Κανονικά Ανοικτός". Κλειστός (12 V), όταν πιέζεται από το χειριστή. Ανοικτός (0 V) στην ελεύθερη θέση.
S4	Πλήκτρο εντολής αποκαλύψεως, φέρει ένδειξη "OPEN".	0 ή 12 V συνεχούς ρεύματος.	Τύπος "Κανονικά Ανοικτός". Κλειστός (12 V), όταν πιέζεται από το χειριστή. Ανοικτός (0 V) στην ελεύθερη θέση.

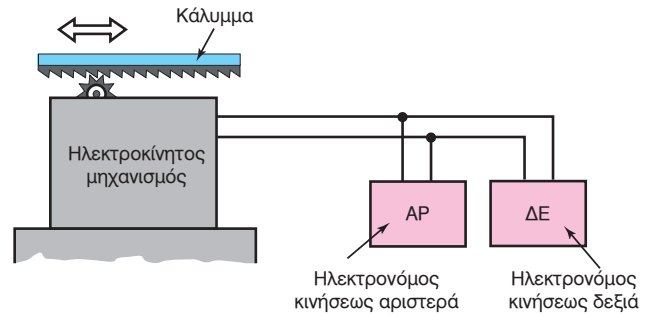
8.7.3 Περιγραφή εξόδων.

Η ηλεκτρική τροφοδοσία του μηχανισμού κινήσεως του καλύμματος ελέγχεται από δύο ηλεκτρονόμους. Το σχήμα 8.7δ παρουσιάζει τη θέση και το ρόλο των οργάνων αυτών στη διάταξη του συστήματος σφραγίσεως.

Επίσης, η τρέχουσα κατάσταση της θέσεως του καλύμματος παρουσιάζεται στο χειριστή με τρεις ενδείξεις: δύο οπτικές που αντιστοιχούν στις δύο ακραίες θέσεις του καλύμματος και μια ηχητική που αντιστοιχεί σε ενδιάμεση (απροσδιόριστη) θέση.

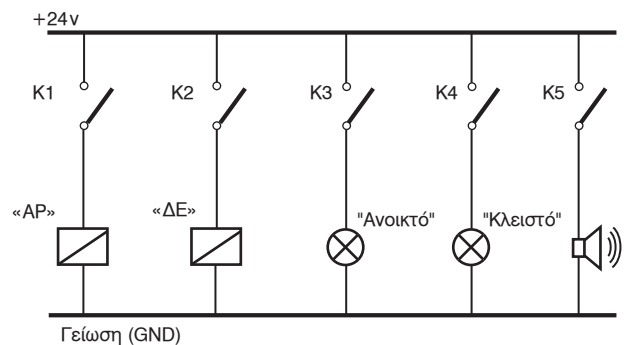
Το σχήμα 8.7ε παρουσιάζει τον τρόπο συνδέσεως των εξόδων του ΠΛΕ με τα όργανα δράσεως. Όπως δείχνει το κύκλωμα επαφών στην αριστερή πλευρά του σχήματος, η λογική έξοδος Κ1 του προγραμματιζόμενου λογικού ελεγκτή ελέγχει την ενεργοποίηση του πηνίου του ηλεκτρονόμου "ΔΕ" για τη μετακίνηση του καλύμματος προς τη θέση σφραγίσεως. Ομοίως, η έξοδος Κ2 ελέγχει το πηνίο του ηλεκτρονόμου "ΑΡ" για τη μετακίνηση του καλύμματος προς τη θέση αποκαλύψεως. Επίσης, οι λογικές εξόδους Κ3 έως Κ5 ελέγχουν τα πηνία ισαρίθμων ηλεκτρονόμων που παράγουν τις ανωτέρω αναφερόμενες ενδείξεις: "Κλειστό", "Ανοικτό" και ηχητική επισήμανση στον πίνακα ελέγχου και χειρισμού του σχήματος 8.7γ.

Ο πίνακας 8.7.2 καταγράφει τα χαρακτηριστικά



Σχ. 8.7δ.

Όργανα δράσεως του μηχανισμού κινήσεως του καλύμματος.



Σχ. 8.7ε.

Κύκλωμα επαφών των εξόδων του ΠΛΕ.

ΠΙΝΑΚΑΣ 8.7.2.

Αναγνώριση εξόδων Κ1, Κ2 και Κ3.

Έξοδος	Όργανο	Ηλεκτρικό σήμα	Λειτουργία
Κ1	Ηλεκτρονόμος τροφοδοσίας του κινητήρα του μηχανισμού, φέρει ένδειξη "ΑΡ".	0 ή 24 V	Εφόσον είναι Αληθής, οι επαφές του πηνίου διατάσσουν την πολικότητα της ηλεκτρικής τροφοδοσίας του κινητήρα για μετακίνηση του καλύμματος προς τα αριστερά (σφράγιση).
Κ2	Ηλεκτρονόμος τροφοδοσίας του κινητήρα του μηχανισμού, φέρει ένδειξη "ΔΕ".	0 ή 24 V	Εφόσον είναι Αληθής, οι επαφές του πηνίου διατάσσουν την πολικότητα της ηλεκτρικής τροφοδοσίας του κινητήρα για μετακίνηση του καλύμματος προς τα δεξιά (απόσυρση).
Κ3	Ηλεκτρονόμος φωτεινής ενδείξεως "Κλειστό".	0 ή 24 V	Εφόσον είναι Αληθής, ο ηλεκτρονόμος παρέχει τροφοδοσία στην ενδεικτική λυχνία "Κλειστό" του πίνακα.
Κ4	Ηλεκτρονόμος φωτεινής ενδείξεως "Ανοικτό".	0 ή 24 V	Εφόσον είναι Αληθής, ο ηλεκτρονόμος παρέχει τροφοδοσία στην ενδεικτική λυχνία "Ανοικτό" του πίνακα.
Κ5	Ηλεκτρονόμος ηχητικής σημάνσεως.	0 ή 24 V	Εφόσον είναι Αληθής, ο ηλεκτρονόμος παρέχει τροφοδοσία στην ηχητική ένδειξη (σειρήνα).

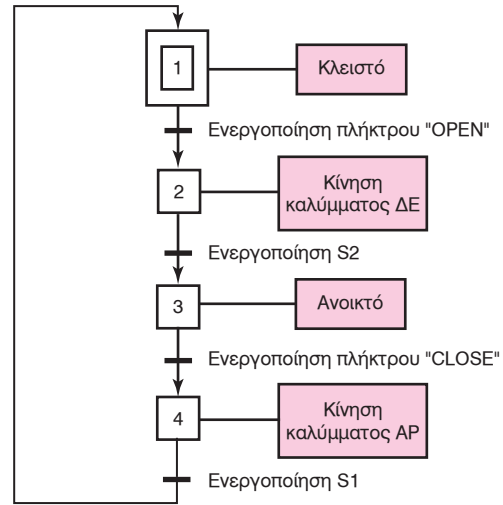
των σημάτων εξόδου για τον έλεγχο της κινήσεως του καλύμματος.

8.7.4 Περιγραφή της λύσεως αυτοματισμού.

Η λειτουργία του συστήματος αυτοματισμού συνοψίζεται στις διαδικασίες που περιγράφονται παρακάτω.

- Αρχικά το κάλυμμα βρίσκεται σε θέση σφραγίσεως και η αντίστοιχη ένδειξη φωτοβολεί. Όταν ο χειριστής ενεργοποιήσει το πλήκτρο OPEN, το κάλυμμα μετακινείται προς τα δεξιά (αποσύρεται) και ταυτόχρονα η σειρήνα ηχεί.
- Το σύστημα ελέγχου παρακολουθεί την άφιξη του καλύμματος στην ακραία δεξιά θέση (πλήρης απόσυρση). Όταν το κάλυμμα αποσυρθεί πλήρως, η λειτουργία της σειρήνας διακόπτεται και η αντίστοιχη ένδειξη φωτοβολεί.
- Όταν ο χειριστής ενεργοποιήσει το πλήκτρο CLOSE, το κάλυμμα μετακινείται προς τα αριστερά (σφραγίζει το στόμιο) και ταυτόχρονα η σειρήνα ηχεί.
- Το σύστημα ελέγχου παρακολουθεί την άφιξη του καλύμματος στην ακραία αριστερή θέση (σφράγιση). Όταν το κάλυμμα κλείσει πλήρως, η λειτουργία της σειρήνας διακόπτεται και η αντίστοιχη ένδειξη φωτοβολεί.

Το σχήμα 8.7στ παρουσιάζει αυτή τη λογική του αυτοματισμού με τη μορφή διαγράμματος φάσεων (GRAFSET). Πρόκειται για ένα κυκλικό διάγραμμα με τέσσερις φάσεις και ισάριθμες μεταβάσεις. Το διάγραμμα φάσεων συνοδεύεται από αναλυτικότερη περιγραφή του περιεχομένου των φάσεων και των μεταβάσεων στον πίνακα 8.7.3, ο οποίος περι-



Σχ. 8.7στ.
Διάγραμμα φάσεων (GRAFSET).

γράφει τις εργασίες που περιλαμβάνονται σε κάθε φάση αναφέροντας τα συγκεκριμένα όργανα που ενεργοποιούνται, καθώς επίσης και τα σήματα εισόδου που χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό της συνθήκης για κάθε μετάβαση.

8.7.5 Συνδεσμολογία και προγραμματισμός του ΠΛΕ.

Ο πίνακας 8.7.4 παρουσιάζει ένα παράδειγμα καταστάσεως μεταβλητών για έναν υποθετικό ΠΛΕ, που θα εξυπηρετήσει την αυτοματοποιημένη λειτουργία της κινήσεως του καλύμματος. Η πρώτη στήλη του πίνακα αναφέρει την ονομασία της παραμέτρου, όπως αυτή χρησιμοποιείται κατά τον προγραμματισμό του ελεγκτή (π.χ. Π1.2). Η δεύτερη στήλη αναφέρει το συμβολικό όνομα του εξωτερικού σήματος που αντιστοιχεί (εφόσον υπάρχει) σ' αυτήν την

ΠΙΝΑΚΑΣ 8.7.3.

Περιγραφή φάσεων και μεταβάσεων του διαγράμματος GRAFCET.

Φάση		Μετάβαση	
1	Κάλυμμα κλειστό. Η φωτεινή ένδειξη “Κλειστό” στον πίνακα ελέγχου και χειρισμού είναι ενεργή.	1/2	Ενεργοποίηση του διακόπτη πλήκτρου “Open”.
2	Κίνηση του καλύμματος προς τα δεξιά. Ο ηλεκτρονόμος κινήσεως “ΔΕ” είναι ενεργός και η ηχητική ένδειξη (σειρήνα) σημαίνει.	2/3	Ενεργοποίηση του διακόπτη θέσεως S2.
3	Κάλυμμα ανοικτό. Η φωτεινή ένδειξη “Ανοικτό” στον πίνακα ελέγχου και χειρισμού είναι ενεργή.	3/4	Ενεργοποίηση του διακόπτη πλήκτρου “Close”.
4	Κίνηση του καλύμματος προς τα αριστερά. Ο ηλεκτρονόμος κινήσεως “ΑΡ” είναι ενεργός και η ηχητική ένδειξη (σειρήνα) σημαίνει.	4/1	Ενεργοποίηση του διακόπτη θέσεως S2.

ΠΙΝΑΚΑΣ 8.7.4.**Κατάσταση μεταβλητών του προγράμματος ελέγχου της κινήσεως του καλύμματος.**

Μνήμη	Σήμα	Είδος	Περιοχή λειτουργίας / μονάδα
I1.1	S1	Λογική είσοδος	0 ή 12 V (κάρτα εισόδων #1)
I1.2	S2	Λογική είσοδος	
I1.3	S3	Λογική είσοδος	
I1.4	S4	Λογική είσοδος	
Q2.1	K1	Λογική έξοδος	0 ή 24 V, 100 mA(κάρτα εξόδων #2)
Q2.2	K2	Λογική έξοδος	
Q2.3	K3	Λογική έξοδος	
Q2.4	K4	Λογική έξοδος	
Q2.5	K5	Λογική έξοδος	

παράμετρο (π.χ. S2). Η τρίτη στήλη αναφέρει τα ειδικότερα χαρακτηριστικά της παραμέτρου και επιπρόσθετα τη σύνδεση της παραμέτρου με μια μονάδα (κάρτα) εισόδων ή εξόδων.

Στο παράδειγμα του πίνακα, όλες οι είσοδοι (που αντιστοιχούν στους διακόπτες S1, έως και S4) φιλοξενούνται στην κάρτα εισόδων που καταλαμβάνει τη θέση με αριθμό 1 στο σύστημα επεκτάσεως του ΠΛΕ. Η κάρτα αυτή αντιλαμβάνεται τις λογικές στάθμες Αληθής ή Ψευδής (True ή False) με ηλεκτρική τάση 0 ή 12 V αντίστοιχα. Επίσης, όλες οι έξοδοι (που αντιστοιχούν στις επαφές K1 έως και K5) χρησιμοποιούν μια κάρτα εγκατεστημένη στη δεύτερη θέση. Η κάρτα αυτή παράγει σήματα τάσεως 0 ή 24 V και μπορεί να παράσχει στα πηνία των αντιστοιχών ηλεκτρονόμων το αναγκαίο ηλεκτρικό ρεύμα (στον πίνακα εκτιμάται κατά μέγιστο σε 100 mA).

Οι μεταβλητές αυτές χρησιμοποιούνται στον παρακάτω κώδικα προγράμματος για ΠΛΕ.

A I1.4 πλήκτρο OPEN
S Q2.2 κίνηση αποσύρσεως
S Q2.5 σειρήνα ηχεί

A I1.2 κάλυμμα ανοικτό
R Q2.2 διακοπή της κίνησης αποσύρσεως
R Q2.5 διακοπή της σειρήνας
S Q2.3 ένδειξη "Ανοικτό"

A I1.3 πλήκτρο CLOSE
S Q2.1 κίνηση σφραγίσεως
S Q2.5 σειρήνα ηχεί

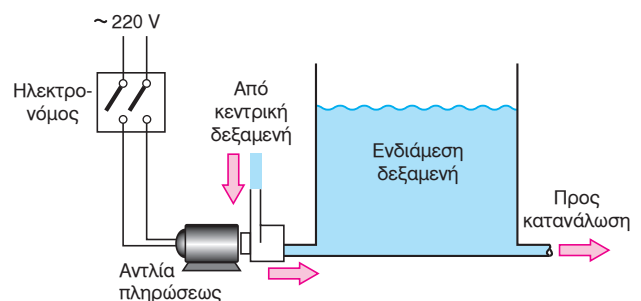
A I1.1 κάλυμμα κλειστό
R Q2.1 διακοπή της κινήσεως σφραγίσεως
R Q2.5 διακοπή της σειρήνας
S Q2.3 ένδειξη "Κλειστό"

8.8 Παράδειγμα: έλεγχος στάθμης.

Η δυνατότητα προγραμματισμού και η ευελιξία της διασυνδέσεως με διαφορετικά ελεγχόμενα συστήματα, καθιστούν τους ΠΛΕ κατάλληλους για ευρύ φάσμα εφαρμογών αυτοματισμού. Η παρούσα ενότητα παρουσιάζει ένα παράδειγμα χρήσεως ΠΛΕ για τον έλεγχο μιας υδραυλικής διατάξεως.

8.8.1 Περιβάλλον και στόχος του συστήματος αυτοματισμού.

Το σχήμα 8.8α παρουσιάζει ένα απλό σύστημα ελέγχου της στάθμης μιας ενδιάμεσης δεξαμενής (π.χ. καυσίμου ή ύδατος). Η ενδιάμεση δεξαμενή τροφοδοτείται μέσω αντλίας από μια κεντρική δεξαμενή και παρέχει, ως εκροή, υγρό σε χρονικά διακυμαινόμενη κατανάλωση.

**Σχ. 8.8α.**

Σύστημα ενδιάμεσης δεξαμενής.

Ο στόχος του συστήματος αυτοματισμού είναι διπλός:

α) Να διατηρεί τη στάθμη της δεξαμενής μεταξύ του ανώτατου και του μέσου επιπέδου πληρώσεως, παρά τις διακυμάνσεις της καταναλώσεως.

β) Να ενημερώνει, με κατάλληλη ένδειξη, όταν η στάθμη πέσει κάτω από ένα ελάχιστο επίπεδο, όπως στην περίπτωση απρόβλεπτης ιδιαίτερα υψηλής καταναλώσεως, βλάβης της αντλίας, υδραυλικής διαρροής ή εξαντλήσεως του αποθέματος της κεντρικής δεξαμενής.

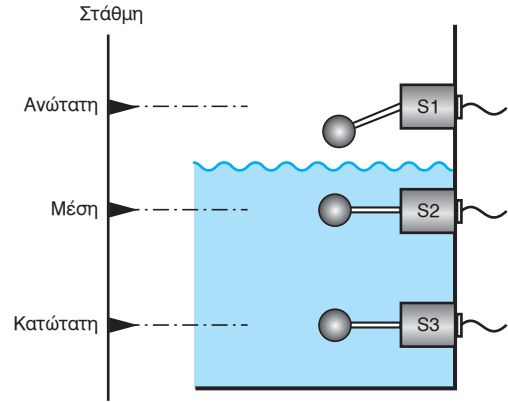
8.8.2 Περιγραφή εισόδων και εξόδων.

Το σύστημα αυτοματισμού δέχεται από το περιβάλλον τρία λογικά (On/Off) σήματα εισόδου από ιαρίθιμα αισθητήρια. Ειδικότερα, η αναγνώριση της πληρότητας της δεξαμενής επιτυγχάνεται με τρεις διακόπτες πλωτήρα, κατάλληλα τοποθετημένους στο επίπεδο της ανώτατης, της μέσης και της κατώτατης επιτρεπτής στάθμης, όπως παρουσιάζεται στο σχήμα 8.8β. Όταν ένας διακόπτης ενεργοποιηθεί (αλλάξει κατάσταση), δίνει ένδειξη ότι η στάθμη βρίσκεται στην αντίστοιχη θέση.

Ο πίνακας 8.8.1 καταγράφει τα χαρακτηριστικά των σημάτων εισόδου S1 έως και S3 που αντιστοιχούν στις ανωτέρω αναφερθείσες εισόδους του συστήματος.

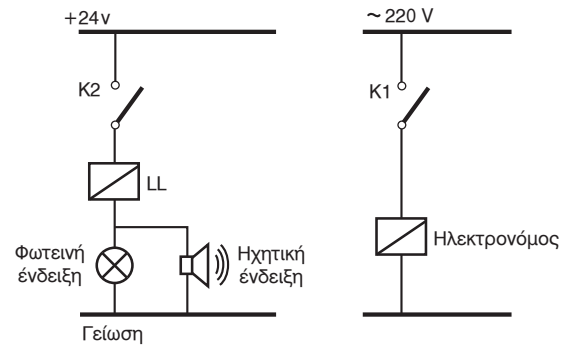
Επίσης, η ηλεκτρική τροφοδοσία της αντλίας πληρώσεως ελέγχεται από έναν ηλεκτρονόμο, όπως παρουσιάζεται στο σχήμα 8.8α.

Το σχήμα 8.8γ παρουσιάζει τον τρόπο συνδέσεως των εξόδων του ΠΛΕ με τα όργανα δράσεως. Όπως δείχνει το κύκλωμα επαφών στην δεξιά πλευρά του σχήματος, η λογική έξοδος K1 του προγραμματιζόμενου λογικού ελεγκτή ελέγχει την ενεργοποίηση του πηνίου του ηλεκτρονόμου για την ηλεκτρική τροφοδοσία της αντλίας πληρώσεως. Η λογική έξοδος K2 ελέγχει το πηνίο του ηλεκτρονόμου "LL" που παράγει φωτεινή και ηχητική σήμανση.



Σχ. 8.8β.

Διακόπτες στάθμης της δεξαμενής.



Σχ. 8.8γ.

Κύκλωμα επαφών των εξόδων του ΠΛΕ.

ΠΙΝΑΚΑΣ 8.8.1.
Αναγνώριση εισόδων.

Είσοδος	Όργανο	Ηλεκτρικό σήμα	Λειτουργία
S1	Διακόπτης πλωτήρα, αναγνώρισεως της ανώτατης στάθμης, φέρει ένδειξη "S1".	0 ή 12 V συνεχούς ρεύματος.	Τύπος "Κανονικά Ανοικτός". Κλειστός (12 V), όταν ο πλωτήρας ανυψωθεί. Ανοικτός (0 V) στην ελεύθερη θέση.
S2	Διακόπτης πλωτήρα, αναγνώρισεως της μέσης στάθμης, φέρει ένδειξη "S2".	0 ή 12 V συνεχούς ρεύματος.	Τύπος "Κανονικά Ανοικτός". Κλειστός (12 V), όταν ο πλωτήρας ανυψωθεί. Ανοικτός (0 V) στην ελεύθερη θέση.
S3	Διακόπτης πλωτήρα, αναγνώρισεως της κατώτερης στάθμης, φέρει ένδειξη "S3".	0 ή 12 V συνεχούς ρεύματος.	Τύπος "Κανονικά Κλειστός". Ανοικτός(0 V), όταν ο πλωτήρας ανυψωθεί. Κλειστός (12 V) στην ελεύθερη θέση.

ΠΙΝΑΚΑΣ 8.8.2.
Αναγνώριση εξόδων K1 και K2.

Έξοδος	Όργανο	Ηλεκτρικό σήμα	Λειτουργία
K1	Ηλεκτρονόμος τροφοδοσίας του κινητήρα της αντλίας, φέρει ένδειξη “PUMP”.	0 ή 220 V	Εφόσον είναι Αληθής, οι επαφές του πηνίου συνδέουν την ηλεκτρική παροχή με τη γραμμή τροφοδοσίας του κινητήρα της αντλίας πληρώσεως.
K2	Ηλεκτρονόμος ενδείξεως “Χαμηλή στάθμη”.	0 ή 24 V	Εφόσον είναι Αληθής, οι επαφές του πηνίου ενεργοποιούν τη φωτεινή και ηχητική ένδειξη.

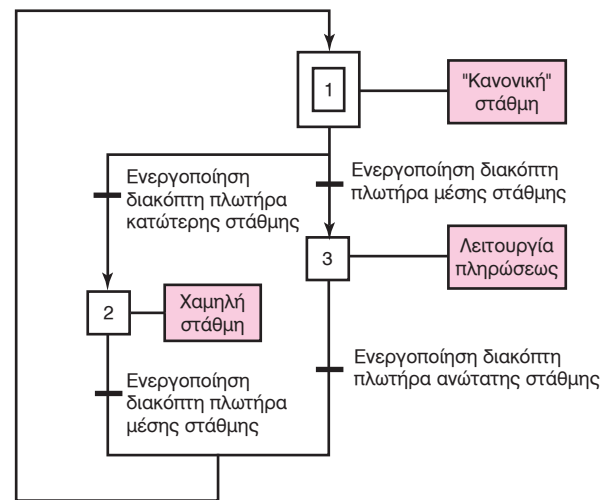
Ο πίνακας 8.8.2 καταγράφει τα χαρακτηριστικά των σημάτων εξόδου για τον έλεγχο της πληρώσεως της δεξαμενής.

8.8.3 Περιγραφή της λύσεως αυτοματισμού.

Η λειτουργία του συστήματος αυτοματισμού συνυψίζεται στις διαδικασίες που περιγράφονται παρακάτω.

- Αρχικά η στάθμη της δεξαμενής βρίσκεται στην ανώτατη στάθμη πλήρωσεως. Όταν ο διακόπτης πλωτήρα της μέσης στάθμης ενεργοποιηθεί, η αντλία πληρώσεως εκκινεί.
- Όταν ο διακόπτης πλωτήρα της ανώτατης στάθμης ενεργοποιηθεί, η λειτουργία της αντλίας πληρώσεως διακόπτεται.
- Όταν ο διακόπτης πλωτήρα της κατώτατης στάθμης ενεργοποιηθεί, η φωτεινή και ηχητική ένδειξη ενεργοποιούνται.

Το σχήμα 8.8δ παρουσιάζει αυτή τη λογική του αυτοματισμού με τη μορφή διαγράμματος φάσεων (GRAFSET). Πρόκειται για ένα κυκλικό διάγραμμα με τρεις φάσεις και ισάριθμες μεταβάσεις. Το διάγραμμα φάσεων συνοδεύεται από αναλυτικότερη



Σχ. 8.8δ.

Διάγραμμα φάσεων (GRAFSET).

περιγραφή του περιεχομένου των φάσεων και των μεταβάσεων στον πίνακα 8.8.3, οποίος περιγράφει τις εργασίες που περιλαμβάνονται σε κάθε φάση αναφέροντας τα συγκεκριμένα όργανα που ενεργοποιούνται, καθώς επίσης και τα σήματα εισόδου που

ΠΙΝΑΚΑΣ 8.8.3.
Περιγραφή φάσεων και μεταβάσεων του διαγράμματος GRAFCET.

Φάση		Μετάβαση	
1	Κατάσταση της δεξαμενής σε μια “κανονική” στάθμη, μεταξύ της μέσης και της ανώτατης. Η αντλία και οι ενδείξεις δεν λειτουργούν.	1/2	Ενεργοποίηση του διακόπτη πλωτήρα κατώτερης στάθμης.
2	Διαπίστωση χαμηλής στάθμης. Η φωτεινή και η ηχητική ένδειξη ενεργοποιούνται.	1/3 και 2/1	Ενεργοποίηση του διακόπτη πλωτήρα μέσης στάθμης.
3	Λειτουργία πλήρωσεως της δεξαμενής. Η αντλία λειτουργεί.	3/1	Ενεργοποίηση του διακόπτη πλωτήρα ανώτατης στάθμης.

ΠΙΝΑΚΑΣ 8.8.4.**Κατάσταση μεταβλητών του προγράμματος ελέγχου της κινήσεως του καλύμματος.**

Μνήμη	Σήμα	Είδος	Περιοχή λειτουργίας / μονάδα
I1.1	S1	Λογική είσοδος	0 ή 12 V (κάρτα εισόδων #1)
I1.2	S2	Λογική είσοδος	
I1.3	S3	Λογική είσοδος	
Q3.1	K1	Λογική έξοδος	0 ή 24 V, 100 mA(κάρτα εξόδων #3)
Q3.2	K2	Λογική έξοδος	

χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό της συνθήκης για κάθε μετάβαση.

8.8.4 Συνδεσμολογία και προγραμματισμός του ΠΛΕ.

Ο πίνακας 8.8.4 παρουσιάζει ένα παράδειγμα καταστάσεως μεταβλητών για έναν υποθετικό ΠΛΕ, που θα εξυπηρετήσει την αυτοματοποιημένη λειτουργία της κινήσεως του καλύμματος. Η πρώτη στήλη του πίνακα αναφέρει την ονομασία της παραμέτρου, όπως αυτή χρησιμοποιείται κατά τον προγραμματισμό του ελεγκτή (π.χ. I1.2). Η δεύτερη στήλη αναφέρει το συμβολικό όνομα του εξωτερικού σήματος που αντιστοιχεί (εφόσον υπάρχει) σε αυτήν την παράμετρο (π.χ. S2). Η τρίτη στήλη αναφέρει τα ειδικότερα χαρακτηριστικά της παραμέτρου και επιπρόσθετα τη σύνδεση της παραμέτρου με μια μονάδα (κάρτα) εισόδων ή εξόδων.

Στο παράδειγμα του πίνακα, όλες οι εισοδοί φιλοξενούνται στην κάρτα εισόδων που καταλαμβάνει τη θέση με αριθμό 1 στο σύστημα επεκτάσεως του ΠΛΕ. Η κάρτα αυτή αντιλαμβάνεται τις λογικές στάθμες Αληθής ή Ψευδής (True ή False) με ηλεκτρική τάση 0 ή 12 V αντίστοιχα. Επίσης, όλες οι έξοδοι χρησιμοποιούν μια κάρτα εγκατεστημένη στην τρίτη θέση. Η κάρτα αυτή παράγει σήματα τάσεως 0 ή 24 V και μπορεί να παράσχει στα πηνία των αντιστοίχων ηλεκτρονόμων το αναγκαίο ηλε-

κτρικό ρεύμα (στον πίνακα εκτιμάται κατά μέγιστο σε 100 mA).

Οι μεταβλητές αυτές χρησιμοποιούνται στον παρακάτω κώδικα προγράμματος για ΠΛΕ.

```

-----
A  I1.2  στάθμη σε μέση θέση
S  Q3.1  ενεργοποίηση αντλίας πληρώσεως
R  Q3.2  διακοπή των ενδείξεων
-----
A  I1.2  στάθμη σε ανώτατη θέση
R  Q2.1  διακοπή αντλίας πληρώσεως
-----
A  I1.3  στάθμη σε κατώτατη θέση
S  Q3.2  ενεργοποίηση των ενδείξεων

```

8.9 Ερωτήσεις.

1. Ποια είναι τα βήματα αναπτύξεως ολοκληρωμένων λύσεων αυτοματισμού με ΠΛΕ;
2. Πώς γίνεται η περιγραφή ενός προβλήματος αυτοματισμού (χρησιμοποιήστε παράδειγμα);
3. Σε ποιες πληροφορίες στηρίζεται η επεξεργασία της λύσεως αυτοματισμού με ΠΛΕ;
4. Εξηγήστε στον πίνακα 8.5.1 τις φάσεις και μεταβάσεις του διαγράμματος GRAFCET (σχ. 8.5).

Δίκτυα PLC

Τα δίκτυα είναι μία νέα έννοια στον αυτοματισμό.. Οι προγραμματιζόμενοι λογικοί ελεγκτές που αποτελούν το κορυφαίο αυτόνομο εργαλείο ελέγχου, μπορούν να διασυνδέονται μεταξύ τους προς ανταλλαγή δεδομένων, πληροφοριών και διαταγών ελέγχου. Τα διασυνδεδεμένα συστήματα προγραμματιζόμενων λογικών ελεγκτών σε μία εκτεταμένη Διαδικασία Αυτόματη προσφέρουν ευελιξία, διαφάνεια και αποτελεσματικό συντονισμό όλων των τμημάτων αυτής. Στην περιοχή των Βιομηχανικών Δικτύων για διασύνδεση προγραμματιζόμενων λογικών ελεγκτών και/ή βιομηχανικών υπολογιστών, έχουν αναπτυχθεί τα τελευταία χρόνια πολλά συναφή προϊόντα από τις Ευρωπαϊκές και Αμερικανικές Εταιρίες Αυτοματισμού. Τα πλέον διαδεδομένα βιομηχανικά δίκτυα της εταιρίας Siemens είναι:

To IO-Link, Profibus, AS- Interface , PROFINET, Βιομηχανικός Ασύρματος τηλεχειρισμός

To IO-Link

To IO-Link είναι ένα νέο πρότυπο επικοινωνίας για αισθητήρες και ενεργοποιητές που έχει καθοριστεί από τον Οργανισμό Χρηστών Profibus (PNO). Η τεχνολογία IO-Link βασίζεται σε μία σύνδεση σημείου προς σημείο αισθητήρων και ενεργοποιητών με το σύστημα ελέγχου. Για τους συνδεδεμένους αισθητήρες/ενεργοποιητές, εκτός των κυκλικών δεδομένων λειτουργίας, μεταδίδονται επίσης εκτενή δεδομένα παραμετροποίησης και διάγνωσης. Για αυτό το σκοπό χρησιμοποιείται το μονόκλωνο, μη μονωμένο καλώδιο τριών πυρήνων το οποίο είναι σύνηθες στους τυποποιημένους αισθητήρες.

Πλεονεκτήματα

Το σύστημα IO-Link προσφέρει στην περίπτωση σύνδεσης πολύπλοκων (έξυπνων) αισθητήρων/ενεργοποιητών σημαντικά πλεονεκτήματα:

- Δυναμική μεταβολή παραμέτρων των αισθητήρων/ενεργοποιητών άμεσα μέσω PLC
- Δυνατότητα αντικατάστασης συσκευών κατά την λειτουργία χωρίς PG/PC με
- μεταγενέστερη παραμετροποίηση από το PLC μέσω ολοκληρωμένης προετοιμασίας παραμέτρων
- Γρήγορη θέση σε λειτουργία μέσω κεντρικής διαχείρισης δεδομένων
- Ολοκληρωμένες πληροφορίες διάγνωσης έως το επίπεδο αισθητήρων / ενεργοποιητών
- Ενιαία και σημαντική μειωμένη καλωδίωση διαφορετικών αισθητήρων /ενεργοποιητών / συσκευών ζεύξης
- Επισκόπηση

To AS- Interface

To AS- Interface είναι ένα ανοικτό διεθνές πρότυπο κατά EN 50295 και IEC 62026-2 για την επικοινωνία διεργασιών και πεδίου. Το AS-Interface υποστηρίζεται σε παγκόσμιο επίπεδο από τους κορυφαίους κατασκευαστές ενεργοποιητών και αισθητήρων. Οι ηλεκτρικές και οι μηχανικές προδιαγραφές κοινοποιούνται στις ενδιαφερόμενες εταιρείες από την AS- Interface Association.

To AS- Interface είναι ένα σύστημα Single-Master. Είναι κατάλληλο για συστήματα αυτοματισμού επεξεργαστών επικοινωνίας (CPs) και πυλών δικτύων (Links) της Siemens που ελέγχουν την επικοινωνία διεργασιών ή πεδίου ως Master καθώς και ενεργοποιητών και αισθητήρων που λειτουργούν ως ASInterface Slaves.

Χαρακτηριστικά

- Αριθμός των συνδρομητών ανα κλώνο / 62 slaves (τεχνική A/B) σύμφωνα με τις προδιαγραφές
- Αριθμός δυαδικών αισθητήρων/ενεργοποιητών/ Μεγ. 496 είσοδοι και 496 έξοδοι
- Τοπολογία / Δομή γραμμής, αστέρα, δένδρου (όπως η ηλεκτρική εγκατάσταση)
- Μέσο Μετάδοσης / Μη θωρακισμένο καλώδιο δύο πυρήνων (2 x 1,5 mm²) για δεδομένα και βοηθητική ενέργεια

- Μέγιστο μήκος καλωδίου /100 μέτρα χωρίς αναμεταδότη, επεκτάσιμο μέχρι 600 μέτρα με βύσματα επέκτασης και δύο αναμεταδότες σε παράλληλη σύνδεση
- Μέγιστος χρόνος κύκλου / 5 ms (σε πλήρη ανάπτυξη με στάνταρ διευθύνσεις)
- Μεταφορά δεδομένων / Ψηφιακά και αναλογικά(16 bit)

Πλεονεκτήματα

- Ένα σημαντικό χαρακτηριστικό της τεχνικής AS- Interface είναι η χρήση ενός κοινού καλωδίου δύο πυρήνων για τη μετάδοση δεδομένων και τη διανομή της βοηθητικής ενέργειας στους αισθητήρες/ ενεργοποιητές. Για τη διανομή της βοηθητικής ενέργειας χρησιμοποιείται ένα τροφοδοτικό (εάν απαιτείται με μονάδα απόξευξης δεδομένων), το οποίο πληροί τις απαιτήσεις της μεθόδου μετάδοσης AS-Interface. Για την καλωδίωση χρησιμοποιείται το μηχανικά κωδικοποιημένο και επομένως ασφαλές από εσφαλμένη σύνδεση καλώδιο AS-Interface, που μπορεί να συνδεθεί με απλό τρόπο με διατηρητική τεχνική.
- Οι αγωγοί ελέγχου, των οποίων η καλωδίωση είναι επίπονη, καθώς και οι τερματικοί πίνακες εντός του πίνακα είναι δυνατό να αντικατασταθούν από το AS-Interface.
- Χάρη σε ένα ειδικά κατασκευασμένο καλώδιο και χάρη στη σύνδεση με διατηρητική τεχνική, το καλώδιο AS-Interface είναι δυνατό να συνδεθεί στις επιθυμητές θέσεις.
- Με αυτή τη φιλοσοφία έχετε ευελιξία και επιτυγχάνετε υψηλό βαθμό εξοικονόμησης.
- Ολοκληρωμένη επικοινωνία: Μεταφορά δεδομένων διεργασιών και δεδομένων σέρβις μεταξύ αισθητήρων / ενεργοποιητών και του συστήματος ελέγχου
- Ενιαίος και διαφανής σχεδιασμός και προγραμματισμός μέσω της χρήσης ενός εργαλείου παραμετροποίησης (Port Configurator Tool, PCT) που είναι ενσωματωμένο στο SIMATIC STEP 7
- Διαφανής παρουσίαση όλων των δεδομένων παραμετροποίησης και Διάγνωσης

To Profibus

Το Profibus είναι ένα δίκτυο επικοινωνίας για διεργασίες και βιομηχανικά πεδία μεταξύ συσκευών διαφόρων κατασκευαστών, σύμφωνα με το πρότυπο IEC 61158/61784. Διατίθεται σε 3 βασικές εκδόσεις: Profibus DP για γρήγορη, κυκλική ανταλλαγή δεδομένων μεταξύ συσκευών πεδίου, Profibus PA για εφαρμογή σε αυτοματισμούς διεργασιών, και ειδικά στην περιοχή αυξημένης επικινδυνότητας, και Profibus FMS για επικοινωνία δεδομένων μεταξύ ελεγκτών από διάφορους κατασκευαστές.

Το Profibus είναι ανοιχτό, ισχυρό και στιβαρό και εγγυάται επικοινωνία χωρίς προβλήματα. Οι προδιαγραφές του τηρούν πλήρως τα διεθνή πρότυπα και κατά συνέπεια μπορεί να συνεργαστεί με πλήθος πιστοποιημένων προϊόντων πολλών κατασκευαστών. Η διαμόρφωση, η θέση σε λειτουργία και η άρση βλαβών μπορεί να γίνει από οποιοδήποτε σημείο του δικτύου, γεγονός που παρέχει πολύ μεγάλη ευελιξία. Για γρήγορη εγκατάσταση και συνδέσεις υπάρχει η τεχνική FastConnect. Τα επιμέρους εξαρτήματα του δικτύου, επιτηρούνται συνεχώς μέσω ενός απλού αλλά αποτελεσματικού συστήματος σηματοδότησης. Αν απαιτηθεί υψηλού βαθμού διαθεσιμότητα, μπορεί να επιτευχθεί με τοπολογίες δακτυλίου με συσκευές OLM – Optical Link Module.

To PROFINET

Το πρωτόκολλο επικοινωνίας PROFINET αποτελεί το κύριο πρότυπο για το βιομηχανικό ETHERNET. Μέσω αυτού οι εταιρείες μπορούν να επιταχύνουν την παραγωγή και τις διεργασίες, αυξάνοντας παράλληλα τη διαθεσιμότητα της εγκατάστασης.

Με το PROFINET, η Siemens εφαρμόζει τα πρότυπα του ETHERNET στον αυτοματισμό. Το PROFINET επιτρέπει τη μεταφορά δεδομένων με ασφάλεια σε υψηλές ταχύτητες μετάδοσης και σε όλα τα επίπεδα, καθιστώντας έτσι εφικτή την εκτέλεση πρωτοποριακών ιδεών και εφαρμογών. Χάρη στο ανοικτό πρότυπο και την ευελιξία του, το PROFINET προσφέρει στους χρήστες μέγιστη ελευθερία στη δόμηση των συστημάτων και των εγκαταστάσεών τους. Με την αποδοτικότητα του PROFINET θα έχετε τη βέλτιστη χρήση των διαθέσιμων μέσων του χρήστη και την αύξηση της διαθεσιμότητας της εγκατάστασης. Τα πρωτοποριακά προϊόντα της Siemens σε συνδυασμό με την υψηλή απόδοση του PROFINET προσφέρουν μια βιώσιμη ενίσχυση της παραγωγής της εταιρείας.

Εντός του πεδίου εφαρμογής της βιομηχανικής επικοινωνίας, η ασύρματη επικοινωνία ανοίγει νέες προοπτικές - από το μερικό εκσυγχρονισμό ενός εργοστασίου, μέχρι τη βελτιστοποίηση πολύπλοκων logistics ή διαδικασιών παραγωγής. Με βάση τον Ασύρματο Βιομηχανικό τηλεχειρισμό, τα δίκτυα είναι δύο το Wireless LAN και το WirelessHART.

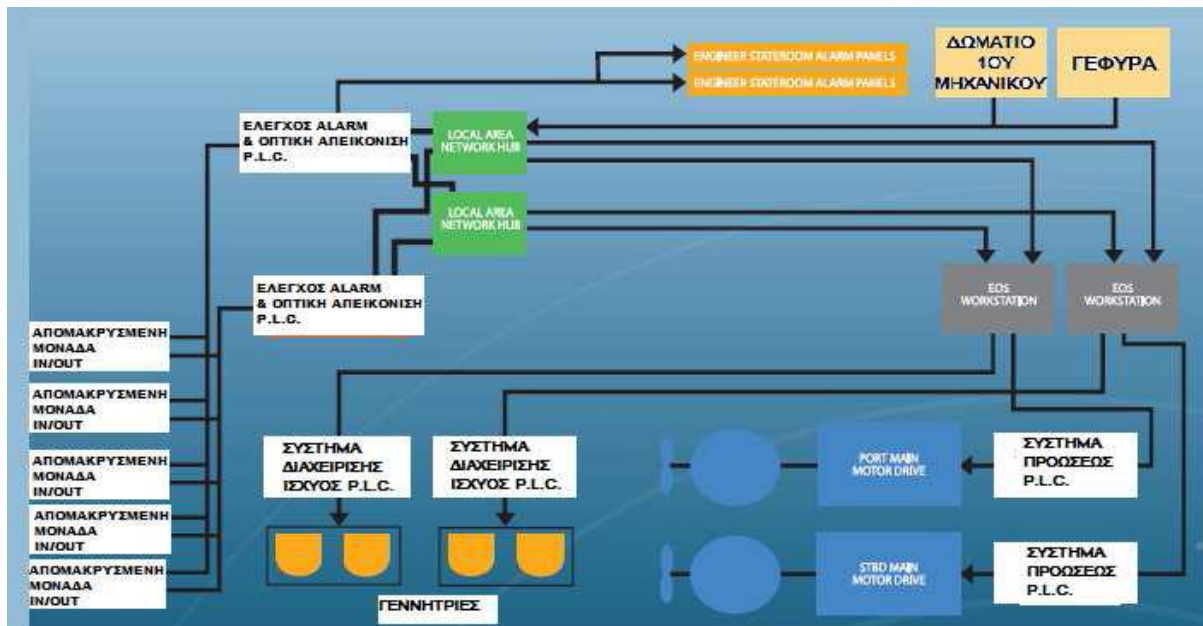
Ο Βιομηχανικός Ασύρματος τηλεχειρισμός

Ο Βιομηχανικός Wireless τηλεχειρισμός είναι χαμηλού κόστους και ευέλικτος αφού η ασύρματη τεχνολογία μπορεί να καλύψει μεγαλύτερες αποστάσεις. Υπάρχει συνεχής επικοινωνία μεταξύ των τμημάτων με υψηλή ταχύτητα στη πρόσβαση συντήρησης μηχανημάτων και εγκαταστάσεων από την άλλη άκρη του κόσμου. Χάρη στην ενσωμάτωση σε ένα σύστημα τηλεχειρισμού ή HMI / SCADA σύστημα, τα δεδομένα μεταφέρονται και είναι διαθέσιμα οποιαδήποτε στιγμή μέσω του κινητού.

Πλεονεκτήματα ενός ασύρματου δικτύου επικοινωνίας

- Οι εργασίες συντήρησης απλοποιούνται ενώ το κόστος των υπηρεσιών και ο χρόνος αναμονής μειώνονται
- Δεν υπάρχει φθορά περιστρεφόμενου και κινούμενου εξοπλισμού ή εξαρτημάτων του συστήματος
- Υπάρχει ενσωματωμένο ασύρματο δίκτυο φωνής και δεδομένων σε ολόκληρη την παραγωγική μονάδα ή σε τμήματα αυτής
- Γίνεται απομακρυσμένη διάγνωση για τα διάφορα μηχανήματα της παραγωγής από μια κεντρική τοποθεσία «υπηρεσία» μειώνοντας το κόστος
- Οι εγκαταστάσεις μπορούν να προσεγγιστούν εύκολα αφού δεν υπάρχει ανάγκη για περίπλοκες καλωδιώσεις

Αν μη τι άλλο είναι το ιδανικότερο δίκτυο για την επικοινωνία των PLC που καλύπτουν αυτοματισμούς σε πλοίο δεδομένου ότι η επιφάνεια του πλοίου είναι μεγάλη και η δομή των συστημάτων θα μπορούσε να είναι αυτή που εικονίζεται παρακάτω.



Δομή τυπικού συστήματος ελέγχου

18. ΕΝΔΕΙΞΕΙΣ ΟΘΟΝΗΣ PLC ΚΑΙ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ

Οπτική απεικόνιση σημάτων του συστήματος

Το εγκατεστημένο σύστημα απεικόνισης και ειδοποίησης αποτελεί ένα σύγχρονο σύστημα επιτήρησης, που σκοπό έχει την αδιάληπτη και ασφαλή επιτήρηση και καταγραφή των ενδείξεων του μηχανοστασίου.

Το σύστημα αποτελείται από τα σήματα πεδίου, τον κεντρικό πίνακα αυτοματισμού και από τις οθόνες απεικόνισης.

Στον κεντρικό πίνακα καταλήγουν όλα τα σήματα πεδίου από τις κύριες μηχανές του πλοίου, τις γεννήτριες, καθώς και περιφερειακές ενδείξεις από Valves, Tanks, κλπ. που είναι απαραίτητες για την επίβλεψη του μηχανοστασίου. Εκεί γίνεται η ψηφιοποίηση των σημάτων, ο έλεγχος των alarm και η επικοινωνία με τις οθόνες.

Η απεικόνιση των ενδείξεων γίνεται με οθόνες touch screen (HMI), οι οποίες βρίσκονται εγκατεστημένες σε 2 σημεία ελέγχου τα οποία:

- Mess Room (Slave panel)
- Bridge Control Room (Main Panel)

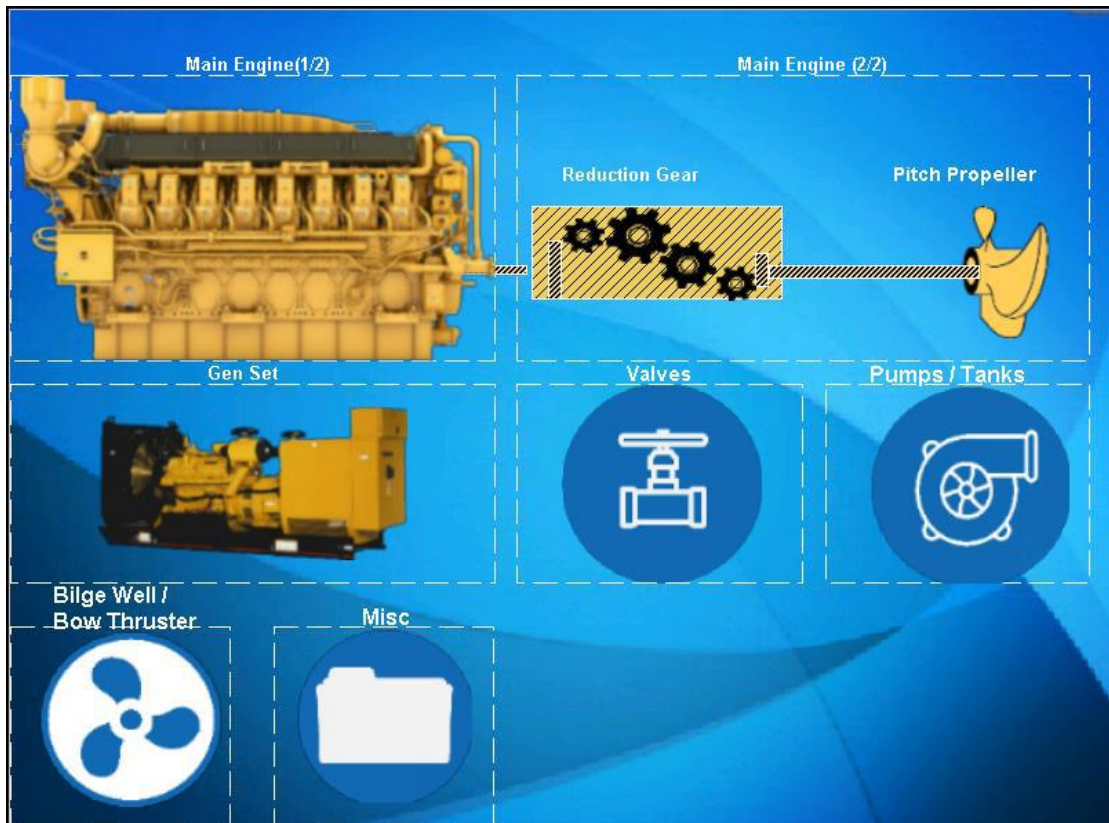
Για λόγους σαφήνειας η ομαδοποίηση των σημάτων απεικόνισης στην οθόνη (HMI) γίνεται σύμφωνα με την προέλευση του σήματος. Κάθε κατηγορία σημάτων έχει τη δική της σελίδα, η πλοήγηση στις διαφορετικές σελίδες σημάτων μπορεί να γίνει πατώντας στο αντίστοιχο πεδίο:

Κύρια σελίδα (Home page)

Πλοήγηση στις σελίδες



Home page. Αυτή είναι η κεντρική σελίδα όπου ο χρήστης μπορεί να πλοηγηθεί σε οποιαδήποτε σελίδα πατώντας το αντίστοιχο γραφικό.



Εικόνα 1 από πρόγραμμα HMI κύρια σελίδα - Πηγή UTECO ABBE

Κύρια μηχανή (Main engine)



Main Engine. Σε αυτή τη μάσκα φαίνονται όλα τα σήματα που αφορούν την κύρια μηχανή του πλοίου (Main Engine), τον μειωτήρα (reduction Gear), την προπέλα (pits propeller). Η μάσκα χωρίζεται σε 2 οθόνες την **Main engine1/2** και την **Main Engine 2/2**.



Εικόνα 2 κύρια μηχανή ενδείξεις - από πρόγραμμα HMI κύριας μηχανής Πηγή UTECO ABBE

1. **Main Engine 1/2**, εδώ απεικονίζεται η κατάσταση της μηχανής (run/stop), οι στροφές καθώς και όλα τα ψηφιακά σήματα που υπάρχουν στην κύρια μηχανή.

Τα αναλογικά σήματα που υπάρχουν μπορούν να απεικονιστούν γραφικά επιλέγοντας το κατάλληλο πεδίο από την οθόνη



Επιλέγοντας να εμφανίζονται οι αντίστοιχες οθόνες:



Εικόνα 3 κύρια μηχανή ρυθμίσεις - από πρόγραμμα HMI κύριας μηχανής Πηγή UTECO ABBE



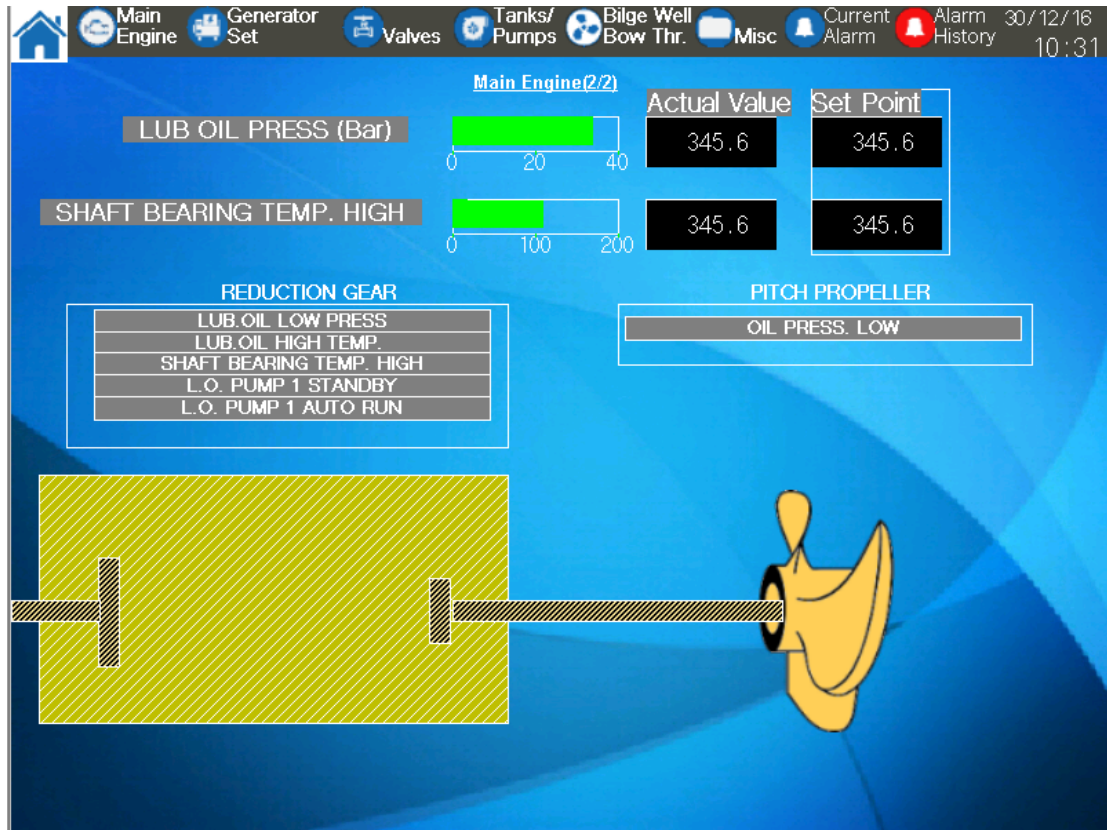
Εικόνα 4 κύρια μηχανή θερμοκρασίες



Εικόνα 5 κύρια μηχανή θερμοκρασίες νερού - από πρόγραμμα HMI γεννήτριας Πηγή UTECO ABBE



2. **Main Engine 2/2.** Πατώντας στο πεδίο μεταβαίνουμε στην παρακάτω σελίδα, εδώ φαίνονται όλα τα σήματα που αφορούν το μειωτήρα και την τροπέλα.



Εικόνα 6 έδρανα της μηχανής ενδείξεις - από πρόγραμμα HMI γεννήτριας Πηγή UTECO ABBE


Γεννήτριες (generators)

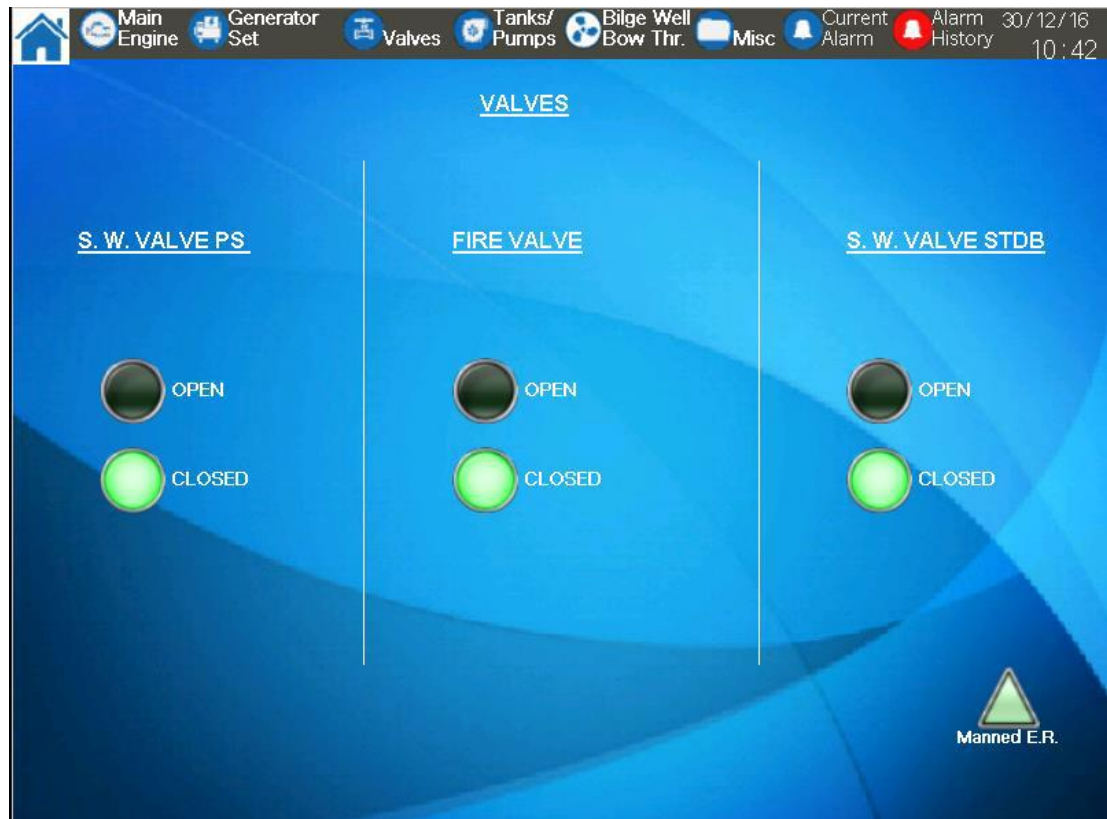
Generator Set. Σε αυτή τη μάσκα φαίνονται όλα τα σήματα που αφορούν τις γεννήτριες, επιλέγοντας το πεδίο  μεταβαίνουμε στην σελίδα



Εικόνα 7 σήματα από γεννήτριες - από πρόγραμμα HMI γεννήτριας Πηγή UTECO ABBE

Βάνες (Valves)

Valves. Σε αυτή τη σελίδα φαίνονται τα σήματα που αφορούν τις βάνες και τις βαλβίδες. Επιλέγοντας  μεταβαίνουμε στην Μάσκα



Εικόνα 8 σήματα από βαλβίδες - από πρόγραμμα HMI βαλβίδες
Πηγή UTECO ABBE

Δεξαμενές και αντλίες (Pumps/ Tanks)

Pumps/ Tanks. Σε αυτή τη σελίδα φαίνονται όλα τα σήματα που αφορούν όλες τις δεξαμενές καθώς και τις αντλίες. Πατώντας  μεταβαίνουμε στην παρακάτω μάσκα.



Εικόνα 9 σήματα από δεξαμενές - από πρόγραμμα HMI αντλίες δεξαμενές

Στάθμης στα ύφαλα του πλοίου και έλικα πηδαλιουχίας Bilge Wells/ Bow Thrusters

Bilge Wells/ Bow Thrusters. Σε αυτή τη μάσκα φαίνονται όλα τα σήματα που αφορούν τους αισθητήρες στάθμης στα ύφαλα του πλοίου καθώς και τα σήματα που

αφορούν την έλικα πηδαλιουχίας. Πατώντας




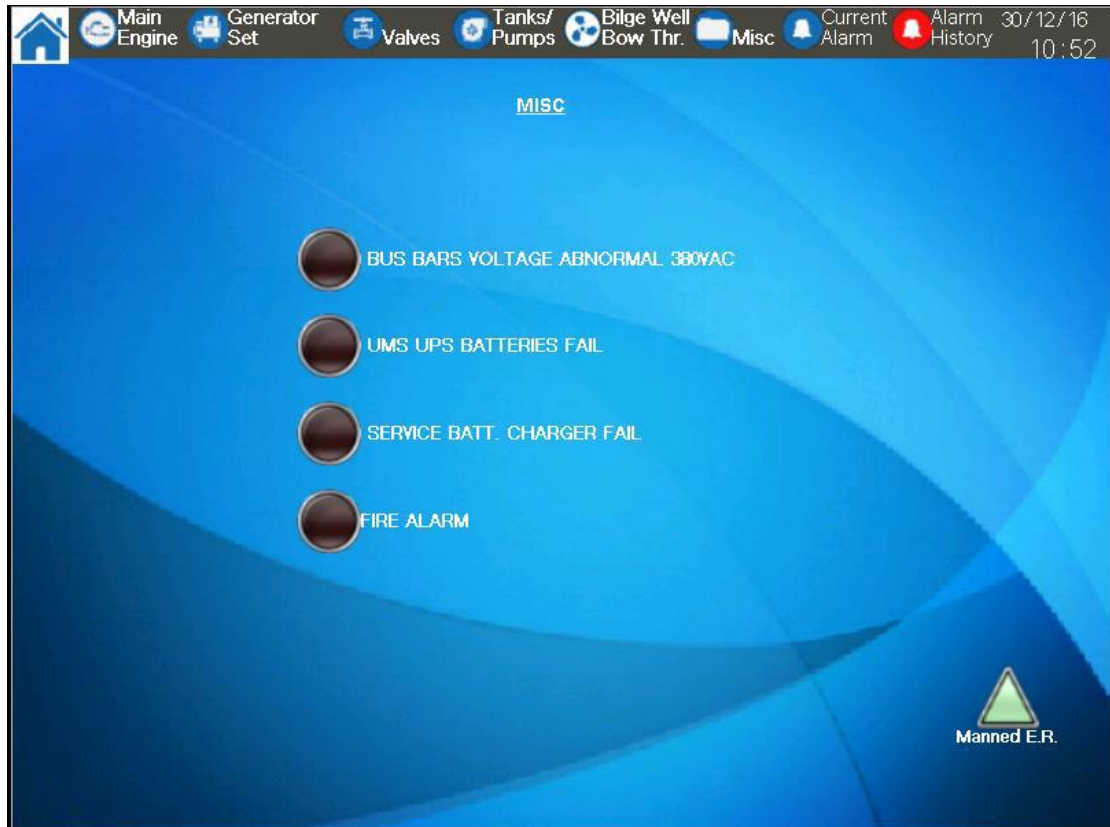
μεταβαίνουμε στη σελίδα:



Εικόνα 10 από σήματα στάθμης - από πρόγραμμα HMI αισθητήρες στάθμης στα ύφαλα του πλοίου καθώς και έλικα

Διάφορα άλλα σήματα (Miscellaneous)

Miscellaneous. Σε αυτήν τη μάσκα φαίνονται τα σήματα που δεν ανήκουν σε κάποια από τις προηγούμενες κατηγορίες. Πατώντας  μεταβαίνουμε στη σελίδα:



Εικόνα 11 υπόλοιπα σήματα UMS - από πρόγραμμα HMI από διάφορα σημεία

Τρέχοντες ειδοποιήσεις (current alarm)

Current Alarms. Σε αυτή τη σελίδα φαίνονται τα τρέχοντα alarm.



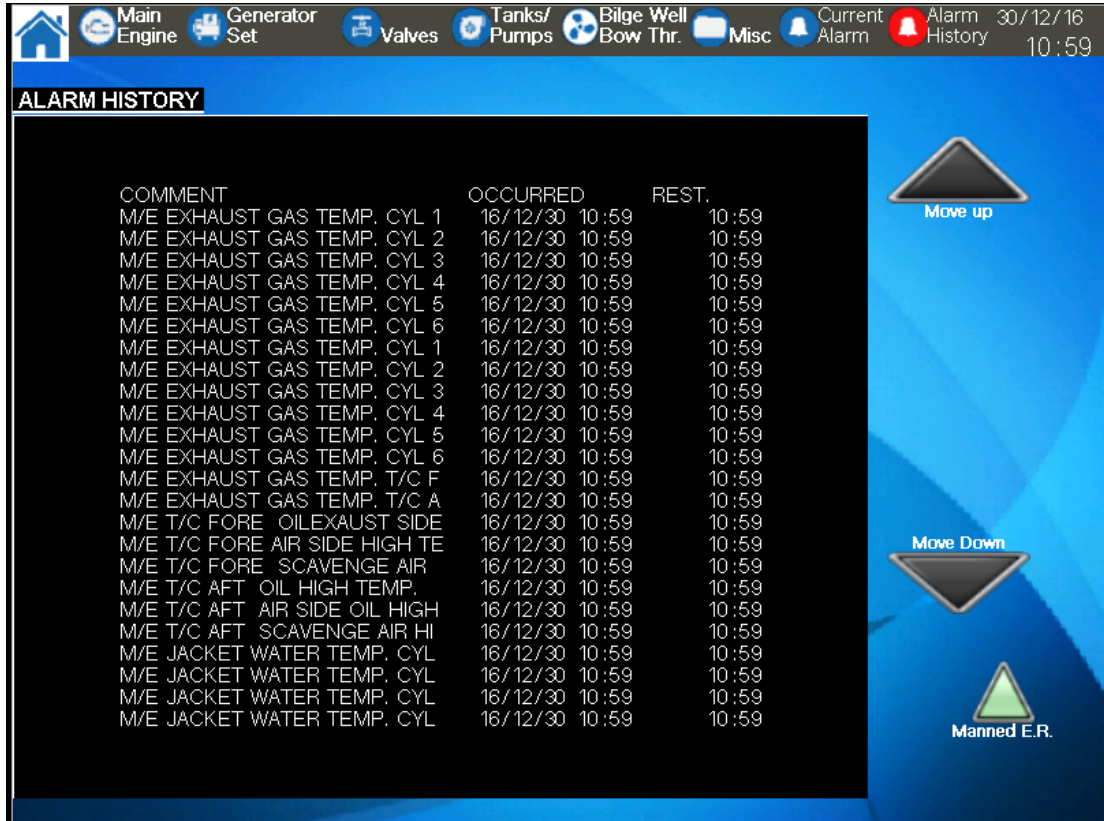
The screenshot shows the 'CURRENT ALARM' screen of an HMI. At the top, there is a navigation bar with icons for Main Engine, Generator Set, Valves, Tanks/Pumps, Bilge Well/Bow Thr., Misc, Current Alarm, and Alarm History. The date and time are 30/12/16 10:54. The main area is a black table with two columns: 'COMMENT' and 'OCCURRED'. The table lists 20 entries, all occurring on 30/12/16 at 10:54. The comments include various exhaust gas temperatures for cylinders 1-6, T/C F, T/C A, T/C AFT, and jacket water temperatures for cylinders. On the right side of the table, there are three navigation buttons: 'Move up' (upward arrow), 'Move Down' (downward arrow), and 'Manned E.R.' (green upward arrow).

COMMENT	OCCURRED
M/E EXHAUST GAS TEMP, CYL 1	30/12/16 10:54
M/E EXHAUST GAS TEMP, CYL 2	30/12/16 10:54
M/E EXHAUST GAS TEMP, CYL 3	30/12/16 10:54
M/E EXHAUST GAS TEMP, CYL 4	30/12/16 10:54
M/E EXHAUST GAS TEMP, CYL 5	30/12/16 10:54
M/E EXHAUST GAS TEMP, CYL 6	30/12/16 10:54
M/E EXHAUST GAS TEMP, CYL 1	30/12/16 10:54
M/E EXHAUST GAS TEMP, CYL 2	30/12/16 10:54
M/E EXHAUST GAS TEMP, CYL 3	30/12/16 10:54
M/E EXHAUST GAS TEMP, CYL 4	30/12/16 10:54
M/E EXHAUST GAS TEMP, CYL 5	30/12/16 10:54
M/E EXHAUST GAS TEMP, CYL 6	30/12/16 10:54
M/E EXHAUST GAS TEMP, T/C F	30/12/16 10:54
M/E EXHAUST GAS TEMP, T/C A	30/12/16 10:54
M/E T/C FORE SIDE OIL HIGH TE	30/12/16 10:54
M/E T/C FORE AIR SIDE OIL HIGH	30/12/16 10:54
M/E T/C SCAVENGE AIR HIGH T	30/12/16 10:54
M/E T/C AFT OIL HIGH TEMP.	30/12/16 10:54
M/E T/C AFT AIR SIDE OIL HIGH	30/12/16 10:54
M/E T/C AFT SCAVENGE AIR HI	30/12/16 10:54
M/E JACKET WATER TEMP, CYL	30/12/16 10:54
M/E JACKET WATER TEMP, CYL	30/12/16 10:54
M/E JACKET WATER TEMP, CYL	30/12/16 10:54
M/E JACKET WATER TEMP, CYL	30/12/16 10:54

Εικόνα 12 εικόνες από τρέχοντες ειδοποιήσεις - από πρόγραμμα HMI θερμοκρασιών

Ιστορικό ειδοποιήσεων (Alarm History)

Alarm History. Σε αυτή τη σελίδα φαίνεται το ιστορικό των alarm. Πατώντας



COMMENT	OCCURRED	REST.
M/E EXHAUST GAS TEMP, CYL 1	16/12/30 10:59	10:59
M/E EXHAUST GAS TEMP, CYL 2	16/12/30 10:59	10:59
M/E EXHAUST GAS TEMP, CYL 3	16/12/30 10:59	10:59
M/E EXHAUST GAS TEMP, CYL 4	16/12/30 10:59	10:59
M/E EXHAUST GAS TEMP, CYL 5	16/12/30 10:59	10:59
M/E EXHAUST GAS TEMP, CYL 6	16/12/30 10:59	10:59
M/E EXHAUST GAS TEMP, CYL 1	16/12/30 10:59	10:59
M/E EXHAUST GAS TEMP, CYL 2	16/12/30 10:59	10:59
M/E EXHAUST GAS TEMP, CYL 3	16/12/30 10:59	10:59
M/E EXHAUST GAS TEMP, CYL 4	16/12/30 10:59	10:59
M/E EXHAUST GAS TEMP, CYL 5	16/12/30 10:59	10:59
M/E EXHAUST GAS TEMP, CYL 6	16/12/30 10:59	10:59
M/E EXHAUST GAS TEMP, T/C F	16/12/30 10:59	10:59
M/E EXHAUST GAS TEMP, T/C A	16/12/30 10:59	10:59
M/E T/C FORE OILEXHAUST SIDE	16/12/30 10:59	10:59
M/E T/C FORE AIR SIDE HIGH TE	16/12/30 10:59	10:59
M/E T/C FORE SCAVENGE AIR	16/12/30 10:59	10:59
M/E T/C AFT OIL HIGH TEMP.	16/12/30 10:59	10:59
M/E T/C AFT AIR SIDE OIL HIGH	16/12/30 10:59	10:59
M/E T/C AFT SCAVENGE AIR HI	16/12/30 10:59	10:59
M/E JACKET WATER TEMP, CYL	16/12/30 10:59	10:59
M/E JACKET WATER TEMP, CYL	16/12/30 10:59	10:59
M/E JACKET WATER TEMP, CYL	16/12/30 10:59	10:59

Εικόνα 13 ιστορικό ειδοποιήσεων - από πρόγραμμα HMI ειδοποιήσεων Πηγή UTECO ABBE

Όπως φαίνεται και παραπάνω σε κάθε κύρια σελίδα υπάρχει απεικόνιση του σήματος “Un-manned ER” για να είναι σε θέση πάντα οι χειριστές να λάβουν γνώση για το εάν υπάρχει άνθρωπος στο μηχανοστάσιο.

Όταν υπάρχει άτομο στο μηχανοστάσιο η ένδειξη του σήματος “Manned ER” στις



Ενώ όταν δεν υπάρχει άτομο στο μηχανοστάσιο η ένδειξη του σήματος “Unmanned



Επίσης για να ελεγχθεί το πότε ένα αναλογικό σήμα θα δίνει ηχητική ειδοποίηση, στην ένδειξη όλων των αναλογικών σημάτων, υπάρχει δίπλα ακόμα μια ένδειξη, η οποία αναφέρεται στο Set Point.



Αναλόγως, εάν είναι σήμα πίεσης ή θερμοκρασίας, το Set point λειτουργεί σαν Low Alarm ή High alarm, δηλαδή εάν ξεπεραστεί το SP (προς τα κάτω εάν μιλάμε για πίεση ή προς τα πάνω εάν μιλάμε για θερμοκρασία) ενεργοποιείται ηχητικό μήνυμα που ειδοποιεί το πλήρωμα για το μετρούμενο σφάλμα.

Τα Set Point είναι παραμετροποίηση μόνο από την Main Screen και με τη χρήση του κωδικού «**UTECO**». Συνιστάται να παραμετροποιούνται από κάποιον που έχει την πλήρη γνώση για τις συνθήκες που επικρατούν στο πλοίο.

Χειρισμός ειδοποιήσεων (Alarm Handling)

Στο υπάρχον σύστημα σε κατάσταση λειτουργίας, όταν ενεργοποιηθεί /ούν κάποιο ή κάποια alarm, τότε ενεργοποιούνται τα Buzzers (Σειρήνες) τα οποία βρίσκονται δίπλα από τις οθόνες.

Επίσης δημιουργείται μια νέα καταχώρηση στον πίνακα της οθόνης Alarm History καθώς και στον πίνακα της οθόνης Current Alarm.

Τα Alarm που ενεργοποιούνται χωρίς να έχουν γίνει "acknowledge" εμφανίζονται στον πίνακα της οθόνης Current Alarm με κόκκινο.

Για να απενεργοποιηθεί η σειρήνα πρέπει να πατήσει ο χειριστής το κουμπί Acknowledge ώστε να δηλώσουμε ότι λάβαμε υπόψη μας το (ή τα) alarm που εμφανίστηκαν.

Όταν πατηθεί το κουμπί acknowledge η σειρήνα σταματάει και η ένδειξη του alarm στον πίνακα της οθόνης Current Alarm εμφανίζεται με Κίτρινο.

Για να μπορέσουμε να ξεχωρίσουμε ποια alarm είναι ακόμα ενεργά πρέπει να πατήσουμε το κουμπί "Reset" το οποίο επαναφέρει το σύστημα στην αρχική κατάσταση.

Όταν πατηθεί το κουμπί "Reset" τότε όλες οι καταχωρήσεις από τον πίνακα της οθόνης Current Alarm σβήνουν. Εάν υπάρχουν ενεργά σφάλματα καταχωρούνται από την αρχή στον πίνακα της σελίδας Current Alarm με κόκκινο χρώμα μέχρι να πατηθεί, εκ νέου, το κουμπί "Reset".

Οι καταχωρήσεις στη σελίδα Alarm History δεν διαγράφονται με το πάτημα του κουμπιού "Reset". Κάθε νέο alarm καταχωρείται στο πάνω μέρος της σελίδας.

Σημείωση: Τα εκάστοτε alarm που ενεργοποιούνται διακρίνονται στο κάτω μέρος της οθόνης οποιασδήποτε σελίδας, το οποίο επιλέγοντάς το μεταβαίνουμε στην σελίδα Current Alarm.

Συντήρηση και περιοδικός έλεγχος PLC:

Το PLC δεν ενσωματώνει αναλώσιμα μέρη που αποτελούν παράγοντες στη μείωση της διάρκειας ζωής.

Ωστόσο, οι μπαταρίες και ρελέ εξόδου (σημεία επαφής) έχουν περιορισμένο προσδόκιμο επιβίωσης.

Περιοδικός έλεγχος - διάρκεια ζωής της μπαταρίας (FX3U-32BL). Η μπαταρία του PLC χρησιμεύει για να αποθηκεύει το πρόγραμμα καθώς και τις τιμές που θέλουμε να συνεχίσουν να υπάρχουν στην μνήμη του PLC. Η διάρκεια ζωής της μπαταρίας είναι 5 χρόνια.

Εδώ σημειώνεται ότι για την αποφυγή οποιασδήποτε δυσλειτουργίας λόγω τελειωμένης μπαταρίας έχει ενσωματωθεί στο σύστημα FL-ROM, η οποία είναι μια κάρτα που επιτρέπει στο σύστημα να κρατάει στη μνήμη της το πρόγραμμα του PLC χωρίς την χρήση μπαταρίας.

Διαδικασία για την αντικατάσταση της μπαταρίας

Όταν η τάση της μπαταρίας πέσει, ενώ η τροφοδοσία του PLC είναι ενεργοποιημένη, το LED "BATT" στον πίνακα είναι αναμμένο με κόκκινο χρώμα.

Η μνήμη μπορεί να διατηρηθεί για περίπου ένα μήνα αφότου το LED "BATT" ενεργοποιηθεί. Παρόλα αυτά δεν είναι πάντα εύκολο να διακρίνεις πότε είναι αναμμένο το LED της μπαταρίας. Ετοιμάστε μια νέα μπαταρία αμέσως, και αντικαταστήστε την μπαταρία με νέα.

Αντιμετώπιση προβλημάτων με LEDs

Όταν παρουσιαστεί το πρόβλημα, ελέγξτε τις λυχνίες LED στο PLC, ώστε να εντοπίσει το πρόβλημα μέσα στο PLC.

POWER LED [on/flashing/off]

State of LED	State of PLC	Remedies
ON	Το PLC τροφοδοτείται σωστά	Η παροχή ρεύματος είναι κανονική.
Flashing	<p>Ένα από τα ακόλουθα προβλήματα μπορεί να έχουν συμβεί.</p> <ul style="list-style-type: none">• Ισχύς της καθορισμένης τάσης και ρεύμα δεν τροφοδοτείται προς το τερματικό παροχής ηλεκτρικού ρεύματος.• Εξωτερική καλωδίωση είναι λανθασμένη.	<ul style="list-style-type: none">• Ελέγξτε την τάση τροφοδοσίας.• Μετά την αποσύνδεση των καλωδίων, εκτός από το καλώδιο τροφοδοσίας, εφαρμόστε ξανά τάση στο PLC, και ελέγξτε για τις αλλαγές της κατάστασης. Αν το πρόβλημα παραμένει, επικοινωνήστε με τον τοπικό σας εκπρόσωπο της Mitsubishi Electric
	<ul style="list-style-type: none">• Εσωτερικό σφάλμα του PLC	
OFF	<p>Ένα από τα ακόλουθα προβλήματα μπορεί να έχουν συμβεί.</p> <ul style="list-style-type: none">• Η παροχή ρεύματος είναι απενεργοποιημένη.• Εξωτερική καλωδίωση είναι λανθασμένη.• Η Ισχύς της καθορισμένης τάσης είναι δεν τροφοδοτεί την ισχύ του τερματικού τροφοδοσίας.• Το καλώδιο τροφοδοσίας είναι σπασμένο.	<ul style="list-style-type: none">• Εάν η ισχύς δεν είναι off, ελέγξτε την τροφοδοσία και η τροφοδοσία διαδρομή τροφοδοσίας. Εάν η τροφοδοσία παρέχεται σωστά, συμβουλευτείτε τον τοπικό σας Mitsubishi Electric εκπρόσωπος.• Μετά την αποσύνδεση των καλωδίων, εκτός από το καλώδιο τροφοδοσίας, εφαρμόστε ξανά τάση στο PLC, και ελέγξτε για τις αλλαγές της κατάστασης. Αν το πρόβλημα παραμένει, επικοινωνήστε με τον τοπικό σας εκπρόσωπος της Mitsubishi Electric

BATT LED [on/ off]

State of LED	State of PLC	Remedies
ON	Η τάση της μπαταρίας είναι χαμηλή	Αμέσως αντικαταστήστε την μπαταρία.
OFF	Η τάση της μπαταρίας είναι ψηλότερη από ό,τι η τιμή που έχει οριστεί με την D8006.	Κανονική λειτουργία

ERROR LED [on/ flashing/
off]

State of LED	State of PLC	Remedies

ON	Ένα σφάλμα στο "Watchdog Timer" μπορεί να έχει συμβεί ή το υλικό του PLC μπορεί να είναι κατεστραμμένο.	<p>1) Σταματήστε το PLC και ξανά εφαρμόστε τροφοδοσία.</p> <p>Αν το LED ERROR σβήσει, ένα σφάλμα χρονοδιακόπτη φύλακα μπορεί να έχει συμβεί.</p> <p>Πάρτε οποιοδήποτε από τα ακόλουθα μέτρα.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Επανεξέταση του προγράμματος. Η μέγιστη τιμή (D8012) του χρόνου σάρωσης δεν θα πρέπει να υπερβαίνει τη ρύθμιση (D8000) του χρονοδιακόπτη φύλακα. - Ελέγξτε ότι η είσοδος χρησιμοποιείται για τη διακοπή ή ανίχνευση παλμών δεν ενεργοποιούνται και απενεργοποιούνται σε μία σάρωση. - Ελέγξτε ότι η συχνότητα του παλμού εισόδου των μετρητών υψηλής ταχύτητας δεν υπερβαίνει το καθορισμένο εύρος. - Προσθέστε τις οδηγίες WDT. Προσθέστε μερικές οδηγίες WDT στο πρόγραμμα, και επαναφέρετε τον χρονοδιακόπτη φύλακα αρκετές φορές σε μία σάρωση. - Αλλάξτε τη ρύθμιση του χρονοδιακόπτη φύλακα στο πρόγραμμα έτσι ώστε η ρύθμιση να είναι μεγαλύτερη από την μέγιστη τιμή του χρόνου σάρωσης (D8012). <p>2) Αποσυνδέστε το PLC και επανασυνδέστε την ισχύ σε αυτό από μια άλλη πηγή. Αν η λυχνία ERROR σβήνει, ο θόρυβος μπορεί να επηρεάζει το PLC. Λάβετε τα ακόλουθα μέτρα.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Ελέγξτε την καλωδίωση της γείωσης, και επανεξετάστε τη διαδρομή καλωδίων και τη θέση εγκατάστασης. - Τοποθετήστε ένα φίλτρο θορύβου πάνω στην γραμμή παροχής ρεύματος.
Flashing	Ένα από τα ακόλουθα σφάλματα έχει συμβεί στο PLC. <ul style="list-style-type: none"> • Σφάλμα παραμέτρων • Συντακτικό λάθος • Σφάλμα Ladder 	<p>Εκτελέστε τη διάγνωση PLC και ελέγξτε το πρόγραμμα με το εργαλείο προγραμματισμού.</p> <p>Για τις διορθωτικά μέτρα, ανατρέξτε στην Ενότητα 14.6 του Manual</p>
OFF	Κανένα σφάλμα που σταματά το PLC δεν έχει συμβεί.	Εάν οι λειτουργίες του PLC είναι μη κανονική, εκτελέστε διάγνωση PLC και προγράμματος ελέγχου με το εργαλείο προγραμματισμού.

Πηγή UTECO ABBE

Τελικός Έλεγχος εν πλω

Με την παράδοση του συστήματος από την εταιρεία αυτοματισμού δεν τελειώνει η διαδικασία. Καθώς η παράδοση του συστήματος απαιτεί και δοκιμαστικό ταξίδι ώστε να διορθωθούν και ρυθμιστούν επί τόπου οι τελευταίες λεπτομέρειες. Τέλος γίνεται παράδοση των τεχνικών εγγράφων και του προγράμματος του PLC και της οθόνης.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1.ΕΙΣΑΓΩΓΗ

ΑΡΧΕΣ ΑΥΤΟΜΑΤΙΣΜΟΥ

Ν. Γλώσσας - Δ. Ι. Τσελές

Κεφάλαιο 1 (παράγραφοι : 1.1 -1.2)

2. ΓΕΝΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΑΥΤΟΜΑΤΟΥ ΕΛΕΓΧΟΥ (ΣΑΕ)

ΑΡΧΕΣ ΑΥΤΟΜΑΤΙΣΜΟΥ

Ν. Γλώσσας - Δ. Ι. Τσελές

Κεφάλαιο 1 (παράγραφος 1.3)

3. ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΕΛΕΓΧΟΥ ΑΝΟΙΚΤΟΥ ΚΑΙ ΚΛΕΙΣΤΟΥ ΒΡΟΓΧΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΝΟΙΚΤΟΥ – ΚΛΕΙΣΤΟΥ ΒΡΟΓΧΟΥ

ΑΝΑΛΟΓΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΥΤΟΜΑΤΟΥ ΕΛΕΓΧΟΥ

Πτυχιακή Εργασία: Βεζύρης Αλέξανδρος

Κεφάλαια 1.1 – 1.2 – 1.3 – 1.6

ΑΡΧΕΣ 4. ΑΠΛΑ ΚΑΙ ΣΥΝΘΕΤΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΥΤΟΜΑΤΙΣΜΟΥ

ΑΡΧΕΣ ΑΥΤΟΜΑΤΙΣΜΟΥ

Ν. Γλώσσας - Δ. Ι. Τσελές

Κεφάλαιο 1 (παράγραφος 1.4)

5. ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ ΑΥΤΟΜΑΤΙΣΜΟΥ

ΑΥΤΟΜΑΤΙΣΜΟΥ

Ν. Γλώσσας - Δ. Ι. Τσελές

Κεφάλαιο 1 (παράγραφοι 1.5 , 1.6, 1.7)

6. ΕΛΕΓΚΤΕΣ

ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΟΝ ΑΥΤΟΜΑΤΟ ΈΛΕΓΧΟ – ΑΥΤΟΜΑΤΙΣΜΟΙ ΠΛΟΙΩΝ

Ι. Γ. Βλαχογιάννη - Δ. Α. Παπαχρήστου - Γ. Ε. Χαμηλοθώρη

Κεφάλαιο 4 (παράγραφοι 4.1 έως και 4.4.) (σελίδες από 55 έως 59)

ΑΥΤΟΜΑΤΙΣΜΟΙ & ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΥΤΟΜΑΤΟΥ ΕΛΕΓΧΟΥ (Β΄Τεύχος)

Λιγνός Ιωάννης – Μπούσλης Πέτρος – Πολίτης Γεώργιος – Χαμηλοθώρης Γεώργιος

Σελίδες 131 (Περίληψη) και σελίδες 135 – 136 (Πίνακας βασικών ελεγκτών)

7. ΕΥΣΤΑΘΕΙΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΑΥΤΟΜΑΤΟΥ ΕΛΕΓΧΟΥ

ΑΝΑΛΟΓΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΥΤΟΜΑΤΟΥ ΕΛΕΓΧΟΥ

Πτυχιακή Εργασία: Βεζύρης Αλέξανδρος (Κεφάλαιο 1.5)

ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΙΑ - ΑΥΤΟΜΑΤΙΣΜΟΙ

Κωνσταντίνος Διακουμάκος – Μαρία Ιωαννίδου – Νικόλαος Πανταζής –
Ιωάννης Παπαδάκης.

Κεφάλαιο 6 (παράγραφος 6.15) (σελίδες 281 – 283)

8. ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΕΛΕΓΚΤΩΝ

ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΟΝ ΑΥΤΟΜΑΤΟ ΈΛΕΓΧΟ – ΑΥΤΟΜΑΤΙΣΜΟΙ ΠΛΟΙΩΝ

Ι. Γ. Βλαχογιάννη - Δ. Α. Παπαχρήστου - Γ. Ε. Χαμηλοθώρη

Κεφάλαιο 4(παράγραφοι 4.5 – 4.6), (σελίδες 59 - 68)

9. ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ – ΜΕΤΡΗΤΙΚΕΣ ΔΙΑΤΑΞΕΙΣ

ΑΡΧΕΣ ΑΥΤΟΜΑΤΙΣΜΟΥ

Ν. Γλώσσας - Δ. Ι. Τσελές

Κεφάλαιο 2 Αισθητήρια – Μετρήσεις (σελίδα 12 – σελίδα 15 μέχρι παράγραφο 2.2)

ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΟΝ ΑΥΤΟΜΑΤΟ ΈΛΕΓΧΟ – ΑΥΤΟΜΑΤΙΣΜΟΙ ΠΛΟΙΩΝ

Ι. Γ. Βλαχογιάννη - Δ. Α. Παπαχρήστου - Γ. Ε. Χαμηλοθώρη

Κεφάλαιο 3

10. ΑΙΣΘΗΤΗΡΕΣ – ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΑΙΣΘΗΤΗΡΩΝ

ΑΡΧΕΣ ΑΥΤΟΜΑΤΙΣΜΟΥ

Ν. Γλώσσας - Δ. Ι. Τσελές

Κεφάλαιο 2. Αισθητήρια – Μετρήσεις (Παράγραφος 2.2 – και παράγραφο 2.6.) (σελίδες 15 - 28)

Κεφάλαιο 3 Εφαρμογές Αισθητήρων

11. ΑΙΣΘΗΤΗΡΙΑ – ΜΕΤΑΤΡΟΠΕΙΣ

ΑΥΤΟΜΑΤΙΣΜΟΙ & ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΥΤΟΜΑΤΟΥ ΈΛΕΓΧΟΥ (Β΄Τεύχος)

Λιγνός Ιωάννης – Μπούσλης Πέτρος – Πολίτης Γεώργιος – Χαμηλοθώρης Γεώργιος

Κεφάλαιο 6 (σελίδες 164 – 211)

12. ΕΝΕΡΓΟΠΟΙΗΤΕΣ

ΑΥΤΟΜΑΤΙΣΜΟΙ & ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΥΤΟΜΑΤΟΥ ΈΛΕΓΧΟΥ (Β΄Τεύχος)

Λιγνός Ιωάννης – Μπούσλης Πέτρος – Πολίτης Γεώργιος – Χαμηλοθώρης Γεώργιος

Κεφάλαιο 5 (σελίδες 138 – 162)

ΑΝΑΛΟΓΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΥΤΟΜΑΤΟΥ ΈΛΕΓΧΟΥ

Πτυχιακή Εργασία: Βεζύρης Αλέξανδρος

Κεφάλαια 4.1 – 4.2 – 4.3 - 4.4 – 4.5

ΤΗΛΕΚΙΝΗΣΙΣ ΚΑΙ ΑΥΤΟΜΑΤΙΣΜΟΣ ΣΥΓΧΡΟΝΩΝ ΠΛΟΙΩΝ.

Αετίου. Χρ. Τζιφάκι

Κεφάλαιο 6 (σελίδες 85 – σελίδα 95)

13. ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΛΟΓΙΚΟΥ ΑΥΤΟΜΑΤΙΣΜΟΥ

ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΟΝ ΑΥΤΟΜΑΤΟ ΈΛΕΓΧΟ – ΑΥΤΟΜΑΤΙΣΜΟΙ ΠΛΟΙΩΝ

Ι. Γ. Βλαχογιάννη - Δ. Α. Παπαχρήστου - Γ. Ε. Χαμηλοθώρη

Κεφάλαιο 6

14. ΨΗΦΙΑΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΥΤΟΜΑΤΟΥ ΈΛΕΓΧΟΥ

ΑΥΤΟΜΑΤΙΣΜΟΙ & ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΥΤΟΜΑΤΟΥ ΈΛΕΓΧΟΥ (Β΄Τεύχος)

Λιγνός Ιωάννης – Μπούσλης Πέτρος – Πολίτης Γεώργιος – Χαμηλοθώρης Γεώργιος

Κεφάλαιο 10

15. ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΖΟΜΕΝΟΙ ΛΟΓΙΚΟΙ ΈΛΕΓΚΤΕΣ

ΨΗΦΙΑΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΔΙΚΤΥΑ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

Δημ. Ε. Γουργούλη – Αθ. Κ. Παπασταμούλη – Χρ. Β. Πρασά

Κεφάλαιο 3

16. ΕΠΙΛΥΣΗ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΩΝ ΑΥΤΟΜΑΤΙΣΜΩΝ ΜΕ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΖΟΜΕΝΟΥΣ ΛΟΓΙΚΟΥΣ ΈΛΕΓΚΤΕΣ

ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΟΝ ΑΥΤΟΜΑΤΟ ΈΛΕΓΧΟ – ΑΥΤΟΜΑΤΙΣΜΟΙ ΠΛΟΙΩΝ

Ι. Γ. Βλαχογιάννη - Δ. Α. Παπαχρήστου - Γ. Ε. Χαμηλοθώρη

Κεφάλαιο 8

17. ΔΙΚΤΥΑ PLC

Η ΧΡΗΣΗ ΤΩΝ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΖΟΜΕΝΩΝ ΛΟΓΙΚΩΝ ΕΛΕΓΚΤΩΝ ΣΕ ΝΑΥΤΙΛΙΑΚΕΣ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ

Πτυχιακή Εργασία: Μπούτσικας Δημήτριος
Παράγραφοι: 2.8.1 – 2.8.5 (σελίδες 37 – 42)

18. ΕΝΔΕΙΞΕΙΣ ΟΘΟΝΗΣ PLC ΚΑΙ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ

ΑΥΤΟΜΑΤΟΣ ΑΠΟΜΑΚΡΥΣΜΕΝΟΣ ΕΛΕΓΧΟΣ ΜΗΧΑΝΟΣΤΑΣΙΟΥ ΣΕ ΡΥΜΟΥΛΚΟ ΠΛΟΙΟΥ ΜΕ ΠΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ ΑΠΟ UMS

Πτυχιακή Εργασία: Θεοδώρατος Γεώργιος
Κεφάλαιο 6.(σελίδες 50 – 66)