

ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΙΑ ΑΥΤΟΜΑΤΙΣΜΟΙ

Γ' ΕΠΑ.Λ.

Ειδικότητα:

**Τεχνικών
Εγκαταστάσεων
Ψύξης, Αερισμού
και Κλιματισμού**



ΤΟΜΕΑΣ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΑΣ

ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΙΑ – ΑΥΤΟΜΑΤΙΣΜΟΙ

ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΑΡΧΙΚΗΣ ΕΚΔΟΣΗΣ

ΣΥΓΓΡΑΦΕΙΣ

- Διακουμάκος Κωνσταντίνος, Μηχανολόγος Μηχανικός Ε.Μ. Πολυτεχνείου
- Ιωαννίδου Μαρία, Διδάκτορας Ηλεκτρολόγος Μηχανικός, Αναπληρώτρια Καθηγήτρια Ε.Μ. Πολυτεχνείου
- Πανταζής Νικόλαος, Εκπαιδευτικός Τεχνολόγος Ηλεκτρονικός Μηχανικός, Καθηγητής Εφαρμογών ΤΕΙ Αθηνών
- Παπαδάκης Ιωάννης, Μηχανολόγος Ηλεκτρολόγος Μηχανικός

ΣΥΝΤΟΝΙΣΤΗΣ

- Ροζάκος Νικόλαος, Μηχανολόγος Μηχανικός

ΕΠΙΤΡΟΠΗ ΚΡΙΣΗΣ

- Πάγκαλος Σταύρος, Μηχανολόγος Ηλεκτρολόγος Μηχανικός, Καθηγητής Β/μιας Εκπ/σης
- Παπαβασιλόπουλος Γεώργιος, Ηλεκτρολόγος Μηχανολόγος Μηχανικός, Καθηγητής Ε.Μ.Π.
- Χάλκος Πέτρος, Ηλεκτρολόγος Μηχανολόγος Μηχανικός, Καθηγητής Β/μιας Εκπ/σης

ΓΛΩΣΣΙΚΗ ΕΠΙΜΕΛΕΙΑ

- Αστεριάδης Νικόλαος, Φιλολόγος

ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ

- Δημητρέλου Κωνσταντίνα

ΠΑΙΔΑΓΩΓΙΚΟ ΙΝΣΤΙΤΟΥΤΟ:

Σταμάτης Αλαχιώτης

*Καθηγητής Γενετικής Πανεπιστημίου Πατρών
Πρόεδρος του Παιδαγωγικού Ινστιτούτου*

- Επιστημονικός Υπεύθυνος του Έργου:

Γεώργιος Βούτσινος

Σύμβουλος του Παιδαγωγικού Ινστιτούτου

- Υπεύθυνος του Μηχανολογικού Τομέα

Δαφέρμος Ολύμπιος

Σύμβουλος του Παιδαγωγικού Ινστιτούτου

ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΕΠΑΝΕΚΔΟΣΗΣ

Η επανέκδοση του παρόντος βιβλίου πραγματοποιήθηκε από το Ινστιτούτο Τεχνολογίας Υπολογιστών & Εκδόσεων «Διόφαντος» μέσω ψηφιακής μακέτας.

ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ ΚΑΙ ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ
ΙΝΣΤΙΤΟΥΤΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΗΣ ΠΟΛΙΤΙΚΗΣ

ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ ΔΙΑΚΟΥΜΑΚΟΣ
ΝΙΚΟΛΑΟΣ ΠΑΝΤΑΖΗΣ

ΜΑΡΙΑ ΙΩΑΝΝΙΔΟΥ
ΙΩΑΝΝΗΣ ΠΑΠΑΔΑΚΗΣ

Η συγγραφή και η επιστημονική επιμέλεια του βιβλίου πραγματοποιήθηκε
υπό την αιγίδα του Παιδαγωγικού Ινστιτούτου

ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΙΑ ΑΥΤΟΜΑΤΙΣΜΟΙ

Γ΄ ΕΠΑ.Λ.

Ειδικότητα:
Τεχνικών Εγκαταστάσεων Ψύξης,
Αερισμού και Κλιματισμού

ΤΟΜΕΑΣ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΑΣ

ΙΝΣΤΙΤΟΥΤΟ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ ΚΑΙ ΕΚΔΟΣΕΩΝ
«ΔΙΟΦΑΝΤΟΣ»

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Το βιβλίο αυτό αποσκοπεί να περιγράψει τους νόμους και τις εφαρμογές της ηλεκτρολογίας και του αυτοματισμού τα οποία χρησιμοποιούνται συχνά στις εγκαταστάσεις ψύξης και κλιματισμού έτσι, ώστε να αποτελέσει ένα εργαλείο εμβάθυνσης του αντίστοιχου μαθήματος των Τ.Ε.Ε.

Οι συγγραφείς πιστεύουν ότι τόσο η Ηλεκτρολογία όσο και οι Αυτοματισμοί δεν είναι κάτι το ιδιαίτερα εύκολο, καθώς αποτελούν ένα σχετικά σύνθετο εφαρμοσμένο πεδίο, το οποίο όμως βρίσκει εφαρμογές σε πολλούς τομείς της καθημερινής ζωής.

Προσπάθεια καταβλήθηκε να παρουσιασθούν τα διάφορα παραδείγματα χωρίς δύσκολες μαθηματικές συναρτήσεις, απαιτείται μόνο η γνώση στοιχείων Άλγεβρας και βασικών εννοιών της Τριγωνομετρίας. Έχει καταβληθεί επίσης ιδιαίτερη μέριμνα στη δομή και στον τρόπο παρουσίασης των καινούργιων εννοιών, ώστε αυτές αφενός να συνδέονται με γνώσεις που έχουν απαντηθεί παλαιότερα και αφετέρου επιδιώκεται η εμπέδωσή τους με πολλά παραδείγματα και πρακτικές ασκήσεις.

Η δομή κάθε κεφαλαίου ακολουθεί την παρακάτω σειρά:

- Εισαγωγή σε βασικά μεγέθη που συζητούνται.
- Εξοικείωση σε απλά κυκλώματα, στοιχεία και διατάξεις.
- Λυμένα παραδείγματα.
- Ανακεφαλαίωση.
- Ερωτήσεις και γενικές ασκήσεις που αφορούν όλο το κεφάλαιο.

Οι συγγραφείς επιθυμούν στο σημείο αυτό να ευχαριστήσουν θερμά για τις πολύτιμες συμβουλές και παρατηρήσεις τους τους κ.κ.: Σταύρο Πάγκαλο, Σύμβουλο του Παιδαγωγικού Ινστιτούτου, Γεώργιο Παπαβασιλόπουλο,

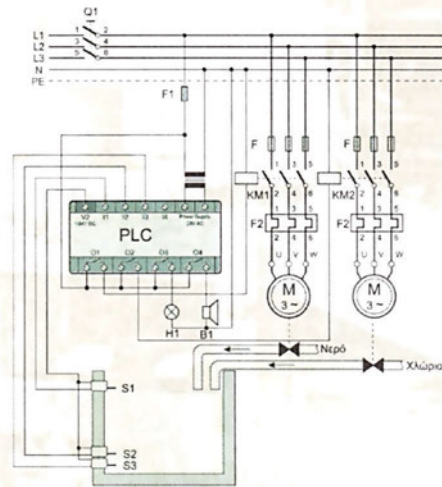
Καθηγητή του Ε.Μ. Πολυτεχνείου, και Πέτρο Χάλκο, Καθηγητή Δευτεροβάθμιας Εκπαίδευσης. Επίσης ευχαριστούν θερμά τους κ.κ. Νικόλαο Ροζάκο και Ολύμπιο Δαφέρμο, Συμβούλους του Παιδαγωγικού Ινστιτούτου, για την υποστήριξη και τη συνεχή ενθάρρυνση ώστε να ολοκληρωθεί αυτό το βιβλίο. Τέλος, θερμές ευχαριστίες οφείλουν στον κύριο Νικόλαο Αστεριάδη, Φιλολόγο, και στην κυρία Κωνσταντίνα Δημητρέλου, Μαθηματικό, Καθηγητές Δευτεροβάθμιας Εκπαίδευσης, για τις πολύτιμες συμβουλές τους ως προς την τελική μορφή του βιβλίου.

Ελπίζουμε ότι η μελέτη αυτού του βιβλίου θα βοηθήσει τους μαθητές των Τ.Ε.Ε. να μάθουν ηλεκτρολογία και αυτοματισμούς με μικρή προσπάθεια και μεγάλη κατανόηση της ύλης.

Οι συγγραφείς
Διακουμάκος Κ., Μαρία Γ. Ιωαννίδου,
Νικόλαος Πανταζής και Ιωάννης Παπαδάκης
Σεπτέμβριος 2001

κεφάλαιο 1

ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΟΥΣ ΑΥΤΟΜΑΤΙΣΜΟΥΣ



- 1.1 Η ΕΝΝΟΙΑ ΤΟΥ ΑΥΤΟΜΑΤΙΣΜΟΥ-ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ
- 1.2 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΝΟΙΚΤΟΥ ΚΑΙ ΚΛΕΙΣΤΟΥ ΒΡΟΧΟΥ
- 1.3 ΡΥΘΜΙΣΗ ΣΥΝΕΧΗΣ ΚΑΙ ΡΥΘΜΙΣΗ ΔΥΟ ΘΕΣΕΩΝ (ON-OFF)
- 1.4 ΤΑ ΒΑΣΙΚΑ ΜΕΡΗ ΕΝΟΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΕΛΕΓΧΟΥ
- 1.5 ΑΙΣΘΗΤΗΡΕΣ, ΣΥΣΚΕΥΕΣ ΕΛΕΓΧΟΥ, ΕΝΕΡΓΟΠΟΙΗΤΕΣ
- 1.6 ΗΛΕΚΤΡΙΚΑ, ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΑ, ΠΝΕΥΜΑΤΙΚΑ ΚΑΙ ΥΔΡΑΥΛΙΚΑ ΕΞΑΡΤΗΜΑΤΑ ΑΥΤΟΜΑΤΙΣΜΩΝ
- 1.7 ΟΙ ΑΥΤΟΜΑΤΙΣΜΟΙ ΠΟΥ ΕΦΑΡΜΟΖΟΝΤΑΙ ΣΤΙΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ ΨΥΞΗΣ ΚΑΙ ΚΛΙΜΑΤΙΣΜΟΥ ΑΝΑΚΕΦΑΛΑΙΩΣΗ ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ



ΕΠΙΔΙΩΚΟΜΕΝΟΙ ΣΤΟΧΟΙ

Σε αυτό το κεφάλαιο θα δοθούν οι πρώτες βασικές έννοιες της επιστήμης του αυτοματισμού. Με την ολοκλήρωση του κεφαλαίου, ο μαθητής θα είναι σε θέση:

- ✓ Να περιγράψει τι είναι αυτοματισμός και πώς φτάσαμε στη σημερινή τεχνολογία.
- ✓ Να διακρίνει ένα σύστημα κλειστού βρόχου από ένα σύστημα ανοικτού βρόχου.
- ✓ Να γνωρίζει τη διαφορά μεταξύ συνεχούς ρύθμισης και ρύθμισης δύο θέσεων (ON-OFF).
- ✓ Να αναφέρει τους αισθητήρες και τους ενεργοποιητές που χρησιμοποιούνται σε ένα σύστημα αυτομάτου ελέγχου.
- ✓ Να αναφέρει παραδείγματα ηλεκτρικών, ηλεκτρονικών, πνευματικών και υδραυλικών αυτοματισμών.
- ✓ Να αναφέρει αυτοματισμούς εγκαταστάσεων ψύξης και κλιματισμού.
- ✓ Να διακρίνει τα συστήματα αυτομάτου ελέγχου με βάση τη χρησιμοποιούμενη ενέργεια (ηλεκτρικά, ηλεκτρονικά, πνευματικά, υδραυλικά κτλ.).

1.1 Η έννοια του αυτοματισμού – Ιστορική αναδρομή

1.1.1 Η έννοια του αυτοματισμού

Οι αυτοματισμοί έρχονται να καλύψουν κάποιες βασικές τεχνικές, οικονομικές ή ανθρώπινες ανάγκες. Πιο συγκεκριμένα, χρησιμοποιούνται για:

- την αντικατάσταση του ανθρώπου σε ορισμένες πληκτικές ή επικίνδυνες εργασίες,
- τη βελτίωση της παραγωγικότητας, της ποιότητας και της απόδοσης της παραγωγικής διαδικασίας,
- την παροχή δυνατότητας στους χειριστές να προσαρμόζουν την παραγωγή με τέτοιο τρόπο ώστε να επιτυγχάνουν τα καλύτερα αποτελέσματα, εύκολα και γρήγορα,
- τη βελτίωση της ασφαλείας του προσωπικού,
- την εξοικονόμηση ενέργειας,
- τη μείωση του κόστους εργασίας.

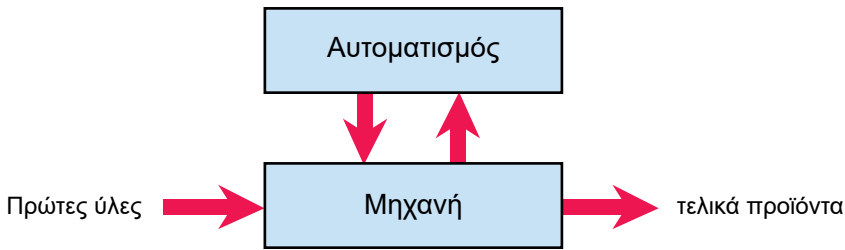
Για να είναι εφικτή η αυτόματη επεξεργασία ενός προϊόντος, απαιτούνται δύο βασικά στοιχεία (Σχήμα 1.1):

- *Η μηχανή ή η εγκατάσταση (τμήμα επεξεργασίας του προϊόντος)*
- *Ο αυτοματισμός ή ο έλεγχος*

Ανάμεσα σε αυτά τα δύο στοιχεία υπάρχει μία άμεση σχέση αλληλοεξάρτησης και ανταλλαγής πληροφοριών που απαιτούνται για την εκτέλεση του έργου.

Ο χρόνος αλλά και ο βαθμός δυσκολίας ενός έργου εξαρτώνται από:

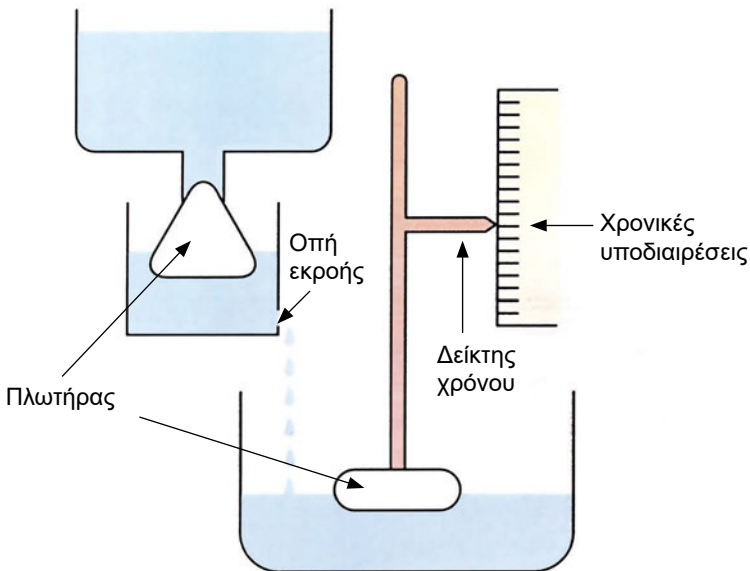
- ◆ το είδος του έργου,
- ◆ το χαμηλότερο ή υψηλότερο βαθμό της αυτοματοποίησης που θα χρησιμοποιηθεί.



Σχήμα 1.1. Διάγραμμα σύνδεσης μηχανής και αυτοματισμού

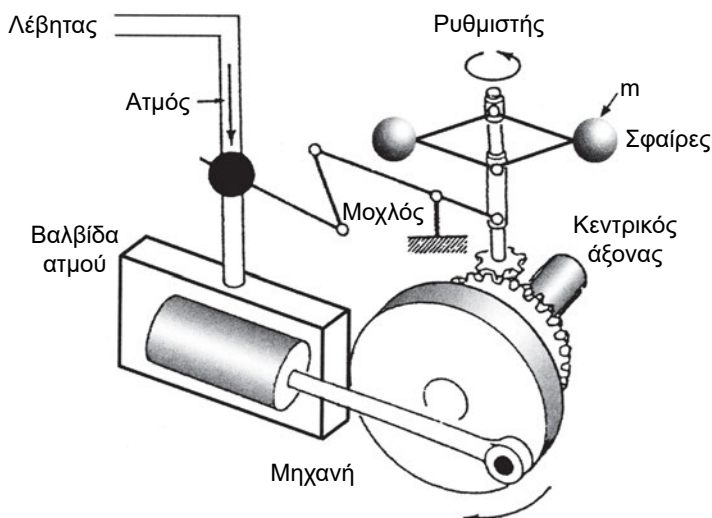
1.1.2 Ιστορική αναδρομή

Η χρήση των αυτοματισμών χρονολογείται από την αρχαιότητα. Από τη μελέτη παλαιών ιστορικών κειμένων προκύπτει ότι πρώτοι οι αρχαίοι Έλληνες χρησιμοποίησαν ένα μηχανισμό προκειμένου να ελέγχουν τη στάθμη νερού σε δεξαμενή. Τυπικό παράδειγμα αυτού του μηχανισμού είναι το υδραυλικό ρολόι που φαίνεται στο Σχήμα 1.2. Αργότερα, στα μέσα του πρώτου μ.Χ. αιώνα, ο *Ήρωνας ο Αλεξανδρεύς* επιτόνησε και κατασκεύασε πολλούς αυτόματους μηχανισμούς. Ένας από τους πλέον γνωστούς είναι αυτός που χρησιμοποιήθηκε για το άνοιγμα και το κλείσιμο της πύλης ενός ναού.



Σχήμα 1.2. Το υδραυλικό ρολόι

Για πολλούς αιώνες στη συνέχεια, η τεχνολογία είχε να επιδείξει μερικά αξιόλογα επιτεύγματα στο χώρο του αυτοματισμού. Το 16ο αιώνα, ο Ολλανδός *Κορνήλιος Ντρεμπέλ* παρουσίασε έναν αυτόματο ρυθμιστή θερμοκρασίας. Το 17ο αιώνα, ο *Denis Papin* επινόησε τον αυτόματο ρυθμιστή πίεσης, που είχε εφαρμογή στους ατμολέβητες. Το 1769, ο *James Watt* ανακάλυψε τον **αυτόματο φυγοκεντρικό ρυθμιστή ταχύτητας των ατμομηχανών, ή ρυθμιστή με σφαίρες**, ο οποίος ήταν το πρώτο αυτόματο σύστημα που εφαρμόστηκε ευρέως στο χώρο της βιομηχανίας (Σχήμα 1.3).

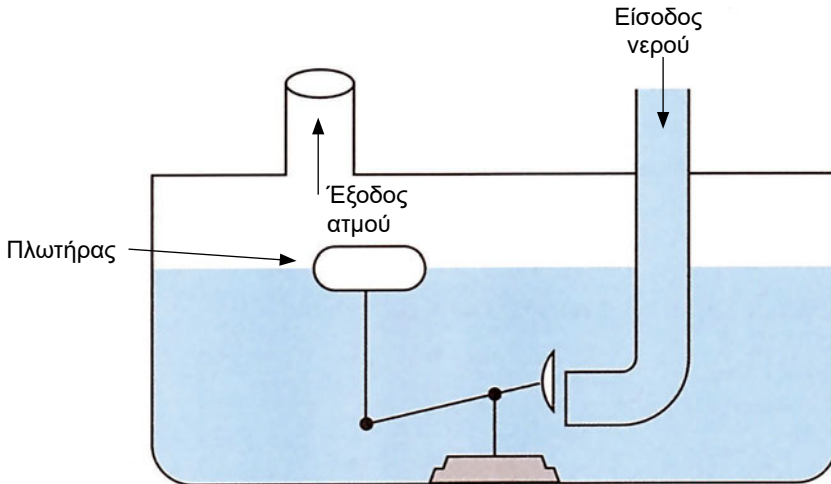


Σχήμα 1.3. Ο αυτόματος φυγοκεντρικός ρυθμιστής ταχύτητας του James Watt

Όταν αυξάνεται η γωνιακή ταχύτητα της ατμομηχανής, αυξάνεται η φυγόκεντρος δύναμη η οποία ωθεί τις σφαίρες μάζας m προς τα έξω, με αποτέλεσμα το κλείσιμο της βαλβίδας και τη διακοπή της εισόδου του ατμού από το λέβητα προς τη μηχανή, με συνέπεια τη μείωση της γωνιακής ταχύτητας. Αντίστροφα, όταν η γωνιακή ταχύτητα είναι χαμηλή, οι σφαίρες κινούνται προς τα μέσα, η βαλβίδα ανοίγει περισσότερο, με αποτέλεσμα την είσοδο μεγαλύτερης ποσότητας ατμού από το λέβητα προς τη μηχανή και την αύξηση πάλι της γωνιακής ταχύτητας.

Το 1765, ο Ρώσος μηχανικός *Ιβάν Πουλζούνωφ* επινόησε το **σύστημα ρύθμισης της στάθμης νερού σε ατμολέβητα** (Σχήμα 1.4). Με τη θέρμανση του νερού και τη μετατροπή του σε ατμό, κατέβαινε η στάθμη του νερού. Κατεβαίνοντας ο πλωτήρας υποχρέωνε το πώμα (μέσω μοχλών) να απομακρυνθεί από τη θέση έμφραξης του στομίου του σωλήνα παρο-

χής νερού, εξασφαλίζοντας έτσι την εισροή της απαιτούμενης ποσότητας νερού στον ατμολέβητα.



Σχήμα 1.4. Ρυθμιστής στάθμης νερού σε ατμολέβητα

Όλες οι εφευρέσεις που είχαν γίνει στο χώρο του αυτοματισμού μέχρι το 1868 βασίζονταν μόνο στην εμπειρία. Γι' αυτό και τα συστήματα που κατασκεύαζαν μέχρι τότε τα διέκρινε αστάθεια κατά τη διάρκεια της λειτουργίας τους. Δηλαδή πολλοί απρόβλεπτοι παράγοντες μπορούσαν να επιδράσουν σε αυτά και να επηρεάσουν την ομαλή λειτουργία τους. Ο χειριστής της μηχανής έπρεπε να την επιβλέπει ώστε να μην καταστραφεί σε περίπτωση αστοχίας του συστήματος.

Την περίοδο εκείνη ο *Βισνεγκράντσκι* ανέπτυξε την πρώτη μαθηματική θεωρία γύρω από τους αυτόματους ελεγκτές. Από τότε και κυρίως μέχρι την έναρξη του Β΄ Παγκοσμίου πολέμου, σημειώθηκε σημαντική πρόοδος στον τομέα των συστημάτων αυτομάτου ελέγχου, χάρη σε επιστήμονες όπως ο *Bode*, ο *Black*, ο *Nyquist*, οι οποίοι είναι οι θεμελιωτές των ομώνυμων θεωριών.

Κατά τη διάρκεια του Β΄ Παγκοσμίου πολέμου, ο τομέας των συστημάτων αυτομάτου ελέγχου παρουσίασε σημαντική ανάπτυξη και βρήκε εφαρμογές στη βελτίωση των οπλικών συστημάτων, όπως στον αυτόματο σκοπευτή πυροβόλων όπλων, στην αυτόματη πλοήγηση των αεροσκαφών και στο ραδιοεντοπισμό (ανίχνευση) κινούμενων στόχων με ραντάρ.

Με την ανάπτυξη των ηλεκτρονικών υπολογιστών, τα συστήματα αυτομάτου ελέγχου έχουν εξελιχθεί σημαντικά, ώστε η οποιαδήποτε απόκλιση

από την κανονική λειτουργία του συστήματος να γίνεται άμεσα αντιληπτή και η διόρθωσή της να γίνεται πολύ σύντομα. Χωρίς τα συστήματα αυτομάτου ελέγχου δεν θα ήταν δυνατή η κατασκευή πυραύλων, διαστημοπλοίων κτλ., αλλά και πιο απλών εφαρμογών της καθημερινής ζωής, όπως είναι π.χ. ο κλιματισμός, το ηλεκτρικό πλυντήριο ρούχων, ο ηλεκτρικός θερμοσίφωνας, η ηλεκτρική τοστιέρα, η διευθέτηση της κυκλοφορίας των οχημάτων με ηλεκτρονικούς σηματοδότες κτλ.

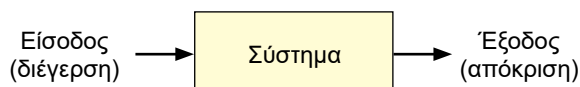
1.2 Συστήματα ανοικτού και κλειστού βρόχου

1.2.1 Συστήματα ελέγχου

Σύστημα είναι μία διάταξη, ή συσκευή, ή ένα πλήθος συσκευών και διατάξεων συνδεδεμένων μεταξύ τους έτσι ώστε να αποτελούν ένα ενιαίο σύνολο. Ο έλεγχος έχει την έννοια της ρύθμισης, της κατεύθυνσης ή της εντολοδότησης ώστε το σύστημα να εκτελεί μία καθορισμένη λειτουργία.

Εάν συνδυάσουμε τις δύο παραπάνω έννοιες, προκύπτει η έννοια του συστήματος ελέγχου. Ένα *σύστημα ελέγχου* αποτελείται από ένα πλήθος υλικών, διατάξεων και μηχανισμών που έχουν ως στόχο την επίτευξη της επιθυμητής λειτουργίας (Σχήμα 1.5). Κάθε *σύστημα ελέγχου* έχει μία είσοδο (ή *διέγερση*) και μία έξοδο (ή *απόκριση*).

Το ψυγείο, ο θερμοσίφωνας, το πλυντήριο ρούχων, ο κλιματισμός και πολλά άλλα μπορούν να θεωρηθούν ως συστήματα. Ένα παράδειγμα διάταξης ελέγχου είναι ο επιλογέας της θερμοκρασίας σε ψυγείο, ή σε τοστιέρα, ή σε θερμοσίφωνα κτλ.

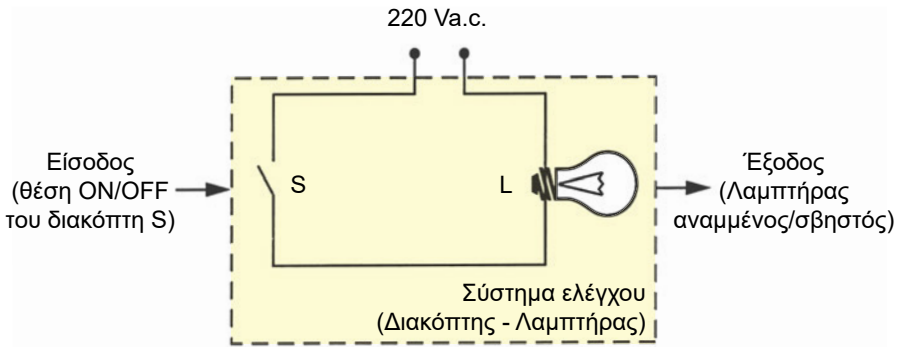


Σχήμα 1.5. Σχηματικό διάγραμμα ενός συστήματος ελέγχου

Π.Χ. ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 1

Αναμμα/σβήσιμο ενός λαμπτήρα.

Ο συνηθισμένος ηλεκτρικός διακόπτης, που προκαλεί το άναμμα ή το σβήσιμο ενός λαμπτήρα, αποτελεί ένα πολύ απλό παράδειγμα συστήματος ελέγχου. Σαν είσοδο του συστήματος θεωρούμε το άνοιγμα ή το κλείσιμο του (χειροκίνητα ή με τη βοήθεια κάποιας άλλης συσκευής). Συνεπώς η είσοδος έχει δύο διακεκριμένες καταστάσεις του διακόπτη, ON και OFF. Η έξοδος του συστήματος είναι η ύπαρξη ή όχι του φωτός (Σχήμα 1.6).



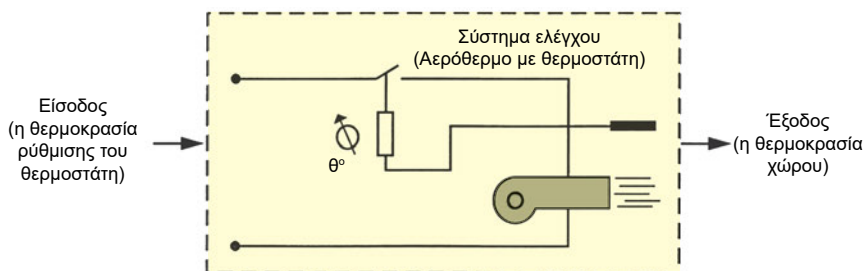
Σχήμα 1.6. Απλό σύστημα ελέγχου με διακόπτη και λαμπτήρα

Π.Χ. ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 2

Ρύθμιση θερμοκρασίας.

Ένα αερόθερμο, που ελέγχεται από θερμοστάτη ο οποίος ρυθμίζει τη θερμοκρασία ενός χώρου, αποτελεί ένα απλό σύστημα ελέγχου. Σαν είσοδο του συστήματος θεωρούμε τη θερμοκρασία αναφοράς (π.χ. 25°C), η οποία προσδιορίζεται με την κατάλληλη ρύθμιση του θερμοστάτη. Σαν έξοδο θεωρούμε την πραγματική θερμοκρασία του χώρου (Σχήμα 1.7).

Όταν σε μία δεδομένη χρονική στιγμή η θερμοκρασία του χώρου πέσει κάτω από αυτήν που είχαμε ορίσει αρχικά, τότε αυτή η μεταβολή γίνεται αντιληπτή από το θερμοστάτη, ο οποίος θέτει σε λειτουργία το αερόθερμο. Μόλις η θερμοκρασία του χώρου φθάσει και πάλι στα επιθυμητά επίπεδα, τότε διακόπτεται αυτόματα η λειτουργία του αερόθερμου.



Σχήμα 1.7. Σύστημα ελέγχου του αερόθερμου με θερμοστάτη

1.2.2 Ταξινόμηση των συστημάτων ελέγχου

Τα Συστήματα Αυτομάτου Ελέγχου (ΣΑΕ) διακρίνονται σε δύο μεγάλες κατηγορίες:

- **συστήματα αυτομάτου ελέγχου ανοικτού βρόχου** ή συστήματα χωρίς ανάδραση (*open-loop systems*),
- **συστήματα αυτομάτου ελέγχου κλειστού βρόχου** ή συστήματα με ανάδραση (*closed-loop systems*).

Στο σύστημα αυτομάτου ελέγχου ανοικτού βρόχου η είσοδος είναι ανεξάρτητη της εξόδου του (Σχήμα 1.8), ενώ στο σύστημα κλειστού βρόχου η είσοδος συγκρίνεται με την έξοδό του (Σχήμα 1.9).

Κάποιοι εξωγενείς παράγοντες επιδρούν στο σύστημα διαταράσσοντας τη λειτουργία του. Αυτοί οι εξωγενείς παράγοντες ονομάζονται "διαταραχές".

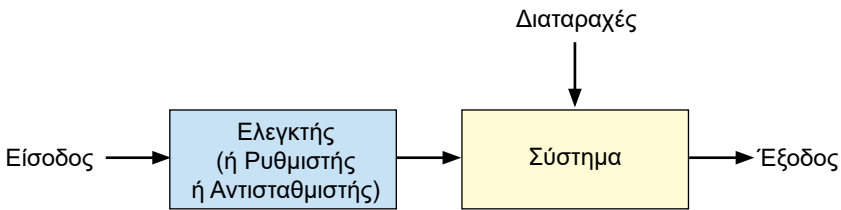
Εάν οι διαταραχές στο σύστημα είναι συχνές ή απρόβλεπτες, πρέπει να παρακολουθείται συνεχώς η μεταβολή της πραγματικής τιμής στην έξοδό του και εφόσον έχουμε μεγάλες απαιτήσεις από τη λειτουργία του συστήματος, τότε είναι πλέον απαραίτητη η *ανάδραση του συστήματος*.

Εάν ο άνθρωπος αναλάβει να εκτελέσει τις εργασίες *μέτρησης, σύγκρισης και ρύθμισης*, τότε ο έλεγχος είναι *χειροκίνητος* (Σχήμα 1.10). Εάν όμως ο άνθρωπος αντικατασταθεί από μία ειδική συσκευή η οποία θα αναλάβει να εκτελέσει τις ίδιες ακριβώς εργασίες, τότε ο έλεγχος είναι αυτόματος και προκύπτει ένα *αυτόματα ελεγχόμενο σύστημα*, ή ένα *σύστημα αυτομάτου ελέγχου κλειστού βρόχου*, ή *σύστημα με ανάδραση* (Σχήμα 1.9).

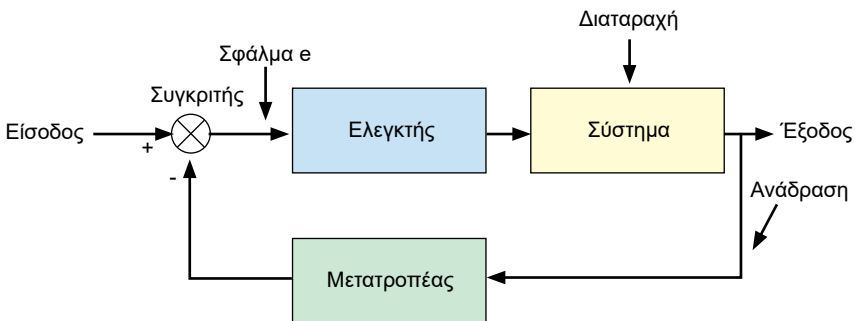
Τα ανοικτά συστήματα αυτομάτου ελέγχου εφαρμόζονται στις παρακάτω περιπτώσεις:

- Όταν οι μεταβολές των διαταραχών, που επιδρούν στη λειτουργία του συστήματος, είναι αμελητέες (π.χ. η μικρή αυξομείωση της τάσης του δικτύου δεν επηρεάζει τη λειτουργία της τοστιέρας ή του λαμπτήρα).
- Όταν στο σύστημα επιδρά μόνο ένας συγκεκριμένος τύπος διαταραχής ο οποίος είναι γνωστός, όσον αφορά το είδος και την πορεία του (π.χ. οι αυξομειώσεις της τάσης του δικτύου).
- Όταν οι διαταραχές που εμφανίζονται στο σύστημα είναι σπάνιες (π.χ. η απορρύθμιση του προγραμματιστή του πλυντηρίου).

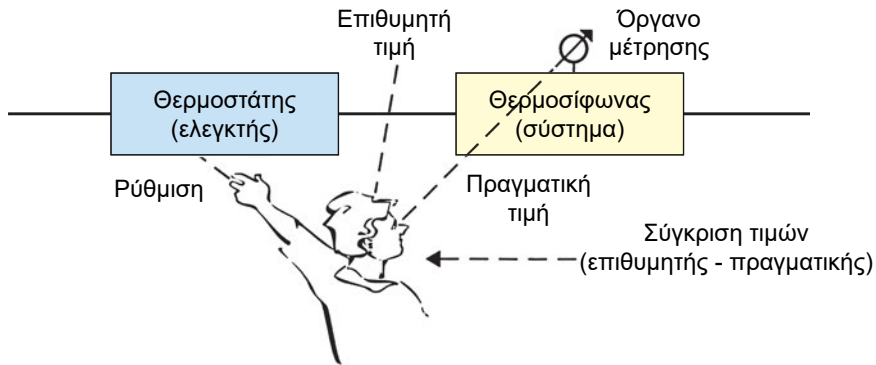
Τα κλειστά συστήματα αυτομάτου ελέγχου εφαρμόζονται στις περιπτώσεις όπου οι διαταραχές που επιδρούν στο σύστημα διαφέρουν τόσο στο είδος όσο και στο μέγεθος (π.χ. η συχνότητα του ανοίγματος της πόρτας του ψυγείου, η μεταβολή της θερμοκρασίας του περιβάλλοντος κτλ.).



Σχήμα 1.8. Σύστημα αυτομάτου ελέγχου ανοικτού βρόχου



Σχήμα 1.9. Σύστημα αυτομάτου ελέγχου κλειστού βρόχου



Σχήμα 1.10. Χειροκίνητος έλεγχος σε σύστημα ελέγχου κλειστού βρόχου

Π.Χ. ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 3

Μία τοστιέρα αποτελεί ένα σύστημα ελέγχου ανοικτού βρόχου διότι ελέγχεται μόνον από ένα χρονοδιακόπτη. Ο χρόνος που απαιτείται για να ψηθεί καλά ένα τοστ είναι θέμα του χρήστη (ο οποίος δεν αποτελεί μέρος του συστήματος). Από τη στιγμή που θα αρχίσει να μετρά ο χρόνος ψησίματος του τοστ, δεν υπάρχει πλέον κανένας απολύτως έλεγχος στο σύστημα. Δηλαδή, εάν στο τέλος της διαδικασίας παρατηρηθεί είτε ότι το τοστ βγήκε μισοψημένο είτε ότι βγήκε καμένο, τότε το μόνο που μπορεί να γίνει είναι μία νέα ρύθμιση του χρονοδιακόπτη (με βάση την προηγούμενη εμπειρία), προκειμένου να επιτευχθεί το καλύτερο δυνατό αποτέλεσμα. Με απλά λόγια, δεν υπάρχει κανένας τρόπος αυτόματης διόρθωσης της θερμοκρασίας του συστήματος καθ' όλη τη διάρκεια του ψησίματος του τοστ.

Π.Χ. ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 4

Το πλυντήριο ρούχων είναι ένα σύστημα ελέγχου ανοικτού βρόχου. Ο ρυθμιστής του πλυντηρίου είναι ένας *προγραμματιστής*, ο οποίος οδηγεί το πλυντήριο ώστε να εκτελεί μία σειρά από λειτουργίες: παροχή ή διακοπή νερού, παροχή απορρυπαντικού, περιστροφή του κάδου, αλλαγή ταχύτητας περιστροφής του κάδου, σταμάτημα, άντληση. Το πλυντήριο εκτελεί τις εντολές που παίρνει από τον προγραμματιστή, με βάση το προκαθορισμένο από τον κατασκευαστή πρόγραμμα, χωρίς να επηρεάζεται από την καθαρότητα ή μη των ρούχων ή από την ποσότητά τους.

Άλλα παραδείγματα συστημάτων ελέγχου ανοικτού βρόχου είναι το ασανσέρ, το ξυπνητήρι, η ηλεκτρική κουζίνα κτλ.

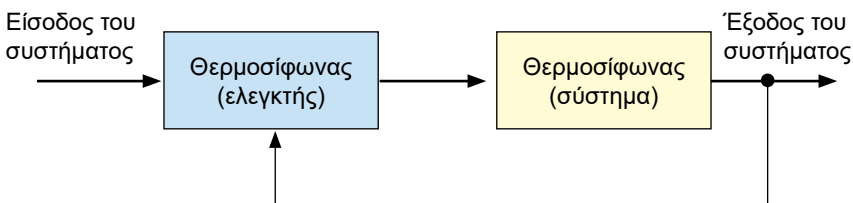
Π.Χ. ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 5

Ο θερμοσίφωνας είναι σύστημα αυτομάτου ελέγχου κλειστού βρόχου (Σχήμα 1.11). Η είσοδος του συστήματος είναι η επιθυμητή θερμοκρασία του νερού. Το σύστημα, αφού λάβει την εντολή, ενεργοποιεί κάποια άλλα στοιχεία που συμμετέχουν σ' αυτήν τη διεργασία (στην προκειμένη περίπτωση, τον καυστήρα ή την ηλεκτρική αντίσταση). Η έξοδος του συστήματος είναι η πραγματική θερμοκρασία του νερού.

Προκειμένου η θερμοκρασία εξόδου του νερού να διατηρείται στα επιθυμητά επίπεδα, υπάρχει ένας θερμοστάτης ο οποίος λειτουργεί ως ελεγκτής ή ρυθμιστής. Επομένως ο θερμοσίφωνας ως σύστημα αυτομάτου ελέγχου περιλαμβάνει: έναν ελεγκτή στην είσοδό του, με τον οποίο ρυθμίζεται η επιθυμητή θερμοκρασία του νερού, και ένα όργανο μέτρησης στην έξοδό του, που δείχνει την πραγματική τιμή της θερμοκρασίας εξόδου του νερού.

Εάν υποθέσουμε ότι ρυθμίζουμε την επιθυμητή θερμοκρασία του νερού, π.χ. στους 60°C, και αφήσουμε το θερμοσίφωνα να δουλέψει μόνος του, τότε, είναι πιθανό η θερμοκρασία στην έξοδό του να μην είναι ίδια με την επιθυμητή. Επομένως εξωγενείς παράγοντες, οι διαταραχές, επέδρασαν στο θερμοσίφωνα διαταράσσοντας τη λειτουργία του (π.χ. εισροή κρύου νερού).

Εάν οι διαταραχές είναι συχνές, τότε θα πρέπει να παρακολουθείται συνεχώς η εξέλιξη της πορείας της πραγματικής τιμής (στην έξοδο), και εφόσον έχουμε μεγάλες απαιτήσεις από τη λειτουργία του συστήματος, τότε είναι πλέον απαραίτητη η χρήση της ανάδρασης για τη βελτίωσή της. Ο έλεγχος πλέον είναι αυτόματος και προκύπτει ένα αυτόματα ελεγχόμενο σύστημα, ή ένα σύστημα αυτομάτου ελέγχου κλειστού βρόχου.



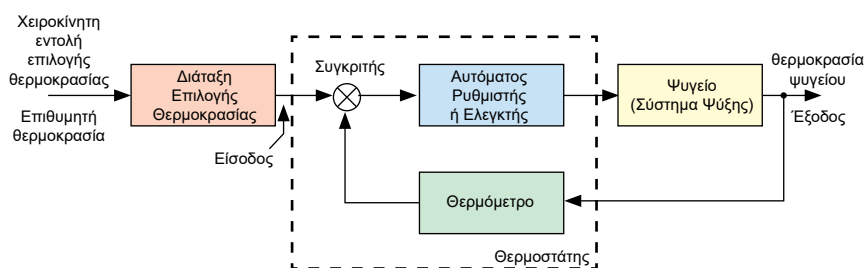
Σχήμα 1.11. Ο θερμοσίφωνας σαν σύστημα αυτομάτου ελέγχου κλειστού βρόχου

Π.Χ. ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 6

Έλεγχος θερμοκρασίας ψυγείου σε κλειστό σύστημα

Το Σχήμα 1.12 περιγράφει διαγραμματικά τη λειτουργία του ηλεκτρικού ψυγείου. Με τη βοήθεια μιας *διάταξης επιλογής θερμοκρασίας* (ή *επιλογέα θερμοκρασίας*), επιλέγουμε την επιθυμητή θερμοκρασία, έστω τους 3°C. Αυτή η εντολή, με τη μορφή ενός ηλεκτρικού σήματος, οδηγείται σε μία διάταξη σύγκρισης, το *συγκριτή*. Εκεί συγκρίνεται με την πραγματική θερμοκρασία του ψυγείου (σήμα στην έξοδο του συστήματος), η οποία έχει μετρηθεί από ένα *θερμόμετρο*.

Όταν η επιθυμητή θερμοκρασία είναι ίδια με την πραγματική, τότε η διαφορά που προκύπτει από τη σύγκριση είναι μηδενική, και το σύστημα (το ψυγείο) λειτουργεί κανονικά και δεν χρειάζεται να γίνει καμία διόρθωση. Εάν όμως, μετά τη σύγκριση, προκύψει κάποια διαφορά (σφάλμα) μεταξύ των δύο τιμών θερμοκρασίας, της επιθυμητής και της πραγματικής, τότε το σήμα σφάλματος οδηγείται στον *ελεγκτή*. Εκεί, αφού υποστεί την κατάλληλη διεργασία (π.χ. ενίσχυση), διοχετεύεται στο σύστημα ψύξης και γίνεται η διόρθωση της θερμοκρασίας.

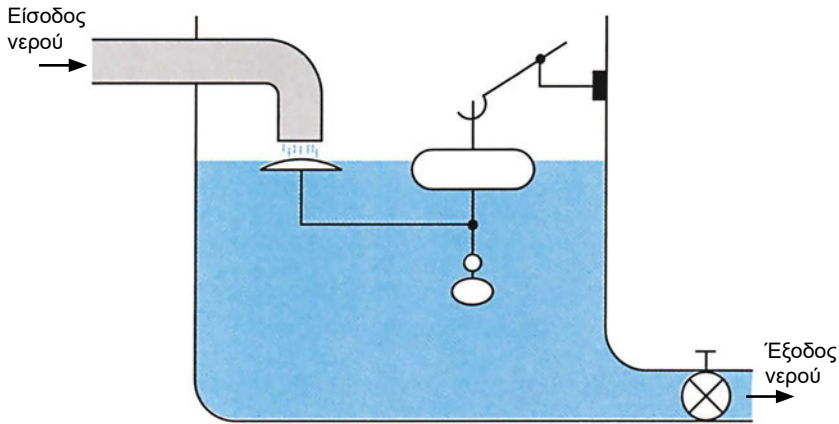


Σχήμα 1.12. Κλειστό σύστημα ελέγχου θερμοκρασίας ψυγείου

Π.Χ. ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 7

Έλεγχος της στάθμης νερού σε δεξαμενή με σύστημα κλειστού βρόχου

Όταν η δεξαμενή είναι άδεια (ενώ παραμένει κλειστή η έξοδος), το φλοτέρ βρίσκεται χαμηλά μέσα σε αυτήν, με αποτέλεσμα να είναι τελείως ανοικτό το στόμιο του σωλήνα που τροφοδοτεί με νερό τη δεξαμενή (Σχήμα 1.13). Όταν γεμίσει η δεξαμενή, το φλοτέρ ανεβαίνει και ο μηχανισμός έμφραξης, που είναι στερεωμένος στο στέλεχός του, φράσσει σταδιακά το στόμιο του σωλήνα μέχρι να σταματήσει η παροχή νερού στη δεξαμενή.



Σχήμα 1.13. Πλήρωση δεξαμενής με νερό με τη βοήθεια ενός φλωτέρ

1.3 Ρύθμιση συνεχής και ρύθμιση δύο θέσεων (ON-OFF)

Έστω ότι σε ένα κλειστό σύστημα αυτομάτου ελέγχου, π.χ. ένα ψυγείο, η πραγματική θερμοκρασία, σε μία δεδομένη χρονική στιγμή, είναι διαφορετική από την επιθυμητή. Αυτή η διαφορά μεταξύ πραγματικής και επιθυμητής θερμοκρασίας ονομάζεται *σφάλμα*.

Με ποιον τρόπο μπορεί να διορθωθεί το σύστημα όταν παρουσιασθεί σφάλμα στη λειτουργία του και ποια είναι η καλύτερη δυνατή μέθοδος που πρέπει να χρησιμοποιηθεί;

Η μέθοδος ελέγχου που εφαρμόζεται στο σύστημα προσδιορίζεται από το σφάλμα συνδυασμένο με το *διορθωτικό σήμα* που στέλνει ο *ελεγκτής* στο τελικό στοιχείο ελέγχου (ενεργοποιητή).

Οι βασικές κατηγορίες μεθόδων ελέγχου είναι δύο: ο *διακεκομμένος έλεγχος* (*discontinuous control*) και ο *συνεχής έλεγχος* (*continuous control*). Στο διακεκομμένο έλεγχο, το σύστημα ρυθμίζεται προοδευτικά (ή κατά βαθμίδες), ενώ στο συνεχή έλεγχο ρυθμίζεται συνεχώς και μπορεί να πάρει οποιαδήποτε τιμή μεταξύ των δύο ακραίων θέσεων. Ως παραδείγματα συνεχούς ελέγχου μπορούν να αναφερθούν τα ακόλουθα:

- ✓ Μία βαλβίδα μπορεί να πάρει οποιαδήποτε θέση, από τελείως ανοικτή μέχρι τελείως κλειστή.
- ✓ Ένας κινητήρας μπορεί να ρυθμιστεί σε οποιονδήποτε αριθμό στροφών μεταξύ των δύο ορίων ταχύτητας: πολύ χαμηλές στροφές και πολύ υψηλές.

Μία περίπτωση του διακεκομμένου ελέγχου είναι ο έλεγχος δύο θέσεων, ή η ρύθμιση ON-OFF (*two-step control*). Με αυτή τη μέθοδο το σύστημα μπορεί να πάρει μόνο τις δύο ακραίες θέσεις ρύθμισης.

- ◆ Η βαλβίδα ή θα είναι τελείως ανοικτή (ON), ή θα είναι τελείως κλειστή (OFF).
- ◆ Ο ηλεκτρικός διακόπτης ή θα είναι ανοικτός (ON), ή θα είναι κλειστός (OFF), οπότε και ο λαμπτήρας που αναφέρθηκε στο Παράδειγμα 1 θα είναι αναμμένος (ON) ή σβηστός (OFF) αντίστοιχα.
- ◆ Η ηλεκτρική αντίσταση της τοστιέρας (ή του θερμοσίφωνα) ή θα τροφοδοτείται από ρεύμα (ON), ή δεν θα τροφοδοτείται (OFF).

Η ρύθμιση δύο θέσεων εφαρμόζεται στα συστήματα κλιματισμού, στα ψυγεία, στους θερμοσίφωνες και σε πολλές ακόμη περιπτώσεις. Το βασικό ηλεκτρικό εξάρτημα που χρησιμοποιείται σε αυτά τα συστήματα, ώστε να μεταβούν από τη θέση ON στη θέση OFF, είναι ο ηλεκτρονόμος.

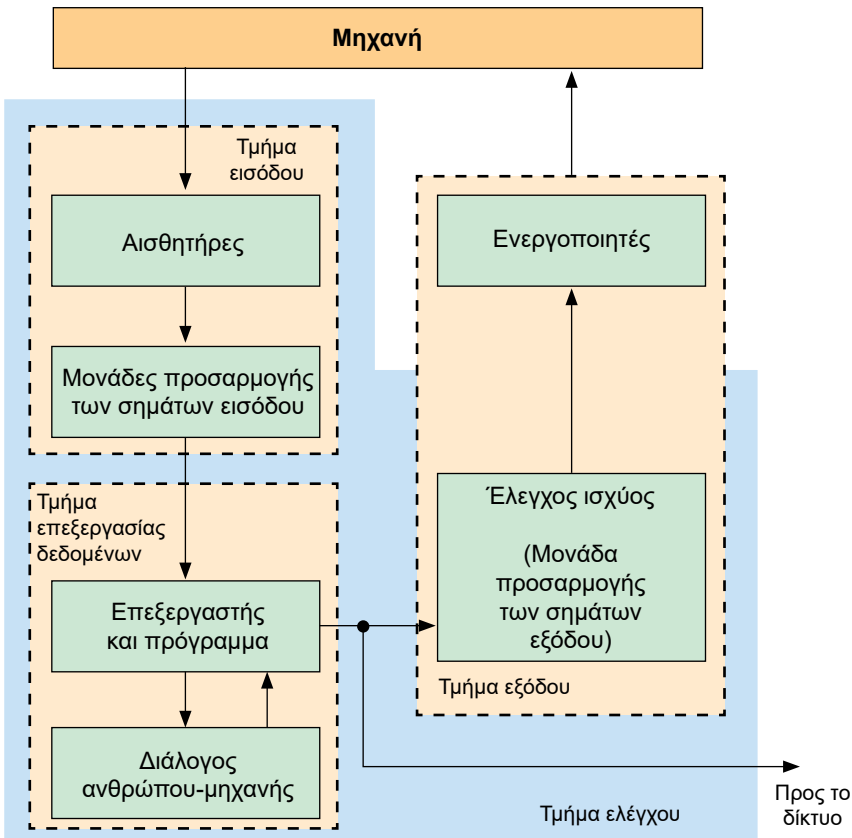
Η μέθοδος ελέγχου ON/OFF είναι ποιοτικά κατώτερη από τη μέθοδο συνεχούς ελέγχου για βιομηχανική χρήση, αλλά παρ' όλα αυτά εξακολουθεί να χρησιμοποιείται ευρύτατα λόγω του χαμηλού της κόστους.

1.4 Τα βασικά μέρη ενός συστήματος ελέγχου

Όλα τα συστήματα αυτομάτου ελέγχου περιλαμβάνουν την ελεγχόμενη μηχανή (ή την εγκατάσταση) και το τμήμα ελέγχου (ή του αυτοματισμού). Το σύστημα αυτομάτου ελέγχου έχει την ικανότητα να διορθώνει αυτόματα (από μόνο του) τη λειτουργία του σύμφωνα με κάποιον προκαθορισμένο επιθυμητό τρόπο. Ένα σύστημα αυτομάτου ελέγχου πρέπει να είναι σε θέση:

- ✓ να λαμβάνει στην είσοδό του τα διάφορα σήματα ή δεδομένα,
- ✓ να τα επεξεργάζεται σύμφωνα με κάποιον προκαθορισμένο επιθυμητό τρόπο,
- ✓ να παρέχει στην έξοδό του το αποτέλεσμα αυτής της επεξεργασίας και να επηρεάζει τη διαδικασία παραγωγής του προϊόντος.

Το τμήμα ελέγχου (Σχήμα 1.14), σε ένα πλήρες σύστημα αυτομάτου ελέγχου, αποτελείται από τα εξής επιμέρους τμήματα:



Σχήμα 1.14. Τμήμα ελέγχου ενός συστήματος

- **Το τμήμα εισόδου**, το οποίο εκτελεί τη λήψη δεδομένων (*data acquisition*) και περιλαμβάνει:
 - α) τους αισθητήρες και
 - β) τις μονάδες προσαρμογής και μετατροπής των σημάτων εισόδου.
- **Το τμήμα επεξεργασίας δεδομένων** (*data processing*). Περιλαμβάνει έναν επεξεργαστή ο οποίος αποτελεί τη βασική μονάδα επεξεργασίας των πληροφοριών, το πρόγραμμα επεξεργασίας δεδομένων και το διάλογο ανθρώπου - μηχανής (*man - machine dialogue*).
- ✓ **Το τμήμα εξόδου**, το οποίο περιλαμβάνει:
 - α) τον έλεγχο ισχύος (*power control*), βασικές μονάδες του οποίου είναι οι συσκευές ελέγχου και η μονάδα προσαρμογής των σημάτων εξόδου και
 - β) τους ενεργοποιητές.

- ✓ **Το δίκτυο** αναλαμβάνει τη μετάδοση των επεξεργασμένων σημάτων σε άλλους διαφορετικούς χώρους για παραπέρα επεξεργασία (καταχώριση δεδομένων λειτουργίας, ενεργοποίηση άλλων συστημάτων κτλ.).

1.5 Αισθητήρες, συσκευές ελέγχου, ενεργοποιητές

1.5.1 Αισθητήρες

Οι αισθητήρες ή αισθητήρια στοιχεία (*sensors*) είναι συσκευές ή διατάξεις οι οποίες έχουν ενσωματωθεί επάνω στη μηχανή επεξεργασίας του προϊόντος για την ανίχνευση, την καταγραφή, τη μέτρηση και τη μεταφορά στη μονάδα επεξεργασίας δεδομένων όλων των πληροφοριών που έχουν σχέση με την κατάσταση λειτουργίας του ελεγχόμενου συστήματος.

Οι αισθητήρες μετατρέπουν ένα φυσικό μέγεθος (φωτεινό σήμα, μηχανικό σήμα, θερμοκρασία, υγρασία, πίεση, ροή, θέση, κίνηση κτλ.) σε ηλεκτρικό σήμα, ή σε υδραυλική πίεση, ή πίεση αέρος κτλ.

Η επιλογή του καταλληλότερου τύπου αισθητήριου έχει άμεση σχέση με το είδος του μετρούμενου μεγέθους και τον τρόπο λειτουργίας της διάταξης αυτοματισμού.

Ενδεικτικά αναφέρονται μερικοί τύποι αισθητήρων:

- ▶ **Αισθητήρες θερμοκρασίας:** Θερμόμετρα, θερμοστοιχεία, θερμίστορ, θερμοστάτες (ασφαλείας, ρευστού χαμηλής και υψηλής τάσης, εσωτερικού και εξωτερικού χώρου, αερίου, ηλεκτρονικοί, με διμεταλλικό έλασμα), θερμοστατικές βαλβίδες κτλ.
- ▶ **Αισθητήρες πίεσης:** Πιεζοστάτες ή πρεσοστάτες ελέγχου (πίεσης υγρών, λαδιού σε συμπιεστή, διαφορικής πίεσης αέρα ή σε αεραγωγό), ρυθμιστικές βαλβίδες πίεσης για την απόλυτη ή τη διαφορική πίεση.
- ▶ **Αισθητήρες πυκνότητας:** Πυκνόμετρα (μετρούν και ελέγχουν την πυκνότητα).
- ▶ **Αισθητήρες επαφής:** Οριακοί διακόπτες ή οριοδιακόπτες (*limit switches*), οι οποίοι ενεργοποιούνται αμέσως μόλις έλθουν σε επαφή με κάποιο αντικείμενο.

- ▶ **Αισθητήρες ανίχνευσης θέσης:** Επαγωγικοί ή χωρητικοί διακόπτες προσέγγισης (*inductive/capacitive solid-state proximity switches*). Χρησιμοποιούνται στις περιπτώσεις όπου η ανίχνευση απαιτείται να γίνει χωρίς επαφή, ή όπου απαιτείται ταχύτατος ρυθμός ανίχνευσης αντικειμένων, ή σε κάποιο δύσκολο περιβάλλον.
- ▶ **Φωτο-ηλεκτρικοί ανιχνευτές** (*photo-electric detectors*). Χρησιμοποιούνται συνήθως για ανίχνευση της παρουσίας αντικειμένων που βρίσκονται σε απόσταση μεγαλύτερη απ' αυτήν που μπορεί να ανιχνεύσει ένας επαγωγικός αισθητήρας.
- ▶ **Αισθητήρες ανιχνευτές ταχύτητας** (*speed detectors*). Χρησιμοποιούνται για τη μετατροπή γραμμικής ή περιστροφικής ταχύτητας σε ηλεκτρικό σήμα.
- ▶ **Περιστροφικοί διακόπτες** (*rotary switches ή encoders*), οι οποίοι ανιχνεύουν διάφορα φυσικά μεγέθη και παράγουν στην έξοδό τους δεδομένα σε ψηφιακή μορφή.

1.5.2 Συσκευές και στοιχεία του συστήματος ελέγχου

Οι κύριες συσκευές και στοιχεία του συστήματος αυτομάτου ελέγχου είναι:

- ▲ **Ο συγκριτής** (*comparator*) ή **διάταξη μέτρησης του σφάλματος** (*error detector*). Δίνει στην έξοδό του ένα σήμα το οποίο είναι ανάλογο προς τη διαφορά των δύο σημάτων που δέχεται στην είσοδό του ($e = e_1 - e_2$). Είναι συνήθως ένας τελεστικός ενισχυτής ή ένα απλό ποτενσιόμετρο.
- ▲ **Τα στοιχεία ανατροφοδότησης.** Είναι συνήθως **μετατροπείς-μεταλλάκτες-μετρητές** (*transducers*) οι οποίοι μετράνε το σήμα εξόδου και το μετατρέπουν σε αντίστοιχο ηλεκτρικό σήμα. Ο μεταλλάκτης που χρησιμοποιείται π.χ. για τη μέτρηση της στάθμης υγρού σε δεξαμενή είναι ένας πυκνωτής του οποίου ο ένας οπλισμός είναι κινητός, ενώ ο άλλος είναι σταθερός. Όταν το επιστρέφον σήμα από την έξοδο (υγρό) ασκήσει πίεση επάνω στον κινητό οπλισμό, τότε αυτός μετατοπίζεται, με αποτέλεσμα τη μεταβολή της χωρητικότητας και την παραγωγή αντίστοιχου ηλεκτρικού σήματος που κατευθύνεται προς τη δεύτερη είσοδο του συγκριτή.
- ▲ **Οι μονάδες ενίσχυσης ή ενισχυτές** (*amplifiers*) των ασθενών σημάτων, που προέρχονται από την έξοδο του συγκριτή.

- ▲ *Οι ελεγκτές (controllers)*, οι οποίοι επικοινωνούν άμεσα με το ελεγχόμενο σύστημα και του επιβάλλουν τις μεταβολές στη συμπεριφορά λειτουργίας του, ανάλογα με το μέγεθος του σφάλματος που λαμβάνεται από την έξοδο του ελεγκτή. Οι ελεγκτές μπορούν π.χ. να αυξάνουν ή να μειώνουν τις τάσεις των κινητήρων, να ανοίγουν ή να κλείνουν υδραυλικές ή πνευματικές βαλβίδες κτλ.

Ως παραδείγματα συσκευών ελέγχου μπορούν να αναφερθούν:

- ✓ Συσκευές *ελέγχου ροής* (μετρούν και ελέγχουν τη ροή υγρού ή αέρα).
- ✓ Συσκευές *ελέγχου στάθμης* (μετρούν και ελέγχουν τη στάθμη υγρού με πλωτήρα ή με βραχίονα ή με ηλεκτρόδια).
- ✓ Συσκευές *ελέγχου της σχετικής υγρασίας του αέρα* (μετρούν και ελέγχουν την υγρασία του αέρα στο χώρο ή σε αεραγωγό).
- ✓ Συσκευές *ελέγχου παροχής υγρού* (ηλεκτρομαγνητικές βαλβίδες κανονικά ανοικτές – NO, κανονικά κλειστές – NC και με σερβοκινητήρα).

1.5.3 Ενεργοποιητές (*actuators*)

Είναι εξαρτήματα τα οποία τοποθετούνται απευθείας στις ελεγχόμενες μηχανές, ή εγκαταστάσεις και αποτελούν τα "εκτελεστικά όργανα". Πολλές φορές ενισχύουν το ασθενές σήμα εξόδου και στη συνέχεια ενεργοποιούν τα διάφορα ρελέ, ανοίγουν βάνες, διακόπτες κτλ. Επίσης μπορούν να το μετατρέπουν σε σήμα άλλης μορφής ενέργειας, ή ακόμη και να δημιουργήσουν διαδικασίες ανοίγματος/κλεισίματος διακοπών (*switching*), καθώς και γραμμικές ή περιστροφικές κινήσεις.

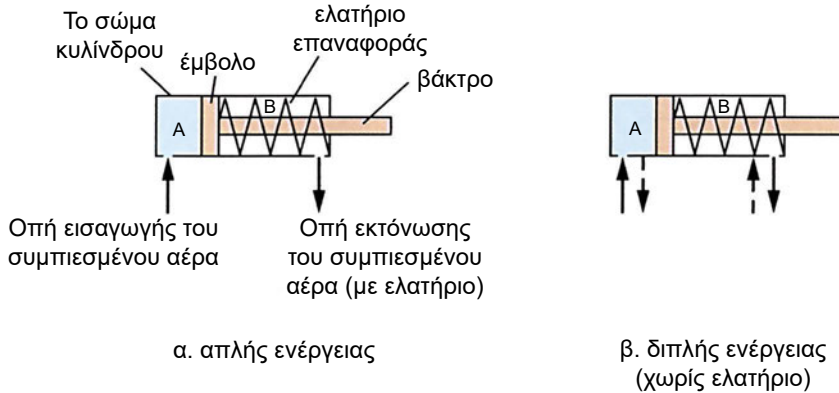
Πνευματικοί ενεργοποιητές

Βασικό στοιχείο για την παραγωγή γραμμικών κινήσεων, ή κινήσεων εμβολισμού, είναι ο *πνευματικός γραμμικός κινητήρας*. Αποτελεί το μηχανισμό με τη βοήθεια του οποίου επιτυγχάνεται η μετατροπή της πνευματικής ενέργειας σε μηχανική και παράγει γραμμική ευθύγραμμη κίνηση.

Ο πνευματικός γραμμικός κινητήρας συναντάται στη βιβλιογραφία και με άλλες ονομασίες, όπως *πνευματικός κύλινδρος, αποδέκτης ισχύος, στοιχείο εργασίας*.

Οι πνευματικοί κύλινδροι είναι απλής ενέργειας (με μόνο μία θύρα εισόδου) ή διπλής ενέργειας (με δύο θύρες εισόδου/εξόδου). Ο πνευματικός

κύλινδρος απλής ενέργειας μπορεί να παράγει κίνηση μόνο προς τη μία κατεύθυνση (κατά την έκταση), (Σχήμα 1.15α). Ο πνευματικός κύλινδρος διπλής ενέργειας μπορεί να παράγει κίνηση και προς τις δύο κατευθύνσεις (έκταση-σύμπτυξη), (Σχήμα 1.15β).

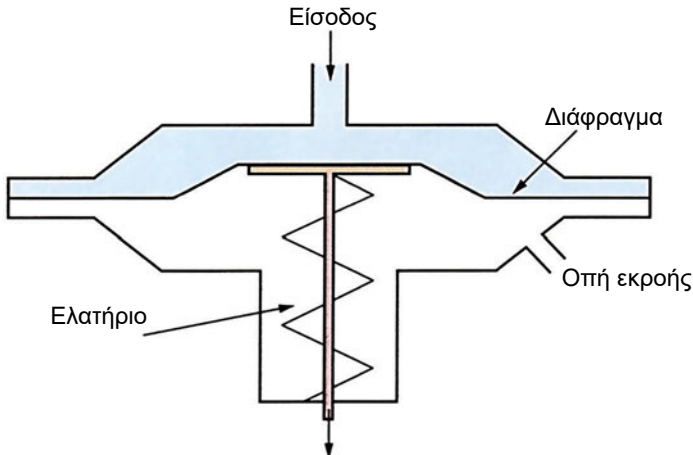


Σχήμα 1.15 Δομικά στοιχεία πνευματικών κυλίνδρων:

α) απλής ενέργειας, β) διπλής ενέργειας

Βαλβίδες ελέγχου

Οι βαλβίδες ελέγχου (control valves) αποτελούν τους συνηθέστερους τύπους των πνευματικών, ή των υδραυλικών ενεργοποιητών. Αυτές μετατρέπουν ένα σήμα πίεσης αέρος (ή λαδιού) σε δύναμη ή ροπή στρέψης (που απαιτείται για την ενεργοποίηση του μηχανήματος (τελικού στοιχείου ελέγχου)). Η βαλβίδα ελέγχου μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε μία κλιματιστική εγκατάσταση για να ρυθμίζει τη διέλευση του ψυκτικού υγρού (Σχήμα 1.16).



Σχήμα 1.16. Βαλβίδα ελέγχου πίεσης υγρού

Υδραυλικοί ενεργοποιητές

Οι υδραυλικοί ενεργοποιητές είναι μηχανισμοί με τη βοήθεια των οποίων επιτυγχάνεται η μετατροπή της υδραυλικής ενέργειας σε μηχανική κίνηση. Είναι γνωστοί και με άλλες ονομασίες, όπως *υδραυλικοί κύλινδροι*, *υδραυλικοί γραμμικοί κινητήρες*, *αποδέκτες ισχύος*, *στοιχεία εργασίας*.

Υπάρχουν δύο βασικοί τύποι κυλίνδρων, όπως ακριβώς και στην περίπτωση των πνευματικών συστημάτων: *απλής* και *διπλής* ενέργειας. Χρησιμοποιούνται κυρίως σε εγκαταστάσεις αυτοματισμού όπου απαιτείται η παραγωγή πολύ μεγάλου μηχανικού έργου. Με τη βοήθεια ενός υδραυλικού κυλίνδρου είναι δυνατή η μετακίνηση μεγάλων φορτίων (Σχήμα 1.17).



Σχήμα 1.17. Τύποι υδραυλικών κυλίνδρων

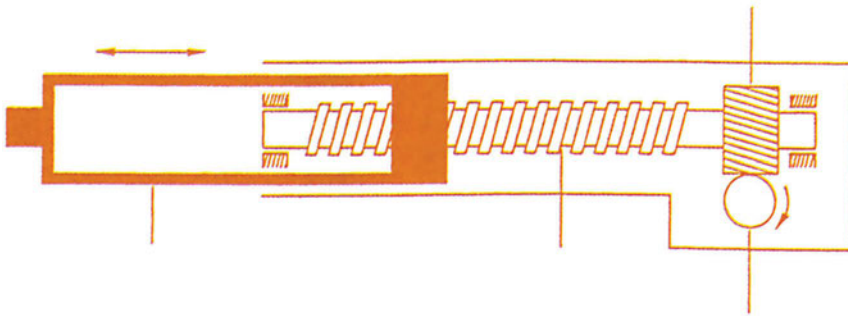
Ηλεκτρικοί ενεργοποιητές

Οι ηλεκτρικοί ενεργοποιητές είναι μηχανισμοί γραμμικής μετάδοσης κίνησης και ανάλογα με τον τύπο της βασικής κατασκευαστικής τους αρχής, διακρίνονται σε:

- *Ηλεκτρομηχανικούς μεταδότες κίνησης.* Χρησιμοποιούν έναν ηλεκτρικό κινητήρα ο οποίος παράγει την περιστροφική κίνηση που μετατρέπεται σε γραμμική κίνηση, μέσα από έναν κατάλληλο μηχανισμό (π.χ. ατέρμονα κοχλία), (Σχήμα 1.18).
- *Κινητήρες γραμμικής κίνησης.* Είναι μηχανισμοί οι οποίοι χρησιμοποιούνται για την παραγωγή ευθύγραμμης κίνησης.

- Ηλεκτρο-υδραυλικές βαλβίδες και κινητήρες.
- Ηλεκτρο-πνευματικές βαλβίδες ή ηλεκτρο-υδραυλικές βαλβίδες.
- Ηλεκτροκινητήρες (ΣΡ, ΕΡ, βηματικοί κινητήρες, σερβοκινητήρες).
- Ενδεικτικές και ηχητικές διατάξεις (*alarms*).

Οι ηλεκτρικοί ενεργοποιητές χρησιμοποιούνται σε εφαρμογές όπως μεταφορά υλικών επάνω σε μεταφορικές ταινίες, κίνηση μεγάλων δίσκων, μηχανισμοί κίνησης αυλοθυρών κτλ.



Σχήμα 1.18. Ηλεκτρομηχανικός μηχανισμός για την παραγωγή γραμμικής κίνησης

Τα αισθητήρια στοιχεία και οι ενεργοποιητές δεν συνδέονται πάντοτε ενσύρματα (γαλβανικά) στις αντίστοιχες κλέμμες εισόδου/εξόδου. Υπάρχει επίσης και ασύρματη επικοινωνία (γαλβανική απομόνωση) των τάσεων χειρισμού εισόδων/εξόδων από την υπόλοιπη συσκευή αυτοματισμού.

Για την ασύρματη επικοινωνία χρησιμοποιούμε τα οπτο-ηλεκτρονικά στοιχεία ζεύξης (*optocouplers*), τα οποία αποτελούνται από:

- ▶ μία δίοδο η οποία μετατρέπει το ηλεκτρικό ρεύμα σε φως και
- ▶ ένα φωτοτρανζίστορ το οποίο λειτουργεί ως διακόπτης (δηλαδή διεγείρεται από τη φωτεινή ακτινοβολία της δίοδου).

1.6 Ηλεκτρικά, ηλεκτρονικά, πνευματικά και υδραυλικά εξαρτήματα αυτοματισμών

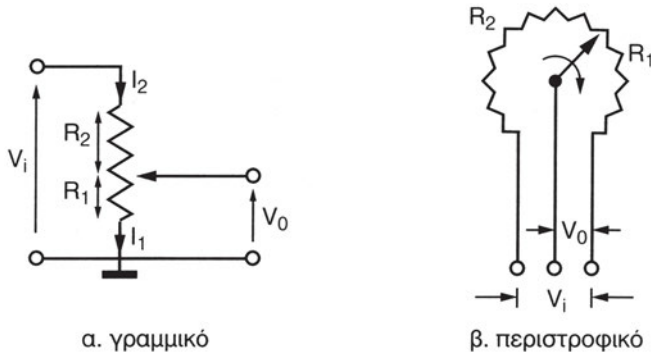
1.6.1 Ηλεκτρικά εξαρτήματα

❖ Ποτενσιόμετρο (potentiometer)

Το ποτενσιόμετρο χρησιμοποιείται σε διατάξεις μέτρησης της τάσης. Είναι ένας βαθμονομημένος διαιρέτης τάσης με κινούμενο δρομέα. Η κίνηση του δρομέα μπορεί να είναι ευθύγραμμη ή περιστροφική (Σχήμα 1.19α και β). Για το ποτενσιόμετρο ισχύει η σχέση:

$$V_o = kV_i$$

$$\text{όπου } k = \frac{R_1}{R_1 + R_2}$$

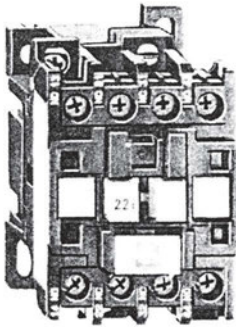


Σχήμα 1.19. Τύποι ποτενσιόμετρων

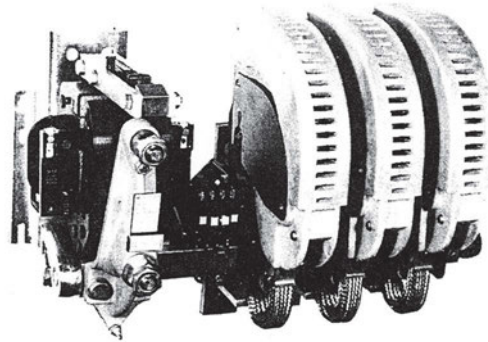
❖ Ηλεκτρονόμος ή ρελέ (relay)

Ο ηλεκτρονόμος είναι ένας διακόπτης που παίρνει εντολή από έναν ηλεκτρομαγνήτη. Όταν το πηνίο του ηλεκτρομαγνήτη τροφοδοτηθεί με τάση, ενεργοποιείται το ρελέ, το οποίο δίνει εντολή στις ανοικτές του επαφές να κλείσουν και στις κλειστές του να ανοίξουν. Με αυτόν τον τρόπο κλείνει ή ανοίγει ένα ηλεκτρικό κύκλωμα (π.χ. μεταξύ του δικτύου τροφοδοσίας και του φορτίου).

Το κινητό τμήμα του ηλεκτρομαγνήτη μπορεί να εκτελέσει γραμμική, ή περιστροφική κίνηση (Σχήμα 1.20α ή β, αντίστοιχα).

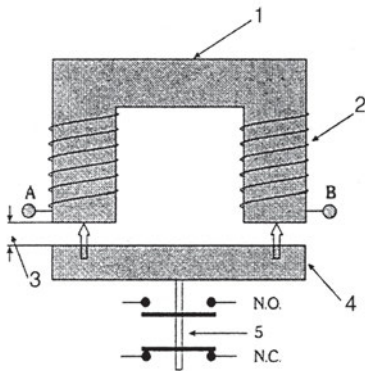


(α) γραμμικός



(β) περιστροφικός

Σχήμα 1.20 Τύποι ηλεκτρονόμων



1. σταθερός σιδηροπυρήνας
2. πηνίο (Α και Β τα άκρα του πηνίου)
3. διάκενο αέρος
4. κινητός σιδηροπυρήνας (οπλισμός)
5. επαφές (ανοικτές Ν.Ο. και κλειστές Ν.С.)

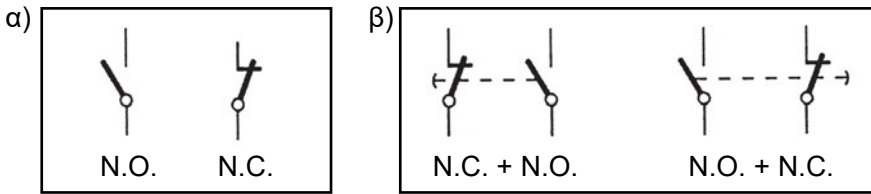
Σχήμα 1.21. Δομή ενός ηλεκτρονόμου

Μόλις διακοπεί η τάση που τροφοδοτεί το πηνίο του ηλεκτρομαγνήτη, το ρελέ απενεργοποιείται.

Ο ηλεκτρονόμος αποτελείται από (Σχήμα 1.21):

- τον ηλεκτρομαγνήτη με το πηνίο, το οποίο παράγει την απαιτούμενη μαγνητική ροή για την έλξη του οπλισμού.
- τις επαφές (όταν πρόκειται για ρελέ χαμηλής ισχύος) ή τους πόλους (όταν πρόκειται για ρελέ ισχύος), που κλείνουν ή διακόπτουν το ρεύμα στο κύκλωμα ισχύος. Οι επαφές διακρίνονται σε: κανονικά ανοικτές – *normally open*, Ν.Ο., και κανονικά κλειστές – *normally closed*, Ν.С.

Οι κανονικά κλειστές επαφές λειτουργούν αντίθετα από τις κανονικά ανοικτές επαφές, δηλαδή άγουν μόνο όταν δεν είναι ενεργοποιημένο το πηνίο του ρελέ. Όταν όμως το ίδιο πηνίο ενεργοποιηθεί, ανοίγουν.



Σχήμα 1.22 Τύποι επαφών N.O. και N.C.:

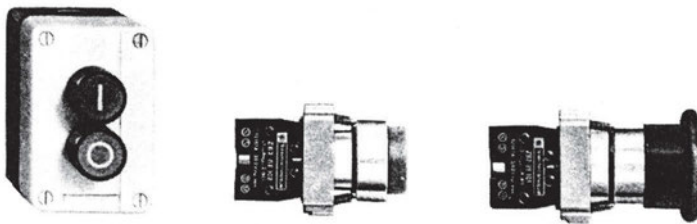
α) χωρίς χρονική καθυστέρηση, β) με χρονική καθυστέρηση

Εκτός όμως από τις επαφές ακαριαίας λειτουργίας, χωρίς χρονική καθυστέρηση (Σχήμα 1.22.α), υπάρχουν και οι *επαφές με χρονική καθυστέρηση* (Σχήμα 1.22 β), οι οποίες ανοίγουν ή κλείνουν μετά από κάποιο συγκεκριμένο χρόνο μετά την ενεργοποίηση ή απενεργοποίηση του ρελέ.

Τα ηλεκτρικά εξαρτήματα χρησιμοποιούνται κυρίως στις περιπτώσεις εκείνες κατά τις οποίες απαιτείται ο έλεγχος των χαμηλών ρευμάτων. Ο έλεγχος αυτός μπορεί να είναι χειροκίνητος ή αυτόματος.

Η χειροκίνητη εντολή μπορεί να επιτευχθεί με τη χρήση των εξής εξαρτημάτων:

→ **Μπουτόν και διακόπτες.** Είναι εξαρτήματα τα οποία χρησιμοποιούνται για τη χειροκίνητη εντολοδότηση των ηλεκτρικών κυκλωμάτων ελέγχου (Σχήμα 1.23). Με αυτά, π.χ., εξασφαλίζεται η έναρξη ή η παύση της λειτουργίας του κλιματιστικού μηχανήματος.



α) μπουτόν



β) διακόπτες

Σχήμα 1.23 Μπουτόν και διακόπτες

Τα μπουτόν μπορεί να είναι ΟΝ. Όταν δεν πατηθούν, η επαφή τους παραμένει ανοικτή – κατάσταση ηρεμίας – (N.O.). Όταν πατηθούν, η επαφή τους κλείνει – κατάσταση λειτουργίας.

Επίσης, τα μπουτόν μπορεί να είναι OFF. Όταν δεν πατηθούν, η επαφή τους παραμένει κλειστή – κατάσταση ηρεμίας – (N.C.). Όταν πατηθούν, η επαφή τους ανοίγει – κατάσταση λειτουργίας.

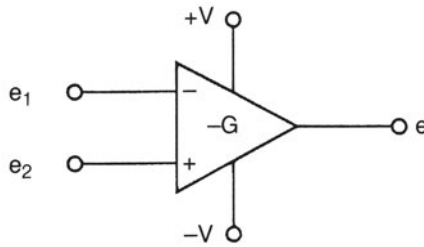
Οι διακόπτες έχουν παρόμοια λειτουργία με αυτή των μπουτόν. Η διαφορά τους είναι ότι τα μπουτόν παραμένουν στην κατάσταση ενεργοποίησης μόνο για όσο χρόνο τα πατάμε, ενώ στους διακόπτες αρκεί ένα και μόνο πάτημα για να αλλάξουν κατάσταση λειτουργίας.

- ❖ **Μπουτόν με ενδεικτικά λαμπάκια.** Συγχρόνως με το πάτημα του μπουτόν ανάβει και το λαμπάκι που είναι ενσωματωμένο σε αυτό.
- ❖ **Ποδοδιακόπτες ή πεντάλ.** Η ενεργοποίηση του διακόπτη γίνεται με το πόδι.
- ❖ **Επιλογικοί και περιστροφικοί διακόπτες.** Με την αλλαγή θέσης ή με την περιστροφή γίνεται η επιλογή της κατάλληλης θερμοκρασίας του κλιματιστικού.
- ❖ **Διακόπτης ελέγχου στάθμης υγρού με φλοτέρ.** Ανοίγει ή κλείνει αυτόματα μόλις η στάθμη του υγρού αποκλίνει από το επιθυμητό όριο.
- ❖ **Θερμοστάτης.** Ανοίγει ή κλείνει αυτόματα μόλις η θερμοκρασία του χώρου (ή του ψυγείου) αποκλίνει από το επιθυμητό όριο.
- ❖ **Όργανα μέτρησης.** Μπορεί να είναι: *βολτόμετρα* (μετρούν τάσεις), *αμπερόμετρα* (μετρούν ρεύματα), *βατόμετρα* (μετρούν ισχύες) κ.ά.

1.6.2 Ηλεκτρονικά εξαρτήματα

❖ **Τελεστικός ενισχυτής**

Ο *τελεστικός ενισχυτής* είναι ένα ηλεκτρονικό εξάρτημα το οποίο επεξεργάζεται τα σήματα που λαμβάνει στην είσοδό του και δίνει στην έξοδο το κατάλληλο σήμα. Αποτελεί το βασικό εξάρτημα κατασκευής ενός συγκριτή, διότι συγκρίνει το επιθυμητό σήμα e_1 με το πραγματικό σήμα e_2 και δίνει στην έξοδό του τη διαφορά e (Σχήμα 1.24).



Σχήμα 1.24. Σύμβολο τελεστικού ενισχυτή με δύο εισόδους

❖ **Μορφοποιητής παλμών**

Είναι το ηλεκτρονικό εξάρτημα το οποίο μορφοποιεί το σήμα που προέρχεται από την έξοδο του αισθητήρα. Ο μορφοποιητής δίνει μία κανονική (τετραγωνική) μορφή στο τελείως ακανόνιστο ηλεκτρικό σήμα που παράγει ο αισθητήρας.

❖ **Ενισχυτής**

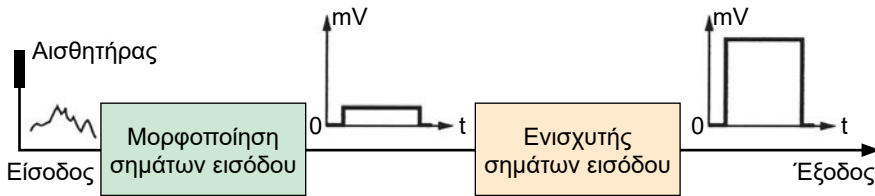
Αυτό το ηλεκτρονικό εξάρτημα ενισχύει το μορφοποιημένο σήμα χαμηλής στάθμης (που προέρχεται από την έξοδο του μορφοποιητή), προτού οδηγηθεί στο τμήμα επεξεργασίας.

Οι *μορφοποιητές* και οι *ενισχυτές* αποτελούν τις μονάδες διασύνδεσης (*interface*) μεταξύ των αισθητήρων και του τμήματος επεξεργασίας των πληροφοριών.

π.χ. ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ

Μέτρηση υγρασίας

Ο αισθητήρας που ανιχνεύει την ύπαρξη υγρασίας δίνει στην έξοδό του ένα πολύ μικρό σήμα, της τάξεως των λίγων mV. Αυτό το σήμα έχει μία τελείως ακανόνιστη μορφή, όπως φαίνεται και στο Σχήμα 1.25. Όμως, αυτό το σήμα πρέπει να έχει μία ορισμένη μορφή (π.χ. τετραγωνικός παλμός) και ένα ορισμένο πλάτος προτού οδηγηθεί στη μονάδα επεξεργασίας. Εδώ παρεμβαίνει η μονάδα μορφοποίησης, η οποία του προσδίδει τα χαρακτηριστικά που χρειάζεται.



Σχήμα 1.25. Μορφοποίηση και ενίσχυση του σήματος του αισθητήρα

1.6.3 Πνευματικά εξαρτήματα

Ο όρος *πνευματικά συστήματα* προέρχεται από τη λέξη *πνεύμα* και υποδηλώνει τα συστήματα ή τις διατάξεις οι οποίες για να λειτουργήσουν απαιτούν τη χρήση πεπιεσμένου αέρα.

Ο πεπιεσμένος αέρας παράγεται με τη βοήθεια ειδικών διατάξεων που ονομάζονται *αεροσυμπιεστές* (*air-compressors – κομπρεσέρ*). Αυτοί συμπιέζουν τον αέρα μέχρις ότου αποκτηθεί η απαιτούμενη πίεση.

— Αεροσυμπιεστές

Οι αεροσυμπιεστές μπορεί να είναι σταθεροί ή κινητοί (Σχήμα 1.26).



Σχήμα 1.26 Αεροσυμπιεστής

— Προπαρασκευαστές πεπιεσμένου αέρα

Η μόλυνση του πεπιεσμένου αέρα με ακαθαρσίες, ή μικρά σωματίδια, σκουριά, υπερβολικό λιπαντικό και υγρασία, μπορεί να προκαλέσει δυσλειτουργία ή ακόμη και βλάβη στον πνευματικό εξοπλισμό. Προκειμένου λοιπόν να αποφεύγονται δυσάρεστες συνέπειες, επιβάλλεται η χρησιμοποίηση μιας ειδικής διάταξης που ονομάζεται *προπαρασκευαστής αέρος*.

Ο προπαρασκευαστής αέρος, ο οποίος φαίνεται στο Σχήμα 1.27, αποτελείται από:

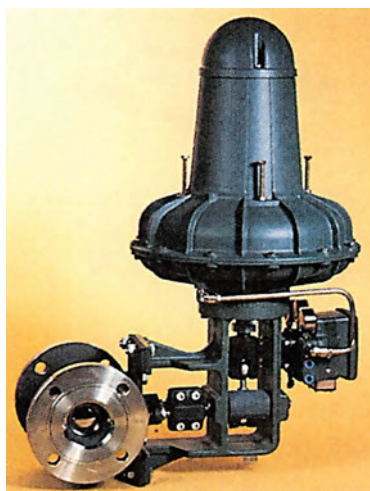
- *το φίλτρο* (φιλτράρει τον αέρα που διέρχεται μέσα από αυτό, κατακρατώντας τις διάφορες ακαθαρσίες),
- *το ρυθμιστή πίεσης* (με τη βοήθειά του ρυθμίζεται η επιθυμητή πίεση του αέρα που θα χρησιμοποιηθεί),
- *το λιπαντήρα* (εμπλουτίζει τον αέρα με λιπαντικό για να εξασφαλίζεται έτσι η ομαλή λειτουργία των πνευματικών στοιχείων του κυλίνδρου) και *το μανόμετρο* (όργανο μέτρησης της πίεσης).



Σχήμα 1.27. Διάφοροι τύποι προπαρασκευαστών αέρος

— Βαλβίδες διεύθυνσης ροής

Οι βαλβίδες διεύθυνσης ροής είναι στοιχεία που καθορίζουν τη διεύθυνση που πρέπει να ακολουθήσει ένα ρεύμα πεπιεσμένου αέρα (Σχήμα 1.28).



Σχήμα 1.28. Βαλβίδα διεύθυνσης ροής (Foxboro)

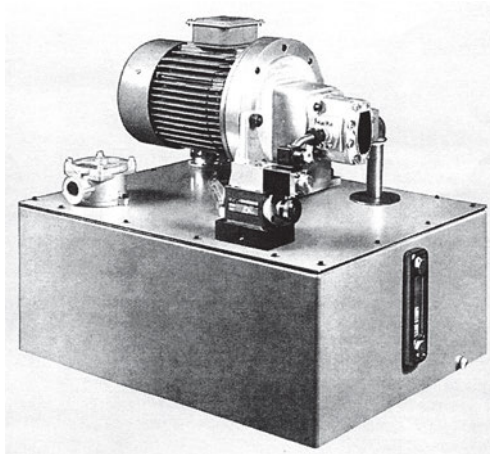
1.6.4 Υδραυλικά εξαρτήματα

Υδραυλική είναι η επιστήμη που ασχολείται με τη μετάδοση και τον έλεγχο των κινήσεων με τη βοήθεια των ρευστών. Στις περισσότερες των περιπτώσεων το ρευστό είναι ορυκτέλαιο υπό πίεση.

Τα υδραυλικά συστήματα αυτομάτου ελέγχου χρησιμοποιούνται σήμερα ευρύτατα σε βιομηχανικές εφαρμογές, είτε αυτούσια είτε σε συνεργασία με άλλα συστήματα, όπως είναι τα ηλεκτρικά και τα πνευματικά.

Ένα τυπικό υδραυλικό σύστημα αυτομάτου ελέγχου αποτελείται από τη μονάδα τροφοδοσίας, η οποία περιλαμβάνει:

- την υδραυλική αντλία,
- τον ηλεκτρικό κινητήρα,
- τη δεξαμενή λαδιού,
- την ανακουφιστική βαλβίδα (βαλβίδα ασφαλείας),
- φίλτρα,
- συσσωρευτές και
- όργανα μέτρησης (Σχήμα 1.29).



Σχήμα 1.29. Μονάδα τροφοδοσίας υδραυλικού συστήματος αυτομάτου ελέγχου

Κάθε υδραυλικό σύστημα αυτομάτου ελέγχου διαθέτει μία δεξαμενή λαδιού (*oil tank*), για την αποθήκευση της απαραίτητης ποσότητας του υδραυλικού υγρού που θα απαιτηθεί για τη λειτουργία του συστήματος.

Τα φίλτρα είναι διατάξεις καθαρισμού του υδραυλικού υγρού από ακαθαρσίες που προέρχονται κυρίως από φθορά των στεγανοποιητικών υλικών, από μεταλλικά ρινίσματα (φθορά των κινούμενων σε επαφή μεταλλικών μερών), από τοπικές οξειδώσεις του ίδιου του υγρού (από υψηλές θερμοκρασίες, υδρατμούς κτλ.).

Τα όργανα ένδειξης πίεσης ή μανόμετρα αποτελούν χρήσιμα στοιχεία ενός υδραυλικού συστήματος. Με τη βοήθεια αυτών των οργάνων έχουμε οπτική ένδειξη του μεγέθους της πίεσης που ασκείται στους διάφορους τύπους βαλβίδων.

Οι συσσωρευτές ή αποταμιευτές χρησιμοποιούνται για την αποθήκευση της υδραυλικής ενέργειας. Η ενέργεια που έχει συσσωρευτεί μπορεί να αποδοθεί στο υδραυλικό κύκλωμα οποιαδήποτε χρονική στιγμή.

Οι υδραυλικές αντλίες είναι διατάξεις με τη βοήθεια των οποίων μετατρέπεται η εξωτερικά προσλαμβανόμενη ενέργεια σε ενέργεια του ρέοντος υγρού.

Οι υδραυλικές βαλβίδες είναι μηχανικές, ή ηλεκτρομηχανικές διατάξεις, και χρησιμοποιούνται για να ελέγχουν τη ροή του ρευστού από το σημείο παραγωγής του, που είναι συνήθως υψηλής πίεσης, μέχρι τους ενεργοποιητές (υδραυλικούς γραμμικούς ή περιστροφικούς κινητήρες). Το ρευστό μπορεί να είναι λάδι, αέρας ή νερό.

1.7 Οι αυτοματισμοί που εφαρμόζονται στις εγκαταστάσεις ψύξης και κλιματισμού

Οι αυτοματισμοί που εφαρμόζονται στην καθημερινή ζωή και ιδιαίτερα στις εγκαταστάσεις ψύξης και κλιματισμού είναι πολλοί. Ενδεικτικά αναφέρονται οι εξής:

⇒ Φωτισμός του θαλάμου ψύξης ενός ψυγείου

Με τη χρήση ενός απλού διακόπτη επαφής (τερματικός, ή οριακός διακόπτης), ο οποίος τοποθετείται στο σημείο επαφής της πόρτας με τον κυρίως κορμό του ψυγείου, επιτυγχάνεται το άναμμα ή το σβήσιμο της λάμπας, ανάλογα με τη θέση της πόρτας, ανοικτή ή κλειστή.

⇒ Αυτονομία θέρμανσης κτηρίου

Το σύστημα αυτόνομης θέρμανσης δίνει τη δυνατότητα σε μία ομάδα σω-

μάτων καλοριφέρ, ενός διαμερίσματος πολυκατοικίας ή ενός ορόφου πολυώροφης μονοκατοικίας, να λειτουργούν ανεξάρτητα από τα υπόλοιπα σώματα. Η κίνηση του ζεστού νερού ρυθμίζεται από μία ηλεκτροβάννα, ανάλογα με την εντολή που θα λάβει αυτή από τη μονάδα ελέγχου (ή διάταξη μέτρησης της θερμοκρασίας), η οποία βρίσκεται στο εσωτερικό του διαμερίσματος ή στον κάθε όροφο. Η ίδια μονάδα ελέγχου δίνει επίσης εντολή στον κυκλοφορητή να μεταφέρει το ζεστό νερό στους κεντρικούς σωλήνες της εγκατάστασης.

➔ **Έλεγχος μιας εγκατάστασης κλιματισμού**

Σε όλα τα σύγχρονα κλιματιστικά μηχανήματα υπάρχουν δύο κυκλώματα: το *σύστημα ψύξης* και το *σύστημα θέρμανσης*. Η λειτουργία του ενός ή του άλλου κυκλώματος επιλέγεται χειροκίνητα με τη βοήθεια ενός διακόπτη. Ο ελεγκτής είναι και σε αυτή την περίπτωση το κύριο εξάρτημα που ενεργοποιεί ή απενεργοποιεί τον κυκλοφορητή, αλλά και τις ηλεκτροβάνες που συνδέονται στις σωληνώσεις του ψυκτικού υγρού ή του καυστήρα. Με αυτό τον τρόπο επιτυγχάνεται η επιθυμητή θερμοκρασία του ελεγχόμενου χώρου.

➔ **Έλεγχος της θερμοκρασίας ενός ψυγείου (οικιακού ή επαγγελματικού)**

Το κύριο στοιχείο ελέγχου της θερμοκρασίας ενός ψυγείου είναι ο θερμοστάτης (βλέπε παράγραφο 1.2.2, παράδειγμα 6 του κεφαλαίου 1).



ΑΝΑΚΕΦΑΛΑΙΩΣΗ

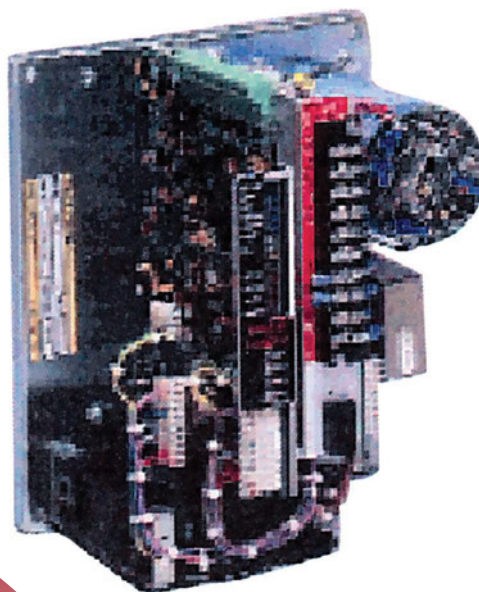
- Ένα σύστημα αυτομάτου ελέγχου αποτελείται από δύο βασικά στοιχεία: τη μηχανή (ή την εγκατάσταση) και το τμήμα ελέγχου.
Το τμήμα ελέγχου αποτελείται από:
 - το τμήμα εισόδου, το οποίο περιλαμβάνει τους αισθητήρες και τη μονάδα προσαρμογής των σημάτων εισόδου
 - το τμήμα επεξεργασίας δεδομένων και το πρόγραμμα
 - το τμήμα εξόδου, το οποίο περιλαμβάνει τους ενεργοποιητές και τη μονάδα προσαρμογής των σημάτων εξόδου
 - το δίκτυο
- Σύστημα αυτομάτου ελέγχου ανοικτού βρόχου (open-loop system) ή σύστημα χωρίς ανάδραση είναι το σύστημα το οποίο δεν έχει τη δυνατότητα να διορθώσει το σφάλμα στην περίπτωση που η πραγματική του λειτουργία δεν συμπίπτει απόλυτα με αυτήν που είχε αρχικά προγραμματισθεί.
- Σύστημα αυτομάτου ελέγχου κλειστού βρόχου (closed-loop system) ή σύστημα με ανάδραση είναι το σύστημα το οποίο έχει τη δυνατότητα να διορθώσει το σφάλμα μέσω του βρόχου ανάδρασης, του συγκριτή και του ελεγκτή.
- Ο έλεγχος δύο θέσεων ή έλεγχος ON/OFF ασχολείται μόνο με την έναρξη ή παύση λειτουργίας ενός συστήματος χωρίς να παρακολουθεί πόσο σωστά δουλεύει το σύστημα.
- Οι αισθητήρες ή αισθητήρια στοιχεία είναι διατάξεις για την ανίχνευση, καταγραφή (μέτρηση) και μεταφορά στη μονάδα επεξεργασίας δεδομένων όλων των πληροφοριών που έχουν σχέση με την κατάσταση λειτουργίας του ελεγχόμενου συστήματος.
- Οι μονάδες προσαρμογής των (λαμβανομένων) σημάτων εισόδου εκτελούν τη μορφοποίηση και ενίσχυση των σημάτων εισόδου χαμηλής στάθμης, τα οποία προέρχονται από την έξοδο των αισθητήρων, προτού οδηγηθούν στο τμήμα επεξεργασίας.

- Ο επεξεργαστής επεξεργάζεται τα σήματα μέτρησης ακολουθώντας τις εντολές του προγράμματος και παράγει νέα σήματα, τα οποία με τη σειρά τους οδηγούν τους ενεργοποιητές.
- Οι μονάδες προσαρμογής των σημάτων εξόδου αποτελούν τις ενδιάμεσες βαθμίδες ανάμεσα στον επεξεργαστή και στους ενεργοποιητές. Κύριος σκοπός τους είναι η ενίσχυση των επεξεργασμένων σημάτων και η οδήγησή τους στους ενεργοποιητές.
- Η συσκευή ελέγχου είναι το τμήμα εκείνο του συστήματος αυτομάτου ελέγχου το οποίο ασκεί τον έλεγχο.
- Οι ενεργοποιητές είναι διατάξεις ισχύος οι οποίες εκτελούν τις επιθυμητές δραστηριότητες σε μία διεργασία ελέγχου επιδρώντας απευθείας σ' αυτήν.
- Ο πνευματικός ενεργοποιητής αποτελεί το μηχανισμό με τη βοήθεια του οποίου επιτυγχάνεται η μετατροπή της πνευματικής ενέργειας σε μηχανική ευθύγραμμη κίνηση.
- Ο υδραυλικός ενεργοποιητής είναι μηχανισμός με τη βοήθεια του οποίου επιτυγχάνεται η μετατροπή της υδραυλικής ενέργειας σε μηχανική κίνηση.
- Πνευματικό σύστημα είναι το σύστημα ή η διάταξη η οποία για να λειτουργήσει απαιτεί τη χρήση πεπιεσμένου αέρα.
- Ένα υδραυλικό σύστημα αυτομάτου ελέγχου αποτελείται από τη μονάδα τροφοδοσίας, η οποία περιλαμβάνει την υδραυλική αντλία, τον ηλεκτρικό κινητήρα, τη δεξαμενή λαδιού, τη βαλβίδα ασφαλείας, φίλτρα και όργανα μέτρησης.

**ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ**

1. Αναφέρετε μερικά παραδείγματα συστημάτων ελέγχου ανοικτού βρόχου. Προσδιορίστε την είσοδο και την έξοδο κάθε συστήματος.
2. Αναφέρετε μερικά παραδείγματα συστημάτων ελέγχου κλειστού βρόχου. Προσδιορίστε την είσοδο και την έξοδο κάθε συστήματος.
3. Η οδήγηση του αυτοκινήτου από τον άνθρωπο αποτελεί σύστημα αυτομάτου ελέγχου; Εάν ναι, τι είδους σύστημα είναι (ανοικτό ή κλειστό) και γιατί;
4. Ποια είναι η βασική διαφορά μεταξύ των συστημάτων ανοικτού και κλειστού βρόχου;
5. Ποιο είναι το κύριο στοιχείο που χαρακτηρίζει ένα σύστημα κλειστού βρόχου;
6. Τι είδους διάταξη θα πρέπει να χρησιμοποιήσουμε προκειμένου να ανιχνεύσουμε τη θερμοκρασία στο θάλαμο ψύξης ενός ψυγείου;
7. Ποια είναι η βασική δομή ενός συστήματος αυτομάτου ελέγχου;
8. Σε ποιο τμήμα ενός συστήματος ελέγχου είναι οι αισθητήρες;
9. Σε ποιο τμήμα ενός συστήματος ελέγχου είναι οι ενεργοποιητές;
10. Αναφέρετε μερικά παραδείγματα συστημάτων ελέγχου ON-OFF.
11. Αναφέρετε μερικά παραδείγματα συστημάτων συνεχούς ελέγχου.
12. Τι είδους σύστημα ελέγχου θα χρησιμοποιούσατε προκειμένου να ελέγξετε τη θερμοκρασία ενός κλιματιστικού μηχανήματος;
13. Αναφέρετε συστήματα πεπιεσμένου αέρα.
14. Αναφέρετε υδραυλικά συστήματα.
15. Τι είδους σύστημα θα χρησιμοποιούσατε εάν θέλατε να σηκώσετε ένα πολύ μεγάλο βάρος και γιατί;

ΒΑΣΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΙΑΣ



- 2.1 ΒΑΣΙΚΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ ΚΑΙ ΜΕΓΕΘΗ
- 2.2 ΗΛΕΚΤΡΙΚΑ ΚΥΚΛΩΜΑΤΑ, ΝΟΜΟΙ ΚΑΙ ΘΕΩΡΗΜΑΤΑ
- 2.3 ΣΥΝΕΧΕΣ ΡΕΥΜΑ ΚΑΙ ΕΝΑΛΛΑΣΣΟΜΕΝΟ ΡΕΥΜΑ
- 2.4 ΩΜΙΚΗ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ, ΕΠΑΓΩΓΙΚΗ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ ΚΑΙ ΧΩΡΗΤΙΚΗ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ ΣΤΟ ΕΡ
- 2.5 ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ, ΙΣΧΥΣ ΚΑΙ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΙΣΧΥΟΣ
- 2.6 ΟΡΓΑΝΑ ΜΕΤΡΗΣΗΣ
- 2.7 ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΩΝ
ΑΝΑΚΕΦΑΛΑΙΩΣΗ
ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ ΚΑΙ ΑΣΚΗΣΕΙΣ



ΕΠΙΔΙΩΚΟΜΕΝΟΙ ΣΤΟΧΟΙ

Οι μαθητές πρέπει να επαναλάβουν συνοπτικά βασικές έννοιες από την ύλη της Α΄ τάξης, να εμβαθύνουν στις ακόλουθες έννοιες και, αφού παρακολουθήσουν το περιεχόμενο του κεφαλαίου 2, θα πρέπει να είναι σε θέση:

- ✓ Να υπολογίζουν την ηλεκτρική ενέργεια, την ηλεκτρική ισχύ και τον βαθμό απόδοσης ενός καταναλωτή.
- ✓ Να υπολογίζουν προσεγγιστικά τη διατομή των αγωγών ενός κυκλώματος.
- ✓ Να εξηγούν τις ιδιότητες των κυκλωμάτων που περιλαμβάνουν αντιστάσεις, πηνία και πυκνωτές συνδεδεμένα σε σειρά, ή παράλληλα, ή σε σύνθετες συνδεσμολογίες, οι οποίες περιέχουν τμήματα συνδεδεμένα κατά διαφόρους τρόπους.
- ✓ Να επιλύουν κυκλώματα και να υπολογίζουν τις πτώσεις τάσεων, τα ρεύματα και την ισχύ στα διάφορα στοιχεία των κυκλωμάτων με τη βοήθεια του νόμου του $\Omega\mu$ και των δύο νόμων του Κίρκωφ.
- ✓ Να περιγράφουν διάφορες εφαρμογές ηλεκτρικών κυκλωμάτων όλων των παραπάνω συνδεσμολογιών, όπως συνδεσμολογίες λαμπτήρων κ.ά.

2.1 Βασικές έννοιες και μεγέθη

Τα βασικά ηλεκτρικά μεγέθη στην ηλεκτρολογία είναι το ηλεκτρικό φορτίο, το ηλεκτρικό ρεύμα, η μαγνητική ροή, η ηλεκτρική τάση, η ηλεκτρική ισχύς και η ηλεκτρική ενέργεια.

Το ηλεκτρικό φορτίο είναι ένα πολύ σημαντικό μέγεθος του ηλεκτρισμού. Όταν τα ηλεκτρικά φορτία κινούνται ή ηρεμούν, τότε ασκούν δυνάμεις σε άλλα ηλεκτρικά φορτία που κινούνται ή είναι ακίνητα.

Τα ηλεκτρόνια φέρουν αρνητικό φορτίο και τα πρωτόνια θετικό φορτίο. Η φορά της κίνησης των ηλεκτρονίων είναι από το τμήμα όπου υπάρχει συσσώρευση ηλεκτρονίων προς το τμήμα όπου υπάρχει έλλειψη.

Η ποσότητα ηλεκτρικού φορτίου του ενός ηλεκτρονίου είναι $1,6 \cdot 10^{-19}$ Coulomb και είναι η μικρότερη γνωστή. Το ηλεκτρικό φορτίο δεν μπορεί ούτε να δημιουργηθεί ούτε να καταστραφεί.

Η μονάδα μέτρησης του ηλεκτρικού φορτίου είναι το Κουλόμπ (C - Coulomb) και ορίζεται σαν το φορτίο $6,24 \cdot 10^{18}$ ηλεκτρονίων. Το ένα Κουλόμπ είναι το φορτίο που μεταφέρεται σε ένα δευτερόλεπτο (sec) από ηλεκτρικό ρεύμα ενός Αμπέρ (A). Η μονάδα μέτρησης του ηλεκτρικού ρεύματος είναι το Αμπέρ (Ampere), με σύμβολο το A.

$$1 \text{ C} = 1 \text{ A} \cdot 1 \text{ s}$$

$$1 \text{ Ampere} = \frac{1 \text{ Coulomb}}{1 \text{ s}}$$

Στο Διεθνές Σύστημα Μέτρησης S.I. το Αμπέρ είναι θεμελιώδης μονάδα και από αυτήν ορίζονται τα υπόλοιπα ηλεκτρικά μεγέθη. Το Διεθνές Σύστημα ονομάζεται και MKSA από τις θεμελιώδεις μονάδες οι οποίες είναι: το μέτρο (m) για το μήκος, το χιλιόγραμμο (kg) για τη μάζα, το δευτερόλεπτο (s - second) για το χρόνο και το Αμπέρ (A) για το ηλεκτρικό ρεύμα.

Τα ηλεκτρικά φορτία που κινούνται αποτελούν το **ηλεκτρικό ρεύμα**. Έτσι, το ηλεκτρικό ρεύμα έχει την έννοια της ταχύτητας μεταβολής, ή μεταφοράς, του ηλεκτρικού φορτίου και περιλαμβάνει τόσο τα θετικά όσο και τα αρνητικά φορτία. Στους μεταλλικούς αγωγούς, το ρεύμα αποτελείται από κινούμενα ηλεκτρόνια. Η φορά του ρεύματος είναι από τον αρνητικό πόλο προς το θετικό πόλο, δηλαδή αντίθετη προς τη φορά που λαμβάνεται συμβατικά. Στους ηλεκτρολύτες και τα ιονισμένα αέρια υπάρχουν κινήσεις

τόσο θετικών όσο και αρνητικών ιόντων ή ηλεκτρονίων. Τα δύο αυτά είδη ρευμάτων στους μεταλλικούς αγωγούς και στους ηλεκτρολύτες ονομάζονται αντίστοιχα **ρεύμα αγωγιμότητας** και **ρεύμα μεταφοράς**.

Η **ηλεκτρική τάση** μεταξύ δυο σημείων είναι το πηλίκο του έργου που απαιτείται για τη μετακίνηση θετικού ηλεκτρικού φορτίου από ένα σημείο σε άλλο, προς το ηλεκτρικό φορτίο.

Τα δύο σημεία αυτά μπορεί να είναι οι δύο πόλοι μιας πηγής ηλεκτρικής ενέργειας. Εφόσον η πηγή συνδέεται σε εξωτερικό ηλεκτρικό κύκλωμα, αρχίζει η μετακίνηση του φορτίου από τον έναν πόλο στον άλλο. Όσο μεγαλύτερη είναι η ηλεκτρική τάση μεταξύ των πόλων της πηγής, τόσο μεγαλύτερο φορτίο θα μετακινηθεί και επομένως η ένταση του ρεύματος θα είναι μεγαλύτερη. Πηγές ηλεκτρικού ρεύματος είναι τα ηλεκτρικά στοιχεία, οι συσσωρευτές και οι ηλεκτρικές γεννήτριες.

Η μονάδα μέτρησης της ηλεκτρικής τάσης στο Διεθνές Σύστημα είναι το Βολτ (Volt), με σύμβολο το V. Η σχέση του Βολτ με τη μονάδα ηλεκτρικού φορτίου Κουλόμπ είναι:

$$1 \text{ V} = 1 \frac{\text{Joule}}{\text{Coulomb}} = 1 \frac{\text{J}}{\text{Cb}}$$

όπου Joule είναι η μονάδα ενέργειας ή έργου. Όμως:

$$1 \text{ C} = 1 \text{ A} \cdot 1 \text{ s}$$

$$1 \text{ J} = 1 \text{ W} \cdot 1 \text{ s}$$

Επομένως:

$$1 \text{ V} = \frac{1 \text{ W} \cdot 1 \text{ s}}{1 \text{ A} \cdot 1 \text{ s}} = \frac{1 \text{ W}}{1 \text{ A}} = 1 \frac{\text{W}}{\text{A}}$$

Η **ηλεκτρική ισχύς P** είναι το γινόμενο της ηλεκτρικής τάσης U και της έντασης του ηλεκτρικού ρεύματος I:

$$P = U \cdot I$$

Η μονάδα μέτρησης της ηλεκτρικής ισχύος είναι το Βατ (Watt), με σύμβολο το W:

$$1 \text{ W} = 1 \text{ V} \cdot 1 \text{ A}$$

Συγκεντρωτικά, τα θεμελιώδη ηλεκτρικά μεγέθη και οι αντίστοιχες μονάδες μέτρησης παρουσιάζονται στον Πίνακα 2.1.

ΠΙΝΑΚΑΣ 2.1 Θεμελιώδη ηλεκτρικά μεγέθη

| Μέγεθος | Σύμβολο | Μονάδα Μέτρησης | Εξίσωση |
|---------------------|---------|-----------------|--|
| Ηλεκτρικό φορτίο | Q | Κουλόμπ - Cb | $1 \text{ Cb} = 1 \text{ A} \cdot 1 \text{ sec}$ |
| Ηλεκτρική τάση | V | Βολτ - V | $1 \text{ V} = \frac{1 \text{ J}}{1 \text{ Cb}}$ |
| Ηλεκτρικό ρεύμα | I | Αμπέρ - A | Βασικό μέγεθος |
| Ηλεκτρική αντίσταση | R | Ωμ - Ω | $1 \Omega = \frac{1 \text{ V}}{1 \text{ A}}$ |
| Ηλεκτρική ισχύς | P | Βατ - W | $1 \text{ W} = 1 \text{ V} \cdot 1 \text{ A}$ |
| Ηλεκτρική ενέργεια | W | Τζάουλ - J | $1 \text{ J} = 1 \text{ W} \cdot 1 \text{ sec}$ |

2.2 Ηλεκτρικά κυκλώματα, νόμοι και θεωρήματα

2.2.1 Περιγραφή του ηλεκτρικού κυκλώματος

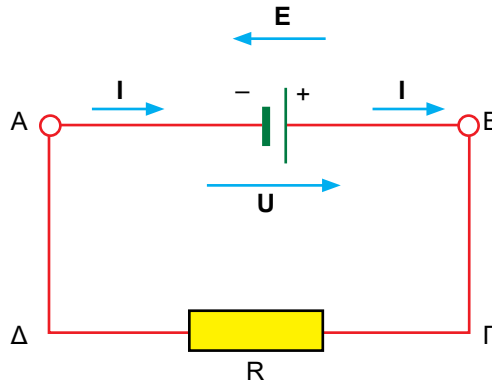
Οι ηλεκτρικές βιομηχανικές και οικιακές συσκευές και διατάξεις έχουν ηλεκτρικά κυκλώματα που περιλαμβάνουν περισσότερες ωμικές αντιστάσεις, οι οποίες συνδέονται μεταξύ τους κατά πολλούς τρόπους. Τέτοιες σύνθετες συνδεσμολογίες με αγωγούς σύνδεσης μεταξύ των διαφόρων στοιχείων του κυκλώματος, όπως πηγές και αντιστάσεις, σχηματίζουν κλειστές διαδρομές, που ονομάζονται βρόχοι.

Ένας **βρόχος** είναι μια κλειστή αγωγή διαδρομή σε ένα κύκλωμα ή η κλειστή διαδρομή που ξεκινάει από ένα σημείο, ακολουθεί διάφορα στοιχεία του κυκλώματος για μια μόνο φορά και επιστρέφει στο αρχικό σημείο.

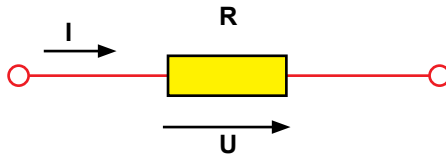
Ένας **κλάδος** του ηλεκτρικού κυκλώματος είναι ένα απλό στοιχείο, όπως μια πηγή τάσης ή μία αντίσταση. Συνηθίζεται όμως να ονομάζεται **κλάδος** μια ομάδα περισσότερων όμοιων στοιχείων, που διαρρέονται από το ίδιο ρεύμα.

Ένας βρόχος αποτελείται από δύο ή περισσότερους κλάδους.

Στο Σχήμα 2.2.1 απεικονίζεται ένας βρόχος ΑΒΓΔ με δύο κλάδους Α-Β και Α-Δ-Γ-Β, όπου Ε είναι η ηλεκτρεγερτική δύναμη, U η ηλεκτρική τάση, I το ρεύμα και R η ηλεκτρική αντίσταση.



Σχήμα 2.2.1 Βρόχος ηλεκτρικού κυκλώματος



Σχήμα 2.2.2 Η θετική φορά της πτώσης τάσης σε μια αντίσταση συμπίπτει με τη θετική φορά του ρεύματος

Στην ηλεκτρολογία χρησιμοποιείται η **τεχνική φορά του ρεύματος** ή η **συμβατική φορά**, η οποία συμβολίζεται με βέλος που ξεκινά από το θετικό πόλο της μπαταρίας, συνεχίζει στο εξωτερικό κύκλωμα και καταλήγει στον αρνητικό πόλο, δηλαδή από το (+) στο (-), (Σχήμα 2.2.1). Η φορά της πτώσης τάσης σε μία αντίσταση θεωρείται ότι είναι θετική όταν είναι ίδια με τη φορά του ρεύματος (Σχήμα 2.2.2).

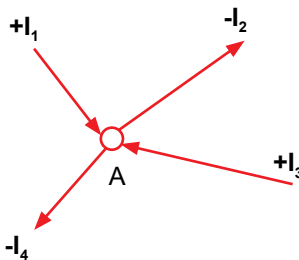


ΠΡΟΣΟΧΗ

Σε περίπτωση που από τους υπολογισμούς, ένα ή περισσότερα ρεύματα ή και τάσεις προκύψουν αρνητικά, αυτό σημαίνει ότι έχουν οριστεί λάθος οι φορές τους.

Ο **κόμβος** είναι το σημείο ένωσης δύο ή περισσότερων κλάδων, όπως το σημείο A στο Σχήμα 2.2.3. Μεταξύ δύο κόμβων προσδιορίζεται ένας κλάδος, ενώ στον ίδιο κλάδο δεν είναι δυνατόν να υπάρχει άλλος κόμβος εκτός των δύο ακραίων κόμβων. Η πολυπλοκότητα ενός κυκλώματος προκύπτει από τον αριθμό των βρόχων:

- ένας βρόχος προσδιορίζει ένα **απλό κύκλωμα**,
- πολλοί βρόχοι που συνδέονται μεταξύ τους αποτελούν ένα **σύνθετο κύκλωμα** ή **δίκτυο**.



Σχήμα 2.2.3 Ο κόμβος A είναι το σημείο ένωσης περισσότερων κλάδων

2.2.2 Νόμος του Ωμ

Ο νόμος του Ωμ εκφράζει τη σχέση ανάμεσα στα τρία βασικά ηλεκτρικά μεγέθη: *τάση U*, *ένταση* του ηλεκτρικού ρεύματος *I* και ηλεκτρική *αντίσταση R*, και διατυπώνεται ως εξής:

Η ένταση του ρεύματος που διαρρέει μια ωμική αντίσταση είναι ανάλογη της ηλεκτρικής τάσης και αντιστρόφως ανάλογη της ηλεκτρικής αντίστασης:

$$I = \frac{U}{R}$$

Η ηλεκτρική αντίσταση είναι η ιδιότητα των υλικών να παρεμποδίζουν την κίνηση των ηλεκτρικών φορτίων, δηλαδή την κυκλοφορία ηλεκτρικού ρεύματος.

Η τιμή της αντίστασης *R* εξαρτάται από τις γεωμετρικές διαστάσεις του αγωγού (σύρματος) και από το υλικό του. Η εξάρτηση της αντίστασης από

το υλικό χαρακτηρίζεται από το συντελεστή ρ που ονομάζεται **ειδική αντίσταση**, διαφέρει από κάθε υλικό και μεταβάλλεται με τη θερμοκρασία. Οι γεωμετρικές διαστάσεις του αγωγού είναι το μήκος ℓ (σε μέτρα m) και η διατομή του S (σε m^2):

$$R = \rho \cdot \frac{\ell}{S}$$

$$1\Omega = 1\Omega \cdot m \cdot \frac{1m}{1m^2}$$

Στην πράξη, οι διατομές των αγωγών είναι της τάξης των mm^2 και δίνονται σε mm^2 και έτσι, για την απλοποίηση των υπολογισμών, η ειδική αντίσταση εκφράζεται σε: $\Omega \cdot \frac{mm^2}{m}$

$$1\Omega = 1\Omega \cdot \frac{mm^2}{m} \cdot \frac{m}{mm^2}$$

Αν η θερμοκρασία δεν μεταβάλλεται, τότε η ηλεκτρική αντίσταση είναι σταθερή και ο νόμος του Ωm μπορεί να διατυπωθεί ως εξής:

Για μια δεδομένη ηλεκτρική αντίσταση, το ηλεκτρικό ρεύμα που τη διαρρέει είναι ανάλογο της ηλεκτρικής τάσης στα άκρα της. Έτσι, η μεταβολή της τάσης στα άκρα της αντίστασης προκαλεί ανάλογη μεταβολή του ρεύματος.

Ο νόμος του Ωm μπορεί να διατυπωθεί και σε δύο άλλες ισοδύναμες μορφές:

Η τάση στα άκρα μιας ηλεκτρικής αντίστασης ισούται με το γινόμενο της αντίστασης επί την ένταση του ρεύματος που τη διαρρέει. Το γινόμενο αυτό ονομάζεται πτώση τάσης στην αντίσταση R:

$$U = R \cdot I$$

Η ηλεκτρική αντίσταση υπολογίζεται ως το σταθερό πηλίκο μεταξύ της εφαρμοζόμενης τάσης στα άκρα της και του ρεύματος που τη διαρρέει.

$$R = \frac{U}{I}$$

Η μονάδα μέτρησης της ηλεκτρικής αντίστασης είναι το Ωm (Ohm), με σύμβολο το Ω . Αντίσταση ενός Ωm παρουσιάζει ένας αγωγός, όταν στα

άκρα του εφαρμόζεται τάση ενός Βολτ και διαρρέεται από ρεύμα έντασης ενός Αμπέρ.

$$1\Omega = \frac{1\text{W}}{1\text{A}}$$

Στην πράξη χρησιμοποιούνται και πολλαπλάσια του Ωμ:

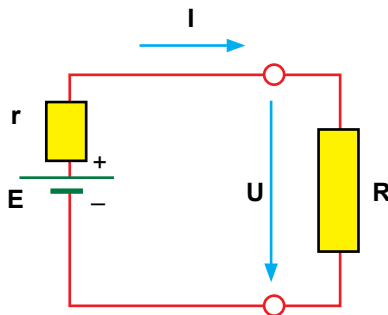
- Το Κιλωώμ = $1\text{ k}\Omega = 1000\ \Omega = 10^3\ \Omega$
- Το Μεγαώμ = $1\text{ M}\Omega = 1000\text{ k}\Omega = 10^6\ \Omega$

Όταν συνδέσουμε μια μπαταρία με ηλεκτρεγερτική δύναμη (ΗΕΔ) E με μια αντίσταση R (φορτίο), τότε σχηματίζεται ένα κλειστό κύκλωμα (Σχήμα 2.2.4). Στο κύκλωμα αυτό, εκτός από την εξωτερική αντίσταση του φορτίου R , υπάρχει και η εσωτερική αντίσταση της πηγής r . Η **εσωτερική αντίσταση της πηγής r** εκφράζει τη δυσκολία που συναντούν τα ηλεκτρικά φορτία κατά την κίνησή τους στο εσωτερικό της πηγής.

Ο νόμος του Ωμ εφαρμόζεται στο κλειστό κύκλωμα του Σχήματος 2.2.4 και προκύπτουν οι σχέσεις:

$$I = \frac{E}{R+r} \Rightarrow U = E - r \cdot I$$

Η πτώση τάσης U στα άκρα της αντίστασης R είναι ίδια με την τάση που μετρείται στους πόλους της πηγής και ονομάζεται **πολική τάση της πηγής**. Η πολική τάση U της πηγής ισούται με την ΗΕΔ E μείον την εσωτερική πτώση τάσης $r \cdot I$ της πηγής. Η πολική τάση της πηγής είναι ίση με την ΗΕΔ E της πηγής μόνο όταν $I = 0$, δηλαδή όταν το κύκλωμα είναι ανοικτό.

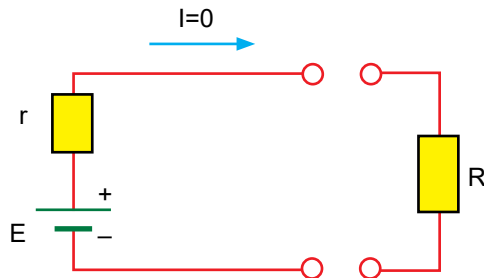


Σχήμα 2.2.4 Κλειστό κύκλωμα με εσωτερική αντίσταση της πηγής r και αντίσταση του φορτίου R

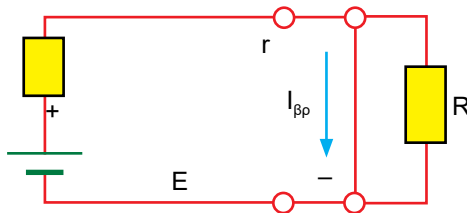
Ανοικτό κύκλωμα είναι το κύκλωμα στο οποίο η ηλεκτρική αντίσταση ή το στοιχείο που καταναλώνει ενέργεια έχει αποσυνδεθεί (Σχήμα 2.2.5).

Βραχυκυκλωμένο κύκλωμα είναι το κύκλωμα στο οποίο οι πόλοι της πηγής ενώνονται μεταξύ τους με έναν αγωγό πολύ μικρής ωμικής αντίστασης και το ρεύμα παρακάμπτει το φορτίο (Σχήμα 2.2.6).

Σε περίπτωση βραχυκυκλώματος, το ρεύμα βραχυκύκλωσης $I_{\beta\pi}$ είναι πολύ μεγαλύτερο από το κανονικό (ή ονομαστικό) ρεύμα του φορτίου.



Σχήμα 2.2.5 Ανοικτό κύκλωμα



Σχήμα 2.2.6 Βραχυκυκλωμένο κύκλωμα

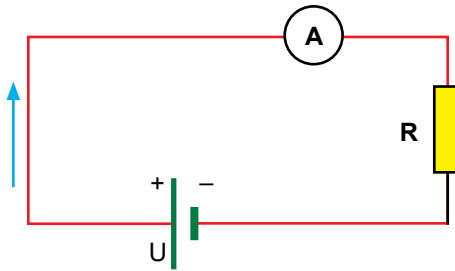
Π.Χ. ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 1

Μια μπαταρία παρέχει τάση 4,5 V σε μια αντίσταση 45 Ω (Σχήμα 2.2.7). Πόσο ρεύμα δείχνει το αμπερόμετρο συνδεδεμένο σε σειρά με την αντίσταση;

Λύση:

Το κύκλωμα έχει: $U = 4,5 \text{ V}$ και $R = 45 \text{ }\Omega$. Από το νόμο του Ωμ υπολογίζεται το ρεύμα:

$$I = \frac{U}{R} = \frac{4,5\text{V}}{45\text{ }\Omega} = 0,1\text{A}$$



Σχήμα 2.2.7 Ηλεκτρικό κύκλωμα με πηγή τάσης U , αντίσταση R και αμπερόμετρο

Π.Χ. ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 2

Μια λάμπα πυράκτωσης διαρρέεται από ρεύμα 200 mA, όταν τροφοδοτείται με τάση 220 V. Να βρεθεί η αντίσταση της λάμπας.

Λύση:

Η αντίσταση της λάμπας βρίσκεται από το νόμο του Ωμ.

$$200 \text{ mA} = 0,2 \text{ A}$$

$$R = \frac{U}{I} = \frac{220 \text{ V}}{0,2 \text{ A}} = 1100 \ \Omega$$

Π.Χ. ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 3

Ο προβολέας ομίχλης ενός αυτοκινήτου συνδέεται με την μπαταρία των 12 V. Η αντίστασή του είναι 3 Ω. Να βρεθεί η ένταση του ρεύματος όταν ανάβει ο προβολέας.

Λύση:

Το ρεύμα υπολογίζεται από το νόμο του Ohm:

$$I = \frac{U}{R} = \frac{12 \text{ V}}{3 \ \Omega} = 4 \text{ A}$$

Π.Χ. ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 4

Η εσωτερική αντίσταση μιας μπαταρίας είναι 1 Ω και η πολική της τάση 25 V. Η αντίσταση που είναι συνδεδεμένη στους πόλους της διαρρέεται από ρεύμα έντασης 5 A. Να βρεθεί η ΗΕΔ της πηγής.

Λύση:

Η ΗΕΔ της πηγής υπολογίζεται από το νόμο του Ωμ:

$$E = U + I \cdot r = 25 \text{ V} + 5 \text{ A} \cdot 1 \Omega = 30 \text{ V}$$

2.2.3 Σύνδεση σε σειρά

Περισσότερες αντιστάσεις και πηγές τάσης είναι συνδεδεμένες σε σειρά σε ένα ηλεκτρικό κύκλωμα, όταν διαρρέονται από το ίδιο ρεύμα.

Το κύκλωμα αυτό μπορεί να μετατραπεί σε ένα απλούστερο και όλες οι αντιστάσεις να αντικατασταθούν με μόνο μία ισοδύναμη αντίσταση και όλες οι πηγές να αντικατασταθούν από μία ισοδύναμη πηγή.

Η ισοδύναμη αντίσταση R των αντιστάσεων R_1 , R_2 και R_3 που συνδέονται σε σειρά ισούται με το άθροισμά τους.

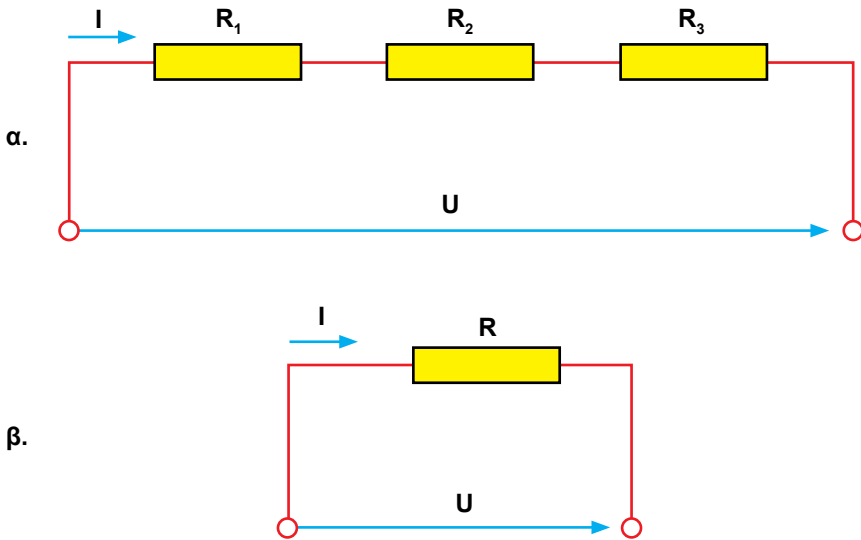
$$R = R_1 + R_2 + R_3$$

Στο Σχήμα 2.2.8.α οι αντιστάσεις R_1 , R_2 και R_3 είναι συνδεδεμένες σε σειρά και διαρρέονται από το ίδιο ρεύμα I . Οι τρεις αντιστάσεις μπορούν να αντικατασταθούν από μια ισοδύναμη αντίσταση R , όπως φαίνεται στο Σχήμα 2.2.8.β.

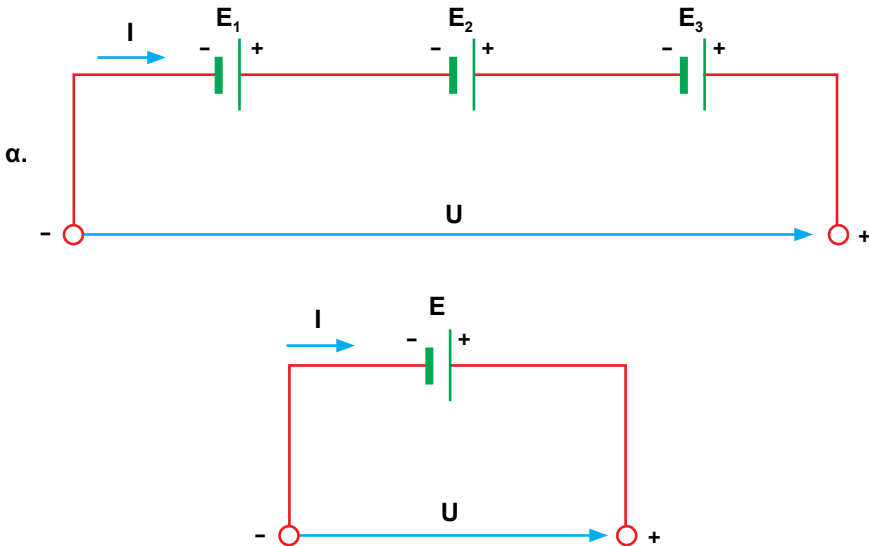
Η ισοδύναμη ηλεκτρεγερτική δύναμη E των πηγών τάσης που είναι συνδεδεμένες σε σειρά και έχουν ηλεκτρεγερτικές δυνάμεις E_1 , E_2 και E_3 ισούται με το άθροισμά τους.

$$E = E_1 + E_2 + E_3$$

Στο Σχήμα 2.2.9.α οι ηλεκτρεγερτικές δυνάμεις E_1 , E_2 και E_3 είναι συνδεδεμένες σε σειρά και η ισοδύναμη ηλεκτρεγερτική δύναμη E φαίνεται στο Σχήμα 2.2.9.β. Ο θετικός πόλος της κάθε πηγής συνδέεται στον αρνητικό πόλο της επόμενης.

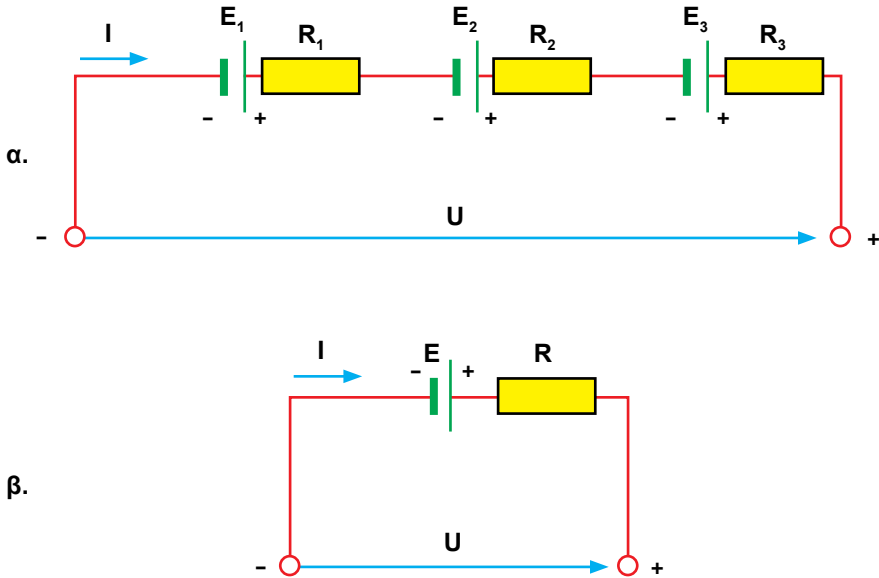


Σχήμα 2.2.8. α. Σύνδεση σε σειρά τριών αντιστάσεων και
β. Ισοδύναμη αντίσταση των τριών αντιστάσεων



Σχήμα 2.2.9. α. Τρεις πηγές τάσης συνδεδεμένες σε σειρά
β. Η ισοδύναμη πηγή τάσης

Στο Σχήμα 2.2.10.α οι αντιστάσεις R_1 , R_2 , R_3 και οι ηλεκτρεγερτικές δυνάμεις E_1 , E_2 , E_3 είναι συνδεδεμένες σε σειρά. Η ισοδύναμη αντίσταση R και η ισοδύναμη ηλεκτρεγερτική δύναμη E αποτελούν το ισοδύναμο κύκλωμα (Σχήμα 2.2.10.β).



Σχήμα 2.2.10. α. Σύνδεση σε σειρά τριών αντιστάσεων και τριών πηγών τάσης
β. Ισοδύναμο κύκλωμα

π.χ. ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 1

Σύνδεση σε σειρά των λαμπτήρων

Συνήθως οι λαμπτήρες πυράκτωσης δεν συνδέονται σε σειρά, επειδή σε περίπτωση που ένας λαμπτήρας καίγεται λόγω τήξης του νήματος, τότε διακόπτεται όλο το κύκλωμα.

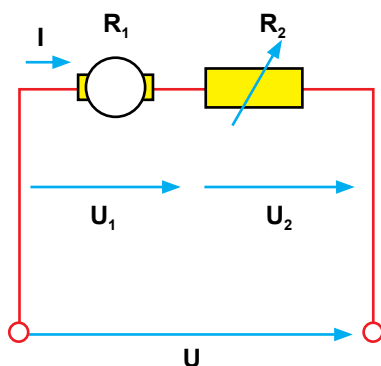
Όμως, σε περιπτώσεις όπου απαιτούνται λαμπτήρες χαμηλών ονομαστικών μεγεθών (τάση, ρεύμα, ισχύς), όπως στα φωτιστικά των χριστουγεννιάτικων δένδρων, τότε εφαρμόζεται η σύνδεση σε σειρά των λαμπτήρων. Για προστασία έναντι διακοπής του κυκλώματος σε περίπτωση που ένας λαμπτήρας καεί, κάθε λαμπτήρας γεφυρώνεται με ένα ειδικό καλώδιο, το οποίο κατά την κανονική λειτουργία του κυκλώματος δεν διαρρέεται από ρεύμα. Σε περίπτωση βλάβης του λαμπτήρα, το καλώδιο λειτουργεί σαν δίοδος: γίνεται αγωγίμο και επιτρέπει τη διέλευση του ρεύματος. Παρακάμπτεται έτσι ο καμένος λαμπτήρας και το κύκλωμα εξακολουθεί να διαρρέεται από ρεύμα.

Π.Χ. ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 2**Ρυθμιστική αντίσταση**

Οι ηλεκτρικές συσκευές μπορούν να συνδεθούν σε τάση υψηλότερη από την ονομαστική τους με τη βοήθεια μιας αντίστασης η οποία συνδέεται σε σειρά. Η αντίσταση αυτή ονομάζεται **ρυθμιστική αντίσταση**.

Εφαρμογές όπου χρησιμοποιείται ρυθμιστική αντίσταση είναι οι διατάξεις εκκίνησης των ηλεκτρικών κινητήρων, οι διατάξεις ρύθμισης της φωτεινότητας των λαμπτήρων, οι ηλεκτρονικές διατάξεις κ.ά. Στο Σχήμα 2.2.11 η ρυθμιστική αντίσταση συμβολίζεται με R_2 και συνδέεται σε σειρά με έναν κινητήρα με ωμική αντίσταση R_1 .

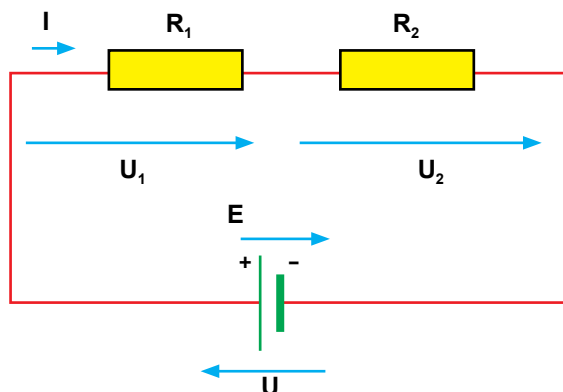
Επειδή οι ρυθμιστικές αντιστάσεις καταναλώνουν ηλεκτρική ενέργεια την οποία μετατρέπουν σε θερμότητα και μειώνουν το βαθμό απόδοσης της διάταξης, χρησιμοποιούνται μόνο σε εφαρμογές χαμηλών ρευμάτων.



Σχήμα 2.2.11. Ρυθμιστική αντίσταση συνδεδεμένη σε σειρά με κινητήρα

Π.Χ. ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 3

Δύο ηλεκτρικές αντιστάσεις $R_1 = 5 \Omega$ και $R_2 = 10 \Omega$ συνδέονται σε σειρά (Σχήμα 2.2.12). Η πολική τάση της πηγής είναι 30 V. Υπολογίστε: α) την ισοδύναμη αντίσταση και β) τις πτώσεις τάσης στις αντιστάσεις.



Σχήμα 2.2.12 Σύνδεση σε σειρά δύο αντιστάσεων με μία πηγή τάσης

Λύση:

$$\alpha) R = R_1 + R_2 = 5 \Omega + 10 \Omega = 15 \Omega$$

$$\beta) I = \frac{U}{R} = \frac{30 \text{ V}}{15 \Omega} = 2 \text{ A}$$

$$U_1 = R_1 \cdot I = 5 \Omega \cdot 2 \text{ A} = 10 \text{ V}$$

$$U_2 = R_2 \cdot I = 10 \Omega \cdot 2 \text{ A} = 20 \text{ V}$$

Π.Χ. ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 4

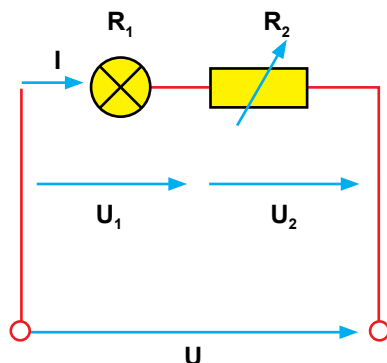
Οι τάσεις του κυκλώματος του Σχήματος 2.2.12 είναι $U_1 = 10 \text{ V}$ και $U_2 = 20 \text{ V}$. Υπολογίστε την πολική τάση της πηγής.

Λύση:

$$E = U_1 + U_2 = 10 \text{ V} + 20 \text{ V} = 30 \text{ V}$$

Π.Χ. ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 5

Ένας λαμπτήρας έχει ονομαστική τάση $U_1 = 12 \text{ V}$ και ονομαστικό ρεύμα 2 A . Για να συνδεθεί σε τάση $U = 220 \text{ V}$, χρειάζεται να συνδεθεί σε σειρά με μια ρυθμιστική αντίσταση (Σχήμα 2.2.13). Υπολογίστε: α) το μέγεθος της ρυθμιστικής αντίστασης και β) την ηλεκτρική ισχύ που καταναλώνουν ο λαμπτήρας και η ρυθμιστική αντίσταση.



Σχήμα 2.2.13 Σύνδεση σε σειρά ρυθμιστικής αντίστασης με λαμπτήρα

Λύση:

α) Η διαφορά μεταξύ της τάσης του δικτύου και της ονομαστικής τάσης του λαμπτήρα είναι η πτώση τάσης στη ρυθμιστική αντίσταση:

$$U_2 = U - U_1 = 220 \text{ V} - 12 \text{ V} = 208 \text{ V}$$

Ο νόμος του Ωμ δίνει:

$$R_2 = \frac{U_2}{I} = \frac{208 \text{ V}}{2 \text{ A}} = 104 \Omega$$

β) $P_1 = U_1 \cdot I = 12 \text{ V} \cdot 2 \text{ A} = 24 \text{ W}$

$$P_2 = U_2 \cdot I = 208 \text{ V} \cdot 2 \text{ A} = 416 \text{ W}$$

2.2.4. Παράλληλη σύνδεση αντιστάσεων

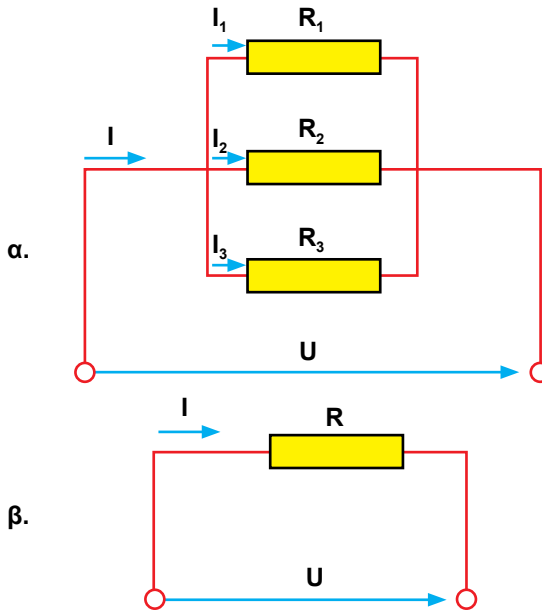
Περισσότερες αντιστάσεις είναι συνδεδεμένες παράλληλα όταν όλοι οι ακροδέκτες εισόδου του ρεύματος σ' αυτές συνδέονται μεταξύ τους, και όλοι οι ακροδέκτες εξόδου του ρεύματος από αυτές συνδέονται μεταξύ τους.

Οι αντιστάσεις συνδεδεμένες παράλληλα τροφοδοτούνται με την ίδια τάση και το ρεύμα που εισέρχεται στο κύκλωμα παράλληλων αντιστάσεων ισούται με το άθροισμα των ρευμάτων σε όλους τους κλάδους (Σχήμα 2.2.14).

$$I = I_1 + I_2 + I_3$$

Σε κάθε αντίσταση υπάρχει η ίδια πτώση τάσης.

$$U = R_1 I_1 = R_2 I_2 = R_3 I_3$$



Σχήμα 2.2.14. α. Παράλληλη σύνδεση τριών αντιστάσεων και β. Ισοδύναμη αντίσταση

Όλες οι ηλεκτρικές οικιακές συσκευές, οι λαμπτήρες πυράκτωσης, οι ηλεκτρικοί κινητήρες, οι μετασχηματιστές κ.λπ., κατασκευάζονται για τυποποιημένη τάση 220 V και συνδέονται παράλληλα στο δίκτυο.

Η ισοδύναμη αντίσταση του κυκλώματος με αντιστάσεις συνδεδεμένες παράλληλα \$R\$ (Σχήμα 2.2.14.β) υπολογίζεται σύμφωνα με την ακόλουθη σχέση:

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$$

Η ισοδύναμη αντίσταση είναι μικρότερη από κάθε μία από τις αντιστάσεις που συνδέονται παράλληλα. Για δύο αντιστάσεις συνδεδεμένες παράλληλα ισχύει:

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \Rightarrow R = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$$

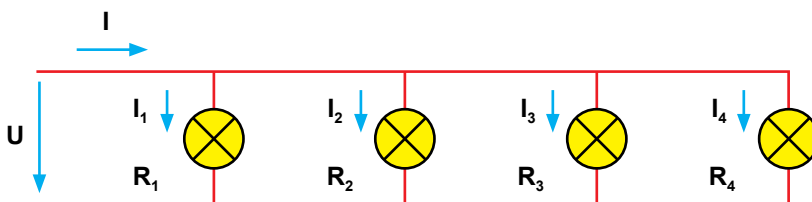
Όταν οι αντιστάσεις είναι όμοιες, τότε:

$$R_1 = R_2 = R_3$$

$$R = \frac{R_1}{n}$$

Π.Χ. ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 1

Ένα φωτιστικό αποτελείται από τέσσερις όμοιους λαμπτήρες συνδεδεμένους παράλληλα (Σχήμα 2.2.15). Το φωτιστικό συνδέεται σε τάση 220 V. Η αντίσταση του κάθε λαμπτήρα είναι 440 Ω. Υπολογίστε: α) την ισοδύναμη αντίσταση των τεσσάρων λαμπτήρων, β) το ρεύμα που απορροφάει το φωτιστικό από την πηγή, γ) το ρεύμα στον κάθε λαμπτήρα.



Σχήμα 2.2.15 Τέσσερις λαμπτήρες συνδεδεμένοι παράλληλα

Λύση:

α) Εφόσον οι τέσσερις λαμπτήρες είναι όμοιοι, οι αντιστάσεις είναι ίσες μεταξύ τους, δηλαδή:

$$R_1 = R_2 = R_3 = R_4 = 440 \Omega$$

$$n = 4$$

$$R = \frac{R_1}{n} = \frac{R_1}{4} = \frac{440 \Omega}{4} = 110 \Omega$$

β) Το συνολικό ρεύμα υπολογίζεται σύμφωνα με το νόμο του Ωμ:

$$I = \frac{U}{R} = \frac{220 \text{ V}}{110 \Omega} = 2 \text{ A}$$

γ) Οι τέσσερις όμοιες αντιστάσεις απορροφούν από την πηγή τα ίδια ρεύματα:

$$I_1 = I_2 = I_3 = I_4$$

Για κάθε λαμπτήρα εφαρμόζουμε το νόμο του Ωμ:

$$I_1 = \frac{U}{R_1} = \frac{220 \text{ V}}{440 \Omega} = 0,5 \text{ A}$$

$$I_1 = I_2 = I_3 = I_4 = 0,5 \text{ A}$$

2.2.5. Σύνθετη σύνδεση

Ηλεκτρικό κύκλωμα που περιλαμβάνει ηλεκτρικές αντιστάσεις και ηλεκτρικές πηγές συνδεδεμένες σε σειρά και παράλληλα ονομάζεται κύκλωμα με σύνθετη σύνδεση ή μεικτή σύνδεση.

Σε ένα σύνθετο κύκλωμα προσδιορίζουμε τα τμήματα με αντιστάσεις σε σειρά και τους παράλληλους κλάδους. Στη συνέχεια εφαρμόζουμε όλους τους κανόνες της σύνδεσης σε σειρά και της παράλληλης σύνδεσης. Πρακτικοί κανόνες υπολογισμού σύνθετης συνδεσμολογίας αντιστάσεων είναι οι ακόλουθοι:

- Σε μια συνδεσμολογία σε σειρά, όπου υπάρχει και μια συνδεσμολογία παράλληλη (Σχήμα 2.2.17), υπολογίζεται πρώτα η παράλληλη συνδεσμολογία για την εύρεση της ισοδύναμης αντίστασης και μετά αθροίζουμε τις αντιστάσεις σε σειρά.
- Σε μια συνδεσμολογία παράλληλη, αν υπάρχει μια συνδεσμολογία σειράς, υπολογίζεται πρώτα η συνδεσμολογία σειράς για την εύρεση της ισοδύναμης αντίστασης και μετά συνθέτουμε τις παράλληλες αντιστάσεις (Σχήμα 2.2.18).

Τα δύο κυκλώματα που παρουσιάζονται στα Σχήματα 2.2.17 και 2.2.18 συναντώνται συχνά σε σύνθετα κυκλώματα.

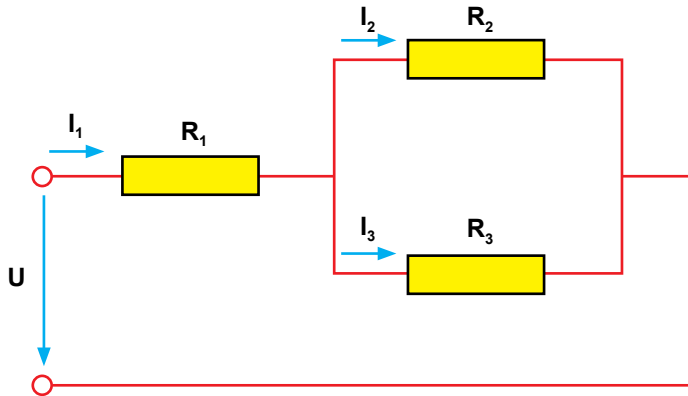
π.χ. ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 1

Δίνεται η σύνθετη σύνδεση του Σχήματος 2.2.17, όπου: $R_1 = 100 \Omega$, $R_2 = 1000 \Omega$, $R_3 = 4000 \Omega$. Υπολογίστε την ισοδύναμη αντίσταση R .

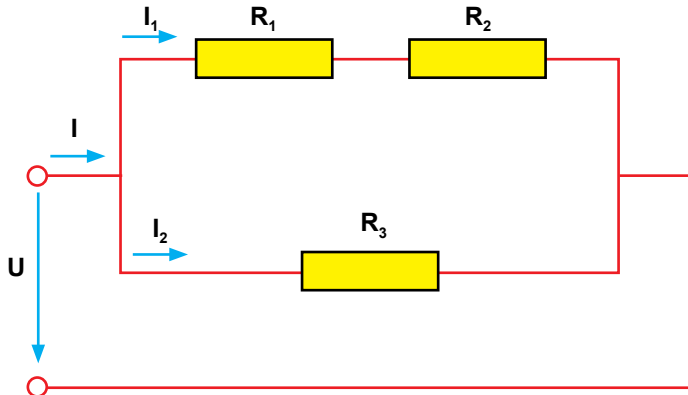
Λύση:

$$R = R_1 + \frac{R_2 R_3}{R_2 + R_3}$$

$$R = 100 \Omega + 1000 \Omega \cdot 4000 \Omega / (1000 \Omega + 4000 \Omega) = 100 \Omega + 800 \Omega = 900 \Omega$$



Σχήμα 2.2.17 Σύνθετη σύνδεση με δύο παράλληλες αντιστάσεις R_2 και R_3 , συνδεδεμένες σε σειρά με την αντίσταση R_1



Σχήμα 2.2.18 Σύνθετη σύνδεση με δύο αντιστάσεις σε σειρά R_1 και R_2 , συνδεδεμένες παράλληλα με την αντίσταση R_3

π.χ. ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 2

Δίνεται η σύνθετη σύνδεση του Σχήματος 2.2.18, όπου: $R_1 = 100 \Omega$, $R_2 = 300 \Omega$, $R_3 = 400 \Omega$. Υπολογίστε την ισοδύναμη αντίσταση R .

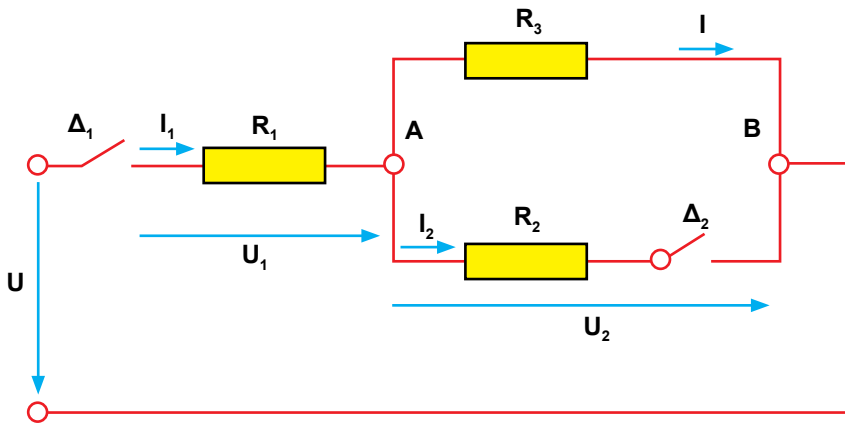
Λύση:

$$R = \frac{(R_1 + R_2)R_3}{R_1 + R_2 + R_3}$$

$$R = \frac{(100 \Omega + 300 \Omega) \cdot 400 \Omega}{100 \Omega + 300 \Omega + 400 \Omega} = 200 \Omega$$

Π.Χ. ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 3

Δίνεται το θερμαντικό σώμα του Σχήματος 2.2.19, το οποίο συνδέεται σε πηγή τάσης $U = 100 \text{ V}$. Οι αντιστάσεις είναι $R_1 = 5 \Omega$, $R_2 = 5 \Omega$ και $R_3 = 5 \Omega$. Ο διακόπτης Δ_1 είναι ο γενικός διακόπτης σύνδεσης και αποσύνδεσης στο δίκτυο. Όταν ο διακόπτης Δ_2 είναι ανοικτός, η αντίσταση R_2 είναι εκτός λειτουργίας. Υπολογίστε το ρεύμα στις αντιστάσεις R_1 , R_2 και R_3 : α) με κλειστό το διακόπτη Δ_2 και β) με ανοικτό το διακόπτη Δ_2 .



Σχήμα 2.2.19 Σύνθετη σύνδεση αντιστάσεων θερμαντικού σώματος μέσω διακόπτη

Λύση:

A. Διακόπτης Δ_1 κλειστός και διακόπτης Δ_2 ανοικτός:

Η αντίσταση $R_1 = 5 \Omega$ είναι συνδεδεμένη σε σειρά με την αντίσταση $R_3 = 5 \Omega$. Η ισοδύναμη αντίστασή τους R είναι:

$$R = R_1 + R_3 = 5 \Omega + 5 \Omega = 10 \Omega$$

Το ρεύμα υπολογίζεται από το νόμο του Ωμ:

$$I_1 + \frac{U}{R} \Rightarrow I_1 = \frac{100 \text{ V}}{10 \Omega} = 10 \text{ A}$$

B. Διακόπτης Δ_1 κλειστός, διακόπτης Δ_2 κλειστός:

Η αντίσταση $R_3 = 5 \Omega$ είναι συνδεδεμένη παράλληλα με την αντίσταση R_2 . Η ισοδύναμη αντίσταση R είναι:

$$R = R_1 + \frac{R_2 \cdot R_3}{R_2 + R_3} = 5 \Omega + \frac{5 \Omega \cdot 5 \Omega}{5 \Omega + 5 \Omega} = 7,5 \Omega$$

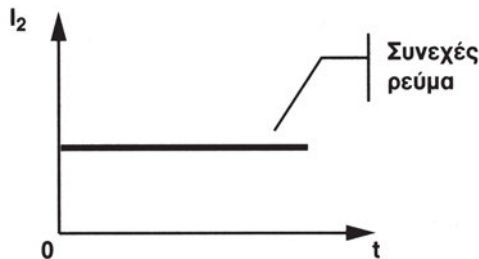
Το ρεύμα υπολογίζεται από το νόμο του Ωμ:

$$I_1 + \frac{U}{R} \Rightarrow I_1 = \frac{100 \text{ V}}{7,5 \Omega} = 13,3 \text{ A}$$

2.3 Συνεχές ρεύμα και εναλλασσόμενο ρεύμα

Ο ορισμός του ηλεκτρικού ρεύματος σαν την ταχύτητα μεταφοράς του φορτίου περιλαμβάνει τόσο τα θετικά όσο και τα αρνητικά φορτία. Το ρεύμα που οφείλεται στην κίνηση θετικών φορτίων και το ρεύμα που οφείλεται στην αντίθετη κίνηση των αρνητικών φορτίων αθροίζονται.

Συνεχές ρεύμα Σ.Ρ. είναι το ρεύμα του οποίου η τιμή και η φορά παραμένει η ίδια σε κάθε χρονική στιγμή t . Στο Σχήμα 2.3.1, η παράλληλη στον οριζόντιο άξονα γραμμή παριστάνει το συνεχές ρεύμα.

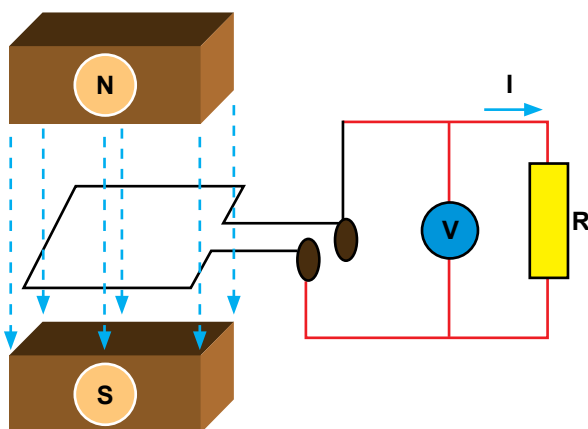


Σχήμα 2.3.1 Γραφική παράσταση συνεχούς ρεύματος

Το ηλεκτρικό ρεύμα παριστάνεται με το σύμβολο I , ή i , όπου το κεφαλαίο γράμμα χρησιμοποιείται για ρεύματα χρονικά σταθερά, όπως είναι το συνεχές ρεύμα, και το μικρό γράμμα για ρεύματα χρονικά μεταβλητά, όπως είναι το εναλλασσόμενο ρεύμα.

Μεταξύ δυο μαγνητικών πόλων παράγεται ομογενές μαγνητικό πεδίο. Αν συνδέσουμε τα άκρα ενός ορθογώνιου **βρόχου (ή σπείρας)** πλευράς μήκους ℓ με δύο μονωμένα μεταξύ τους μεταλλικά δακτυλίδια ολίσθησης, που βρίσκονται προσαρμοσμένα σε άξονα και περιστρέψουμε το βρό-

χο μέσα σε ένα ομογενές μαγνητικό πεδίο, τότε αναπτύσσεται στα άκρα του βρόχου **ηλεκτρεγερτική δύναμη – ΗΕΔ ή επαγόμενη τάση** (Σχήμα 2.3.2). Αν συνδέσουμε ένα βολτόμετρο μέσω δύο ψηκτρών επαφτόμενων στα δακτυλίδια, τότε διαβάζουμε την επαγόμενη τάση. Όταν ο βρόχος σχηματίζει κλειστό εξωτερικό κύκλωμα (Σχήμα 2.3.2), τότε παρατηρούμε στο φορτίο **R**, συνδεδεμένο στους ακροδέκτες του βρόχου, ροή ηλεκτρικού ρεύματος **i**.



Σχήμα 2.3.2 Περιστρεφόμενος βρόχος ανάμεσα στο βόρειο πόλο **N** και το νότιο πόλο **S** μόνιμου μαγνήτη. Παραγωγή επαγόμενης τάσης στα άκρα του

Σε ομογενές μαγνητικό πεδίο υπάρχει μαγνητική ροή Φ η οποία διαπερνά το βρόχο καθώς περιστρέφεται. Η μαγνητική ροή Φ εξαρτάται από τη γωνία φ που σχηματίζει ο βρόχος με τη διεύθυνση των μαγνητικών γραμμών του μαγνητικού πεδίου (Πίνακας 2.3.1). Η ταχύτητα με την οποία μεταβάλλεται η μαγνητική ροή εξαρτάται από τη συχνότητα περιστροφής του βρόχου.

Οι εναλλαγές στην πολικότητα της επαγόμενης τάσης E προκαλούνται από την εναλλαγή της φοράς μεταβολής της ροής (αύξηση – μείωση) και έτσι παράγεται ένα εναλλασσόμενο ρεύμα i . Η τάση μεταβάλλεται σύμφωνα με την ημιτονική καμπύλη και εξαρτάται από τη γωνία περιστροφής φ του βρόχου. Η αρχή μέτρησης της γωνίας φ είναι ο οριζόντιος άξονας (Σχήμα 2.3.3).

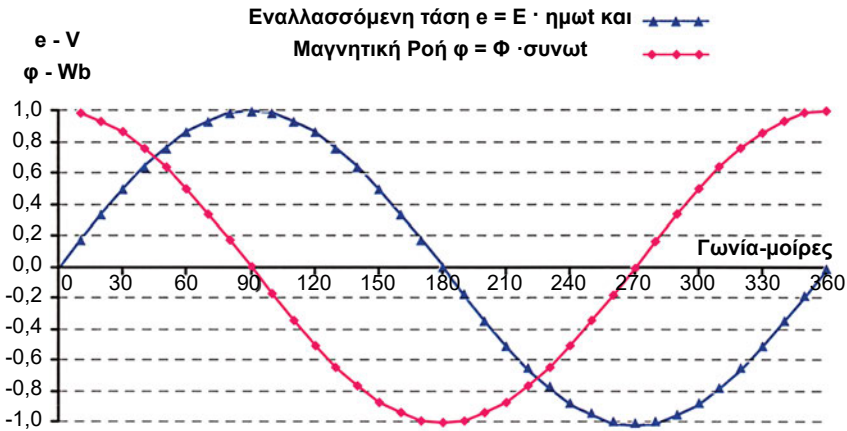
Πίνακας 2.3.1 Μεταβολή της μαγνητικής ροής και της επαγόμενης τάσης με τη γωνία περιστροφής φ του βρόχου ως προς τις μαγνητικές γραμμές του πεδίου

| Γωνία περιστροφής φ | Θέση επιπέδου του βρόχου ως προς τη διεύθυνση των μαγνητικών γραμμών | Μαγνητική ροή Φ | Επαγόμενη τάση u |
|-----------------------------|--|-----------------------|--------------------|
| 0° | Κάθετος | $\Phi = \Phi_{\max}$ | $u = 0$ |
| 90° | Παράλληλος | $\Phi = 0$ | $u = +U_m$ |
| 180° | Κάθετος | $\Phi = -\Phi_{\max}$ | $u = 0$ |
| 270° | Παράλληλος | $\Phi = 0$ | $u = -U_m$ |
| 360° | Κάθετος | $\Phi = \Phi_{\max}$ | $u = 0$ |

Η επαγόμενη στιγμιαία τάση στα άκρα του βρόχου σε οποιαδήποτε χρονική στιγμή t εξαρτάται από τη γωνία φ και δίδεται από τη σχέση:

$$u = 2 \cdot B \cdot \ell \cdot v \cdot \eta \mu \varphi$$

όπου: u είναι η στιγμιαία τιμή της επαγόμενης τάσης σε V, B είναι η ένταση της μαγνητικής επαγωγής του μαγνητικού πεδίου σε Vs/m² ή Tesla, ℓ είναι το μήκος των πλευρών της σπείρας που τέμνουν τις μαγνητικές γραμμές του πεδίου σε m, v είναι η ταχύτητα περιστροφής του βρόχου σε m/s και φ είναι η γωνία που σχηματίζει το επίπεδο του βρόχου με τη διεύθυνση των μαγνητικών γραμμών. Ο συντελεστής 2 τίθεται επειδή η σπείρα έχει δύο πλευρές. Οριακές τιμές της τάσης u δίνονται στον Πίνακα 2.3.1.



Σχήμα 2.3.3 Παραγωγή εναλλασσόμενης τάσης και εναλλασσόμενης μαγνητικής ροής

Για κάθε χρονική στιγμή η επαγόμενη στιγμιαία τάση και ένταση δίδονται από τις σχέσεις:

$$u = U_m \cdot \eta\mu\phi$$

$$i = I_m \cdot \eta\mu\phi$$

όπου U_m και I_m είναι οι μέγιστες τιμές των εναλλασσόμενων μεγεθών και u και i είναι οι στιγμιαίες τιμές τους. Η σχέση μεταξύ U_m και I_m δίδεται από το νόμο του Ωμ:

$$U_m = R \cdot I_m$$

Εναλλασσόμενο ρεύμα (ΕΡ) είναι το περιοδικά μεταβαλλόμενο ρεύμα σύμφωνα με το ημίτονο της γωνίας περιστροφής του βρόχου ως προς τις μαγνητικές γραμμές του πεδίου.

Εναλλασσόμενη τάση είναι η περιοδικά μεταβαλλόμενη τάση σύμφωνα με το ημίτονο της γωνίας περιστροφής του βρόχου ως προς τις μαγνητικές γραμμές του πεδίου.

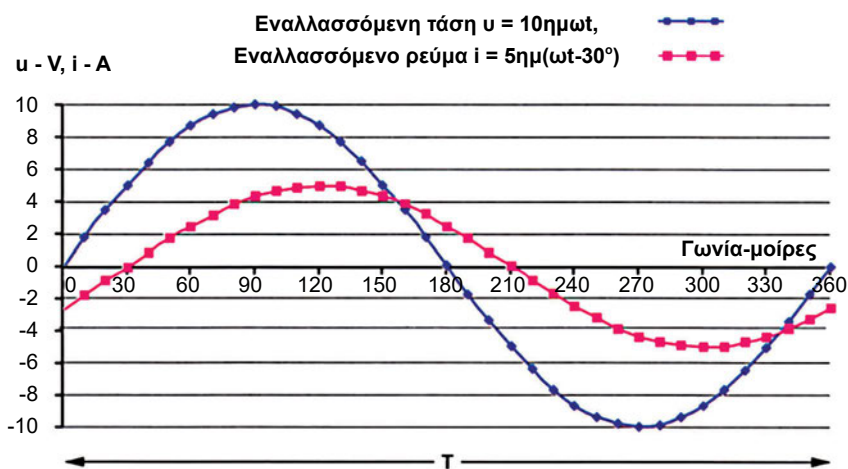
Το εναλλασσόμενο ρεύμα μπορεί να μην είναι ημιτονικό. Αλλά, για τις ανάγκες του μαθήματος, ως εναλλασσόμενο ρεύμα θα θεωρούμε το ημιτονικό (ημιτονοειδές).

Περίοδος T ενός εναλλασσόμενου μεγέθους (τάσης ή έντασης) είναι ο σταθερός χρόνος T μέσα στον οποίο το εναλλασσόμενο μέγεθος συμπληρώνει μια πλήρη εναλλαγή (περιστροφή 360°), ή ο χρόνος σε δευτερόλεπτα μέσα στον οποίο ολοκληρώνεται ένας πλήρης κύκλος μεταβολής του.

Συχνότητα f του εναλλασσόμενου ρεύματος είναι ο αριθμός των κύκλων που συμπληρώνονται μέσα σε ένα δευτερόλεπτο.

Στο Σχήμα 2.3.4 παρουσιάζεται η περίοδος T . Σύμφωνα με το Σχήμα 2.3.4:

- στο χρόνο μιας περιόδου T , το εναλλασσόμενο μέγεθος μηδενίζεται δύο φορές και παίρνει μια μέγιστη και μια ελάχιστη τιμή,
- στο χρόνο μισής περιόδου $T/2$ το εναλλασσόμενο μέγεθος διατηρεί τη μία από τις δύο κατευθύνσεις του.



Σχήμα 2.3.4 Εναλλασσόμενο ρεύμα, εναλλασσόμενη τάση και περίοδος

Σε χρόνο ενός δευτερολέπτου το εναλλασσόμενο ρεύμα συμπληρώνει $1/T$ κύκλους. Η περίοδος και η συχνότητα συνδέονται με τη σχέση:

$$f = 1/T$$

Η μονάδα μέτρησης της συχνότητας είναι $1/s$ ή Hz (Hertz ή Χερτζ). Στην πράξη χρησιμοποιούμε και πολλαπλάσια του Χερτζ.

1 kHz = 1000 Hz (Κίλο χερτζ)

1 MHz = 1.000.000 Hz (Μέγα χερτζ)

1 GHz = 1.000.000.000 Hz (Γίγα χερτζ)

Η βιομηχανική τάση και συχνότητα του εναλλασσόμενου ρεύματος στην Ευρώπη είναι 220 V και 50 Hz. Στην Αμερική, η βιομηχανική τάση και συχνότητα είναι 127 V και $f = 60$ Hz. Συνεπώς, οι συσκευές που κατασκευάζονται για χρήση στην Αμερική δεν μπορούν να λειτουργήσουν στο δίκτυο της Ευρώπης χωρίς τις κατάλληλες μετατροπές της τάσης και της συχνότητας που θα τις τροφοδοτήσουν.

Η γωνία φ ονομάζεται φάση ή γωνία φάσης της εναλλασσόμενης τάσης.

Η κυκλική συχνότητα ω είναι η φάση που αντιστοιχεί σε ένα δευτερόλεπτο ή η γωνία που διαγράφει ο βρόχος σε 1 s.

$$\omega = \frac{\varphi}{t} \Rightarrow \varphi = \omega \cdot t$$

$$\omega = 2 \cdot \pi \cdot f$$

$$\omega = \frac{2 \cdot \pi}{T}$$

Η κυκλική συχνότητα συμπίπτει με τη γωνιακή ταχύτητα περιστροφής του βρόχου. Η μονάδα μέτρησης είναι ακτίνια/δευτερόλεπτο (ή rad/s).

Κατά την αρχική χρονική στιγμή $t = 0$, που συνήθως είναι και η αρχή της φάσης, η φάση είναι $\varphi = 0^\circ$. Κατόπιν η φάση αυξάνεται διαρκώς, με σταθερά βήματα κατά ω ακτίνια ανά δευτερόλεπτο. Μετά από χρόνο t η φάση αυξάνει σε ωt rad. Έτσι, προκύπτουν οι σχέσεις της εναλλασσόμενης τάσης και έντασης που δίνουν τη στιγμιαία τιμή τους συναρτήσει του χρόνου:

$$u = U_m \cdot \eta\mu\omega t$$

$$i = I_m \cdot \eta\mu\omega t$$

όπου I_m και U_m είναι οι μέγιστες τιμές του ρεύματος και της τάσης αντίστοιχα.

Ενεργός τιμή του εναλλασσόμενου ρεύματος I ονομάζεται η τιμή της έντασης του ισοδύναμου συνεχούς ρεύματος, το οποίο θα παράγει επί μιας συγκεκριμένης ωμικής αντίστασης το ίδιο ποσό θερμότητας Q με το εναλλασσόμενο ρεύμα, στον ίδιο χρόνο, σε Watt ($Q = R \cdot I^2 \cdot t$ από το νόμο του Joule).

Η ενεργός ή ενδεικνυόμενη τιμή I της έντασης i για ημιτονικά ρεύματα υπολογίζεται από τη σχέση:

$$I = \frac{I_m}{\sqrt{2}} = 0,707 I_m$$

Ομοίως για την τάση ισχύει ότι η ενεργός ή ενδεικνυόμενη τιμή U της τάσης u υπολογίζεται από τη σχέση:

$$U = \frac{U_m}{\sqrt{2}} \text{ ή } U = 0,707 \cdot U_m$$

Από τα προηγούμενα προκύπτει ότι:

Η ενεργός τιμή ισούται περίπου με το 70% της μέγιστης τιμής των εναλλασσόμενων μεγεθών.

Π.Χ. ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 1

Να υπολογιστεί η περίοδος του εναλλασσόμενου ρεύματος βιομηχανικής συχνότητας της Ευρώπης.

Λύση:

Η βιομηχανική συχνότητα είναι $f = 50 \text{ Hz}$.

$$f = 1/T \Rightarrow T = 1/f$$

$$T = 1/50 = 0,02 \text{ δευτερόλεπτα.}$$

Κατά τη διάρκεια αυτής της περιόδου το εναλλασσόμενο ρεύμα ολοκληρώνει έναν κύκλο και κατ' επέκταση σε 1 δευτερόλεπτο ολοκληρώνει 50 περιόδους.

π.χ. ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 2

Να υπολογισθεί η μέγιστη τιμή της εναλλασσόμενης τάσης με ενεργό τιμή $U = 220 \text{ V}$.

Λύση:

$$U = \frac{U_m}{\sqrt{2}} \Rightarrow U_m = U \cdot \sqrt{2} = 220 \cdot 1,414 = 311 \text{ W}$$

2.4 Ωμική αντίσταση, επαγωγική αντίσταση και χωρητική αντίσταση στο ΕΡ

Το μεγαλύτερο μέρος του οικιακού και βιομηχανικού εξοπλισμού λειτουργεί με εναλλασσόμενο ρεύμα. Ο λόγος για τον οποίο χρησιμοποιείται εναλλασσόμενο ρεύμα σε εφαρμογές έχει να κάνει με τον τρόπο παραγωγής και διανομής του. Είναι σχετικά εύκολο να παραχθεί ΕΡ σε ατμοηλεκτρικά και υδροηλεκτρικά εργοστάσια αντί για συνεχές ρεύμα και ακόμη πιο εύκολο να διανεμηθεί.

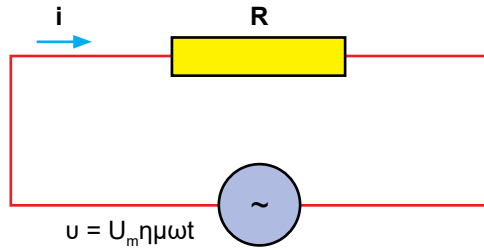
Οι οικιακές συσκευές και ο βιομηχανικός εξοπλισμός αποτελούνται συνήθως από πολύπλοκα κυκλώματα. Τα στοιχεία από τα οποία αποτελούνται είναι πολλά, αλλά θεωρούμε την αντίσταση R , το πηνίο L και τον πυκνωτή C ως τα σημαντικότερα.

Οι καταναλώσεις, με βάση τη λειτουργία τους, μπορούν να διαχωριστούν σε τρεις κατηγορίες:

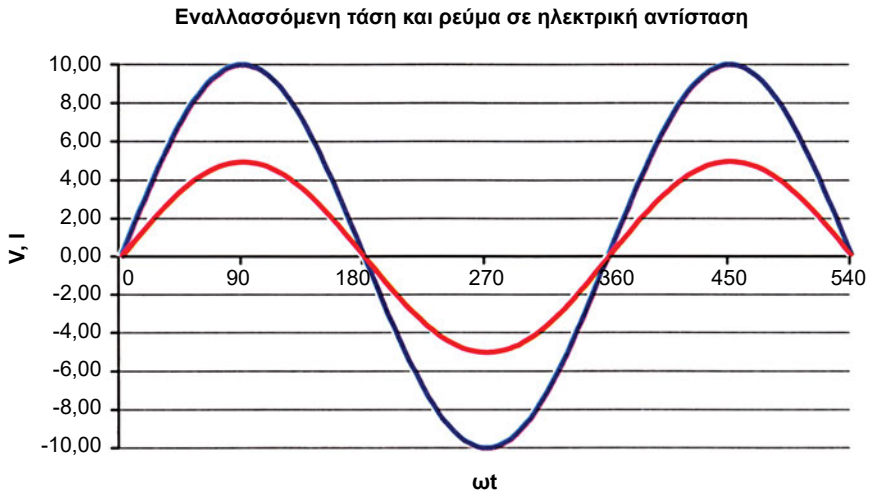
- Ωμικός καταναλωτής – που είναι η ηλεκτρική αντίσταση.
- Χωρητικός καταναλωτής – που είναι ο πυκνωτής.
- Επαγωγικός καταναλωτής – που είναι το πηνίο.

2.4.1 Ωμική αντίσταση στο ΕΡ

Θεωρούμε μια πηγή εναλλασσόμενου ρεύματος συνδεδεμένη με μια αντίσταση, όπως φαίνεται στο Σχήμα 2.4.1. Η μορφή της έντασης του ρεύματος που διαρρέει το κύκλωμα δίνεται στο Σχήμα 2.4.2.



Σχήμα 2.4.1 Αντίσταση R με πηγή εναλλασσόμενης τάσης u



Σχήμα 2.4.2 Διάγραμμα τάσης – έντασης σε ηλεκτρική αντίσταση

Στα άκρα της πηγής, η τάση είναι $u = U_m \eta\mu\omega t$, όπου u είναι η στιγμιαία τάση στους ακροδέκτες της πηγής, U_m είναι το πλάτος της τάσης σε Βολτ, ω είναι η κυκλική συχνότητα σε rad/sec και t είναι ο χρόνος σε δευτερόλεπτα. Η ένταση του ρεύματος είναι $i = I_m \cdot \eta\mu\omega t$.

Για κάθε στιγμιαία τιμή της τάσης και της έντασης ισχύει και στο εναλλασσόμενο ρεύμα ο νόμος του $\Omega\mu$:

$$i = \frac{u}{R} = \frac{U_m \cdot \eta\mu\omega t}{R} = I_m \cdot \eta\mu\omega t \Rightarrow I_m = \frac{U_m \cdot \eta\mu\omega t}{R \cdot \eta\mu\omega t} = \frac{U_m}{R}$$

Αντικαθιστώντας τις ενεργές τιμές $I = \frac{I_m}{\sqrt{2}}$ και $U = \frac{U_m}{\sqrt{2}}$ προκύπτει:

$$I = \frac{I_m}{\sqrt{2}} = \frac{U_m}{\sqrt{2} \cdot R} = \frac{U}{R}$$

π.χ. ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 1

Καταναλωτής τροφοδοτείται με τάση στιγμιαίας τιμής $u = 10 \cdot \eta\mu\omega t$ και στιγμιαίας έντασης $i = 2 \cdot \eta\mu\omega t$. Να βρεθεί η ηλεκτρική αντίσταση.

Λύση:

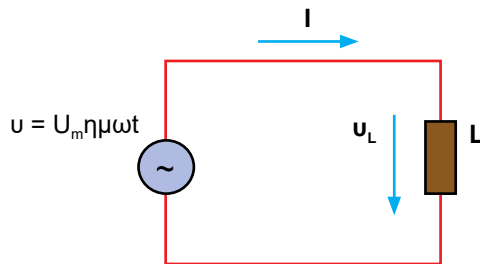
$$U_m = 10 \text{ V και } I_m = 2 \text{ A}$$

Η τιμή της αντίστασης βρίσκεται με εφαρμογή του νόμου του Ωμ.

$$R = \frac{U}{I} = \frac{\frac{U_m}{\sqrt{2}}}{\frac{I_m}{\sqrt{2}}} = \frac{10/\sqrt{2}}{2/\sqrt{2}} = 5 \Omega$$

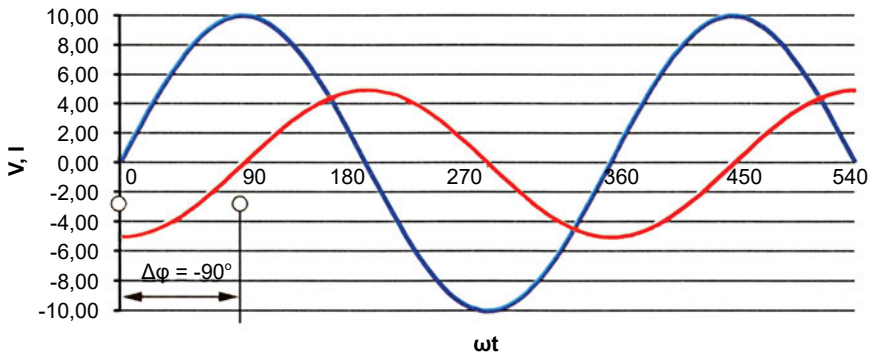
2.4.2 Επαγωγική αντίσταση στο ΕΡ

Θεωρούμε το κύκλωμα που φαίνεται στο Σχήμα 2.4.3, όπου μια πηγή εναλλασσόμενου ρεύματος συνδέεται με ένα ιδανικό πηνίο. Ιδανικό πηνίο είναι αυτό που δεν παρουσιάζει ωμική αντίσταση.



Σχήμα 2.4.3 Ιδανικό πηνίο με πηγή εναλλασσόμενης τάσης

Αν εφαρμοστεί ημιτονοειδής εναλλασσόμενη τάση $u = U_m \eta\mu\omega t$, τότε το ρεύμα που διαρρέει το πηνίο έπεται κατά 90° της τάσης, ή η τάση στο πηνίο προηγείται του ρεύματος κατά 90° (Σχήμα 2.4.4).



Σχήμα 2.4.4 Σε κύκλωμα EP με πηνίο, η τάση $u = 10\eta\mu\omega t$ (μπλε γραμμή) προπορεύεται του ρεύματος $i = 5\eta\mu(\omega t - 90^\circ)$ (κόκκινη γραμμή)

Η αντίσταση που παρεμβάλλει το πηνίο στο εναλλασσόμενο ρεύμα ονομάζεται **επαγωγική αντίσταση**.

Η αυτεπαγωγή ενός αγωγού εξαρτάται από το σχήμα του αγωγού και από τις μαγνητικές ιδιότητες του μέσου που περιβάλλει τον αγωγό. Αν πρόκειται για αγωγό σε σχήμα πηνίου, η αυτεπαγωγή του L εξαρτάται κυρίως από τον αριθμό και τη διάμετρο των σπειρών και από την παρουσία ή όχι σιδερένιου πυρήνα. Η μονάδα μέτρησης της αυτεπαγωγής είναι το Henry - H και είναι η αυτεπαγωγή ενός αγωγού στον οποίο αναπτύσσεται ΗΕΔ ίση με 1 V, όταν η ένταση του ρεύματος μεταβάλλεται κατά 1 A ανά δευτερόλεπτο.

Η επαγωγική αντίσταση του πηνίου X_L δίδεται ως ο λόγος της τάσης U_L στα άκρα της και του ρεύματος που τη διαρρέει I. Αποδεικνύεται ότι η επαγωγική αντίσταση είναι ανάλογη της κυκλικής συχνότητας ω του ρεύματος και ανάλογη του συντελεστή αυτεπαγωγής L του πηνίου. Η μονάδα μέτρησης της επαγωγικής αντίστασης είναι το Ω .

$$X_L = U_L / I = \omega \cdot L$$

$$\omega = 2 \cdot \pi \cdot f$$

$$X_L = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot L$$

Π.Χ. ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 2

Πηνίο με συντελεστή αυτεπαγωγής $L = 0,02$ H συνδέεται σε πηγή εναλλασσόμενου ρεύματος συχνότητας $f = 50$ Hz. Να βρεθεί η επαγωγική αντίσταση.

Λύση:

$$X_L = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot L = 2 \cdot 3,14 \cdot 50 \text{ Hz} \cdot 0,02 \text{ H} = 6,28 \ \Omega$$

2.4.3 Χωρητική αντίσταση στο EP

Από τον ορισμό του πυκνωτή είναι γνωστό ότι:

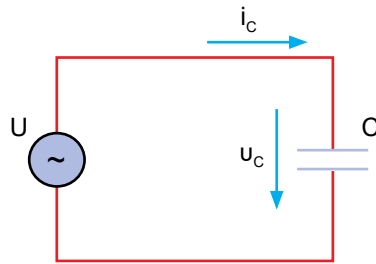
$$C = \frac{Q}{U} = \frac{Q}{U_1 - U_2} = \frac{\epsilon \cdot S}{\ell}$$

όπου Q είναι το ηλεκτρικό φορτίο του πυκνωτή, $U = U_1 - U_2$ είναι η διαφορά δυναμικού μεταξύ των δύο οπλισμών του, ϵ είναι η διηλεκτρική σταθερά του υλικού που παρεμβάλλεται μεταξύ οπλισμών, S είναι η κοινή επιφάνεια των δύο οπλισμών και ℓ είναι η απόσταση μεταξύ τους. Η μονάδα μέτρησης του πυκνωτή είναι το Φαράντ (Farad), με σύμβολο το F.

Η χωρητικότητα του πυκνωτή εξαρτάται από την επιφάνεια των οπλισμών του, από την απόσταση μεταξύ τους και από το είδος του διηλεκτρικού υλικού που παρεμβάλλεται μεταξύ των οπλισμών. Για πυκνωτή αέρος η σταθερά ϵ είναι:

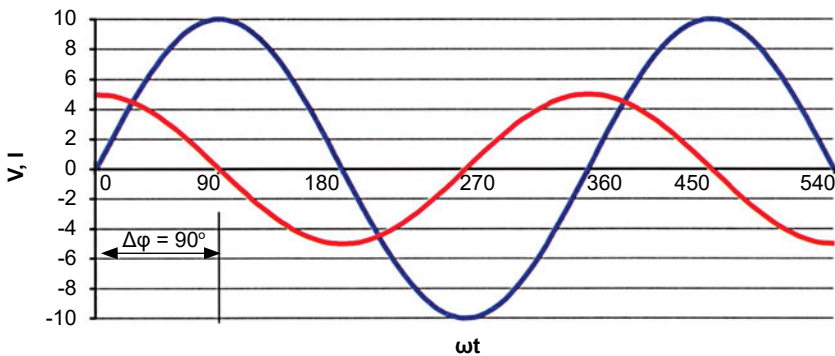
$$\epsilon_0 = 8,855 \cdot 10^{-12} \frac{\text{A} \cdot \text{s}}{\text{V} \cdot \text{m}}$$

Θεωρούμε μια πηγή εναλλασσόμενου ρεύματος συνδεδεμένη με έναν ιδανικό πυκνωτή, όπως φαίνεται στο Σχήμα 2.4.5. Ιδανικός πυκνωτής είναι αυτός που δεν παρουσιάζει ωμική ηλεκτρική αντίσταση.



Σχήμα 2.4.5 Πυκνωτής που συνδέεται σε πηγή εναλλασσόμενης τάσης

Η αντίσταση που παρεμβάλλει ο πυκνωτής στο εναλλασσόμενο ρεύμα ονομάζεται **χωρητική αντίσταση**.



Σχήμα 2.4.6 Σε κύκλωμα EP με πυκνωτή, η τάση $u = 10\eta\mu\omega t$ (μπλε γραμμή) επιπορεύεται του ρεύματος $i = 5\eta\mu(\omega t + 90^\circ)$ (κόκκινη γραμμή)

Αν η τάση στους ακροδέκτες της πηγής είναι $u = U_m \eta\mu\omega t$, τότε, το ρεύμα που διαρρέει τον πυκνωτή προηγείται της τάσης κατά 90° (Σχήμα 2.4.6):

Βάσει του νόμου του Ωμ, η χωρητική αντίσταση υπολογίζεται ως το πηλίκο της τάσης U_c στα άκρα του πυκνωτή προς την ένταση του ρεύματος I_c που τον διαρρέει και είναι αντίστροφα ανάλογη της κυκλικής συχνότητας ω και της χωρητικότητας του πυκνωτή C :

$$X_c = \frac{U_c}{I_c} = \frac{1}{\omega \cdot C}$$

Π.Χ. ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 3

Η μέγιστη τιμή του ρεύματος που διαρρέει έναν πυκνωτή $C = 50 \mu\text{F}$ είναι $I_m = 10 \text{ A}$ και η συχνότητα είναι $f = 50 \text{ Hz}$. Να υπολογισθεί η ενεργός τάση στα άκρα του πυκνωτή.

Λύση:

Η κυκλική συχνότητα υπολογίζεται ως:

$$\omega = 2 \cdot \pi \cdot f = 314 \text{ rad/s}$$

Η χωρητική αντίσταση X_C του πυκνωτή είναι:

$$X_C = 1/\omega C = 1/(314 \cdot 50 \cdot 10^{-6}) = 63,7 \Omega$$

Από το νόμο του Ωμ υπολογίζουμε:

$$U_m = I_m X_C, \text{ όπου } I_m = 10 \text{ A}$$

$$U_m = 10 \cdot 63,7 \Omega = 637 \text{ V}$$

Η ενεργός τάση που εφαρμόζεται στα άκρα του πυκνωτή είναι:

$$U = \frac{U_m}{\sqrt{2}} = \frac{637}{\sqrt{2}} = 450,4 \text{ V}$$

Π.Χ. ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 4

Στα άκρα ιδανικού πυκνωτή εφαρμόζεται ενεργός τάση $U = 310 \text{ V}$ με $\omega = 314 \text{ rad/sec}$ και διαρρέεται από ρεύμα ενεργού έντασης $I = 20 \text{ A}$. Να υπολογισθεί η χωρητικότητα του πυκνωτή.

Λύση:

Από το νόμο του Ohm, η χωρητική αντίσταση είναι:

$$X_C = \frac{U}{I} = \frac{310}{\sqrt{2} \cdot 20} = 11 \Omega$$

και η χωρητικότητα του πυκνωτή είναι:

$$C = 1/\omega X_C = 1/(314 \cdot 11) = 290 \mu\text{F}$$

2.4.4 Νόμος του Ωμ στο ΕΡ

Στο συνεχές ρεύμα, ο νόμος του Ωμ είναι:

$$I = \frac{U}{R} \quad \text{ή} \quad U = R \cdot I$$

Στο εναλλασσόμενο ρεύμα, η παραπάνω σχέση ισχύει για τις ενεργές τιμές της τάσης και της έντασης και, επιπλέον, η ηλεκτρική αντίσταση R αντικαθίσταται από τη σύνθετη αντίσταση Z:

$$I = \frac{U}{Z}$$

Το μέγεθος Z ονομάζεται σύνθετη αντίσταση του κυκλώματος και εξαρτάται από το είδος των στοιχείων και τη μορφή του κυκλώματος. Στις απλές περιπτώσεις όπου τα στοιχεία R, L, C είναι ιδανικά, η σύνθετη αντίσταση δίνεται από τον ακόλουθο πίνακα:

| Μορφή κυκλώματος | Σύνθετη αντίσταση Z |
|------------------------|--------------------------------|
| Με ηλεκτρική αντίσταση | $Z = R$ |
| Με ιδανικό πηνίο | $Z = \omega \cdot L$ |
| Με ιδανικό πυκνωτή | $Z = \frac{1}{\omega \cdot C}$ |

Π.Χ. ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 5

Στο σύνθετο κύκλωμα συνυπάρχουν τα στοιχεία R, L, C συνδεδεμένα σε σειρά. Υπολογίστε τη σύνθετη αντίσταση από το συνδυασμό της ωμικής, επαγωγικής και χωρητικής αντίστασης κάθε στοιχείου:

Λύση:

$$Z = \sqrt{R^2 + \left(\omega \cdot L - \frac{1}{\omega \cdot C}\right)^2}$$

2.5 Ηλεκτρική ενέργεια, ισχύς και συντελεστής ισχύος

2.5.1 Ηλεκτρική ενέργεια

Η ηλεκτρική ενέργεια είναι μία από τις διάφορες μορφές ενέργειας που υπάρχουν στη φύση, όπως η μηχανική, η υδραυλική, η θερμική, η χημική, η πυρηνική κ.ά. Το ποσό της ηλεκτρικής ενέργειας που παρέχει μια πηγή στις διάφορες καταναλώσεις με τις οποίες είναι συνδεδεμένη, μετατρέπεται σε άλλες μορφές ενέργειας, όπως σε θερμότητα, σε μηχανικό έργο κίνησης κτλ. Με τον τρόπο αυτό λειτουργούν οι διάφορες συσκευές οικιακής ή βιομηχανικής χρήσης.

Μια ηλεκτρική συσκευή, όσο περισσότερο χρόνο λειτουργεί, τόσο μεγαλύτερα ποσά ηλεκτρικής ενέργειας απορροφάει από την πηγή:

$$W = U \cdot I \cdot t$$

όπου: **W** είναι η ηλεκτρική ενέργεια (σε J - Joule ή Τζάουλ), **U** είναι η τάση της πηγής σε V, **I** είναι το ρεύμα που δημιουργεί σε A και **t** είναι ο χρόνος σε δευτερόλεπτα που παραμένει η κατανάλωση σε λειτουργία.

2.5.2 Ηλεκτρική ισχύς

Η **ηλεκτρική ισχύς P** είναι η ηλεκτρική ενέργεια που αποδίδεται ή καταναλώνεται διά το χρονικό διάστημα και υπολογίζεται ως το γινόμενο της ηλεκτρικής τάσης U και της έντασης του ηλεκτρικού ρεύματος I:

$$P = W/t = U \cdot I$$

Η μονάδα μέτρησης της ηλεκτρικής ισχύος είναι το Βατ, με σύμβολο το W (Watt):

$$1 \text{ W} = 1 \text{ V} \cdot 1 \text{ A}$$

Επομένως, η ισχύς μιας συσκευής συνεχούς ρεύματος υπολογίζεται εάν πολλαπλασιάσουμε την τάση λειτουργίας της επί το ρεύμα που τη διαρρέει. Μία συσκευή ισχύος ενός Βατ, εφόσον λειτουργεί με τάση ενός Βολτ και διαρρέεται από ρεύμα ενός Αμπέρ, καταναλώνει σε ένα δευτερόλεπτο ενέργεια ενός Τζάουλ.

$$1 \text{ J} = 1 \text{ W} \cdot 1 \text{ s} = 1 \text{ V} \cdot 1 \text{ A} \cdot 1 \text{ s}$$

Έστω ότι σε ένα νοικοκυριό υπάρχει μεγάλη εγκατεστημένη ισχύς (θερμοσίφωνα, ηλεκτρική κουζίνα, πλυντήριο ρούχων, πλυντήριο πιάτων, κλιματιστικό, φωτισμός κτλ.). Η κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας δεν εξαρτάται μόνο από την εγκατεστημένη ισχύ, αλλά και από το χρόνο λειτουργίας των συσκευών αυτών.

Για τη μέτρηση της ηλεκτρικής ενέργειας χρησιμοποιείται η Κιλοβατώρα. Μία Κιλοβατώρα (**1 kWh**) εκφράζει την ενέργεια που καταναλώνει μια συσκευή ισχύος 1 kW σε χρόνο μίας ώρας:

$$1 \text{ kWh} = 1000 \text{ W} \cdot 3600 \text{ sec} = 3.600.000 \text{ J} = 3,6 \text{ MJ}$$

Στην περίπτωση που η κατανάλωση περιλαμβάνει ωμική αντίσταση, αντικαθιστούμε στον τύπο της ισχύος την τάση ή το ρεύμα σύμφωνα με το νόμο του Ωμ. Έτσι, προκύπτουν για την ισχύ ωμικής αντίστασης οι ακόλουθες σχέσεις:

$$P = U \cdot I = R I^2 = \frac{U^2}{R}$$

Η ισχύς αυτή μετατρέπεται αποκλειστικά σε θερμότητα (φαινόμενο Joule). Εφόσον στην αντίσταση εφαρμόζεται τάση U επί χρόνο t , καταναλώνει ενέργεια:

$$W = P \cdot t = U \cdot I \cdot t = R \cdot I^2 \cdot t = \frac{U^2}{R} t$$

π.χ. ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 1

Μία λάμπα πυράκτωσης γράφει στη σφραγίδα της: ισχύς 75 W και τάση 220 V. Υπολογίστε το ρεύμα που τη διαρρέει, όταν είναι αναμμένη.

Λύση:

$$I = P/U$$

$$I = 75 \text{ W} / 220 \text{ V} = 0,340 \text{ A}$$

Π.Χ. ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 2

Η πινακίδα μίας κλιματιστικής συσκευής αναφέρει: ισχύς 1000 W και τάση 220 V. Η συσκευή λειτουργεί επί επτά ώρες την ημέρα, επί τρεις μήνες και η τιμή της ηλεκτρικής ενέργειας είναι 0,1€ / kWh. Υπολογίστε: α) το ρεύμα που απορροφάει, β) την ηλεκτρική ενέργεια που καταναλώνει και γ) το κόστος της ηλεκτρικής ενέργειας.

Λύση:

α) Το ρεύμα που απορροφάει η κλιματιστική συσκευή είναι:

$$I = P/U = 1000 \text{ W} / 220 \text{ V} = 4,54 \text{ A}$$

β) Η ισχύς της συσκευής αναγράφεται στην πινακίδα της και είναι:

$$P = 1000 \text{ W} = 1 \text{ kW}$$

Η ενέργεια που καταναλώνει είναι:

$$W = P \cdot t = 1 \text{ kW} \cdot 3 \text{ μήνες} \cdot 30 \text{ ημέρες/μήνα} \cdot 7 \text{ ώρες/ημέρα} = 630 \text{ kWh}$$

γ) Το κόστος της ηλεκτρικής ενέργειας που καταναλώνεται είναι:

$$630 \text{ kWh} \cdot 0,1 \text{ €/kWh} = 63 \text{ €}.$$

Π.Χ. ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 3

Μια εστία ηλεκτρικής κουζίνας λειτουργεί υπό τάση $U = 220 \text{ V}$ και διαρρέεται από ρεύμα έντασης $I = 10 \text{ A}$ επί 1,5 ώρα. Υπολογίστε την ποσότητα ηλεκτρικής ενέργειας που καταναλώθηκε.

Λύση:

$$t = 1,5 \text{ ώρες}$$

$$W = 220 \text{ V} \cdot 10 \text{ A} \cdot 1,5 \text{ h} = 3,3 \text{ kWh}$$

Π.Χ. ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 4

Μία ωμική αντίσταση (σύρματος) έχει χαρακτηριστικά $R = 20 \text{ } \Omega$ και $P = 500 \text{ W}$. Να υπολογίσετε α) το ρεύμα και β) την τάση κανονικής λειτουργίας της.

Λύση:

α) Από την έκφραση της ισχύος:

$$P = I^2 \cdot R \Rightarrow I^2 = P / R = 500 \text{ W} / 20 \Omega = 25 \text{ A}^2$$

$$I = \sqrt{25} = 5 \text{ A}$$

β) Η τάση κανονικής λειτουργίας είναι:

$$U = I \cdot R = 5 \text{ A} \cdot 20 \Omega = 100 \text{ V}$$

Π.Χ. ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 5

Να υπολογίσετε την τάση που εφαρμόζεται σε αντίσταση 500Ω όταν η ισχύς κατά τη λειτουργία της είναι $0,5 \text{ W}$.

Λύση:

$$P = \frac{U^2}{R} \Rightarrow U^2 = P \cdot R \Rightarrow U = \sqrt{P \cdot R} \Rightarrow$$

$$U = \sqrt{0,5 \cdot 5000} = \sqrt{2500} = 50 \text{ V}$$

Π.Χ. ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 6

Ο φωτισμός μιας αίθουσας θεατρικών παραστάσεων αποτελείται από 80 όμοιους λαμπτήρες πυράκτωσης ονομαστικής ισχύος $P_1 = 100 \text{ W}$, συνδεδεμένους παράλληλα σε τάση $U = 220 \text{ V}$. Υπολογίστε: α) την ονομαστική αντίσταση των λαμπτήρων R_1 , β) την ισοδύναμη αντίσταση της εγκατάστασης R , γ) το ονομαστικό ρεύμα των λαμπτήρων I_1 , δ) το ρεύμα που απορροφάει από την πηγή ολόκληρη η εγκατάσταση φωτισμού I και ε) τη συνολική απορροφούμενη ισχύ από το δίκτυο P .

Λύση:

Εφόσον οι αντιστάσεις είναι ίσες μεταξύ τους και το πλήθος τους είναι $n = 80$, τότε ισχύει ότι:

$$\alpha) R_1 = U^2 / P_1 = 220^2 \text{ V}^2 / 100 \text{ W} = 484 \Omega$$

$$\beta) R = R_1 / n = 484 \Omega / 80 = 6,05 \Omega$$

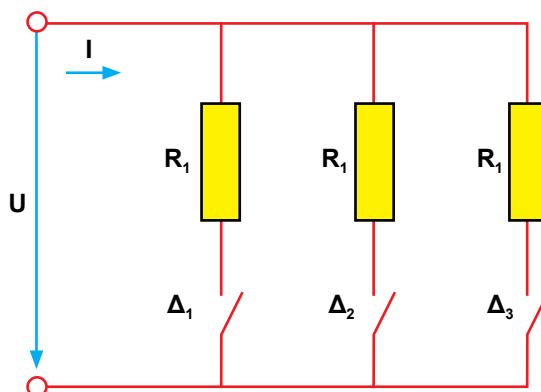
$$\gamma) I_1 = P_1 / U = 100 \text{ W} / 220 \text{ V} = 0,45 \text{ A}$$

$$\delta) I = n \cdot I_1 = 80 \cdot 0,45 \text{ A} = 36,36 \text{ A}$$

$$\epsilon) P = U \cdot I = n \cdot P_1 = 80 \cdot 100 \text{ W} = 8000 \text{ W}$$

Π.Χ. ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 7

Ένα θερμαντικό σώμα ισχύος 1,5 kW και τάσης 220 V έχει τρεις όμοιες θερμαντικές αντιστάσεις, οι οποίες επιλέγονται με διακόπτες (Σχήμα 2.5.2). Υπολογίστε για τις κλίμακες 1, 2 και 3: α) την ισοδύναμη αντίσταση, β) το συνολικό ρεύμα που απορροφάει και γ) τη θερμική ισχύ που παράγει.



Σχήμα 2.5.2 Ηλεκτρικό διάγραμμα θερμαντικού σώματος με τρεις αντιστάσεις, οι οποίες επιλέγονται με διακόπτες

Λύση:

A) Κλίμακα 1: Ο διακόπτης Δ₁ είναι κλειστός, οι διακόπτες Δ₂ και Δ₃ είναι ανοικτοί.

Έχει συνδεθεί μια μόνο αντίσταση, επομένως το θερμαντικό σώμα αποδίδει το 1/3 της ονομαστικής του ισχύος, δηλαδή η ισχύς είναι:

$$P = R \cdot I^2 = 500 \text{ W}$$

Η ισοδύναμη αντίσταση είναι:

$$R = R_1 = \frac{U^2}{P} = \frac{220^2 \text{ V}}{500 \text{ W}} = 96,8 \ \Omega$$

Το ρεύμα που απορροφάει είναι:

$$I = \frac{U}{R} = \frac{220\text{V}}{96,8\Omega} = 2,27\text{A}$$

B) Κλίμακα 2: Οι διακόπτες Δ_1 και Δ_2 είναι κλειστοί, ο Δ_3 είναι ανοικτός.

Οι δύο αντιστάσεις είναι συνδεδεμένες παράλληλα και το θερμαντικό σώμα αποδίδει τα 2/3 της ονομαστικής του ισχύος. Επομένως:

$$R' = \frac{96,8\Omega}{2} = 48,4\Omega$$

$$I' = \frac{220\text{V}}{48,4\Omega} = 4,55\text{A}$$

$$P' = R \cdot I^2 = 48,4 \cdot 4,55^2 = 1000\text{W}$$

Γ) Κλίμακα 3: Οι διακόπτες Δ_1 , Δ_2 και Δ_3 είναι κλειστοί.

Οι τρεις αντιστάσεις είναι συνδεδεμένες παράλληλα και το θερμαντικό σώμα αποδίδει $P'' = 1500\text{W}$. Το συνολικό ρεύμα (το ονομαστικό) είναι:

$$I'' = \frac{P''}{U} = \frac{1500\text{W}}{220\text{V}} = 6,82\text{A}$$

Η ισοδύναμη αντίσταση είναι:

$$R'' = \frac{P''}{I^2} = \frac{1500\text{W}}{6,82^2\text{A}^2} = 32,27\Omega$$

Επαληθεύεται ότι:

$$R = \frac{R_1}{3} \Rightarrow R_1 = 3 \cdot 32,27\Omega = 96,8\Omega$$

Συγκεντρωτικά, τα αποτελέσματα των υπολογισμών παρουσιάζονται στον ακόλουθο πίνακα:

| Τάση 220 V | Κλίμακα 1 Δ_1 κλειστός | Κλίμακα 2 Δ_1 και Δ_2 κλειστοί | Κλίμακα 3 Δ_1 , Δ_2 και Δ_3 κλειστοί |
|----------------|----------------------------------|--|---|
| R [Ω] | 96,8 | 48,4 | 32,25 |
| I [A] | 2,27 | 4,55 | 6,82 |
| P [W] | 500 | 1000 | 1500 |

2.5.3 Βαθμός απόδοσης

Οποιαδήποτε ηλεκτρική μηχανή ή συσκευή μετατρέπει την απορροφούμενη ηλεκτρική ενέργεια σε ενέργεια κατάλληλης μορφής, ανάλογα με την εργασία που εκτελεί. Στην περίπτωση των καθαρά ωμικών αντιστάσεων, όλη η ηλεκτρική ενέργεια μετατρέπεται σε θερμότητα.

Ωφέλιμη ενέργεια είναι το μέρος της ενέργειας που αποδίδεται από τη συσκευή για την εκτέλεση του έργου για το οποίο κατασκευάστηκε. Η ωφέλιμη ενέργεια είναι αυτή που χρησιμοποιείται.

Απώλειες ενέργειας είναι το υπόλοιπο μέρος της απορροφούμενης ενέργειας το οποίο καταναλώνεται από τη συσκευή, χωρίς όμως να συμβάλλει στην εκτέλεση του έργου της. Οι απώλειες ενέργειας είναι ενέργεια που δεν χρησιμοποιείται και χάνεται.

Απορροφούμενη Ενέργεια = Ωφέλιμη Ενέργεια + Ενέργεια Απωλειών

$$W_{\text{απορ}} = W_{\omega\phi} + W_{\text{απωλ}}$$

Ο βαθμός απόδοσης μιας συσκευής υπολογίζεται ως ο λόγος:

$$\eta = \frac{W_{\omega\phi}}{W_{\text{απορ}}} = \frac{W_{\omega\phi}}{W_{\omega\phi} + W_{\text{απωλ}}} = \frac{W_{\text{απορ}} - W_{\text{απωλ}}}{W_{\text{απορ}}}$$

Ο βαθμός απόδοσης είναι αριθμός μικρότερος από τη μονάδα $\eta < 1$. Μετριέται συνήθως ως ποσοστό επί τοις 100 (%), π.χ. $\eta = 0,9 = 90\%$.

Ομοίως, ο βαθμός απόδοσης εκφράζεται και με λόγο ισχύος:

Απορροφούμενη Ισχύς = Ωφέλιμη Ισχύς + Ισχύς Απωλειών

$$P_{\text{απορ}} = P_{\omega\phi} + P_{\text{απωλ}}$$

$$\eta = \frac{P_{\omega\phi}}{P_{\text{απορ}}} = \frac{P_{\omega\phi}}{P_{\omega\phi} + P_{\text{απωλ}}} = \frac{P_{\text{απορ}} - P_{\text{απωλ}}}{P_{\text{απορ}}}$$

Π.Χ. ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 8

Η εστία μιας ηλεκτρικής κουζίνας απορροφά από το δίκτυο 3 kW και αποδίδει στο χώρο 2,5 kW υπό μορφή θερμικής ισχύος. Υπολογίστε α) τις απώλειες του θερμαντικού μηχανήματος και β) το βαθμό απόδοσής του.

Λύση:

α) Οι απώλειες είναι η διαφορά μεταξύ της απορροφούμενης ισχύος και της ωφέλιμης ισχύος:

$$P_{\text{απωλ}} = P_{\text{απορ}} - P_{\omega\phi} = 3 \text{ kW} - 2,5 \text{ kW} = 0,5 \text{ kW} = 500 \text{ W}$$

$$\beta) \eta = \frac{P_{\omega\phi}}{P_{\text{απορ}}} = \frac{2,5 \text{ kW}}{3 \text{ kW}} = 0,833 = 83,3\%$$

2.5.4 Ισχύς στο εναλλασσόμενο ρεύμα και συντελεστής ισχύος

Δίνεται ένα κύκλωμα, στο οποίο εφαρμόζεται εναλλασσόμενη τάση με στιγμιαία τιμή $u = U_m \cdot \eta\mu\omega t$ και διαρρέεται από ρεύμα με στιγμιαία τιμή $i = I_m \cdot \eta\mu(\omega t + \varphi)$, όπου $U_m = U \cdot \sqrt{2}$ και $I_m = I \cdot \sqrt{2}$.

Η στιγμιαία ισχύς p είναι το γινόμενο των στιγμιαίων τιμών της τάσης και του ρεύματος:

$$p = u \cdot i$$

Μετά από χρόνο t , η φάση της εναλλασσόμενης τάσης είναι $\varphi_t = \omega t$, ενώ η φάση του εναλλασσόμενου ρεύματος είναι $\varphi_i = \omega t + \varphi$.

Η αρχική φάση φ καθορίζει την αρχική τιμή με την οποία το εναλλασσόμενο ρεύμα ξεκινάει κατά την αρχική χρονική στιγμή.

Η διαφορά φάσης $\Delta\varphi$ δύο εναλλασσόμενων μεγεθών, τάσης και ρεύματος, υπολογίζεται από τη σχέση:

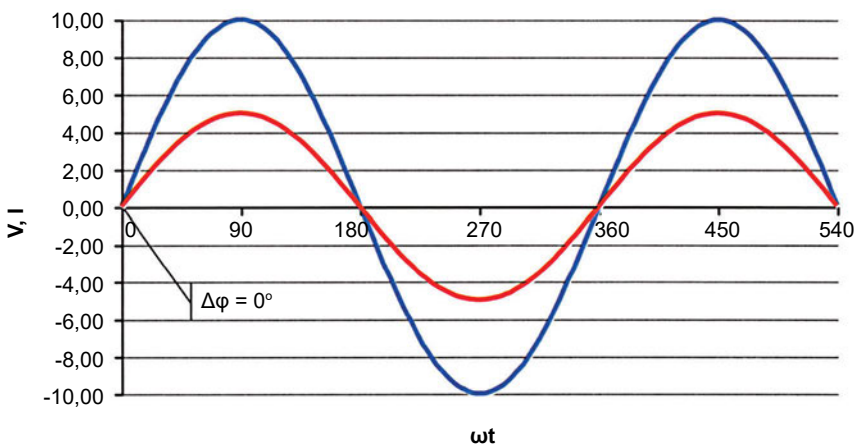
$$\Delta\varphi = \varphi_u - \varphi_i = \omega t - (\omega t + \varphi) = -\varphi$$

- Αν η διαφορά φάσης $\Delta\varphi$ είναι αρνητική, τότε η τάση προηγείται χρονικά του ρεύματος, δηλαδή **η τάση είναι σε προπορεία ως προς το ρεύμα.**

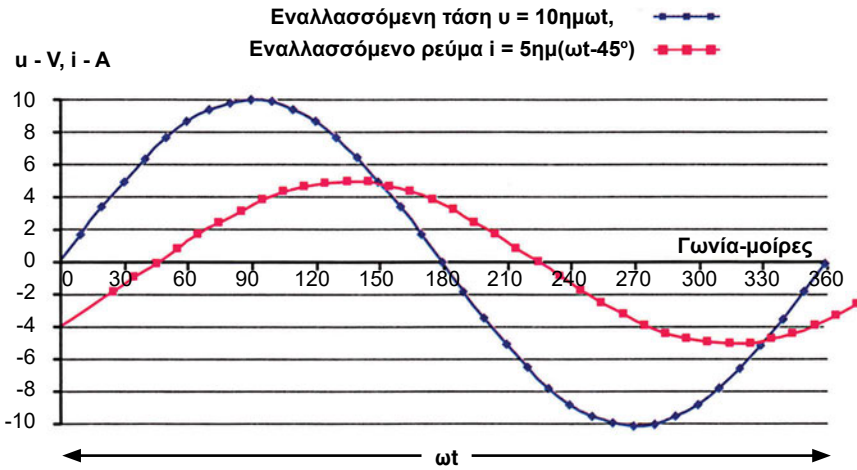
- Αν η διαφορά φάσης $\Delta\phi$ είναι θετική, τότε η τάση καθυστερεί χρονικά του ρεύματος, δηλαδή **η τάση είναι σε επιπορεία ως προς το ρεύμα**.

Η σύνθεση του κυκλώματος επηρεάζει την αρχική φάση του ρεύματος. Έτσι:

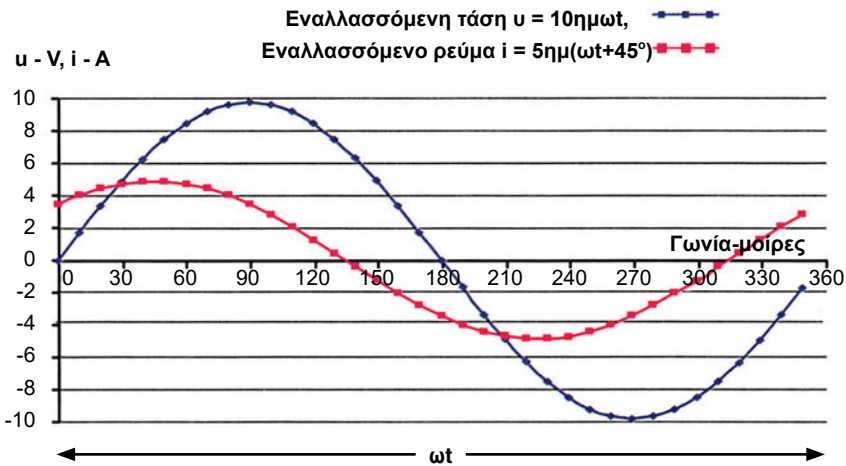
- ♦ Σε ένα κύκλωμα με ωμική αντίσταση (με ωμικό φορτίο), η τάση και το ρεύμα έχουν την ίδια φάση, δηλαδή βρίσκονται σε **ταυτότητα φάσης ή σε φάση ή είναι συμφασικά**. Στην περίπτωση αυτή, τα εναλλασσόμενα μεγέθη στις ίδιες χρονικές στιγμές θα μηδενίζονται, θα παίρνουν τις μέγιστες τιμές και θα παίρνουν τις ελάχιστες τιμές τους (Σχήμα 2.5.3).
- ♦ Σε ένα κύκλωμα με πηνίο (επαγωγικό φορτίο), η διαφορά φάσης μεταξύ τάσης και ρεύματος είναι $\Delta\phi = -90^\circ$, δηλαδή η **τάση προπορεύεται του ρεύματος** κατά 90° (Σχήμα 2.4.4). Αν το κύκλωμα αποτελείται από ωμική αντίσταση και πηνίο, τότε η διαφορά φάσης είναι διαφορετική του -90° (Σχήμα 2.5.4).
- ♦ Σε ένα κύκλωμα με πυκνωτή (χωρητικό φορτίο), η διαφορά φάσης μεταξύ τάσης και ρεύματος είναι $\Delta\phi = +90^\circ$, δηλαδή η τάση επιπορεύεται του ρεύματος κατά 90° (Σχήμα 2.4.6). Αν το κύκλωμα αποτελείται από ωμική αντίσταση και πυκνωτή, τότε η διαφορά φάσης είναι διαφορετική του 90° (Σχήμα 2.5.5).



Σχήμα 2.5.3 Σε κύκλωμα με ωμική αντίσταση, η τάση $u = 10\eta\mu\omega t$ (μπλε γραμμή) και το ρεύμα $i = 5\eta\mu\omega t$ (κόκκινη γραμμή) είναι συμφασικά (βρίσκονται σε ταυτότητα φάσης)



Σχήμα 2.5.4 Σε κύκλωμα EP με πηνίο, η τάση $u = 10\eta\mu\omega t$ (μπλε γραμμή) προπορεύεται του ρεύματος $i = 5\eta\mu(\omega t - 45^\circ)$ (κόκκινη γραμμή)



Σχήμα 2.5.5 Σε κύκλωμα EP με πυκνωτή, η τάση $u = 10\eta\mu\omega t$ (μπλε γραμμή) επιπορεύεται του ρεύματος $i = 5\eta\mu(\omega t + 90^\circ)$ (κόκκινη γραμμή)

Η ενεργός ισχύς ή η πραγματική ισχύς είναι το μέρος της εναλλασσόμενης ισχύος που μπορεί να παράγει μηχανικό έργο ή θερμότητα και δίνεται από τη σχέση:

$$P = U \cdot I \cdot \text{συν}\phi$$

όπου η γωνία φ είναι η διαφορά φάσης μεταξύ U και I . Η σχέση αυτή της ισχύος είναι γενική και μπορεί να εφαρμοσθεί σε οποιοδήποτε κύκλωμα ή τμήμα κυκλώματος.

Η μέση ισχύς για το εναλλασσόμενο διαφέρει από την αντίστοιχη ισχύ συνεχούς κατά την ποσότητα $\text{συν}\varphi$, που ονομάζεται **συντελεστής ισχύος**.

Ο συντελεστής ισχύος κυμαίνεται μεταξύ 0 και 1, $0 \leq \text{συν}\varphi \leq 1$. Όσο μικρότερος είναι ο συντελεστής ισχύος, δηλαδή όσο μεγαλύτερη είναι η διαφορά φάσης μεταξύ τάσης και ρεύματος, τόσο μικρότερη είναι η μέση ισχύς για τις ίδιες τιμές ρεύματος και τάσης. Ακόμη, για δεδομένη τάση και ισχύ, το ρεύμα που διαρρέει το κύκλωμα αυξάνεται για μικρούς συντελεστές ισχύος (μεγάλες γωνίες φ) και μειώνεται για μεγάλους συντελεστές ισχύος (μικρές γωνίες φ).

Ο συντελεστής ισχύος καθορίζεται από τη συγκρότηση του κυκλώματος και έχει μεγάλη σημασία στις βιομηχανίες, στις οικιακές εγκαταστάσεις και στα δίκτυα διανομής ηλεκτρικής ενέργειας.

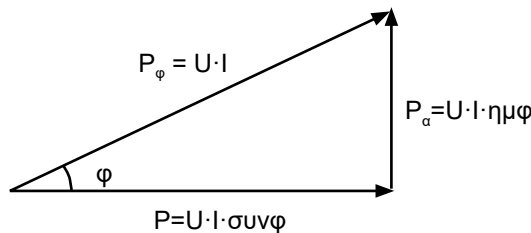
Η ποσότητα $P_\varphi = U \cdot I$ ονομάζεται **φαινόμενη ισχύς** και μετριέται σε Βολταμπέρ - VA. Η φαινόμενη ισχύς είναι συνήθως ένα ονομαστικό μέγεθος μιας συσκευής (π.χ. μετασχηματιστές). Από το είδος του καταναλωτή και τις συνθήκες του δικτύου θα εξαρτηθεί πόση πραγματική ισχύ θα απορροφήσει. Ο συντελεστής ισχύος προσδιορίζει το μέγεθος της πραγματικής ισχύος ως προς το μέγεθος της φαινόμενης ισχύος.

Η ποσότητα $P_\alpha = U \cdot I \cdot \eta\mu\varphi$ ονομάζεται **άεργη ισχύς** και μετριέται σε VA. Η άεργη ισχύς δεν παράγει μηχανικό έργο.

Η φαινόμενη, η ενεργός και η άεργη ισχύς συνδέονται με τη σχέση:

$$P_\varphi^2 = P^2 + P_\alpha^2$$

Στο διάγραμμα του Σχήματος 2.5.6 παρουσιάζεται το **τρίγωνο ισχύος**.



$$P_\varphi^2 = P^2 + P_\alpha^2 \quad \text{συν}\varphi = \frac{P}{P_\varphi} \quad \eta\mu\varphi = \frac{P_\alpha}{P_\varphi}$$

Σχήμα 2.5.6 Τρίγωνο Ισχύος: πραγματική ισχύς P (οριζόντιος άξονας), άεργη ισχύς P_α (κατακόρυφος άξονας) και φαινόμενη ισχύς P_φ (υποτείνουσα)

**ΠΡΟΣΟΧΗ**

- Αν η συσκευή είναι ηλεκτρική αντίσταση (R), η πραγματική ισχύς που απορροφάει είναι $P = U \cdot I$, διότι $\varphi = 0$.
- Αν η συσκευή ή το κύκλωμα είναι ένα ιδανικό πηνίο ή ιδανικός πυκνωτής, τότε η πραγματική ισχύς είναι $P = 0$, επειδή $\varphi = -90^\circ$ ή $\varphi = 90^\circ$, αντίστοιχα, και $\text{συν}\varphi = 0$. Η συσκευή δεν καταναλώνει ενέργεια.

π.χ. ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 9

Η πραγματική ισχύς ενός κλιματιστικού μηχανήματος είναι $P = 7,2 \text{ kW}$. Η φαινόμενη ισχύς του είναι $P_\varphi = 9,5 \text{ kVA}$. Να υπολογιστεί α) ο συντελεστής ισχύος $\text{συν}\varphi$ και β) η άεργη ισχύς P_α .

Λύση:

α) Από το τρίγωνο των ισχύων:

$$\text{συν}\varphi = \frac{P}{P_\varphi} = \frac{7,2}{9,5} = 0,76 \Rightarrow \varphi = 40,5^\circ$$

β) Η άεργη ισχύς υπολογίζεται από:

$$P_\alpha = P_\varphi \cdot \eta\mu\varphi = 9,5 \cdot \eta\mu 40,5 = 6,2 \text{ KVAr}$$

Επαλήθευση:

Από το τρίγωνο ισχύος του Σχήματος 2.5.6:

$$P_\alpha^2 = P_\varphi \cdot \eta\mu\varphi = 9,5 \cdot \eta\mu 40,5 = 6,2 \text{ KVAr}$$

$$\text{και } P_\alpha = \sqrt{38,41} = 6,2 \text{ kVAr}$$

π.χ. ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 10

Ένα εργοστάσιο ηλεκτρικών συσκευών απορροφάει από το δίκτυο τάσης 5 kV πραγματική ισχύ 64 kW με συντελεστή ισχύος $\text{συν}\varphi = 0,8$. Να υπολογιστεί το ρεύμα.

Λύση:

Από την εξίσωση της πραγματικής ισχύος $P = U \cdot \text{συν}\varphi$ βρίσκουμε:

$$I = \frac{P}{U \cdot \text{συν}\varphi} = \frac{64000\text{W}}{5000\text{V} \cdot 0,8} = 16\text{A}$$

2.6 Όργανα μέτρησης

Για τη διαπίστωση της σωστής λειτουργίας των διαφόρων ηλεκτρολογικών εγκαταστάσεων και εξαρτημάτων, χρησιμοποιούνται **ηλεκτρικές μετρήσεις**. Στο πλαίσιο των ηλεκτρικών μετρήσεων με τη χρήση κατάλληλων μεθόδων και οργάνων μετριοούνται διάφορα ηλεκτρικά μεγέθη.

2.6.1. Ταξινόμηση των οργάνων μέτρησης

Όργανο μέτρησης είναι μία συσκευή η οποία έχει τη δυνατότητα να μετρήσει ένα συγκεκριμένο φυσικό μέγεθος, όπως ηλεκτρική τάση, ηλεκτρικό ρεύμα, ηλεκτρική αντίσταση, ηλεκτρική ισχύ, συχνότητα κ.ά.

Τα όργανα μέτρησης κατατάσσονται με βάση:

1. το **φυσικό μέγεθος** το οποίο μετρούν και
2. τον **τρόπο** με τον οποίο παρέχουν το αποτέλεσμα της μέτρησης.

Με βάση το **φυσικό μέγεθος** το οποίο μετρούν, τα όργανα μέτρησης κατατάσσονται στις ακόλουθες κατηγορίες:

- **Βολτόμετρα**, τα οποία μετρούν την ηλεκτρική τάση μεταξύ δύο ακροδεκτών.
- **Αμπερόμετρα**, τα οποία μετρούν το ηλεκτρικό ρεύμα σε έναν αγωγό.
- **Βατόμετρα**, τα οποία μετρούν την ηλεκτρική ισχύ, μονοφασική ή τριφασική, που απορροφάει ένα ηλεκτρικό κύκλωμα.
- **Συνημιτόμετρα**, τα οποία μετρούν το συντελεστή ισχύος ενός ηλεκτρικού κυκλώματος.
- **Συχνόμετρα**, τα οποία μετρούν τη συχνότητα της εναλλασσόμενης τάσης.

- **Θερμόμετρα**, τα οποία μετρούν τη θερμοκρασία.
- **Πολύμετρα**, τα οποία μετρούν περισσότερα μεγέθη, όπως: τάση, ρεύμα, αντίσταση, θερμοκρασία.
- **Υγρόμετρα**, τα οποία μετρούν την υγρασία του περιβάλλοντος.

Με βάση τον **τρόπο** με τον οποίο παρέχουν το αποτέλεσμα της μέτρησης, τα όργανα μέτρησης κατατάσσονται στις ακόλουθες κατηγορίες:

- **Ενδεικτικά όργανα**. Δείχνουν την τιμή του μετρούμενου μεγέθους τη στιγμή της μέτρησης, μέσω δείκτη ή ψηφιακού συστήματος ή φωτεινού σήματος.
- **Καταγραφικά όργανα**. Καταγράφουν το μετρούμενο μέγεθος σε συνάρτηση του χρόνου.
- **Αθροιστικά όργανα**. Παρέχουν αθροιστικά το μετρούμενο μέγεθος, αρχίζοντας από κάποια χρονική στιγμή.

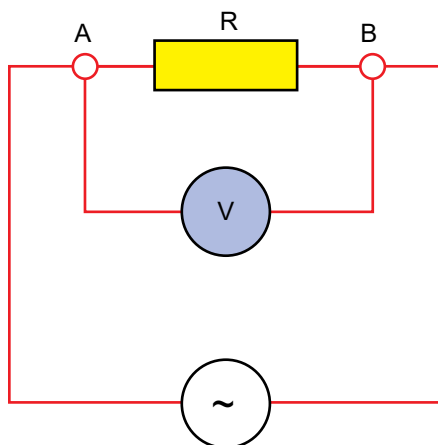
Στα ακόλουθα περιγράφονται μερικά από τα σημαντικότερα όργανα μέτρησης.

Τα περισσότερα όργανα μέτρησης, όπως βολτόμετρα, αμπερόμετρα, βατόμετρα, πολύμετρα, δείχνουν **μόνο ενεργές τιμές**.

2.6.2 Το βολτόμετρο

Το βολτόμετρο μετράει την ηλεκτρική τάση μεταξύ δύο σημείων Α και Β, τα οποία συνήθως είναι οι ακροδέκτες ενός στοιχείου του κυκλώματος, όπως π.χ. μίας ηλεκτρικής αντίστασης, μίας πηγής τάσης κτλ., και **πάντα συνδέεται παράλληλα με το στοιχείο** (Σχήμα 2.6.1).

Η εσωτερική του αντίσταση είναι πολύ μεγάλη, μεγαλύτερη από 10 kΩ. Όσο πιο μεγάλη είναι η εσωτερική αντίσταση του βατομέτρου, τόσο μεγαλύτερη είναι η ακρίβεια του οργάνου.



Σχήμα 2.6.1 Το βολτόμετρο συνδέεται παράλληλα με την αντίσταση R

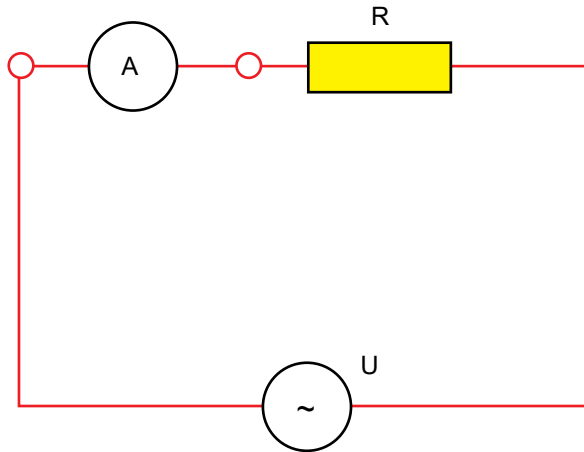
Συχνά, για τη μέτρηση με ακρίβεια διαφόρων επιπέδων τάσης, τα βολτόμετρα κατασκευάζονται με περισσότερες κλίμακες και με ένα διακόπτη-επιλογή, για την επιλογή της κατάλληλης κλίμακας μέτρησης.

2.6.3 Το αμπερόμετρο

Τα αμπερόμετρα μετρούν την ένταση του ηλεκτρικού ρεύματος σε έναν αγωγό ο οποίος συνήθως είναι ένας κλάδος ενός κυκλώματος και **πάντα συνδέεται σε σειρά στο κύκλωμα** (Σχήμα 2.6.2).

Στα περισσότερα αμπερόμετρα η εσωτερική αντίσταση είναι μικρότερη του 1Ω και μπορεί να είναι μέχρι δέκατα ή εκατοστά του Ω .

Όσο μικρότερη είναι η εσωτερική αντίσταση του αμπερομέτρου, τόσο μεγαλύτερη είναι η ακρίβεια του οργάνου.



Σχήμα 2.6.2 Το αμπερόμετρο συνδέεται σε σειρά με την αντίσταση R

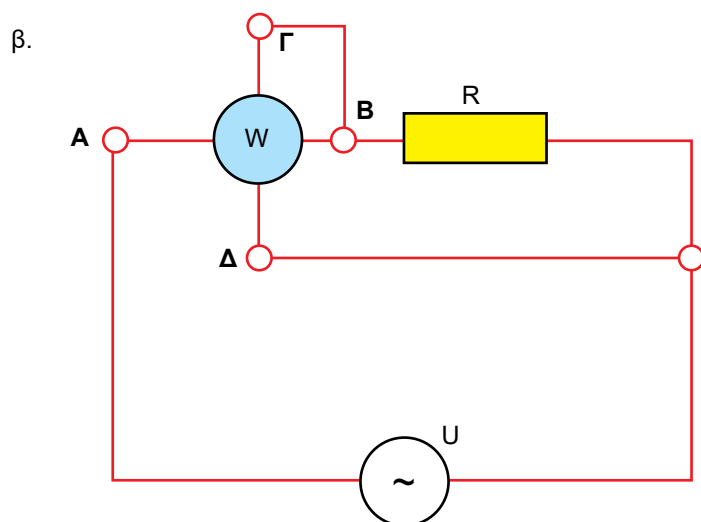
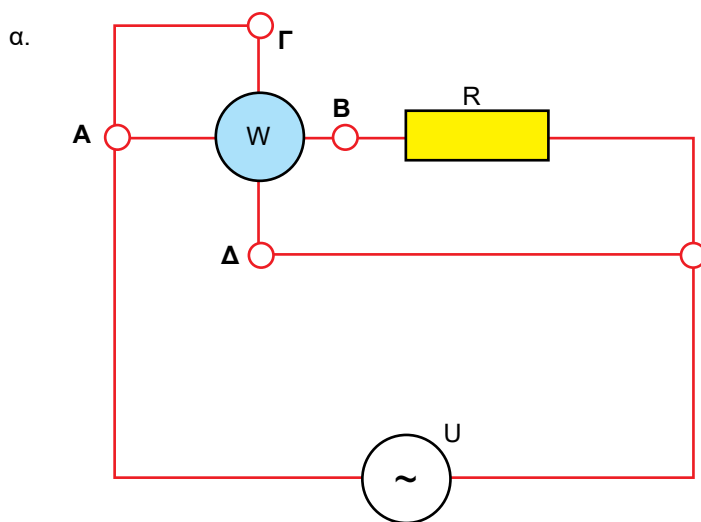
Συχνά για τη μέτρηση με ακρίβεια διαφόρων επιπέδων έντασης ρεύματος, τα αμπερόμετρα κατασκευάζονται με περισσότερες κλίμακες και διαθέτουν ένα διακόπτη-επιλογή για την επιλογή της κατάλληλης κλίμακας μέτρησης.

2.6.4 Το βατόμετρο

Βατόμετρα ονομάζονται τα όργανα τα οποία μετρούν την ηλεκτρική ισχύ, μονοφασική ή τριφασική, που απορροφάει ένα ηλεκτρικό κύκλωμα. Κατασκευαστικά, το βατόμετρο έχει δύο πηνία: ένα πηνίο τάσης με μεγάλη αντίσταση και ένα πηνίο ρεύματος με μικρή αντίσταση. Το πηνίο ρεύματος έχει λίγες σπείρες χονδρού σύρματος και είναι σταθερό, ενώ το πηνίο τάσης έχει πολλές σπείρες λεπτού σύρματος και είναι κινητό.

Υπάρχουν δύο συνδεσμολογίες για τη μέτρηση της ισχύος:

1. Όταν η ισχύς προέρχεται από μεγάλη τάση και μικρό ρεύμα, η σύνδεση του πηνίου τάσης γίνεται πριν από το πηνίο ρεύματος (Σχήμα 2.6.3.α).
2. Όταν η ισχύς προέρχεται από μικρή τάση και μεγάλο ρεύμα, η σύνδεση του πηνίου τάσης γίνεται μετά το πηνίο ρεύματος (Σχήμα 2.6.3.β).



Σχήμα 2.6.3. Το πηνίο ρεύματος του βατομέτρου συνδέεται σε σειρά και το πηνίο τάσης συνδέεται παράλληλα με την αντίσταση R . (A-B ακροδέκτες πηνίου ρεύματος, Γ-Δ ακροδέκτες πηνίου τάσης)
 α. Σύνδεση πηνίου τάσης πριν από το πηνίο ρεύματος
 β. Σύνδεση πηνίου τάσης μετά το πηνίο ρεύματος

2.7 Στοιχεία ηλεκτρικών εγκαταστάσεων

2.7.1 Ονομαστικά μεγέθη ηλεκτρικών συσκευών

Όλες οι ηλεκτρικές συσκευές που συναντάμε στην πράξη έχουν σχεδιασθεί ώστε να λειτουργούν κανονικά και να έχουν μεγάλο χρόνο ζωής.

Η «κανονική» ή η «ονομαστική» λειτουργία περιγράφεται από ένα σύνολο μεγεθών, όπως τάση τροφοδοσίας, ρεύμα και ισχύς που απορροφάει από την πηγή, συχνότητα τάσης (εάν είναι εναλλασσόμενη) κ.ά. Τα μεγέθη αυτά ονομάζονται *ονομαστικά μεγέθη* λειτουργίας κάθε συσκευής και αναγράφονται σε πινακίδα η οποία τοποθετείται υποχρεωτικά πάνω στη συσκευή.

2.7.2 Ειδική αντίσταση

Η ωμική αντίσταση R ενός συμμάτινου αγωγού εξαρτάται από το μήκος του ℓ , τη διατομή του S και τη σύσταση του υλικού ρ .

Ο συντελεστής ρ είναι η αντίσταση που παρουσιάζει ένας συμμάτινος αγωγός από συγκεκριμένο υλικό μήκους 1 m και διατομής 1 mm² και ονομάζεται *ειδική αντίσταση*.

$$R = \rho \cdot \frac{\ell}{S}$$

Η ειδική αντίσταση μετρείται σε $\Omega \cdot \text{m}$ (ή $\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$), η διατομή S σε m² (ή mm² αντίστοιχα), η αντίσταση R σε Ω και το μήκος ℓ σε m. Η ειδική αντίσταση διάφορων αγώγιμων υλικών δίνεται στον Πίνακα 2.7.1.

Π.Χ. ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 1

Να υπολογισθεί η ηλεκτρική αντίσταση αγωγού χαλκού μήκους 200 m και διατομής 4 mm².

Λύση:

Η τιμή της ειδικής αντίστασης είναι $\rho_{\text{cu}} = 0,018\Omega \frac{\text{mm}^2}{\text{m}}$

Από τη σχέση: $R = \rho \cdot \frac{\ell}{S}$, αντικαθιστώντας, προκύπτει:

$$R = 0,018 \frac{\Omega \cdot \text{m} \cdot \text{m}^2}{\text{m}} \cdot \frac{200\text{m}}{4\text{mm}^2} = 0,9\Omega$$

Πίνακας 2.7.1 Ειδική αντίσταση αγώγιμων υλικών

| ΥΛΙΚΟ | ρ $\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$ |
|------------------------|---|
| Αλουμίνιο Al | 0,0283 |
| Κοιισταντάν Cu – Ni | 0,49 |
| Άργυρος Ag | 0,0164 |
| Βολφράμιο W | 0,055 |
| Χαλκός Cu | 0,018 |
| Μαγγανίνη Cu – Mn – Ni | 0,44 |
| Χρωμονικέλιο Cr – Ni | 1 |

π.χ. ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 2

Να υπολογιστεί η ηλεκτρική αντίσταση του χάλκινου αγωγού με διάμετρο 1,5 mm και μήκος 1 km · ($\rho_{\text{Cu}} = 0,018 \Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$).

Λύση:

Η ωμική αντίσταση δίνεται από τη σχέση:

$$R = \rho \cdot \frac{\ell}{S}$$

Η διατομή του αγωγού υπολογίζεται ως:

$$S = \frac{\pi d^2}{4} = \frac{3,14 \cdot 1,5^2}{4} = 1,77\text{mm}^2$$

$$R = 0,018 \cdot \frac{1000}{1,77} = 10,17\Omega$$

2.7.3 Θερμικός Συντελεστής

Η αντίσταση των διαφόρων υλικών μεταβάλλεται με τη θερμοκρασία. Εάν R_0 είναι η αντίσταση ενός αγωγού σε θερμοκρασία θ_0 , η αντίσταση R σε θερμοκρασία θ προκύπτει από τη σχέση:

$$R = R_0[1 + \alpha(\theta - \theta_0)]$$

όπου α είναι μια σταθερά της θερμοκρασίας και ονομάζεται **θερμικός συντελεστής αντίστασης**. Ο συντελεστής α εξαρτάται από το υλικό (Πίνακας 2.7.2) και μετριέται σε $1/^\circ\text{C} = \text{grad}^{-1}$.

Πίνακας 2.7.2 Θερμικός συντελεστής αντίστασης διαφόρων υλικών

| Υλικό | Θερμικός Συντελεστής α [$(^\circ\text{C})^{-1}$] |
|--------------|---|
| Αλουμίνιο | $3,9 \cdot 10^{-3}$ |
| Άνθρακας | $-0,6 \cdot 10^{-3}$ |
| Χαλκός | $3,82 \cdot 10^{-3}$ |
| Κονσταντάν | $0,008 \cdot 10^{-3}$ |
| Βολφράμιο | $4,5 \cdot 10^{-3}$ |
| Σίδηρος | $5 \cdot 10^{-3}$ |
| Μαγγάνινη | $0,006 \cdot 10^{-3}$ |
| Χρωμονικέλιο | $0,4 \cdot 10^{-3}$ |
| Γερμάνιο | $-48 \cdot 10^{-3}$ |
| Πυρίτιο | $-75 \cdot 10^{-3}$ |

Οι μεταβολές της ωμικής αντίστασης με τη θερμοκρασία οφείλονται στις μεταβολές της ειδικής αντίστασης με τη θερμοκρασία. Σε περίπτωση μεταβολής της θερμοκρασίας, η ειδική αντίσταση ρ μεταβάλλεται από την αρχική τιμή ρ_0 :

$$\rho = \rho_0 [1 + \alpha(\theta - \theta_0)]$$

Στους μεταλλικούς αγωγούς, η ηλεκτρική αντίσταση αυξάνεται με τη θερμοκρασία, στον άνθρακα (C) και στους ημιαγωγούς (Ge, Si) η αντίσταση μειώνεται, ενώ σε ορισμένα κράματα (μαγγανίνη, κονσταντάν) η αντίσταση μένει σχεδόν σταθερή με τη μεταβολή της θερμοκρασίας τους.

Π.Χ. ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 3

Χάλκινος αγωγός μήκους 1 km και διαμέτρου 2 mm, κατά τη λειτουργία του αυξάνει τη θερμοκρασία από 20°C σε 80°C. Να υπολογιστεί η αύξηση της αντίστασης του αγωγού.

Δίνονται: ο θερμικός συντελεστής $\alpha = 0,00382$ στους 20°C και η ειδική αντίσταση $\rho = 0,018 \Omega \text{ mm}^2/\text{m}$.

Λύση:

Η διατομή του αγωγού είναι:

$$S = \frac{\pi d^2}{4} = \frac{\pi \cdot 4}{4} = 3,14 \text{ mm}^2$$

Η αντίσταση του αγωγού στους 20°C είναι:

$$R_{20} = \rho \cdot \frac{\ell}{S} = 0,018 \frac{\Omega \text{ m m}^2}{\text{m}} \cdot \frac{1000 \text{ m}}{3,14 \text{ mm}^2} = 5,73 \Omega$$

Η μεταβολή της αντίστασης του χαλκού είναι:

$$R_{80} = R_{20} \cdot [1 + \alpha \cdot (80^\circ - 20^\circ)] = R_{20} \cdot (1 + \alpha \cdot 60^\circ \text{C}) \Rightarrow$$

$$R_{80} = 5,73 \cdot (1 + 0,00382 \cdot 60^\circ \text{C}) = 7,04 \Omega$$

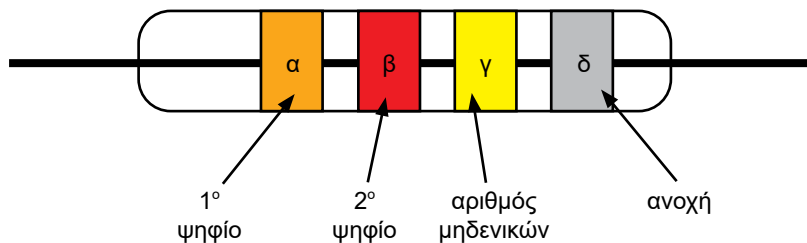
Η αντίσταση του αγωγού αυξήθηκε κατά:

$$\Delta R = R_{80} - R_{20} = 7,04 - 5,73 = 1,31 \Omega$$

2.7.4 Χρωματικός Κώδικας Αντιστάσεων

Μια αντίσταση του εμπορίου, η οποία χρησιμοποιείται σε ηλεκτρονικά κυκλώματα, φέρει λεπτά έγχρωμα δακτυλίδια, όπως στο Σχήμα 2.7.1. Η αντιστοιχία των χρωμάτων με κάθε ψηφίο δίδεται στον Πίνακα 2.7.3.

| Χρωματικός κώδικας αντιστάσεων | |
|--------------------------------|-----------|
| 0 | Μαύρο |
| 1 | Καφέ |
| 2 | Κόκκινο |
| 3 | Πορτοκαλί |
| 4 | Κίτρινο |
| 5 | Πράσινο |
| 6 | Μπλε |
| 7 | Μοβ |
| 8 | Γκρι |
| 9 | Άσπρο |
| ± 5% ανοχή | Χρυσάφι |
| ± 10% ανοχή | Ασημί |



Σχήμα 2.7.1 Ανάγνωση αντίστασης σύμφωνα με το χρωματικό κώδικα

Π.Χ. ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 4

Η τιμή της αντίστασης με χρώματα όπως παρακάτω σχηματίζεται από τα ψηφία που αντιστοιχούν στα χρώματα του Πίνακα 2.7.3. Κατά σειρά διαβάζονται επί της αντίστασης οι δακτύλιοι με τα χρώματα:

| | | | |
|------------------|----------------|----------------|--------------|
| Πορτοκαλί | Κόκκινο | Κίτρινο | Ασημί |
| ⇓ | ⇓ | ⇓ | ⇓ |
| 3 | 2 | 0000 Ω | ±10% |

Πρώτο χρώμα είναι το πορτοκαλί και δίνει τον αριθμό 3. Δεύτερο χρώμα είναι το κόκκινο και δίνει τον αριθμό 2. Τρίτο χρώμα, το κίτρινο, δίνει 4 μηδενικά. Τέταρτο χρώμα, το ασημί, δίνει ανοχή $\pm 10\%$. Σχηματίζεται ο αριθμός $320000 \pm 10\%$. Επομένως, η τιμή της αντίστασης είναι $320 \text{ k}\Omega \pm 10\%$, δηλαδή κυμαίνεται μεταξύ $288 \text{ k}\Omega$ και $358 \text{ k}\Omega$.

2.7.5 Θέρμανση των Αγωγών και η Εκλογή της Διατομής τους

Ως γνωστόν, όταν το ηλεκτρικό ρεύμα διαρρέει μία ωμική αντίσταση, η ηλεκτρική ισχύς που παράγει είναι $P_0 = R \cdot I^2$, η οποία μετατρέπεται εξ ολοκλήρου σε θερμότητα ή σε απώλειες θερμότητας. Έτσι, μια από τις συνέπειες του ηλεκτρικού ρεύματος είναι η ανύψωση της θερμοκρασίας των αγωγών.

Στην περίπτωση που δεν είναι δυνατό να απομακρυνθεί η παραγόμενη θερμότητα και ιδίως στις περιπτώσεις που το ρεύμα στους αγωγούς έχει μεγάλη χρονική διάρκεια, δημιουργείται η ανάγκη εκλογής μεγαλύτερης διατομής. Μεγαλύτερη διατομή αγωγών σημαίνει παρεμβολή μικρότερης αντίστασης των αγωγών στο ηλεκτρικό ρεύμα και παραγωγή λιγότερων απωλειών θερμότητας, με συνέπεια τη μείωση της θερμοκρασίας.

Για το λόγο αυτό έχουν καθοριστεί ορισμένα όρια για το μέγιστο επιτρεπόμενο ρεύμα συνεχούς λειτουργίας σε αγωγούς συγκεκριμένης διατομής (Πίνακας 2.7.4). Κάτω από ορισμένες συνθήκες, όπως ο τρόπος όδευσης των αγωγών, το πλήθος των αγωγών μέσα στο ίδιο κανάλι και η ευκολία αερισμού των αγωγών, μπορεί να αλλάξει η εκλογή της διατομής των αγωγών. Οι τιμές του Πίνακα 2.7.4 καθορίστηκαν ώστε η μέγιστη θερμοκρασία των αγωγών να μην ξεπερνά τους 60°C για θερμοκρασία περιβάλλοντος λειτουργίας 30°C .

Η διαδικασία επιλογής της διατομής των αγωγών ονομάζεται **διαστασιολόγηση των αγωγών της γραμμής σύνδεσης**. Η διαστασιολόγηση, βάσει του Πίνακα 2.7.4, εφαρμόζεται για μικρού μήκους γραμμές. Για μεγάλου μήκους γραμμές πρέπει να ληφθεί υπόψη και η πτώση τάσης στη γραμμή.

Όταν η θερμοκρασία του περιβάλλοντος λειτουργίας του αγωγού ξεπερνά τους 30°C , πρέπει να επιλεγούν μεγαλύτερες διατομές από αυτές

που δίδονται στον Πίνακα 2.7.4. Τα ποσοστά μείωσης της έντασης του ρεύματος του Πίνακα 2.7.4 δίδονται στον Πίνακα 2.7.5.

Πίνακας 2.7.4 Μέγιστη επιτρεπόμενη ένταση ρεύματος για χάλκινους αγωγούς με μόνωση από θερμοπλαστικό υλικό

| Ονομαστική διατομή αγωγού S σε mm ² | Μέχρι 3 ενεργοί αγωγοί τοποθετημένοι μέσα σε σωλήνα I σε A |
|---|--|
| 0,75 | 9 |
| 1 | 11 |
| 1,5 | 14 |
| 2,5 | 20 |
| 4 | 25 |
| 6 | 33 |
| 10 | 43 |
| 16 | 60 |
| 25 | 83 |
| 35 | 100 |
| 50 | 127 |
| 70 | 147 |
| 95 | 181 |
| 120 | 208 |
| 150 | 238 |
| 185 | 266 |
| 240 | 310 |
| 300 | 355 |



ΠΡΟΣΟΧΗ

- ♦ Στην πράξη, ως όριο λειτουργίας των αγωγών είναι η θερμοκρασία των 60°C.
- ♦ Σε αντίθετη περίπτωση, πρέπει να αλλάξει η διατομή τους (να επιλεγεί μεγαλύτερη διατομή αγωγών).

Πίνακας 2.7.5 Αναγωγή της μέγιστης επιτρεπόμενης έντασης για θερμοκρασία περιβάλλοντος λειτουργίας των αγωγών, μεγαλύτερης των 30°C

| Θερμοκρασία περιβάλλοντος λειτουργίας των αγωγών °C | Ποσοστό μείωσης των τιμών της έντασης του Πίνακα 2.7.4 % |
|---|--|
| 30 | 100 |
| 35 | 85 |
| 40 | 75 |
| 45 | 65 |
| 50 | 53 |
| 55 | 38 |

Η επιτρεπόμενη ένταση του ρεύματος σε χάλκινους αγωγούς εξαρτάται επίσης από τον τρόπο τοποθέτησης των καλωδίων (Πίνακας 2.7.6):

- ♦ Εξωτερικά, πάνω σε τοίχους, οροφές, δάπεδα.
- ♦ Μέσα στον τοίχο, στο σοβά, ή κάτω από το σοβά.

Πίνακας 2.7.6 Επιτρεπόμενη ένταση ρεύματος σε χάλκινους αγωγούς με μόνωση PVC, σε θερμοκρασία περιβάλλοντος 30°C (A)

| Διατομή αγωγού (mm ²) | Ρεύμα σε Α | | | |
|-----------------------------------|---|----|---|------|
| | Τοποθέτηση σωλήνων ή καναλιών εγκατάστασης πάνω σε τοίχους, οροφές ή δάπεδα | | Τοποθέτηση μέσα στον τοίχο, στο σοβά ή κάτω από το σοβά | |
| | Αριθμός των φορτισμένων κλώνων | | Αριθμός των φορτισμένων κλώνων | |
| | 2 | 3 | 2 | 3 |
| 1,5 | 15,5 | 14 | 19,5 | 17,5 |
| 2,5 | 21 | 19 | 26 | 24 |
| 4 | 28 | 26 | 35 | 32 |
| 6 | 37 | 33 | 46 | 41 |
| 10 | 50 | 46 | 63 | 57 |
| 16 | 68 | 61 | 85 | 76 |
| 25 | 90 | 77 | 112 | 96 |



ΠΡΟΣΟΧΗ

- ♦ Το ρεύμα στους αγωγούς, στις περιελίξεις των ηλεκτρικών μηχανών, των μετασχηματιστών και των πηνίων δεν πρέπει να ξεπεράσει την τιμή που ορίζεται από τους κατασκευαστές.
- ♦ Όταν η ένταση του ρεύματος ξεπεράσει τις μέγιστες επιτρεπόμενες τιμές οι οποίες έχουν καθορισθεί από τις προδιαγραφές, η μόνωση των καλωδίων υπερθερμαίνεται και στη συνέχεια μπορεί να καταστραφεί, με αποτέλεσμα να προκληθεί βραχυκύκλωμα ή ακόμη και πυρκαγιά στις εγκαταστάσεις.

Προστασία των γραμμών από υπερεντάσεις απαιτείται πάντα στις ακόλουθες περιπτώσεις, επειδή μπορούν να συμβούν λανθασμένες χρήσεις ή χειρισμοί:

1. Να συνδεθεί στην ηλεκτρική γραμμή συσκευή μεγαλύτερης ισχύος, που προκαλεί ρεύμα μεγαλύτερο από όσο μπορούν να δεχθούν οι διατομές της.
2. Να συμβεί βραχυκύκλωμα μεταξύ των αγωγών της ηλεκτρικής γραμμής, το οποίο αυξάνει απότομα και υπερβολικά πολύ το ρεύμα που κυκλοφορεί στους αγωγούς της.

Για να προστατευτεί η ηλεκτρική γραμμή, **τοποθετείται στην αρχή της και σε σειρά προς την κατανάλωση μία ασφάλεια**, η οποία διακόπτει τη συνέχεια του κυκλώματος, μην επιτρέποντας την καταστροφή της μόνωσης των καλωδίων ή ακόμη και των αγωγών, αν το ρεύμα ξεπεράσει την επιτρεπόμενη τιμή. Η ονομαστική ένταση της ασφάλειας πρέπει να είναι ίση με τη μέγιστη επιτρεπόμενη ένταση των αγωγών.

π.χ. ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 5

Κλιματιστική συσκευή με εγκατεστημένη ισχύ 5 kW και με $\cos\phi = 0,8$ πρέπει να συνδεθεί στην ηλεκτρική εγκατάσταση με τάση 220 V. Να γίνει η διαστασιολόγηση των αγωγών της γραμμής σύνδεσης.

Λύση:

$$P = I \cdot U \cdot \cos\varphi$$

$$I = \frac{P}{U \cdot \cos\varphi} = \frac{5000 \text{ W}}{220 \text{ V} \cdot 0,8} = 28,4 \text{ A}$$

Από τον Πίνακα 2.7.4 επιλέγουμε τη διατομή των 4 mm² η οποία αντιστοιχεί στην αμέσως μεγαλύτερη από τα 28,4 A ένταση ρεύματος και η οποία είναι 33 A.

π.χ. ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 6

Ηλεκτρικό επαγγελματικό ψυγείο απορροφάει 4 kW με $\cos\varphi = 0,85$ από το δίκτυο τάσης 220 V. Επιλέξτε τη διατομή του αγωγού σύνδεσης του ψυγείου στο δίκτυο και το μέγεθος της ασφάλειας στον πίνακα τροφοδοσίας.

Λύση:

Το ρεύμα υπολογίζεται σύμφωνα με τη γνωστή σχέση:

$$I = \frac{P}{U \cdot \cos\varphi} = \frac{4000 \text{ W}}{220 \text{ V} \cdot 0,85} = 21,4 \text{ A}$$

Από τον Πίνακα 2.7.4 επιλέγουμε διατομή $S = 4\text{mm}^2$, η οποία αντιστοιχεί στο ρεύμα 25 A (αμέσως μεγαλύτερο από το ρεύμα 21,4 A που υπολογίσαμε).

Η ασφάλεια πρέπει να είναι για ρεύμα ίσο με το ρεύμα του αγωγού, δηλαδή 25 A.



ΑΝΑΚΕΦΑΛΑΙΩΣΗ

- Η ωμική αντίσταση είναι το βασικό στοιχείο του ηλεκτρικού κυκλώματος.
- Ο νόμος του Ωμ διατυπώνεται ως εξής: η ένταση του ρεύματος είναι ανάλογη με την τάση και αντίστροφα ανάλογη με την ηλεκτρική αντίσταση.

$$I = \frac{U}{R}$$

- Η ηλεκτρική αντίσταση εξαρτάται από το υλικό κατασκευής της και από τις διαστάσεις του αγωγού και μεταβάλλεται με τη θερμοκρασία.
- Στη συνδεσμολογία σε σειρά των στοιχείων ενός κυκλώματος υπάρχει μία διαδρομή ρεύματος.
- Το άθροισμα των επιμέρους πτώσεων τάσης σε ένα κύκλωμα σύνδεσης σε σειρά ισούται με την τάση που εφαρμόζεται από την πηγή στο κύκλωμα.
- Η ισοδύναμη αντίσταση της σύνδεσης σε σειρά ισούται με το άθροισμα των επιμέρους ωμικών αντιστάσεων.
- Στην παράλληλη σύνδεση των αντιστάσεων υπάρχουν περισσότερες διαδρομές ρευμάτων, επομένως υπάρχουν περισσότερα ρεύματα. Το άθροισμα των ρευμάτων σε όλους τους κλάδους συνδεδεμένους παράλληλα ισούται με το συνολικό ρεύμα. Σε όλους τους κλάδους συνδεδεμένους παράλληλα εφαρμόζεται η ίδια τάση.
- Το αντίστροφο της συνολικής αντίστασης των αντιστάσεων που είναι συνδεδεμένες παράλληλα ισούται με το άθροισμα όλων των αντίστροφων των επιμέρους αντιστάσεων.
- Το ρεύμα στον κάθε κλάδο ενός κυκλώματος με παράλληλη σύνδεση αντιστάσεων είναι αντίστροφα ανάλογο της ωμικής αντίστασης.
- Σε ένα σύνθετο κύκλωμα, προσδιορίζουμε τα τμήματα σε σειρά και τους παράλληλους κλάδους. Στη συνέχεια εφαρμόζουμε τους κανόνες της σύνδεσης σε σειρά και της παράλληλης σύνδεσης.
- Η συνολική τάση που παράγεται στα άκρα περιστρεφόμενου βρόχου μέσα σε ομογενές μαγνητικό πεδίο, οποιαδήποτε χρονική στιγμή t , είναι:

$$u = 2 \cdot B \cdot \ell \cdot v \cdot \eta \mu \varphi$$

- Για κάθε χρονική στιγμή η εναλλασσόμενη τάση u και το εναλλασσόμενο ρεύμα i είναι: $u = U_m \cdot \eta\mu\phi$ και $i = I_m \cdot \eta\mu\phi$, όπου U_m είναι η μέγιστη τιμή της εναλλασσόμενης τάσης, I_m είναι η μέγιστη τιμή του εναλλασσόμενου ρεύματος και ϕ είναι η φάση.
- Η περίοδος T της εναλλασσόμενης τάσης είναι ο χρόνος μέσα στον οποίο η τάση συμπληρώνει μια πλήρη εναλλαγή ή ο χρόνος μέσα στον οποίο ολοκληρώνεται ένας πλήρης κύκλος.
- Η συχνότητα f του εναλλασσόμενου ρεύματος είναι ο σταθερός αριθμός των κύκλων που συμπληρώνονται μέσα σε ένα δευτερόλεπτο.
- Η περίοδος και η συχνότητα συνδέονται με τη σχέση $f = 1/T$.
- Η κυκλική συχνότητα ω του εναλλασσόμενου ρεύματος είναι η σταθερή αύξηση της φάσης σε 1 δευτερόλεπτο. Η κυκλική συχνότητα ω συμπίπτει με τη γωνιακή ταχύτητα περιστροφής του βρόχου: $\omega = 2\pi f$ και $\omega = 2\pi/T$.
- Η ενεργός τιμή του εναλλασσόμενου ρεύματος είναι η τιμή της έντασης του ισοδύναμου συνεχούς ρεύματος, το οποίο παράγει επί μιας συγκεκριμένης ωμικής αντίστασης το ίδιο ποσό θερμότητας με το εναλλασσόμενο ρεύμα, στον ίδιο χρόνο.
- Στα περισσότερα όργανα μέτρησης, όπως βολτόμετρα, αμπερόμετρα, βατόμετρα κτλ., διαβάζουμε μόνο ενεργές τιμές.
- Η ηλεκτρική ενέργεια W εκφράζεται από τη σχέση:

$$W = U \cdot I \cdot t = P \cdot t$$

όπου: U είναι η πολική τάση της πηγής, I είναι το ρεύμα που απορροφά η κατανάλωση, t είναι ο χρόνος σε δευτερόλεπτα που παραμένει η κατανάλωση σε λειτουργία και P είναι η ισχύς.

- Η ηλεκτρική ισχύς είναι η ηλεκτρική ενέργεια που αποδίδεται ή καταναλώνεται διά το χρονικό διάστημα:

$$P = W/t$$

- Η ηλεκτρική ισχύς μιας συσκευής συνεχούς ρεύματος ή μιας συσκευής που έχει μόνο ωμική αντίσταση και συνδέεται στο εναλλασσόμενο ρεύμα είναι το γινόμενο της τάσης επί το ρεύμα.

$$P = U \cdot I$$

- Η ισχύς της ωμικής αντίστασης υπολογίζεται από:

$$P = U^2/R \text{ και } P = I^2 \cdot R$$

- Μονάδες μέτρησης της ηλεκτρικής ενέργειας και ισχύος είναι:

$$1 \text{ J} = 1 \text{ W} \cdot 1 \text{ sec}$$

$$1 \text{ HP} = 746 \text{ W} = 0,746 \text{ kW}$$

$$1 \text{ kW} = 1,34 \text{ HP}$$

$$1 \text{ kWh} = 3600000 \text{ J}$$

- Η ενεργός ισχύς ή η πραγματική ισχύς είναι το μέρος της εναλλασσόμενης ισχύος που μπορεί να παράγει μηχανικό έργο ή θερμότητα:

$$P = U \cdot I \cdot \text{συν}\phi$$

όπου $\text{συν}\phi$ είναι ο συντελεστής ισχύος.

- Σε οποιαδήποτε συσκευή που διαρρέεται από ρεύμα, η ηλεκτρική ενέργεια που καταναλώνεται σε μια αντίσταση μετατρέπεται ολόκληρη σε θερμότητα.
- Ωφέλιμη ενέργεια είναι το μέρος της ενέργειας που αποδίδεται από τη συσκευή για την εκτέλεση του έργου για το οποίο κατασκευάστηκε. Απώλειες ενέργειας είναι το υπόλοιπο μέρος της απορροφούμενης ενέργειας, το οποίο καταναλώνεται από τη συσκευή και χάνεται.

Απορροφούμενη Ενέργεια = Ωφέλιμη Ενέργεια + Ενέργεια Απωλειών

- Ο βαθμός απόδοσης μιας συσκευής εκφράζεται με λόγο ενέργειας ή με λόγο ισχύος:

$$\eta = \frac{W_{\omega\phi}}{W_{\text{απορ}}} = \frac{W_{\omega\phi}}{W_{\omega\phi} + W_{\text{απωλ}}} = \frac{W_{\text{απορ}} - W_{\text{απωλ}}}{W_{\text{απορ}}}$$

$$\eta = \frac{P_{\omega\phi}}{P_{\text{απορ}}} = \frac{P_{\omega\phi}}{P_{\omega\phi} + P_{\text{απωλ}}} = \frac{P_{\text{απορ}} - P_{\text{απωλ}}}{P_{\text{απορ}}}$$

- Για τη διαστασιολόγηση των αγωγών πρέπει να λαμβάνονται υπόψη, εκτός από την ένταση του ρεύματος, και οι εξής παράγοντες: τρόπος όδευσης των αγωγών, πλήθος των αγωγών μέσα στο ίδιο κανάλι και ευκολία αερισμού των αγωγών.



ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ ΚΑΙ ΑΣΚΗΣΕΙΣ

1. Τάση 220 V εφαρμόζεται σε μια αντίσταση 110 Ω. Υπολογίστε το ρεύμα που διαρρέει το κύκλωμα. Απάντηση: $I = 2 \text{ A}$
2. Η τάση που εφαρμόζεται σ' ένα κύκλωμα είναι 200 V και το ρεύμα είναι 20 A. Υπολογίστε την αντίσταση. Απάντηση: $R = 10 \text{ } \Omega$
3. Μια αντίσταση 0,5 Ω διαρρέεται από ρεύμα 10 A. Να βρεθεί η τάση στα άκρα της. Απάντηση: $U = 5 \text{ V}$
4. Αγωγός σε ηλεκτρικό κύκλωμα παρουσιάζει αντίσταση 0,8 Ω. Να βρεθεί το ρεύμα που διαρρέει τον αγωγό, ώστε η τάση να είναι 2,2 V. Απάντηση: $I = 2,75 \text{ A}$
5. Αγωγός χαλκού μήκους 150 m έχει διατομή $1,5 \text{ mm}^2$. Να βρεθεί η αντίσταση του αγωγού ($\rho_{\text{Cu}} = 0,018 \text{ } \Omega\text{mm}^2/\text{m}$). Απάντηση: $R = 1,8 \text{ } \Omega$
6. Χάλκινος αγωγός έχει μήκος $l = 1000 \text{ m}$ και διατομή $S = 54 \text{ mm}^2$ ($\rho_{\text{Cu}} = 0,018 \text{ } \Omega\text{mm}^2/\text{m}$). Ο θερμικός συντελεστής χαλκού στους 20°C είναι $\alpha = 3,92 \cdot 10^{-3} \text{ } 1/^\circ\text{C}$. Να βρεθεί η αντίσταση R_{80} του αγωγού σε θερμοκρασία 80°C . Απάντηση: $R_{80} = 0,4 \text{ } \Omega$
7. Να βρεθεί η διατομή αγωγού αλουμινίου ($\rho = 0,029 \text{ } \Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$) που παρουσιάζει ωμική αντίσταση 10 Ω και έχει μήκος 100 m. Απάντηση: $S = 0,29 \text{ mm}^2$
8. Σε ένα σύνθετο κύκλωμα, πώς προσδιορίζουμε ποια τμήματα είναι σε σειρά και ποια είναι οι παράλληλοι κλάδοι;
9. Υπολογίστε την ισοδύναμη αντίσταση δέκα αντιστάσεων των 10 Ω που είναι συνδεδεμένες σε σειρά. Απάντηση: 100 Ω
10. Υπολογίστε την ισοδύναμη αντίσταση δέκα αντιστάσεων των 10 Ω που είναι συνδεδεμένες παράλληλα. Απάντηση: 1 Ω
11. Ένα φωτιστικό για χριστουγεννιάτικο δέντρο αποτελείται από 20 λαμπτήρες των 9 W συνδεδεμένους σε σειρά και συνδέεται σε τάση 220 V. Υπολογίστε α) το ρεύμα στο φωτιστικό και β) την αντίσταση κάθε λαμπτήρα. Απάντηση: α) 0,8 A, β) 14 Ω
12. Ηλεκτρική κουζίνα στη θέση 3 του διακόπτη λειτουργεί με ισχύ 3,3 KW υπό τάση λειτουργίας 220 V. Να υπολογίσετε: α) το ρεύμα που απορ-

ροφά, β) την ωμική αντίσταση σε αυτή τη θέση, γ) την ενέργεια που καταναλώνει σε δύο ώρες λειτουργίας.

Απάντηση: α) $I = 15 \text{ A}$, β) $R = 14,6 \ \Omega$, γ) $W = 6,6 \text{ kWh}$

13. Ποια είναι η τιμή της κυκλικής συχνότητας ω και της περιόδου T μιας εναλλασσόμενης τάσης συχνότητας $f = 50 \text{ Hz}$;

Απάντηση: 314 rad/sec , $0,020 \text{ s}$

14. Η ενεργός τιμή εναλλασσόμενης τάσης είναι 220 V . Υπολογίστε τη μέγιστη τιμή της.

Απάντηση: $U_m = 311 \text{ V}$

15. Υπολογίστε την ενεργό τιμή εναλλασσόμενου ρεύματος όταν η μέγιστη τιμή του είναι 15 A .

Απάντηση: $10,6 \text{ A}$

16. Υπολογίστε τη διαφορά φάσης των τάσεων $u_1 = U_{1m} \cdot \eta\mu(\omega t + \pi)$ και $u_2 = U_{2m} \cdot \eta\mu(\omega t - \pi/2)$.

Απάντηση: $\Delta\phi = 270^\circ$ ή $\Delta\phi = 3\pi/2$

17. Ποια είναι η διαφορά φάσης μεταξύ τάσης και ρεύματος σε κυκλώματα επαγωγικών και χωρητικών καταναλωτών;

18. Στα άκρα ωμικού καταναλωτή αντίστασης $11 \ \Omega$, εφαρμόζεται εναλλασσόμενη τάση ενεργού τιμής 220 V . Ποια είναι η ένταση του ρεύματος στον καταναλωτή;

Απάντηση: 20 A . Το ρεύμα είναι σε φάση με την τάση.

19. Δίνεται πηνίο με συντελεστή αυτεπαγωγής $0,6 \text{ H}$. Τι επαγωγική αντίσταση θα παρουσιάζει όταν στα άκρα του εφαρμόζεται;

Απάντηση: $18,84 \ \Omega$

20. Στα άκρα πηνίου με συντελεστή αυτεπαγωγής $0,25 \text{ H}$ εφαρμόζεται τάση 220 V , συχνότητας 50 Hz . Ποια είναι η ένταση του ρεύματος;

Απάντηση: $2,8 \text{ A}$

21. Ποια είναι η χωρητική αντίσταση ενός πυκνωτή των $10 \ \mu\text{F}$, όταν εφαρμόζεται στα άκρα του εναλλασσόμενη τάση συχνότητας 50 Hz ;

Απάντηση: $318 \ \Omega$

22. Τάση 220 V και συχνότητας 50 Hz εφαρμόζεται σε πυκνωτή χωρητικότητας $20 \ \mu\text{F}$. Ποια είναι η ένταση του ρεύματος του πυκνωτή;

Απάντηση: $1,38 \text{ A}$

23. Τάση 220 V , συχνότητας 50 Hz εφαρμόζεται σε πυκνωτή. Αμπερόμετρο συνδεδεμένο σε σειρά με τον πυκνωτή δείχνει ένταση 10 A . Ποια είναι η χωρητικότητα του πυκνωτή;

Απάντηση: $144,8 \ \mu\text{F}$

ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΤΕΣ

- 3.1 ΜΟΝΟΦΑΣΙΚΟΙ ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΤΕΣ
- 3.2 ΑΥΤΟΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΤΗΣ
- 3.3 ΤΡΙΦΑΣΙΚΟΙ ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΤΕΣ
ΑΝΑΚΕΦΑΛΑΙΩΣΗ
ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ ΚΑΙ ΑΣΚΗΣΕΙΣ



ΕΠΙΔΙΩΚΟΜΕΝΟΙ ΣΤΟΧΟΙ

Μετά την ολοκλήρωση του κεφαλαίου αυτού, οι μαθητές θα πρέπει να είναι σε θέση:

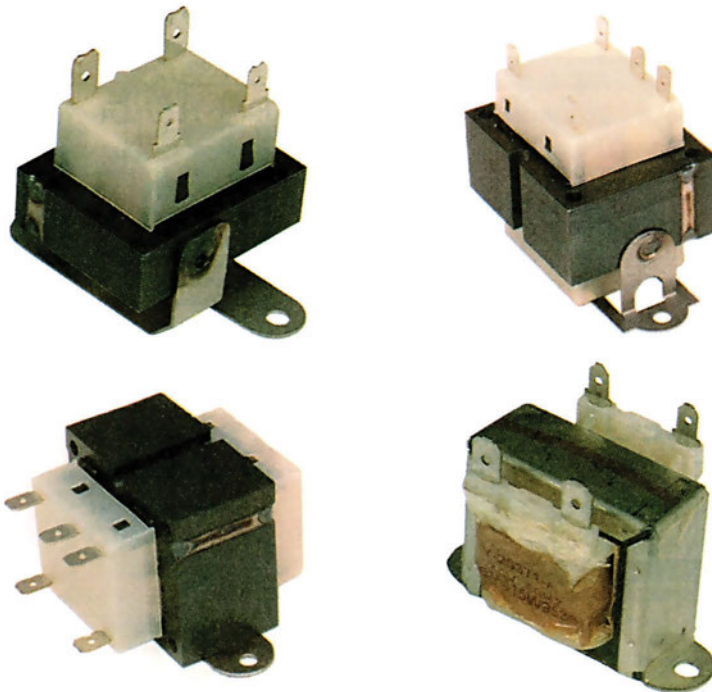
- ✓ Να γνωρίζουν την αρχή λειτουργίας του μετασχηματιστή.
- ✓ Να αναφέρουν τα είδη και τη δομή των μετασχηματιστών.
- ✓ Να γνωρίζουν τις χρήσεις των μετασχηματιστών στις εγκαταστάσεις ψύξης και κλιματισμού.
- ✓ Να γνωρίζουν τα χαρακτηριστικά του ηλεκτρικού ρεύματος τροφοδοσίας του μετασχηματιστή: συχνότητα, τάση, ένταση.
- ✓ Να συνδέουν και να ελέγχουν τις συνδέσεις των ηλεκτρικών εξαρτημάτων με μετασχηματιστές.

3.1 Μονοφασικοί μετασχηματιστές

Ο μετασχηματιστής είναι μια συσκευή μετατροπής του επιπέδου της ηλεκτρικής εναλλασσόμενης τάσης (από μία τιμή σε άλλη τιμή της τάσης).

Με τη χρήση του μετασχηματιστή εξυπηρετείται κυρίως η μεταφορά και η χρήση της ηλεκτρικής ενέργειας. Έτσι, η παραγωγή της ηλεκτρικής ενέργειας από σύγχρονες γεννήτριες γίνεται σε επίπεδα τάσης 15 kV-20 kV. Επίσης, η μεταφορά της ηλεκτρικής ενέργειας γίνεται σε διαφορετικό επίπεδο τάσης (σε υψηλή τάση 150 kV, ή υπερύψηλη τάση 400 kV, 750 kV) και με αυτό τον τρόπο μειώνονται οι απώλειες θερμότητας κατά τη μεταφορά της. Τέλος, η χρησιμοποίηση της ηλεκτρικής ενέργειας γίνεται στο πιο κατάλληλο επίπεδο για κάθε καταναλωτική συσκευή (χαμηλή τάση 220 V στην Ευρώπη, ή 120 V στην Αμερική).

Υπάρχουν περιπτώσεις όπου απαιτούνται χαμηλότερες τάσεις από τα 220 V του δικτύου, όπως σε ηλεκτρονικές συσκευές, ηλεκτρονικούς υπολογιστές και μικρές ηλεκτρικές συσκευές. Σε όλες τις περιπτώσεις αυτές χρησιμοποιούνται μετασχηματιστές.

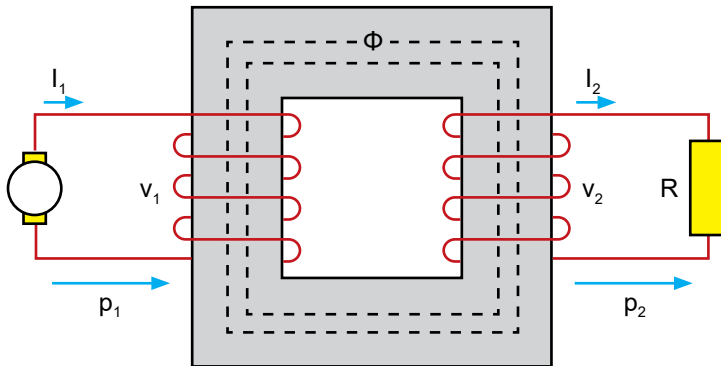


Εικόνα 3.1 Μονοφασικοί μετασχηματιστές

Οι μετασχηματιστές που χρησιμοποιούνται στις παραπάνω εφαρμογές έχουν την ίδια αρχή λειτουργίας: η ίδια ποσότητα ηλεκτρικής ισχύος p_1 που εισέρχεται στο μετασχηματιστή εξέρχεται από αυτόν p_2 , όμως με αλλαγμένο το επίπεδο της τάσης (αρχή **διατήρησης της ισχύος**):

$$p_1 = v_1 \cdot i_1 = v_2 \cdot i_2 = p_2$$

Ένας μονοφασικός μετασχηματιστής αποτελείται από δύο (ή περισσότερα) τυλίγματα ηλεκτρικά, ανεξάρτητα όμως συνεζευγμένα, μέσω ενός αμοιβαίου μαγνητικού πεδίου Φ (Σχήμα 3.1.1). Το τύλιγμα 1 με N_1 ελιγμάτα (σπείρες) ονομάζεται πρωτεύον και το τύλιγμα 2 με N_2 ελιγμάτα ονομάζεται δευτερεύον. Η είσοδος της ηλεκτρικής ισχύος είναι από το πρωτεύον και η έξοδός της είναι από το δευτερεύον.



Σχήμα 3.1.1 Σχηματική παράσταση της αρχής λειτουργίας του ιδανικού μετασχηματιστή

Ο **λόγος μετασχηματισμού** α ορίζεται ως ο λόγος των ελιγμάτων του πρωτεύοντος N_1 προς τον αριθμό ελιγμάτων του δευτερεύοντος N_2 :

$$\alpha = \frac{N_1}{N_2}$$

Ο λόγος μετασχηματισμού είναι μικρότερος ή μεγαλύτερος από τη μονάδα ανάλογα με το αν ο μετασχηματιστής υποβιβάζει ή ανυψώνει την τάση.

Ως πυρήνας του μετασχηματιστή χρησιμοποιείται ένα σιδηρομαγνητικό υλικό ή σίδηρος, ή και αέρας. Επειδή η μαγνητική διαπερατότητα του σιδήρου είναι πολύ υψηλότερη από του αέρα, χρησιμοποιούνται περισσότερο οι μετασχηματιστές με πυρήνα σιδήρου.

Ο **πυρήνας** κατασκευάζεται από δέσμη λεπτών ελασμάτων, πάχους 0,3-0,5 mm, ηλεκτρικώς μονωμένα μεταξύ τους με επιφανειακή μόνωση από ειδικό βερνίκι, με σκοπό τη μείωση των δινορρευμάτων που επάγονται στο σίδηρο. Με αυτό τον τρόπο μειώνονται και οι απώλειες λόγω δινορρευμάτων.

Τα **μαγνητικά ελάσματα** κόβονται σε σχήμα «πι» ή «διπλό πι» ή «γιώτα» και συνδέονται πολλά μαζί, το ένα δίπλα στο άλλο, σχηματίζοντας έτσι τους πυρήνες των μετασχηματιστών.

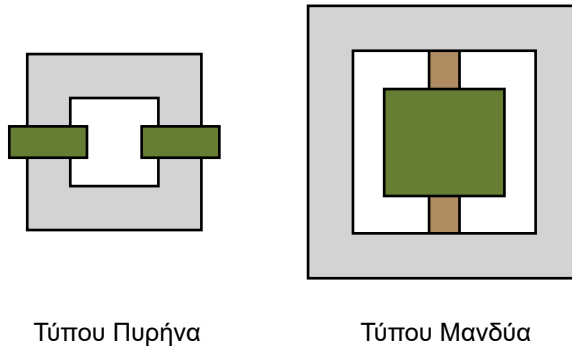
Τα δινορρεύματα ή ρεύματα Φουκώ (Foucault) είναι κυκλικά ρεύματα που επάγονται σε αγωγίμα (μεταλλικά) σώματα.

Τα ρεύματα αυτά προκαλούν τον ακουστικό θόρυβο του μετασχηματιστή.

Τα **τυλίγματα** κατασκευάζονται από μονωμένους χάλκινους αγωγούς, που τυλίγονται σε πολλές στρώσεις πάνω σε καλούπια και μετά συναρμολογούνται στους κορμούς.

Από κατασκευαστική άποψη διακρίνονται σε (Εικόνα 3.1):

- ♦ μετασχηματιστές τύπου πυρήνα και
- ♦ μετασχηματιστές τύπου μανδύα.



Εικόνα 3.1 Τοποθέτηση τυλιγμάτων μετασχηματιστών

Τα άκρα των τυλιγμάτων του πρωτεύοντος και του δευτερεύοντος καταλήγουν σε **ακροδέκτες** οι οποίοι στηρίζονται σε μία **βάση** από βακελίτη. Για κάθε ακροδέκτη χρησιμοποιείται ένα γράμμα ή και αριθμός:

- ♦ οι ακροδέκτες του πρωτεύοντος συμβολίζονται με U-V ή A-B ή H_1-H_2 ,
- ♦ οι ακροδέκτες του δευτερεύοντος συμβολίζονται με u-v ή a-b ή x_1-x_2 .

Η συσκευή του Σχήματος 3.1.1 είναι ένας **ιδανικός μετασχηματιστής** επειδή για αυτή θεωρείται ότι ισχύουν οι ακόλουθες απλοποιητικές παραδοχές:

- Οι ωμικές αντιστάσεις των δύο τυλιγμάτων, r_1 του πρωτεύοντος και r_2 του δευτερεύοντος, είναι αμελητέες.
- Οι απώλειες θερμότητας (Joule) των δύο τυλιγμάτων αμελούνται.
- Οι απώλειες του πυρήνα λόγω δινορρευμάτων αμελούνται.
- Η μαγνητική ροή Φ του πυρήνα εμπλέκει και τα δύο τυλίγματα και αμελείται η ποσότητα μαγνητικής ροής που διαφεύγει στον αέρα.

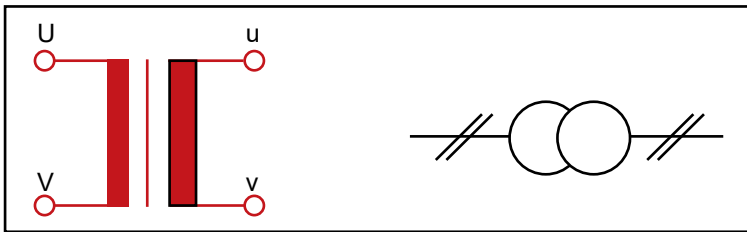
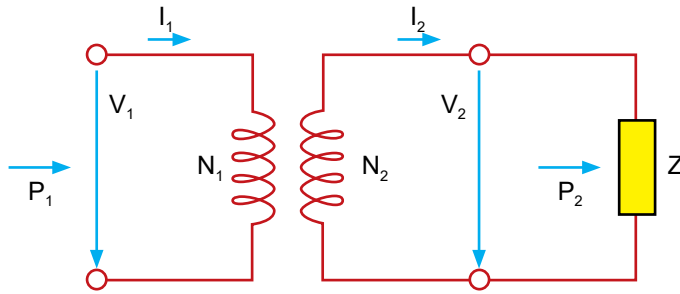
Η ισότητα της εισερχόμενης p_1 και της εξερχόμενης ισχύος p_2 του ιδανικού μετασχηματιστή εξηγείται δεδομένου ότι έχουν αμεληθεί όλες οι απώλειές του (οι απώλειες θερμότητας στις ωμικές αντιστάσεις και στον πυρήνα).

Ο λόγος των τάσεων του πρωτεύοντος και του δευτερεύοντος ισούται με το λόγο μετασχηματισμού α και ο λόγος των ρευμάτων ισούται με το αντίστροφο του λόγου μετασχηματισμού:

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{N_1}{N_2} = \alpha$$

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{N_2}{N_1} = \frac{1}{\alpha}$$

Το ηλεκτρικό κύκλωμα του ιδανικού μετασχηματιστή δίνεται στο Σχήμα 3.1.2. Στο δευτερεύον έχει συνδεθεί **το φορτίο Z** που τροφοδοτεί ο μετασχηματιστής. Το φορτίο μπορεί να είναι μία ωμική αντίσταση R, ή ένα πηνίο L, ή ένας πυκνωτής C, ή συνδυασμός των τριών στοιχείων αυτών, δηλαδή μια σύνθετη αντίσταση R-L-C.



Σχήμα 3.1.2 Το ηλεκτρικό κύκλωμα του ιδανικού μετασχηματιστή και συμβολισμοί

Στην πινακίδα του μετασχηματιστή αναγράφονται τα ονομαστικά μεγέθη, δηλαδή τα ηλεκτρικά μεγέθη κανονικής λειτουργίας, όπως τάση, ρεύμα, ισχύς, λόγος μετασχηματισμού.



ΠΡΟΣΟΧΗ

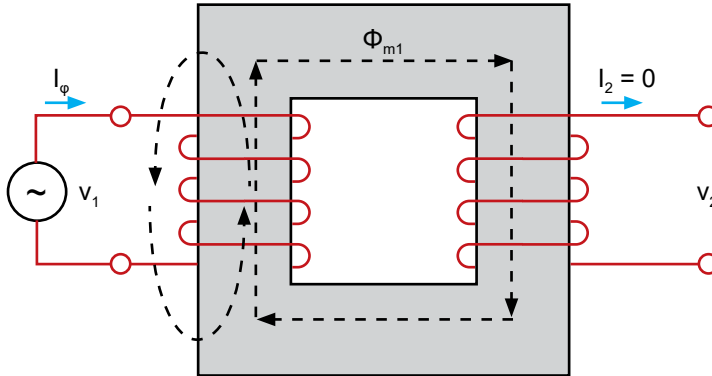
Στο συνεχές ρεύμα, ο μετασχηματιστής δεν μπορεί να λειτουργήσει και συμπεριφέρεται σαν ανοικτό κύκλωμα.

Ο πραγματικός μετασχηματιστής:

- Έχει ωμικές αντιστάσεις των δύο τυλιγμάτων, r_1 του πρωτεύοντος και r_2 του δευτερεύοντος.
- Έχει απώλειες θερμότητας (Joule) των δύο τυλιγμάτων.
- Έχει απώλειες του πυρήνα λόγω δινορρευμάτων.

Όταν ο μετασχηματιστής λειτουργεί χωρίς φορτίο στο δευτερεύον (με ανοικτό δευτερεύον), ενώ στο πρωτεύον έχει συνδεθεί η ονομαστική εναλ-

λασσόμενη τάση V_1 , το ρεύμα του δευτερεύοντος είναι μηδέν, $I_2 = 0$ (Σχήμα 3.1.3). Στην περίπτωση αυτή, το ρεύμα μόνιμης κατάστασης I_ϕ του πρωτεύοντος ονομάζεται **ρεύμα διέγερσης** και η τιμή του είναι στο 2 - 10% του ονομαστικού ρεύματος.



Σχήμα 3.1.3 Λειτουργία του μετασχηματιστή χωρίς φορτίο

Οι απώλειες του πυρήνα P_π αποτελούνται από:

- **Απώλειες δινορρευμάτων P_δ** , οι οποίες είναι ανάλογες του τετραγώνου της συχνότητας τροφοδοσίας και του τετραγώνου της μαγνητικής επαγωγής.
- **Απώλειες υστέρησης P_u** , οι οποίες είναι ανάλογες της συχνότητας τροφοδοσίας και της μαγνητικής επαγωγής.

Επομένως, οι απώλειες του πυρήνα P_π είναι το άθροισμα των απωλειών δινορρευμάτων και υστέρησης:

$$P_\pi = P_\delta + P_u$$

Επιπλέον, ο μετασχηματιστής έχει απώλειες θερμότητας (ή **απώλειες χαλκού**) στις αντιστάσεις των τυλιγμάτων.

Οι συνολικές απώλειες αποτελούνται από το άθροισμα των απωλειών του χαλκού και του πυρήνα. Όλες οι απώλειες προκαλούν την αύξηση της θερμοκρασίας του μετασχηματιστή και τη μείωση του βαθμού απόδοσης.

Ο **προσδιορισμός του λόγου του μετασχηματιστή α** γίνεται στο εργαστήριο με τη **δοκιμή ανοικτού δευτερεύοντος** (δοκιμή κενού φορτίου). Αφαιρείται το φορτίο του μετασχηματιστή και το πρωτεύον τροφοδοτείται

με την ονομαστική τάση V_1 , όπως στο Σχήμα 3.1.3. Με ένα πολύμετρο γίνεται μέτρηση της τάσης του πρωτεύοντος V_1 και του δευτερεύοντος V_2 . Ο λόγος των δύο τάσεων V_1 και V_2 δίνει το λόγο του μετασχηματισμού α .

$$\alpha = \frac{V_1}{V_2}$$

Όταν ο πραγματικός μετασχηματιστής συνδεθεί με φορτίο, τότε δεν ισχύει η σχέση των τάσεων εν κενώ, αλλά η τάση του δευτερεύοντος μειώνεται. Η μείωση αυτή της τάσης του δευτερεύοντος οφείλεται στην πτώση τάσης στο μετασχηματιστή.

Η εκατοστιαία πτώση τάσης του μετασχηματιστή (ΕΠΤ – voltage regulation) είναι η μεταβολή του επιπέδου της τάσης του δευτερεύοντος από το ονομαστικό φορτίο στο κενό φορτίο για σταθερή τάση του πρωτεύοντος. Η ΕΠΤ εκφράζεται ως κλάσμα ή επί τοις εκατό της τάσης του δευτερεύοντος.

$$\text{ΕΠΤ} = \frac{V_1 - V_2 \alpha}{V_2 \cdot \alpha} \cdot 100\%$$

Η πραγματική, η άεργη και η φαινόμενη ισχύς που απορροφά ο μετασχηματιστής από το δίκτυο και η πραγματική, η άεργη και η φαινόμενη ισχύς που τροφοδοτεί στο φορτίο δίνονται στον Πίνακα 3.1.

Πίνακας 3.1 Πραγματική, άεργη και φαινόμενη ισχύς του μετασχηματιστή

| | Απορροφούμενη από το δίκτυο | Τροφοδοτεί στην κατανάλωση | Σχέσεις μεταξύ τους |
|-------------------------|--|--|--|
| Πραγματική ισχύς | $P_1 = U_1 \cdot I_1 \cdot \text{συν}\varphi_1$ | $P_2 = U_2 \cdot I_2 \cdot \text{συν}\varphi_2$ | $P_1 = P_{1\varphi} \cdot \text{συν}\varphi_1$ $P_2 = P_{2\varphi} \cdot \text{συν}\varphi_2$ |
| Άεργη ισχύς | $P_{1\alpha} = U_1 \cdot I_1 \cdot \eta\mu\varphi_1$ | $P_{2\alpha} = U_2 \cdot I_2 \cdot \eta\mu\varphi_2$ | $P_{1\alpha} = P_{1\varphi} \cdot \eta\mu\varphi_1$ $P_{2\alpha} = P_{2\varphi} \cdot \eta\mu\varphi_2$ |
| Φαινόμενη ισχύς | $P_{1\varphi} = U_1 \cdot I_1$ | $P_{2\varphi} = U_2 \cdot I_2$ | $P_{1\varphi} = \sqrt{P_1^2 + P_{1\alpha}^2}$ $P_{2\varphi} = \sqrt{P_2^2 + P_{2\alpha}^2}$ |

Ο **βαθμός απόδοσης** του μετασχηματιστή η υπολογίζεται ως ο λόγος της ωφέλιμης ισχύος (ισχύς εξόδου) και της καταναλισκόμενης ισχύος (ισχύς εισόδου), σύμφωνα με οποιαδήποτε από τις ακόλουθες σχέσεις:

$$\eta = \frac{\text{ισχύς εξόδου}}{\text{ισχύς εισόδου}}$$

$$\eta = \frac{\text{ισχύς εξόδου}}{\text{ισχύς εξόδου} + \text{απώλειες}} = \frac{\text{ισχύς εισόδου} - \text{απώλειες}}{\text{ισχύς εισόδου}} = 1 - \frac{\text{απώλειες}}{\text{ισχύς εισόδου}}$$

$$\eta = \frac{V_2 \cdot I_2 \cdot \text{συν}\varphi_2}{V_2 \cdot I_2 \cdot \text{συν}\varphi_2 + P_\alpha + P_\pi}$$

όπου:

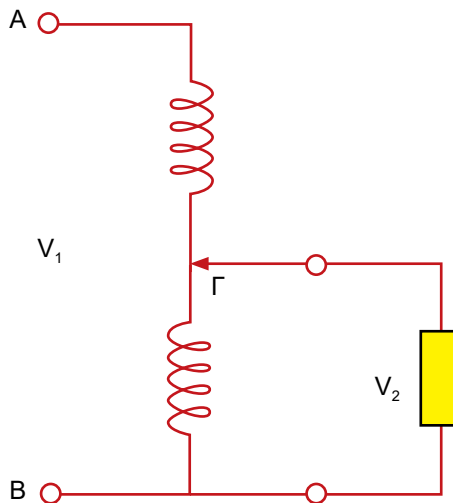
$$P_\alpha = r_1 \cdot I_1^2 + r_2 \cdot I_2^2$$

$$\text{απώλειες} = P_\alpha + P_\pi$$

και V_2 , I_2 , $\cos\phi_2$ είναι η τάση, το ρεύμα και ο συντελεστής ισχύος του δευτερεύοντος, I_1 είναι το ρεύμα του πρωτεύοντος, P_a οι απώλειες χαλκού, r_1 και r_2 είναι οι ωμικές αντιστάσεις των τυλιγμάτων του πρωτεύοντος και του δευτερεύοντος αντίστοιχα και P_π είναι οι απώλειες του πυρήνα.

3.2 Αυτομετασχηματιστής

Ένας μετασχηματιστής του οποίου τα δύο τυλίγματα συνδέονται σε σειρά ονομάζεται **αυτομετασχηματιστής** (Σχήμα 3.1.4). Επίσης, ο αυτομετασχηματιστής **μπορεί να κατασκευαστεί με ένα μόνο τύλιγμα**, το πρωτεύον και το δευτερεύον είναι ένα μέρος του πρωτεύοντος.



Σχήμα 3.1.4 Αυτομετασχηματιστής

Ο αυτομετασχηματιστής, σε σχέση με το μετασχηματιστή, έχει:

- Μειωμένη ένταση ρεύματος στο κοινό τμήμα του τυλιγματος.
- Αγωγούς μικρότερης διατομής.
- Χαμηλότερο κόστος κατασκευής, λόγω του ενός μόνο τυλιγματος και μικρότερης διατομής των αγωγών.
- Χαμηλότερες απώλειες.
- Υψηλότερο βαθμό απόδοσης.

Υπάρχουν αυτομετασχηματιστές οι οποίοι κατασκευάζονται με δυνατότητα μεταβολής της τάσης του δευτερεύοντος. Αν ο ακροδέκτης Γ του αυτομετασχηματιστή αντικατασταθεί με έναν κινητό ακροδέκτη (δρομέα), η τάση του δευτερεύοντος V_2 μπορεί να μεταβάλλεται από μηδέν μέχρι να εξισωθεί με την τάση του πρωτεύοντος. Η συσκευή αυτή ονομάζεται **ρυθμιζόμενος αυτομετασχηματιστής ή variac** (φωτό) και λειτουργεί ως μετασχηματιστής υποβιβασμού της τάσης: το πρωτεύον συνδέεται στην τάση του δικτύου (π.χ. 220 V) και η τάση του δευτερεύοντος είναι κλάσμα μικρότερο της μονάδας της τάσης του πρωτεύοντος.

Μετασχηματιστές χρησιμοποιούνται στις εγκαταστάσεις κλιματισμού **για τον υποβιβασμό της τάσης του δικτύου από 220 V στα 24 V**. Η τάση των 24 V τροφοδοτεί τους θερμοστάτες και τους μηχανισμούς ελέγχου της ροής του ψυκτικού μέσου.

3.3 Τριφασικοί μετασχηματιστές

Σχεδόν το σύνολο της χρησιμοποιούμενης ηλεκτρικής ενέργειας παράγεται από τριφασικές γεννήτριες και μεταφέρεται από τριφασικές γραμμές μεταφοράς. Οι μετασχηματιστές οι οποίοι χρησιμοποιούνται στις τριφασικές γραμμές μεταφοράς αποτελούνται είτε από τριφασικές συστοιχίες μονοφασικών μετασχηματιστών κατάλληλα συνδεδεμένες είτε από ολόσωμους τριφασικούς μετασχηματιστές.

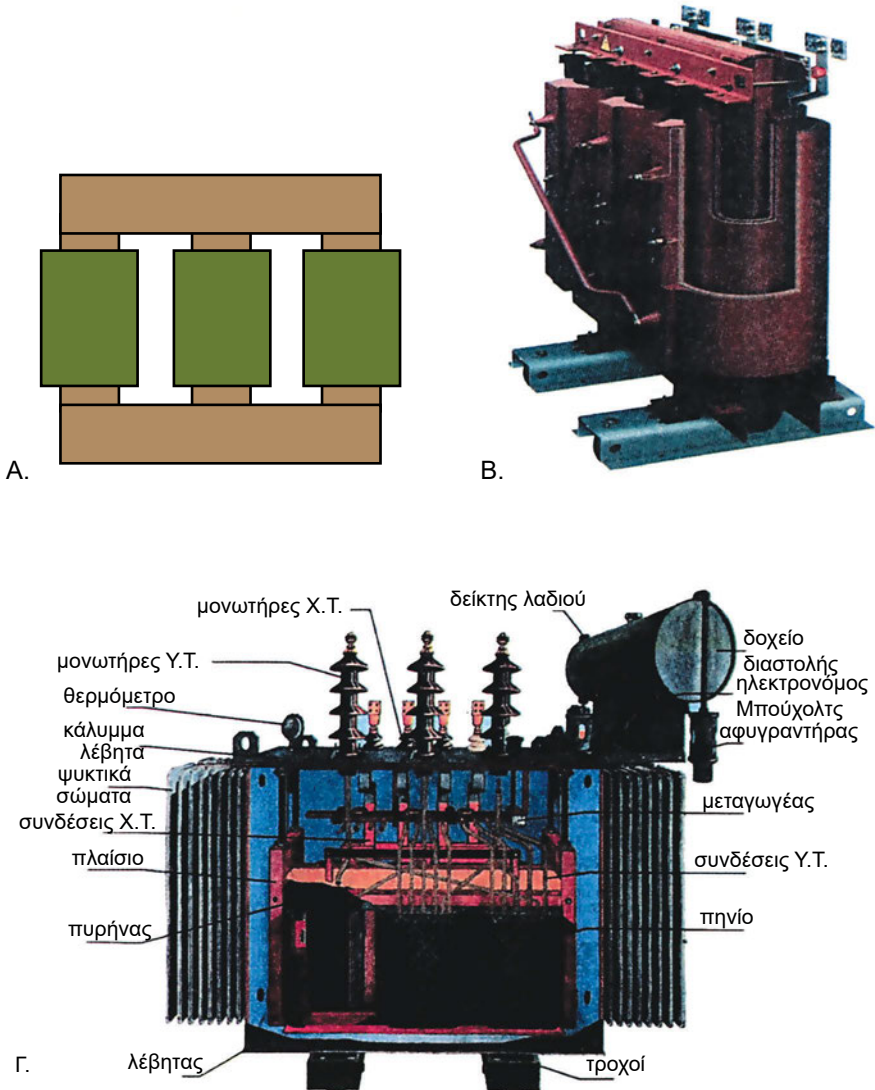
Οι πυρήνες των τριφασικών μετασχηματιστών έχουν την ίδια κατασκευή και τον ίδιο τρόπο συναρμολόγησης όπως με αυτόν των μονοφασικών μετασχηματιστών, με τη διαφορά ότι τα ελάσματα έχουν σχήμα «διπλού πι». **Τα τυλίγματα** των τριφασικών μετασχηματιστών είναι τοποθετημένα σε κοινό πυρήνα (Εικόνα 3.2).

Τα άκρα των τριών τυλιγμάτων του πρωτεύοντος και του δευτερεύοντος καταλήγουν σε **ακροδέκτες** οι οποίοι στηρίζονται σε μία **βάση** από βακελίτη. Για κάθε ακροδέκτη χρησιμοποιείται ένα γράμμα ή και αριθμός:

- ♦ Οι ακροδέκτες του πρωτεύοντος συμβολίζονται με **U-V-W** ή **A-B-C** ή **H₁-H₂-H₃**.
- ♦ Οι ακροδέκτες του δευτερεύοντος συμβολίζονται με **u-v-w** ή **a-b-c** ή **x₁-x₂-x₃**.
- ♦ Όταν υπάρχει ουδέτερος αγωγός, ο ουδέτερος κόμβος του πρωτεύ-

οντος συμβολίζεται με N , ή M_p ή H_o και ο ουδέτερος κόμβος του δευτερεύοντος συμβολίζεται με n , ή m_p , ή x_o .

Η πραγματική, η άεργη και η φαινόμενη ισχύς που απορροφά ο τριφασικός μετασχηματιστής από το δίκτυο και η πραγματική, η άεργη και η φαινόμενη ισχύς που τροφοδοτεί στο φορτίο δίνονται στον Πίνακα 3.2.



Εικόνα 3.2 Τριφασικός μετασχηματιστής:
Α. Σχηματική παράσταση, Β. Όψη και Γ. Τομή

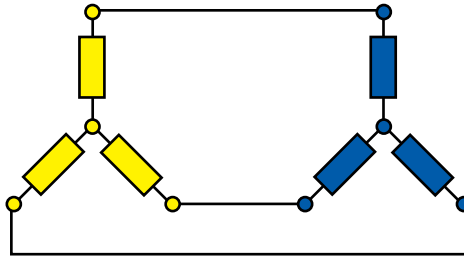
Πίνακας 3.2 Πραγματική, άεργη και φαινόμενη ισχύς του μετασχηματιστή

| | Απορροφούμενη από το δίκτυο | Τροφοδοτεί στην κατανάλωση | Σχέσεις μεταξύ τους |
|-------------------------|---|---|--|
| Πραγματική ισχύς | $P_1 = \sqrt{3} \cdot U_1 \cdot I_1 \cdot \cos\varphi$ | $P_2 = \sqrt{3} \cdot U_2 \cdot I_2 \cdot \cos\varphi_2$ | $P_1 = P_{1\varphi} \cdot \cos\varphi_1$ $P_2 = P_{2\varphi} \cdot \cos\varphi_2$ |
| Άεργη ισχύς | $P_{1\alpha} = \sqrt{3} \cdot U_1 \cdot I_1 \cdot \eta\mu\varphi_1$ | $P_{2\alpha} = \sqrt{3} \cdot U_2 \cdot I_2 \cdot \eta\mu\varphi_2$ | $P_{1\alpha} = P_{1\varphi} \cdot \eta\mu\varphi_1$ $P_{2\alpha} = P_{2\varphi} \cdot \eta\mu\varphi_2$ |
| Φαινόμενη ισχύς | $P_{1\varphi} = \sqrt{3} \cdot U_1 \cdot I_1$ | $P_{2\varphi} = \sqrt{3} \cdot U_2 \cdot I_2$ | $P_{1\varphi} = \sqrt{P_1^2 + P_{1\alpha}^2}$ $P_{2\varphi} = \sqrt{P_2^2 + P_{2\alpha}^2}$ |

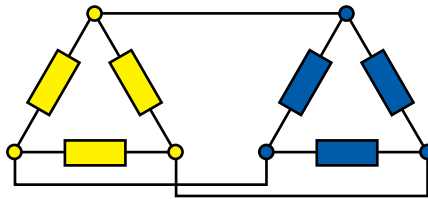
Τα προβλήματα που προκύπτουν από τις συνδέσεις των τριφασικών μετασχηματιστών αφορούν τις σχέσεις τάσεων, ρευμάτων, σύνθετων αντιστάσεων και ονομαστικής ισχύος των μετασχηματιστών. Οι συνθήκες που πρέπει να υπάρχουν όταν γίνονται οι συνδέσεις αυτές είναι:

- Όταν τρεις μονοφασικοί μετασχηματιστές συνδέονται τριφασικά, πρέπει να είναι όμοιοι.
- Οι συνθήκες τροφοδότησης και φόρτισής τους πρέπει να είναι συμμετρικές.
- Εφόσον οι διατάξεις είναι συμμετρικές, οι τρεις φάσεις έχουν την ίδια συμπεριφορά (ίδια τάση, ίδιο ρεύμα κ.λπ.). Η μόνη διαφορά που υπάρχει είναι η διαφορά φάσεων κατά 120° στις τάσεις και ρεύματα.
- Το φορτίο πρέπει να είναι τριφασικό και συμμετρικό, συνεπώς ο κάθε μονοφασικός μετασχηματιστής θα παρέχει το 1/3 του τριφασικού φορτίου.
- Η ακολουθία των φάσεων για το πρωτεύον και το δευτερεύον πρέπει να είναι η ίδια: ABC - abc.

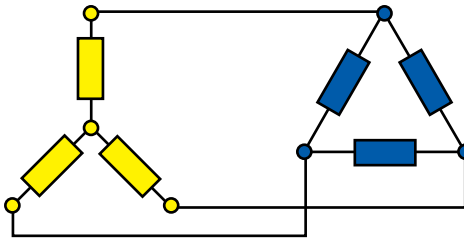
Υπάρχουν τέσσερις συμμετρικές συνδέσεις των τριφασικών μετασχηματιστών: αστέρας-αστέρας Υ-Υ (Σχήμα 3.2.1), τρίγωνο-τρίγωνο Δ-Δ (Σχήμα 3.2.2), αστέρας-τρίγωνο Υ-Δ (Σχήμα 3.2.3) και τρίγωνο-αστέρας Δ-Υ (Σχήμα 3.2.4).



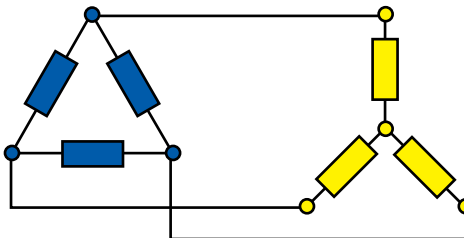
Σχήμα 3.2.1 Σύνδεση Υ-Υ



Σχήμα 3.2.2 Σύνδεση Δ-Δ



Σχήμα 3.2.3 Σύνδεση Υ-Δ



Σχήμα 3.2.4 Σύνδεση Δ-Υ



ΑΝΑΚΕΦΑΛΑΙΩΣΗ

- Με τη χρήση του μετασχηματιστή εξυπηρετείται κυρίως η μεταφορά και η χρήση της ηλεκτρικής ενέργειας.
- Ο μετασχηματιστής είναι μια συσκευή μετατροπής του επιπέδου της ηλεκτρικής εναλλασσόμενης τάσης (από μία τιμή σε άλλη τιμή της τάσης).
- Η αρχή λειτουργίας των μετασχηματιστών είναι ότι η ίδια ποσότητα ηλεκτρικής ισχύος που εισέρχεται στο μετασχηματιστή εξέρχεται από αυτόν, όμως με αλλαγμένο το επίπεδο της τάσης.
- Ένας μονοφασικός μετασχηματιστής αποτελείται από δύο τυλίγματα ηλεκτρικά ανεξάρτητα, όμως συνεζευγμένα μέσω ενός αμοιβαίου μαγνητικού πεδίου. Το τύλιγμα 1 με N_1 ελίγματα ονομάζεται πρωτεύον και το τύλιγμα 2 με N_2 ελίγματα ονομάζεται δευτερεύον.
- Το πρωτεύον είναι η είσοδος της ηλεκτρικής ισχύος και το δευτερεύον είναι η έξοδος της.
- Ο λόγος μετασχηματισμού α ορίζεται ως ο λόγος των ελιγμάτων του πρωτεύοντος N_1 προς τον αριθμό ελιγμάτων του δευτερεύοντος N_2 και είναι μικρότερος ή μεγαλύτερος από τη μονάδα, ανάλογα με το αν ο μετασχηματιστής υποβιβάζει ή ανυψώνει την τάση:

$$\alpha = \frac{N_1}{N_2}$$

- Στο συνεχές ρεύμα, ο μετασχηματιστής δεν μπορεί να λειτουργήσει και συμπεριφέρεται σαν ανοικτό κύκλωμα.
- Ο λόγος των τάσεων του πρωτεύοντος και του δευτερεύοντος ισούται με το λόγο μετασχηματισμού α :

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{N_1}{N_2} = \alpha$$

- Ο λόγος των ρευμάτων του πρωτεύοντος και του δευτερεύοντος ισούται με το αντίστροφο του λόγου μετασχηματισμού:

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{N_2}{N_1} = \frac{1}{\alpha}$$

- Το φορτίο μπορεί να είναι μία ωμική αντίσταση R, ή ένα πηνίο L, ή ένας πυκνωτής C, ή μια σύνθετη αντίσταση R-L-C.
- Όταν στο πρωτεύον συνδέεται η ονομαστική τάση χωρίς φορτίο στο δευτερεύον, το ρεύμα του δευτερεύοντος είναι μηδέν, ενώ το ρεύμα του πρωτεύοντος (το ρεύμα διέγερσης) είναι στο 2-10% του ονομαστικού ρεύματος.
- Οι συνολικές απώλειες αποτελούνται από το άθροισμα των απωλειών του χαλκού και του πυρήνα και προκαλούν την ανύψωση της θερμοκρασίας του μετασχηματιστή και τη μείωση του βαθμού απόδοσης.
- Η εκατοστιαία πτώση τάσης του μετασχηματιστή (ΕΠΤ – voltage regulation) για ονομαστικό φορτίο είναι η μεταβολή του επιπέδου της τάσης του δευτερεύοντος όταν το φορτίο αφαιρείται και η τάση του πρωτεύοντος διατηρείται σταθερή.

$$\text{ΕΠΤ} = \frac{V_1 - V_2 \alpha}{V_2 \cdot \alpha} \cdot 100\%$$

- Ο βαθμός απόδοσης του μετασχηματιστή (η) είναι ο λόγος της ωφέλιμης ισχύος (ισχύς εξόδου) και της καταναλισκόμενης ισχύος (ισχύς εισόδου):

$$\eta = \frac{\text{ισχύς εξόδου}}{\text{ισχύς εισόδου}} = \frac{\text{ισχύς εξόδου}}{\text{ισχύς εξόδου} + \text{απώλειες}}$$

$$\eta = \frac{V_2 \cdot I_2 \cdot \cos\theta_2}{V_2 \cdot I_2 \cdot \cos\theta_2 + (r_1 \cdot I_1^2 + r_2 \cdot I_2^2) + P_{\pi}}$$

όπου: V_2 , I_2 , $\cos\theta_2$ είναι η τάση, το ρεύμα και ο συντελεστής ισχύος του δευτερεύοντος, I_1 είναι το ρεύμα του πρωτεύοντος, r_1 και r_2 είναι οι ωμικές αντιστάσεις των τυλιγμάτων του πρωτεύοντος και του δευτερεύοντος αντίστοιχα και P_{π} είναι οι απώλειες του πυρήνα.

- Ο αυτομετασχηματιστής είναι ένας μετασχηματιστής του οποίου τα δύο τυλίγματα συνδέονται σε σειρά.

- Ο αυτομετασχηματιστής με περιστρεφόμενο δρομέα ονομάζεται **variatic** και λειτουργεί ως μετασχηματιστής υποβιβασμού της τάσης: το πρωτεύον συνδέεται στην τάση του δικτύου και η τάση του δευτερεύοντος είναι κλάσμα μικρότερο της μονάδας της τάσης του πρωτεύοντος.
- Μετασχηματιστές χρησιμοποιούνται στις εγκαταστάσεις κλιματισμού για τον υποβιβασμό της τάσης του δικτύου από 220 V στα 24 V. Η τάση των 24 V τροφοδοτεί τους θερμοστάτες και τους μηχανισμούς ελέγχου της ροής του ψυκτικού μέσου.
- Οι τριφασικοί μετασχηματιστές αποτελούνται είτε από τριφασικές συστοιχίες μονοφασικών μετασχηματιστών κατάλληλα συνδεδεμένες, είτε από ολόσωμους τριφασικούς μετασχηματιστές, στους οποίους τα μαγνητικά κυκλώματα των τριών φάσεων είναι αλληλοσυνδεδεμένα.
- Υπάρχουν τέσσερις συμμετρικές συνδέσεις των τριφασικών μετασχηματιστών: αστέρας-αστέρας Y-Y, τρίγωνο-τρίγωνο Δ-Δ, αστέρας-τρίγωνο Y-Δ και τρίγωνο-αστέρας Δ-Y.

**ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ ΚΑΙ ΑΣΚΗΣΕΙΣ**

1. Γιατί χρησιμοποιούνται μετασχηματιστές και ποιες είναι οι εφαρμογές τους;
2. Τι είναι ο μετασχηματιστής;
3. Ποια είναι η αρχή λειτουργίας του;
4. Ποια είναι τα κατασκευαστικά μέρη του μονοφασικού μετασχηματιστή;
5. Τι είναι ο λόγος μετασχηματισμού;
6. Πώς γίνεται ο προσδιορισμός του λόγου του μετασχηματιστή στο εργαστήριο;
7. Πώς λειτουργεί ο μετασχηματιστής στο συνεχές ρεύμα;
8. Ποιες είναι οι βασικές σχέσεις μεταξύ λόγου μετασχηματισμού, τάσεων και ρευμάτων;
9. Ποιο ηλεκτρικό κύκλωμα μπορεί να είναι φορτίο του μετασχηματιστή;
10. Τι είναι ο βαθμός απόδοσης του μετασχηματιστή και πώς υπολογίζεται;
11. Τι είναι ο αυτομετασχηματιστής;
12. Πού χρησιμοποιούνται τριφασικοί μετασχηματιστές;
13. Από τι αποτελείται ένας τριφασικός μετασχηματιστής;
14. Ποιες είναι οι συνδέσεις των τριφασικών μετασχηματιστών;
15. Ποια είναι η χρήση μετασχηματιστών στις εγκαταστάσεις κλιματισμού;

ΗΛΕΚΤΡΙΚΕΣ ΜΗΧΑΝΕΣ

- 4.1 ΔΟΜΗ ΚΑΙ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΗΛΕΚΤΡΟΚΙΝΗΤΗΡΩΝ
- 4.2 ΤΡΙΦΑΣΙΚΟΙ ΚΙΝΗΤΗΡΕΣ ΕΠΑΓΩΓΗΣ
- 4.3 ΜΟΝΟΦΑΣΙΚΟΙ ΚΙΝΗΤΗΡΕΣ ΕΠΑΓΩΓΗΣ
- 4.4 ΕΚΚΙΝΗΣΗ ΗΛΕΚΤΡΟΚΙΝΗΤΗΡΩΝ
- 4.5 ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΗΛΕΚΤΡΟΚΙΝΗΤΗΡΩΝ
- 4.6 ΨΥΞΗ ΗΛΕΚΤΡΟΚΙΝΗΤΗΡΩΝ
- 4.7 ΧΡΗΣΗ ΗΛΕΚΤΡΟΚΙΝΗΤΗΡΩΝ
ΣΤΙΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ ΨΥΞΗΣ ΚΑΙ ΚΛΙΜΑΤΙΣΜΟΥ
ΑΝΑΚΕΦΑΛΑΙΩΣΗ
ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ



ΕΠΙΔΙΩΚΟΜΕΝΟΙ ΣΤΟΧΟΙ

Μετά την ολοκλήρωση του κεφαλαίου αυτού, οι μαθητές θα πρέπει να γνωρίζουν:

- ✓ Τις αρχές λειτουργίας των ηλεκτροκινητήρων.
- ✓ Τα διάφορα είδη ηλεκτροκινητήρων, τα βασικά τεχνικά χαρακτηριστικά και τις κυριότερες εφαρμογές τους σε συστήματα ψύξης, κλιματισμού και αερισμού.
- ✓ Να περιγράφουν τα μέρη του ηλεκτροκινητήρα.
- ✓ Τη ροπή εκκίνησης και τι την επηρεάζει.
- ✓ Την προσφορά του πυκνωτή εκκίνησης και λειτουργίας.
- ✓ Να αναφέρουν τα χαρακτηριστικά του ηλεκτρικού ρεύματος τροφοδοσίας του κινητήρα (συχνότητα, τάση, ένταση).
- ✓ Να διαπιστώσουν το κατάλληλο ρεύμα και τάση τροφοδοσίας των ηλεκτροκινητήρων συγκρίνοντας την πινακίδα με τις μετρήσεις τροφοδοσίας.
- ✓ Τη λειτουργία και τη δομή του ρελέ τάσης και έντασης.
- ✓ Πώς πραγματοποιείται η ψύξη των ηλεκτροκινητήρων.
- ✓ Να συνδέουν και να ελέγχουν τις συνδέσεις των ηλεκτρικών εξαρτημάτων που σχετίζονται με τους ηλεκτροκινητήρες.
- ✓ Τη δομή και λειτουργία των συνηθέστερων ασφαλιστικών διατάξεων προστασίας των κινητήρων για τον έλεγχο υπερφόρτισης ή θερμοκρασίας.
- ✓ Να περιγράφουν τους διάφορους τύπους και τα τεχνικά χαρακτηριστικά των ηλεκτροκινητήρων που χρησιμοποιούνται στους συμπιεστές.

4.1 Δομή και λειτουργία ηλεκτροκινητήρων

4.1.1 Εισαγωγή

Οι ηλεκτροκινητήρες εξασφαλίζουν την ισχύ κίνησης για ένα μεγάλο μέρος της σύγχρονης βιομηχανίας, το οποίο συνεχώς αυξάνεται. Επίσης, με την πάροδο του χρόνου, βλέπουμε στα σπίτια, στα γραφεία και στα εργαστήρια όλο και περισσότερους ηλεκτροκινητήρες. Ο σύγχρονος τρόπος ζωής βασίζεται στη χρησιμοποίηση μεγάλου αριθμού κινητήρων.

Γενικά, υπάρχουν τρεις μεγάλες κατηγορίες ηλεκτρικών κινητήρων:

- 1. Κινητήρες εναλλασσόμενου ρεύματος (ΕΡ)**, οι οποίοι τροφοδοτούνται από το μονοφασικό ή το τριφασικό δίκτυο εναλλασσόμενης τάσης με συχνότητα 50 Hz. Αποτελούν την κατηγορία κινητήρων που λειτουργούν στο μεγαλύτερο μέρος των οικιακών συσκευών και των βιομηχανικών εγκαταστάσεων.
- 2. Κινητήρες συνεχούς ρεύματος (ΣΡ)**, οι οποίοι έχουν δύο ακροδέκτες που συνδέονται στους ακροδέκτες μιας μπαταρίας, ή τροφοδοτούνται με συνεχή τάση η οποία προκύπτει από ανόρθωση της εναλλασσόμενης. Από κατασκευαστική άποψη, χαρακτηριστική είναι η ύπαρξη του συλλέκτη και των ψηκτρών.
- 3. Κινητήρες ακρίβειας**, οι οποίοι τροφοδοτούνται από ηλεκτρονικά κυκλώματα. Οι πιο γνωστοί είναι οι βηματικοί κινητήρες για εφαρμογές ελέγχου θέσης και οι σερβοκινητήρες για εφαρμογές ελέγχου της ταχύτητας.

Η προτίμηση των ηλεκτροκινητήρων οφείλεται στα **πλεονεκτήματά** τους σε σχέση με άλλα συστήματα κίνησης (μηχανικά, υδραυλικά, εσωτερικής καύσεως συμβατικών καυσίμων κτλ.):

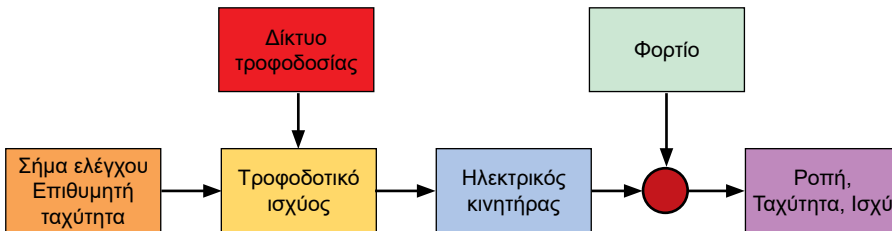
- Ηλεκτροκινητήρες υπάρχουν για ευρεία περιοχή ισχύος: από ισχύ μικρότερη του 1 W (τα ηλεκτρονικά ρολόγια) μέχρι ισχύ μεγαλύτερη των 100 MW (οι φυγοκεντρικές αντλίες σε υδροηλεκτρικούς σταθμούς).
- Οι ηλεκτροκινητήρες προσφέρουν **ευρεία περιοχή ταχυτήτων**: από μηδέν μέχρι 100.000 ΣΑΛ (φυγοκεντρικές αντλίες), και **ευρεία περιοχή ροπών**: από μηδέν μέχρι 1.000.000 Nm (μύλους τσιμέντου).

- Προσαρμόζονται σε **διάφορες λειτουργικές καταστάσεις**, όπως: σε κλειστά, χωρίς αερισμό, σε υγρά, σε εκρηκτικά και σε ραδιενεργά περιβάλλοντα. Επίσης δεν χρειάζονται καύσιμα, δεν εκπέμπουν καυσαέρια και ο θόρυβος που δημιουργούν είναι χαμηλότερος από άλλων κινητήρων.
- Οι ηλεκτροκινητήρες μπορούν να φορτιστούν αμέσως, δεν χρειάζονται προθέρμανση, έχουν χαμηλές απώλειες, υψηλή απόδοση και έχουν τη δυνατότητα προσωρινής υπερφόρτισης.
- Οι ηλεκτροκινητήρες είναι ελεγχόμενοι, οι χαρακτηριστικές μόνιμης κατάστασης μπορούν να αλλάζουν εάν χρειάζεται, και έχουν καλή δυναμική επίδοση η οποία επιτυγχάνεται με ηλεκτρονικό έλεγχο.

Βέβαια, οι ηλεκτροκινητήρες παρουσιάζουν και **μειονεκτήματα**, όπως:

- Η εξάρτηση από την **ηλεκτρική πηγή τροφοδότησης** δημιουργεί δυσκολίες προ παντός στα ηλεκτρικά οχήματα. Έτσι, μία πηγή ηλεκτρικής ενέργειας πρέπει να βρίσκεται πάντα μέσα στο όχημα.
- Η **ανάγκη ψύξης** είναι η αιτία για την οποία έχουν χαμηλότερο λόγο ισχύος προς βάρος μηχανής από τα υδραυλικά συστήματα κίνησης. Αυτό είναι σημαντικό στα αεροπλάνα.

Ένας ελεγχόμενος ηλεκτροκινητήρας χρειάζεται ένα **τροφοδοτικό ισχύος** (Σχήμα 4.1.1).



Σχήμα 4.1.1 Διάγραμμα του ελεγχόμενου ηλεκτροκινητήρα

1. Το τροφοδοτικό ισχύος παρεμβάλλεται μεταξύ του κινητήρα και του δικτύου. Ο ρόλος του είναι να μετατρέψει την τάση και τη συχνότητα του δικτύου σε τάση και συχνότητα κατάλληλες για τον κινητήρα και την επιθυμητή ρύθμιση. Παραδείγματα τροφοδοτικών ισχύος είναι ο ανορθωτής – rectifier, ο αντιστροφέας – inverter, ο μετατροπέας συχνότητας – cycloconverter, ο ρυθμιστής τάσεως – voltage regulator, ο καταμητής – chopper κ.ά.

2. Υπάρχουν πολλά είδη **μηχανικών φορτίων**, όπως συμπιεστές, αντλίες κ.λπ.
3. Το **σήμα ελέγχου** ρυθμίζει τον κινητήρα. Εισάγει τις επιθυμητές τιμές της ταχύτητας και οδηγεί το τροφοδοτικό ισχύος ώστε να παράγει στην έξοδο του επιθυμητή κυματομορφή τάσης και να ελέγξει με τον τρόπο αυτό τον κινητήρα.

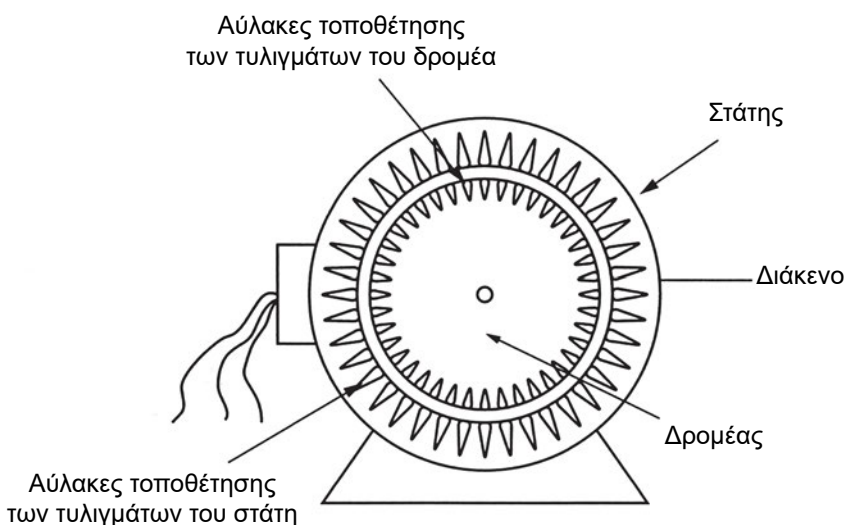
4.1.2 Αρχές λειτουργίας

Η **ηλεκτρομηχανική μετατροπή ενέργειας** βασίζεται στην αρχή διατήρησης της ενέργειας, δηλαδή ότι η ενέργεια ούτε δημιουργείται ούτε καταστρέφεται, αλλά απλώς μεταβάλλει μορφή. **Οι ηλεκτρικές μηχανές** είναι συσκευές οι οποίες εκτελούν **ηλεκτρομηχανική μετατροπή ενέργειας**.

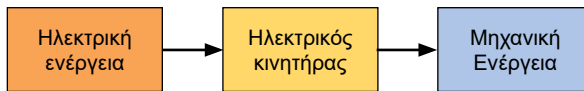
Ένας **ηλεκτρικός κινητήρας** είναι η συσκευή η οποία μετατρέπει την ηλεκτρική ενέργεια σε μηχανική ενέργεια (Σχήμα 4.1.2).

Όλες οι ηλεκτρικές μηχανές αποτελούνται από:

- ένα σταθερό μέρος (**στάτης**), το οποίο έχει έναν πυρήνα και τύλιγμα,
- ένα στρεφόμενο μέλος (**δρομέας**), το οποίο έχει πυρήνα και τύλιγμα,
- ένα **διάκενο αέρος**, απαραίτητο για τη σχετική κίνηση μεταξύ του στάτη και του δρομέα, και
- συνδέσεις τυλιγμάτων του δρομέα μέσω **συλλέκτη ή ψηκτρών ή δακτυλίων ολίσθησης**.



Εικόνα 4.1 Τα βασικά μέρη μιας ηλεκτρικής μηχανής



Σχήμα 4.1.2 Μετατροπή ενέργειας στον ηλεκτρικό κινητήρα

Κάθε ηλεκτρική μηχανή μπορεί να λειτουργήσει ως κινητήρας ή ως γεννήτρια:

♦ **Ως γεννήτρια**, η μηχανή τροφοδοτείται από μηχανική ισχύ στον άξονα και παράγει ηλεκτρική ισχύ στους ακροδέκτες των τυλιγμάτων. Η αρχή λειτουργίας της γεννήτριας παρουσιάστηκε περιληπτικά στο Σχήμα 2.3.2 του Κεφαλαίου 2. Τάσεις αναπτύσσονται στα τυλίγματα ηλεκτρικών μηχανών όταν:

- Υπάρχει μηχανική κίνηση περιστροφής των τυλιγμάτων μέσα σε σταθερό μαγνητικό πεδίο.
- Ένα μαγνητικό πεδίο περιστρέφεται γύρω από ένα σταθερό τύλιγμα.
- Η μαγνητική αντίσταση του μαγνητικού κυκλώματος μεταβάλλεται με την περιστροφή του δρομέα.

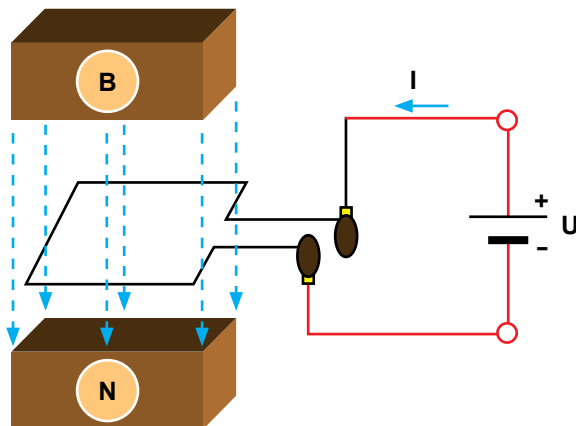
♦ **Ως κινητήρας**, ο δρομέας κινείται και αποδίδει μηχανικό έργο, ενώ ηλεκτρική ισχύς τροφοδοτείται για τη συντήρηση της κίνησης. Στο Σχήμα 4.1.3 παρουσιάζεται συνοπτικά η αρχή λειτουργίας του κινητήρα. Μεταξύ των δύο μαγνητικών πόλων, βόρειου Β και νότιου Ν, παράγεται ομογενές μαγνητικό πεδίο. Αν συνδέσουμε το κάθε άκρο ενός ορθογώνιου μεταλλικού βρόχου με έναν ημικυκλικό μεταλλικό τομέα πάνω στον οποίο ολισθαίνει μία ψήκτρα συνδεδεμένη με καλώδιο σε ακροδέκτη και τροφοδοτήσουμε ηλεκτρική τάση σ' αυτόν, τότε ο βρόχος θα αρχίσει να περιστρέφεται.

Τα τυλίγματα των ηλεκτρικών μηχανών είναι δύο ειδών:

- **τύλιγμα διέγερσης ή πεδίου (field)**, το οποίο παράγει την κύρια μαγνητική ροή,
- **τύλιγμα τυμπάνου ή οπλισμού (armature)**, το οποίο αποτελείται από ομάδες πηνίων καταλλήλως συνδεδεμένων ώστε να παράγουν το επιθυμητό αποτέλεσμα (δηλαδή δημιουργία ροπής στον κινητήρα ή ηλεκτρικής τάσης στη γεννήτρια).

Τα πηνία τοποθετούνται σε ομοιόμορφα διανεμημένες αύλακες πάνω στο στάτη και στο δρομέα. Τα τυλίγματα του τυμπάνου είναι διανεμημένα

σε αύλακες γύρω από την περιφέρεια του διάκενου. Οι ομάδες πηνίων συνδέονται σε σειρά ή παράλληλα. Στις τριφασικές μηχανές τα πηνία κάθε φάσης συνδέονται σε αστέρα ή σε τρίγωνο.



Σχήμα 4.1.3 Μεταλλικός βρόχος ανάμεσα στο βόρειο πόλο B και το νότιο πόλο N μόνιμου μαγνήτη τροφοδοτείται με συνεχή τάση μέσω των δύο ψηκτρών και αρχίζει να περιστρέφεται.

Στις περιπτώσεις που το μαγνητικό πεδίο δημιουργείται από περισσότερους μαγνήτες, π.χ. δύο μαγνήτες, ή δύο ζευγάρια πόλων, ή τέσσερις πόλους, τότε αντιστοιχεί μία περίοδος σε μισή στροφή και η μηχανή ονομάζεται **τετραπολική**. Αν το μαγνητικό πεδίο δημιουργείται από τρεις μαγνήτες, ή τρία ζευγάρια πόλων, ή έξι πόλους, τότε αντιστοιχεί μία περίοδος σε $1/3$ περιστροφής του βρόχου κ.λπ., και η μηχανή ονομάζεται **εξαπολική**.

4.1.3 Ονομαστικά μεγέθη ηλεκτρικών μηχανών

Τα ονομαστικά μεγέθη των ηλεκτρικών μηχανών είναι το σύνολο τιμών των χαρακτηριστικών ηλεκτρικών και μηχανικών μεγεθών (τάση, ρεύμα, ηλεκτρική ή μηχανική ισχύς, ταχύτητα περιστροφής, συντελεστής ισχύος), τα οποία αντιστοιχούν στην «κανονική» ή «ονομαστική» λειτουργία των συσκευών αυτών. Κάθε ηλεκτρική μηχανή μπορεί να λειτουργήσει για μεγάλο χρονικό διάστημα με τα ονομαστικά μεγέθη, χωρίς να υπερθερμαίνεται, χωρίς να υπερφορτίζεται και χωρίς να καταστραφεί.

Ο κάθε κατασκευαστής έχει την υποχρέωση να αναγράφει όλα τα ονομαστικά μεγέθη στην πινακίδα κάθε ηλεκτρικής μηχανής (Σχήμα 4.1.4). Οι περισσότεροι ηλεκτροκινητήρες έχουν δυνατότητα **υπερφόρτισης**, δηλα-

δή μπορούν να λειτουργήσουν με υψηλότερο ρεύμα από το ονομαστικό, για σύντομο όμως χρονικό διάστημα.

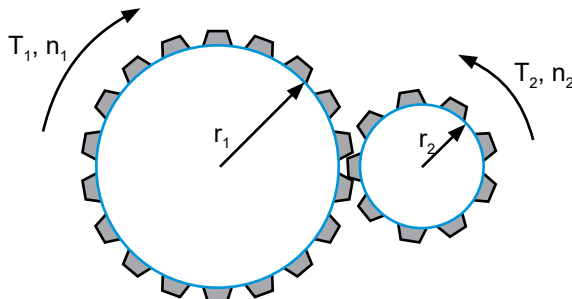
| | | |
|-----------|-------|----------|
| 3~ Mot | | |
| Y 380 V | 4,5 A | |
| 1,5 kW | S1 | cosφ 0,8 |
| 1435 /min | 50Hz | |
| | IP 44 | 10 kg |
| VDE 0530 | | |

Σχήμα 4.1.4 Πινακίδα τριφασικού επαγωγικού κινητήρα. Οι ενδείξεις της πινακίδας διαβάζονται ως εξής: τριφασικός κινητήρας, σε σύνδεση αστέρα, η τροφοδοσία γίνεται με τάση 380 V και συχνότητα 50 Hz, το ονομαστικό ρεύμα είναι 4,5 A, η ονομαστική ισχύς είναι 1,5 kW, η ονομαστική ταχύτητα είναι 1435 ΣΑΛ, ο συντελεστής ισχύος cosφ είναι 0,8 και το βάρος του κινητήρα είναι 10 kg

4.1.4 Συστήματα μετάδοσης κίνησης

Στους μεγαλύτερης ισχύος ηλεκτροκινητήρες η μετάδοση της κίνησης γίνεται με ιμάντες ή αλυσίδες, ή γρανάζια. Στους ηλεκτροκινητήρες χαμηλής ισχύος η μετάδοση κίνησης γίνεται με την απευθείας σύνδεση των αξόνων χρησιμοποιώντας ένα σταθερό κόμπλερ.

Στο Σχήμα 4.1.5 παρουσιάζονται δύο γρανάζια, όπου T_1 είναι η ροπή κίνησης, n_1 είναι η ταχύτητα περιστροφής και r_1 είναι η ακτίνα του κινούντος (αριστερού) οδοντωτού τροχού, ενώ T_2 είναι η ροπή, n_2 είναι η ταχύτητα περιστροφής και r_2 είναι η ακτίνα του κινούμενου (δεξιού) οδοντωτού τροχού.



Σχήμα 4.1.5 Μετάδοση κίνησης με δύο γρανάζια

Θεωρούμε ότι οι δύο τροχοί κινούνται συγχρόνως. Η ταχύτητα του δεξιού γραναζιού είναι αντίστροφα ανάλογη της ακτίνας του και δεν εξαρτάται από το μέγεθος των ροπών:

$$n_2 = \frac{r_1}{r_2} \cdot n_1$$

Π.Χ. ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 1

Η ταχύτητα του αριστερού οδοντωτού τροχού είναι $n_1 = 1450 \text{ r/min}$, η ακτίνα του είναι $r_1 = 10 \text{ cm}$ και η ακτίνα του δεξιού τροχού είναι $r_2 = 5 \text{ cm}$. Προκύπτει ότι η ταχύτητα του δεξιού οδοντωτού τροχού είναι:

$$n_2 = \frac{r_1}{r_2} \cdot n_1 = \frac{10 \text{ cm}}{5 \text{ cm}} \cdot 1450 \text{ r/min} = 2900 \text{ r/min}$$

4.2 Τριφασικοί κινητήρες επαγωγής

4.2.1 Κατασκευαστικά Στοιχεία

Στις βιομηχανικές εγκαταστάσεις ψύξης υπάρχουν τόσο τριφασικοί όσο και μονοφασικοί κινητήρες επαγωγής. Σε γενικές γραμμές, όλοι οι κινητήρες επαγωγής λειτουργούν με βάση την ίδια αρχή: τροφοδοτούνται στο στάτη από μία πηγή εναλλασσόμενης τάσης, και στο δρομέα, ο οποίος είναι ένα κλειστό κύκλωμα χωρίς πηγή τάσης, επάγονται ρεύματα.



Εικόνα 4.2 Τριφασικός κινητήρας επαγωγής

Μια ηλεκτρική μηχανή επαγωγής αποτελείται από ένα σταθερό μέρος, το στάτη, ο οποίος έχει στις αύλακές του ένα μονοφασικό, διφασικό ή τριφασικό τύλιγμα, και ένα στρεφόμενο μέρος, το δρομέα.



Στάτης



Δρομέας

Εικόνα 4.3 Στάτης και δρομέας του τριφασικού ηλεκτροκινητήρα επαγωγής

Έτσι, η μηχανή επαγωγής έχει εναλλασσόμενα ρεύματα, τόσο στο τύλιγμα του στάτη όσο και στο τύλιγμα του δρομέα. Το τύλιγμα του στάτη είναι τριφασικό και συμμετρικό στις τριφασικές μηχανές, ή μονοφασικό στις μονοφασικές μηχανές. Το τύλιγμα του δρομέα είναι ηλεκτρικώς κλειστό (βραχυκυκλωμένο) και τις περισσότερες φορές δεν έχει εξωτερικούς ακροδέκτες.

Όταν το τύλιγμα του στάτη του κινητήρα τροφοδοτείται από συμμετρική πηγή τάσης, δημιουργείται στο διάκενο ένα μαγνητικό πεδίο που στρέφεται με τη σύγχρονη ταχύτητα. Το **στρεφόμενο μαγνητικό πεδίο** του διακένου επάγει τάσεις στα τυλίγματα του δρομέα, ο οποίος αποτελείται από κλειστά κυκλώματα. Οι τάσεις αυτές έχουν ως αποτέλεσμα την εμφάνιση ρευμάτων στα τυλίγματα του δρομέα. Η αλληλεπίδραση των δύο μαγνητικών πεδίων του στάτη και του δρομέα παράγει τη ροπή του κινητήρα επαγωγής.

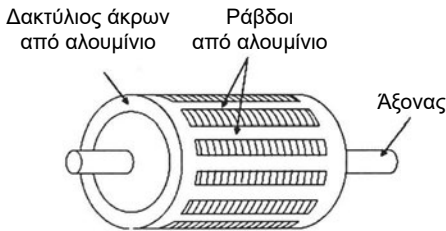
Ο πυρήνας του στάτη κατασκευάζεται από **ελάσματα χάλυβος** πάχους 0,3-0,6 mm, τα οποία είναι μονωμένα με επικάλυψη με βερνίκι ή με ένα οξειδίο. Τα ελάσματα συσφίγγονται με φλάντζες. Με όμοια ελάσματα κατασκευάζεται και το σώμα του δρομέα. Λόγω της χαμηλής συχνότητας στο ρεύμα του δρομέα μπορεί να χρησιμοποιηθούν παχύτερα ελάσματα χωρίς αύξηση των απωλειών σιδήρου.



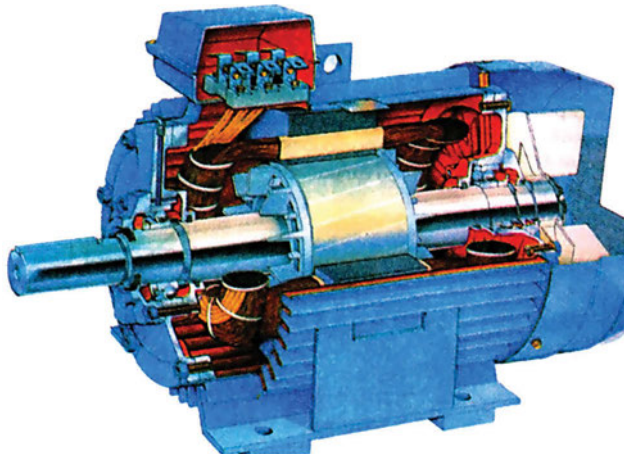
Εικόνα 4.4 Τα ελάσματα κατασκευής του δρομέα

Για όλες τις μηχανές επαγωγής κατασκευάζονται τρεις τύποι δρομέων: **με τύλιγμα κλωβού ή βραχυκυκλωμένους δρομέας, τυλιγμένους δρομέας με δακτυλίους και δρομέας χωρίς αύλακες**. Η συμβολική παράσταση των κινητήρων επαγωγής με τύλιγμα κλωβού παρουσιάζεται στο Σχήμα 4.2.1, με τυλιγμένο δρομέα στο Σχήμα 4.2.2 και χωρίς αύλακες στο Σχήμα 4.2.3.

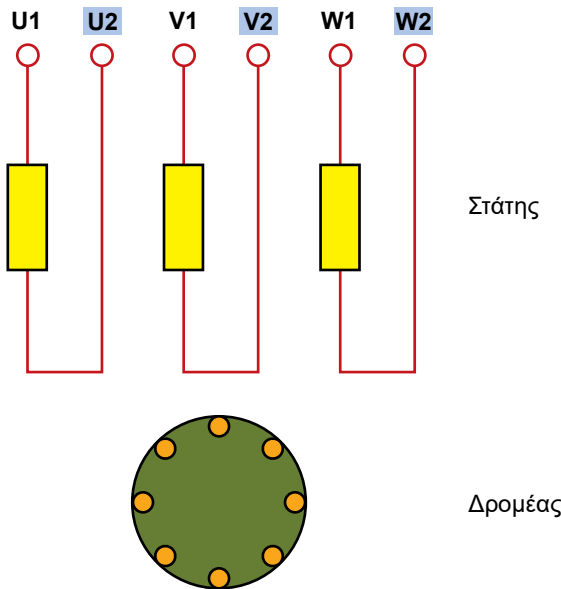
α. Το τύλιγμα κλωβού αποτελείται από αριθμό ράβδων από αλουμίνιο ή χαλκό κατά τη διεύθυνση της γενέτειρας ή με κάποια λοξότητα, οι οποίες βραχυκυκλώνονται στα δύο άκρα με δακτυλίους από το ίδιο υλικό (Σχήμα 4.2.1). Ο κλωβός από αλουμίνιο κατασκευάζεται με χύτευση. Ο κλωβός από χαλκό συντίθεται από ράβδους που είναι μονωμένοι και τους δακτυλίους. Το τύλιγμα κλωβού με S ράβδους μπορεί να θεωρηθεί σαν ένα τύλιγμα με S φάσεις, με μία ράβδο ανά φάση. Έτσι, οι S φάσεις συνδέονται σε αστέρα με τον ένα δακτύλιο, ενώ με τον άλλο δακτύλιο βραχυκυκλώνονται. Ένα τύλιγμα κλωβού μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε κινητήρα με οποιοδήποτε αριθμό πόλων.



Εικόνα 4.4 Δρομέας κλωβού

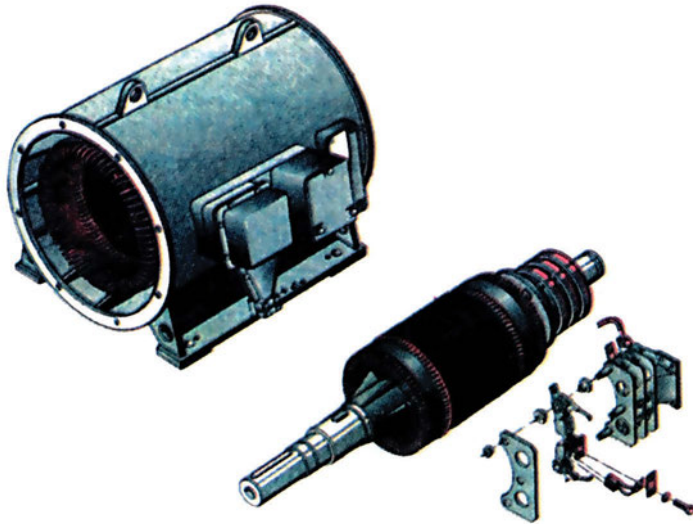


Εικόνα 4.5 Τριφασικός ηλεκτροκινητήρας επαγωγής με δρομέα κλωβού (τομή)

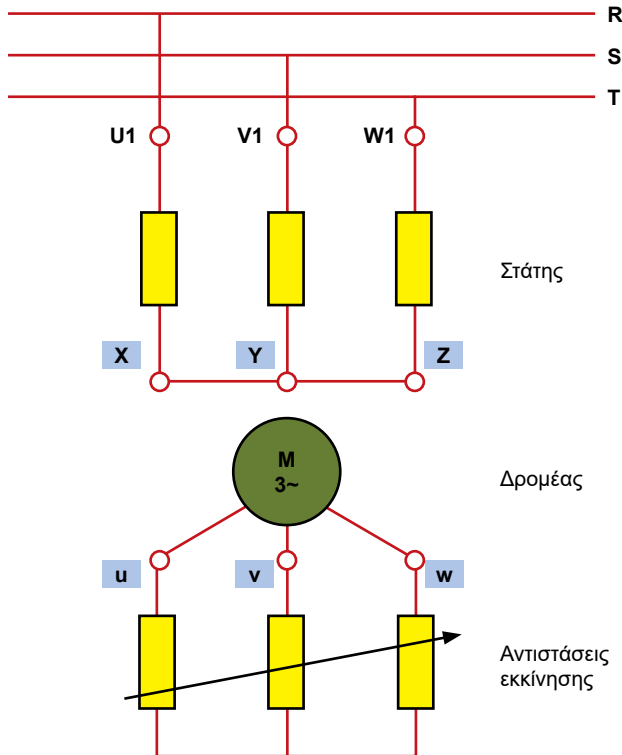


Σχήμα 4.2.1 Σχηματική παράσταση κινητήρων επαγωγής με δρομέα με τύλιγμα κλωβού. $U1-U2$, $V1-V2$ και $W1-W2$ είναι οι ακροδέκτες του τυλίγματος του στάτη

β. Τυλιγμένοι δρομείς με δακτυλίους για κινητήρες μέχρι 10 kW κατασκευάζονται με συμμετρικά τριφασικά τυλίγματα, όπως αυτά που τοποθετούνται στο στάτη. Η σύνδεση των τριών φάσεων του δρομέα γίνεται συνήθως σε αστέρα (Σχήμα 4.2.2). Ο δρομέας με δακτυλίους συγκρινόμενος με το δρομέα κλωβού είναι πιο ακριβός επειδή απαιτεί δακτυλίους και ψήκτρες. Επίσης συχνά προβλέπονται διατάξεις με αντιστάσεις εκκίνησης, οι οποίες επιτρέπουν μια ανύψωση των ψηκτρών και βραχυκύκλωση των δακτυλίων μετά την εκκίνηση. Το τύλιγμα κλωβού έχει λιγότερο αγωγίμο υλικό από το τύλιγμα δρομέα με δακτυλίους για την ίδια ισχύ. Ωστόσο, κινητήρες με τυλιγμένο δρομέα εξακολουθούν να χρησιμοποιούνται λόγω των πλεονεκτημάτων τους στην εκκίνηση.



Εικόνα 4.6 Τριφασικός ηλεκτροκινητήρας επαγωγής με τυλιγμένο δρομέα



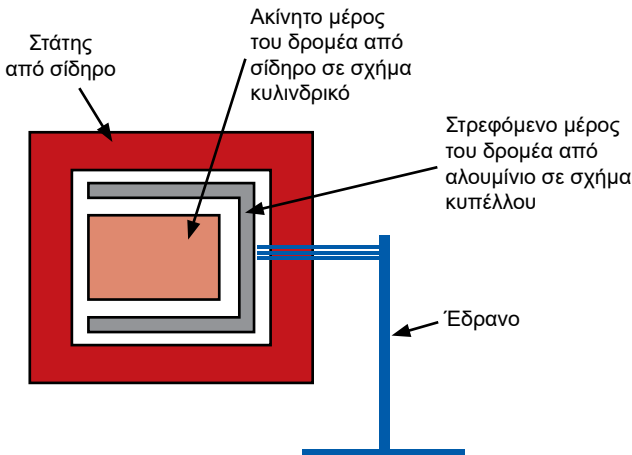
Σχήμα 4.2.2 Σχηματική παράσταση κινητήρων επαγωγής με τυλιγμένο δρομέα
 U1-X, V1-Y και W1-Z είναι οι ακροδέκτες του τυλίγματος του στάτη, u, v, w είναι οι ακροδέκτες του τυλίγματος του δρομέα

γ. **Οι δρομείς χωρίς αύλακες** κατασκευάζονται από ολόσωμο σίδηρο όπου επάγονται δινορρεύματα ώστε να προκύψει ροπή. Ωστόσο, ο βαθμός απόδοσης, ο συντελεστής ισχύος και η ικανότητα υπερφόρτισης ενός τέτοιου κινητήρα δεν είναι υψηλά. Οι κινητήρες με ολόσωμους δρομείς αναπτύσσουν μεγάλη ροπή εκκίνησης και μικρό ρεύμα εκκίνησης. Χρησιμοποιούνται για συστήματα ηλεκτρικής κίνησης με υψηλό αριθμό στροφών, επειδή έχουν μεγάλη μηχανική αντοχή.

Για τη βελτίωση των ιδιοτήτων τους, ο δρομέας κατασκευάζεται από στρώματα κατάλληλων υλικών, όπως είναι η τοποθέτηση φύλλου χαλκού πάνω στην κυλινδρική επιφάνεια του ολόσωμου σιδήρου. Οι κινητήρες πολύ μικρής ισχύος για τα συστήματα αυτομάτου ελέγχου έχουν το σίδηρο στο δρομέα ακίνητο, ενώ το στρεφόμενο μέρος του δρομέα κατασκευάζεται από αλουμίνιο και έχει τη **μορφή κυπέλλου**, με ένα μόνο έδρανο. Ο στάτης από σίδηρο περικυκλώνει το κύπελλο (Σχήμα 4.2.3).



Εικόνα 4.7 Ηλεκτροκινητήρας ακριβείας (σερβοκινητήρας)



Σχήμα 4.2.3 Κινητήρας με δρομέα σε σχήμα κυπέλλου (χωρίς αύλακες)

4.2.2 Χαρακτηριστικά του Κινητήρα Επαγωγής

Το μαγνητικό πεδίο που παράγεται από το τύλιγμα του στάτη στρέφεται με **σύγχρονη ταχύτητα** n_1 και ο δρομέας στρέφεται με σταθερή **μηχανική ταχύτητα** n προς την ίδια φορά, όπως και το πεδίο του στάτη, δηλαδή ο δρομέας παρουσιάζει **ολίσθηση** ως προς το πεδίο του στάτη. Η ολίσθηση s εκφράζεται ως κλάσμα της σύγχρονης ταχύτητας n_1 :

$$s = \frac{n_1 - n}{n_1} \quad \text{ή} \quad n = n_1 \cdot (1 - s) \quad \text{και} \quad n_1 = \frac{120 \cdot f_1}{p}$$

όπου: f_1 είναι η συχνότητα της τάσης του στάτη και p είναι ο αριθμός των πόλων.

Το Σχήμα 4.2.3 δείχνει τη χαρακτηριστική ροπής - ταχύτητας του τριφασικού κινητήρα επαγωγής.

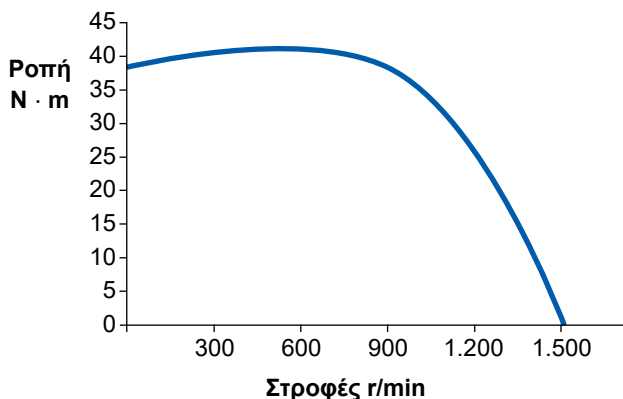
π.χ. ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 2

Τετραπολικός κινητήρας επαγωγής τροφοδοτείται με συχνότητα 50 Hz και έχει ολίσθηση 5%. Η σύγχρονη ταχύτητά του είναι:

$$n_1 = \frac{120 \cdot f_1}{p} = \frac{120 \cdot 50}{4} = 1500 \text{ r/min}$$

Η ταχύτητα του δρομέα είναι:

$$n = n_1 \cdot (1 - s) = 1500 \cdot (1 - 0,05) = 1425 \text{ r/min}$$



Σχήμα 4.2.4 Χαρακτηριστική ροπής - ταχύτητας ενός τετραπολικού τριφασικού κινητήρα επαγωγής

Με εναλλαγή δύο ακροδεκτών του στάτη του τριφασικού κινητήρα η ακολουθία των φάσεων και κατά συνέπεια η φορά περιστροφής του μαγνητικού πεδίου αναστρέφεται, με αποτέλεσμα ο κινητήρας να εκκινήσει προς την άλλη φορά.

4.2.3 Λειτουργία των κινητήρων με φορτία

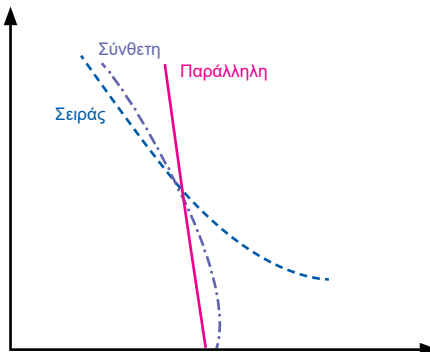
Η λειτουργία μόνιμης κατάστασης ενός οποιοδήποτε κινητήρα, ανεξαρτήτως της αρχής λειτουργίας του, χαρακτηρίζεται από τη σχέση μεταξύ ροπής και ταχύτητας περιστροφής. Η σχέση αυτή καθορίζει αν ο κινητήρας είναι κατάλληλος για μια συγκεκριμένη εφαρμογή ή όχι. Ως παραδείγματα αναφέρθηκαν οι χαρακτηριστικές των τριφασικών κινητήρων επαγωγής και των κινητήρων ΣΡ διέγερσης παράλληλης, σύνθετης και σειράς (Σχήματα 4.2.4 και 4.2.5).

Οι καμπύλες των Σχημάτων 4.2.4 και 4.2.5 μπορούν να αλλάξουν κατά περίπτωση με τη βοήθεια ελέγχου διαφόρων μεγεθών, όπως: της τάσης και της συχνότητας τροφοδοσίας, των αντιστάσεων των τυλιγμάτων, του ρεύματος στα τυλίγματα των μηχανών κ.λπ.

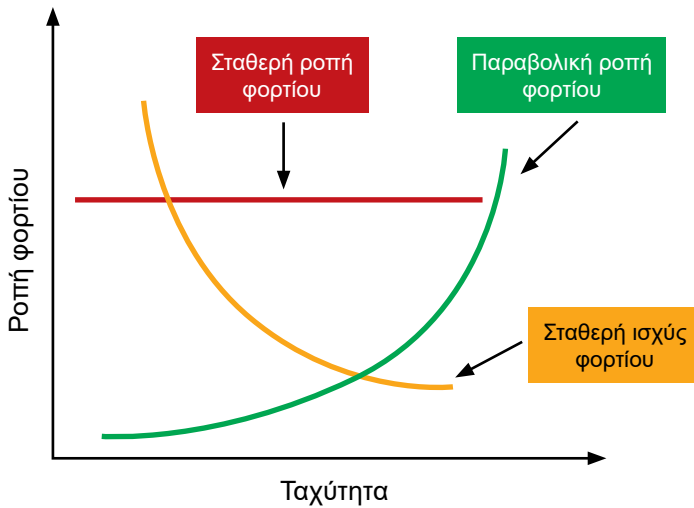
Όλες οι συσκευές οι οποίες κινούνται από ηλεκτροκινητήρες ονομάζονται **φορτία**. Τα φορτία έχουν ευρύ φάσμα χαρακτηριστικών (Σχήμα 4.2.6), όπως:

1. **Σταθερή μηχανική ισχύ.** Τέτοιου τύπου φορτία είναι οι περισσότερες εργαλειομηχανές.
2. **Σταθερή ροπή του φορτίου.** Στον τύπο αυτό υπάγονται οι ταινιομεταφορείς.
3. **Παραβολική ροπή του φορτίου.** Τα φορτία αυτά είναι συμπιεστές, ανεμιστήρες και αντλίες.

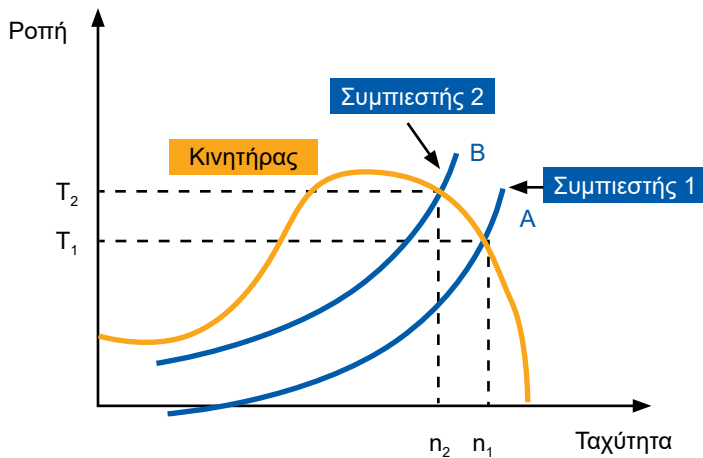
Το σημείο τομής των δύο χαρακτηριστικών, του κινητήρα και του φορτίου, ονομάζεται **σημείο λειτουργίας** (Σχήμα 4.2.7, σημεία Α και Β).



Σχήμα 4.2.5 Χαρακτηριστικές ροπής - ταχύτητας του κινητήρα ΣΡ



Σχήμα 4.2.6 Διάφορα φορτία



Σχήμα 4.2.7 Λειτουργία του τριφασικού κινητήρα επαγωγής με δύο φορτία (συμπίεστρες).

Ο συμπίεστής 2 είναι μεγαλύτερης ιπποδύναμης και ροπής από το συμπίεστή 1. Ο συμπίεστής 1 λειτουργεί στο σημείο λειτουργίας Α με ροπή T_1 και ταχύτητα n_1 . Ο συμπίεστής 2 λειτουργεί στο σημείο λειτουργίας Β με ροπή T_2 και ταχύτητα n_2 . Στο σχήμα φαίνεται ότι η ροπή $T_2 > T_1$ προκαλεί ταχύτητα $n_2 < n_1$.

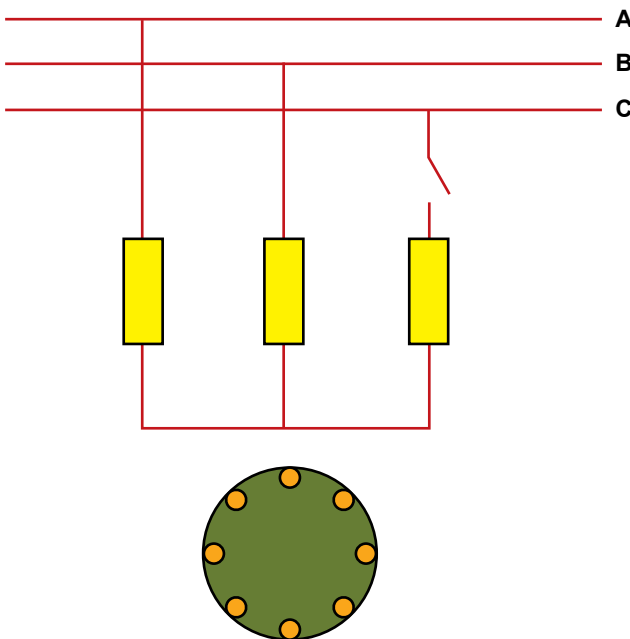
Ο έλεγχος ενός κινητήρα εφαρμόζεται όταν υπάρχουν συχνές μεταβολές της ροπής και της ισχύος του φορτίου, για να αποφευχθεί η υπερφόρτιση του κινητήρα, η υπερθέρμανση και η υπερβολική κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας.

4.3 Μονοφασικοί κινητήρες επαγωγής

Οι μονοφασικοί κινητήρες κατασκευάζονται σε πολλούς τύπους και έχουν διαφορετικές αρχές λειτουργίας. Στα ακόλουθα περιγράφονται κινητήρες οι οποίοι λειτουργούν στην ατμόσφαιρα και δεν είναι αεροστεγείς.

4.3.1 Αρχή Λειτουργίας Μονοφασικών Κινητήρων Επαγωγής

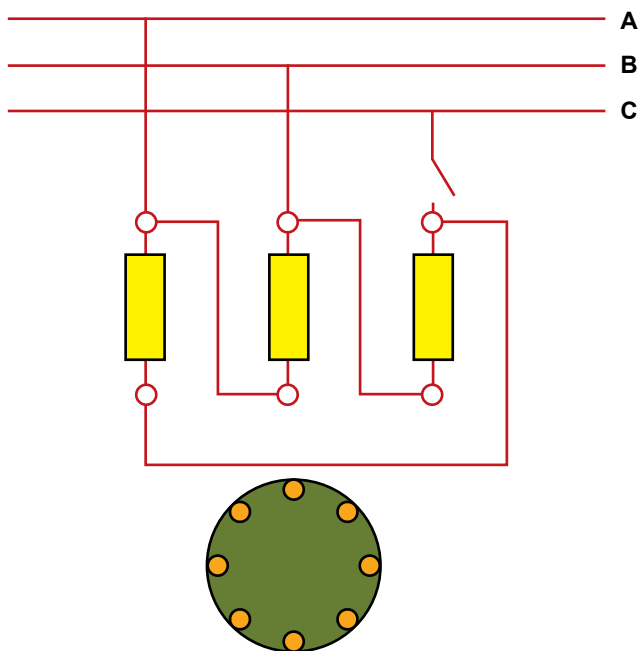
Αν σε έναν τριφασικό κινητήρα επαγωγής συνδεδεμένο σε αστέρα, ο οποίος λειτουργεί χωρίς φορτίο ή έστω με μικρό φορτίο, διακοπεί η μία φάση τροφοδοσίας, όπως στο Σχήμα 4.3.1, ο κινητήρας θα εξακολουθεί να περιστρέφεται. Όμως, αν ο κινητήρας σταματήσει, τότε δεν είναι δυνατό να εκκινήσει μόνος του. Θα εκκινήσει μόνο εάν δεχθεί ώθηση προς κάποια κατεύθυνση. Στη λειτουργία αυτή, ο κινητήρας δεν μπορεί να αναπτύξει την ονομαστική του ισχύ. Σύμφωνα με το Σχήμα 4.3.1, η μία φάση του στάτη δεν τροφοδοτείται, όμως οι άλλες δύο φάσεις είναι σε σειρά και αποτελούν ένα μονοφασικό κύκλωμα.



Σχήμα 4.3.1 Τύλιγμα του στάτη τριφασικού κινητήρα επαγωγής συνδεδεμένο σε αστέρα με διακοπή στην τροφοδοσία της τρίτης φάσης

Αν το τύλιγμα του τριφασικού κινητήρα είναι συνδεδεμένο σε τρίγωνο και διακοπεί η μία φάση, τότε δύο φάσεις είναι συνδεδεμένες σε σειρά και παράλληλα προς την τρίτη, με αποτέλεσμα ο συνδυασμός τους να αποτελέσει ένα μονοφασικό τύλιγμα, όπως παρουσιάζεται στο Σχήμα 4.3.2.

Το μονοφασικό τύλιγμα, όταν τροφοδοτείται με μονοφασικό ρεύμα, δεν δημιουργεί το στρεφόμενο μαγνητικό πεδίο, το οποίο είναι απαραίτητο για την ανάπτυξη της ροπής. Έτσι, ο κινητήρας επαγωγής με μονοφασικό τύλιγμα δεν έχει ροπή εκκίνησης και δεν μπορεί να ξεκινήσει από στάση. Αν όμως εκκινήσει με κάποιο βοηθητικό τρόπο, τότε επάγονται ρεύματα στο τύλιγμα του δρομέα και έτσι, δημιουργείται το μαγνητικό πεδίο του δρομέα. Από την αλληλεπίδραση των δύο μαγνητικών πεδίων, του στάτη και του δρομέα, παράγεται το στρεφόμενο μαγνητικό πεδίο, με αποτέλεσμα τη συνέχιση της περιστροφικής κίνησης του δρομέα.



Σχήμα 4.3.2 Τύλιγμα του στάτη τριφασικού κινητήρα επαγωγής συνδεδεμένο σε τρίγωνο, με διακοπή στην τροφοδοσία της τρίτης φάσης

Για να μπορεί να εκκινήσει ο μονοφασικός κινητήρας επαγωγής, χρειάζεται, επιπλέον από το **κύριο τύλιγμα**, ένα **βοηθητικό τύλιγμα** (βοηθητική φάση ή τύλιγμα εκκίνησης). Τα δύο τυλίγματα συνδέονται παράλληλα και τροφοδοτούνται με μονοφασική τάση. Το βοηθητικό τύλιγμα περιλαμβάνει συν-

δεδεμένα σε σειρά **μία αντίσταση στους μονοφασικούς κινητήρες αντίστασης ή έναν πυκνωτή στους μονοφασικούς κινητήρες με πυκνωτή.**

Το βοηθητικό τύλιγμα εκκίνησης πρέπει να αποσυνδεθεί όταν ο κινητήρας έχει αναπτύξει το 75%-80% της ονομαστικής του ταχύτητας και σε σύντομο χρονικό διάστημα, αλλιώς προκαλείται υπερθέρμανση του κινητήρα. Για την αποσύνδεση του βοηθητικού τυλίγματος συνδέεται ένας **φυγοκεντρικός διακόπτης**. Το τόξο που παράγεται από το άνοιγμα και το κλείσιμο του φυγοκεντρικού διακόπτη δεν επηρεάζει τον αέρα και έτσι, ο διακόπτης αυτός μπορεί να εγκατασταθεί σε ανοικτούς κινητήρες (μη αεροστεγείς). Το ίδιο τόξο του διακόπτη βλάπτει όμως το ψυκτικό υγρό και επομένως δεν επιτρέπεται να υπάρχει τόξο σε ψυκτική ατμόσφαιρα. Για το λόγο αυτό, σε ψυκτικό μέσο χρησιμοποιούνται **κινητήρες αεροστεγείς**, χωρίς φυγοκεντρικό διακόπτη. Η απόξεση του βοηθητικού τυλίγματος γίνεται με ρελέ.

Ο φυγοκεντρικός διακόπτης προσαρμόζεται στον άξονα του κινητήρα και διαθέτει ένα μηχανικό μηχανισμό με βάρη, τα οποία σπρώχνονται με ορμή προς τα έξω όταν η ταχύτητα του άξονα έχει φθάσει στα 3/4 περίπου της επιθυμητής ταχύτητας. Για παράδειγμα, αν ο κινητήρας πρέπει να λειτουργήσει στις 1435 ΣΑΛ, τότε στις 1075 ΣΑΛ τα φυγοκεντρικά βάρη θα πεταχτούν προς τα έξω και ανοίγουν το διακόπτη. Ο διακόπτης διαρρέεται από μεγάλο ρεύμα και για το λόγο αυτό παράγεται σπινθήρας. Αν ο διακόπτης δεν ανοίξει την κατάλληλη στιγμή, τότε ο κινητήρας θα συνεχίσει να διαρρέεται από μεγάλο ρεύμα, υπερφορτίζεται και οδηγείται σε υπερθέρμανση. Για το λόγο αυτό, για επιπλέον προστασία, πρέπει να υπάρχει ένα σύστημα αποσύνδεσης του κινητήρα σε περίπτωση υπερφόρτισης.

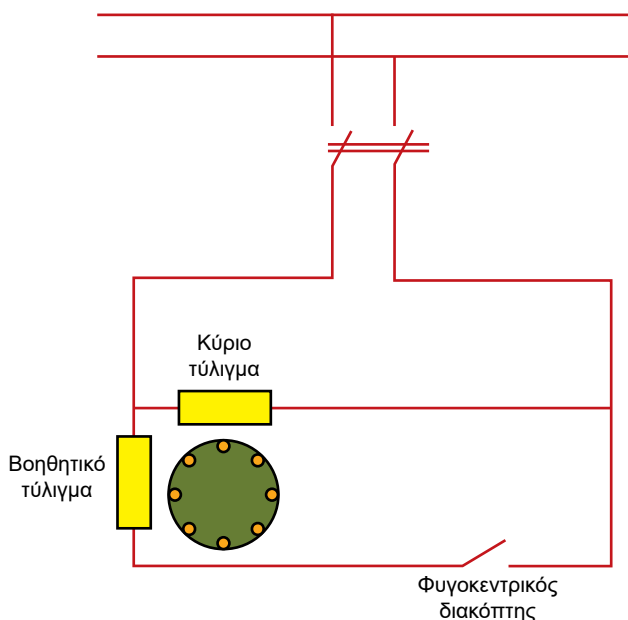
Γενικά, ο φυγοκεντρικός διακόπτης παράγει έναν ακουστικό θόρυβο κατά την εκκίνηση και το φρενάρισμα του κινητήρα. Οι επαφές του διακόπτη φθείρονται από το ηλεκτρικό τόξο. Όταν ο κινητήρας χρησιμοποιηθεί για κάποιο χρονικό διάστημα με συχνές εκκινήσεις, τότε εμφανίζεται βλάβη στο φυγοκεντρικό διακόπτη, ο οποίος χρειάζεται επισκευή ή αλλαγή.

4.3.2 Μονοφασικός κινητήρας επαγωγής με αντίσταση

Οι μονοφασικοί κινητήρες επαγωγής με αντίσταση είναι συνήθως μικρής ιπποδύναμης και μπορούν να εκκινήσουν με σύνδεση απευθείας από το δίκτυο. Χρησιμοποιούνται σε εφαρμογές μέχρι 0,5 HP για ανεμιστήρες, ηλεκτρικές συσκευές και ηλεκτρικά εργαλεία.

Το βοηθητικό τύλιγμα έχει μεγάλη αντίσταση, η οποία κατασκευάζεται από λεπτό αγωγό με πολλές σπείρες. Στο βοηθητικό τύλιγμα υπάρχει

έναν **φυγοκεντρικός διακόπτης** (Σχήμα 4.3.3). Μετά την εκκίνηση, όταν ο κινητήρας έχει επιταχύνει στο 75%-80% της ονομαστικής του ταχύτητας, ο διακόπτης αυτός ανοίγει και το βοηθητικό τύλιγμα τίθεται εκτός κυκλώματος. Στη συνέχεια, ο κινητήρας λειτουργεί μόνο με το κύριο τύλιγμα.



Σχήμα 4.3.3 Κυκλωματικό διάγραμμα του μονοφασικού κινητήρα επαγωγής με αντίσταση

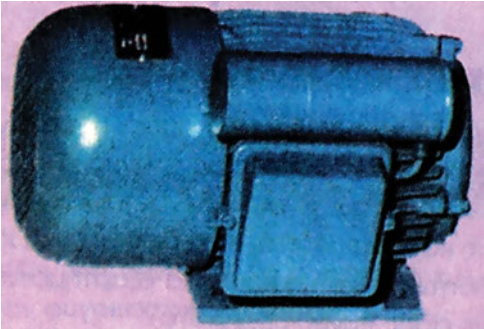
4.3.3 Μονοφασικός Κινητήρας Επαγωγής με Πυκνωτή

Οι κινητήρες αυτοί κατασκευάζονται για μεγαλύτερη ισχύ από τους μονοφασικούς κινητήρες με αντίσταση μέχρι και 1,5 kW.

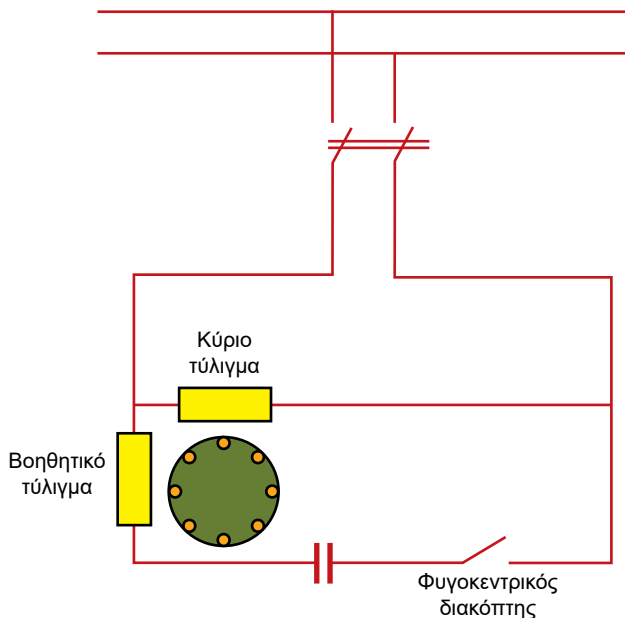
Οι μονοφασικοί κινητήρες επαγωγής με πυκνωτή έχουν έναν πυκνωτή συνδεδεμένο σε σειρά με το βοηθητικό τύλιγμα (Εικόνα 4.8). Έτσι, το ρεύμα στο βοηθητικό τύλιγμα προπορεύεται της τάσης του δικτύου (χωρητική συμπεριφορά), ενώ το ρεύμα στο κύριο τύλιγμα μεταπορεύεται της ίδιας τάσης (επαγωγική συμπεριφορά). Ως αποτέλεσμα, τα δύο ρεύματα, στο κύριο και στο βοηθητικό τύλιγμα, έχουν μεταξύ τους μεγάλη διαφορά φάσης και έτσι δημιουργείται το στρεφόμενο μαγνητικό πεδίο και η ροπή εκκίνησης.

Η χωρητικότητα του πυκνωτή επηρεάζει τη ροπή εκκίνησης, η οποία αυξάνεται με την αύξηση της χωρητικότητας. Διακρίνονται τρεις περιπτώσεις:

1. Για εφαρμογές όπου η ροπή εκκίνησης του κινητήρα επαρκεί, μετά την εκκίνηση και επιτάχυνση, αφαιρούνται και το βοηθητικό τύλιγμα και ο πυκνωτής (Σχήμα 4.3.4).
2. Για αύξηση της ροπής εκκίνησης στο 50%-70% της ονομαστικής ροπής, τόσο ο πυκνωτής όσο και το βοηθητικό τύλιγμα παραμένουν συνδεδεμένα σε όλη τη λειτουργία του κινητήρα (Σχήμα 4.3.5). Ο συντελεστής ισχύος αυξάνεται σημαντικά και γίνεται περίπου ίσος με τη μονάδα.



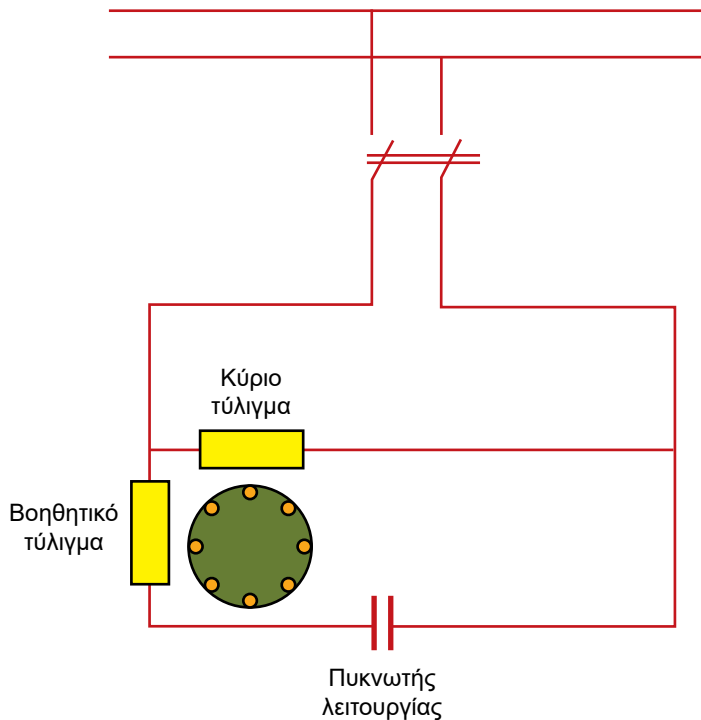
Εικόνα 4.8 Μονοφασικός κινητήρας με πυκνωτή



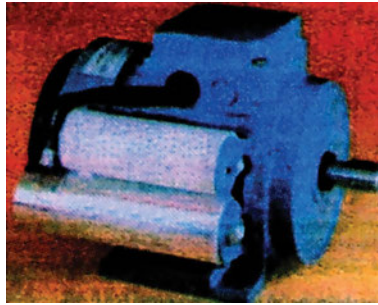
Σχήμα 4.3.4 Μονοφασικός κινητήρας επαγωγής με πυκνωτή εκκίνησης. Το βοηθητικό τύλιγμα και ο πυκνωτής αφαιρούνται μετά την εκκίνηση

3. Για μεγαλύτερη αύξηση της ροπής εκκίνησης κατά 200%-250% της ονομαστικής ροπής, συνδέονται δύο πυκνωτές. Ένας **ΠΥΚΝΩΤΗΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ** παραμένει συνδεδεμένος σε σειρά με τη βοηθητική φάση και βελτιώνει το συντελεστή ισχύος. Ένας δεύτερος είναι ο **ΠΥΚΝΩΤΗΣ ΕΚΚΙΝΗΣΗΣ**, ο οποίος, όταν ο κινητήρας έχει επιταχύνει, με τη βοήθεια του φυγοκεντρικού διακόπτη, τίθεται εκτός (Σχήμα 4.3.4).

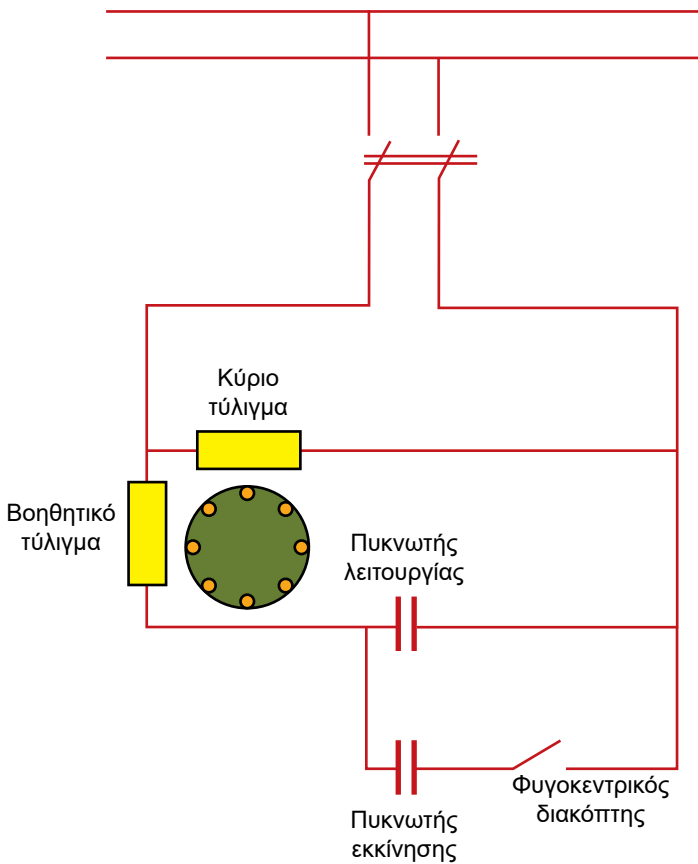
Ηλεκτρολυτικοί πυκνωτές χρησιμοποιούνται συχνά ως πυκνωτές εκκίνησης, όμως δεν αντέχουν και μπορούν να καταστραφούν κατά τη λειτουργία του κινητήρα αν δεν αφαιρεθούν από το φυγοκεντρικό διακόπτη μετά από την εκκίνηση. Πιο ανθεκτικοί είναι οι πυκνωτές χάρτου και χρησιμοποιούνται και για πυκνωτές λειτουργίας και για πυκνωτές εκκίνησης.



Σχήμα 4.3.5 Μονοφασικός κινητήρας επαγωγής με πυκνωτή λειτουργίας



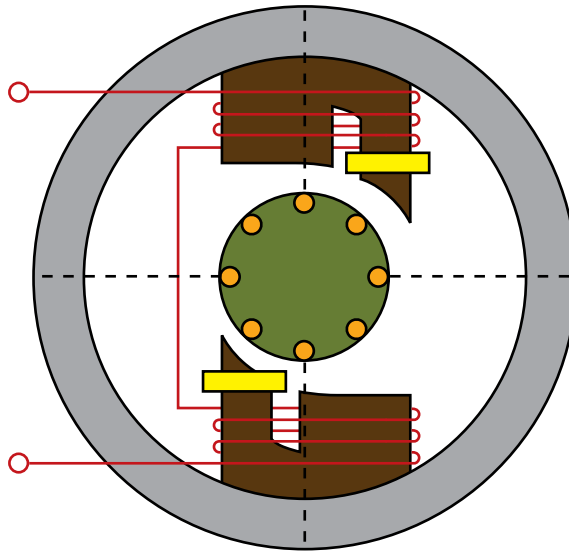
Εικόνα 4.9 Μονοφασικός κινητήρας με πυκνωτή εκκίνησης και πυκνωτή λειτουργίας



Σχήμα 4.3.6 Μονοφασικός κινητήρας επαγωγής με πυκνωτή λειτουργίας και πυκνωτή εκκίνησης

4.3.4 Μονοφασικός Κινητήρας Επαγωγής με Χαμηλή Ροπή Εκκίνησης

Σημαντικός αριθμός κινητήρων χρησιμοποιείται για να οδηγήσει τα πτερύγια μικρών ανεμιστήρων σε οικιακές συσκευές, σε ηλεκτρονικά μηχανήματα, σε υπολογιστικά συστήματα και σε μηχανές γραφείου, όπως είναι οι προσωπικοί υπολογιστές, τα φωτοτυπικά, οι προβολείς διαφανειών, οι αερόψυκτοι συμπυκνωτές, οι στεγνωτήρες μαλλιών κ.ά. Σε όλες τις περιπτώσεις αυτές χρησιμοποιούνται μικροί κινητήρες (30 W - 50 W), με χαμηλή ροπή εκκίνησης, οι οποίοι είναι τύπου **σκιασμένου πόλου (shaded pole)**.



Σχήμα 4.3.7 Μονοφασικός κινητήρας επαγωγής σκιασμένου πόλου

Ο στάτης του κινητήρα σκιασμένου πόλου κατασκευάζεται από σιδηρομαγνητικά ελάσματα και έχει έκτυπους πόλους. Ο δρομέας έχει τύλιγμα κλωβού. Το τύλιγμα εκκίνησης αποτελείται από 2-3 βραχυκυκλωμένες σπείρες και είναι τοποθετημένο σε ένα τμήμα του άκρου του κάθε πόλου του στάτη (Σχήμα 4.3.7). Στις σπείρες αυτές επάγεται ρεύμα και δημιουργείται το στρεφόμενο μαγνητικό πεδίο και έτσι εμφανίζεται μια μικρή ροπή εκκίνησης. Το κύριο τύλιγμα του στάτη αποτελείται από ένα πηνίο στον κάθε πόλο.

Οι κινητήρες σκιασμένου πόλου έχουν χαμηλό βαθμό απόδοσης, όμως στις ηλεκτρονικές συσκευές όπου χρησιμοποιούνται, ο βαθμός απόδοσης δεν έχει μεγάλη σημασία. Γενικά, οι κινητήρες σκιασμένου πόλου είναι χαμηλού κόστους, ανθεκτικοί και σπάνια παρουσιάζουν βλάβες.

4.4 Εκκίνηση ηλεκτροκινητήρων

4.4.1 Τα Προβλήματα στην Εκκίνηση

Τα σημαντικότερα προβλήματα στην εκκίνηση των κινητήρων επαγωγής είναι:

- ♦ η ροπή εκκίνησης
- ♦ το ρεύμα εκκίνησης.

Για να εκκινήσει ο δρομέας του κινητήρα επαγωγής, πρέπει η ροπή που αναπτύσσεται στον άξονα να είναι μεγαλύτερη από τη ροπή που επιβάλλεται στον άξονα από το φορτίο. Συχνά απαιτείται μια σημαντική ροπή εκκίνησης, ίση με την ονομαστική ροπή ή και μεγαλύτερη, όπως π.χ. για συμπιεστές κ.λπ. Το ρεύμα εκκίνησης για δεδομένο εξωτερικό δίκτυο δεν πρέπει να υπερβαίνει ορισμένα όρια τα οποία εξαρτώνται από την ικανότητα του δικτύου.

Στους μεγάλης ισχύος κινητήρες επαγωγής είναι απαραίτητη η ελάττωση του ρεύματος εκκίνησης. Όταν ένας κινητήρας επαγωγής συνδεθεί σε δίκτυο διανομής, το οποίο τροφοδοτεί επίσης λαμπτήρες φωτισμού, το υψηλό ρεύμα εκκίνησης του κινητήρα είναι ανεπιθύμητο, επειδή μπορεί να προκαλέσει σημαντική πτώση τάσης και συνεπώς, μια μεταβολή στην ένταση του φωτός. Επίσης, όταν η πτώση τάσης είναι μεγάλη, άλλοι κινητήρες συνδεδεμένοι στο ίδιο δίκτυο μπορεί να σταματήσουν.

Σημασία έχουν και άλλα προβλήματα, όπως: η διάρκεια εκκίνησης, οι απώλειες στα τυλίγματα και η θέρμανσή τους στην εκκίνηση. Στην περίπτωση σύνδεσης του κινητήρα επαγωγής στην ονομαστική τάση προκύπτει ρεύμα εκκίνησης I_{EK} το οποίο είναι πολλαπλάσιο του ονομαστικού ρεύματος $I_{\text{νομ}}$:

$$I_{EK} = (4\div 7) \cdot I_{\text{νομ}}$$

Υπάρχουν διάφορες μέθοδοι αύξησης της ροπής εκκίνησης και ελάττωσης του ρεύματος εκκίνησης.

4.4.2 Εκκίνηση Κινητήρων Επαγωγής με Δρομείς Κλωβού

Οι μέθοδοι εκκίνησης για διάφορους τύπους ηλεκτροκινητήρων με κλωβό δίνονται στον Πίνακα 4.4.1. Σε καμία ταχύτητα δεν πρέπει η ροπή φορτίου

να είναι μεγαλύτερη από τη ροπή του κινητήρα, επειδή ο κινητήρας δεν θα μπορέσει να φτάσει στην ονομαστική του ταχύτητα. Αν ο κινητήρας είναι μεγαλύτερης ισχύος από τα όρια του Πίνακα 4.4.1, πρέπει να χρησιμοποιηθούν ηλεκτρονικές διατάξεις υποβιβασμού του ρεύματος εκκίνησης.

Πίνακας 4.4.1 Μέθοδοι Εκκίνησης κινητήρων επαγωγής με κλωβό

| Μέθοδος Εκκίνησης | Τύπος κινητήρα επαγωγής πολικής τάσης 380 V | Όριο ισχύος |
|---|---|-------------|
| Άμεση σύνδεση | Απλός κλωβός | 2,2 kW |
| | Κλωβός με βαθιές αύλακες ή διπλός κλωβός | 4 kW |
| Με διακόπτη αστέρα-τρίγωνο | Απλός κλωβός | 4 kW |
| | Κλωβός με βαθιές αύλακες ή διπλός κλωβός | 5,5 kW |
| Με ηλεκτρονική διάταξη εκκίνησης για τον περιορισμό του ρεύματος εκκίνησης στο διπλάσιο του ονομαστικού | Κλωβός | 11 kW |

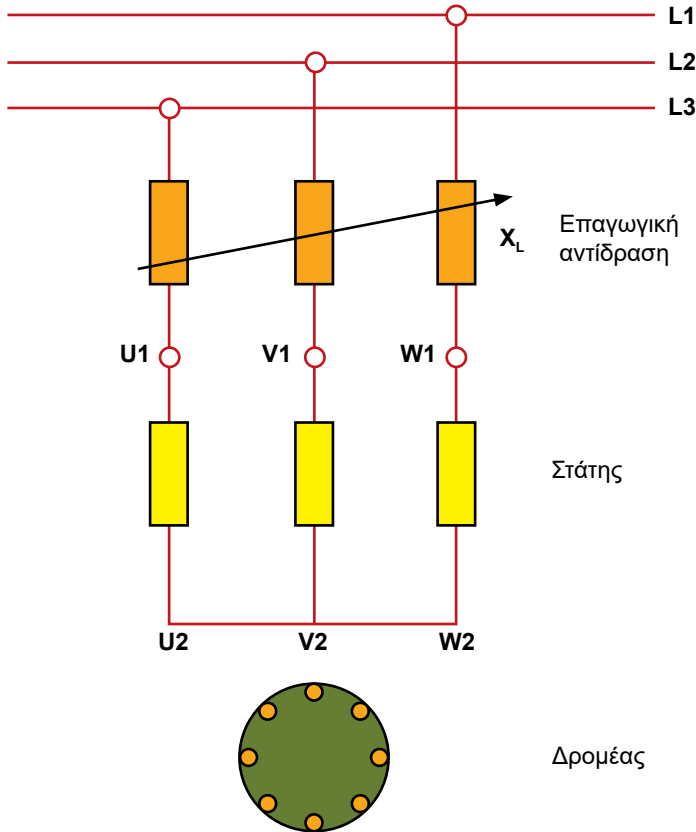
Η εκκίνηση των κινητήρων με δρομείς κλωβού μπορεί να γίνει με έναν από τους ακόλουθους τρόπους:

1. με αντίσταση ή επαγωγική αντίδραση σε σειρά,
2. με αυτομετασχηματιστή,
3. με σύνδεση αστέρα-τρίγωνο,
4. με μερικό τύλιγμα.

Έτσι, επιτυγχάνεται η ελάττωση του ρεύματος εκκίνησης. Με τους τρόπους 1, 2 και 3 προκαλείται ταυτόχρονα πτώση της τάσης που τροφοδοτεί τον κινητήρα. Η ελάττωση της τάσης προκαλεί ελάττωση της ροπής εκκίνησης. Έτσι, οι τρόποι 1, 2 και 3 συνιστώνται για εκκίνηση όταν απαιτείται μικρή ροπή εκκίνησης.

4.4.3 Εκκίνηση με Επαγωγική Αντίδραση σε Σειρά

Η συνδεσμολογία δείχνεται στο Σχήμα 4.4.1. Η μέθοδος αυτή εκκίνησης επιτρέπεται μόνον όπου το μέγεθος της ροπής εκκίνησης δεν είναι σημαντικό, επειδή προκύπτει αρκετά μικρό.

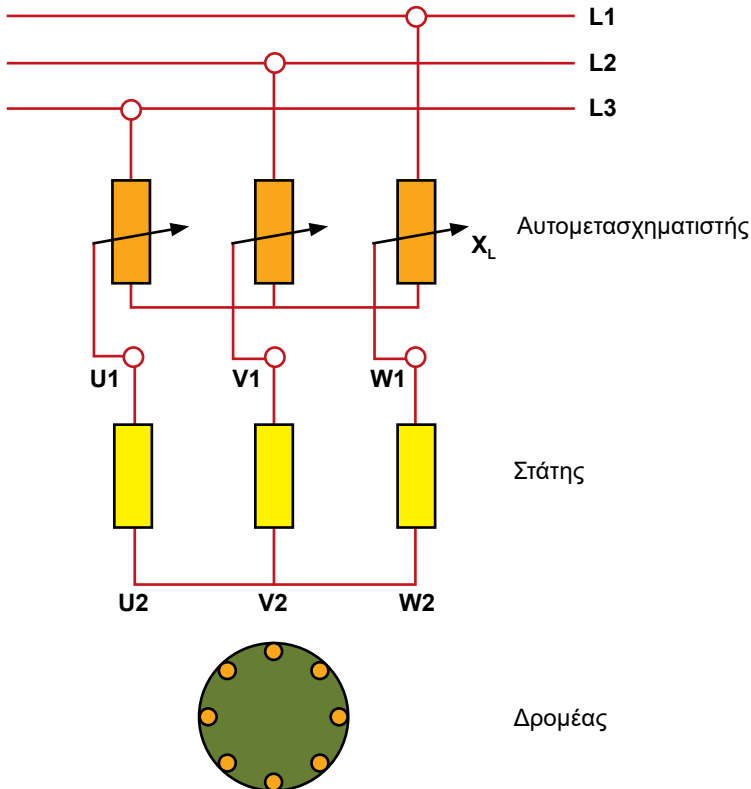


Σχήμα 4.4.1 Εκκίνηση με επαγωγική αντίδραση σε σειρά με το τύλιγμα του στάτη

4.4.4 Εκκίνηση με Αυτομετασχηματιστή

Η τάση τροφοδότησης του κινητήρα επαγωγής με δρομέα κλωβού μειώνεται μέσω αυτομετασχηματιστού. Η πλήρης τάση τροφοδοτείται κλιμακωτά, αφού ο κινητήρας έχει φθάσει στην ονομαστική ταχύτητα. Η διάταξη της εκκίνησης με αυτομετασχηματιστή δείχνεται στο Σχήμα 4.4.2. Η εκκίνηση

με αυτομετασχηματιστή είναι πιο πλεονεκτική από την εκκίνηση με επαγωγική αντίδραση, επειδή παράγει υψηλότερη ροπή εκκίνησης.



Σχήμα 4.4.2 Εκκίνηση με αυτομετασχηματιστή

4.4.5 Εκκίνηση με Διακόπτη Αστέρα-Τρίγωνο

Ο διακόπτης αστέρα-τρίγωνο (Y- Δ) χρησιμοποιείται για την εκκίνηση κινητήρων μικρής ή μέσης ισχύος, σύμφωνα με τον Πίνακα 4.4.1. Στην εκκίνηση ο στάτης συνδέεται σε αστέρα, ενώ για την κανονική λειτουργία συνδέεται σε τρίγωνο. Στο Σχήμα 4.4.3 φαίνεται η σύνδεση των τριών φάσεων του στάτη ενός κινητήρα επαγωγής σε αστέρα (α) και σε τρίγωνο (β).

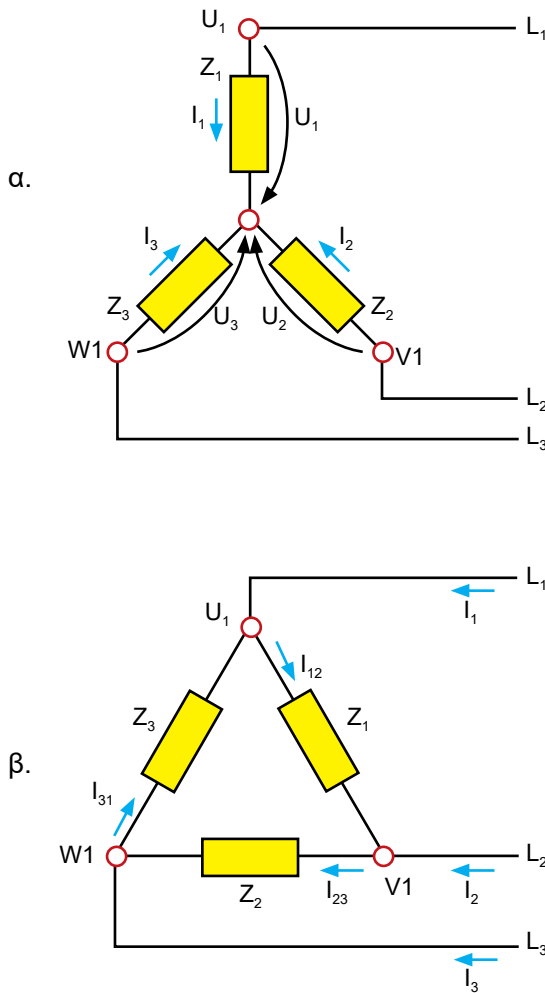
Το ρεύμα εκκίνησης στη γραμμή όταν το τύλιγμα του στάτη είναι συνδεδεμένο σε αστέρα είναι το $1/3$ του ρεύματος εκκίνησης για σύνδεση σε τρίγωνο. Επειδή η ροπή εκκίνησης είναι ανάλογη του τετραγώνου της τάσης τροφοδοσίας, κατά τη σύνδεση σε αστέρα, η ροπή μειώνεται στο $1/3$ της ροπής που θα αναπτυσσόταν κατά τη σύνδεση σε τρίγωνο. Η μέθοδος

αυτή εκκίνησης χρησιμοποιείται για εκκίνηση κινητήρων μικρής ισχύος, σύμφωνα με τον Πίνακα 4.4.1.

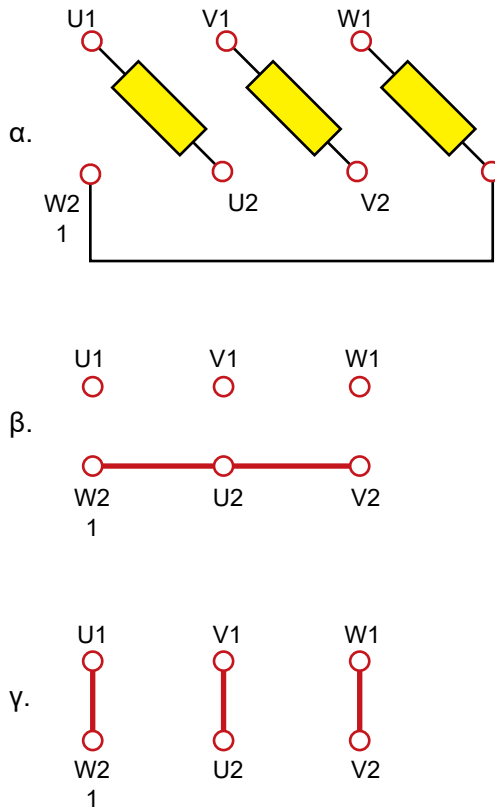
Η διαδικασία εκκίνησης μέσω του διακόπτη Υ-Δ είναι η ακόλουθη:

— Πρώτα εκτελείται η σύνδεση σε αστέρα (Σχήμα 4.4.4.β).

Όταν η ταχύτητα του κινητήρα φθάσει σχεδόν στο σύγχρονο αριθμό στροφών, ο διακόπτης αλλάζει στη θέση σύνδεσης σε τρίγωνο (Σχήμα 4.4.4.γ).



Σχήμα 4.4.3 Σύνδεση των φάσεων του στάτη: (α) σε αστέρα, (β) σε τρίγωνο

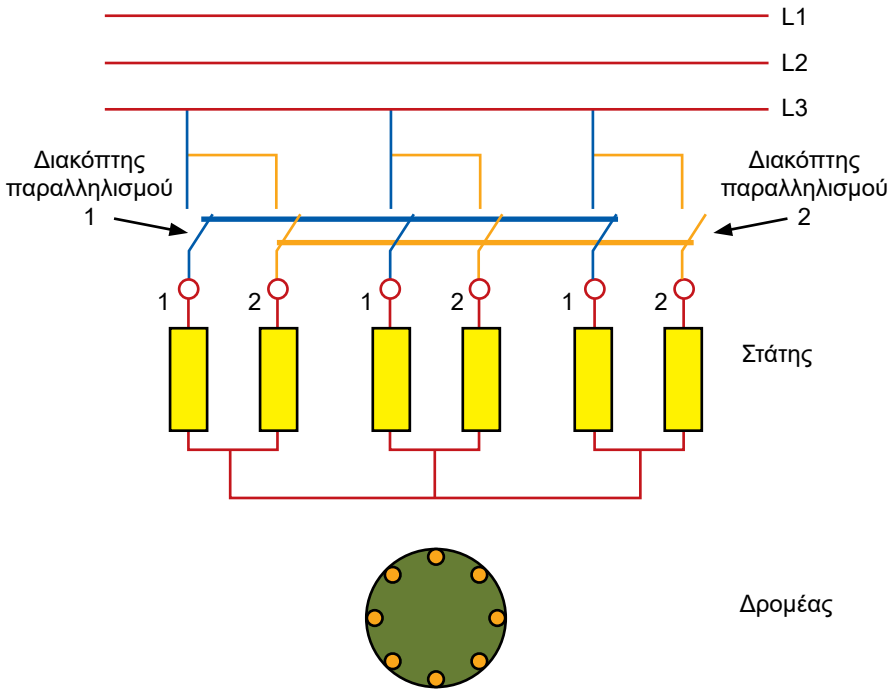


Σχήμα 4.4.4 Διάγραμμα σύνδεσης των ακροδεκτών αστέρα-τρίγωνο: (α) οι τρεις φάσεις με τους ακροδέκτες, (β) σύνδεση αστέρα, (γ) σύνδεση τρίγωνο

4.4.6 Εκκίνηση με Μερικό Τύλιγμα

Για την εφαρμογή της εκκίνησης με μερικό τύλιγμα, το τύλιγμα του στάτη, από κατασκευαστική άποψη, πρέπει να αποτελείται από δύο ή περισσότερους παράλληλους κλάδους. Για την εκκίνηση, πρώτα χρησιμοποιείται ο ένας κλάδος και στη συνέχεια συνδέονται ένας ένας οι άλλοι παράλληλοι κλάδοι. Η χρήση ενός από τους παράλληλους κλάδους αυξάνει τη σύνθετη αντίσταση του στάτη, με αποτέλεσμα το ρεύμα εκκίνησης και η ροπή εκκίνησης να μειώνονται.

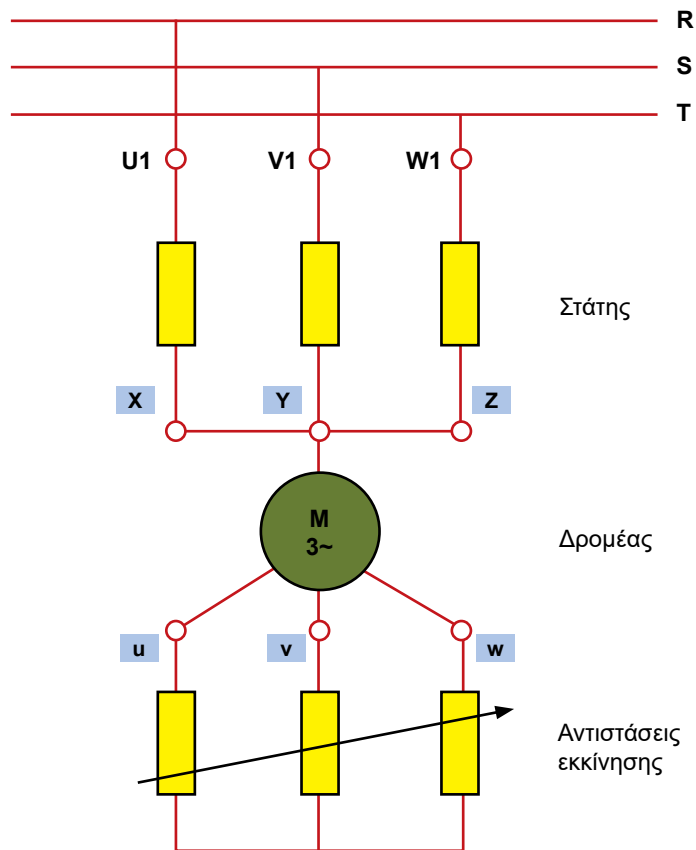
Το Σχήμα 4.4.5 δείχνει τη συνδεσμολογία για εκκίνηση με μερικό τύλιγμα όπου η κάθε φάση χωρίζεται σε δύο κλάδους 1 και 2. Με τον κύριο διακόπτη συνδέονται στη γραμμή πρώτα οι κλάδοι 1. Όταν ο κινητήρας αποκτήσει την ονομαστική ταχύτητα, κλείνει ο διακόπτης παραλληλισμού των δευτέρων κλάδων.



Σχήμα 4.4.5 Εκκίνηση με μερικό τύλιγμα

4.4.7 Εκκίνηση Κινητήρων Επαγωγής με Τυλιγμένο Δρομέα

Το ρεύμα εκκίνησης ενός κινητήρα επαγωγής με τυλιγμένο δρομέα μειώνεται και η ροπή αυξάνεται με σύνδεση πρόσθετης αντίστασης στο κύκλωμα του δρομέα (Σχήμα 4.4.6). Όταν ο κινητήρας επιταχύνει και αναπτύξει την ονομαστική του ταχύτητα, τότε οι αντιστάσεις εκκίνησης αφαιρούνται.



Σχήμα 4.4.6 Συνδεσμολογία πρόσθετης αντίστασης εκκίνησης στο τύλιγμα του δρομέα

4.5 Προστασία ηλεκτροκινητήρων

Ο ηλεκτρικός κινητήρας είναι το πιο ακριβό εξάρτημα ενός μηχανήματος ή μιας εγκατάστασης ψύξης, θέρμανσης και κλιματισμού. Στα τυλίγματά του αναπτύσσεται μεγάλη ροπή, παράγεται μεγάλη μηχανική ισχύς και ταυτόχρονα καταναλώνεται σημαντική ποσότητα ηλεκτρικής ενέργειας. Λόγω του υψηλού κόστους προμήθειας, εγκατάστασης και συντήρησης, ο κάθε ηλεκτροκινητήρας πρέπει να προστατεύεται έτσι ώστε να αποφεύγονται οι συχνές βλάβες και να εξασφαλίζεται μεγάλος χρόνος ζωής.

Η διέλευση υψηλού ρεύματος στους αγωγούς προκαλεί υπερθέρμανση και μπορεί να οδηγήσει σε βλάβη τις μονώσεις, βραχυκύκλωμα και πυρκαγιά. Για την προστασία των ηλεκτρικών κυκλωμάτων με ηλεκτροκινητήρες συχνά χρησιμοποιούνται **ασφάλειες**.

Π.Χ. ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 3

Σε ένα κεντρικό κλιματιστικό σύστημα υπάρχουν εγκατεστημένοι δύο κινητήρες: Ο μεγαλύτερος ηλεκτροκινητήρας που απορροφάει 20 A είναι του συμπιεστή και ο μικρότερος ηλεκτροκινητήρας που απορροφάει 3 A είναι του ανεμιστήρα του συμπιεστή. Οι ασφάλειες που προστατεύουν το κλιματιστικό μηχάνημα θα ανοίξουν το κύκλωμα όταν ο μεγάλος κινητήρας είναι υπερφορτισμένος, και δεν θα ανοίξουν όταν ο μικρός κινητήρας είναι υπερφορτισμένος.

Ο κάθε κινητήρας χρειάζεται να έχει δική του προστασία

Η προστασία ενός ηλεκτροκινητήρα διαφοροποιείται σύμφωνα με το είδος του, την ισχύ και την εφαρμογή του. Κατά την επιλογή της προστασίας του ηλεκτροκινητήρα, λαμβάνονται υπόψη: τα ονομαστικά μεγέθη (ισχύς, τάση, ρεύμα), η μέθοδος εκκίνησης (με αυτομετασχηματιστή, με διακόπτη αστέρα-τρίγωνο, με αντιστάσεις στο δρομέα κ.λπ.), το μέγεθος της ροπής του φορτίου στην εκκίνηση (χωρίς φορτίο, με πλήρες φορτίο κ.λπ.) και τα χαρακτηριστικά του δικτύου τροφοδότησης.

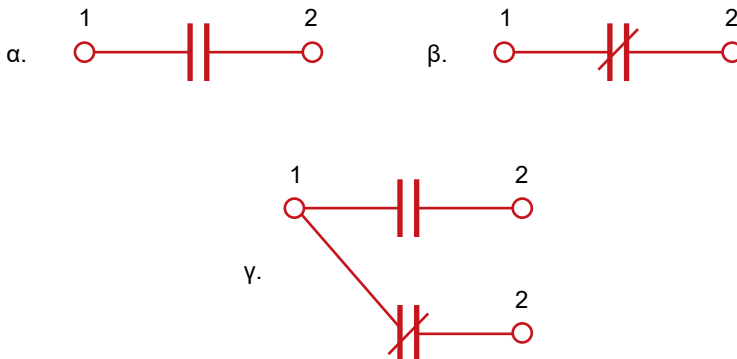
Οι κύριες συσκευές προστασίας των ηλεκτροκινητήρων είναι: ο ηλεκτρονόμος, ο επαφάς και ο αυτόματος διακόπτης.

4.5.1 Ο ηλεκτρονόμος (ρελέ)

Ένας ηλεκτρονόμος μπορεί να κλείσει ή να ανοίξει ένα ηλεκτρικό κύκλωμα και επομένως μπορεί να θέσει σε λειτουργία ή να διακόψει τη λειτουργία ενός μηχανήματος συνδεδεμένου σε ηλεκτρική τάση.

Η αρχή λειτουργίας του ηλεκτρονόμου παρουσιάσθηκε στο Κεφάλαιο 1. Ένας ηλεκτρονόμος έχει ένα πηνίο κατασκευασμένο από περιέλιξη σύρματος γύρω από ένα σιδηρομαγνητικό πυρήνα. Ο πυρήνας ονομάζεται οπλισμός. Όταν ηλεκτρικό ρεύμα ρέει στο πηνίο, δημιουργείται ένα μαγνητικό πεδίο, το οποίο έλκει ή απωθεί τον οπλισμό του ρελέ. Η συσκευή διαθέτει μια σταθερή επαφή στο σώμα του ρελέ και μια κινητή επαφή ενσωματωμένη στον οπλισμό. Η κινητή επαφή κλείνει πάνω στη σταθερή επαφή και έτσι το ρελέ κλείνει το ηλεκτρικό κύκλωμα.

Ένας ηλεκτρονόμος μπορεί να έχει διάφορες διαμορφώσεις, με ένα ή περισσότερα είδη σετ επαφών. Ένα ρελέ με ένα σετ επαφών κανονικά ανοικτών (normally open – NO) το οποίο δεν επιτρέπει τη διέλευση του ρεύματος ονομάζεται **ρελέ μονοπολικό απλής διέλευσης κανονικά ανοικτό** (Σχήμα 4.5.1α). Αντίστοιχα, ρελέ με ένα σετ επαφών κανονικά κλειστών (normally closed – NC) το οποίο επιτρέπει τη διέλευση του ρεύματος ονομάζεται **ρελέ μονοπολικό απλής διέλευσης κανονικά κλειστό** (Σχήμα 4.5.1β). Επίσης, ένα ρελέ με ένα σετ επαφών κανονικά ανοικτών και ένα σετ επαφών κανονικά κλειστών ονομάζεται **ρελέ μονοπολικό διπλής διέλευσης** (Σχήμα 4.5.1γ).



Σχήμα 4.5.1 Μερικές συνθέσεις επαφών ηλεκτρονόμων: α. Επαφές κανονικά ανοικτές (NO), β. επαφές κανονικά κλειστές (NC), γ. ηλεκτρονόμος με δύο ομάδες επαφών, μία ομάδα επαφών κανονικά ανοικτών και μία ομάδα επαφών κανονικά κλειστών

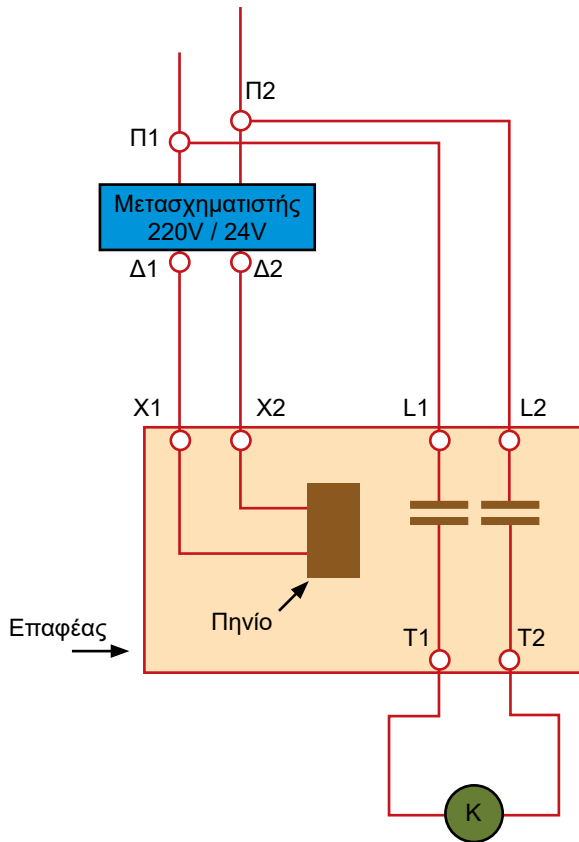
Οι επαφές του ηλεκτρονόμου είναι καλυμμένες μέσα στη συσκευή και δεν φαίνονται, όμως επάνω στη συσκευή υπάρχουν πληροφορίες για τον τύπο των επαφών και τους ακροδέκτες τους. Η συσκευή **έχει ενσωματωμένο ένα μετασχηματιστή**: το πρωτεύον τροφοδοτείται με την κανονική μονοφασική τάση 220 V και η τάση στο δευτερεύον είναι χαμηλή, στα 24 V. Όταν το πηνίο χαμηλής τάσης του ηλεκτρονόμου τροφοδοτείται με ηλεκτρικό ρεύμα, ο σπλισμός του μαγνητίζεται, η ενσωματωμένη σ' αυτόν επαφή αλλάζει θέση και παραμένει στη θέση αυτή για όσο χρονικό διάστημα είναι ενεργοποιημένο το πηνίο. Επομένως, όταν ενεργοποιείται το πηνίο του ρελέ, όλες οι επαφές αλλάζουν θέση: η επαφή κανονικά ανοικτή κλείνει και η επαφή κανονικά κλειστή ανοίγει και παραμένουν έτσι μέχρι να απενεργοποιηθεί το πηνίο.

Το ρελέ επιλέγεται ώστε να είναι κατασκευασμένο για την ίδια ονομαστική ισχύ με τον κινητήρα, π.χ. αν ο κινητήρας είναι ονομαστικής ισχύος 1 kW, το ρελέ πρέπει να είναι ισχύος 1 kW. Έτσι, εξασφαλίζεται ότι το ρελέ θα ενεργοποιηθεί στο σωστό ρεύμα εκκίνησης, το οποίο είναι 5 φορές υψηλότερο από το ονομαστικό ρεύμα λειτουργίας του κινητήρα. Συνήθως τα ρελέ κατασκευάζονται για μικρή ηλεκτρική ισχύ. Όμως, ένα ρελέ μικρής σχετικά ισχύος μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον έλεγχο επαφών μεγαλύτερης ηλεκτρικής ισχύος που συνδέονται στα κυκλώματα εκκίνησης των κινητήρων μεγαλύτερης ισχύος.

Όταν το ρελέ είναι ελαττωματικό, η επισκευή του δεν είναι δυνατή και πρέπει να αντικατασταθεί με ένα καινούργιο.

4.5.2 Ο επαφέας

Στο κύκλωμα εκκίνησης ενός ηλεκτροκινητήρα μπορεί να εγκατασταθεί ένας **επαφέας (contactor)**, δηλαδή ένας **ηλεκτρονόμος** με ικανότητα διακοπής υπερρευμάτων μέχρι το 10-πλάσιο του ονομαστικού ρεύματος του κινητήρα. Ο επαφέας έχει την ικανότητα να πραγματοποιεί τη ζεύξη και τη διακοπή της λειτουργίας του κινητήρα χωρίς μεγάλη φθορά των επαφών του και μπορεί να επισκευαστεί εάν χαλάσει. Χρησιμοποιείται σε μεγάλη έκταση για τον έλεγχο των κινητήρων.



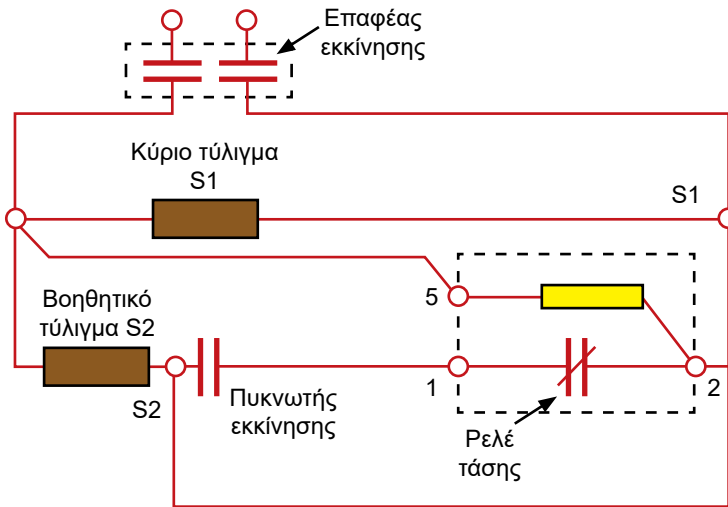
Σχήμα 4.5.2 Σύνδεση ενός επαφέα με ηλεκτροκινητήρα

Η σύνδεση του επαφέα στο κύκλωμα του ηλεκτροκινητήρα παρουσιάζεται στο Σχήμα 4.5.2. Οι ακροδέκτες γραμμής του επαφέα L1 και L2 προορίζονται για τη σύνδεση του αγωγού τροφοδοσίας και οι ακροδέκτες φορτίου T1 και T2 συνδέονται στον κινητήρα. Ο επαφέας έχει έναν ηλεκτρομαγνήτη (πηνίο) και μία ομάδα επαφών (οι οποίες μπορεί να είναι τύπου κανονικά ανοικτές, ή κανονικά κλειστές). Η τροφοδότηση του πηνίου γίνεται μέσω ενός μετασχηματιστή υποβιβασμού της τάσης του δικτύου από 220 V σε 24 V. Η ενεργοποίηση ή η απενεργοποίηση των επαφών οδηγούν στο ξεκίνημα ή στο σταμάτημα του κινητήρα αντίστοιχα.

Οι επαφείς μπορεί να έχουν περισσότερα σετ επαφών: π.χ. τα τρία σετ επαφών μεγάλης ενέργειας συνδέονται για την εκκίνηση ή το σταμάτημα του τριφασικού κινητήρα ενός συμπιεστή, ενώ οι υπόλοιπες επαφές είναι βοηθητικές και συνδέονται για τον έλεγχο λοιπών κυκλωμάτων, όπως του θερμαντήρα ελαίου του ίδιου συμπιεστή.

4.5.3 Ο ηλεκτρονόμος τάσης (ρελέ τάσης)

Ο ηλεκτρονόμος τάσης συνδέεται στο κύκλωμα εκκίνησης του μονοφασικού κινητήρα του συμπιεστή, με σκοπό να αποσυνδέσει τον πυκνωτή εκκίνησης όταν ο κινητήρας έχει επιταχύνει στο 75% της ονομαστικής του ταχύτητας. Ο κινητήρας μπορεί να είναι μονοφασικός με μόνιμη βοηθητική φάση και πυκνωτή, ή μονοφασικός με πυκνωτή εκκίνησης και με πυκνωτή λειτουργίας. Η σύνδεση του ρελέ τάσης σε ηλεκτρικό κύκλωμα του κινητήρα παρουσιάζεται στο Σχήμα 4.5.3.



Σχήμα 4.5.3 Σύνδεση του ηλεκτροκινητήρα ενός συμπιεστή με ρελέ τάσης

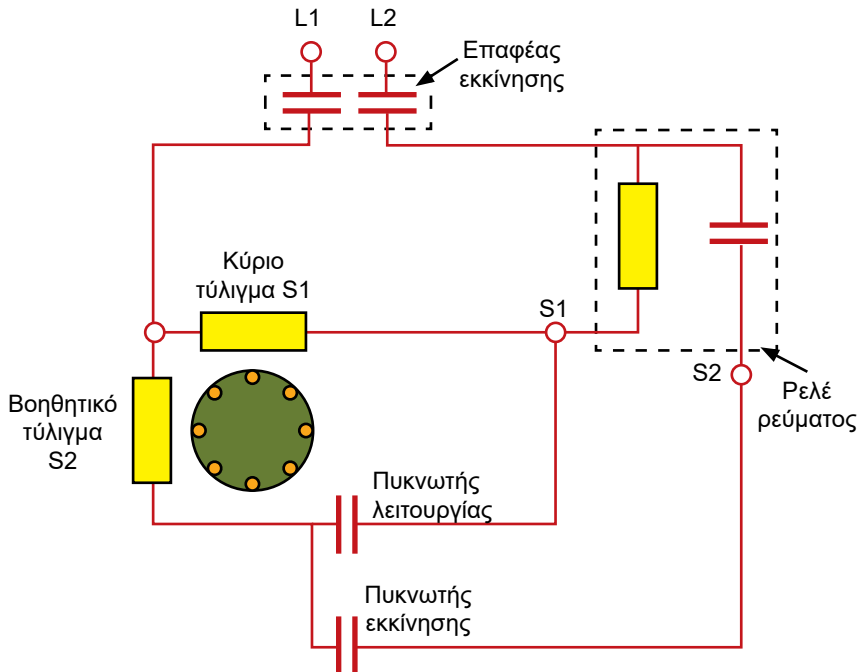
Το ρελέ τάσης κατασκευάζεται με ένα πηνίο μεγάλης ηλεκτρικής αντίστασης (10 kΩ-40 kΩ) και με ένα σετ επαφών κανονικά κλειστών (NC), οι οποίες ανοίγουν όταν το πηνίο του ενεργοποιεί τον σπλισμό. Οι επαφές του ρελέ συνδέονται σε σειρά με τον πυκνωτή εκκίνησης και το πηνίο του ρελέ συνδέεται παράλληλα με τη βοηθητική φάση του κινητήρα.

Το ηλεκτρικό ρεύμα τροφοδοτείται μέσω των επαφών του επαφέα εκκίνησης του συμπιεστή. Η τάση που επάγεται στο τύλιγμα εκκίνησης κατά τη διάρκεια της επιτάχυνσης του κινητήρα εφαρμόζεται στα άκρα του πηνίου του ρελέ. Όταν ο κινητήρας έχει επιταχύνει περίπου στο 75% της ονομαστικής του ταχύτητας, τότε η τάση αυτή είναι αρκετά υψηλή ώστε να ενεργοποιήσει τον σπλισμό του ρελέ και να ανοίξουν οι επαφές του. Έτσι, ο πυκνωτής, ο οποίος είναι συνδεδεμένος σε σειρά με τις επαφές, βγαίνει

εκτός κυκλώματος. Όταν ανοίξουν οι επαφές του επαφέα του συμπιεστή, διακόπτεται η τροφοδοσία με τάση του κινητήρα, αυτός επιβραδύνει και στη συνέχεια μειώνεται η τάση της βοηθητικής φάσης και έτσι μειώνεται η τάση στο πηνίο του ρελέ, με αποτέλεσμα οι επαφές του που είναι τύπου κανονικά κλειστές να κλείσουν.

4.5.4 Ο ηλεκτρονόμος ρεύματος (ρελέ ρεύματος)

Στα κυκλώματα εκκίνησης των μονοφασικών κινητήρων χαμηλής ισχύος που έχουν χαμηλή ροπή εκκίνησης χρησιμοποιούνται **ρελέ ρεύματος** (Σχήμα 4.5.4). Η χρήση τους αφορά τις εγκαταστάσεις ηλεκτροκινητήρων με συχνές και παρατεταμένες υπερφορτίσεις, κυρίως, κατά την εκκίνησή τους, όπως στους ανυψωτήρες και τους ψυκτικούς συμπιεστές. Χρησιμοποιούνται επίσης σε μικρά οικιακά κλιματιστικά παραθύρου, σε μικρούς ψυκτικούς θαλάμους και σε ψύκτες νερού.



Σχήμα 4.5.4 Ρελέ ρεύματος σε μονοφασικό κινητήρα με πυκνωτή εκκίνησης και πυκνωτή λειτουργίας. Το πηνίο του ρελέ είναι συνδεδεμένο στην κύρια φάση και οι επαφές του είναι στη βοηθητική φάση του κινητήρα

Τα ρελέ ρεύματος χρησιμοποιούνται για τη σύνδεση ή αποσύνδεση του βοηθητικού τυλίγματος εκκίνησης του μονοφασικού κινητήρα. Η σύνδεση του βοηθητικού τυλίγματος γίνεται για την εκκίνηση και η αποσύνδεση γίνεται όταν ο κινητήρας έχει αναπτύξει το 75% της ονομαστικής του ταχύτητας.

Οι ηλεκτρονόμοι ρεύματος είναι σχεδιασμένοι έτσι, ώστε να ενεργοποιούνται στη μέγιστη επιτρεπόμενη ένταση ρεύματος του ηλεκτροκινητήρα που αντιστοιχεί στο ρεύμα ακινητοποιημένου δρομέα. Το ρελέ ρεύματος έχει ένα σετ επαφών κανονικά ανοικτών (NO) και ένα πηνίο χαμηλής ηλεκτρικής αντίστασης ($< 1 \Omega$) κατασκευασμένο από μικρού μήκους χονδρό σύρμα, το οποίο μεταφέρει το ρεύμα πλήρους φορτίου της κύριας φάσης (Σχήμα 4.5.4). Το πηνίο του ρελέ συνδέεται σε σειρά με την κύρια φάση S1 του κινητήρα. Οι επαφές (NO) συνδέονται σε σειρά με τη βοηθητική φάση S2.

Όταν ο κινητήρας είναι σε στάση και τροφοδοτείται με ρεύμα, οι επαφές NO είναι ανοικτές, δεν τροφοδοτείται η βοηθητική φάση S2 και ο κινητήρας δεν εκκινεί. Η κύρια φάση S1 και το πηνίο του ρελέ τροφοδοτούνται με ρεύμα και απορροφούν πολύ υψηλό ρεύμα (3-7 φορές υψηλότερο του ονομαστικού) επειδή ο δρομέας του κινητήρα είναι σταματημένος. Το ρεύμα αυτό μαγνητίζει το πηνίο του ρελέ και έλκει τον σπλισμό ο οποίος κλείνει τις επαφές. Έτσι, η βοηθητική φάση S2 τροφοδοτείται με ρεύμα και ο κινητήρας εκκινεί.

Όταν ο κινητήρας έχει αναπτύξει ταχύτητα $\sim 75\%$ της ονομαστικής του, τότε το ρεύμα στην κύρια φάση μειώνεται περίπου στην τιμή κανονικής λειτουργίας, το μαγνητικό πεδίο που παράγει το πηνίο εξασθενεί και ο σπλισμός ελευθερώνει τις επαφές, οι οποίες ανοίγουν. Η βοηθητική φάση αποσυνδέεται από την τροφοδοσία της με ρεύμα και ο κινητήρας συνεχίζει να λειτουργεί μόνο με την κύρια φάση.

4.5.5 Ο αυτόματος διακόπτης

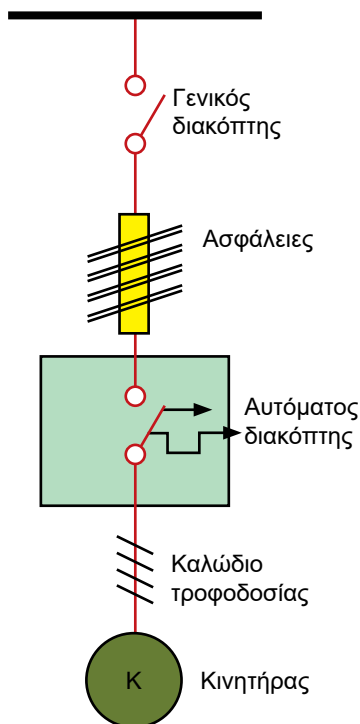
Στο Σχήμα 4.5.5 φαίνεται η διάταξη σύνδεσης με αυτόματο διακόπτη των κινητήρων επαγωγής, ισχύος από 1 kW μέχρι μερικών εκατοντάδων kW, όταν δεν υπάρχουν άλλες ιδιαίτερες απαιτήσεις προστασίας. Η σύνδεση στο δίκτυο των τριφασικών κινητήρων επαγωγής μέσω αυτόματου διακόπτη συνιστάται για τους εξής λόγους:

— **Για λόγους ασφαλείας προσώπων:** Σε περίπτωση σύντομης διακοπής της τροφοδότησης του κινητήρα από το δίκτυο και την επανατροφοδότησή του, το ξεκίνημα χωρίς προειδοποίηση του κινούμενου απ' αυτόν μηχανήματος μπορεί να προκαλέσει **ατυχήματα**. Για το λόγο

αυτό, σύμφωνα και με τους «Κανονισμούς Εσωτερικών Ηλεκτρολογικών Εγκαταστάσεων (ΚΕΗΕ)», η διακοπή του κινητήρα λόγω έλλειψης τάσης τροφοδοσίας επιβάλλεται για όλους τους κινητήρες ισχύος μεγαλύτερης του 1 kW.

- **Για λόγους προστασίας του ηλεκτροκινητήρα:** Αν η τάση δεν διακοπεί, αλλά πέσει πολύ χαμηλότερα από την ονομαστική της τιμή, τότε τα ρεύματα του στάτη και του δρομέα αυξάνονται και ο κινητήρας υπερφορτίζεται και μπορεί να πάθει βλάβη.
- **Η ταυτόχρονη εκκίνηση όλων των κινητήρων** που είναι συνδεδεμένοι στο δίκτυο τη συγκεκριμένη στιγμή της διακοπής της τάσης και η επανατροφοδότηση της τάσης **δημιουργεί προβλήματα στο δίκτυο διανομής.**

Ασφάλειες προηγούνται του αυτόματου διακόπτη στο Σχήμα 4.5.4. Η εγκατάσταση των ασφαλειών είναι απαραίτητη εάν ο αυτόματος διακόπτης δεν έχει την ικανότητα διακοπής του μέγιστου ρεύματος βραχυκύκλωσης που μπορεί να παρουσιαστεί. Αλλιώς χρησιμεύουν μόνο για να περιορίζουν την έκταση του διακοπτόμενου τμήματος εγκατάστασης σε περίπτωση βλάβης του αυτόματου διακόπτη και γενικότερα για την προστασία του ίδιου του αυτόματου διακόπτη.



Σχήμα 4.5.5 Αυτόματος διακόπτης με τριφασικό κινητήρα επαγωγής

4.6 Ψύξη ηλεκτροκινητήρων

Κατά τη διαδικασία της ηλεκτρομηχανικής μετατροπής ενέργειας εμφανίζονται **απώλειες ισχύος**, με συνέπεια την αύξηση της θερμοκρασίας των ηλεκτρικών μηχανών. Ως συνέπεια, όλες οι ηλεκτρικές μηχανές πρέπει να ψύχονται.

Συχνά, οι απώλειες ισχύος ονομάζονται και **απώλειες θερμότητας**. Οι απώλειες θερμότητας είναι αυξημένες για τις κατηγορίες μόνωσης με αντοχή στις υψηλές θερμοκρασίες. Οι πλέον σημαντικές απώλειες ισχύος στις ηλεκτρικές μηχανές είναι:

- **Οι απώλειες χαλκού** στα τυλίγματα, στους αγωγούς, στις ψήκτρες, στους δακτυλίους ολίσθησης και στο συλλέκτη.
- **Οι απώλειες σιδήρου** στα μαγνητικά υλικά τα οποία βρίσκονται σε μαγνητικά πεδία. Αυτές προέρχονται από δινορρέυματα και υστέρηση και μεταβάλλονται με τη συχνότητα της τάσης και την πυκνότητα ροής του μαγνητικού πεδίου.
- **Οι μηχανικές απώλειες** από τριβές στα κινούμενα μέρη και οι απώλειες ανεμισμού.

Οι συνολικές απώλειες εξαρτώνται από τη λειτουργία της μηχανής και επηρεάζονται από την ταχύτητα περιστροφής, το φορτίο, τις τάσεις, τα ρεύματα και επίσης από την κυματομορφή των τάσεων και των ρευμάτων. Ο προσδιορισμός με ακρίβεια της ροής και της κατανομής της θερμότητας στις ηλεκτρικές μηχανές είναι πολύ δύσκολο να γίνει λόγω της πολύπλοκης γεωμετρίας της μηχανής, των πολλών υλικών και των διαφορετικών συνθηκών ψύξης.

Τα διάφορα υλικά τα οποία χρησιμοποιούνται στην κατασκευή των ηλεκτρικών μηχανών έχουν διαφορετικά όρια θερμοκρασίας, πέρα από τα οποία υπάρχει κίνδυνος καταστροφής. Σαν παράδειγμα μπορούμε να αναφέρουμε τα μονωτικά υλικά, τα οποία **κατατάσσονται σε περισσότερες κατηγορίες**, σύμφωνα με το όριο αντοχής τους στις υψηλές θερμοκρασίες. Στα ακόλουθα θεωρούμε ότι η θερμοκρασία περιβάλλοντος είναι $\theta = 40^{\circ} \text{C}$ και ότι $\Delta\theta$ είναι η μέγιστη επιτρεπτή αύξηση της θερμοκρασίας πάνω από τη θερμοκρασία θ . Οι κατηγορίες αναγράφονται στην πινακίδα κάθε ηλεκτρικής μηχανής.

1. **Κατηγορία Α**, με $\Delta\theta < 60^\circ \text{ C}$, όπου ανήκουν το βαμβάκι, το χαρτί, τα συνθετικά υλικά κ.λπ.
2. **Κατηγορία Β**, με $\Delta\theta < 80^\circ \text{ C}$, όπου ανήκουν οι ρητίνες, το βερνίκι κ.λπ.
3. **Κατηγορία F**, με $\Delta\theta < 105^\circ \text{ C}$, όπου ανήκουν η μίκα και η εποξίνη.
4. **Κατηγορία Η**, με $\Delta\theta < 125^\circ \text{ C}$, όπου ανήκουν ο αμίαντος, το λάστιχο σιλικόνης και οι ίνες γυαλιού.

Συνήθως, οι μηχανές μικρού και μεσαίου μεγέθους ψύχονται με ψυκτικό αέριο, ενώ οι μεγάλες μηχανές είναι υδρόψυκτες. Έτσι, υπάρχουν οι ακόλουθες κατηγορίες ηλεκτρικών κινητήρων, οι οποίες προσδιορίζονται από τη μέθοδο που χρησιμοποιείται για την ψύξη τους:

- **Μηχανές με φυσική ψύξη**, οι οποίες δεν διαθέτουν ειδικές διατάξεις για την αποβολή της θερμότητας. Συνήθως, στην κατηγορία αυτή ανήκουν οι μικρές μηχανές.
- **Μηχανές με αυτοανεμισμό**, οι οποίες διαθέτουν ανεμιστήρες στον ίδιο άξονα με το δρομέα για τη διασκόρπιση της θερμότητας.
- **Μηχανές με εξωτερική ψύξη**, οι οποίες χρησιμοποιούνται σε περιβάλλοντα με εκρηκτικά και διαβρωτικά αέρια που μπορούν να φθείρουν τη μόνωσή της. Οι μηχανές αυτές είναι τελείως κλειστές, ώστε τα επικίνδυνα αέρια να μην μπορούν να διεισδύσουν στη μηχανή. Έτσι, η ψύξη γίνεται μόνο εξωτερικά με έναν ανεμιστήρα.
- **Μηχανές με ανεξάρτητη ψύξη**. Στην περίπτωση αυτή ψυκτικό ρευστό, όπως νερό, υδρογόνο ή αέρας, ρέει σε κλειστό κύκλωμα ανακύκλωσης και ψύχει το εσωτερικό της μηχανής. Χρησιμοποιείται μόνο σε μηχανές πολύ μεγάλης ισχύος.

Χαρακτηριστικά όταν χρησιμοποιείται ηλεκτροκινητήρας ψυχόμενος με ψυκτικό υγρό:

- Η ροή της μάζας του ψυκτικού μέσου κατευθύνεται απευθείας κατά μήκος του κινητήρα και του παρέχει αποτελεσματική ψύξη.
- Το αποτέλεσμα είναι υψηλή απόδοση του κινητήρα.
- Κατάλληλος κυρίως για μεσαίες θερμοκρασίες και εγκαταστάσεις κλιματισμού.
- Δυσκολότερη η αλλαγή του ηλεκτροκινητήρα.

Χαρακτηριστικά όταν χρησιμοποιείται αερόψυκτος ηλεκτροκινητήρας:

- Ο κινητήρας βρίσκεται εκτός του κυκλώματος ψύξης.
- Κατάλληλος κυρίως για κανονικές και χαμηλές θερμοκρασίες.
- Είναι ιδανική διάταξη για παράλληλα συστήματα συμπιεστών.
- Εύκολη αλλαγή του κινητήρα.

4.7 Χρήση ηλεκτροκινητήρων στις εγκαταστάσεις ψύξης και κλιματισμού**4.7.1 Εφαρμογές με ηλεκτροκινητήρες**

Στις εγκαταστάσεις ψύξης και κλιματισμού, οι ηλεκτρικοί κινητήρες χρησιμοποιούνται για την περιστροφή των μηχανισμών κίνησης του αέρα, του νερού και του ψυκτικού υγρού. Επίσης, ηλεκτροκινητήρες συναντώνται εγκατεστημένοι στους συμπιεστές, στους ανεμιστήρες και στις αντλίες διαφόρων υγρών. Υπάρχουν κάποιοι κινητήρες που λειτουργούν σε περιβάλλοντα βρόμικα ή σε ψυκτικά υγρά.

Κατά περίπτωση, σε κάποιες εφαρμογές χρειάζονται κινητήρες που να ξεκινούν με μεγάλα φορτία και σε συνθήκες συνεχούς λειτουργίας να αναπτύσσουν την ονομαστική τους ιπποδύναμη. Άλλοι κινητήρες χρειάζονται χαμηλή ροπή εκκίνησης και στη συνέχεια σε συνθήκες συνεχούς λειτουργίας αναπτύσσουν την ονομαστική τους ιπποδύναμη.

Στους ανεμιστήρες και στις αντλίες χρησιμοποιούνται ανοικτοί κινητήρες, ενώ στους συμπιεστές οι κινητήρες είναι κλειστού τύπου (ερμητικοί).

Στους ανοικτούς κινητήρες με πυκνωτή υπάρχουν τέσσερα προβλήματα, που εντοπίζονται: στις περιελίξεις, στον πυκνωτή, στα κουζινέτα και στο φυγοκεντρικό διακόπτη. Ο έλεγχος των περιελίξεων γίνεται με ένα ωμόμετρο ώστε να διαπιστωθεί αν είναι κομμένες, ή γειωμένες, ή βραχυκυκλωμένες. Ο πυκνωτής ελέγχεται επίσης με ένα ωμόμετρο. Όταν υπάρχει βλάβη στα κουζινέτα, αυτή διαπιστώνεται αν, όταν ωθηθεί ο δρομέας με το χέρι, περιστρέφεται με δυσκολία. Αν τα κουζινέτα δεν συντηρηθούν, θα καταλήξουν να κολλήσουν τελείως. Ο φυγοκεντρικός διακόπτης μπορεί να κολλήσει σε κλειστή ή ανοικτή θέση, ή οι επαφές του μπορεί να είναι ελαττωματικές. Στις περιπτώσεις αυτές, ο διακόπτης ελέγχεται με ένα ωμόμετρο για να διαπιστωθεί αν είναι ανοικτός ή κλειστός. Σε περίπτωση

βλάβης, πρέπει να αποσυναρμολογηθεί ο κινητήρας και να αντικατασταθεί ο διακόπτης.

Έτσι, πριν από την εγκατάσταση του ηλεκτροκινητήρα, πρέπει να γίνει επιλογή για το ποιος τύπος κινητήρα είναι κατάλληλος για κάθε εφαρμογή, ώστε να λειτουργεί με καλό βαθμό απόδοσης και σταθερά σε συνθήκες συνεχούς λειτουργίας. Επίσης, τα μηχανήματα αυτά πρέπει να συντηρούνται σε τακτικά χρονικά διαστήματα ώστε να αποφεύγονται ή και να διαπιστώνονται οι βλάβες και να έχουν μεγάλο χρόνο ζωής.

4.7.2 Κινητήρες Συμπιεστών

Συμπιεστές χρησιμοποιούνται σε πολλά μηχανήματα, όπως: για την παραγωγή πεπιεσμένου αέρα, για πιεστικά μηχανήματα νερού, για οδοντιατρικά μηχανήματα, για φυσητήρες, για κλιματιστικά κ.ά.

Στους ερμητικούς συμπιεστές με κλειστού τύπου κινητήρα με πυκνωτή εκκίνησης δεν χρησιμοποιείται φυγοκεντρικός διακόπτης λόγω του λαδιού λίπανσης. Ένα εξωτερικό ρελέ χρησιμοποιείται για την εκκίνηση για να διακόπτει τη βοηθητική φάση και το κύκλωμα του πυκνωτή εκκίνησης. Τα τυλίγματα του ερμητικού κινητήρα ελέγχονται με ωμόμετρο στους ακροδέκτες ώστε να διαπιστωθεί αν είναι γειωμένα, κομμένα, ή βραχυκυκλωμένα. Επίσης, τα κουζινέτα ή κάποια άλλη εσωτερική βλάβη μπορεί να σταματήσουν τον κινητήρα. Το πρόβλημα διαπιστώνεται με αμπερομέτρηση του ρεύματος που απορροφάει από το δίκτυο στην προσπάθειά του να ξεκινήσει, και από το θόρυβο.

Τα κλιματιστικά των κατοικιών λειτουργούν με διαφορετικό θερμικό φορτίο το χειμώνα από το καλοκαίρι. Οι ηλεκτροκινητήρες που κινούν τους συμπιεστές των κλιματιστικών παρουσιάζουν **καλύτερο ετήσιο βαθμό απόδοσης**, αν έχουν τη δυνατότητα λειτουργίας με **δύο διαφορετικές ταχύτητες**:

- **μια υψηλή ταχύτητα για το καλοκαίρι**, όταν το θερμικό φορτίο είναι μεγάλο και
- **μία χαμηλή ταχύτητα για το χειμώνα**, όταν το θερμικό φορτίο του είναι μικρό.

Η λειτουργία του ηλεκτροκινητήρα με **δύο ταχύτητες** γίνεται με τη μέθοδο της **αλλαγής του αριθμού των πόλων**:

- ως διπολικός κινητήρας λειτουργεί με υψηλή ταχύτητα,
- ως τετραπολικός κινητήρας λειτουργεί με χαμηλή ταχύτητα.

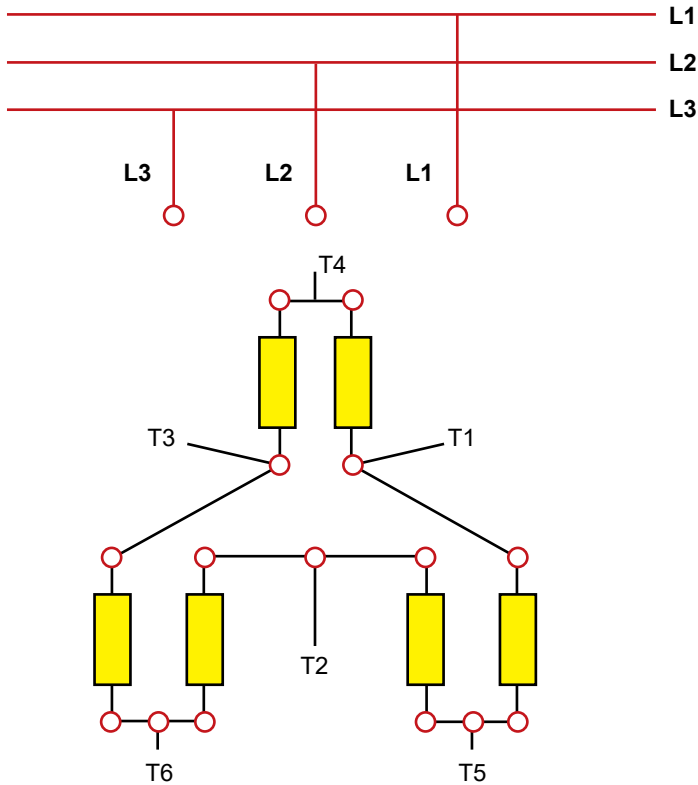
Η ταχύτητα του τετραπολικού κινητήρα είναι 1500 στροφές ανά λεπτό, δηλαδή το ήμισυ της ταχύτητας του διπολικού κινητήρα, που είναι 3000 στροφές ανά λεπτό. Η αλλαγή του αριθμού των πόλων μπορεί να γίνει με δύο τρόπους:

- Χειροκίνητα, όταν το κλιματιστικό έχει ένα διακόπτη με δύο θέσεις: «χειμώνα» – «καλοκαίρι».
- Αυτόματα, όταν το κλιματιστικό έχει ένα θερμοστάτη χώρου και έναν αυτόματο επαφέα ο οποίος αλλάζει από τη θέση «χειμώνα» στη θέση «καλοκαίρι».

Έτσι, ο συμπιεστής του κλιματιστικού χρησιμοποιεί τη μία ταχύτητα (χαμηλή) ή την άλλη ταχύτητα (υψηλή), ανάλογα με τις περιπτώσεις ψύξης. Στο Σχήμα 4.7.1 φαίνεται η σύνδεση σε σειρά και η σύνδεση παράλληλα των δύο τυλιγμάτων της καθε μίας φάσης του στάτη για χαμηλή και για υψηλή ταχύτητα αντίστοιχα.

Στις κατοικίες και στα γραφεία τα οποία τροφοδοτούνται με μονοφασικό ρεύμα, χρησιμοποιούνται στα κλιματιστικά μηχανήματα **μονοφασικοί ηλεκτροκινητήρες συμπιεστών** (Σχήμα 4.7.2).

Σε μεγάλες βιομηχανικές μονάδες, σε κτίρια γραφείων, σε εμπορικά κέντρα και γενικότερα σε πολυώροφα κτίρια όπου υπάρχει κεντρικός κλιματισμός, υπάρχει τριφασική τάση τροφοδότησης, όλος ο εξοπλισμός ψύξης και κλιματισμού είναι τριφασικός και επομένως χρησιμοποιούνται **τριφασικοί ηλεκτροκινητήρες συμπιεστών** (Σχήμα 4.7.3).



| Ταχύτητα | Γραμμές | | | |
|----------|---------|----|----|--------------------|
| | L1 | L2 | L3 | |
| Χαμηλή | T1 | T2 | T3 | T4, T5, T6 ανοικτά |
| Υψηλή | T4 | T5 | T6 | T1-T2-T3 μαζί |

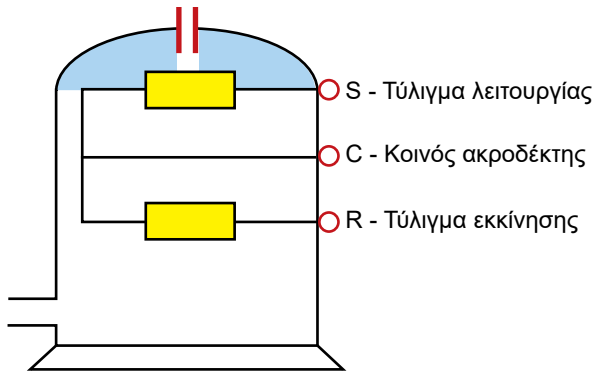
Σχήμα 4.7.1 Αλλαγή του αριθμού των πόλων σε τριφασικό κινητήρα επαγωγής

Οι τριφασικοί ηλεκτροκινητήρες συμπιεστών στα κλιματιστικά οι οποίοι τροφοδοτούνται με τριφασικό ρεύμα αναγνωρίζονται επειδή έχουν τρεις ακροδέκτες στους οποίους συνδέονται οι τρεις φάσεις της παροχής ρεύματος. Οι κινητήρες αυτοί έχουν **συμμετρικό τριφασικό τύλιγμα**, δηλαδή οι τρεις φάσεις έχουν την ίδια ωμική αντίσταση. Από κατασκευαστική άποψη, οι τριφασικοί ηλεκτροκινητήρες συμπιεστών έχουν υψηλή ροπή εκκίνησης, ώστε να ξεκινούν με το πλήρες φορτίο, χωρίς υψηλά ρεύματα εκκίνησης και επομένως, χωρίς υπερφόρτιση ή υπερθέρμανση του κινητήρα.

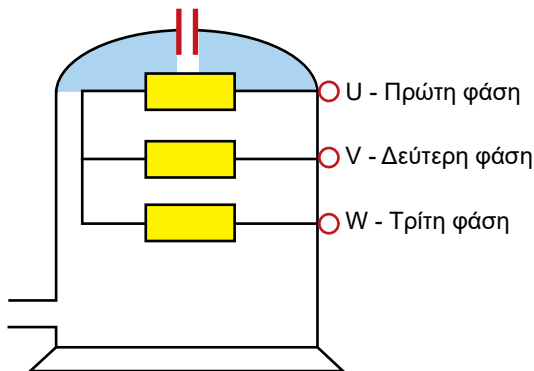
Οι συμπιεστές κλιματιστικών είναι συχνά **κλειστοί και αεροστεγείς**

(συγκόλλητοι), επομένως ο κινητήρας είναι μέσα στο κέλυφος και έχει τρεις εξωτερικούς ακροδέκτες. Η διαπίστωση αν ο κινητήρας είναι μονοφασικός ή τριφασικός γίνεται σύμφωνα με τη διαδικασία που περιγράφεται στα Σχήματα 4.7.2 και 4.7.3.

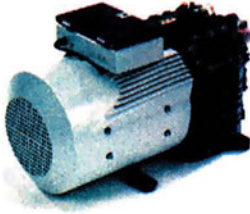
Οι συμπιεστές κατασκευάζονται σε μεγάλη κλίμακα μεγεθών, από 7 BTU μέχρι 125 BTU. Σε περίπτωση βλάβης, οι μεγάλοι κλειστοί συμπιεστές πρέπει να επιστραφούν στο εργοστάσιο κατασκευής, όπου κόβονται, επισκευάζονται και επανασυναρμολογούνται. Όταν, για διάφορους λόγους, η μεταφορά στον αρχικό κατασκευαστή δεν είναι δυνατή, τότε μια εταιρία εξειδικευμένη, η οποία διαθέτει τα απαιτούμενα μέσα, μπορεί να αναλάβει την επισκευή και την ανακατασκευή του κινητήρα.



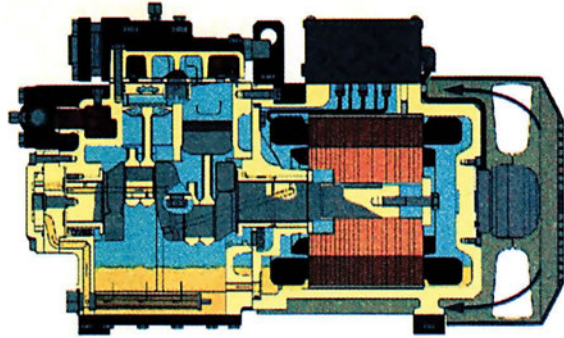
Σχήμα 4.7.2 Συμπιεστής με μονοφασικό κινητήρα: οι ακροδέκτες του κινητήρα είναι *S*, *C* και *R*. Μέτρηση με ένα πολύμετρο μεταξύ ακροδεκτών *S-C*, *C-R* και *R-S* δείχνει διαφορετική ηλεκτρική αντίσταση



Σχήμα 4.7.3 Συμπιεστής με τριφασικό κινητήρα: οι ακροδέκτες του κινητήρα είναι *U*, *V* και *W*. Μέτρηση με ένα πολύμετρο μεταξύ ακροδεκτών *U-V*, *V-W* και *W-U* δείχνει την ίδια ηλεκτρική αντίσταση

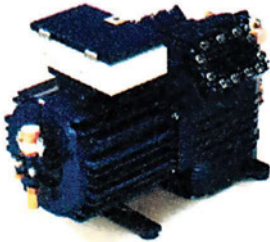


Αερόψυκτος ημιαερμητικός συμπιεστής

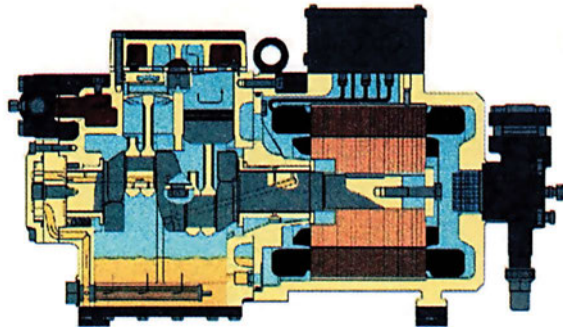


Αερόψυκτος ημιαερμητικός συμπιεστής σε τομή

Εικόνα 4.10 Αερόψυκτος ημιαερμητικός συμπιεστής



Συμπιεστής ψυχόμενος με υγρό ημιαερμητικός



Συμπιεστής ψυχόμενος με υγρό ημιαερμητικός σε τομή

Εικόνα 4.11 Αερόψυκτος ημιαερμητικός συμπιεστής

4.7.3 Συντελεστής απόδοσης ψυκτικών εγκαταστάσεων

Στις κλιματιστικές και στις ψυκτικές εγκαταστάσεις, εκτός από το **βαθμό απόδοσης** που υπολογίζεται σύμφωνα με τη σχέση του Κεφαλαίου 2, υπολογίζεται και ο **συντελεστής εκμετάλλευσης** (COP – coefficient of performance).

Ο **συντελεστής εκμετάλλευσης** μίας κλιματιστικής εγκατάστασης είναι ο λόγος της συνολικής ψυκτικής ισχύος διά της συνολικής απορροφούμενης ηλεκτρικής ισχύος και υπολογίζεται από τη σχέση:

$$\text{COP} = q / P$$

όπου q είναι η ολική ψυκτική ισχύς της εγκατάστασης και P η απορροφούμενη ηλεκτρική ισχύς.

Το χαρακτηριστικό του συντελεστή εκμετάλλευσης είναι ότι έχει τιμές μεγαλύτερες του 1, ενώ ο βαθμός απόδοσης είναι πάντοτε μικρότερος της μονάδας. Έτσι, σχεδόν πάντα $\text{COP} > 2$ και συχνά $\text{COP} > 3$.

Το γεγονός ότι ο συντελεστής εκμετάλλευσης είναι μεγαλύτερος της μονάδας οφείλεται στο ότι η ψυκτική ισχύς στα κλιματιστικά και στα ψυκτικά μηχανήματα δεν προέρχεται από κατανάλωση ηλεκτρικού ρεύματος, αλλά πρόκειται για θερμότητα που μεταφέρεται από το εξωτερικό περιβάλλον στο εσωτερικό ή αντίστροφα. Με άλλα λόγια, πρόκειται για άντληση και μεταφορά θερμότητας και αυτό που συμβαίνει συχνά είναι ότι με την κατανάλωση 1 kW ηλεκτρικής ισχύος μεταφέρονται π.χ. 2,5 kW θερμικής ισχύος από το ένα περιβάλλον στο άλλο.

π.χ. ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 4

Ένα μονοφασικό κλιματιστικό μηχάνημα διαρρέεται από ηλεκτρικό ρεύμα 5 A, η τάση είναι 220 V και ο συντελεστής ισχύος $\cos\phi = 0,8$. Η ψυκτική ισχύς του μηχανήματος είναι 2,4 kW. Να βρεθεί ο συντελεστής εκμετάλλευσης COP του κλιματιστικού μηχανήματος.

Λύση:

$$P = U \cdot I \cdot \cos\phi = 5 \text{ A} \cdot 220 \text{ V} \cdot 0,8 = 880 \text{ W} = 0,88 \text{ kW}$$

$$q = 2,4 \text{ kW}$$

$$\text{COP} = 2,4 \text{ kW} / 0,88 \text{ kW} = 2,72$$

Για τον υπολογισμό του συντελεστή εκμετάλλευσης μίας περίπλοκης ψυκτικής ή κλιματιστικής εγκατάστασης που περιλαμβάνει και άλλα μηχανήματα (αντλίες, ανεμιστήρες κ.λπ.) λαμβάνεται υπόψη η συνολικά καταναλισκόμενη ηλεκτρική ισχύς από όλα τα μηχανήματα της εγκατάστασης.

4.7.4 Κινητήρες ελεγχόμενης ταχύτητας

Για την αύξηση του βαθμού απόδοσης των ανεμιστήρων, αντλιών, συμπιεστών και άλλων μηχανημάτων συχνά χρησιμοποιούνται ελεγχόμενοι ηλεκτροκινητήρες. Οι τεχνολογικές ανακαλύψεις των τελευταίων δεκαετιών σε θέματα ελέγχου ηλεκτρικών μηχανών έχουν οδηγήσει τις βιομηχανίες κατασκευής των ψυκτικών και κλιματιστικών μηχανημάτων, των ανεμιστήρων, των αντλιών και των συμπιεστών να ενσωματώσουν στη γραμμή παραγωγής τους τις μονάδες ηλεκτρονικού ελέγχου των ηλεκτροκινητήρων.

Ως παράδειγμα, οι ηλεκτροκινητήρες κλιματιστικών μηχανημάτων λειτουργούν στις ονομαστικές τους στροφές με το ονομαστικό τους φορτίο μόνο σε εποχές που απαιτείται θερμοκρασιακή αιχμή, όπως τις πολύ ζεστές ημέρες του καλοκαιριού και τις πολύ κρύες ημέρες του χειμώνα. Τις άλλες εποχές μπορούν να ικανοποιήσουν το χαμηλό κλιματιστικό φορτίο λειτουργώντας σε χαμηλότερες στροφές και έτσι η ηλεκτρική ενέργεια που καταναλώνουν μειώνεται, με αποτέλεσμα την αύξηση του βαθμού απόδοσης.

Η ταχύτητα του κινητήρα επαγωγής (τριφασικός ή μονοφασικός) είναι ανάλογη της συχνότητας της τάσης τροφοδοσίας. Η μεταβολή της συχνότητας γίνεται με ειδικές ηλεκτρονικές μονάδες. Οι μονάδες αυτές μετατρέπουν την εναλλασσόμενη τάση του δικτύου σε συνεχή τάση (ανόρθωση) και στη συνέχεια μετατρέπουν την ανορθωμένη συνεχή τάση σε εναλλασσόμενη τάση ρυθμιζόμενης συχνότητας και εύρους (αντιστροφή). Η ανόρθωση πραγματοποιείται από έναν ανορθωτή (rectifier) και η αντιστροφή από έναν αντιστροφέα (inverter).

Υπάρχουν ηλεκτρονικές μονάδες που εκτελούν την ομαλή εκκίνηση των ηλεκτροκινητήριων συμπιεστών και ονομάζονται ομαλοί εκκινήτες (soft starters), και άλλες που εκτελούν τον ηλεκτρονικό έλεγχο λειτουργίας πιεστικών μηχανημάτων.

Ως οφέλη μπορούν να αναφερθούν η εξοικονόμηση ενέργειας, η βελτίωση της επίδοσης των μηχανημάτων (π.χ. καλύτερος έλεγχος θερμοκρασίας, υγρασίας, πίεσης κ.λπ.), η μείωση του ακουστικού θορύβου λειτουργίας των μηχανημάτων, η ομαλότερη εκκίνηση, το μικρότερο ονομαστικό μέγεθος των ηλεκτροκινητήρων κ.ά.



ΑΝΑΚΕΦΑΛΑΙΩΣΗ

- Όλες οι ηλεκτρικές μηχανές αποτελούνται από: ένα σταθερό μέρος (ο στάτης), το οποίο έχει έναν πυρήνα και τύλιγμα, ένα στρεφόμενο μέλος (ο δρομέας), το οποίο έχει πυρήνα και τύλιγμα, ένα διάκενο αέρος, απαραίτητο για τη σχετική κίνηση μεταξύ του στάτη και του δρομέα, και συνδέσεις τυλιγμάτων του δρομέα μέσω συλλέκτη, ή ψηκτρών, ή δακτυλίων ολίσθησης.
- Οι κινητήρες επαγωγής τροφοδοτούνται στο στάτη από μία πηγή εναλλασσόμενης τάσης, και στο δρομέα, ο οποίος είναι ένα κλειστό κύκλωμα χωρίς πηγή τάσης, επάγονται ρεύματα. Η μηχανή επαγωγής έχει εναλλασσόμενα ρεύματα, τόσο στο τύλιγμα του στάτη όσο και στο τύλιγμα του δρομέα. Το τύλιγμα του στάτη είναι τριφασικό και συμμετρικό στις τριφασικές μηχανές, ή μονοφασικό στις μονοφασικές μηχανές. Το τύλιγμα του δρομέα είναι ηλεκτρικώς κλειστό (βραχυκυκλωμένο) και τις περισσότερες φορές δεν έχει εξωτερικούς ακροδέκτες.
- Για όλες τις μηχανές επαγωγής κατασκευάζονται τρεις τύποι δρομέων: με τύλιγμα κλωβού ή βραχυκυκλωμένος δρομέας, τυλιγμένος δρομέας με δακτυλίους και δρομέας χωρίς αύλακες.
- Απαραίτητο για την παραγωγή της ροπής είναι ο στάτης και ο δρομέας μιας ηλεκτρικής μηχανής να έχουν τον ίδιο αριθμό πόλων. Με εναλλαγή δύο ακροδεκτών του στάτη του τριφασικού κινητήρα, η ακολουθία των φάσεων και η φορά περιστροφής του μαγνητικού πεδίου αναστρέφεται και έτσι αναστρέφεται η φορά περιστροφής του δρομέα.
- Ο μονοφασικός κινητήρας επαγωγής δεν έχει ροπή εκκίνησης και δεν μπορεί να ξεκινήσει από στάση. Αν όμως εκκινήσει με κάποιο βοηθητικό τρόπο, τότε παράγεται στρεφόμενο μαγνητικό πεδίο, με αποτέλεσμα τη συνέχιση της περιστροφικής κίνησης του δρομέα.
- Για να μπορεί να εκκινήσει ο μονοφασικός κινητήρας επαγωγής, χρειάζεται, επιπλέον από το κύριο τύλιγμα, ένα βοηθητικό τύλιγμα (με αντίσταση στους μονοφασικούς κινητήρες αντίστασης ή με έναν πυκνωτή στους μονοφασικούς κινητήρες με πυκνωτή). Το βοηθητικό τύλιγμα εκκίνησης πρέπει να αποσυνδεθεί όταν ο κινητήρας έχει αναπτύξει το 75%-80% της ονομαστικής του ταχύτητας και σε σύντομο χρονικό

διάστημα, αλλιώς παράγεται υπερθέρμανση του κινητήρα. Για την αποσύνδεση του βοηθητικού τυλίγματος χρησιμοποιείται ένας φυγοκεντρικός διακόπτης.

- Το τόξο του φυγοκεντρικού διακόπτη δεν επηρεάζει τον αέρα και έτσι ο διακόπτης αυτός μπορεί να εγκατασταθεί σε ανοικτούς κινητήρες (μη αεροστεγείς). Το τόξο του διακόπτη βλάπτει το ψυκτικό υγρό και επομένως δεν επιτρέπεται να υπάρχει τόξο σε ψυκτική ατμόσφαιρα. Για το λόγο αυτό, σε ψυκτικό μέσο χρησιμοποιούνται κινητήρες αεροστεγείς, χωρίς φυγοκεντρικό διακόπτη.
- Οι μονοφασικοί κινητήρες επαγωγής με αντίσταση είναι μικρής ιπποδύναμης και μπορούν να εκκινήσουν με σύνδεση απευθείας από το δίκτυο. Χρησιμοποιούνται σε εφαρμογές μέχρι 0,5 HP για ανεμιστήρες, ηλεκτρικές συσκευές και ηλεκτρικά εργαλεία.
- Ο μονοφασικός κινητήρας επαγωγής με πυκνωτή κατασκευάζεται για μεγαλύτερη ισχύ από το μονοφασικό κινητήρα με αντίσταση (μέχρι 1,5 kW). Έχει έναν πυκνωτή συνδεδεμένο σε σειρά με το βοηθητικό τύλιγμα.
- Ο μονοφασικός κινητήρας επαγωγής με χαμηλή ροπή εκκίνησης είναι κινητήρας σκιασμένου πόλου (shaded pole) και χρησιμοποιείται στα πτερύγια μικρών ανεμιστήρων σε οικιακές συσκευές, σε ηλεκτρονικά μηχανήματα, σε υπολογιστικά συστήματα, σε μηχανές γραφείου, σε αερόψυκτους συμπυκνωτές κ.α.
- Ο στάτης του κινητήρα σκιασμένου πόλου κατασκευάζεται από σιδηρομαγνητικά ελάσματα με έκτυπους πόλους και ο δρομέας έχει τύλιγμα κλωβού. Το τύλιγμα εκκίνησης αποτελείται από 2-3 βραχυκυκλωμένες σπείρες και είναι τοποθετημένο σε ένα τμήμα του άκρου του κάθε πόλου του στάτη. Στις σπείρες αυτές επάγεται ρεύμα και δημιουργείται το στρεφόμενο μαγνητικό πεδίο και έτσι εμφανίζεται μια μικρή ροπή εκκίνησης.
- Στις εγκαταστάσεις ψύξης και κλιματισμού, οι ηλεκτρικοί κινητήρες χρησιμοποιούνται για την περιστροφή των μηχανισμών κίνησης του αέρα, του νερού και του ψυκτικού υγρού. Ηλεκτροκινητήρες είναι εγκατεστημένοι στους συμπιεστές, στους ανεμιστήρες και στις αντλίες. Υπάρχουν κινητήρες που λειτουργούν σε περιβάλλοντα βρόμικα ή σε ψυκτικά υγρά.

- Τα σημαντικότερα προβλήματα στην εκκίνηση των κινητήρων επαγωγής είναι η ροπή εκκίνησης και το ρεύμα εκκίνησης. Για να εκκινήσει ο κινητήρας επαγωγής, πρέπει η ροπή που αναπτύσσεται στον άξονα να είναι μεγαλύτερη από τη ροπή που επιβάλλεται στον άξονα από το φορτίο. Το ρεύμα εκκίνησης δεν πρέπει να υπερβαίνει ορισμένα όρια.
- Για μεγάλης ισχύος κινητήρες επαγωγής είναι απαραίτητη η ελάττωση του ρεύματος εκκίνησης. Όταν ένας κινητήρας επαγωγής συνδεθεί σε δίκτυο διανομής, το οποίο τροφοδοτεί λαμπτήρες φωτισμού, το υψηλό ρεύμα εκκίνησης του κινητήρα μπορεί να προκαλέσει σημαντική πτώση τάσης και συνεπώς, μια μεταβολή στην ένταση του φωτός. Όταν η πτώση τάσης είναι μεγάλη, κινητήρες συνδεδεμένοι στο ίδιο δίκτυο μπορεί να σταματήσουν.
- Η εκκίνηση των κινητήρων με δρομείς κλωβού μπορεί να γίνει: με αντίσταση ή επαγωγική αντίδραση σε σειρά, με αυτομετασχηματιστή, με σύνδεση αστέρα-τρίγωνο και με μερικό τύλιγμα.
- Με σύνδεση πρόσθετης αντίστασης εκκίνησης στο κύκλωμα του δρομέα, το ρεύμα εκκίνησης ενός κινητήρα επαγωγής με τυλιγμένο δρομέα μειώνεται και η ροπή εκκίνησης αυξάνεται.
- Όλες οι ηλεκτρικές μηχανές πρέπει να ψύχονται επειδή εμφανίζουν απώλειες ισχύος ή απώλειες θερμότητας, με συνέπεια την αύξηση της θερμοκρασίας τους.
- Οι απώλειες στις ηλεκτρικές μηχανές είναι: οι απώλειες χαλκού στα τυλίγματα, στους αγωγούς, στις ψήκτρες, στους δακτυλίους ολίσθησης και στο συλλέκτη, οι απώλειες σιδήρου στα μαγνητικά υλικά από δινορρέυματα και οι μηχανικές απώλειες από τριβές στα κινούμενα μέρη και από ανεμισμό.
- Τα διάφορα υλικά τα οποία χρησιμοποιούνται στην κατασκευή των ηλεκτρικών μηχανών έχουν διαφορετικά όρια θερμοκρασίας, πέρα από τα οποία υπάρχει κίνδυνος καταστροφής. Τα μονωτικά υλικά κατατάσσονται στις ακόλουθες κατηγορίες, σύμφωνα με το όριο αντοχής τους στις υψηλές θερμοκρασίες (η θερμοκρασία περιβάλλοντος είναι $\theta = 40^{\circ}\text{C}$ και $\Delta\theta$ είναι η μέγιστη επιτρεπτή αύξηση της θερμοκρασίας πάνω από τη θερμοκρασία θ): κατηγορία A με $\Delta\theta < 60^{\circ}\text{C}$, κατηγορία B με $\Delta\theta < 80^{\circ}\text{C}$, κατηγορία F με $\Delta\theta < 105^{\circ}\text{C}$ και κατηγορία H με $\Delta\theta < 125^{\circ}\text{C}$.

- Από τη μέθοδο που χρησιμοποιείται για την ψύξη τους, υπάρχουν ηλεκτρικές μηχανές: με φυσική ψύξη, οι οποίες δεν διαθέτουν ειδικές διατάξεις για την αποβολή της θερμότητας, με αυτοανεμισμό, οι οποίες διαθέτουν ανεμιστήρες στον ίδιο άξονα με το δρομέα για τη διασκόρπιση της θερμότητας, με εξωτερική ψύξη για τα περιβάλλοντα με εκρηκτικά και διαβρωτικά αέρια, και με ανεξάρτητη ψύξη, οι οποίες έχουν ψυκτικό ρευστό, όπως νερό, υδρογόνο, ή αέρας ρέει σε κλειστό κύκλωμα ανακύκλωσης και ψύχει το εσωτερικό της μηχανής.
- Κατά την επιλογή της προστασίας των ηλεκτροκινητήρων, λαμβάνονται υπόψη: τα ονομαστικά μεγέθη, ο τρόπος εκκίνησης, η ροπή του φορτίου, ο κύκλος λειτουργίας και τα χαρακτηριστικά του δικτύου τροφοδότησης.
- Τα κλιματιστικά των κατοικιών λειτουργούν με διαφορετικό θερμικό φορτίο το χειμώνα από το καλοκαίρι. Οι ηλεκτροκινητήρες των συμπιεστών των κλιματιστικών έχουν καλύτερο ετήσιο βαθμό απόδοσης, αν λειτουργούν με δύο διαφορετικές ταχύτητες: μια υψηλή ταχύτητα για το καλοκαίρι, όταν το θερμικό φορτίο είναι μεγάλο, και μία χαμηλή ταχύτητα για το χειμώνα, όταν το θερμικό φορτίο είναι μικρό.
- Η λειτουργία του ηλεκτροκινητήρα με δύο ταχύτητες γίνεται με τη μέθοδο της αλλαγής του αριθμού των πόλων: ως διπολικός κινητήρας λειτουργεί με υψηλή ταχύτητα και ως τετραπολικός κινητήρας λειτουργεί με χαμηλή ταχύτητα. Η αλλαγή του αριθμού των πόλων γίνεται ή με ένα διακόπτη με δύο θέσεις: «χειμώνα» – «καλοκαίρι» ή αυτόματα, όταν το κλιματιστικό έχει ένα θερμοστάτη χώρου και έναν αυτόματο επαφέα ο οποίος αλλάζει από τη θέση «χειμώνα» στη θέση «καλοκαίρι». Έτσι, ο συμπιεστής του κλιματιστικού χρησιμοποιεί τη μία ταχύτητα (χαμηλή) ή την άλλη ταχύτητα (υψηλή), ανάλογα με τις συνθήκες ψύξης.
- Στις κατοικίες και σε γραφεία τα οποία τροφοδοτούνται με μονοφασικό ρεύμα, στα κλιματιστικά μηχανήματα χρησιμοποιούνται μονοφασικοί ηλεκτροκινητήρες συμπιεστών. Σε μεγάλες βιομηχανικές μονάδες, σε κτίρια γραφείων, σε εμπορικά κέντρα και σε πολυώροφα κτίρια, όπου υπάρχει τριφασική τάση τροφοδότησης και κεντρικός κλιματισμός, όλος ο εξοπλισμός ψύξης και κλιματισμού είναι τριφασικός.
- Οι τριφασικοί ηλεκτροκινητήρες συμπιεστών των κλιματιστικών μηχανημάτων έχουν συμμετρικό τριφασικό τύλιγμα, οι τρεις φάσεις έχουν

την ίδια ωμική αντίσταση και έχουν τρεις ακροδέκτες, στους οποίους συνδέονται οι τρεις φάσεις της παροχής ρεύματος. Οι κινητήρες αυτοί έχουν υψηλή ροπή εκκίνησης, ώστε να ξεκινούν με το πλήρες φορτίο, χωρίς υψηλά ρεύματα εκκίνησης και χωρίς υπερφόρτιση ή υπερθέρμανση του κινητήρα.

- Οι συμπιεστές των κλιματιστικών είναι κλειστοί και αεροστεγείς (συγκολλητοί) και ο κινητήρας τους είναι μέσα στο κέλυφος. Κατασκευάζονται σε μεγάλη κλίμακα μεγεθών, από 7 BTU μέχρι 125 BTU.
- Ο **συντελεστής απόδοσης COP** μίας κλιματιστικής εγκατάστασης είναι ο λόγος της συνολικής ψυκτικής ισχύος q διά της συνολικής απορροφούμενης ηλεκτρικής ισχύος P :

$$\text{COP} = q / P$$

- Η ταχύτητα του κινητήρα επαγωγής είναι ανάλογη της συχνότητας της τάσης τροφοδοσίας. Η μεταβολή της συχνότητας γίνεται με ειδικές ηλεκτρονικές μονάδες, οι οποίες μετατρέπουν την εναλλασσόμενη τάση του δικτύου σε συνεχή τάση (ανόρθωση) και στη συνέχεια μετατρέπουν την ανορθωμένη συνεχή τάση σε εναλλασσόμενη τάση ρυθμιζόμενης συχνότητας και εύρους (αντιστροφή). Η ανόρθωση γίνεται από τον ανορθωτή (rectifier) και η αντιστροφή από τον αντιστροφέα (inverter).

**ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ**

1. Από ποια μέρη αποτελούνται όλες οι ηλεκτρικές μηχανές;
2. Ποια είναι τα ονομαστικά μεγέθη των ηλεκτροκινητήρων;
3. Ποια είναι η αρχή λειτουργίας των κινητήρων επαγωγής;
4. Ποιοι είναι οι τρεις τύποι δρομέων των κινητήρων επαγωγής;
5. Πώς γίνεται η αλλαγή της φοράς περιστροφής του δρομέα;
6. Πώς μπορεί να εκκινήσει ο μονοφασικός κινητήρας επαγωγής;
7. Ποιος είναι ο ρόλος του φυγοκεντρικού διακόπτη;
8. Περιγράψτε τη λειτουργία των μονοφασικών κινητήρων επαγωγής με αντίσταση.
9. Περιγράψτε τη λειτουργία των μονοφασικών κινητήρων επαγωγής με πυκνωτή.
10. Περιγράψτε τη λειτουργία των μονοφασικών κινητήρων επαγωγής με χαμηλή ροπή εκκίνησης (σκιασμένου πόλου – shaded pole).
11. Ποια είναι η χρήση των ηλεκτρικών κινητήρων στις εγκαταστάσεις ψύξης και κλιματισμού;
12. Ποια είναι τα περιβάλλοντα λειτουργίας των ηλεκτρικών κινητήρων στις εγκαταστάσεις ψύξης και κλιματισμού;
13. Ποιες παραμέτρους πρέπει να γνωρίζουμε πριν από την εγκατάσταση των ηλεκτρικών κινητήρων στις εγκαταστάσεις ψύξης και κλιματισμού;
14. Ποια είναι τα σημαντικότερα προβλήματα στην εκκίνηση των κινητήρων επαγωγής;
15. Πώς αντιμετωπίζονται τα προβλήματα εκκίνησης;
16. Ποιοι τρόποι εκκίνησης υπάρχουν για τους κινητήρες με δρομέα κλωβού;
17. Ποιοι τρόποι εκκίνησης υπάρχουν για τους κινητήρες με τυλιγμένο δρομέα;
18. Για ποιους λόγους πρέπει να ψύχονται οι ηλεκτροκινητήρες;

19. Ποιες είναι οι πιο σημαντικές απώλειες ισχύος στις ηλεκτρικές μηχανές;
20. Ποιες είναι οι κατηγορίες μόνωσης και ποιες είναι οι αντίστοιχες μέγιστες επιτρεπτές θερμοκρασίες;
21. Ποιες είναι οι κατηγορίες ψύξης των ηλεκτρικών κινητήρων;
22. Ποιες είναι οι συσκευές προστασίας των ηλεκτροκινητήρων;
23. Γιατί οι ηλεκτροκινητήρες που κινούν τους συμπιεστές των κλιματιστικών λειτουργούν με δύο διαφορετικές ταχύτητες;
24. Με ποιους τρόπους γίνεται η λειτουργία των ηλεκτροκινητήρων των συμπιεστών με δύο ταχύτητες;
25. Σε ποιες εγκαταστάσεις κλιματιστικών χρησιμοποιούνται μονοφασικοί κινητήρες και σε ποιες τριφασικοί;

Η ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΤΩΝ ΒΑΣΙΚΩΝ ΕΞΑΡΤΗΜΑΤΩΝ ΑΥΤΟΜΑΤΙΣΜΟΥ

- 5.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ
- 5.2 ΘΕΡΜΟΣΤΑΤΕΣ. ΤΥΠΟΙ ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΣΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ
- 5.3 ΧΡΗΣΗ ΤΩΝ ΜΗΧΑΝΙΣΜΩΝ ΕΛΕΓΧΟΥ
ΤΗΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ ΣΤΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΨΥΞΗΣ
ΚΑΙ ΚΛΙΜΑΤΙΣΜΟΥ
- 5.4 ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΙ ΕΛΕΓΧΟΥ ΥΨΗΛΗΣ ΚΑΙ ΧΑΜΗΛΗΣ
ΠΙΕΣΗΣ (ΠΙΕΖΟΣΤΑΤΕΣ Ή ΠΡΕΣΟΣΤΑΤΕΣ)
- 5.5 ΣΥΣΚΕΥΕΣ ΕΛΕΓΧΟΥ
- 5.6 ΣΥΣΚΕΥΕΣ ΕΛΕΓΧΟΥ ΣΤΑΘΜΗΣ
- 5.7 ΣΥΣΚΕΥΕΣ ΕΛΕΓΧΟΥ ΤΗΣ ΣΧΕΤΙΚΗΣ ΥΓΡΑΣΙΑΣ ΤΟΥ ΑΕΡΑ
(ΥΓΡΟΣΤΑΤΕΣ)
- 5.8 ΣΥΣΚΕΥΕΣ ΕΛΕΓΧΟΥ ΠΑΡΟΧΗΣ ΥΓΡΟΥ
- 5.9 ΣΥΣΚΕΥΕΣ ΕΛΕΓΧΟΥ ΚΙΝΗΣΗΣ
- 5.10 ΡΥΘΜΙΣΤΙΚΕΣ ΒΑΛΒΙΔΕΣ ΠΙΕΣΗΣ
(ΑΠΟΛΥΤΗΣ Ή ΔΙΑΦΟΡΙΚΗΣ) ΣΕ ΡΕΥΣΤΑ
ΑΝΑΚΕΦΑΛΑΙΩΣΗ
ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ - ΑΣΚΗΣΕΙΣ - ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΕΣ



ΕΠΙΔΙΩΚΟΜΕΝΟΙ ΣΤΟΧΟΙ

Στο κεφάλαιο αυτό θα αναλυθούν τα βασικά εξαρτήματα αυτοματισμού στις εγκαταστάσεις ψύξης και κλιματισμού. Ο μαθητής μετά το τέλος του κεφαλαίου θα πρέπει:

- ✓ Να γνωρίζει και να περιγράφει τη λειτουργία των διαφόρων τύπων θερμοστατών, όπως θερμοστοιχείο, διμεταλλικό έλασμα, θερμίστορ, ηλεκτρονικοί θερμοστάτες.
- ✓ Να περιγράφει και να αναλύει τη λειτουργία των διαφόρων τύπων πρεσοστατών.
- ✓ Να περιγράφει τη λειτουργία και τα χαρακτηριστικά των διαφόρων τύπων διακοπών ροής (flow switch).
- ✓ Να γνωρίζει πώς γίνεται η μέτρηση της παροχής των ρευστών.
- ✓ Να περιγράφει τη λειτουργία και τα χαρακτηριστικά των διαφόρων τύπων διατάξεων ελέγχου της υγρασίας.
- ✓ Να μάθει πώς λειτουργούν οι συσκευές ελέγχου κίνησης, δηλαδή οι σερβοκινητήρες, καθώς επίσης και τους τρόπους που γίνεται έλεγχος της ροής.

5.1 Εισαγωγή

Στο κεφάλαιο αυτό θα αναφερθούμε κυρίως στις αρχές λειτουργίας των βασικότερων οργάνων του αυτοματισμού. Δεν θα εξαντλήσουμε το θέμα των οργάνων, πράγμα που θα έκανε δύσκολο το κεφάλαιο για τους μαθητές. Στα όργανα θα αναφερόμαστε συνεχώς και στα επόμενα τρία κεφάλαια, με τη διαφορά ότι θα περιγράψουμε το κάθε όργανο μαζί με το σύστημα στο οποίο αυτό χρησιμοποιείται, χωρίς όμως να επεκτεινόμαστε σε πολλές λεπτομέρειες σχετικά με την εσωτερική κατασκευή τους ή με τις αρχές λειτουργίας τους.

Για να λειτουργήσει σωστά μία εγκατάσταση αυτοματισμού, είναι απαραίτητη η συνεχής λήψη πληροφοριών που ενημερώνουν για την κατάσταση λειτουργίας της. Αυτό το έργο το αναλαμβάνει η μονάδα συλλογής και επεξεργασίας δεδομένων.

Ο μετατροπέας είναι η συσκευή που μετατρέπει την κάθε είδους ενέργεια (πληροφορία ή σήμα) σε άλλη μορφή. Ο λόγος για τη μετατροπή είναι η παροχή κατάλληλης πληροφορίας, η οποία εύκολα μπορεί να γίνει κατανοητή από τον άνθρωπο.

Τα αισθητήρια στοιχεία ή αισθητήρες (sensors) είναι ειδικοί μετατροπείς που μετατρέπουν σήματα οποιασδήποτε μορφής σε ηλεκτρικά σήματα. Δηλαδή λαμβάνουν σαν είσοδο ήχο, θερμοκρασία, φως, ταχύτητα, υγρασία, πίεση, δύναμη και τη μετατρέπουν σε ηλεκτρικό σήμα υπό μορφή ηλεκτρικής τάσης, έντασης, ή αντίστασης. Τα ηλεκτρικά σήματα που είναι οι έξοδοι των αισθητηρίων χρησιμοποιούνται για τη λειτουργία των εξαρτημάτων αυτοματισμού.

Οι αισθητήρες είναι βασικά στοιχεία ενός συστήματος αυτομάτου ελέγχου, όπως τα αισθητήρια όργανα στον άνθρωπο. Παρέχουν τις απαραίτητες πληροφορίες στα εξαρτήματα που θα δράσουν κατάλληλα στη μηχανή.

Τα κριτήρια επιλογής ενός καλού αισθητηρίου είναι:

- Η ακρίβεια ανίχνευσης και μέτρησης.
- Η αξιοπιστία και η αντοχή του σε βλάβες ή διαταραχές λειτουργίας.
- Η ταχύτητα αντίδρασής του, δηλαδή πόσο γρήγορα στέλνει την εντολή στο εξάρτημα που θα πρέπει να δράσει.
- Η ευαισθησία του όσον αφορά την ικανότητά του να αντιλαμβάνεται μικρά μεγέθη. Π.χ. ένα φωτόμετρο μπορεί να είναι ευαίσθητο σε

ελάχιστο φως και ένα άλλο, λιγότερο ευαίσθητο, να χρειάζεται πιο έντονο φως για να λειτουργήσει.

- Η εύκολη αποσυναρμολόγηση και επανασυναρμολόγηση του.

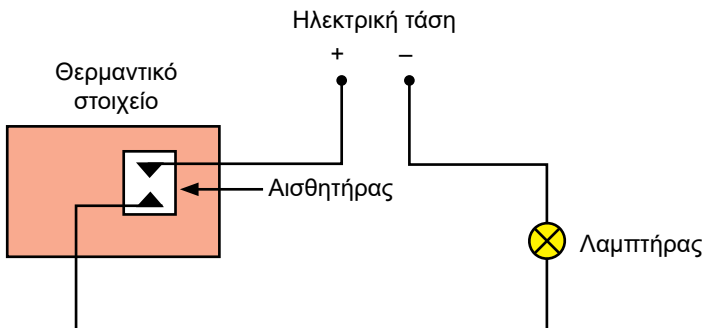
π.χ. ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 1

Ένας θερμοθάλαμος διαθέτει σύστημα επιτήρησης της θερμοκρασίας ενός θερμαντικού στοιχείου. Μόλις η θερμοκρασία υπερβεί κάποιο συγκεκριμένο όριο, θέλουμε να γίνεται προειδοποίηση με τη βοήθεια ενός ηλεκτρικού λαμπτήρα. Να υποδειχθεί ένα κατάλληλο σύστημα αυτοματισμού.

Απάντηση:

Η ανίχνευση της κατάστασης λειτουργίας του θερμαντικού στοιχείου μπορεί να γίνει με τη χρήση ενός κατάλληλου αισθητήρα.

Αυτό το στοιχείο λειτουργεί ως διακόπτης που ανοίγει ή κλείνει ένα ηλεκτρικό κύκλωμα. Στο Σχήμα 5.1 φαίνεται η συνδεσμολογία του ηλεκτρικού κυκλώματος για την ένδειξη της υπέρβασης της θερμοκρασίας. Μόλις η θερμοκρασία υπερβεί κάποιο συγκεκριμένο όριο, ο αισθητήρας κλείνει το ηλεκτρικό κύκλωμα, με άμεση συνέπεια το άναμμα του λαμπτήρα. Όταν ανάβει ο λαμπτήρας, υπάρχει υπέρβαση της θερμοκρασίας, ενώ, όταν σβήνει, δεν υπάρχει υπέρβαση και η θερμοκρασία βρίσκεται μέσα στα επιτρεπτά όρια.



Σχήμα 5.1 Ηλεκτρικό κύκλωμα για την ένδειξη της υπέρβασης της θερμοκρασίας

5.2 Η Θερμοκρασία

Η θερμοκρασία ενός υλικού είναι το φυσικό μέγεθος που μας δείχνει πόσο ζεστό ή κρύο είναι. Η θερμοκρασία μετριέται σε βαθμούς Κελσίου ($^{\circ}\text{C}$), ή βαθμούς Φαρενάιτ ($^{\circ}\text{F}$), ή απόλυτους βαθμούς Κέλβιν (K).

Σύμφωνα με το πρότυπο ISO-31, η θερμοκρασία σε $^{\circ}\text{C}$ συμβολίζεται με το γράμμα t και σε K με το γράμμα T . Με τους βαθμούς Κέλβιν, δεν χρησιμοποιούμε το $^{\circ}$, αλλά γράφουμε μόνο το K. Είναι λάθος αν γράψουμε $^{\circ}\text{K}$. Η διαφορά θερμοκρασίας συμβολίζεται αντίστοιχα με Δt ή ΔT . Είτε έχουμε $^{\circ}\text{C}$ είτε K, προφανώς $\Delta t = \Delta T$.

Οι παρακάτω σχέσεις μετατρέπουν τη θερμοκρασία ενός σώματος από βαθμούς Κελσίου t ($^{\circ}\text{C}$) σε βαθμούς Φαρενάιτ t_F ($^{\circ}\text{F}$) και Κέλβιν T (K):

$$\frac{t}{100} = \frac{t_F - 32}{180}$$

$$T = t + 273$$

Η θερμοκρασία 0°C αντιστοιχεί σε 32°F και 273K και η θερμοκρασία 100°C αντιστοιχεί σε 212°F και 373K . Οποιαδήποτε άλλη θερμοκρασία, π.χ. 38°C , μετατρέπεται σε $^{\circ}\text{F}$ σύμφωνα με τη σχέση:

$$\frac{38}{100} = \frac{t_F - 32}{180} \Rightarrow t_F - 32 = 68,4 \Rightarrow t_F = 32 + 68,4 = 100,4^{\circ}\text{F}$$

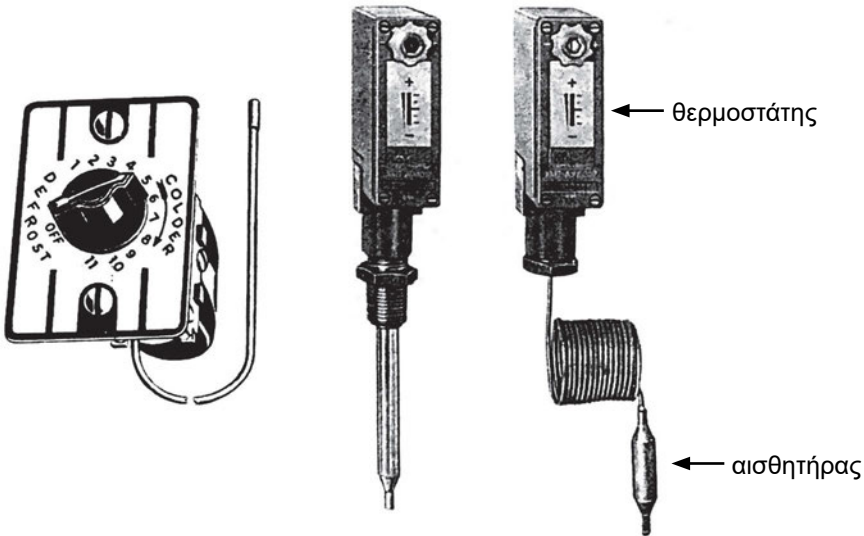
5.3 Οι Θερμοστάτες

Οι θερμοστάτες είναι στοιχεία που μετρούν τη θερμοκρασία. Στο Σχήμα 5.2 φαίνονται διάφορα είδη θερμοστατών. Κάθε θερμοστάτης αποτελείται από:

- **τη βάση ή το πλαίσιο** που πάνω της στηρίζονται όλα τα υπόλοιπα εξαρτήματα,
- **το διακόπτη**, που έχει δύο επαφές,
- **το δίσκο ή το πλήκτρο επιλογής**, μέσω του οποίου ρυθμίζουμε την επιθυμητή θερμοκρασία, και

- **το αισθητήριο θερμοκρασίας**, το οποίο ανιχνεύει τη θερμοκρασία και ενεργοποιεί το διακόπτη που κλείνει ή ανοίγει τις επαφές του.

Στο δίσκο επιλογής ρυθμίζονται δύο θερμοκρασίες. Η μία αποτελεί το **άνω όριο** ή *start* (ή *cut in*), πάνω από το οποίο θα πρέπει να αρχίσει να λειτουργεί το εξάρτημα που δέχεται την εντολή, π.χ. ο συμπιεστής που θα ψύξει το θάλαμο του ψυγείου ή του καταψύκτη. Η δεύτερη θερμοκρασία αποτελεί το **κάτω όριο** ή *stop* (ή *cut out*), κάτω από το οποίο θα πρέπει να σταματήσει τη λειτουργία του το εξάρτημα, π.χ. ο συμπιεστής, γιατί η θερμοκρασία στον ψυκτικό θάλαμο είναι αρκετή για να μην αλλοιωθεί το περιεχόμενό του (τρόφιμα, ευπαθή προϊόντα κτλ.).



Σχήμα 5.2 Είδη θερμοστατών

Η διαφορά των θερμοκρασιών *start* και *stop* ονομάζεται *difference* ή διαφορική θερμοκρασία. Προφανώς, ισχύει:

$$\text{diff} = \text{start} - \text{stop}$$

Οι θερμοστάτες αντιλαμβάνονται τη θερμοκρασία μέσω των αισθητήρων, οι οποίοι διακρίνονται σε:

- αισθητήρες επαφής
- αισθητήρες υπερύθρων

Οι αισθητήρες **επαφής** του θερμοστάτη διακρίνονται σε:

- θερμοζεύγη
- θερμοαντιστάσεις
- διμεταλλικά ελάσματα
- ηλεκτρονικούς

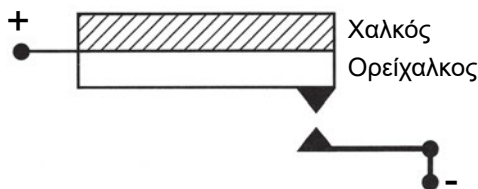
Οι αισθητήρες επαφής, όπως φανερώνει και το όνομά τους, είναι σε επαφή με το αντικείμενο στο οποίο θα μετρήσουν τη θερμοκρασία.

Αντίθετα, οι αισθητήρες **υπερύθρων** χρησιμοποιούνται σε χώρους όπου επικρατούν πολύ υψηλές θερμοκρασίες και η ανίχνευση της θερμοκρασίας γίνεται από απόσταση. Οι υπέρυθροι αισθητήρες μετατρέπουν τη θερμική ακτινοβολία σε ηλεκτρική τάση.

Στη συνέχεια θα αναφερθούμε στα είδη των θερμοστατών.

5.4 Θερμοστάτες με διμεταλλικό έλασμα

Το **διμεταλλικό έλασμα** ή **στοιχείο** είναι ένας αισθητήρας για τη μέτρηση της θερμοκρασίας, βασιζόμενος στη διαστολή των μετάλλων. Αποτελείται από δύο διαφορετικά μέταλλα, τα οποία έχουν διαφορετικό συντελεστή διαστολής και είναι συνδεδεμένα σε όλο το μήκος της επιφάνειάς τους. Συνήθως, τα μέταλλα αυτά είναι ορείχαλκος και χάλυβας ή ορείχαλκος και χαλκός. Όταν θερμανθεί το διμεταλλικό έλασμα, τότε το ένα μέταλλο διαστέλλεται περισσότερο από το άλλο, με αποτέλεσμα να λυγίσει. Όταν το διμεταλλικό έλασμα αποτελείται από χαλκό και ορείχαλκο, ο ορείχαλκος διαστέλλεται περισσότερο και το έλασμα λυγίζει από τη μεριά του χαλκού, ενώ, όταν το έλασμα ψυχθεί, λυγίζει από την αντίθετη πλευρά. Το διμεταλλικό έλασμα φαίνεται στο Σχήμα 5.3 και η συνδεσμολογία του σε κύκλωμα είναι όπως αυτή του Σχήματος 5.1.



Σχήμα 5.3 Διμεταλλικό έλασμα

Η μετακίνηση μέσω διαστολής των μετάλλων είναι ικανή να ανοίξει μια βαλβίδα ή να κλείσει μια επαφή, με συνέπεια να υπάρξει ροή υγρού ή να περάσει ηλεκτρικό ρεύμα σε ένα κύκλωμα αντίστοιχα. Αντίθετα, με τη συστολή, η βαλβίδα κλείνει ή η επαφή ανοίγει και διακόπτεται το κύκλωμα.

Το μέγεθος της διαστολής ή γενικότερα της μετακίνησης εξαρτάται από τα υλικά του διμεταλλικού ελάσματος, καθώς και από τη μεταβολή της θερμοκρασίας.

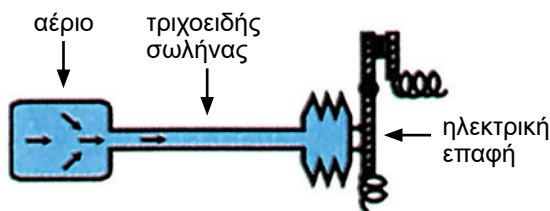
Υπάρχουν διάφοροι τύποι διμεταλλικών ελασμάτων, οι οποίοι διαχωρίζονται από το σχήμα τους. Έτσι, υπάρχουν τα ελάσματα με σπειροειδή μορφή, με ελικοειδή μορφή ή με κυματοειδή μορφή. Στο Σχήμα 5.4 φαίνεται ένα σπειροειδές διμεταλλικό έλασμα.



Σχήμα 5.4 Σπειροειδές διμεταλλικό έλασμα

5.5 Θερμοστάτες αερίου

Οι θερμοστάτες αερίου χρησιμοποιούν σαν αισθητήριο στοιχείο ένα αέριο που περιέχεται μέσα σ' έναν τριχοειδή σωλήνα. Ανάλογα με τη θερμοκρασία του χώρου, το αέριο μεταβάλλει τη θερμοκρασία του και συνεπώς την πίεσή του, εφόσον ο όγκος παραμένει σταθερός. Η διαφορά αυτή της πίεσης μετατρέπεται από μία ευαίσθητη μεμβράνη ή φουσερό σε κίνηση, με συνέπεια να ανοίξει ή να κλείσει η επαφή (διακόπτης) του θερμοστάτη, και έτσι σταματά ή αρχίζει η λειτουργία του συμπιεστή. Η αρχή λειτουργίας του θερμοστάτη αερίου φαίνεται στο Σχήμα 5.5.



Σχήμα 5.5 Θερμοστάτης αερίου

5.6 Ηλεκτρονικοί θερμοστάτες

Υπάρχουν ημιαγώγιμα ηλεκτρονικά στοιχεία που η αλλαγή της θερμοκρασίας δημιουργεί αλλαγή της τάσης.

Τα ηλεκτρονικά αισθητήρια θερμοκρασίας έχουν:

- μεγάλη περιοχή θερμοκρασιών
- μεγάλη ακρίβεια
- αρκετά καλή ευαισθησία

Οι θερμοστάτες που περιέχουν ηλεκτρονικά αισθητήρια τοποθετούνται κατευθείαν πάνω στην ηλεκτρονική πλακέτα (δηλαδή μέσα στο ηλεκτρονικό όργανο), σε αντίθεση με τα άλλα είδη θερμοστατών που τοποθετούνται σε άλλα σημεία του συστήματος (εσωτερικά ή εξωτερικά). Χρησιμοποιούνται σε περιπτώσεις όπως αν θέλουμε να ελέγχουμε την υπερθέρμανση στο εσωτερικό κάποιου μηχανήματος.

5.7 Θερμοστοιχείο ή θερμοζεύγος (*thermocouple*)

Το θερμοστοιχείο στηρίζεται στο **θερμοηλεκτρικό φαινόμενο**. Μετατρέπεται τη διαφορά θερμοκρασίας ενός υλικού σε ηλεκτρική τάση. Αποτελείται από δύο μέταλλα συνδεδεμένα μεταξύ τους στο ένα άκρο, το οποίο ονομάζεται **θερμή σύνδεση** ή **επαφή**, και τα ελεύθερα άκρα είναι η **ψυχρή σύνδεση**. Όταν θερμαίνεται η θερμή επαφή, υπάρχει ροή ηλεκτρονίων από το ένα μέταλλο στο άλλο, η οποία οφείλεται στη διαφορά θερμοκρασίας που υπάρχει μεταξύ θερμής και ψυχρής σύνδεσης.

Με αυτό τον τρόπο δημιουργείται μια διαφορά τάσης μεταξύ των ελεύθερων άκρων του θερμοστοιχείου. Η τιμή της τάσης εξαρτάται από τη διαφορά θερμοκρασίας και τα υλικά του θερμοστοιχείου σύμφωνα με την εξίσωση:

$$U = C \cdot \Delta t$$

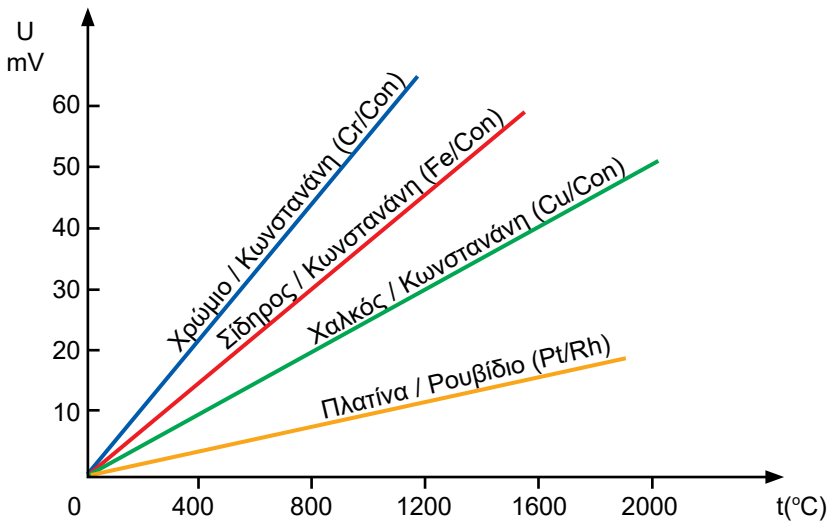
όπου U είναι η τάση εξόδου του θερμοστοιχείου, $\Delta t = t_2 - t_1$ είναι η διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ θερμής και ψυχρής σύνδεσης και C μια σταθερά. Μια συνήθης τιμή τάσης είναι 20-50 mV.

Αν τα δύο μέταλλα είναι χαλκός και κονσταντάνη (Cu / Con), το θερ-

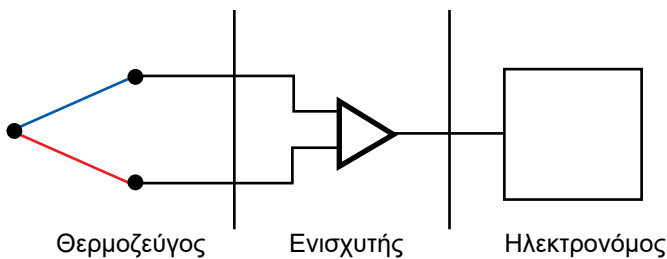
μοστοιχείο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για περιοχές θερμοκρασιών από -100°C έως 400°C . Το κράμα νικελίου-χρωμίου (Ni / Cr) μπορεί να χρησιμοποιηθεί για μεγαλύτερη περιοχή θερμοκρασιών, από -200°C έως $+1200^{\circ}\text{C}$. Μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν και άλλοι συνδυασμοί μετάλλων, όπως φαίνεται στο Σχήμα 5.6.

Το θερμοστοιχείο έχει έξοδο πολύ μικρή τάση (mV) και είναι απαραίτητο να συνδεθεί με ενισχυτή τάσης για την ανύψωση της παραγόμενης τάσης και μετά με τον κατάλληλο ενεργοποιητή (ρελέ, κινητήρα, διακόπτη κτλ.), όπως φαίνεται στο Σχήμα 5.7.

Αν συνδέσουμε πολλά θερμοστοιχεία σε σειρά για παραγωγή μεγαλύτερης τάσης, π.χ. 500 mV, δημιουργείται μια θερμοηλεκτρική στήλη ή θερμοσωρός. Όσο περισσότερα είναι τα θερμοζεύγη της στήλης τόσο μεγαλύτερη είναι η παραγόμενη τάση.



Σχήμα 5.6 Διάγραμμα τάσης – θερμοκρασίας διαφόρων θερμοστοιχείων



Σχήμα 5.7 Σύνδεση θερμοστοιχείου με κύκλωμα

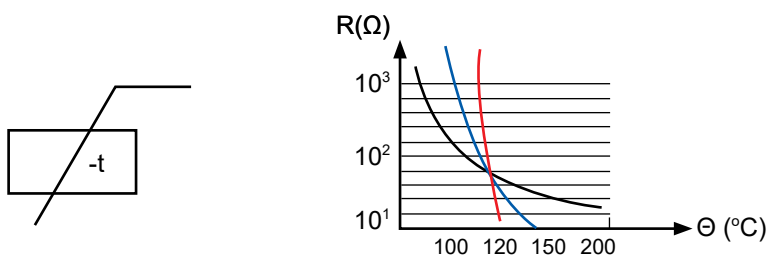
5.8 Θερμίστορ – τύποι N.T.C. – P.T.C.

Τα θερμίστορ είναι ημιαγωγίμες αντιστάσεις των οποίων η τιμή μεταβάλλεται ανάλογα με την αύξηση της θερμοκρασίας. Διακρίνονται σε θερμίστορ με αρνητικό συντελεστή θερμοκρασίας (negative temperature coefficient – N.T.C.) και θερμίστορ με θετικό συντελεστή θερμοκρασίας (positive temperature coefficient – P.T.C.).

Τα θερμίστορ είναι μη γραμμικά στοιχεία (δεν ακολουθούν το νόμο του Ohm) και έχουν σχήμα κυλινδρικό, σφαιρικό ή ορθογώνιο.

(α) Θερμίστορ N.T.C.⁽¹⁾

Στα θερμίστορ **N.T.C.** η αντίστασή τους μειώνεται με την αύξηση της θερμοκρασίας. Ο συμβολισμός N.T.C. και η καμπύλη μεταβολής της αντίστασης συναρτήσει της θερμοκρασίας φαίνονται στο Σχήμα 5.8α-β.



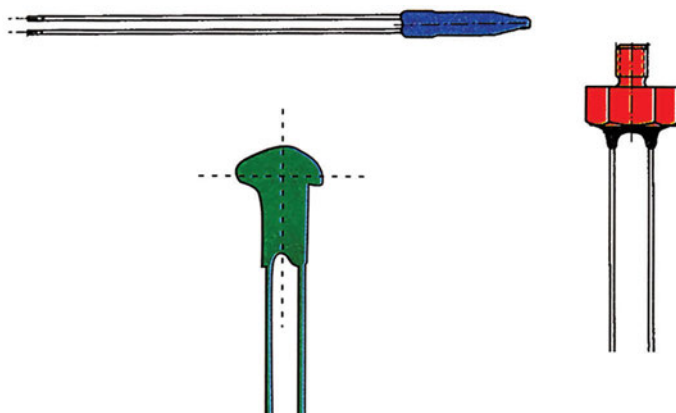
α) Σύμβολο

β) Μεταβολή αντίστασης με θερμοκρασία

Σχήμα 5.8 Θερμίστορ αρνητικού συντελεστή θερμοκρασίας

Κατασκευάζονται από οξειδία του σιδήρου, όπου έχουν προστεθεί ιόντα άλλων μετάλλων. Τα οξειδία αυτά έχουν μεγάλη αγωγιμότητα σε καθαρή μορφή και μετατρέπονται σε ημιαγωγούς με την προσθήκη ιόντων άλλων μετάλλων. Άλλα υλικά από τα οποία κατασκευάζονται τα θερμίστορ είναι η πλατίνα και το νικέλιο και ο συντελεστής θερμοκρασίας επιτυγχάνεται ανάλογα με τη συγκέντρωση των προσμίξεων. Στο εμπόριο υπάρχουν N.T.C. σε σχήμα φακής, δίσκου, ή ράβδου, όπως φαίνονται στο Σχήμα 5.9.

¹ N.T.C.= Negative Temperature Coefficient = Αρνητικός συντελεστής θερμοκρασίας



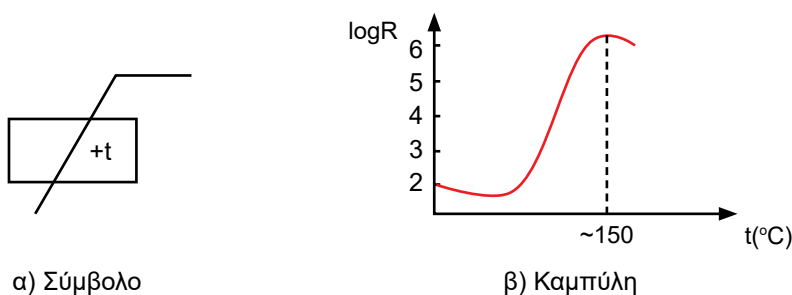
Σχήμα 5.9 Διάφοροι τύποι θερμίστορ N.T.C.

Τα θερμίστορ με αρνητικό συντελεστή θερμοκρασίας χρησιμοποιούνται σε πολλές εφαρμογές, μερικές εκ των οποίων είναι: στη χημεία, στη φυσική, στην ιατρική, στη βαθιά κατάψυξη κ.λπ. σε οικιακές συσκευές.

(β) Θερμίστορ P.T.C.⁽²⁾

Στα θερμίστορ **P.T.C.** η αντίσταση αυξάνεται με την αύξηση της θερμοκρασίας σε μια ορισμένη περιοχή (π.χ. -40° έως 240°C). Έξω από αυτή την περιοχή θερμοκρασιών ο συντελεστής μπορεί να είναι αρνητικός ή μηδενικός.

Το σύμβολο και η καμπύλη μεταβολής της αντίστασης με τη θερμοκρασία (λογαριθμική) φαίνονται στο Σχήμα 5.10, ενώ στο Σχήμα 5.11 δίνονται διάφοροι τύποι P.T.C.

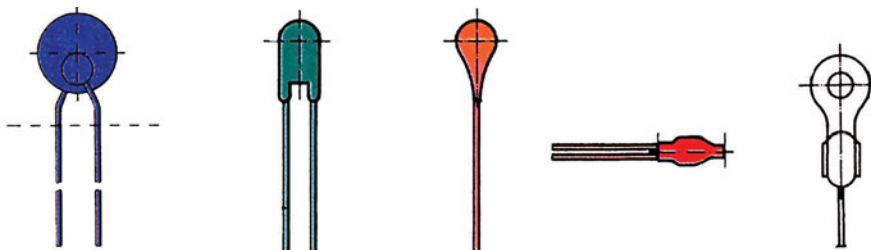


α) Σύμβολο

β) Καμπύλη

Σχήμα 5.10 Θερμίστορ με θετικό συντελεστή θερμοκρασίας P.T.C.

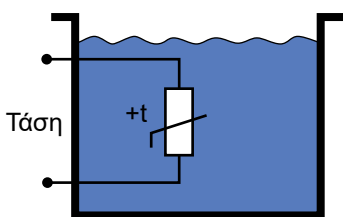
² P.T.C. = Positive Temperature Coefficient = Θετικός συντελεστής θερμοκρασίας



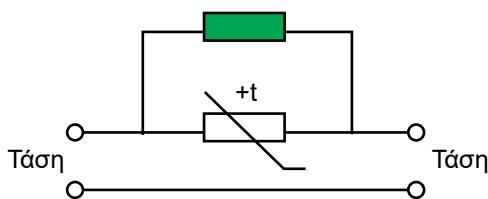
Σχήμα 5.11 Τύποι θερμίστορ P.T.C.

Εφαρμογές θερμίστορ P.T.C.

Τα θερμίστορ με θετικό συντελεστή θερμοκρασίας χρησιμοποιούνται για τον έλεγχο της θερμοκρασίας ενός υγρού, την προστασία ενός κινητήρα από υπερθέρμανση, τη σταθεροποίηση ρεύματος κτλ. Στο Σχήμα 5.12 φαίνονται ορισμένες εφαρμογές των P.T.C.



α) Μέτρηση θερμοκρασίας υγρού

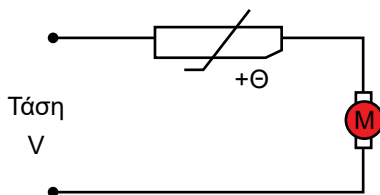


β) Σταθεροποίηση ρεύματος

Σχήμα 5.12 Εφαρμογές P.T.C.

Τα θερμίστορ τοποθετούνται σε σειρά με τις περιελίξεις ενός κινητήρα και τον προστατεύουν από υπερθέρμανση. Με την αύξηση της θερμοκρασίας μέσα στον κινητήρα το θερμίστορ αλλάζει αντίσταση και διακόπτει τη ροή του ηλεκτρικού ρεύματος.

Χρησιμοποιείται επίσης και κατά την εκκίνηση ενός κινητήρα. Συνδέεται σε σειρά με το τύλιγμα εκκίνησης. Κατά την εκκίνηση του κινητήρα, που η θερμοκρασία είναι μικρή, η αντίσταση του θερμίστορ είναι μικρή. Όσο αυξάνει η θερμοκρασία η αντίσταση του θερμίστορ μεγαλώνει και το κύκλωμα εκκίνησης σε κάποια τιμή της θερμοκρασίας διακόπτεται. Η συνδεσμολογία φαίνεται στο Σχήμα 5.13.



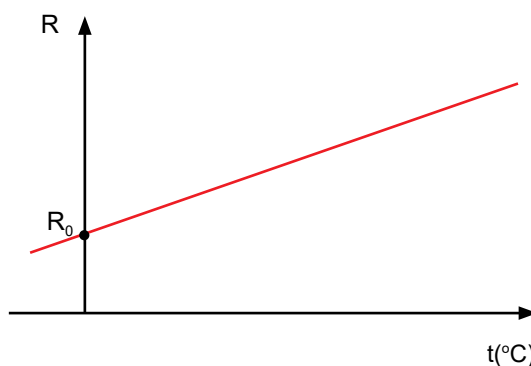
Σχήμα 5.13 Σύνδεση θερμίστορ με κινητήρα

(γ) Υλικά R.T.D.⁽³⁾

Υπάρχουν κάποια υλικά των οποίων η αντίσταση μεταβάλλεται γραμμικά με τη θερμοκρασία, όπως η **πλατίνα**, και ονομάζονται R.T.D. Παρουσιάζουν θετικό συντελεστή θερμοκρασίας, δηλαδή η αντίστασή τους αυξάνεται με την αύξηση της θερμοκρασίας, όπως φαίνεται στο Σχήμα 5.14, όπου R_0 είναι η αρχική τιμή της αντίστασης σε 0°C . Γι' αυτό η πλατίνα είναι ένα από τα πλέον χρησιμοποιούμενα υλικά στα αισθητήρια θερμοκρασίας υψηλής ακρίβειας.

Η περιοχή θερμοκρασίας μέσα στην οποία η αντίσταση ακολουθεί γραμμική μεταβολή είναι περιορισμένη και συνήθως είναι από -100°C μέχρι 500°C . Έξω από αυτή την περιοχή η αντίσταση είναι μη γραμμική.

Ο πιο αντιπροσωπευτικός τύπος R.T.D., κατασκευασμένος από πλατίνα, είναι ο Pt100 (έχει αντίσταση $100\ \Omega$ σε 0°C και περιοχή θερμοκρασιών από -50°C έως $+300^\circ\text{C}$).

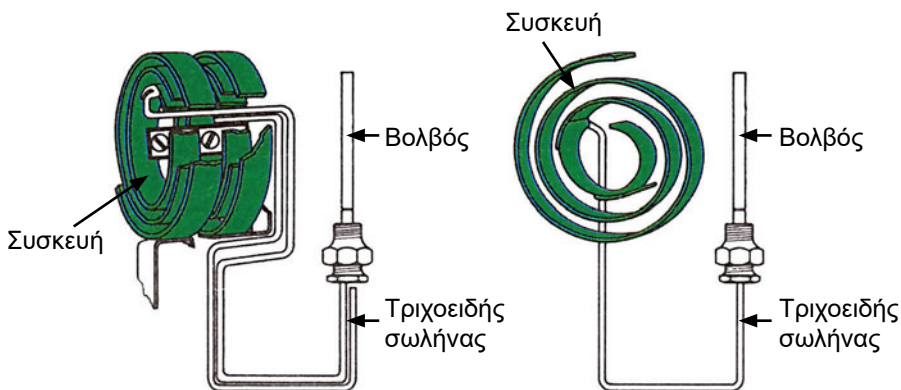


Σχήμα 5.14 Καμπύλη μεταβολής υλικού R.T.D.

³ R.T.D. = **R**esistance **T**emperature **D**ependent = Αντιστάσεις εξαρτώμενες από τη θερμοκρασία

5.9 Συσσκευές ελέγχου με διαστελλόμενο υγρό σε βολβό

Οι συσκευές ελέγχου θερμοκρασίας με διαστελλόμενο υγρό σε βολβό αποτελούνται από το κυρίως σώμα και το αισθητήριο θερμοκρασίας, το οποίο είναι ένας γυάλινος διαφανής βολβός με υγρό το οποίο διαστέλλεται ή συστέλλεται, ανάλογα με τη θερμοκρασία. Η συσκευή συνδέεται με το βολβό μέσω ενός τριχοειδούς σωλήνα, ο οποίος περιέχει επίσης ψυκτικό υγρό. Στο Σχήμα 5.15 φαίνεται ο βολβός και η μεταφορά της εντολής, μέσω του τριχοειδούς σωλήνα, στη συσκευή ελέγχου θερμοκρασίας.



Σχήμα 5.15 Συσκευή με διαστελλόμενο υγρό σε βολβό

5.10 Θερμοστατικές εκτονωτικές βαλβίδες (Θ.Ε.Β.)

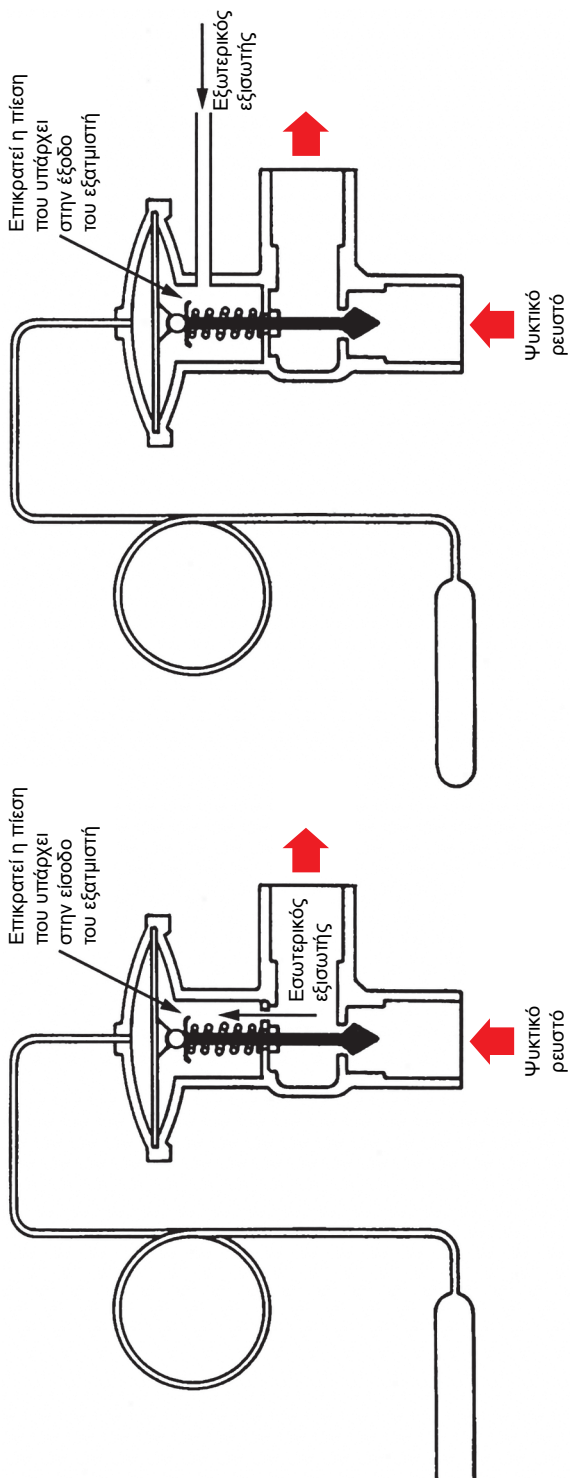
Η θερμοστατική εκτονωτική βαλβίδα, που για συντομία συμβολίζεται ως Θ.Ε.Β., είναι μια συσκευή με διαστελλόμενο υγρό σε βολβό και τοποθετείται στο κύκλωμα του εξαμιστή. Ελέγχει τη θερμοκρασία, έτσι ώστε να υπάρχει πάντα μια σταθερή διαφορά θερμοκρασίας (υπερθέρμανση) από την είσοδο του εξαμιστή μέχρι το σημείο που είναι τοποθετημένο το αισθητήριο, που στην περίπτωση αυτή είναι ο βολβός.

Αποτελείται από το κυρίως σώμα, το βολβό, τη μεμβράνη, το ελατήριο και το ρυθμιστικό κοχλία, μέσω των οποίων καθορίζεται η υπερθέρμανση της βαλβίδας. Το κυρίως σώμα της βαλβίδας τοποθετείται στο άνω άκρο (είσοδο) του εξαμιστή και ο βολβός συνδέεται σταθερά στην έξοδο του εξαμιστή, όπως φαίνεται στο Σχήμα 5.16^Α.

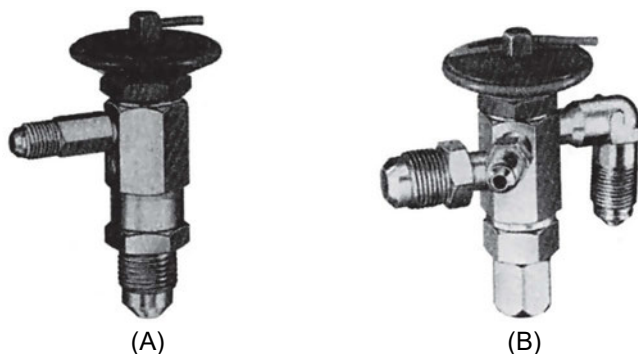
Ο βολβός της βαλβίδας μετράει τη θερμοκρασία του ψυκτικού υγρού στην έξοδο του εξαμιστή. Όσο αυξάνεται η θερμοκρασία αυξάνεται και η πίεση του βολβού ή η πίεση που εξασκείται πάνω στη μεμβράνη. Κάτω από τη μεμβράνη ασκείται η πίεση από τον εξισωτή, που στην προκειμένη περίπτωση ονομάζεται "εσωτερικός εξισωτής". Αποτέλεσμα της διαφοράς των δύο πιέσεων είναι να ανοίξει η είσοδος του εξαμιστή και να περάσει περισσότερη ποσότητα ψυκτικού υγρού. Αντίθετα, αν μειωθεί η θερμοκρασία του βολβού, μειώνεται και η πίεσή του και κλείνει η βαλβίδα, με αποτέλεσμα να περάσει μικρότερη ποσότητα ψυκτικού υγρού.

Στα μεγάλα ψυκτικά μηχανήματα, η παραπάνω ιδανική εικόνα ανατρέπεται εξαιτίας της πτώσης πίεσης του ψυκτικού υγρού μέσα στον εξαμιστή. Το πρόβλημα αντιμετωπίζεται με την ύπαρξη του "εξωτερικού εξισωτή", που φαίνεται στο Σχήμα 5.16^B. Αυτός μεταφέρει κάτω από τη μεμβράνη την πίεση που επικρατεί στην έξοδο του ψυκτικού στοιχείου (και όχι την πίεση στην είσοδο, όπως συμβαίνει με τον εσωτερικό εξισωτή). Ο εξωτερικός εξισωτής συνδέεται πάντοτε σε σημείο που είναι μετά το βολβό της θερμοστατικής εκτονωτικής βαλβίδας. Η εξωτερική εμφάνιση τύπων Θ.Ε.Β. φαίνεται στο Σχήμα 5.17.

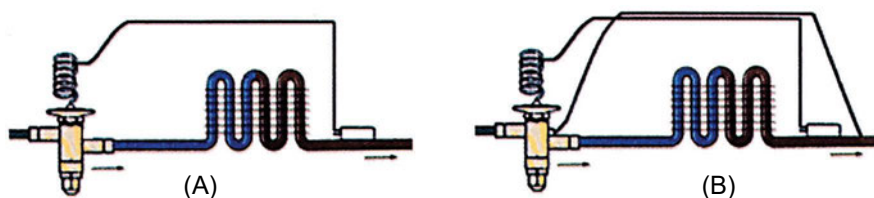
Στο Σχήμα 5.18 βλέπουμε τη σύνδεση της Θ.Ε.Β. και συγκεκριμένα στο (Α) χωρίς εξωτερικό εξισωτή, ενώ στο (Β) με εξωτερικό εξισωτή.



Σχήμα 5.16 Θερμοστατική εκτονωτική βαλβίδα (Ο.Ε.Β.): (Α) με εσωτερικό εξισωτή, (Β) με εξωτερικό εξισωτή



Σχήμα 5.17 Θερμοστατική εκτονωτική βαλβίδα (Θ.Ε.Β.): (Α) με εσωτερικό εξισωτή, (Β) με εξωτερικό εξισωτή



Σχήμα 5.18 Συνδεσμολογία των Θ.Ε.Β.: (Α) με εσωτερικό εξισωτή, (Β) με εξωτερικό εξισωτή

5.11 Ανακεφαλαίωση αισθητηρίων θερμοκρασίας

Στις προηγούμενες παραγράφους αναφερθήκαμε στους διάφορους θερμοστάτες και στα αισθητήριά τους.

Για λόγους ανακεφαλαίωσης αλλά και σύγκρισης, δίνονται στον Πίνακα 5.1 τα αισθητήρια θερμοκρασίας.

Πίνακας 5.1

| Τύπος αισθητηρίου | Αρχή λειτουργίας | Χρήσεις – Παρατηρήσεις |
|------------------------------|---|---|
| R.T.D. | Αύξηση της αντίστασης με την αύξηση της θερμοκρασίας. | - Βιομηχανικές εφαρμογές. - Μεγάλη ακρίβεια. |
| Θερμίστορ N.T.C. – P.T.C. | Μεταβολή της αντίστασης με την αύξηση της θερμοκρασίας: - αύξηση – P.T.C. - μείωση – N.T.C. | - Χρησιμοποιούνται σε διατάξεις ελέγχου. - Μεγάλη ακρίβεια. - Μικρές διαστάσεις. - Μεγάλη περιοχή θερμοκρασίας. - Περισσότερο ευαίσθητα από τα θερμοζεύγη. |
| Θερμοζεύγος | Δημιουργία ηλεκτρικής τάσης στα άκρα τους ανάλογη της διαφοράς θερμοκρασίας. | - Μέτρηση της θερμοκρασίας του σάτη του κινητήρα κατά τη λειτουργία του. - Μικρή ακρίβεια. |
| Ηλεκτρονικά | Αλλαγή της τάσης με την αλλαγή της θερμοκρασίας. | - Παρουσιάζουν μεγάλη ακρίβεια και έχουν μικρό κόστος. - Παρουσιάζουν πολύ καλή γραμμικότητα. - Η περιοχή θερμοκρασιών τους είναι μικρή (μερικές δεκάδες βαθμοί). |
| Διμεταλλικό έλασμα | Με την αυξομείωση της θερμοκρασίας το έλασμα κάμπτεται, με αποτέλεσμα να ενεργοποιούνται ή να απενεργοποιούνται οι επαφές στα άκρα του. | - Είναι φθηνό και απλό στην κατασκευή. - Έχει όμως μικρή ακρίβεια. - Χρησιμοποιείται στις ηλεκτρικές οικιακές συσκευές. |
| Βολβός με διαστελλόμενο υγρό | Το υγρό διαστέλλεται ή συστέλλεται μέσω τριχοειδούς σωλήνα και μεταφέρει την εντολή. | - Μικρή ακρίβεια. - Μεγάλη αξιοπιστία. - Ελάχιστες βλάβες. - Χρησιμοποιείται για τον έλεγχο των στοιχείων απευθείας εκτόνωσης. |

5.12 Χρήση των μηχανισμών ελέγχου της θερμοκρασίας στα συστήματα ψύξης και κλιματισμού

Ο έλεγχος της θερμοκρασίας στα συστήματα ψύξης και κλιματισμού είναι κρίσιμος, γιατί στα μεν συστήματα ψύξης μια υψηλή θερμοκρασία θα καταστρέψει τα προϊόντα ή τα τρόφιμα που είναι μέσα στο ψυγείο, ενώ μια πολύ χαμηλή θερμοκρασία θα τα παγώσει ή θα τα καταψύξει, στα δε συστήματα κλιματισμού δεν θα παρέχει συνθήκες άνετης διαβίωσης.

Οι μηχανισμοί ελέγχου θερμοκρασίας διακρίνονται σε **θερμοστάτες ρευστού** και **θερμοστάτες χώρου**. Για τη μέτρηση της θερμοκρασίας ενός στερεού, πρέπει να χρησιμοποιηθεί ειδική ουσία, η οποία θα διατηρεί σε πλήρη επαφή το αισθητήριο με την επιφάνεια του στερεού σώματος.

5.13 Θερμοστάτες ρευστού

Πρόκειται για θερμοστάτες που εμβαπτίζονται στο ρευστό του οποίου θέλουμε να μετρήσουμε τη θερμοκρασία. Υπάρχουν οι θερμοστάτες υψηλής και χαμηλής τάσης, που μεταφέρουν το σήμα τους με τάση μέχρι 42 V, και οι υψηλής τάσης, που λειτουργούν με τη συνήθη τάση της ΔΕΗ, δηλαδή 220-240 V. Φυσικά υπάρχουν και απλά εμβαπτιζόμενα θερμόμετρα, τα οποία προσφέρουν μόνο οπτική ανάγνωση και δεν χρησιμοποιούνται στον αυτοματισμό.

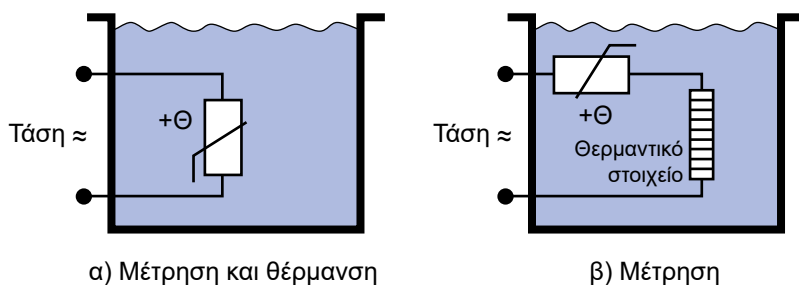
Για τη μέτρηση της θερμοκρασίας ενός υγρού, π.χ., νερού, ψυκτικού υγρού, λαδιού, και για να υπάρχει ακρίβεια στη μέτρηση, πρέπει να τοποθετηθεί ο αισθητήρας μέσα στο υγρό και να παραμείνει εκεί αρκετό χρονικό διάστημα, μέχρι να πάρει τη θερμοκρασία του, επειδή τα υγρά μεταβάλλουν τη θερμοκρασία τους πολύ αργά.

Η μέτρηση της θερμοκρασίας του υγρού μπορεί να γίνει τοποθετώντας το αισθητήριο και πάνω στη σωλήνα που μεταφέρει το υγρό. Ο τρόπος αυτός όμως μπορεί να δώσει εσφαλμένα αποτελέσματα, επειδή ο βολβός θα μετράει τη θερμοκρασία του σωλήνα και όχι του υγρού.

Οι θερμοστάτες χαμηλής τάσης χρησιμοποιούν συνήθως βολβό υδραργύρου σαν αισθητήριο στοιχείο, ενώ οι θερμοστάτες υψηλής τάσης χρησιμοποιούν συνήθως το διμεταλλικό στοιχείο, ή αντιστάσεις R.T.D., ή θερμίστορ.

Ως παράδειγμα αναφέρουμε ότι για τη μέτρηση θερμοκρασίας σε υγρά μπορεί να χρησιμοποιηθεί ένα θερμίστορ με θετικό συντελεστή θερμοκρασίας (P.T.C.), το οποίο εμβαπτίζεται μέσα στο δοχείο με το υγρό. Ανάλογα με τη θερμοκρασία του υγρού, δίνει σαν έξοδο ηλεκτρική τάση και η τιμή της εξαρτάται από την τιμή της αντίστασης του θερμίστορ. Επειδή το θερμίστορ είναι ουσιαστικά μία μεταβαλλόμενη με τη θερμοκρασία αντίσταση, μπορεί να χρησιμοποιηθεί και σαν στοιχείο ελέγχου της θερμοκρασίας και συγχρόνως σαν θερμαντικό στοιχείο.

Στο Σχήμα 5.19α φαίνεται η διάταξη όπου το θερμίστορ χρησιμοποιείται και σαν στοιχείο ελέγχου και σαν θερμαντικό στοιχείο, ενώ στο Σχήμα 5.19β χρησιμοποιείται μόνο σαν στοιχείο ελέγχου και επιπλέον υπάρχει και ξεχωριστό θερμαντικό στοιχείο.



Σχήμα 5.19 Μέτρηση θερμοκρασίας υγρού

5.14 Θερμοστάτες χώρου

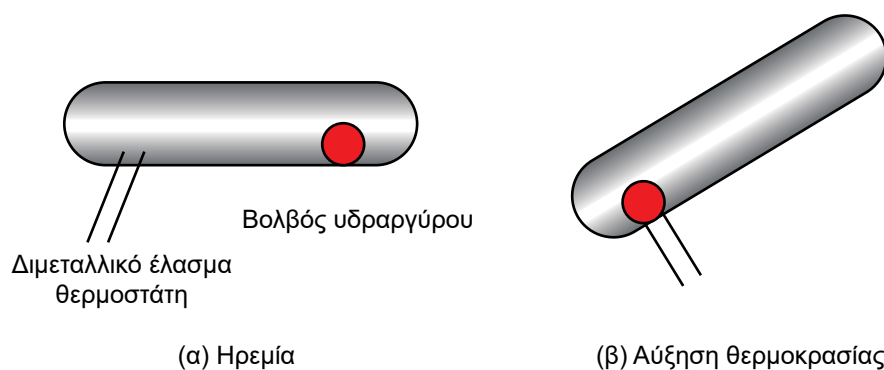
Ο θερμοστάτης χώρου χρησιμοποιείται για να μετρήσει, να ανιχνεύσει ή να ελέγξει τη θερμοκρασία ενός χώρου, είτε είναι δωμάτιο εργασίας είτε κάποιο μηχάνημα, όπως είναι ο λέβητας, ο καυστήρας, το ψυγείο, ο καταψύκτης, ο κινητήρας κτλ. Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιούνται κυρίως οι μηχανισμοί που αναφέρθηκαν σε προηγούμενες παραγράφους.

Ο θερμοστάτης χώρου, ανάλογα με την ισχύ του σήματος που ανιχνεύει, χαρακτηρίζεται σαν χαμηλής ή υψηλής τάσης ή ισχύος. Στις οικιακές συσκευές χρησιμοποιούνται θερμοστάτες χαμηλής ισχύος, για ρεύματα μέχρι 2 A και τάσεις μέχρι 42 V. Αντίθετα, σε βιομηχανικές και επαγγελματικές συσκευές χρησιμοποιούνται θερμοστάτες χώρου μεγάλης ισχύος, για ρεύματα μέχρι 20 A και τάσεις μέχρι 240 V.

Οι θερμοστάτες τάσης 220 V χρησιμοποιούνται σε μεγάλες ψυκτικές επαγγελματικές εγκαταστάσεις ή σε κεντρικές κλιματιστικές εγκαταστάσεις.

Πίνακας 5.2 Διάφορες χαρακτηριστικές θερμοκρασίες

| Θερμοκρασία (°C) | Σημείο υλικού |
|------------------|---|
| -273 | Απόλυτο μηδέν (0 K) |
| -259,3 | Τριπλό σημείο υδρογόνου |
| -246 | Σημείο βρασμού Νέον |
| -218 | Τριπλό σημείο οξυγόνου |
| -252 | Σημείο βρασμού υδρογόνου σε κανονική ατμοσφαιρική πίεση |
| -182 | Σημείο βρασμού οξυγόνου σε κανονική ατμοσφαιρική πίεση |
| 0,01 | Τριπλό σημείο νερού |
| 100 | Σημείο βρασμού νερού σε κανονική ατμοσφαιρική πίεση |
| 420 | Σημείο τήξης ψευδαργύρου |
| 961 | Σημείο τήξης αργύρου |
| 1064 | Σημείο τήξης χρυσού |



Σχήμα 5.20 Θερμοστάτης χώρου με βολβό υδραργύρου

Όπως είναι γνωστό, ο περισσότερο χρησιμοποιούμενος θερμοστάτης χώρου είναι το **θερμόμετρο υδραργύρου**, το οποίο προσφέρει μόνο οπτική ανάγνωση και φυσικά δεν χρησιμοποιείται σε συστήματα αυτοματισμού. Επίσης υπάρχει και ο θερμοστάτης υδραργύρου που φαίνεται στο Σχήμα 5.20.

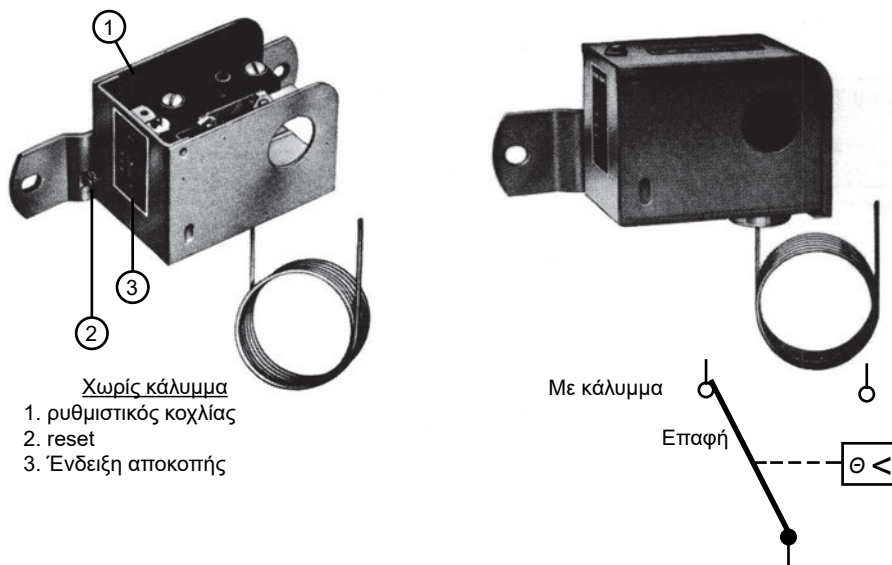
Άλλος τρόπος μέτρησης της θερμοκρασίας χώρου είναι το **διμεταλλικό έλασμα**, όπως φαίνεται στο Σχήμα 5.21. Η περιοχή θερμοκρασίας είναι αρκετά μεγάλη και κυμαίνεται από -30°C μέχρι $+500^{\circ}\text{C}$, με ακρίβεια $\pm 1\%$ της κλίμακας.



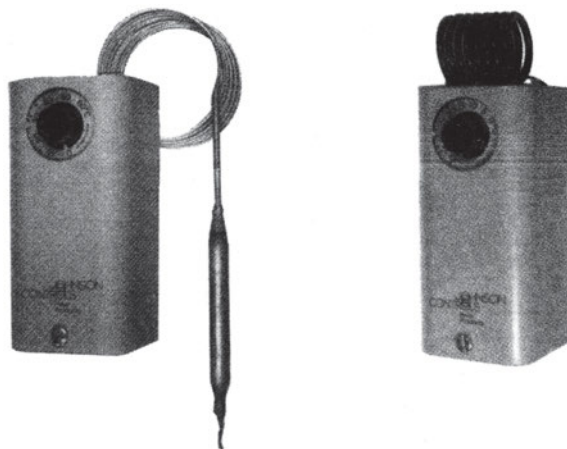
Σχήμα 5.21 Θερμόμετρο με διμεταλλικό έλασμα

5.15 Θερμοστάτες ασφαλείας

Οι θερμοστάτες ασφαλείας είναι απαραίτητοι για την ομαλή λειτουργία της εγκατάστασης και για την αποφυγή ανεπιθύμητων καταστάσεων, όπως η υπερθέρμανση του συμπιεστή. Τέτοια περίπτωση είναι και ο θερμοστάτης ασφαλείας έναντι δημιουργίας πάγου, που φαίνεται στο Σχήμα 5.22, καθώς και οι γενικής χρήσης θερμοστάτες του Σχήματος 5.23. Οι θερμοστάτες ασφαλείας διαθέτουν μία επαφή δύο θέσεων, την οποία βλέπουμε στο Σχήμα 5.22. Στη μία θέση επιτρέπεται η λειτουργία, ενώ στην άλλη αποκόπτεται.



Σχήμα 5.22 Θερμοστάτης ασφαλείας έναντι δημιουργίας πάγου



Σχήμα 5.23 Θερμοστάτης γενικής χρήσης: (A) μέτρησης θερμοκρασίας, (B) μέτρησης θερμοκρασίας αέρα

5.16 Σφάλματα μέτρησης – καλιμπράρισμα οργάνων

Για να γίνει μια ακριβής μέτρηση, πρέπει να τηρηθούν ορισμένες διαδικασίες κατά τη διάρκεια των μετρήσεων. Πρέπει να αποφεύγονται καταστάσεις που προκαλούν σφάλματα στις μετρήσεις, όπως εξωτερικοί παράγοντες (θόρυβοι, παρεμβολές από άλλα όργανα μέτρησης), και έχουν ως αποτέλεσμα τη λανθασμένη ένδειξη των οργάνων μέτρησης. Επίσης τα όργανα θα πρέπει να είναι κατάλληλα για τις περιοχές που θα μετρηθούν.

Αν έχουμε τα κατάλληλα όργανα μέτρησης και τις κατάλληλες συνθήκες, η ανάγνωση της ένδειξης του οργάνου αποτελεί το μέγεθος της μέτρησης εκφρασμένο σε μονάδες μέτρησης.

Συνήθως κατά τη διάρκεια μιας μέτρησης προκύπτει σφάλμα. Ορίζεται σαν **απόλυτο σφάλμα** η διαφορά της πραγματικής τιμής (μέγεθος) από τη μετρούμενη. Το **σχετικό σφάλμα** είναι ο λόγος του απόλυτου σφάλματος προς την πραγματική τιμή. Αν A_{π} είναι η πραγματική τιμή ενός μεγέθους και A_{μ} είναι η μετρούμενη τιμή του, τότε:

$$\text{Απόλυτο σφάλμα} = \Delta A = A_{\pi} - A_{\mu}$$

$$\text{Σχετικό σφάλμα} = \frac{\Delta A}{A_{\pi}}$$

Η ακρίβεια μέτρησης ενός οργάνου καταστρέφεται με την πάροδο του χρόνου. Γι' αυτό κατά διαστήματα τα όργανα ελέγχονται μέσω ειδικών οργάνων και διορθώνονται οι ενδείξεις τους. Η εργασία αυτή ονομάζεται **καλιμπράρισμα** των οργάνων μέτρησης και γίνεται με ειδικά όργανα, σε κατάλληλα εξοπλισμένο εργαστήριο.

5.17 Μηχανισμοί ελέγχου πίεσης

Πίεση ορίζεται η δύναμη F που ασκείται στην επιφάνεια S ενός υγρού και συμβολίζεται με το γράμμα p :

$$p = \frac{F}{A}$$

Η μονάδα μέτρησης της πίεσης στο σύστημα SI είναι το **Pascal**, που συμβολίζεται με **Pa**. Ισχύει **1 Pa = 1 Newton/m²**.

Στην επιφάνεια της γης υπάρχει ατμοσφαιρική πίεση **1,013 Bar = 101,3 kPa**. Παλαιότερα χρησιμοποιούμενες μονάδες ήταν το **1 mmHg**, δηλαδή η πίεση που εξασκεί μια στήλη υδραργύρου ύψους 1 mm, ή το **1 mm H₂O**, δηλαδή η πίεση που εξασκεί μια στήλη ύδατος ύψους 1 mm. Επίσης χρησιμοποιείται στο σύστημα μονάδων I-P και η μονάδα **psi**⁽⁴⁾. Η μετατροπή των μονάδων πίεσης φαίνεται στον Πίνακα 5.3. Μέχρι να μάθουν όλοι οι τεχνικοί να εργάζονται με το σύστημα SI, ο πίνακας αυτός θα μας είναι χρήσιμος.

Η πίεση μετράται σαν **απόλυτη πίεση**, η οποία είναι η πίεση σε σχέση με το κενό (μηδενική πίεση), και σαν **διαφορική πίεση ή σχετική πίεση**, η οποία είναι η πίεση σε σχέση με μία πίεση αναφοράς.

Πίνακας 5.3

| Για να μετατρέψουμε | σε | πολλαπλασιάζουμε με |
|----------------------------|-----|---------------------|
| psi | kPa | 6,9 (≈7) |
| mbar ή cm H ₂ O | Pa | 102 (≈100) |
| mm H ₂ O | Pa | 10,2 (≈10) |
| bar | kPa | 100 (ακριβής σχέση) |
| mbar | Pa | 10 (ακριβής σχέση) |
| bar | psi | 14,5 (≈15) |

Οι πλέον συνηθισμένοι μηχανισμοί ελέγχου πίεσης είναι οι πρεσοστάτες (ή πιεζοστάτες). Αυτοί δέχονται την πίεση και ενεργοποιούν την αντίστοιχη εντολή.

Τα αισθητήρια πίεσης μπορούν να προσδιορίσουν, χρησιμοποιώντας την αρχή του **Bernoulli**, εκτός από το μέγεθος της πίεσης, και την ταχύτητα ροής ενός ρευστού ή τη στάθμη ενός υγρού.

Τα όργανα που μετρούν την πίεση λέγονται **μανόμετρα** ή **πιεσόμετρα**. Στη συνέχεια θα εξετάσουμε τα αισθητήρια που χρησιμοποιούνται από τα μανόμετρα για τον έλεγχο της πίεσης.

⁴ Τα εν χρήσει σήμερα συστήματα μονάδων είναι δύο: το SI (System International), που ισχύει και στη χώρα μας, και το I-P (inch-pound), που ισχύει κυρίως στις ΗΠΑ και την Αγγλία, αλλά και αυτό με σαφείς τάσεις αντικατάστασής του από το SI.

5.18 Πρεσοστάτες ή (πιεζοστάτες)

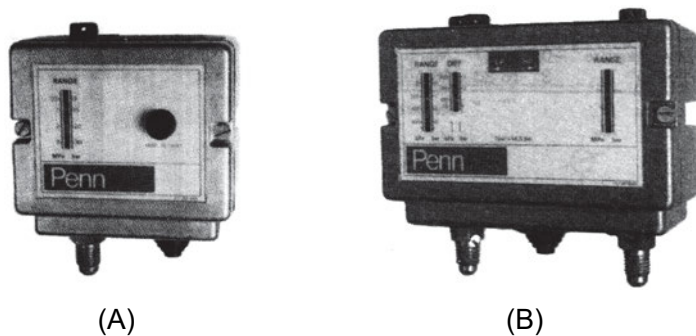
Οι πρεσοστάτες είναι συσκευές οι οποίες μετρούν την πίεση ενός ρευστού είτε αυτό είναι υγρό είτε είναι αέριο.

Κάθε πρεσοστάτης αποτελείται από τέσσερα μέρη:

- **Το αισθητήριο πίεσης**, το οποίο ανιχνεύει τη μεταβολή της πίεσης και ανοίγει ή κλείνει το διακόπτη,
- **Τις ηλεκτρικές επαφές**, που μπορεί να είναι περισσότερες από μία, ανάλογα με τον κατασκευαστή,
- **Το ρυθμιστή πίεσης**, ο οποίος καθορίζει την ανώτερη και κατώτερη στάθμη πίεσης, ρυθμίζοντας τα όρια με ρυθμιστικές βίδες, και
- **Τη βάση** πάνω στην οποία είναι τοποθετημένα το αισθητήριο, ο διακόπτης και ο ρυθμιστής πίεσης και η οποία έχει κατάλληλες υποδοχές για στήριξη πάνω σε σωλήνες μέτρησης της πίεσης.

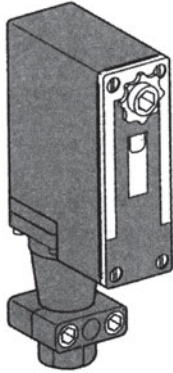
Η λειτουργία του πρεσοστάτη είναι η ακόλουθη: Το αισθητήριο πίεσης μετράει την απόλυτη ή τη διαφορική (σχετική) πίεση σε ένα υγρό ή αέριο και ανοίγει ή κλείνει τις επαφές ανάλογα με την ανώτερη ή κατώτερη τιμή που έχουμε προδιαγράψει στο ρυθμιστή πίεσης. Οι επαφές με τη σειρά τους ανοίγουν ή κλείνουν κάποιο κύκλωμα λειτουργίας.

Στο Σχήμα 5.24 βλέπουμε έναν πρεσοστάτη με μία επαφή. Αυτός ο τύπος του πρεσοστάτη υπάρχει σε έκδοση χαμηλής ή υψηλής πίεσης, καθώς και σε έκδοση που ελέγχει συγχρόνως και τα δύο. Η έκδοση πρεσοστάτη χαμηλής έχει περιοχή ρύθμισης συνήθως 50-1000 kPa και υψηλής 700-3000 kPa.

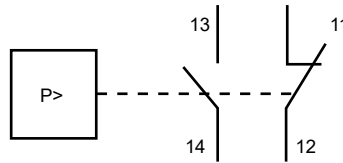


Σχήμα 5.24 Τυπικοί πρεσοστάτες: (A) μόνο υψηλής ή μόνο χαμηλής πίεσης, (B) χαμηλής και υψηλής πίεσης

Στο Σχήμα 5.25 βλέπουμε έναν άλλο τύπο πρεσοστάτη υψηλής ή χαμηλής πίεσης, ο οποίος είναι εφοδιασμένος με δύο επαφές (μία κανονικά κλειστή και μία ανοικτή). Αυτός ο πρεσοστάτης μπορεί να δώσει συγχρόνως δύο εντολές, π.χ. η μία να διακοπεί η λειτουργία και η άλλη να ανάψει μία ενδεικτική λυχνία.



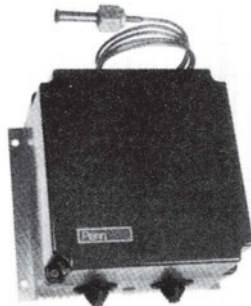
(A) Μορφή



(B) Σύμβολο

Σχήμα 5.25 Άλλος τύπος πρεσοστάτη, με δύο επαφές (υψηλής ή χαμηλής πίεσης)

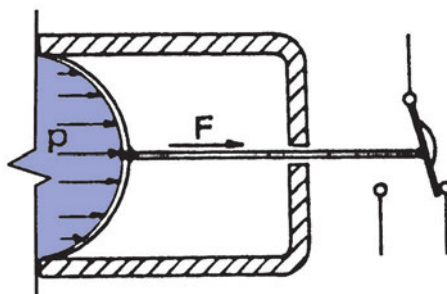
Ο πρεσοστάτης του Σχήματος 5.26 προορίζεται για τη ρύθμιση των στροφών του ανεμιστήρα στο συμπυκνωτή, ώστε να έχουμε σχεδόν σταθερή πίεση συμπύκνωσης, ανεξάρτητα από τη θερμοκρασία του αέρα.



Σχήμα 5.26 Πρεσοστάτης ρύθμισης της πίεσης συμπύκνωσης, μέσω της ρύθμισης των στροφών του ανεμιστήρα

5.19 Ο έλεγχος της πίεσης μέσω μεμβρανών και διαφραγμάτων

Η πίεση ενός ρευστού μπορεί να ελεγχθεί ή να μετρηθεί χρησιμοποιώντας μια **μεμβράνη**, η οποία μετατοπίζεται εξαιτίας της πίεσης που ασκείται στην επιφάνειά της. Μέσω ενός ελατηρίου και συστήματος μοχλών, η μετατόπιση αυτή μεταφέρεται στο δείκτη μέτρησης, ο οποίος αποκλίνει από τη θέση ισορροπίας και δείχνει πάνω σε βαθμονομημένη κλίμακα το μέτρο της πίεσης ή κινεί κάποια ηλεκτρική επαφή. Ένα τέτοιο σύστημα φαίνεται στο Σχήμα 5.27.



Σχήμα 5.27 Πρεσοστάτης μεμβράνης

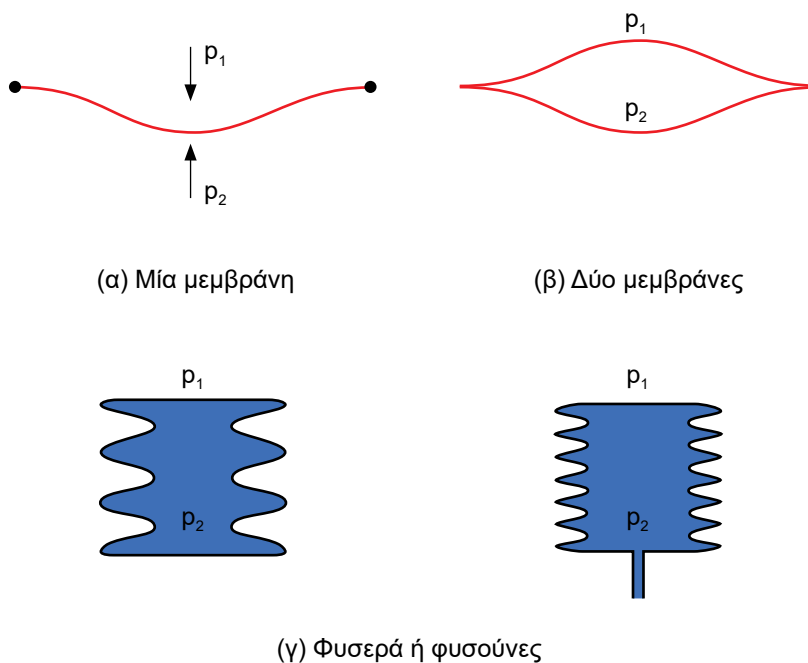
Εάν επάνω στη μεμβράνη ασκηθεί μια πίεση p , τότε αυτή η μεμβράνη συμπιέζει το ελατήριο μέχρι να επικρατήσει ισορροπία, οπότε ισχύει ότι:

$$F = A \cdot p$$

όπου F είναι η δύναμη του ελατηρίου και A είναι η επιφάνεια της μεμβράνης.

Μία παραλλαγή του παραπάνω μανομέτρου μεμβράνης είναι όταν χρησιμοποιείται ένα ποτενσιόμετρο το οποίο μετατρέπει τις κινήσεις της μεμβράνης σε αλλαγή της αντίστασης και, κατά συνέπεια, σε αλλαγή της ηλεκτρικής τάσης.

Τα **διαφράγματα** είναι μεμβράνες που παρεμβάλλονται μεταξύ δύο ρευστών (υγρών ή αερίων) υπό διαφορετική πίεση και η μετατόπιση του διαφράγματος μας δείχνει τη διαφορά της πίεσης των δύο ρευστών, δηλαδή τη **διαφορική πίεση**. Αν η πίεση που εξασκείται στη μία πλευρά του διαφράγματος είναι γνωστή, τότε η μετατόπιση του διαφράγματος μας δείχνει το μέτρο της πίεσης στην άλλη πλευρά και έτσι έχουμε μέτρηση της **απόλυτης πίεσης**. Τα διαφράγματα συνήθως αποτελούνται από ένα επίπεδο φύλλο μετάλλου ή δύο φύλλα ενωμένα στα άκρα ή περισσότερα, σχηματίζοντας ένα είδος φουσερού, όπως φαίνεται στο Σχήμα 5.28.



Σχήμα 5.28 Διαφράγματα

5.20 Μανόμετρα για διαφορετική πίεση

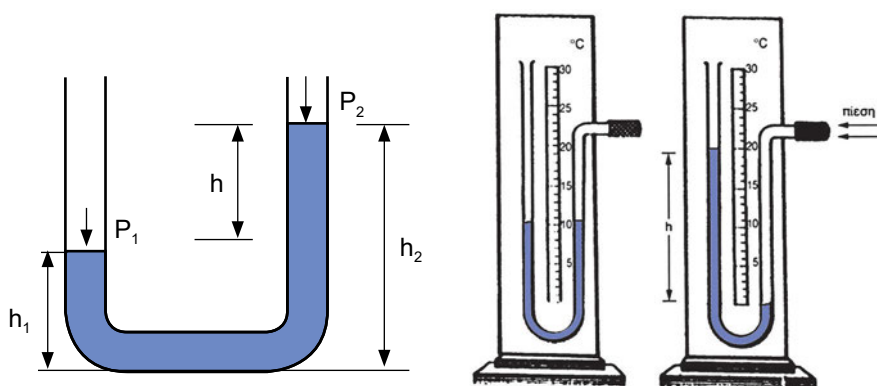
Ένα απλό όργανο για τη μέτρηση της πίεσης είναι το μανόμετρο υδραργύρου. Αποτελείται από ένα γυάλινο σωλήνα σχήματος U που στο εσωτερικό του βρίσκεται ένα υγρό (συνήθως υδράργυρος). Στηρίζεται σε μια βάση όπου υπάρχει και μια βαθμονομημένη κλίμακα στα σκέλη του σωλήνα. Το υγρό ή ο υδράργυρος βρίσκεται στο ίδιο ύψος και στα δύο σκέλη, όταν η πίεση του αέρα είναι η ίδια.

Όταν οι πιέσεις στα σκέλη του σωλήνα είναι διαφορετικές, π.χ. p_1 και p_2 , οι στάθμες του υγρού δεν είναι οι ίδιες και ισχύει:

$$\Delta p = p_1 - p_2 = h \cdot \rho \cdot g$$

όπου h είναι η διαφορά ύψους, $h = h_1 - h_2$, ρ είναι η πυκνότητα του υγρού και g είναι η επιτάχυνση της βαρύτητας ($g = 9,81 \text{ m / s}^2$). Στο Σχήμα 5.29 φαίνεται ένα τέτοιο μανόμετρο.

Το μανόμετρο σωλήνα μετράει τη διαφορική πίεση. Το μανόμετρο υδραργύρου μπορεί να μετρήσει πιέσεις μέχρι 140 KPa, με μια ακρίβεια 100 Pa. Το μανόμετρο που περιέχει νερό αντί για υδράργυρο μπορεί να μετρήσει πιέσεις μέχρι 10 KPa, με ακρίβεια 20 Pa. Γενικά, το μανόμετρο δεν είναι όργανο μεγάλης ακρίβειας, είναι όμως φθηνό.



(A) Αρχή λειτουργίας

(B) Μορφή

Σχήμα 5.29 Μανόμετρο υδραργύρου

Π.Χ. ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 2

Ένα απλό μανόμετρο με νερό δείχνει μία διαφορά στις στάθμες στα δύο σκέλη του $h = 100 \text{ mm}$. Ποια είναι η διαφορά πίεσης όταν η πυκνότητα του νερού είναι 1000 kg/m^3 και η επιτάχυνση της βαρύτητας $g = 9,81 \text{ m/s}^2$;

Απάντηση

Η διαφορά πίεσης υπολογίζεται:

$$\Delta P = h \cdot \rho \cdot g = 0,10 \text{ m} \cdot 1000 \text{ kg/m}^3 \cdot 9,81 \text{ m/s}^2 = 981 \text{ kg/m s}^2 = 981 \text{ N/m}^2 = 981 \text{ Pa} = 0,981 \text{ kPa}$$

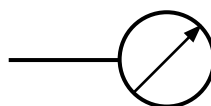
5.21 Μανόμετρο για απόλυτη πίεση

Τα μανόμετρα που μετρούν απόλυτη πίεση βασίζονται στο σωλήνα **Bourdon**. Ο σωλήνας Bourdon είναι ένας εύκαμπτος σωλήνας κυκλικού σχήματος. Από το ένα άκρο του που είναι ανοικτό διοχετεύεται το ρευστό του οποίου θέλουμε να μετρήσουμε την πίεση. Το άλλο άκρο του είναι κλειστό και συνδέεται με ένα σύστημα μοχλών και οδοντωτών τροχών που καταλήγει σε βελόνα η οποία μετακινείται επάνω σε βαθμονομημένη κλίμακα πίεσης. Έτσι, κάθε αυξομείωση της πίεσης του αερίου έχει σαν αποτέλεσμα την παραμόρφωση του σωλήνα και κατά συνέπεια τη μετακίνηση της βελόνας από την αρχική θέση ηρεμίας πάνω στη βαθμονομημένη κλίμακα. Με αυτό τον τρόπο το όργανο μας δείχνει την **απόλυτη πίεση του αερίου**.

Με το σωλήνα Bourdon μπορούν να μετρηθούν πιέσεις από 35 kPa μέχρι και 700 MPa, ανάλογα με τη διάμετρο, το πάχος και το υλικό του σωλήνα. Συνήθως είναι λιγότερο ακριβής από ό,τι τα διαφράγματα, αλλά είναι ένας φθηνός αισθητήρας πίεσης. Η ευαισθησία του κυμαίνεται από 0,1-10% και εξαρτάται από το μήκος του σωλήνα, το πάχος του, καθώς και το σχήμα της διατομής του σωλήνα. Στο Σχήμα 5.30α φαίνεται ένα όργανο μέτρησης πίεσης με σωλήνα Bourdon, ενώ στο Σχήμα 5.30β το σύμβολό του. Τα κύρια χαρακτηριστικά των οργάνων μέτρησης με σωλήνα Bourdon είναι η μεγάλη διάρκεια ζωής τους και η ικανοποιητική ακρίβεια των μετρήσεων για τις περισσότερες εφαρμογές.



(A) Όργανο



(B) Σύμβολο

Σχήμα 5.30 Μανόμετρο με σωλήνα Bourdon

5.22 Πρεσοστάτης με ηλεκτρονικό αισθητήριο (πιεζοκρύσταλλος)

Η μέτρηση πιέσεων κάτω των 10 kPa, με μηχανικά μέσα, είναι πρακτικά πολύ δύσκολη, εφόσον φυσικά ζητάμε ικανοποιητική ακρίβεια.

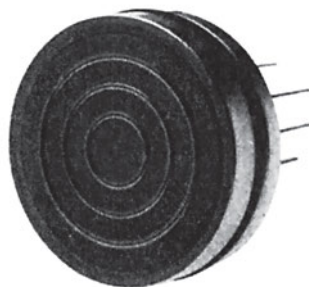
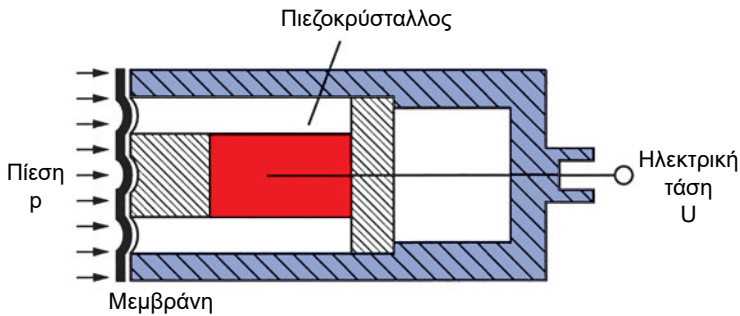
Ένας ακριβής τρόπος μέτρησης της πίεσης είναι αυτός που κάνει χρήση του *πιεζοηλεκτρικού φαινομένου*, δηλαδή της ιδιότητας που έχουν μερικοί τύποι κρυστάλλων να παρουσιάζουν στα άκρα τους διαφορά δυναμικού όταν στην επιφάνειά τους εξασκηθεί πίεση. Με αυτόν μετριοούνται πιέσεις μέχρι και 0,1 Pa. Η διαφορά δυναμικού U είναι πολύ μικρή (της τάξης mV) και συνήθως χρησιμοποιούνται ενισχυτές προκειμένου να γίνει δυνατή η επεξεργασία και η μέτρηση του σήματος. Επίσης είναι ανάλογη της δύναμης ή της πίεσης p , που εξασκείται στον κρύσταλλο.

$$U = C \cdot p$$

όπου C είναι μια σταθερά αναλογίας και μετριέται σε V/Pa.

Στην περίπτωση αυτή έχουμε μετατροπή μηχανικής ενέργειας (πίεση) σε ηλεκτρική (ηλεκτρική τάση).

Οι κρύσταλλοι συνήθως έχουν σχήμα εξαγωνικό. Στο Σχήμα 5.31 φαίνεται ο πιεζοκρύσταλλος.

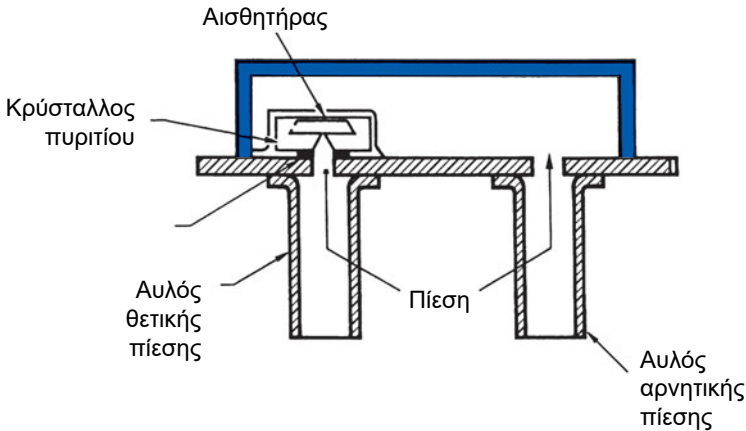


Σχήμα 5.31 Πιεζοκρύσταλλος

Τα κυριότερα **τεχνικά χαρακτηριστικά** που μας ενδιαφέρουν σε έναν πιεζοκρύσταλλο είναι:

- η περιοχή μέτρησης πίεσης (Pa),
- η τάση εξόδου (mV),
- η ευαισθησία (mV /Pa),
- η ακρίβεια (%).

Στο Σχήμα 5.32 φαίνεται ένας άλλος τύπος πρεσοστάτη με κρύσταλλο, ο οποίος διαθέτει δύο σωλήνες (αυλούς) και ως εκ τούτου μπορεί να μετρήσει διαφορική πίεση.



Σχήμα 5.32 Πρεσοστάτης με κρύσταλλο με δύο αυλούς

Οι σύγχρονοι πρεσοστάτες μπορεί να συμπεριλαμβάνουν στα τεχνικά χαρακτηριστικά τους και στοιχεία υψηλής τεχνολογίας και προδιαγραφών, όπως:

- ✓ Η βαθμονόμηση γίνεται μέσω λογισμικού και επιτρέπει στους χρήστες να βαθμονομήσουν γρήγορα και με ακρίβεια τον αισθητήρα εξοικονομώντας χρόνο.
- ✓ Ενδείξεις βάθους ανεξάρτητα από τις αλλαγές της ατμοσφαιρικής πίεσης.
- ✓ Εύκολη προσαρμογή σε πλήθος εφαρμογών, όπως επιτήρηση δικτύων σωληνώσεων, δεξαμενές με ταραχώδη ροή, φουσαλίδες κτλ.
- ✓ Μέτρηση για διαφορετικά βάθη με επαναρρύθμιση της αρχικής κλίμακας μετρήσεων.

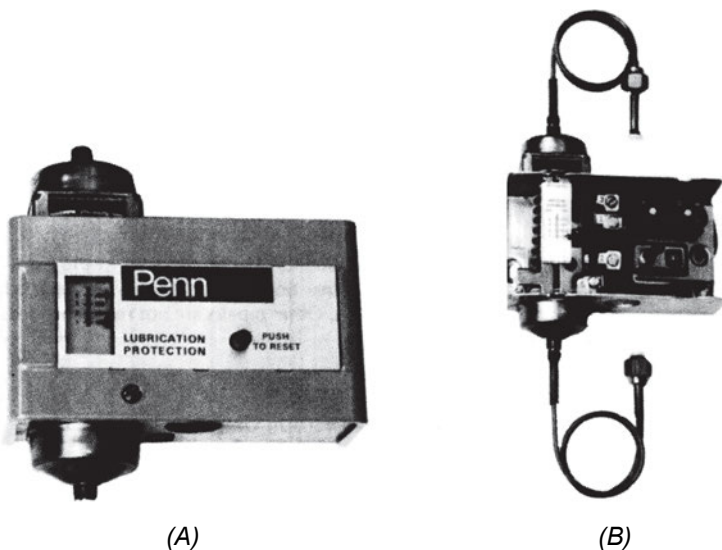
5.23 Πρεσοστάτης ελέγχου πίεσης λαδιού

Ο συμπιεστής, για να λειτουργήσει σωστά, χρειάζεται τη σωστή πίεση λαδιού. Για το λόγο αυτό χρησιμοποιείται ο πρεσοστάτης λαδιού, όπως αυτός που φαίνεται στο Σχήμα 5.33. Η λειτουργία του είναι διαφορετική από ό,τι στους άλλους πρεσοστάτες, με την έννοια ότι μετράει τη διαφορική πίεση. Συγκρίνει τις πιέσεις που υπάρχουν σε 2 διαφράγματα ή τα φουσερά και ελέγχει αν υπάρχει μια θετική πίεση λαδιού.

Η καθαρή πίεση του λαδιού είναι η πίεση της αντλίας μείον την πίεση του συμπιεστή. Δηλαδή η αντλία πρέπει να υπερνικήσει την πίεση του συμπιεστή για να στείλει λάδι και να λιπάνει τα κινούμενα μέρη.

Η καθαρή πίεση του λαδιού σε ένα ψυκτικό κύκλωμα ποικίλλει από 900 kPa στην περίπτωση μη λειτουργίας του συμπιεστή μέχρι περίπου 500 kPa σε περίπτωση κανονικής λειτουργίας.

Συνήθως η πίεση του λαδιού στο συμπιεστή είναι τουλάχιστον 200 kPa μεγαλύτερη από την πίεση στην αντλία λαδιού.



Σχήμα 5.33 Πρεσοστάτης ελέγχου πίεσης: (A) εξωτερική εμφάνιση, (B) χωρίς καπάκι, συνδεδεμένος με τους σωλήνες

π.χ. ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 3

Πόση είναι η καθαρή πίεση λαδιού σε ένα συμπιεστή, όταν η πίεση της αντλίας του λαδιού είναι 900 kPa και η πίεση του συμπιεστή είναι 600 kPa;

Λύση:

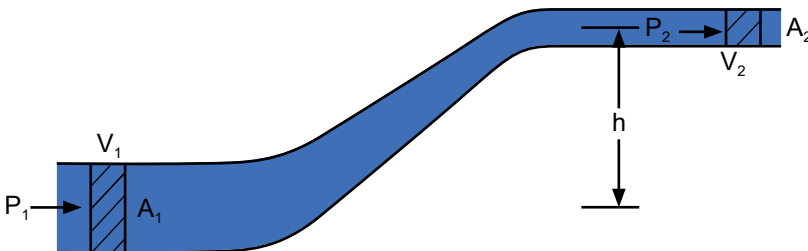
Η καθαρή πίεση του λαδιού που εκφορτίζεται πάνω στα κινούμενα μέρη του κινητήρα του συμπιεστή είναι: $900 - 600 = 300 \text{ kPa}$ ($= 3 \text{ bar}$).

5.24 Μέτρηση και έλεγχος της πίεσης και της παροχής με την αρχή του Bernoulli

Η μέτρηση και ο έλεγχος της πίεσης ενός υγρού μπορεί να γίνει είτε άμεσα με τις συσκευές που προαναφέρθηκαν είτε έμμεσα με τη μέτρηση της ταχύτητας βάσει της εξίσωσης του **Bernoulli**, η οποία δίνει τη σχέση που υπάρχει ανάμεσα στην ταχύτητα και στην πίεση, σε ιδανικό υγρό, κατά μήκος της ροής. Έτσι, στο σωλήνα του Σχήματος 5.34, αν p_1 και p_2 είναι οι πιέσεις σε δύο σημεία του σωλήνα με διαφορετικές διατομές A_1 και A_2 αντίστοιχα, και V_1 και V_2 είναι οι ταχύτητες του υγρού, σύμφωνα με το νόμο του **Bernoulli** θα έχουμε:

$$p_1 \cdot V_1 = p_2 \cdot V_2$$

Δηλαδή σε σημεία όπου η ταχύτητα του υγρού είναι υψηλή, η στατική πίεση είναι ελαττωμένη και αντίστροφα.

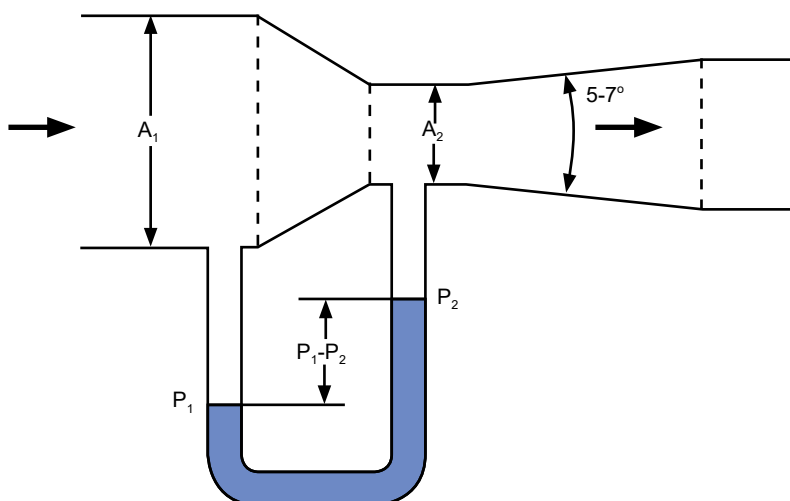


Σχήμα 5.34 Στένωση σωλήνα και εξίσωση Bernoulli

Η μέτρηση της διαφορικής πίεσης μπορεί να γίνει με τον κλασικό σωλήνα *Venturi*. Οι πιέσεις κατά μήκος της ροής θα διαφέρουν κατά τρόπο ανάλογο των διατομών του σύμφωνα με την **εξίσωση της συνέχειας** και την εξίσωση Bernoulli:

$$\frac{p_2}{\rho_1} = \frac{V_1}{V_2} = \frac{A_2}{A_1}$$

Με βάση την εξίσωση της συνέχειας λειτουργεί ο σωλήνας *Venturi* όπου φαίνεται στο Σχήμα 5.35.



Σχήμα 5.35 Σωλήνας *Venturi*

Από τη διαφορά της πίεσης $\Delta p = p_1 - p_2$ και ρ η ειδική πυκνότητα του ρευστού (kg/m^3) μπορούμε να υπολογίσουμε την παροχή του ρευστού. Συγκεκριμένα αυτή δίδεται από τη σχέση:

$$Q = C \cdot A_2 \sqrt{\frac{2 \cdot \Delta p}{\rho}}$$

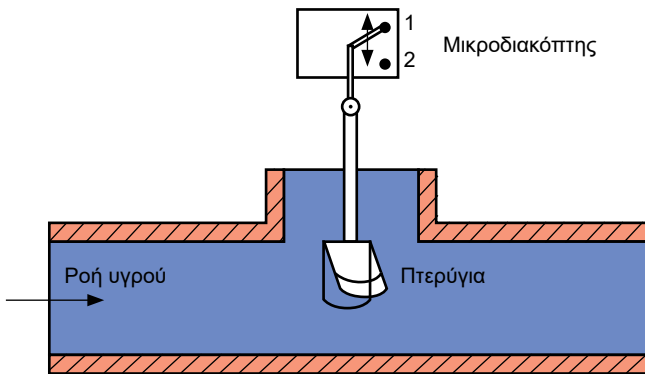
όπου C είναι ένας συντελεστής που δίνεται σε πίνακες.

Η μέτρηση της παροχής αέρα με το σύστημα *Venturi* είναι ένας από τους πλέον αξιόπιστους τρόπους. Η παροχή αέρα είναι γενικά πολύ δύσκολο να υπολογιστεί σωστά, σε αντίθεση με την παροχή των υγρών που η μέτρηση είναι σχετικά εύκολη.

5.25 Διακόπτης ροής (flow switch)

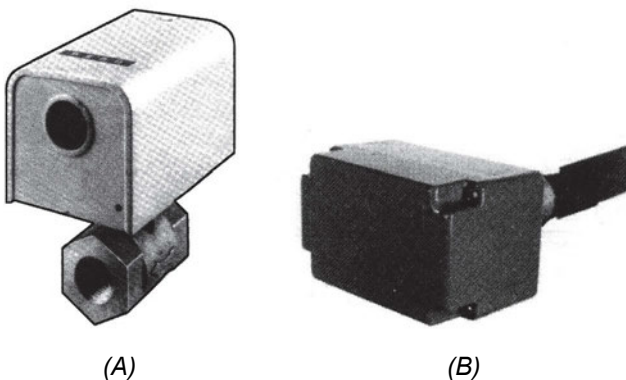
Ο διακόπτης ροής έχει ένα στέλεχος, στο άκρο του οποίου υπάρχουν πτερύγια με μεταβαλλόμενη κλίση. Επίσης υπάρχει ειδική συνδεσμολογία τοποθέτησης, ώστε να είναι δυνατή η εισαγωγή και η εξαγωγή του αισθητήρα από τον αγωγό χωρίς να διακοπεί ή να μεταβληθεί η ροή του ρευστού, το οποίο μπορεί να βρίσκεται υπό πίεση, όπως φαίνεται στο Σχήμα 5.36.

Μπορούν να ελέγχουν αν υπάρχει ροή στα περισσότερα ρευστά χαμηλού ιξώδους ακόμη σε μικρές ταχύτητες ($< 0,3 \text{ m/sec}$).



Σχήμα 5.36 Διακόπτης ροής με πτερύγια

Στο Σχήμα 5.37 βλέπουμε δύο τύπους flow switch, για υγρά και για αέρια αντίστοιχα.

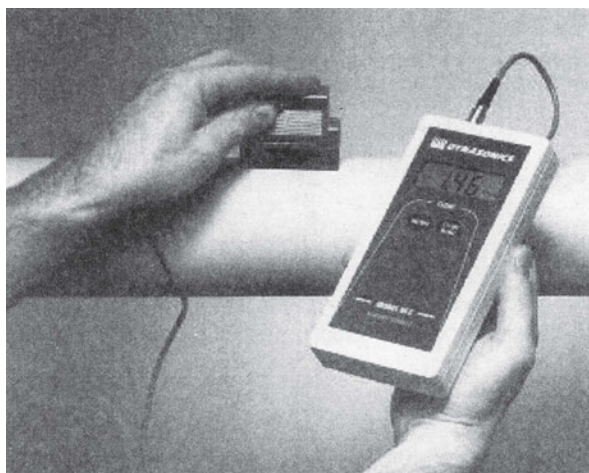


Σχήμα 5.37 Διακόπτης ελέγχου ροής (flow switch): (A) υγρών, (B) αέρος

5.26 Διακόπτης ροής με υπερήχους

Οι διακόπτες με υπερήχους βασίζονται στο φαινόμενο **Doppler**. Η συχνότητα εκπομπής των ηχητικών σημάτων είναι περίπου 640 kHz και η ανάκλαση του ήχου γίνεται από τα μικροσωματίδια που υπάρχουν στην επιφάνεια του υγρού. Βάσει του φαινομένου Doppler η συχνότητα που έχει ο αντανακλώμενος ήχος είναι διαφορετική της συχνότητας εκπομπής και εξαρτάται από την ταχύτητα ροής. Οι μεταβολές αυτές της συχνότητας μπορούν να προσδιορίσουν και το μέγεθος της ροής.

Ο αισθητήρας ροής υπερήχων μπορεί να προσδεθεί στο τοίχωμα της σωλήνωσης και σε επιλεγμένα σημεία, ώστε να μην υπάρχει επιτάχυνση της ροής (βαλβίδες ελέγχου ή αντλίες) ή διαταραχή της ροής (καμπύλες ή γωνίες), όπως βλέπουμε στο Σχήμα 5.38.



Σχήμα 5.38 Μέτρηση ροής με υπερήχους

Το πρόβλημα αυτών των οργάνων είναι ότι δεν μπορούν να ελέγξουν τη ροή, αν δεν υπάρχουν μικροσωματίδια για να προκαλέσουν την ανάκλαση του ήχου. Αν δηλαδή το ρευστό είναι καθαρό, αδυνατούν να κάνουν τη μέτρηση.

5.27 Συσκευές ελέγχου στάθμης

Αρκετές φορές είναι αναγκαίο να μετρηθεί η στάθμη ενός υγρού είτε είναι αυτό νερό ή λάδι ή χημικό διάλυμα το οποίο μπορεί να βρίσκεται σε ανοικτό δοχείο ή σε δεξαμενή ή σε κλειστό δοχείο υπό πίεση. Η μέτρηση της στάθμης οδηγεί στο να κλείσει μια βαλβίδα εισαγωγής ή εξαγωγής.

Η στάθμη υγρού μπορεί να μετρηθεί χρησιμοποιώντας διάφορες μεθόδους, που εξαρτώνται από τις συνθήκες λειτουργίας, τις ιδιότητες του υγρού, καθώς και από την κατάσταση στην οποία βρίσκεται (θερμοκρασία, πίεση, λεπτόρρευστο, παχύρρευστο, αγωγιμο κτλ.). Οι συσκευές ελέγχου στάθμης περιέχουν **αισθητήρες για μέτρηση της στάθμης ενός ή περισσότερων σημείων και αισθητήρες συνεχούς μέτρησης**. Οι αισθητήρες στάθμης σημείων χρησιμοποιούνται για την ανίχνευση υψηλής ή χαμηλής στάθμης, μέγιστου ή ελάχιστου ύψους στάθμης, καθώς και για την ενεργοποίηση συναγερμού.

Οι αισθητήρες στάθμης συνεχούς μέτρησης χρησιμοποιούνται για τη μέτρηση της στάθμης εντός ορισμένων ορίων και έτσι εξασφαλίζεται η συνεχής επιτήρηση της στάθμης.

Οι συσκευές ελέγχου στάθμης έχουν ως έξοδο ένα σήμα, το οποίο συνήθως είναι ηλεκτρικό ρεύμα μεγέθους 4-20 mA ή ηλεκτρική τάση 0-5 V dc.

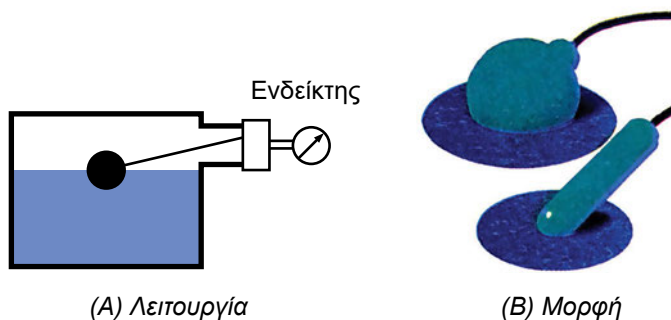
Οι συσκευές τελευταίας τεχνολογίας έχουν αρκετά επιπλέον **χαρακτηριστικά** σε σχέση με τις συσκευές συμβατικής τεχνολογίας, όπως π.χ.:

- ✓ δυνατότητα μέτρησης για χημικά, τοξικά, αγωγιμα ή κοκκώδη υλικά
- ✓ δυνατότητα ελέγχου από μακριά
- ✓ ανίχνευση ενός ή πολλών σημείων
- ✓ ρυθμιζόμενη χρονοκαθυστέρηση
- ✓ ένδειξη με LED ή οθόνη
- ✓ προστασία από εκπεμπόμενες ακτινοβολίες
- ✓ ενσωματωμένο αισθητήρα θερμοκρασίας για αντιστάθμιση των μεταβολών της θερμοκρασίας

(α) Διακόπτης στάθμης τύπου πλωτήρα

Ο διακόπτης πλωτήρα χρησιμοποιείται συχνά για την άμεση μέτρηση της στάθμης ενός υγρού ή της πλήρωσης ενός δοχείου. Αποτελείται από έναν πλωτήρα από πλαστικό (φούσκα) σε σχήμα σφαίρας ή αχλαδιού ή δίσκου, ο οποίος περιέχει αέρα και επιπλέει πάνω στην επιφάνεια του υγρού. Ο πλωτήρας συνδέεται με ένα σύστημα μοχλών οι οποίοι δίνουν εντολή και κλείνουν ή ανοίγουν οι βαλβίδες εισαγωγής και εξαγωγής του υγρού στο δοχείο. Όταν το υγρό φθάσει στην επάνω στάθμη, ανοίγει η βαλβίδα εξαγωγής και αδειάζει το δοχείο, ενώ κλείνει η βαλβίδα εισαγωγής. Αντίθετα, όταν το υγρό φθάσει στην κάτω στάθμη, ανοίγει η βαλβίδα εισαγωγής του νερού και κλείνει η βαλβίδα εξαγωγής.

Για τη μετάδοση των πληροφοριών για τη θέση του πλωτήρα υπάρχουν μηχανικά ή μαγνητικά συστήματα. Η μετάδοση με μηχανικούς μοχλούς είναι κατάλληλη για δοχεία που δεν βρίσκονται υπό πίεση. Τα μαγνητικά συστήματα, που αποτελούνται από κατάλληλους μαγνήτες, είναι απαραίτητα για τη μέτρηση σε κλειστά δοχεία στα οποία το υγρό βρίσκεται υπό πίεση. Το Σχήμα 5.39^A δείχνει το διακόπτη στάθμης τύπου πλωτήρα, ενώ στο Σχήμα 5.39^B φαίνονται μορφές διακοπών.



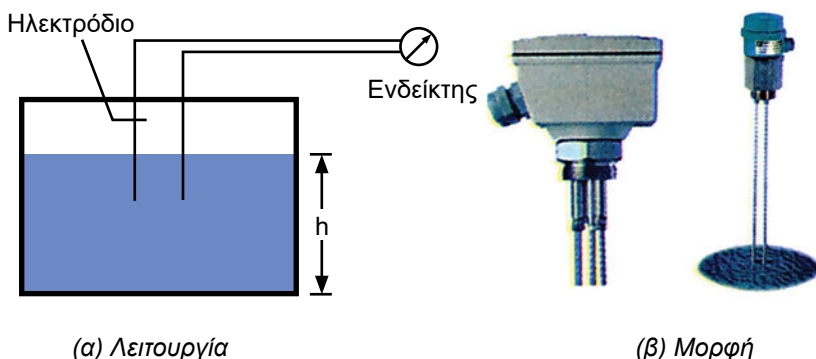
Σχήμα 5.39 Διακόπτης πλωτήρα

(β) Διακόπτης στάθμης με ηλεκτρόδια (χωρητική μέθοδος)

Η μέθοδος της χωρητικής μέτρησης της στάθμης βασίζεται σε έναν πυκνωτή που σχηματίζεται μεταξύ δύο ηλεκτροδίων τα οποία εμβαπτίζονται μέσα στο υπό μέτρηση υγρό και αποτελούν τους οπλισμούς του. Το υγρό αποτελεί το διηλεκτρικό του πυκνωτή. Καθώς μεταβάλλεται το ύψος της στάθμης του υγρού, αλλάζει ο όγκος του διηλεκτρικού, η επιφάνεια των

ηλεκτροδίων και συνεπώς μεταβάλλεται και η χωρητικότητα του πυκνωτή ανάλογα με το ύψος της στάθμης.

Επομένως όταν στην έξοδο του κυκλώματος τοποθετηθεί μια εναλλασσόμενη τάση υψηλής συχνότητας, το ηλεκτρικό ρεύμα που διαρρέει το υγρό μεταβάλλεται αντιστρόφως ανάλογα και παρέχει την ένδειξη της στάθμης του υγρού. Στο Σχήμα 5.40 φαίνεται ο διακόπτης.



(α) Λειτουργία

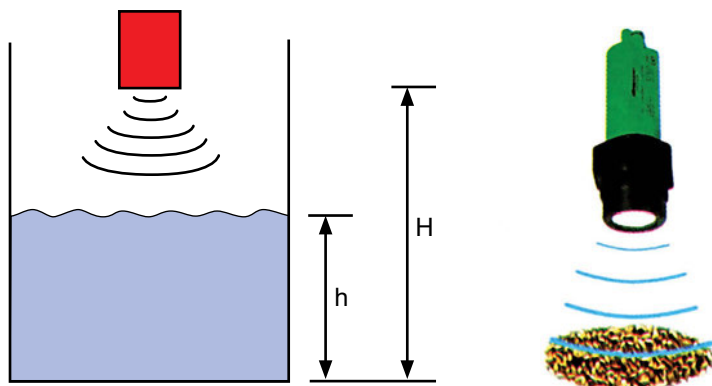
(β) Μορφή

Σχήμα 5.40 Μέτρηση με ηλεκτρόδια

(γ) Διακόπτης στάθμης με τη μέθοδο των υπερήχων

Ένας πομποδέκτης υπερήχων εκπέμπει και λαμβάνει ηχητικούς παλμούς πάνω από την επιφάνεια ενός υγρού. Τα υπερηχητικά σήματα ανακλώνται στην επιφάνεια του υγρού και λαμβάνονται από το δέκτη. Ο αισθητήρας μεταδίδει συνεχώς ηχητικούς παλμούς υψηλής συχνότητας, γύρω στους 42 KHz. Η ακριβής απόσταση της επιφάνειας του υγρού από τον αισθητήρα μπορεί να μετρηθεί με μεγάλη ακρίβεια. Το χρονικό διάστημα που μεσολαβεί από την εκπομπή του ηχητικού παλμού μέχρι τη λήψη του είναι ανάλογο της στάθμης του υγρού μέσα στο δοχείο. Αυτά τα όργανα μπορούν να μετρήσουν στάθμες υγρού μέχρι και 10 m.

Συγκεκριμένα, αν H είναι η απόσταση του πομποδέκτη από τον πυθμένα του δοχείου και h είναι το ύψος της στήλης του υγρού, τότε ο χρόνος μεταξύ εκπομπής και λήψης του ήχου θα είναι ανάλογος της απόστασης του πομποδέκτη από την επιφάνεια του υγρού, που είναι $(H-h)$, όπως φαίνεται στο Σχήμα 5.41.

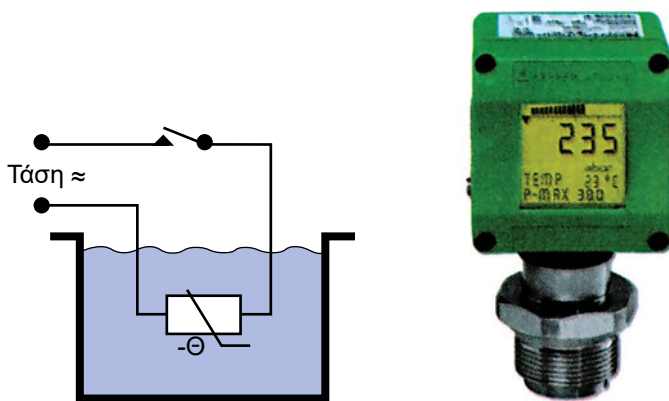


Σχήμα 5.41 Διακόπτης στάθμης με υπερήχους

(δ) Έλεγχος στάθμης υγρού σε δεξαμενή

Ο έλεγχος της στάθμης ενός υγρού που περιέχεται σε μια δεξαμενή γίνεται με κατάλληλες διατάξεις που περιέχουν αισθητήριο στάθμης, ελεγκτή και βαλβίδες έλεγχου ροής εισόδου και εξόδου. Η συσκευή έλεγχου στάθμης μπορεί να περιέχει αισθητήρια, όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, με ηλεκτρόδια, με πλωτήρα ή με υπερήχους.

Ο ελεγκτής λαμβάνει το σήμα από το αισθητήριο, το ενισχύει και δίνει εντολή στη βαλβίδα έλεγχου ροής εξόδου ώστε να ανοίξει ή να κλείσει, και η στάθμη του υγρού να παραμείνει πάνω από μια ορισμένη τιμή ή μεταξύ δύο προκαθορισμένων τιμών.



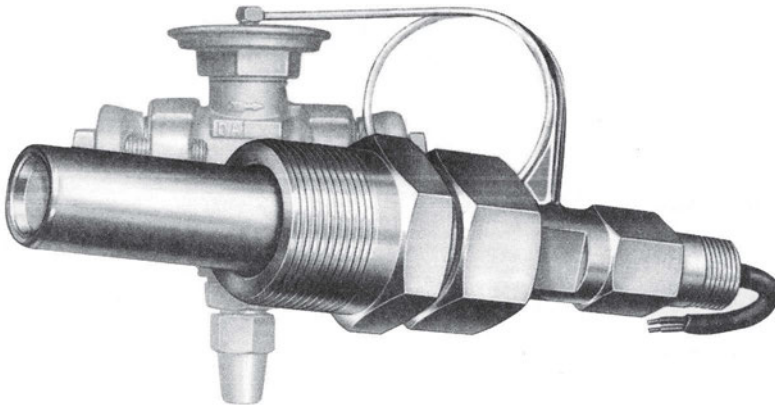
(α) Λειτουργία

(β) Όργανο

Σχήμα 5.42 Έλεγχος στάθμης υγρού

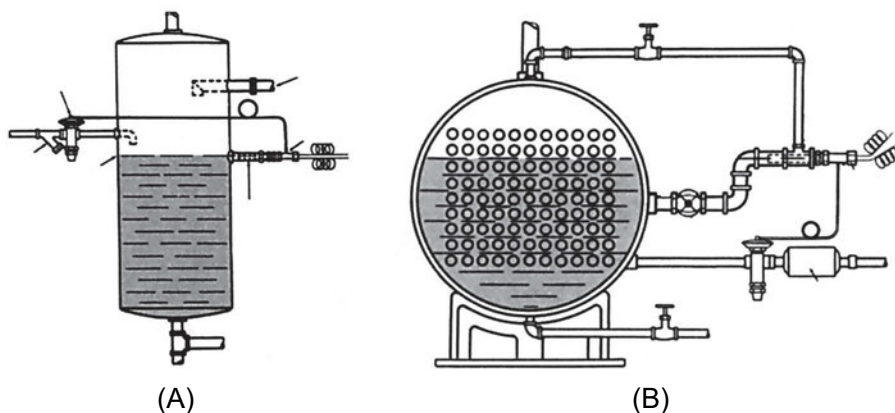
(ε) Έλεγχος στάθμης σε κλειστό δοχείο με τη χρήση Θ.Ε.Β.

Η μέτρηση βασίζεται στο ότι ο βολβός της βαλβίδας έχει μία μικρή ηλεκτρική αντίσταση που τη θερμαίνει, της τάξης των 25 W. Όταν ο βολβός δεν είναι εμβαπτισμένος στο νερό, τότε είναι θερμός και προκαλεί το άνοιγμα της Θ.Ε.Β. Όταν όμως βρίσκεται εμβαπτισμένος στο ρευστό, η μικρή θερμότητα που δημιουργείται από την ηλεκτρική αντίσταση αποβάλλεται, οπότε παγώνει ο βολβός και κλείνει η Θ.Ε.Β. Το σύστημα αυτό το βλέπουμε στο Σχήμα 5.43.



Σχήμα 5.43 Μετρητής στάθμης κλειστού δοχείου μέσω Θ.Ε.Β. και θερμαινόμενου βολβού

Επίσης, στο Σχήμα 5.44 βλέπουμε δύο περιπτώσεις ελέγχου της στάθμης με αυτή τη μέθοδο. Η (Α) αφορά την περίπτωση όπου στο δοχείο συγκέντρωσης του ψυκτικού υγρού ενός ψυκτικού κυκλώματος (receiver) μετράμε τη στάθμη του ψυκτικού υγρού όταν το σύστημα είναι εκτός λειτουργίας (για να ελέγχουμε ότι έχουμε τη σωστή ποσότητα). Η (Β) αφορά τη μέτρηση της στάθμης σε δοχείο αμμωνίας. Προσέξτε ότι το αισθητήριο είναι μέσα σε σωλήνα και όχι μέσα στη δεξαμενή.



Σχήμα 5.44 Μέτρηση στάθμης μέσω Θ.Ε.Β. με θερμαινόμενο βολβό: (Α) σε receiver, (Β) σε δεξαμενή αμμωνίας

5.28 Μέτρηση και έλεγχος σχετικής υγρασίας

Τα όργανα που μετρούν τη σχετική υγρασία ονομάζονται **υγροστάτες**. Οι υγροστάτες περιέχουν διάφορα αισθητήρια ανίχνευσης της υγρασίας και η μέτρηση γίνεται με διάφορους τρόπους.

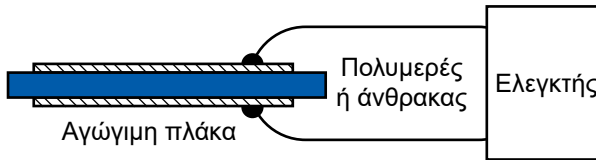
(α) Αισθητήριο με υγροσκοπικές ίνες

Σαν υγροσκοπικές ίνες μπορεί να χρησιμοποιηθούν ανθρώπινη τρίχα, μαλλί, μεμβράνη, νάιλον κλωστή κτλ. Όταν οι ίνες απορροφήσουν υγρασία, επιμηκύνονται, γιατί η μοριακή δομή τους είναι κατά μήκος, και με την απορρόφηση νερού αλλάζουν οι μοριακές αλυσίδες. Αντίθετα αν οι ίνες αποβάλλουν νερό, συστέλλονται. Το **μήκος** στο οποίο φθάνει η ίνα αποτελεί τη μονάδα μέτρησης της σχετικής υγρασίας (relative humidity, η φ). Όταν οι ίνες έχουν πλήρως εμποτιστεί με νερό, η υγρασία είναι $\varphi = 100\%$. Τότε η ίνα βρίσκεται σε πλήρη κορεσμό και το στοιχείο αυτό αποτελεί σημείο αναφοράς για τη σωστή ρύθμιση του οργάνου. Δηλαδή το καλιμπράρισμα γίνεται με πολύ εύκολο τρόπο: Βρέχουμε την ίνα, την αφήνουμε λίγο να απορροφήσει την υγρασία και μετά τοποθετούμε το δείκτη του οργάνου στο 100%.

(β) Αισθητήριο με ηλεκτρική αντίσταση

Υπάρχουν ορισμένα υλικά, όπως ο άνθρακας ή διάφορα πολυμερή ελαστικά, των οποίων η ηλεκτρική αντίσταση μειώνεται όταν απορροφήσουν

υγρασία. Αυτά τα υλικά αποτελούν αισθητήρια για τους ηλεκτρονικούς υγροστάτες. Τα υγροσκοπικά αυτά υλικά τοποθετούνται μεταξύ δύο αγώγιμων πλακών οι οποίες συνδέονται σε ηλεκτρικό κύκλωμα. Με την απορρόφηση υγρασίας, η αντίσταση του υλικού ελαττώνεται και το κύκλωμα διαρρέεται από μεγαλύτερο ρεύμα. Η ειδική αντίσταση μειώνεται και συνεπώς η ηλεκτρική αγωγιμότητα αυξάνεται. Επίσης το χρώμα του πολυμερούς αλλάζει και από μπλε γίνεται κόκκινο. Με τον τρόπο αυτό, η έξοδος του κυκλώματος μπορεί να κυμανθεί από 0 έως 20 mA ή αν μετατραπεί σε ηλεκτρική τάση, από 0 έως 10 V (Σχήμα 5.45).



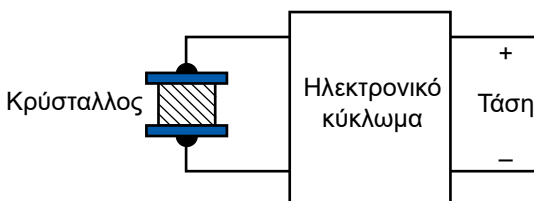
Σχήμα 5.45 Αισθητήριο ηλεκτρονικού υγροστάτη

Σε αρκετούς υγροστάτες μαζί με τον αισθητήρα υγρασίας υπάρχει και αισθητήρας θερμοκρασίας, έτσι ώστε η μέτρηση της σχετικής υγρασίας να γίνεται με αναφορά στη συγκεκριμένη θερμοκρασία.

Οι αισθητήρες υγρασίας και θερμοκρασίας βρίσκονται προφυλαγμένοι μέσα σε μεταλλικό κυλινδρικό κάλυμμα (probe) μήκους από 100 έως 200 mm, που έχει μικρές κυκλικές οπές για την είσοδο της υγρασίας.

(γ) Αισθητήριο με κρύσταλλο

Ένας άλλος τύπος αισθητηρίου περιλαμβάνει έναν κρύσταλλο χαλαζία, γύρω από τον οποίο υπάρχει υγροσκοπικό υλικό. Όταν το υγροσκοπικό υλικό απορροφά υγρασία, αλλάζει η μάζα του κρυστάλλου και, συνεπώς, η συχνότητα ταλάντωσης του κρυστάλλου μεταβάλλεται. Η μεταβολή αυτή της συχνότητας μετριέται από ένα ηλεκτρονικό κύκλωμα, μετατρέπεται σε τάση ή ρεύμα και οδηγείται στον ηλεκτρονικό ελεγκτή. Το Σχήμα 5.46 δείχνει το διάγραμμα λειτουργίας ενός αισθητηρίου κρυστάλλων.



Σχήμα 5.46

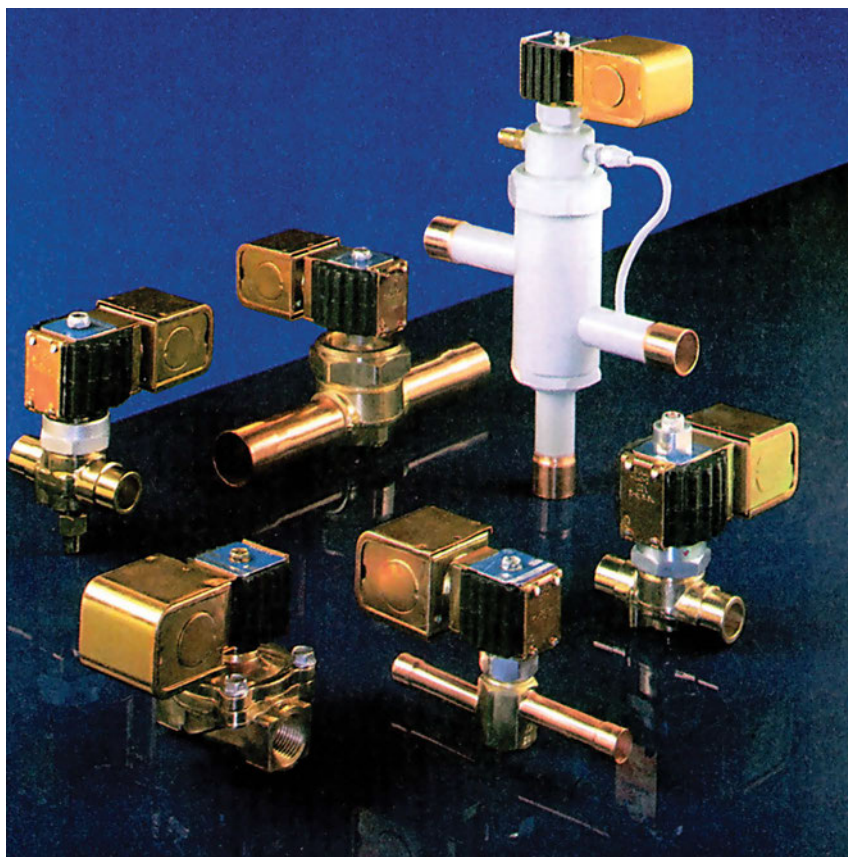
Αισθητήριο με κρύσταλλο

5.29 Ηλεκτρομαγνητικές βαλβίδες ON-OFF

Οι ηλεκτρομαγνητικές βαλβίδες μετατρέπουν την ηλεκτρική ενέργεια σε μηχανική. Αποτελούνται από ένα πηνίο με τον σπλισμό του, από το έμβολο της βαλβίδας, το ελατήριο και το κυρίως σώμα της. Συνδέονται σε σειρά στο ηλεκτρικό κύκλωμα του θερμοστάτη ή πρεσοστάτη και όταν κλείσουν οι επαφές τους, το πηνίο της βαλβίδας διαρρέεται από ρεύμα και η βαλβίδα αλλάζει θέση, δηλαδή αν ήταν κλειστή, ανοίγει και αν ήταν ανοιχτή, κλείνει.

Στο Σχήμα 5.47 φαίνονται διάφορες μορφές των ηλεκτρομαγνητικών βαλβίδων.

Οι ηλεκτρομαγνητικές βαλβίδες, ανάλογα με την εφαρμογή, μπορούν να συνδεθούν στη γραμμή του ψυκτικού υγρού ή στη γραμμή αναρρόφησης ή στη γραμμή κατάθλιψης.



Σχήμα 5.47 Διάφοροι τύποι ηλεκτρομαγνητικών βαλβίδων

Διακρίνονται σε **βαλβίδες κανονικά κλειστές (*Normally closed – NC*) και βαλβίδες κανονικά ανοικτές (*Normally open – NO*)**. Οι NC είναι αρχικά κλειστές και μόλις ενεργοποιηθούν, ανοίγουν. Αντίθετα οι NO είναι αρχικά ανοικτές και μόλις ενεργοποιηθούν, κλείνουν.

Υπάρχουν βαλβίδες οι οποίες οδηγούνται (ανοίγουν ή κλείνουν) με σερβοκινητήρα.

5.30 Οι σερβοκινητήρες

Οι σερβοκινητήρες γενικά χρησιμοποιούνται σε εφαρμογές συστημάτων αυτομάτου ελέγχου και τηλεχειρισμού κυρίως για τον καθορισμό μιας θέσης ή κάποιας ταχύτητας.

Ένας σερβοκινητήρας πρέπει να έχει τα ακόλουθα χαρακτηριστικά:

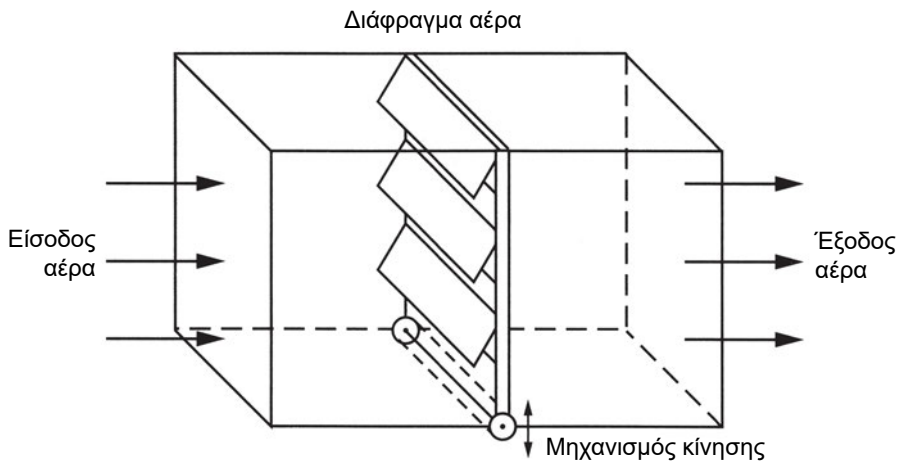
- Να περιστρέφεται σταθερά σε μεγάλη περιοχή ταχυτήτων.
- Να αναπτύσσει υψηλή ροπή ώστε να αλλάζει γρήγορα η ταχύτητά του.
- Να έχει υψηλή ταχύτητα απόκρισης στις εντολές του συστήματος ελέγχου.

Υπάρχουν σερβοκινητήρες συνεχούς ρεύματος (*DC servomotors*) και εναλλασσόμενου ρεύματος τριφασικοί και μονοφασικοί (*AC three phase or single phase servomotors*).

Ο σερβοκινητήρας εναλλασσόμενου ρεύματος έχει δύο τύλιγματα. Το πρώτο τύλιγμα ονομάζεται *σταθερό τύλιγμα ή τύλιγμα διέγερσης*, και τροφοδοτείται με σταθερή τάση, π.χ., την ονομαστική τάση του δικτύου. Το δεύτερο τύλιγμα τροφοδοτείται με μεταβλητή τάση και ονομάζεται *τύλιγμα ελέγχου*.

Όταν το τύλιγμα διέγερσης τροφοδοτείται από μονοφασική τάση, πρέπει να συνδεθεί σε σειρά με αυτό ένας πυκνωτής, για να μπορεί ο κινητήρας να αναπτύξει ροπή εκκίνησης.

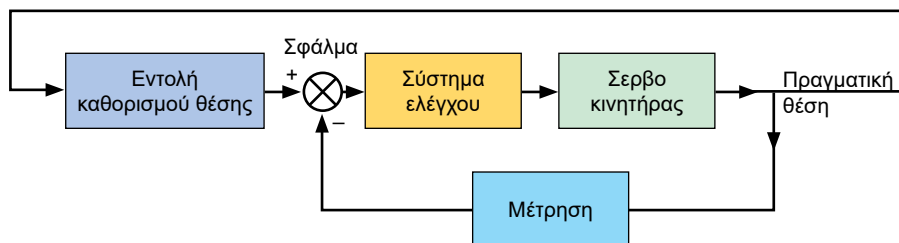
Ο δρομέας έχει μικρή διάμετρο ώστε να παρουσιάζει χαμηλή αδράνεια κατά την εκκίνηση και κατά το σταμάτημα του κινητήρα.



Σχήμα 5.48 Τάμπερ ελέγχου της ροής αέρα

Οι σερβοκινητήρες χρησιμοποιούνται για τον έλεγχο της ροής σε διάφορα ρευστά. Στο Σχήμα 5.48 βλέπουμε τον τρόπο αλλαγής της παροχής του αέρα σε έναν αεραγωγό με την αλλαγή της θέσης του *τάμπερ*. Με ανάλογο τρόπο χρησιμοποιείται και στις βάνες. Το διάγραμμα του Σχήματος 5.49 δείχνει ένα σύστημα ελέγχου της θέσης ενός αντικειμένου. Όταν ο χειριστής δίνει εντολή για τον καθορισμό της θέσης, η εντολή αυτή διαβιβάζεται στη μονάδα ηλεκτρονικού ελέγχου. Ταυτόχρονα η μονάδα ελέγχου λαμβάνει σήμα ανάδρασης από την πραγματική θέση. Το σφάλμα θέσης (η διαφορά μεταξύ επιθυμητής και πραγματικής θέσης) ενεργοποιεί το σύστημα ελέγχου το οποίο οδηγεί τον κινητήρα.

Κάθε σερβοκινητήρας έχει το δικό του σύστημα ελέγχου. Υπάρχει ταχογεννήτρια, αναλογικός/ψηφιακός μετατροπέας, κωδικοποιητής κτλ. συνδεδεμένοι σ' ένα κλειστό κύκλωμα.



Σχήμα 5.49 Σύστημα ελέγχου σερβοκινητήρα



ΑΝΑΚΕΦΑΛΑΙΩΣΗ

- Οι θερμοστάτες είναι συσκευές μέτρησης ή ανίχνευσης θερμοκρασίας.
- Οι θερμοστάτες έχουν διαφόρων τύπων αισθητήρια, όπως θερμίστορ, θερμοζεύγη, διμεταλλικά ελάσματα, θερμόμετρα με βολβό και ηλεκτρονικά αισθητήρια.
- Τα αισθητήρια θερμοκρασίας αλλάζουν μορφή, διάσταση ή κατάσταση με την αύξηση της θερμοκρασίας. Το θερμοηλεκτρικό στοιχείο αλλάζει τάση, το θερμίστορ αλλάζει αντίσταση, το διμεταλλικό έλασμα αλλάζει διάσταση (λυγίζει) κτλ.
- Τα θερμίστορ είναι στοιχεία μεταβλητής ηλεκτρικής αντίστασης και διακρίνονται σε θερμίστορ με αρνητικό θερμικό συντελεστή (N.T.C.), που η αντίστασή τους μειώνεται όταν αυξάνεται η θερμοκρασία, και σε θερμίστορ με θετικό θερμικό συντελεστή (P.T.C), που η αντίστασή τους αυξάνεται όταν αυξάνεται η θερμοκρασία.
- Οι πρεσοστάτες είναι συσκευές μέτρησης της πίεσης. Το κυριότερο στοιχείο ενός πρεσοστάτη είναι το αισθητήριο πίεσης, το οποίο μετατρέπει την πίεση σε μηχανική κίνηση ή σε ηλεκτρική τάση. Έτσι, διακρίνεται το μανόμετρο, στο οποίο η διαφορά της πίεσης προκαλεί ανύψωση της στάθμης του υγρού, και το διάφραγμα ή τη μεμβράνη στην οποία η πίεση στην επιφάνειά της προκαλεί την κίνηση ενός άξονα.
- Τα όργανα ελέγχου της στάθμης λειτουργούν με πλωτήρα ή με υπερήχους ή με την αλλαγή της χωρητικότητας ενός πυκνωτή. Ο έλεγχος της στάθμης σε κλειστό δοχείο γίνεται με ειδικού τύπου ΘΕΒ, της οποίας ο βολβός θερμαίνεται με ηλεκτρική αντίσταση.
- Οι συσκευές ελέγχου ροής ενός υγρού ή αερίου περιέχουν διακόπτες ροής διαφόρων τύπων, όπως με πτερύγια ή υπερήχων, και ελέγχουν επιλεκτικά τη ροή ανάλογα με τις ανάγκες του συστήματος.
- Οι συσκευές ελέγχου της σχετικής υγρασίας έχουν αισθητήρια με υγρασκοπικές ίνες, με ηλεκτρική αντίσταση ή με κρύσταλλο.
- Οι συσκευές ελέγχου παροχής υγρού ή βαλβίδες διακρίνονται σε ηλεκτρομαγνητικές και με σερβοκινητήρα.
- Οι συσκευές ελέγχου κίνησης ανιχνεύουν την κίνηση αντικειμένων και μέσω των σερβοκινητήρων καθορίζουν τη θέση των αντικειμένων.

**ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ – ΑΣΚΗΣΕΙΣ – ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΕΣ**

1. Περιγράψτε τη λειτουργία του διμεταλλικού στοιχείου.
2. Τι είδους αισθητήρας θερμοκρασίας χρησιμοποιείται για τη μέτρηση θερμοκρασίας $+200^{\circ}\text{C}$;
3. Τι είναι ο θερμοστάτης και ποια είναι τα κύρια μέρη του;
4. Ποια είναι η σχέση μεταξύ των μονάδων πίεσης;
5. Περιγράψτε την αρχή λειτουργίας του πρεσοστάτη.
6. Πόσα είδη αισθητηρίων πίεσης γνωρίζετε;
7. Πού βασίζονται τα ηλεκτρονικά αισθητήρια πίεσης;
8. Σε τι χρησιμεύουν τα μανόμετρα;
9. Αναφέρετε μεθόδους ελέγχου στάθμης υγρού.
10. Πώς μπορούμε να μετρήσουμε τη ροή ενός υγρού;
11. Πώς μπορούμε να μετρήσουμε την υγρασία ενός θαλάμου;
12. Περιγράψτε το διακόπτη ροής (flow switch).
13. Τι γνωρίζετε για τα συστήματα ελέγχου κίνησης και τους σερβοκινητήρες;
14. Τι είναι οι ηλεκτρομαγνητικές βαλβίδες;
15. Πώς θα μετρήσετε τη στάθμη σε ένα κλειστό δοχείο που βρίσκεται υπό πίεση; Να επινοήσετε τουλάχιστον 2 τρόπους, βάσει της σχετικής θεωρίας που διδαχτήκατε.
16. Διατάξεις που μετατρέπουν τη μορφή ενέργειας σε άλλη ονομάζονται (επιλέξτε τη σωστή απάντηση):
 - A. αισθητήρια (sensors)
 - B. μετατροπείς (transducers)
17. Σε ένα αισθητήριο RTD μεταβάλλεται (επιλέξτε τη σωστή απάντηση):
 - A. η αντίσταση
 - B. η χωρητικότητα
 - Γ. η επαγωγή

18. Οι θερμοστάτες χρησιμοποιούνται (επιλέξτε τη σωστή απάντηση):
- A. για τον έλεγχο on/off θερμοκρασίας
 - B. για τη μέτρηση της θερμοκρασίας
 - Γ. για τη μετατροπή αναλογικού σήματος σε ψηφιακό
19. Δίνονται στους μαθητές από τον καθηγητή διάφοροι τύποι θερμοστατών. Κάθε μαθητής συντάσσει έκθεση με την οποία αναλύει τα επιμέρους στοιχεία που περιέχει ο κάθε θερμοστάτης. Κατόπιν γίνεται συζήτηση στην τάξη.
20. Ανάλογη εργασία γίνεται με πρεσοστάτες.

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 P, PI, PID
- 6.4 Η ΑΝΤΑΠΟΚΡΙΣΗ ΤΩΝ ΣΥΣΚΕΥΩΝ
ΠΟΥ ΕΝΕΡΓΟΠΟΙΟΥΝ ΤΑ ΣΗΜΑΤΑ ΤΩΝ ΕΛΕΓΚΤΩΝ
ΑΝΑΚΕΦΑΛΑΙΩΣΗ
ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ ΚΑΙ ΑΣΚΗΣΕΙΣ



ΕΠΙΔΙΩΚΟΜΕΝΟΙ ΣΤΟΧΟΙ

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.
- ✓ Τι 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

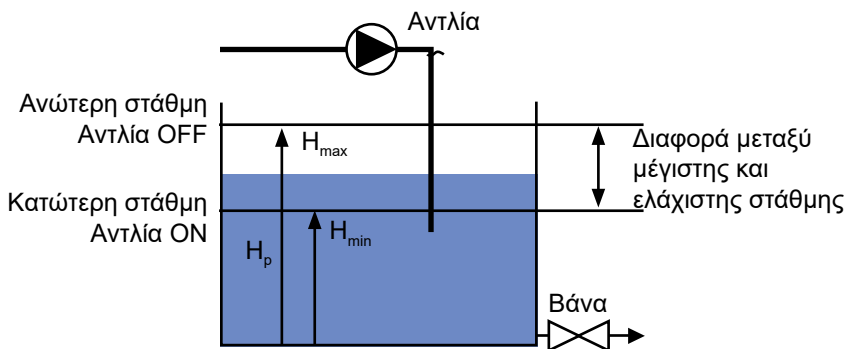
Οι παράμετροι λειτουργίας μιας ψυκτικής ή κλιματιστικής εγκατάστασης, τις οποίες καλείται να ελέγχει το σύστημα αυτοματισμού, είναι η θερμοκρασία, η πίεση, η παροχή κάποιου ρευστού (νερό, αέρας, ψυκτικό ρευστό), η υγρασία κ.λπ.

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 ανακαλυφθεί σύστημα που να λειτουργεί με αυτό 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 έναν κατάλληλο διακόπτη ο οποίος έχει σκοπό να κρατάει τη στάθμη σε μία δεξαμενή, σε ένα ελάχιστο ύψος H_{\min} .



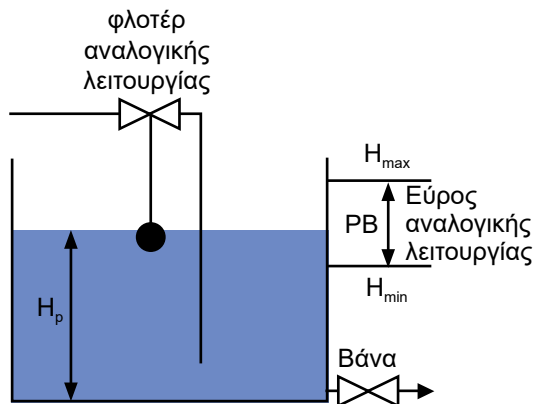
Σχήμα 6.1 Ο έλεγχος της στάθμης μίας δεξαμενής νερού με σύστημα ελέγχου δύο θέσεων

Όταν η στάθμη πέσει στο ύψος H_{min} , ο διακόπτης δίνει εντολή και τίθεται σε 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 συνεχίζεται με αυτό τον τρόπο. Στην περίπτωση αυτή έχουμε μία περιοχή διακύμανσης $H_{max} - H_{min}$.

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

(β) Το σύστημα αναλογικού ελέγχου

Για να έρθουμε σε πρώτη επαφή με τον τρόπο που λειτουργεί ένα σύστημα αναλογικού αυτοματισμού, θα πάρουμε ως παράδειγμα το φλοτέρ μίας 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 μιας 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 στο 0,5 cm 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 $\Delta l = 10 \text{ mm}$ το είναι $\Delta H = 10 \text{ cm} = 0,1 \text{ m}$, προκύπτει $K_p = 100 \text{ mm/m}$.

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 τελείως 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 την (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 πού ακριβώς θα σταθεροποιηθεί δεν το ξέρουμε και εξαρτάται από το ρυθμό με τον οποίο αδειάζει η δεξαμενή. Όταν αδειάζει γρήγορα, η τιμή

του ύψους 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, 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 κ.λπ.).
- Προστασίας (μέσω πρεσοστατών, ρελέ κ.λπ.).
- 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 • Ένταση ηλεκτρικού ρεύματος • Έλλειψη τάσης • Ροή του ρευστού • Έλεγχος στάθμης λαδιού | <ul style="list-style-type: none"> • Πρεσοστάτες • Θερμοστατικές βαλβίδες εκτονωτικές • 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 τη 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 το ίδιο το ρευστό • Πνευματικοί • Υδραυλικοί • Μεικτοί |

Βλέποντας τον Πίνακα 6.2, καταλαβαίνουμε ότι η ολοκληρωμένη και αναλυτική μελέτη όλων των συστημάτων αυτοματισμού είναι περίπλοκη και θα απαιτούνταν 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 στην 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 κ.λπ.).
- Ο **ελεγκτής** είναι η συσκευή που δέχεται από τους αισθητήρες τα σήματα και τα σχετικά μεγέθη των υπό έλεγχο παραμέτρων. Αυτός, ύστερα από τη σύγκρισή τους με τα επιθυμητά μεγέθη, δίνει την αντίστοιχη εντολή στους ενεργοποιητές για τη διόρθωσή 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 ενσωματωμένοι 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

δεχτεί 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 η 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 κατανόησή της από ό,τι είναι στα συστήματα κλειστού βρόχου. Χρησιμοποιούνται πολύ στην προστασία και στον έλεγχο της λειτουργίας των ψυκτικών συγκροτημάτων. Οι δια-

τάξεις 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).

Οι αρχές λειτουργίας αυτών των συστημάτων είναι κάπως περίπλοκες και θα απαιτηθεί μία κάποια προσπάθεια για την κατανόησή 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 ό,τι 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.

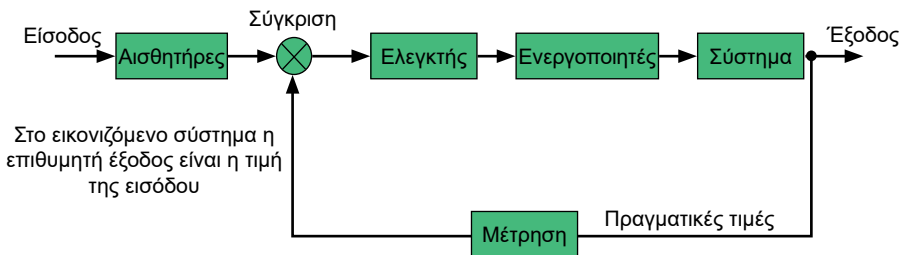
6.7 Ο τρόπος ελέγχου και ρύθμισης με ηλεκτρονικές διατάξεις στα συστήματα κλειστού βρόχου

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 ορισθεί για την καλή ψύξη ή την απαιτούμενη θερμοκρασία ή υγρασία κ.λπ. Είναι συνήθως ένα ηλεκτρονικό σύστημα το οποίο εκτελεί τα εξής:

- Δέχεται το ηλεκτρικό σήμα, προερχόμενο από το θερμοστάτη ή τον πρεσοστάτη ή τον υγροστάτη κ.λπ. Το ηλεκτρικό αυτό σήμα προέρχεται από τη 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 κ.λπ.).

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.

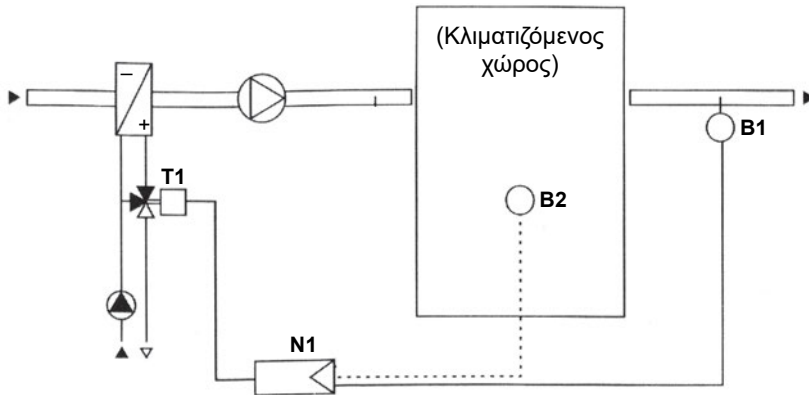


Σχήμα 6.3 Διάγραμμα βαθμίδων ελέγχου μίας διάταξης αυτοματισμού κλειστού βρόχου

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

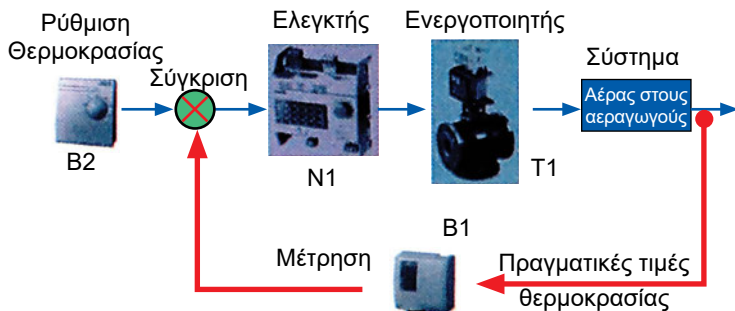
- Τμήμα σημάτων εισόδου (input interface)
- Τμήμα επεξεργασίας
- Τμήμα σημάτων εξόδου (output interface)

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 έναν 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 ορθογώνιων 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, πώς δηλαδή αντιλαμβάνονται οι ελεγκτές τα ερεθίσματα, πώς αντιδρούν οι ενεργοποιητές και τα προβλήματα που παρουσιάζονται.

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

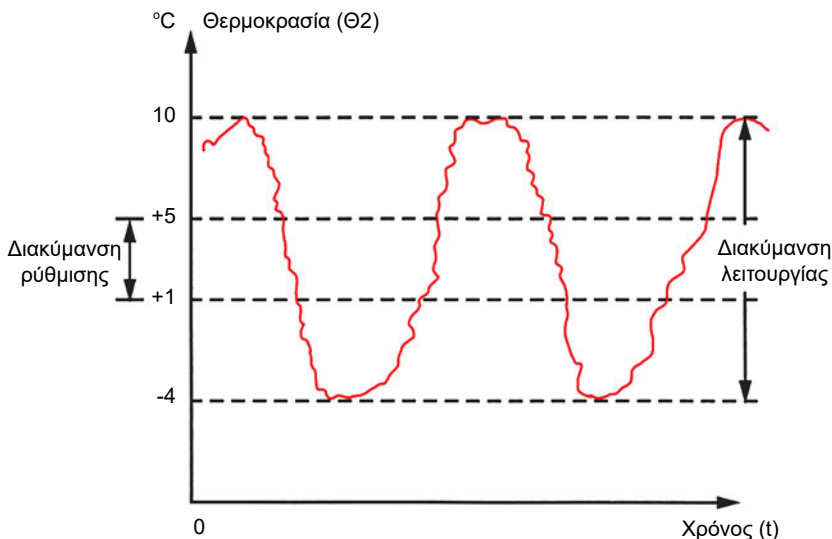
Τα συστήματα αυτοματισμού κλειστού βρόχου διακρίνονται στις εξής κύριες κατηγορίες:

- (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 επιμέρους 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 ό,τι 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 βάννα. 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 ηλεκτροβάννας 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 βάννα ON-OFF να κλείσει. Μετά από λίγη ώρα, αν ο αυτοματισμός αντιληφθεί ότι η θερμοκρασία έχει πέσει χαμηλά, δίνει εντολή στη βάννα 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, 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 αναπαύεται ταχύτατα, 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

Έστω ότι η επιθυμητή μέση θερμοκρασία ενός χώρου είναι 22°C και ο θερμοστάτης έχει έξοδο προοδευτικής λειτουργίας. Η βάνα που ανοίγει κλείνει την παροχή του νερού είναι επίσης εφοδιασμένη με έναν κινητήρα

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 $21\text{-}23^{\circ}\text{C}$ (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 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 τη μικρότερης διάρκειας κίνηση του ενεργοποιητή σε κάθε παλμό, δηλαδή την πιο αργή κίνηση.

6.11 Αυτοματισμοί διαμορφωτικού ελέγχου (modulating control)¹

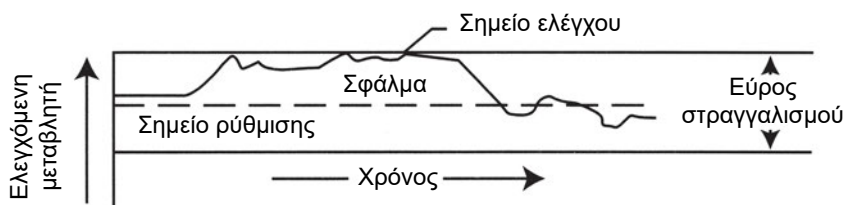
Οι αυτοματισμοί αυτοί είναι οι κυριότεροι από όλους και στο υπόλοιπο τμήμα του κεφαλαίου θα ασχοληθούμε σχεδόν αποκλειστικά με αυτούς. Επενεργούν δίνοντας μία έξοδο, συνήθως 2... 10 V ή 0... 10 V, το μέγεθος της οποίας εξαρτάται από τη διαφορά μεταξύ:

- 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 ό,τι καλύτερο μπορεί να προσφέρει σήμερα η τεχνολογία των αυτοματισμών. Γίνονται με ηλεκτρονικές συσκευές σύγχρονης τεχνολογίας. Το μειονέκτημά τους βρίσκεται στη μεγαλύτερη προσπάθεια που χρειάζεται για τον προγραμματισμό τους και στο ότι οι ρυθμίσεις τους μπορεί να ποικίλλουν 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 P.L.C. Στην πραγματικότητα όμως δεν έχουν **καμία απολύτως** σχέση με τα P.L.C.

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 τη 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 τη μετατρέπει σε τάση και τη στέλνει σ' αυτή τη μορφή στον ελεγκτή. Οι τάσεις που χρησιμοποιούνται στο 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:

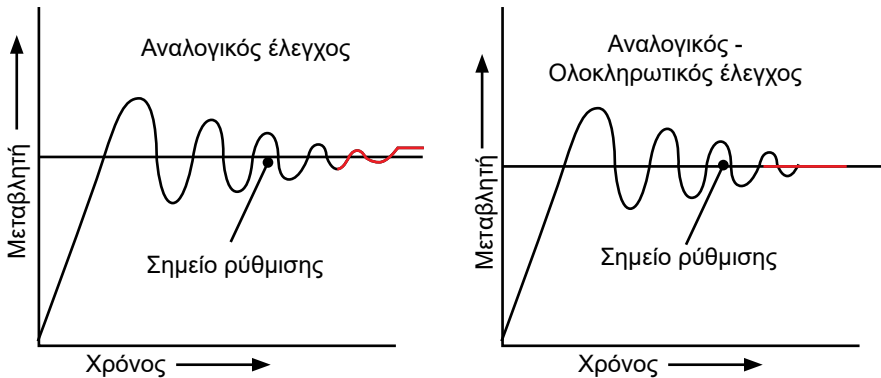
$$V_p = K_p e + V_0 \quad (6.4)$$

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 τη 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 να 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 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 ΡΒ.

(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 εντοπιστεί. 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 τύπου.³ Οπότε η διόρθωση βρίσκεται από τη σχέση:

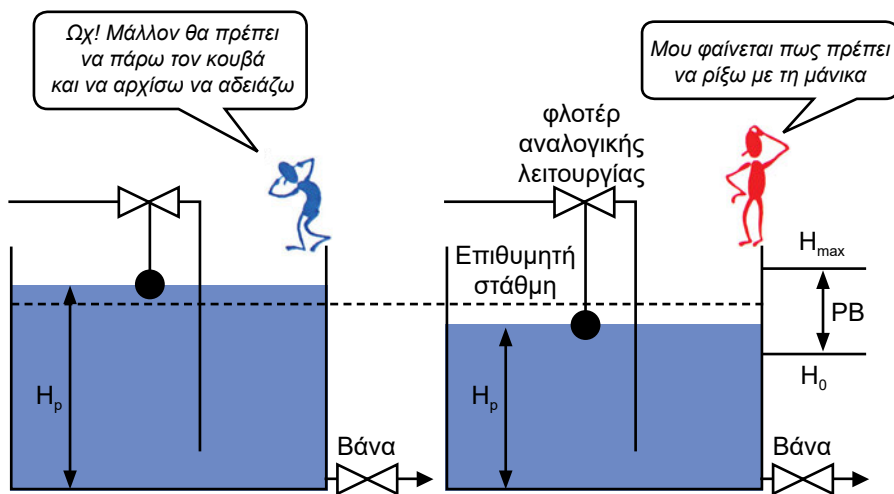
$$V = V_p + V_i \quad (6.5)$$

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

Για να αντιληφθούμε τι ακριβώς σημαίνουν στην πράξη 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.

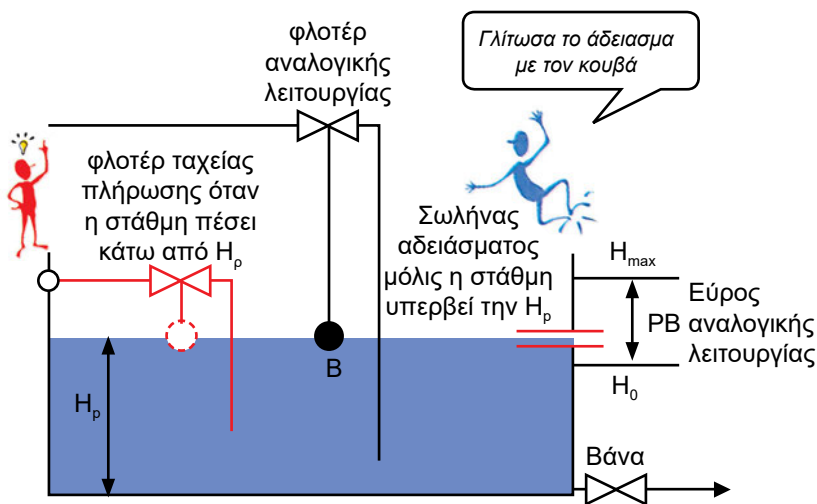


Σχήμα 6.9 H ... ολοκληρωτική ρύθμιση

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 το 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 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 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 αντεπεξέλθει. 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 μέγεθός 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:

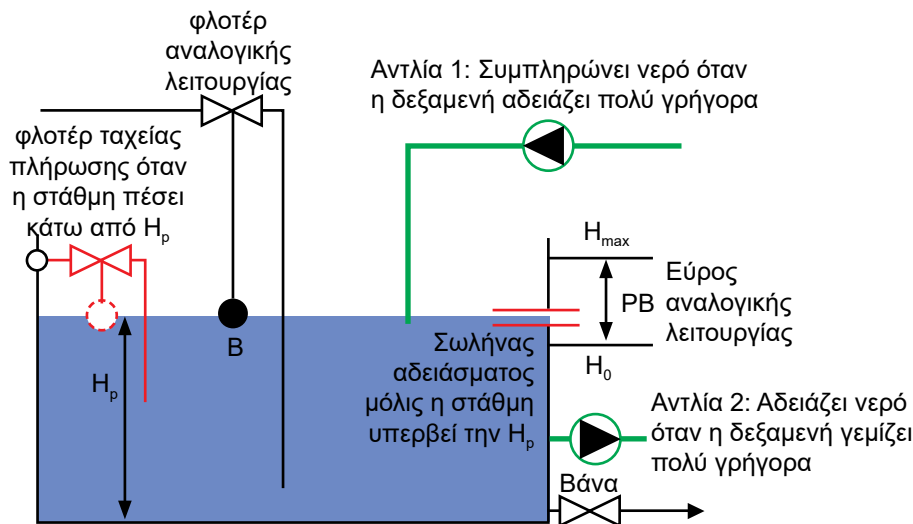
$$V = V_p + V_i + V_d \quad (6.6)$$

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 τι θα πρέπει να κάνει μετρώντας 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 τη 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 επανέλθει 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 ελεγκτή, θα αναφερθούμε αργότερα στο παρόν κεφάλαιο.

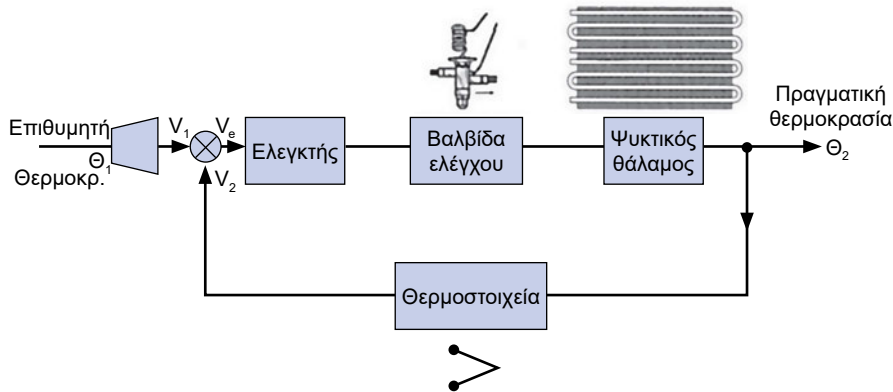
6.14 Παράδειγμα ελέγχου της θερμοκρασίας με αναλογική ρύθμιση

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 έξοδό του μια θερμοκρασία t_2 μεγαλύτερη ή μικρότερη από την επιθυμητή.

Τότε για να ελέγξουμε και να ρυθμίσουμε το κύκλωμα θερμοκρασίας, θα πρέπει να μετρήσουμε με ένα αισθητήριο θερμοκρασίας (π.χ. με ένα θερμοστοιχείο) τη θερμοκρασία t_2 , την οποία ο αισθητήρας θα 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:

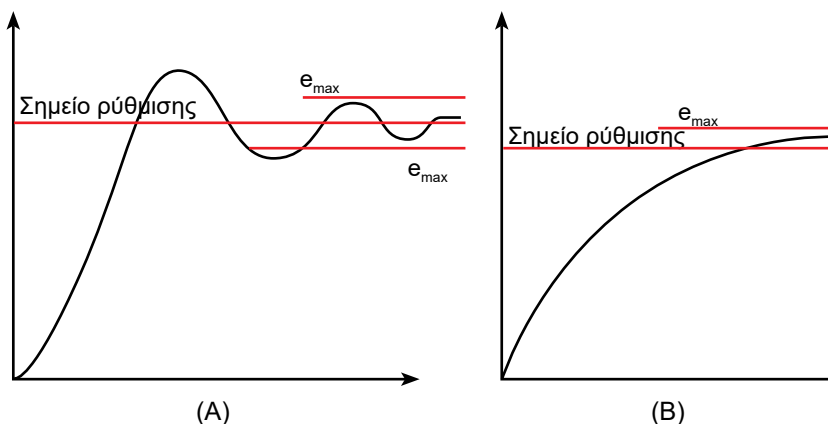
$$e_{\max} = 0,4^\circ\text{C} \quad \text{και} \quad t_2 = 4 \pm 0,4^\circ\text{C} = 3,6^\circ\text{C} - 4,4^\circ\text{C}$$

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 αποδειχθούν, μεταξύ 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

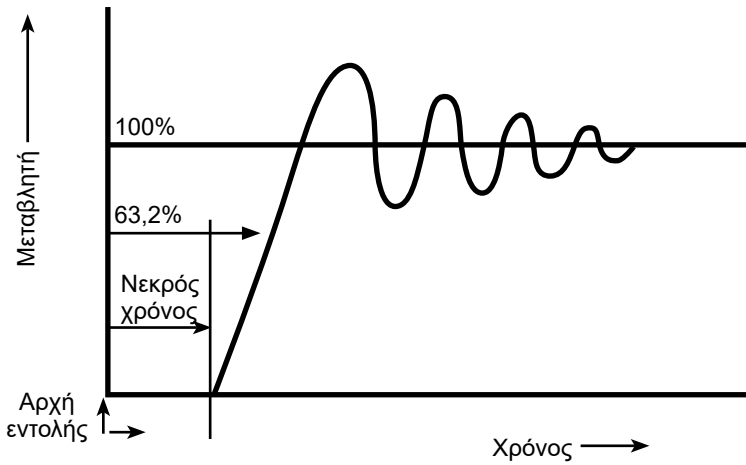
ελεγκτή. Όταν ένα σύστημα αποδεικνύεται ασταθές, μπορεί να μη φταίει το γεγονός ότι ο ελεγκτής είναι PI και όχι PID, αλλά ότι αυτός δεν έχει ρυθιστεί σωστά.

Στη δεύτερη περίπτωση του 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 συναρτήσεως της ελεγχόμενης μεταβλητής

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

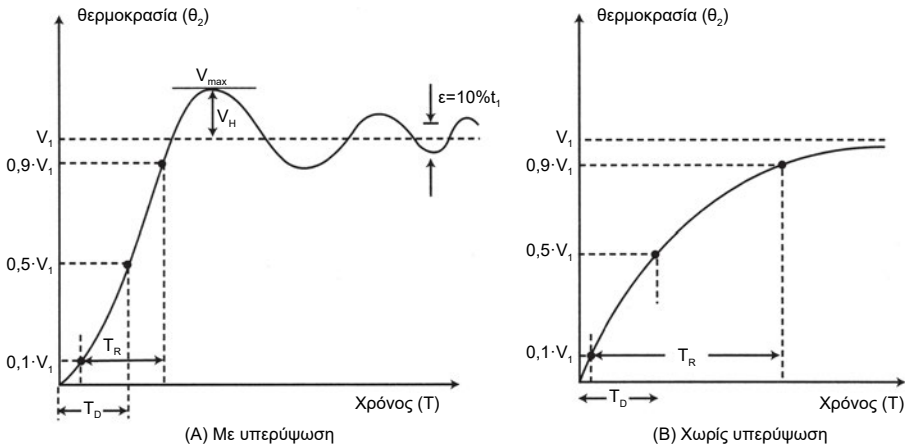
- **Σταθερά χρόνου:** Είναι ο χρόνος που χρειάζεται για να φθάσει η ελεγχόμενη μεταβλητή στο **63,2%** της τελικής τιμής της. Η σταθερά αυτή μας δείχνει πόσο γρήγορα μπορεί να μεταβάλλεται η ελεγχόμενη μεταβλητή συναρτήσεως του χρόνου. Σε άλλες περιπτώσεις μπορεί να έχει πολύ χαμηλές τιμές και σε άλλες 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, τα οποία 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 συναρτήσει του χρόνου, τότε, όπως βλέπουμε και στο Σχήμα 6.15, μπορούν να οριστούν και οι εξής παράμετροι πάνω στην καμπύλη της V συναρτήσει 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 τη 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 τη 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 εξαρτώνται από το 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 να εντοπίζει το βέλτιστο τρόπο με τον οποίο θα γίνεται η ρύθμιση των χαρακτηριστικών της ροής κάποιου ρευστού (παροχή, θερμοκρασία κ.λπ.). 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.

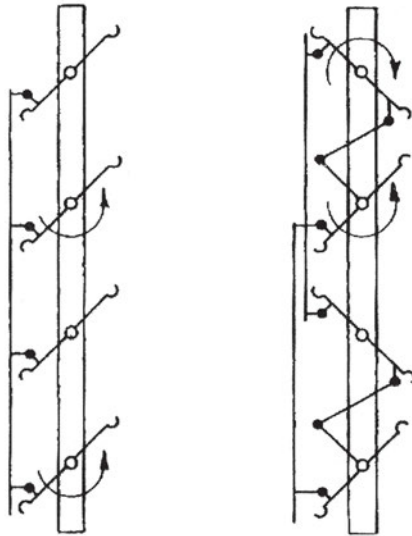
Οι ενεργοποιητές που υπάρχουν στα δίκτυα κινούν κάποιες διατάξεις οι οποίες ρυθμίζουν τη ροή. Αυτές βασικά είναι οι εξής δύο:

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

6.18 Τα είδη των τάμπερ

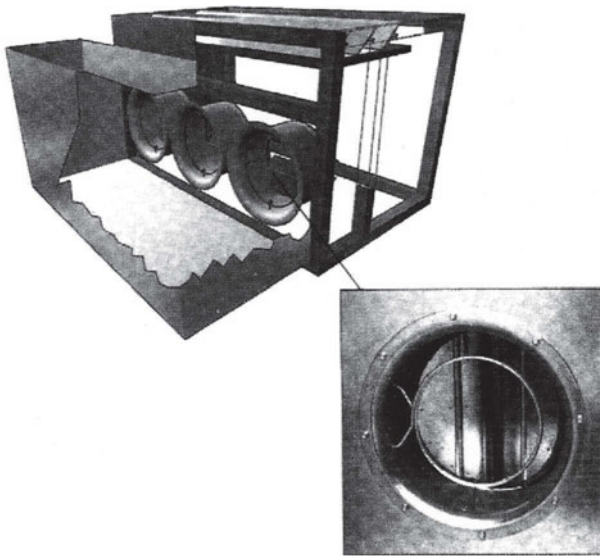
Η εργαζόμενη μάζα, τόσο στην ψύξη όσο και στον κλιματισμό, είναι ο αέρας. Είτε πρόκειται για κλιματισμό κτηρίου είτε για βιομηχανικό κλιματισμό είτε για ψυκτικό θάλαμο, η μάζα που τελικά θα κάνει τη δουλειά είναι ο αέρας. Ο αέρας κινείται είτε με τη φυσική κυκλοφορία είτε με τη βεβιασμένη, που είναι 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 6.16Α.
- Με πτερύγια που κινούνται αντίστροφα, όπως φαίνεται στο Σχήμα 6.16Β.



Σχήμα 6.16 Τα κυριότερα είδη των τάμπερ: (A) με πτερύγια που κινούνται παράλληλα μεταξύ τους, (B) 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 βανών

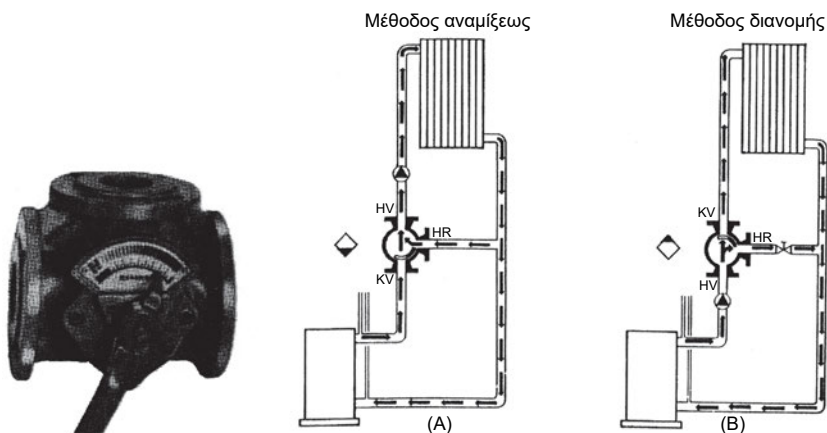
Οι βάνες ρυθμίζουν τη ροή του ρευστού, το οποίο, σε τελευταία ανάλυση, σκοπό έχει να μεταφέρει τη θέρμανση ή την ψύξη στον αέρα. Δεν θα πρέπει ποτέ να δημιουργηθεί η εντύπωση ότι αυτό το ρευστό είναι η εργαζόμενη μάζα, απλά είναι το ενδιάμεσο στάδιο στην παραγωγή της ψύξης ή της θέρμανσης.



Σχήμα 6.18 Δίοδος βάνα

Οι βάνες που χρησιμοποιούνται είναι κυρίως τριών ειδών:

(α) Οι δίοδες, που φαίνονται στο Σχήμα 6.18. Αυτές ρυθμίζουν την 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.

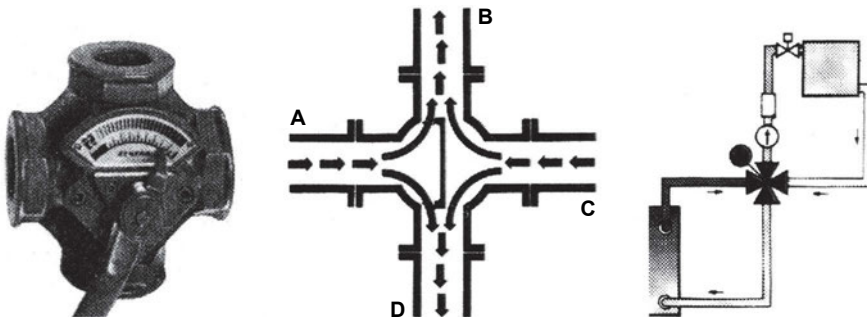


Σχήμα 6.19 Τρίοδες βάνες και η λειτουργία τους: (Α) μεταβολή θερμοκρασίας, (Β) μεταβολή παροχής

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

- Χωρίς να μεταβάλλουν ουσιαδώς την ποσότητα της ροής, αλλά ρυθμίζοντας τη θερμοκρασία του ρευστού, όπως στο Σχήμα 6.19Α, με ανάμειξη του ρεύματος προσαγωγής με το ρεύμα της επιστροφής.
- Μεταβάλλοντας την παροχή νερού, όπως φαίνεται στο Σχήμα 6.19Β, κάτι που 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.



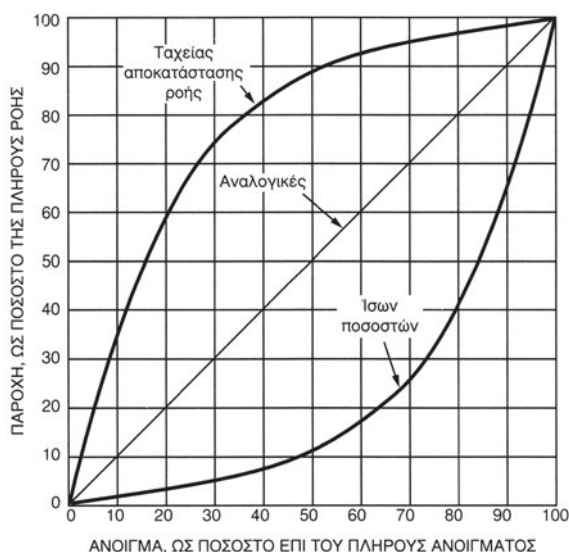
Σχήμα 6.20 Οι τετράοδες βάνες και η λειτουργία τους

(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 φανεροί οι λόγοι για τους οποίους είναι αναγκαίο αυτοί να ρυθμίζονται σωστά για να αποδώσουν. Η ανάγκη όμως ρύθμισης δεν περιορίζεται μόνο στους ελεγκτές. Υπάρχει μία ακόμη εξίσου 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 μετακίνησή 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 τη 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

φαίνεται 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

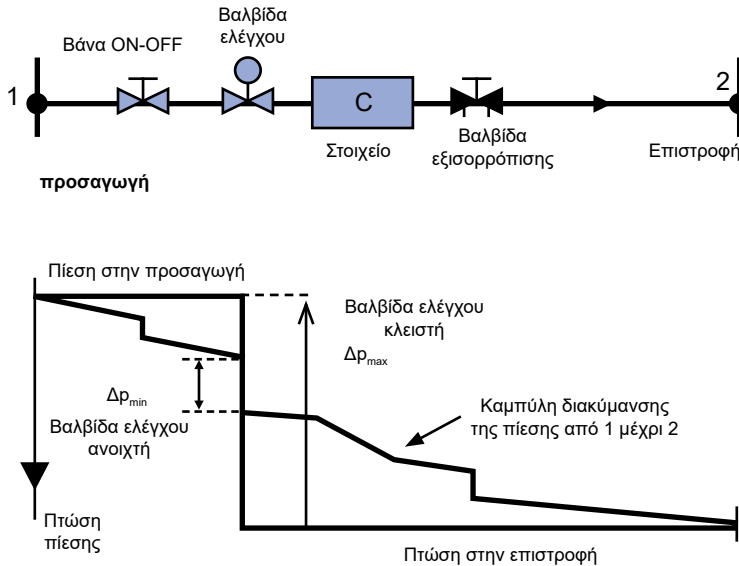
Αν αποπειραθείτε να κάνετε τον ίδιο υπολογισμό χρησιμοποιώντας τις καμπύλες κάποιου κατασκευαστή, θα βρείτε κάποιες αποκλίσεις (δεν θα ισχύουν τα παραπάνω με την ίδια μαθηματική ακρίβεια). Ο λόγος είναι ότι πολύ δύσκολα μία πραγματική βάνα μπορεί να ακολουθήσει επακριβώς την ιδανική μορφή της χαρακτηριστικής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

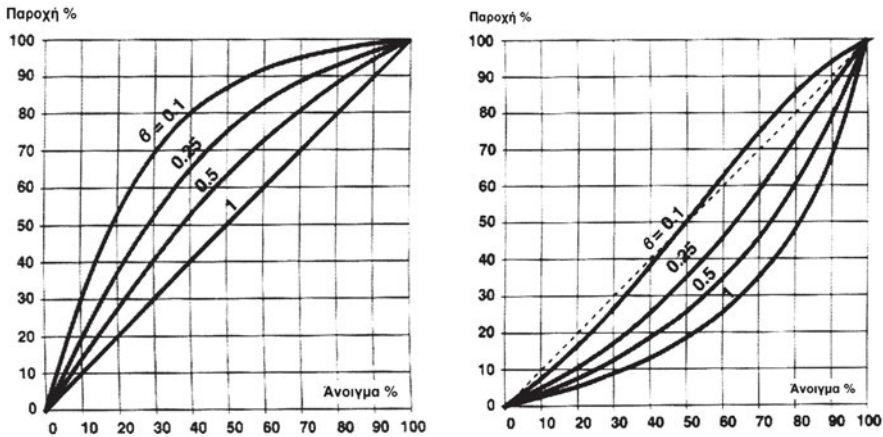
Δp_{\max} = Η πτώση πίεσης στα άκρα της βάνας όταν αυτή είναι τελείως κλειστή. Σε ένα δίκτυο με αρκετές βάνες (που είναι η συνήθης περίπτωση), η Δp_{\max} είναι σχεδόν ίση με τη Δp_{1-2} που παρουσιάζεται μεταξύ των σημείων 1 και 2.



Σχήμα 6.22 Ο καθορισμός του συντελεστή παραμόρφωσης ενός δικτύου

Η τιμή του συντελεστή β είναι αυτή που μας προσδιορίζει την 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 6.23⁵. 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.

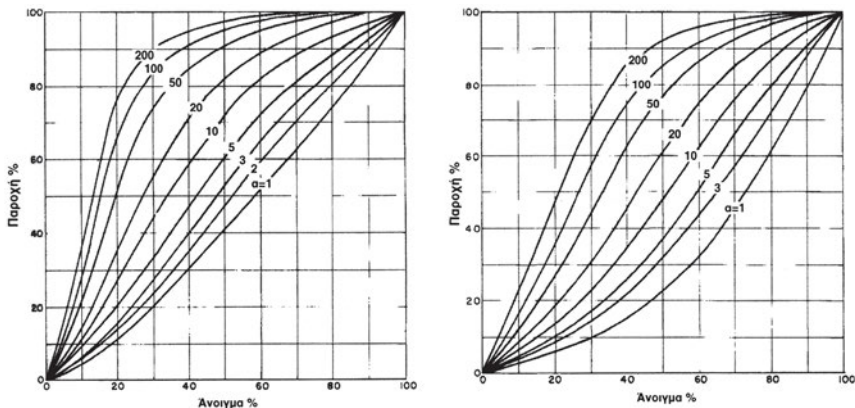


Σχήμα 6.23 Η παραμόρφωση των καμπυλών των βανών συναρτήσει του συντελεστή β : (A) με αναλογική λειτουργία, (B) με λειτουργία ίσων ποσοστών

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 ό,τι 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.



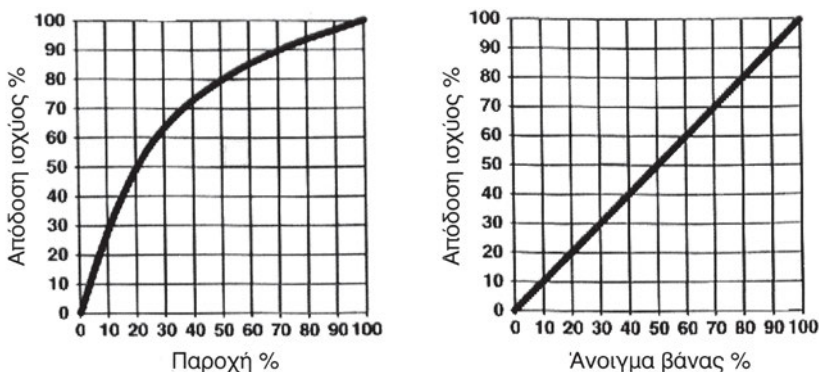
Σχήμα 6.24 Η παραμόρφωση των καμπυλών των τάμπερ συναρτήσει του συντελεστή β : (A) με πτερύγια παράλληλης λειτουργίας, (B) με αντίστροφης λειτουργίας

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 απόδοσής του, με το 50% της παροχής νερού έχει το 80% της ψυκτικής απόδοσής του κ.λπ. 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.

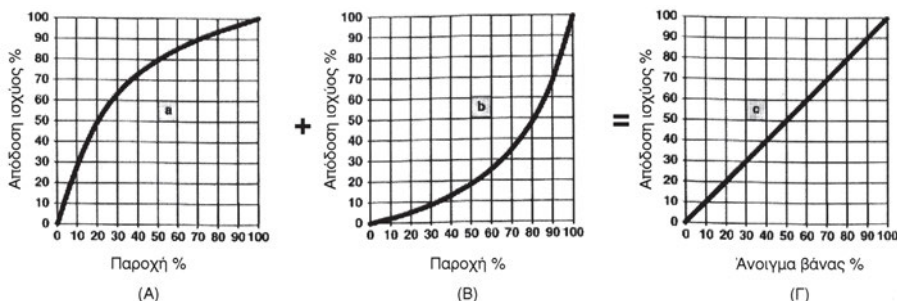
Οι ενεργοποιητές, όπως αναφέρθηκε, δέχονται ένα σήμα από τους ελεγκτές και βάσει αυτού κινούν τη βάνα. Και για να έχουμε ικανοποιητικό έλεγχο με έναν **αναλογικό ελεγκτή**, θα πρέπει η **απόδοση του στοιχείου να είναι ανάλογη με το σήμα του ελεγκτή**, δηλαδή να είναι κατά το δυνατόν γραμμική, όπως φαίνεται στο Σχήμα 6.25^B. Ας δούμε πώς μπορεί αυτό να πραγματοποιηθεί, δηλαδή με ποιον 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 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 την καμπύλη (6.26^Γ), που είναι μία ευθεία, όπως ακριβώς θέλαμε να την έχουμε στο Σχήμα 6.25^B.

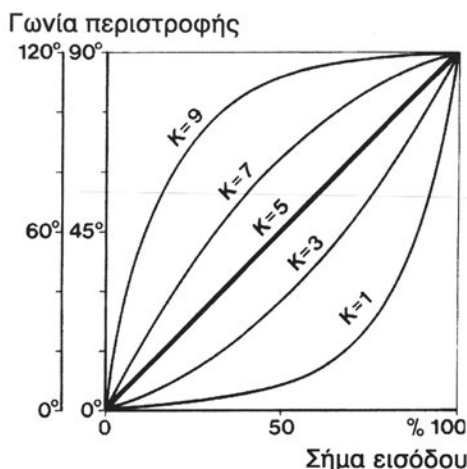
Κατά ανάλογο τρόπο επιλέγεται και ένα τάμπερ που θα συνεργαστεί με το σύστημα αυτοματισμού. Δηλαδή θα πρέπει ο συνδυασμός των χαρακτηριστικών καμπυλών του κινητήρα και του τάμπερ να μας δίνουν μία ευθεία.

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 πού θα μπορέσουμε 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 τι 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 κι-

νητήρα με τις χαρακτηριστικές καμπύλες λειτουργίας που φαίνονται στο Σχήμα 6.27⁶. 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 ό,τι αφορά τις γενικές αρχές λειτουργίας του και το τι περίπου θα περιλαμβάνει. Ενδεχομένως, αν η εταιρία που θα προμηθεύσει τους αυτοματισμούς έχει γνωστοποιηθεί στο μελετητή (πράγμα που συνήθως δεν συμβαίνει), μπορούν να γίνουν από το 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

⁶ Πρόκειται για χαρακτηριστικές καμπύλες πραγματικού κινητήρα του εμπορίου.

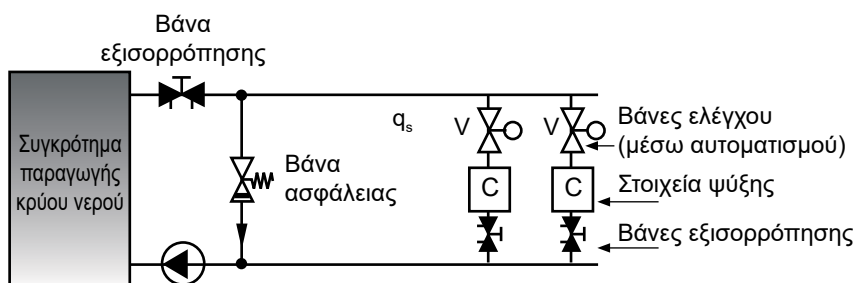
⁷ Η εξισορρόπηση είναι δυνατή και με άλλη τεχνική, η ανάπτυξη της οποίας δεν έχει νόημα για το σκοπό του παρόντος βιβλίου.

αλλαγή της θέσης 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 τι 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 βάνη ασφαλείας η οποία ανοίγει όταν συμβεί να κλείσουν όλες οι βάνες ελέγχου (για να μην αναπτύσσονται μεγάλες πιέσεις). Η βάνη 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 την 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 τις οποίες 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.

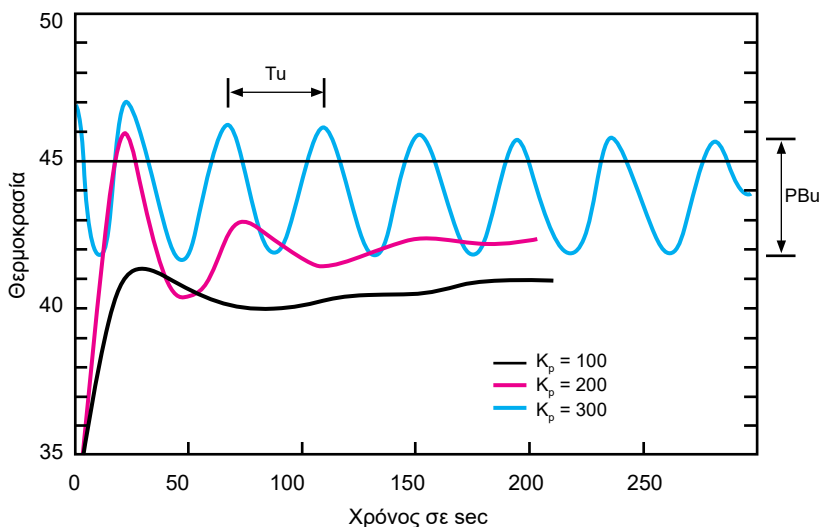
Ένα από τα κριτήρια για να καταλάβουμε αν έγινε η σωστή ρύθμιση του ελεγκτή είναι οι ενεργοποιητές **να μη μεταβαίνουν από τη μία ακραία θέση στην άλλη**, σε κάθε αλλαγή της εντολής. Αν συμβεί αυτό, λειτουργούν πλέον σαν να ήταν βαλβίδες ON-OFF. Πρέπει σε ένα σωστά ρυθμισμένο σύστημα, οι ενεργοποιητές 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 κάποιον 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, τη 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 παραλειφθεί. 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 με τις μεθόδους οι οποίες χρησιμοποιούνται για να γίνουν οι ρυθμίσεις των ελεγκτών.

Έστω 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 το 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 κάποιον τρόπο, να ονομαστεί **λογικός έλεγχος** (ο αγγλικός όρος είναι fuzzy logic). Αντίστοιχα, οι ελεγκτές ονομάζονται **λογικοί ελεγκτές** (fuzzy logic controllers).

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

μάζουμε 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 σκέψεών 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 πράξεών 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 τι σημαίνει ΑΥΞΑΝΩ, ΜΕΙΩΝΩ, ΑΥΞΑΝΩ ΛΙΓΟ, ΜΕΙΩΝΩ ΛΙΓΟ, ΥΨΗΛΑ, ΧΑΜΗΛΑ, ΕΧΕΙ ΚΑΛΩΣ κ.λπ. 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 την 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 πού φθάνουν τα όριά τους πάνω σε τέτοια συστήματα, τι θα πρέπει να προσέχουν, πού μπορούν να επεμβαίνουν κ.λπ. Επιπλέον αυ-

τών, 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 εγκατάστασής 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 αντίστοιχό του. Σε μία τέτοια περίπτωση θα πρέπει ο υπεύθυνος της εγκατάστασης να συμβουλευτεί και κάποιον ειδικό στους αυτοματισμούς ή την εταιρία 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 απορρύθμιση ενός συστήματος είναι πολύ εύκολη, αλλά η εκ νέου ρύθμισή 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, μεικτοί).
- Τα συστήματα αυτοματισμού ανοικτού βρόχου είναι αυτά που παίρνουν συνεχώς πληροφορίες για την κατάσταση που 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 δίοδες, τρίοδες και τετράοδες. Περισσότερο χρησιμοποιούνται οι δίοδες, μετά οι τρίοδες, 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 συναρτήσεως της ποσοστιαίας κίνησής 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 το 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 ενεργοποιητή-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 επιτόπου, 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 πολυτελών 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 οι 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. Τι είναι ο αυτοματισμός **κλειστού** βρόχου και τι ο **ανοικτού** βρόχου; Σε ποιες περιπτώσεις εφαρμόζονται; Δώστε παραδείγματα.

7. Φτιάξτε ένα διάγραμμα που να δείχνει τη λειτουργία ενός συστήματος αυτοματισμού κλειστού βρόχου.
8. Από ποια 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. Ποια είναι η σχέση μεταξύ των όρων **ενεργοποιητής** και **σερβοκινητήρας**;
10. Ποιες είναι οι κατηγορίες στις οποίες διακρίνονται οι αυτοματισμοί, ανάλογα με τον τρόπο που επενεργούν;
11. Ποιες είναι οι κατηγορίες των αυτοματισμών διαμορφωτικού ελέγχου;
12. Ποια είναι τα χαρακτηριστικά μεγέθη ενός συστήματος αυτοματισμού διαμορφωτικού ελέγχου;
13. Τι σχέση έχει το εύρος στραγγαλισμού με το συντελεστή PB;
14. Σε ποια περιοχή τιμών μπορεί να βρίσκεται το σφάλμα σε ένα διαμορφωτικό αυτοματισμό;
15. Τι 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. Ποιες 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. Τι σημαίνουν οι όροι: αναλογική ρύθμιση, ολοκληρωτική ρύθμιση και διαφορική ρύθμιση;
19. Ποια 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. Τι θα πρέπει να υποθέσετε; Σε ποιες ενέργειες θα πείτε στον εργοδότη σας ότι θα πρέπει να προβεί;
24. Τι ονομάζουμε σταθερά χρόνου και τι νεκρό χρόνο;
25. Πώς θα αντιληφθείτε αν το σύστημα μπορεί να εξυπηρετηθεί με έναν ελεγκτή τύπου P ή PI ή PID; Υπάρχει περίπτωση να μην είναι ούτε ο ελεγκτής PID κατάλληλος;
26. Τι ονομάζουμε υπερύψωση; Παρουσιάζουν όλα τα συστήματα αυτοματισμού υπερύψωση;
27. Ποια είναι τα είδη των τάμπερ και ποια των βαλβίδων (ή των βανών);
28. Ποια είναι η διαφορά και ποια η ομοιότητα στη λειτουργία μεταξύ τρίοδης και τετράοδης βάνας; Πού πλεονεκτεί η τετράοδη βάνα; Ποια χρησιμοποιείται περισσότερο και γιατί;
29. Τι 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 ποιον τρόπο γίνεται αυτή η μεταβολή;
32. Ποιο 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, τι μπορείτε να κάνετε;
34. Η χαρακτηριστική λειτουργίας ενός ενεργοποιητή μπορεί να είναι μία συγκεκριμένη και σταθερή καμπύλη; Τι πρόβλημα μπορεί ενδεχομένως να υπάρξει;
35. Τι 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, τι θα πρέπει να σκεφτείτε ότι είναι πιθανόν να μην έχει γίνει στην εγκατάσταση ή τουλάχιστον να μην έχει γίνει σωστά;
38. Με ποιον τρόπο γίνεται η ρύθμιση των ελεγκτών; Είναι ιδιαίτερα δύσκολη ως διαδικασία; Τι 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. Τι θα πρέπει κατά τη γνώμη σας να κάνετε;
41. Έστω ότι είσαστε ο υπεύθυνος συντηρητής σε μία κεντρική εγκατάσταση κλιματισμού ενός πολύ μεγάλου κτηρίου, με περίπλοκα συστήματα αυτοματισμού. Σας φέρνουν έναν καινούριο βοηθό, ο οποίος για να μάθει πώς λειτουργούν τα συστήματα αυτοματισμού, σας ζητάει να τον αφήσετε να πειραματιστεί μαζί τους. Θα του το επιτρέψετε; Αν ναι, θα τον αφήσετε να κάνει ό,τι θέλει ή θα του βάλετε περιορισμούς και στην περίπτωση αυτή σε ποια σημεία θα τον αφήνατε να επέμβει; Τι θα του συνιστούσατε να προσέξει για να μάθει καλύτερα πώς 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 συναρτήσε του χρόνου η πίεση αυξάνεται σύμφωνα με τον παρακάτω πίνακα:

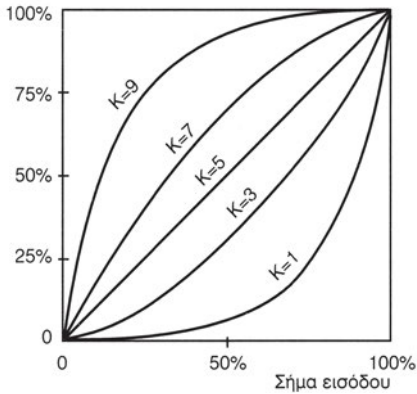
| | | | | | | | | | | | | |
|-------------------|---|----|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Χρόνος, s | 5 | 10 | 12 | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 | 65 | 70 | 80 | 90 |
| Πίεση, kPa | 0 | 5 | 45 | 105 | 175 | 280 | 400 | 455 | 475 | 440 | 400 | 435 |

- Να σχεδιαστεί η μεταβολή της πίεσης συναρτήσε 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.

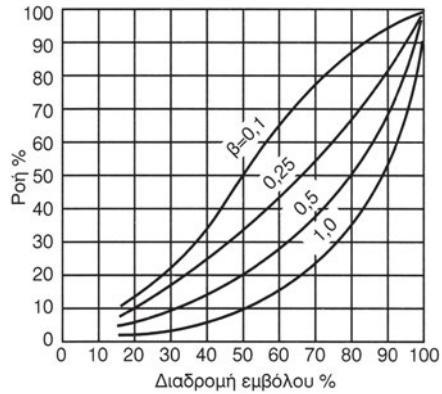
| | | | | | | | | | | | |
|--------------------|---|------|------|------|------|----|----|----|------|----|------|
| Χρόνος, min | 5 | 0,2 | 0,3 | 0,5 | 1 | 2 | 4 | 6 | 9 | 12 | 15 |
| Θερμοκρασία | 0 | 20,1 | 27,5 | 34,5 | 36,5 | 38 | 40 | 41 | 41,5 | 42 | 42,5 |

- Να σχεδιαστεί η μεταβολή της θερμοκρασίας συναρτήσε 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 ποιο 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 ποια θέση θα ρυθμίσετε το ποτενσιόμετρο του σερβοκινητήρα;



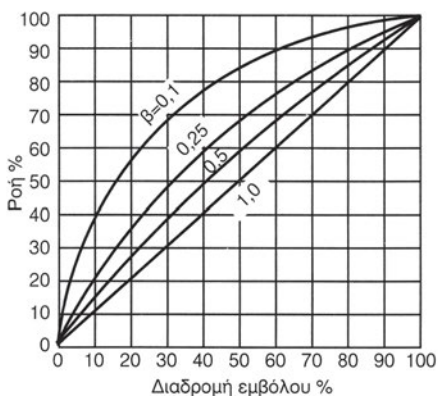
(A)



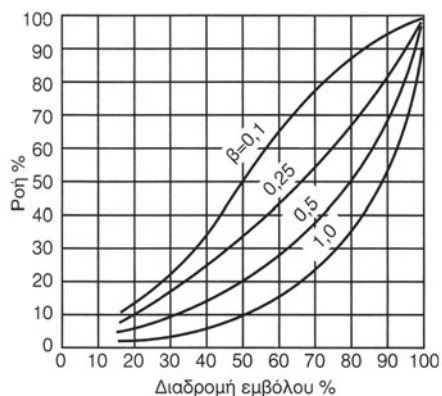
(B)

Σχήμα 6.30 Άσκηση 3

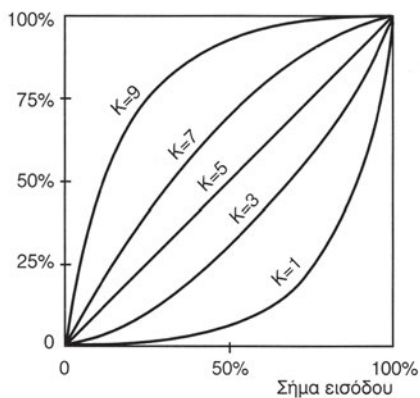
4. Σας δίνονται δύο βάνες, με τις καμπύλες αντίστοιχα των Σχημάτων 6.31^A και 6.31^B. Ο κινητήρας έχει τις καμπύλες του Σχήματος 6.31^Γ. Το β είναι 0,25. Ζητάτε το σύστημα κινητήρα-βάνας να έχει καθαρά αναλογική συμπεριφορά. Με ποιους δυνατούς συνδυασμούς θα μπορούσατε να δουλέψετε;



(A)



(B)

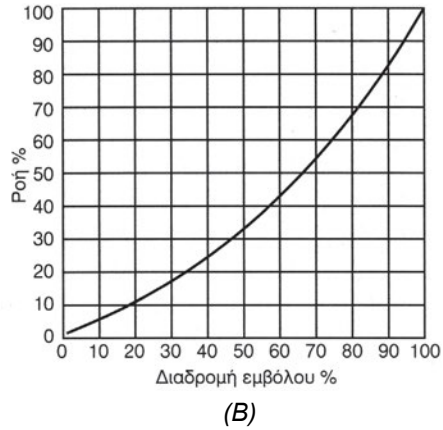
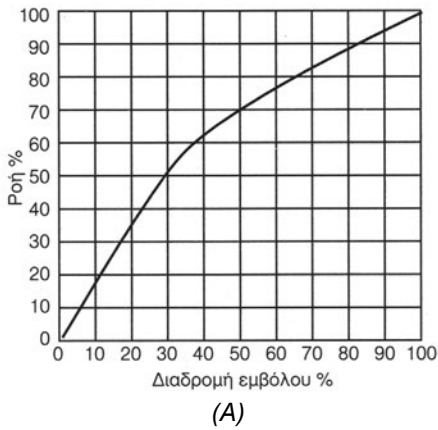


(Γ)

Σχήμα 6.31 Άσκηση 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.



Σχήμα 6.32 Άσκηση 5

ΔΙΑΤΑΞΕΙΣ ΑΥΤΟΜΑΤΙΣΜΟΥ ΚΛΙΜΑΤΙΣΤΙΚΩΝ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΩΝ

- 7.1 Ο ΑΥΤΟΜΑΤΙΣΜΟΣ ΤΩΝ FCU
- 7.2 Ο ΑΥΤΟΜΑΤΙΣΜΟΣ ΤΩΝ ΚΚΜ
- 7.3 Ο ΕΛΕΓΧΟΣ ΤΩΝ ΑΕΡΑΓΩΓΩΝ
- 7.4 ΤΟ ΣΥΣΤΗΜΑ VAN
- 7.5 Ο ΚΕΝΤΡΙΚΟΣ ΕΛΕΓΧΟΣ
ΑΝΑΚΕΦΑΛΑΙΩΣΗ
ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ ΚΑΙ ΑΣΚΗΣΕΙΣ



ΕΠΙΔΙΩΚΟΜΕΝΟΙ ΣΤΟΧΟΙ

Στο τέλος του κεφαλαίου, οι μαθητές θα πρέπει να γνωρίζουν:

- ✓ Τις διατάξεις αυτοματισμού που εξασφαλίζουν τις επιθυμητές συνθήκες στους κλιματιζόμενους χώρους.
- ✓ Τις παραμέτρους που θα πρέπει να ελέγχει ένα σύστημα αυτομάτου ελέγχου μίας σύγχρονης κλιματιστικής εγκατάστασης.
- ✓ Τον τρόπο που γίνεται η ρύθμιση και ο έλεγχος των συνθηκών των χώρων.
- ✓ Τι είναι τα συστήματα VAV, γιατί τα χρησιμοποιούμε και τις αρχές πάνω στις οποίες βασίζεται ο αυτοματισμός τους.
- ✓ Πώς γίνεται ο κεντρικός έλεγχος μίας σύγχρονης κλιματιστικής εγκατάστασης.

7.1 Οι κλιματιστικές μονάδες

Οι κλιματιστικές μονάδες είναι τα μηχανήματα στα οποία ο αέρας του χώρου εναλλάσσει τη θερμότητά του με ένα ρεύμα νερού. Πρόκειται δηλαδή για ένα συγκρότημα που περιλαμβάνει τουλάχιστον έναν ανεμιστήρα και έναν ή περισσότερους εναλλάκτες θερμότητας που ονομάζονται **στοιχεία** (ο αντίστοιχος αγγλικός όρος είναι coil).

Τα στοιχεία μπορεί να λειτουργούν με το νερό, οπότε ονομάζονται **στοιχεία νερού**, ή με το ψυκτικό υγρό που εκτονώνεται μέσα σ' αυτά, οπότε ονομάζονται **στοιχεία άμεσης εκτόνωσης** ή **στοιχεία DX** (Direct Expansion). Επίσης, κατά κανόνα, οι κλιματιστικές μονάδες περιλαμβάνουν και φίλτρα αέρα. Ανάλογα με το σκοπό που επιτελούν, μπορεί να συμπεριλαμβάνουν και άλλο εξοπλισμό, ιδίως οι μεγάλες κλιματιστικές μονάδες (υγραντήρα, εξοικονομητή ενέργειας, ηλεκτρικές αντιστάσεις κ.λπ.).

Οι κλιματιστικές μονάδες (ΚΜ) διακρίνονται κυρίως σε:

- Τοπικές κλιματιστικές μονάδες (ΤΚΜ), που τοποθετούνται μέσα στον κλιματιζόμενο χώρο και τροφοδοτούνται με το ψυκτικό μέσο μέσω σωληνώσεων (νερό ή ψυκτικό υγρό). Ο αυτοματισμός αυτών των συστημάτων είναι σχετικά απλός.
- Κεντρικές κλιματιστικές μονάδες (ΚΚΜ), που τοποθετούνται εκτός των κλιματιζόμενων χώρων και οι οποίες αποστέλλουν τον αέρα στους χώρους μέσω αεραγωγών. Οι αεραγωγοί καταλήγουν στα στόμια, μέσω των οποίων κλιματίζονται οι χώροι. Ο αυτοματισμός μέσω τέτοιων συστημάτων είναι ιδιαίτερα περίπλοκος και είναι αυτός που κυρίως θα μας απασχολήσει στο παρόν κεφάλαιο.

7.2 Ο αυτοματισμός των κλιματιστικών εγκαταστάσεων

Οι κλιματιστικές εγκαταστάσεις διακρίνονται για τη μεγάλη ποικιλία τους και το πλήθος των διαφορετικών εφαρμογών τους. Κατά συνέπεια, και οι διατάξεις αυτοματισμού έχουν ανάλογα μεγάλη ποικιλία. Στο κεφάλαιο αυτό θα ασχοληθούμε με τις πλέον διαδεδομένες στην πράξη διατάξεις αυτοματισμού και συγκεκριμένα με:

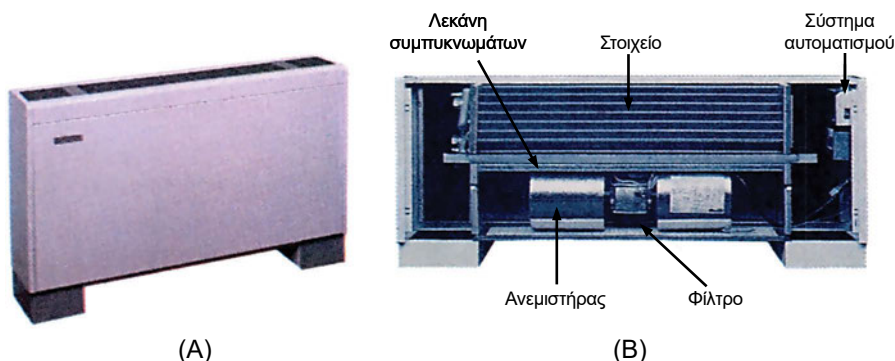
- Τον αυτοματισμό των τοπικών κλιματιστικών μονάδων (ΤΚΜ).

- Τον αυτοματισμό Κεντρικών Κλιματιστικών Μονάδων (ΚΚΜ).
- Τον τρόπο ρύθμισης κατανομής του αέρα μέσω των αεραγωγών.
- Τα κεντρικά συστήματα ελέγχου εγκαταστάσεων κλιματισμού.

Τα συστήματα αυτοματισμού που χρησιμοποιούνται στις σοβαρές εγκαταστάσεις κλιματισμού συνήθως βασίζονται σε ελεγκτές διαμορφωτικού ελέγχου (τύπου P, PI, PID). Μπορεί να είναι από απλοί θερμοστάτες αναλογικής λειτουργίας (τύπου P), μέχρι περίπλοκα προγραμματιζόμενα συστήματα, με πολλούς ελεγκτές των οποίων η λειτουργία να ελέγχεται και να συντονίζεται από ένα σύστημα κεντρικού ελέγχου μέσω ηλεκτρονικών υπολογιστών. Οι πιο απλές διατάξεις ελέγχου και ρύθμισης, όπως τα συστήματα δύο θέσεων (ON-OFF) ή τα συστήματα προοδευτικής λειτουργίας, χρησιμοποιούνται κυρίως στις μικρές κλιματιστικές εγκαταστάσεις και σε εγκαταστάσεις χωρίς ιδιαίτερες απαιτήσεις.

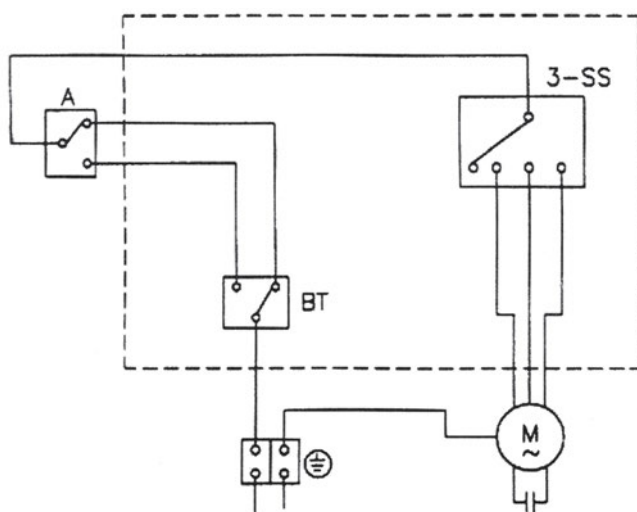
7.3 Η τοπική κλιματιστική μονάδα νερού (FCU)

Ο πλέον απλός αυτοματισμός είναι των τοπικών κλιματιστικών μονάδων νερού που είναι γνωστές με την ονομασία Fan Coil Units. Για συντομία συμβολίζονται ως **FCU**. Μία τέτοια κλιματιστική μονάδα (ΚΜ) βλέπουμε στο Σχήμα 7.1Α. Η επεξήγηση της κατασκευής και της υδραυλικής λειτουργίας ενός FCU δεν είναι αντικείμενο της τεχνολογίας των αυτοματισμών. Συνοπτικά μόνο αναφέρουμε ότι, όπως φαίνεται και στο Σχήμα 7.1Β, εσωτερικά το FCU είναι μία σχετικά απλή κατασκευή που αποτελείται από το στοιχείο, τον ανεμιστήρα και ένα φίλτρο αέρα.



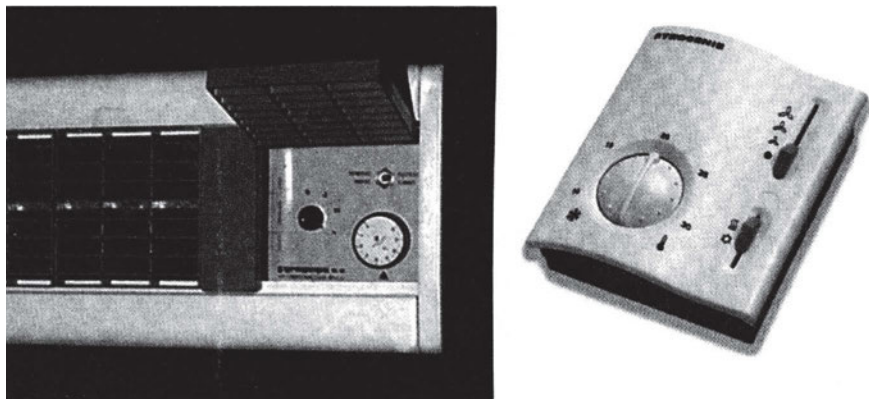
Σχήμα 7.1 FCU: (Α) τυπική εξωτερική εμφάνιση, (Β) τυπική εσωτερική διαμόρφωση

Ο αυτοματισμός ενός κλασικού FCU είναι απλός και αποτελείται από ένα θερμοστάτη και από ένα διακόπτη θέρους-χειμώνα. Ο θερμοστάτης γεφυρώνει τη μία ή την άλλη επαφή, ανάλογα με το αν η θερμοκρασία είναι πάνω από το σημείο ελέγχου της θερμοκρασίας ή κάτω από αυτό. Ο διακόπτης θέρους-χειμώνα χρειάζεται προκειμένου να αντιλαμβάνεται το σύστημα αυτοματισμού αν πόσο θα πρέπει να εκκινήσει ο ανεμιστήρας όταν η θερμοκρασία πέσει κάτω από τη ρύθμιση (λειτουργία καλοκαιριού) ή όταν ανέβει πάνω από αυτή (λειτουργία χειμώνα). Το σύστημα λειτουργεί όπως φαίνεται στο Σχήμα 7.2.



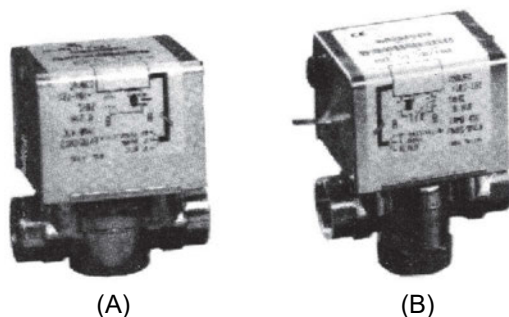
Σχήμα 7.2 Ο απλούστερος δυνατός αυτοματισμός ενός FCU. BT: Επαφή θερμοστάτη, S-W: Διακόπτης θέρους-χειμώνα, 3-SS: Διακόπτης τριών ταχυτήτων

Στο Σχήμα 7.3 βλέπουμε τα βασικά εξαρτήματα αυτοματισμού της λειτουργίας ενός τυπικού FCU. Η επιθυμητή ταχύτητα λειτουργίας του ηλεκτροκινητήρα του ανεμιστήρα ρυθμίζεται χειροκίνητα. Όταν η θερμοκρασία του χώρου φθάσει στα επιθυμητά επίπεδα, η λειτουργία του ανεμιστήρα διακόπτεται. Αυτός δεν είναι όμως ο μόνος τρόπος ελέγχου της θερμοκρασίας που μπορούμε να εφαρμόσουμε, όπως θα δούμε στη συνέχεια.



Σχήμα 7.3 Τα όργανα αυτοματισμού ενός τυπικού FCU: (Α) ενσωματωμένα πάνω στο FCU, (Β) μέσω εξωτερικού συστήματος ελέγχου

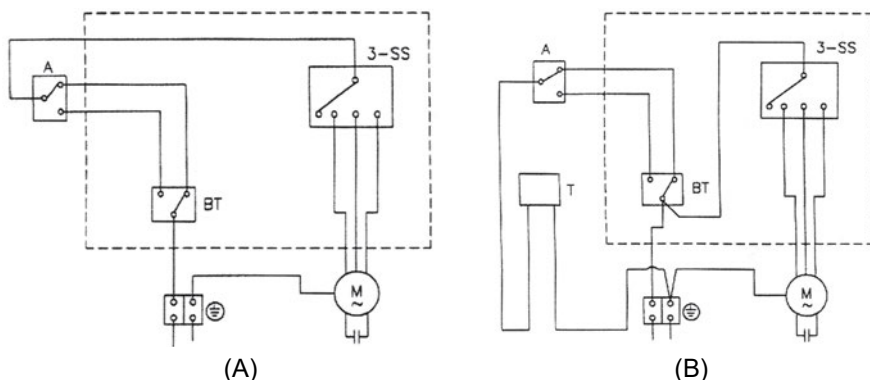
Εκτός από τα παραπάνω βασικά όργανα αυτοματισμού, μπορούμε να συναντήσουμε και άλλα όργανα μέσα σε ένα FCU, όπως π.χ. τη δίοδη ή την τρίοδη βάνα που βλέπουμε στο Σχήμα 7.4. Αυτές ανοίγουν ή κλείνουν ανάλογα με το κατά πόσο υπάρχει ανάγκη παροχής νερού (για ψύξη ή θέρμανση). Μπορεί να είναι απλές ON-OFF ή προοδευτικής ή αναλογικής λειτουργίας και συνήθως παίρνουν την εντολή από το θερμοστάτη του FCU ή από έναν ανεξάρτητο θερμοστάτη χώρου. Όταν είναι αναλογικής λειτουργίας, προφανώς θα πρέπει να είναι και ο θερμοστάτης αναλογικής λειτουργίας (τύπου P) και το πιθανότερο είναι ο θερμοστάτης να μη βρίσκεται ενσωματωμένος στο FCU.



Σχήμα 7.4 Ηλεκτροβάνες: (Α) δίοδες, (Β) τρίοδες

Ακόμη είναι δυνατόν να έχουμε διακόπτη αυτόματης εναλλαγής χειμώνα-καλοκαιριού μέσω ενός θερμοστάτη επαφής ο οποίος να αντιλαμβάνεται αν το νερό στους σωλήνες είναι ζεστό (άρα είναι χειμώνας) ή κρύο

(άρα είναι καλοκαίρι). Η ηλεκτρική συνδεσμολογία του συστήματος αυτοματισμού φαίνεται στο Σχήμα 7.5.



Σχήμα 7.5 Αυτόματο σύστημα διαπίστωσης της εποχής του έτους μέσω θερμοστάτη επαφής:

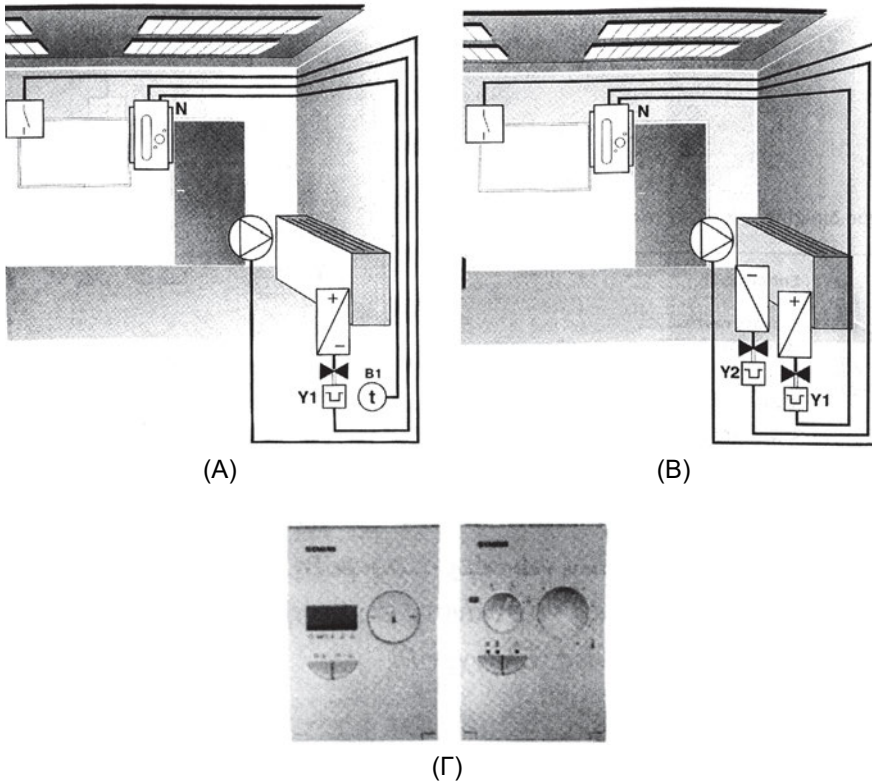
(A) χωρίς τριόδη βάνα, (B) με τριόδη βάνα

BT: Επαφή θερμοστάτη, A: θερμοστάτης επαφής (αντί του θέρους-χειμώνα), 3-SS: διακόπτης τριών ταχυτήτων, T: πηνίο τριόδης βάνας

Στα μοντέρνα συστήματα ελέγχου των συνθηκών του χώρου, συχνά συναντάμε και πιο εξελιγμένα συστήματα ελέγχου της θερμοκρασίας του χώρου που βασίζονται σε ηλεκτρονικές συσκευές κεντρικού ελέγχου. Στο Σχήμα 7.6A βλέπουμε σχηματικά τη λειτουργία ενός τέτοιου σύγχρονου συστήματος ελέγχου της θερμοκρασίας του χώρου και ταυτόχρονης ρύθμισης της λειτουργίας του FCU.

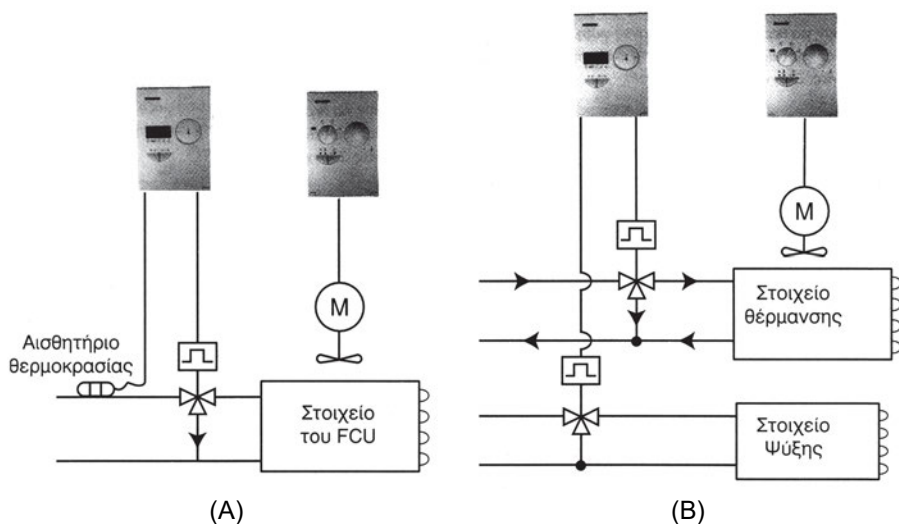
Επίσης συναντάμε συχνά και δίκτυα με FCU που έχουν ξεχωριστά θερμαντικά και ψυκτικά στοιχεία τα οποία τροφοδοτούνται από ανεξάρτητα δίκτυα σωληνώσεων ζεστού και κρύου νερού. Τα δίκτυα αυτά ονομάζονται τετρασωλήνια και εξασφαλίζουν τις ιδανικές συνθήκες σε όλες τις εποχές του χρόνου. Η συνδεσμολογία ενός τέτοιου συστήματος φαίνεται στο Σχήμα 7.6B. Προφανώς, το τετρασωλήνιο σύστημα δεν χρειάζεται διακόπτη θέρους-χειμώνα, επειδή πάντοτε διαθέτει παροχή ζεστού και κρύου νερού και λειτουργεί το στοιχείο που χρειάζεται (το θερμαντικό ή το ψυκτικό).

Ποτέ όμως δεν λειτουργούν συγχρόνως και τα δύο στοιχεία.



Σχήμα 7.6 Σύγχρονες διατάξεις αυτομάτου ελέγχου της λειτουργίας FCU, με ηλεκτρονικές συσκευές ελέγχου:
(A) σε δισωλήνιο σύστημα FCU, (B) σε τετρασωλήνιο σύστημα

Τα συστήματα αυτά εξασφαλίζουν τις σωστές συνθήκες στις ενδιάμεσες κυρίως περιόδους (φθινόπωρο, άνοιξη), που άλλοτε χρειάζεται θέρμανση και άλλοτε ψύξη. Στις ακραίες καταστάσεις (καθαρά χειμώνας ή καλοκαίρι) δεν υπάρχει ουσιαστική διαφορά από τα αντίστοιχα δισωλήνια συστήματα. Το λειτουργικό διάγραμμα μίας διάταξης αυτοματισμού τετρασωλήνιου συστήματος που κατευθύνεται από ηλεκτρονικό ελεγκτή είναι απλό, όπως φαίνεται στο Σχήμα 7.7.

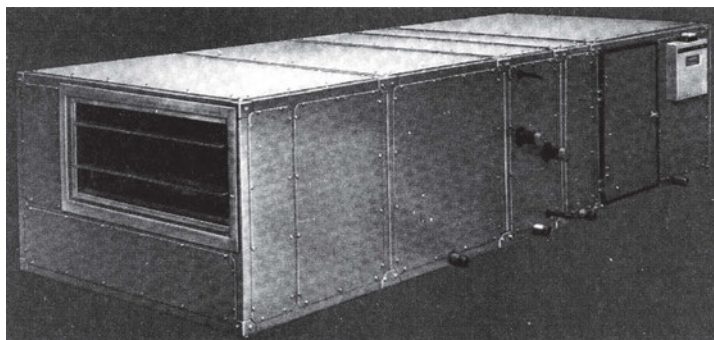


Σχήμα 7.7 Η σύνδεση του ηλεκτρονικού εξοπλισμού ελέγχου:
 (Α) σε δισωλήνιο σύστημα FCU, (Β) σε τετρασωλήνιο σύστημα

7.4 Η Κεντρική Κλιματιστική Μονάδα (ΚΚΜ)

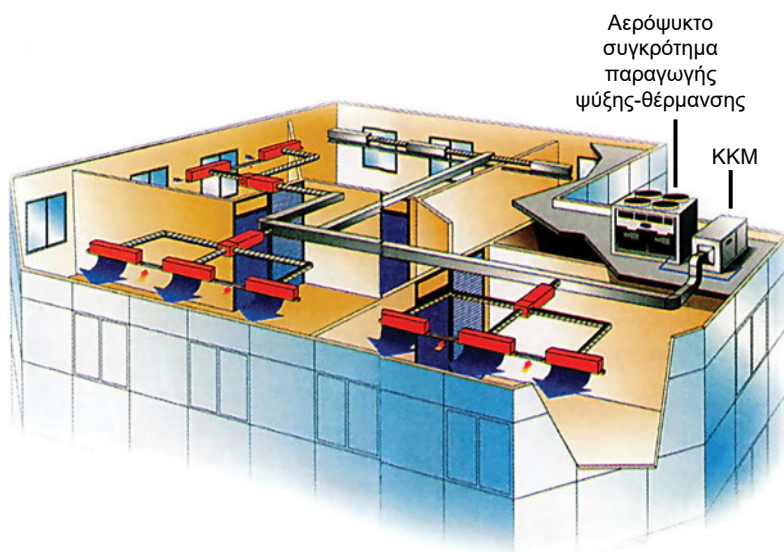
Σε ένα σύστημα κλιματισμού με δίκτυο αεραγωγών, η κεντρική κλιματιστική μονάδα (ΚΚΜ) είναι το κυριότερο μηχάνημα που μας εξασφαλίζει τις επιθυμητές συνθήκες στους κλιματιζόμενους χώρους. Συνήθως αποτελεί ένα ανεξάρτητο συγκρότημα. Μπορεί να είναι ενσωματωμένη με κάποιο άλλο μηχάνημα το οποίο να συμπεριλαμβάνει, εκτός από τον εξοπλισμό της ΚΚΜ, και τον εξοπλισμό του ψυκτικού κυκλώματος.

Η πλήρης ανάπτυξη της δομής και της λειτουργίας των ΚΚΜ αποτελεί αντικείμενο του μαθήματος "Εγκαταστάσεις Κλιματισμού". Εδώ θα ασχοληθούμε κυρίως με τον αυτοματισμό της λειτουργίας τους. Κατά τα λοιπά, θα περιοριστούμε μόνο σε μία συνοπτική περιγραφή των ΚΚΜ, στο βαθμό που μας χρειάζεται για να γίνει αντιληπτός ο αυτοματισμός τους, τον οποίο και θα αναπτύξουμε στη συνέχεια.



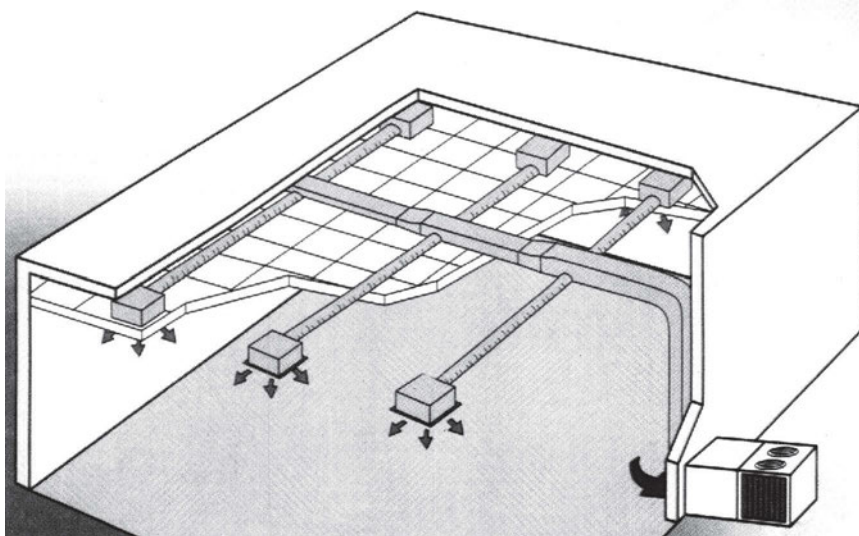
Σχήμα 7.8 Τυπική μορφή μίας ΚΚΜ

Στο Σχήμα 7.8 βλέπουμε την τυπική μορφή μίας ΚΚΜ. Η μονάδα αυτή τροφοδοτείται με κρύο νερό από το κεντρικό συγκρότημα ψύξης και με ζεστό νερό από το λέβητα. Η έξοδος της συνδέεται με το δίκτυο αεραγωγών της εγκατάστασης. Τοποθετείται συνήθως στο υπόγειο του κλιματιζόμενου κτηρίου, κοντά στη μονάδα παραγωγής του ψυχρού νερού. Οι εναλλάκτες θερμότητας που διαθέτει είναι στοιχεία (coil) νερού ή, σπανιότερα, στοιχεία DX.



Σχήμα 7.9 Κλιματισμός κτηρίου μέσω ΚΚΜ

Στο Σχήμα 7.9 διακρίνουμε μία ΚΚΜ που τροφοδοτείται από κρύο ή ζεστό νερό (ανάλογα με την εποχή του έτους), από ένα αερόψυκτο συγκρότημα που λειτουργεί ως αντλία θερμότητας. Αυτή η ΚΚΜ είναι εγκατεστημένη στην οροφή του κτηρίου.



Σχήμα 7.10 Κλιματισμός κτηρίου μέσω ενός **κεντρικού κλιματιστικού συγκροτήματος** που συμπεριλαμβάνει τόσο το συγκρότημα παραγωγής της ψύξης όσο και τον εξοπλισμό της ΚΚΜ

Στο Σχήμα 7.10 βλέπουμε ένα άλλο παρόμοιο συγκρότημα όπου η μονάδα παραγωγής της ψύξης είναι ενσωματωμένη με την ΚΚΜ. Μπορούμε για διάκριση από τις απλές ΚΚΜ αυτά τα μηχανήματα να τα αποκαλούμε κεντρικά κλιματιστικά **συγκροτήματα**.

Κοινό χαρακτηριστικό και των Σχημάτων 7.9 και 7.10 είναι ότι υπάρχουν αεραγωγοί που συνδέονται στην ΚΚΜ. Μέσα στην ΚΚΜ ο αέρας υφίσταται μία σειρά από επεξεργασίες, όπως π.χ. φιλτράρεται, ψύχεται ή θερμαίνεται, υγραίνεται ή αφυγραίνεται. Αυτή ακριβώς είναι η λειτουργία και ο σκοπός ύπαρξης της ΚΚΜ, να φέρει δηλαδή τον αέρα στις επιθυμητές συνθήκες που απαιτούνται για να κλιματίσει σωστά το χώρο. Με τη βοήθεια κατάλληλων ανεμιστήρων, που υπάρχουν ενσωματωμένοι μέσα στις ΚΚΜ ο αέρας αποστέλλεται στο χώρο, ή απάγεται από αυτόν και απορρίπτεται στο περιβάλλον.

Οι ΚΚΜ σχετικά σπάνια τοποθετούνται στην οροφή ή σε κάποιον άλλο εξωτερικό χώρο με τον τρόπο που φαίνεται στο Σχήμα 7.9. Το συνηθέστερο είναι να τοποθετούνται σε κάποιον εσωτερικό χώρο του κτηρίου, συνήθως στο υπόγειο, και από εκεί με αεραγωγούς να στέλνουν τον κλιματισμένο αέρα στους χώρους. Αντίθετα, τα κλιματιστικά συγκροτήματα, όπως του Σχήματος 7.10, τοποθετούνται πάντοτε σε εξωτερικό χώρο.



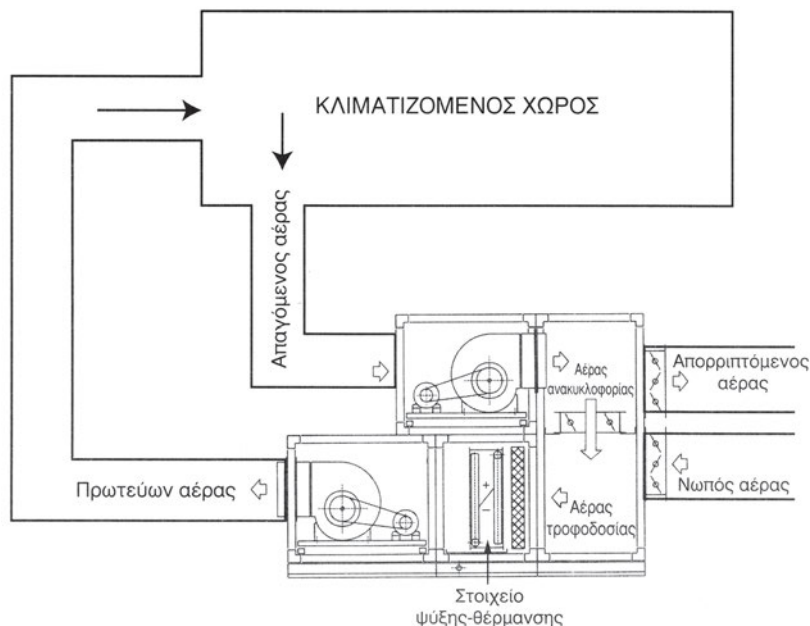
Σχήμα 7.11 Τυπική διάταξη λειτουργίας μίας ΚΚΜ χωρίς απορριπτόμενο αέρα

Τη διάταξη λειτουργίας μίας ΚΚΜ, στις γενικές αρχές της, τη βλέπουμε συνοπτικά στο Σχήμα 7.11. Ο αέρας που αποστέλλουν ονομάζεται **πρωτεύων αέρας**, ενώ ο αέρας που τροφοδοτεί το στοιχείο τους ονομάζεται **αέρας τροφοδοσίας**. Ο αέρας τροφοδοσίας αποτελεί μίγμα του αέρα του χώρου που ονομάζεται **αέρας ανακυκλοφορίας** και του αέρα του περιβάλλοντος που ονομάζεται **νωπός αέρας**. Το στοιχείο θέρμανσης συμβολίζεται με το +, το ψυκτικό στοιχείο με το -. Αν η ΚΚΜ έχει μόνο ένα στοιχείο που το χειμώνα χρησιμοποιείται άλλοτε για ψύξη και άλλοτε για θέρμανση, αυτό συμβολίζεται ως +/- . Η κλιματιστική μονάδα του Σχήματος 7.11 δεν απορρίπτει αέρα στο περιβάλλον. Ποσότητα όμως αέρα, ίση με το νωπό αέρα, υποχρεωτικά απομακρύνεται από τα ανοίγματα, τις χαρμάδες κ.λπ., αλλιώς θα ήταν αδύνατη η εισαγωγή νωπού αέρα.

Ο αέρας μέσα στην ΚΚΜ μπορεί να θερμαίνεται στο θερμαντικό στοιχείο, ή να ψύχεται στο ψυκτικό στοιχείο. Με την ψύξη στο ψυκτικό στοιχείο επιτυγχάνεται και η αφύγρυνση. Αντίθετα, η ύγρανση στην ΚΚΜ μπορεί να επιτυγχάνεται μόνο μέσω του υγραντήρα.

Σε ορισμένες μάλιστα περιπτώσεις που απαιτείται μεγάλη αφύγρυνση του αέρα, κατεβάζουμε πολύ τη θερμοκρασία του ψυκτικού στοιχείου, προκειμένου να επιτύχουμε την επιθυμητή αφύγρυνση, αλλά προτού σταλεί

ο πρωτεύων αέρας στους χώρους αναθερμαίνεται. Δηλαδή το καλοκαίρι, μέσα στην ΚΚΜ, μπορεί να έχουμε ταυτόχρονη λειτουργία του ψυκτικού και του θερμαντικού στοιχείου, πράγμα το οποίο **ουδέποτε** γίνεται στις ΤΚΜ.



Σχήμα 7.12 Τυπική διάταξη λειτουργίας μίας ΚΚΜ με απορριπτόμενο αέρα

Στο Σχήμα 7.12 έχουμε μία άλλη διάταξη, με την οποία η ΚΚΜ απορρίπτει αέρα στο περιβάλλον. Για να επιτευχθεί αυτό, θα πρέπει η ΚΚΜ να είναι εφοδιασμένη και με έναν ακόμη ανεμιστήρα, όπως φαίνεται στο σχήμα. Στην περίπτωση αυτή, ο αέρας που απομακρύνεται από το χώρο ονομάζεται **απαγόμενος αέρας**, ενώ ένα τμήμα του μόνο χρησιμοποιείται ως **αέρας ανακυκλοφορίας**, όπως ακριβώς φαίνεται στο Σχήμα 7.12.

Η διάταξη του Σχήματος 7.11 μπορεί να κάνει αφύγρανση, ύγρανση ή αναθέρμανση. Αυτό οφείλεται στο ότι η ΚΚΜ διαθέτει δύο ανεξάρτητα στοιχεία για ψύξη και για θέρμανση και είναι εφοδιασμένη και με σύστημα ύγρανσης. Αντίθετα η ΚΚΜ του Σχήματος 7.12 διαθέτει μόνο ένα στοιχείο το οποίο χρησιμοποιείται το χειμώνα για θέρμανση και το καλοκαίρι για ψύξη, ενώ δεν έχει υγραντήρα. Η εν λόγω ΚΚΜ μπορεί να κάνει μόνο αφύγρανση κατά το καλοκαίρι.

Επίσης ενδέχεται το στοιχείο αναθέρμανσης να είναι ανεξάρτητο από το θερμαντικό στοιχείο, ή η αναθέρμανση να γίνεται μέσω ηλεκτρικών αντιστάσεων. Ο λόγος είναι ότι η ισχύς αναθέρμανσης κατά το καλοκαίρι

είναι πολύ μικρή συγκρινόμενη με την ισχύ θέρμανσης κατά το χειμώνα. Κατά συνέπεια, η χρήση του στοιχείου θέρμανσης για αναθέρμανση θα απαιτήσει τη λειτουργία του με πολύ χαμηλή θερμοκρασία νερού και αυτό ενδεχομένως να οδηγήσει σε αποσταθεροποίηση του συστήματος (ασταθές σύστημα), όπως αναφέραμε και στην παράγραφο (6-15).

7.5 Ο αυτοματισμός της λειτουργίας της ΚΚΜ

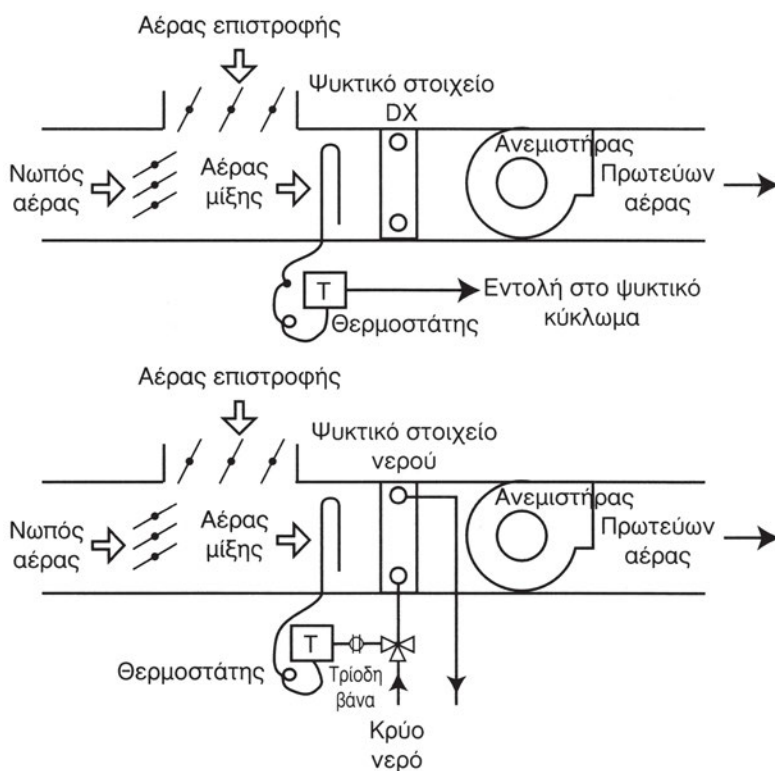
Από την ανάπτυξη που έγινε στην προηγούμενη παράγραφο γίνεται αντιληπτό ότι σε μία ΚΚΜ υπάρχουν πολλά σημεία τα οποία θα πρέπει να ελέγχονται ή να ρυθμίζονται.

Πίνακας 7.3 Τα κυριότερα σημεία ελέγχου-αυτοματισμού σε μία ΚΚΜ

| A/A | Σημείο ελέγχου | Μέθοδος ρύθμισης | Εξάρτημα ρύθμισης |
|-----|---|---|---|
| 1 | Θερμοκρασία χώρου | <ul style="list-style-type: none"> • Με αλλαγή της θερμοκρασίας πρωτεύοντος αέρα • Με αλλαγή της ποσότητας του πρωτεύοντος αέρα | <ul style="list-style-type: none"> • Στα στοιχεία νερού: Μέσω της τριόδης βάνας που θα ρυθμίζει τη θερμοκρασία των στοιχείων νερού. Στα στοιχεία DX: Μέσω της θερμοεκτονωτικής βαλβίδας. • Μέσω τάμπερ ρύθμισης της ποσότητας του αέρα. |
| 2 | Σχετική υγρασία χώρου (μέσω υγραστάτη) | <ul style="list-style-type: none"> • Αφαίρεση υγρασίας από τον πρωτεύοντα αέρα • Προσθήκη υγρασίας στον πρωτεύοντα αέρα • Αναθέρμανση του πρωτεύοντος αέρα | <ul style="list-style-type: none"> • Με τριόδη βάνα ρύθμισης της θερμοκρασίας του ψυκτικού στοιχείου. • Μέσω του υγραντήρα. • Μέσω στοιχείου αναθέρμανσης και με τριόδη βάνα. |
| 3 | Ποιότητα αέρα εσωτερικού χώρου (μέσω αισθητήριου ποιότητας του εσωτερικού αέρα) | <ul style="list-style-type: none"> • Αλλαγή του συσχετισμού μεταξύ νωπού και απορριπτόμενου αέρα • Κατάσταση φίλτρων αέρα | <ul style="list-style-type: none"> • Μέσω τάμπερ • Αλλαγή φίλτρων αέρα |

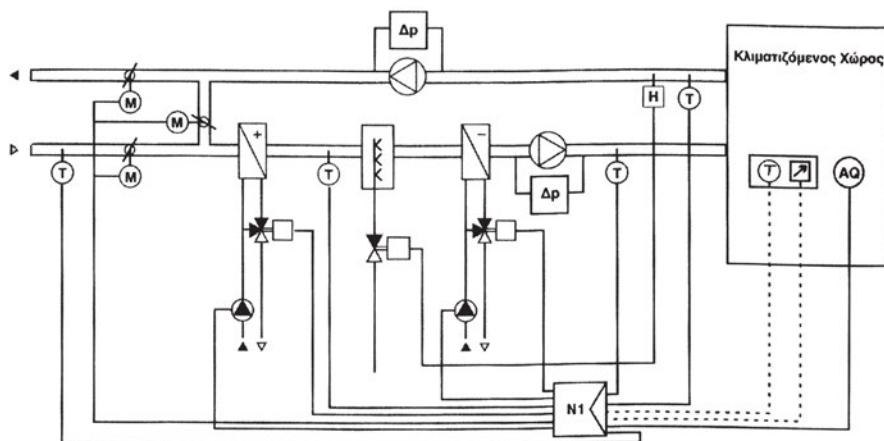
Τα σημεία στα οποία μπορεί να χρειαστεί να κάνουμε έλεγχο, τα αναφέρουμε συνοπτικά στον Πίνακα 7.3. Θα πρέπει όμως να σημειωθεί ότι ο μόνος απολύτως απαραίτητος έλεγχος είναι της θερμοκρασίας του εσωτερικού χώρου, ενώ η ανάγκη για τους άλλους ελέγχους που αναφέρονται στον Πίνακα 7.3 θα πρέπει να σταθμίζεται, ανάλογα με την κάθε περίπτωση. Όσο απλούστερο είναι ένα σύστημα αυτομάτου ελέγχου, τόσο πιο αξιόπιστο θα πρέπει να θεωρείται.

Για τον έλεγχο των παραπάνω απαιτείται ο κατάλληλος αυτοματισμός. Παλαιότερα οι αυτοματισμοί ήταν πολύ απλοί και δρούσαν ανεξάρτητα ο ένας από τον άλλο. Στο Σχήμα 7.13 βλέπουμε δύο τέτοιες απλές διατάξεις. Στην περίπτωση (Α), έχουμε στοιχείο άμεσης εκτόνωσης και ο θερμοστάτης ελέγχει τη θερμοκρασία του αέρα επιστροφής, δίνοντας την ανάλογη εντολή στο ψυκτικό συγκρότημα (π.χ. αλλάζοντας τη σκάλα λειτουργίας του συμπιεστή). Στην περίπτωση (Β), όπου το ψυκτικό μέσο είναι το νερό, ο θερμοστάτης επενεργεί σε μία τριόδη βάνα (ON-OFF ή προοδευτικής λειτουργίας).



Σχήμα 7.13 Απλά συστήματα αυτοματισμού

Στα μοντέρνα όμως συστήματα, ο έλεγχος γίνεται κεντρικά και τα περισσότερα σημεία ελέγχονται μέσω κατάλληλα προγραμματιζόμενης συσκευής διαμορφωτικού ελέγχου, του τύπου P ή PI ή PID. Ορισμένες μάλιστα συσκευές υποστηρίζουν και τους τρεις διαφορετικούς ελεγκτές, οπότε ο χρήστης, ανάλογα με την εφαρμογή, μπορεί να επιλέξει τον κατάλληλο.



Σχήμα 7.14 Μία πλήρης διάταξη αυτοματισμού KKM

Στο Σχήμα 7.14 βλέπουμε μία σύγχρονη εγκατάσταση αυτοματισμού η οποία αποτελείται από την κεντρική συσκευή ελέγχου (N1) που φαίνεται στο Σχήμα 7.15A και από τα επιμέρους εξαρτήματα στα οποία επενεργεί. Έτσι, επιτυγχάνεται η συντονισμένη λειτουργία όλων των συστημάτων για να επιτευχθεί το καλύτερο δυνατό αποτέλεσμα. Συγκεκριμένα η κεντρική συσκευή αυτοματισμού (N1) δέχεται σήματα από τα αισθητήρια:

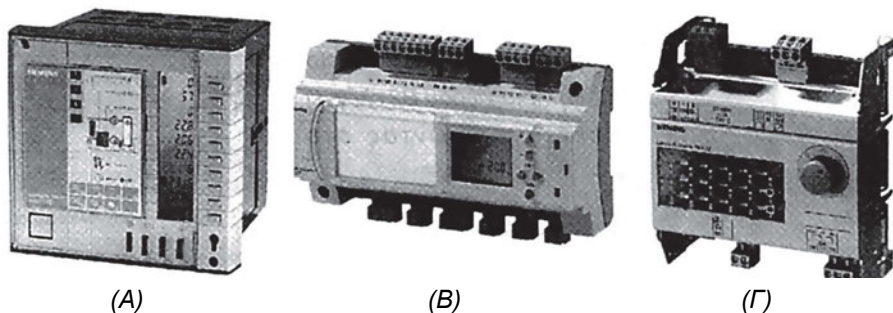
- Θερμοκρασίας (T)
- Υγρασίας (H)
- Ποιότητας αέρα (Air Quality, AQ), το οποίο μετράει την περιεκτικότητα του αέρα σε CO₂ και ενδεχομένως και σε CO

Βάσει των παραπάνω σημάτων, η κεντρική συσκευή αυτοματισμού (N1) δίνει τις ανάλογες εντολές στους εξής μηχανισμούς:

- Στους κινητήρες (M), που ρυθμίζουν τις ποσότητες του νωπού αέρα και του αέρα ανακυκλοφορίας, μέσω των τάμπερ.
- Στις δύο τρίοδες βάνες αναλογικής λειτουργίας, που ελέγχουν τη θερμοκρασία του νερού στο ψυκτικό και στο θερμαντικό στοιχείο.

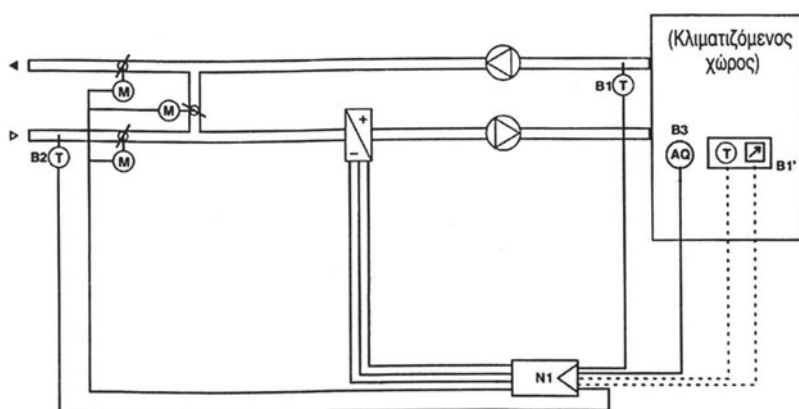
- Στη δίοδο βάνα, αναλογικής λειτουργίας, που ελέγχει την ποσότητα του ψεκαζόμενου νερού από τον υγραντήρα.

Τέλος, δύο διαφορετικοί πρεσοστάτες φίλτρων ($\Delta\rho$), που δρουν ανεξάρτητα από τη συσκευή N1, δίνουν ένδειξη όταν χρειάζεται να γίνει η αντικατάσταση των φίλτρων του αέρα.



Σχήμα 7.15 Διάφορες ηλεκτρονικές μονάδες ελέγχου συστημάτων κεντρικού κλιματισμού

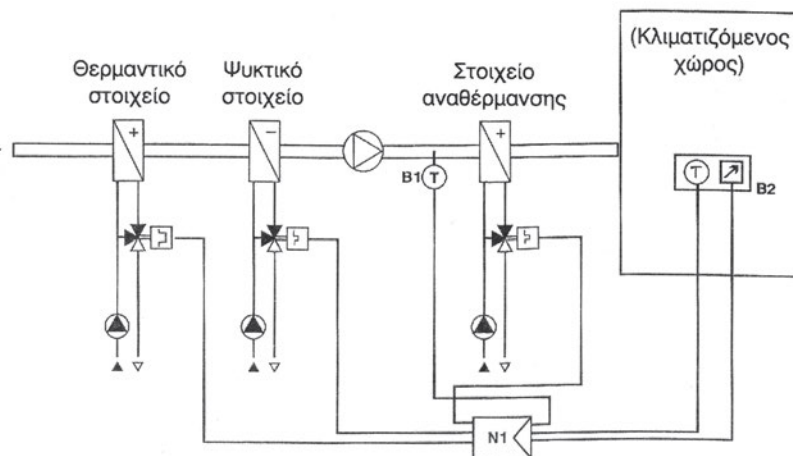
Η διάταξη του Σχήματος 7.14 δεν είναι ο μοναδικός τρόπος που μπορεί να εφαρμοστεί ο αυτόματος έλεγχος σε μία κεντρική κλιματιστική εγκατάσταση. Αν και η διάταξη του Σχήματος 7.14 είναι η πλέον πλήρης που θα μπορούσε να εφαρμοστεί, τα πολλά σημεία ελέγχου μπορεί να καταστήσουν περίπλοκο το σύστημα αυτοματισμού.¹ Γι' αυτό οι συσκευές και τα σημεία ελέγχου θα πρέπει να περιορίζονται στις θέσεις που πραγματικά χρειάζονται.



Σχήμα 7.16 Μία διάταξη αυτοματισμού KKM χωρίς έλεγχο υγρασίας

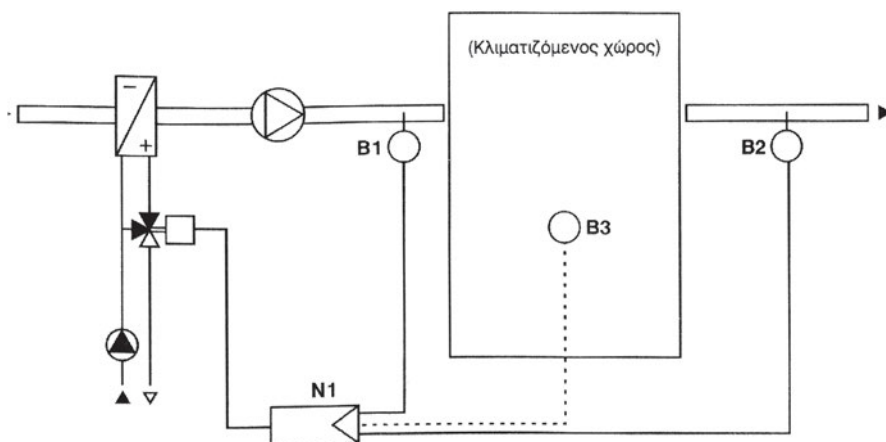
¹ Το κόστος δεν θα πρέπει να θεωρείται σοβαρό κριτήριο. Σχεδόν πάντοτε οι διατάξεις αυτοματισμού αντιπροσωπεύουν ένα αμελητέο κόστος στο σύνολο μίας κλιματιστικής εγκατάστασης.

Στο Σχήμα 7.16, βλέπουμε μία άλλη διάταξη, που χρησιμοποιεί τον ελεγκτή του Σχήματος 7.15B. Η διάταξη αυτή δεν κάνει έλεγχο της υγρασίας, προφανώς επειδή δεν υπάρχει πρόβλημα σχετικής υγρασίας στον υπό έλεγχο χώρο. Την ίδια μονάδα τη χρησιμοποιούμε και στη διάταξη του Σχήματος 7.17, όπου βλέπουμε να υπάρχει ανεξάρτητο στοιχείο αναθέρμανσης του ψυχρού αέρα.



Σχήμα 7.17 Διάταξη αυτοματισμού ΚΚΜ με έλεγχο του στοιχείου αναθέρμανσης του αέρα

Τέλος στο Σχήμα 7.18 βλέπουμε την πλέον απλή διάταξη αυτοματισμού, αλλά που είναι συγχρόνως και η πλέον εύκολη στη λειτουργία και τη ρύθμιση, η οποία χρησιμοποιεί τον ελεγκτή του Σχήματος 7.15Γ. Στη συγκεκριμένη εγκατάσταση δεν υπάρχει λόγος να γίνεται έλεγχος της σχετικής υγρασίας και της ποιότητας του εσωτερικού αέρα (μπορεί π.χ. ο αριθμός των ατόμων στους κλιματιζόμενους χώρους να είναι μικρός), ενώ δεν υπάρχει αεραγωγός απορριπτόμενου αέρα (προφανώς οι ανάγκες ανανέωσης του αέρα είναι μικρές). Επίσης υπάρχει μόνο ένα στοιχείο που λειτουργεί το χειμώνα για θέρμανση και το καλοκαίρι για ψύξη. Τέτοιες απλές διατάξεις αυτοματισμού λειτουργούν συνήθως ικανοποιητικά και ρυθμίζονται εύκολα.



Σχήμα 7.18 Η πλέον απλή διάταξη αυτοματισμού μίας ΚΚΜ

7.6 Ο έλεγχος των αεραγωγών και των στομιών

Η επιτυχία μίας εγκατάστασης εξαρτάται από τη δημιουργία συνθηκών άνεσης στον κάθε χώρο. Και στα συστήματα με αεραγωγούς αυτό είναι δύσκολο να επιτευχθεί. Συνοπτικά, θα μπορούσαμε να πούμε ότι μια εγκατάσταση με δίκτυο αεραγωγών, στο οποίο τα στόμια λειτουργούν χωρίς να έχουν τη δυνατότητα συνεχούς ρύθμισης (αναλόγως των αναγκών), κατά πάσα πιθανότητα οδηγείται σε αποτυχία. Εξάιρεση είναι η περίπτωση κατά την οποία κλιματίζεται ένας και μοναδικός χώρος. Ας δούμε αναλυτικότερα τι περίπου συμβαίνει.

Οι ανάγκες κλιματισμού ενός χώρου είναι μεταβλητές και ποικίλλουν από ώρα σε ώρα. Π.χ. το πρωί υπάρχουν μεγαλύτερες ανάγκες στους χώρους με ανατολικό προσανατολισμό, το μεσημέρι στους νότιους και το απόγευμα στους δυτικούς. Ακόμη, όταν συγκεντρωθούν πολλά άτομα σε μία αίθουσα, οι ανάγκες κλιματισμού αυξάνονται.

Εξαιτίας των μεταβλητών αναγκών του κάθε χώρου, σε ψυκτικό φορτίο,² μία εγκατάσταση ελέγχου της ΚΚΜ, με ένα και μοναδικό αισθητήριο θερμοκρασίας και υγρασίας που αναγκαστικά θα τοποθετηθεί σε κάποιον αντιπροσωπευτικό χώρο, δεν μπορεί να ανταποκριθεί επαρκώς στις ανά-

² Με τον όρο ψυκτικό φορτίο εννοούμε τις ανάγκες σε παροχή ψύξης κατά το καλοκαίρι. Αντίστοιχα με τον όρο θερμικό φορτίο εννοούμε τις ανάγκες παροχής θέρμανσης κατά το χειμώνα. Η τυπική μονάδα μέτρησης των φορτίων είναι το W.

γκες ενός κτηρίου. Το πρόβλημα είναι ακόμη μεγαλύτερο όταν έχουμε πολλούς χώρους και ιδίως όταν αυτοί έχουν διαφορετικούς προσανατολισμούς. Γι' αυτό και οι συνδέσεις των εσωτερικών αισθητηρίων, στα Σχήματα 7.14, 7.16, 7.17 και 7.18, έχουν σημειωθεί με διακεκομμένες γραμμές, πράγμα που υπονοεί ότι μπορούν να παραλειφθούν. Τα αισθητήρια του εσωτερικού χώρου έχουν νόημα μόνον όταν από τη συγκεκριμένη ΚΚΜ κλιματίζεται μία και μοναδική αίθουσα (π.χ. ένα θέατρο, ένα κέντρο διασκέδασης κ.λπ.).

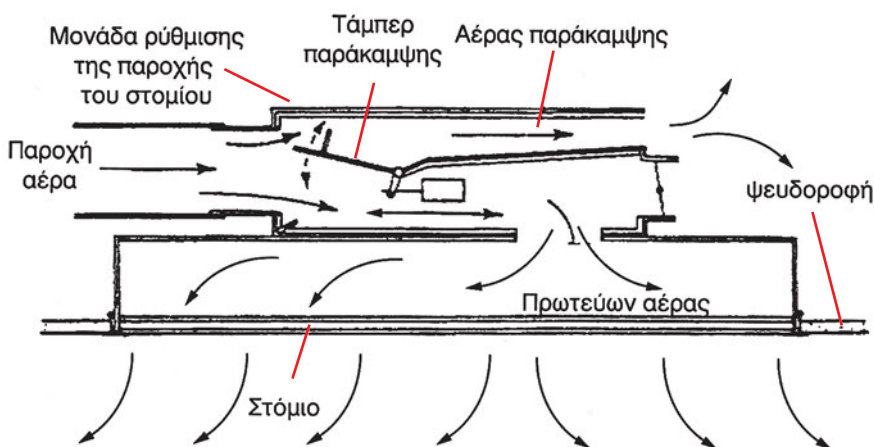
Αντίθετα, έχουν πολύ μεγάλη σημασία τα αισθητήρια θερμοκρασίας και υγρασίας στους αεραγωγούς απαγωγής του αέρα, διότι με αυτά η ηλεκτρονική μονάδα ελέγχου της ΚΚΜ αντιλαμβάνεται τη μέση τιμή της θερμοκρασίας των χώρων (ο απαγόμενος αέρας είναι ένα μίγμα αέρα προερχόμενο από όλους τους χώρους). Παράλληλα, έχοντας και αισθητήρια στην εισαγωγή του νωπού αέρα (που μετρούν τις συνθήκες αέρα περιβάλλοντος), μπορεί η ηλεκτρονική μονάδα να αντιλαμβάνεται τις διαφορές θερμοκρασίας και υγρασίας μεταξύ εσωτερικών χώρων και εξωτερικού περιβάλλοντος. Στη συνέχεια, η ηλεκτρονική μονάδα επεξεργάζεται αυτά τα στοιχεία και είναι σε θέση να δώσει τις εντολές που απαιτούνται στους κινητήρες των τάμπερ και των βανών, έτσι ώστε να ρυθμίσει την απόδοση της ΚΚΜ ανάλογα με το φορτίο.

Το πρόβλημα όμως της σωστής κατανομής του αέρα δυστυχώς παραμένει! Η ΚΚΜ, με την ηλεκτρονική διάταξη αυτοματισμού της, στέλνει πλέον τη σωστή ποσότητα αέρα, στις σωστές συνθήκες, και ο αέρας αυτός είναι σε θέση να αντισταθμίσει πλήρως το ψυκτικό φορτίο της εγκατάστασης. Αλλά με ποιον τρόπο θα κατανεμηθεί ο αέρας σωστά στους χώρους, ανάλογα με το ψυκτικό φορτίο που θα παρουσιάζει ο κάθε χώρος; Η ρύθμιση των σταθερών στομίων είναι δύσκολη³ και επιπλέον, όπως αναφέραμε, υπάρχει και το πρόβλημα ότι τα φορτία μεταβάλλονται συνεχώς. Π.χ. το πρώι τα στόμια των χώρων με ανατολικό προσανατολισμό θα πρέπει να στέλνουν περισσότερο αέρα από τα στόμια με δυτικό προσανατολισμό, ενώ το απόγευμα θα πρέπει να συμβαίνει το αντίθετο.

³ Η παροχή του αέρα μετριέται δύσκολα, αλλά υπάρχουν και αρκετά ακόμη προβλήματα των οποίων η ανάπτυξη δεν είναι στους στόχους αυτού του μαθήματος.

7.7 Ο έλεγχος της διανομής του αέρα με τα συστήματα VAV

Τα προβλήματα που αναφέρθηκαν παραπάνω έχουν επιλυθεί με τα συστήματα που μεταβάλλουν την παροχή αέρα μέσω των στομιών, που είναι γνωστά με την ονομασία **VAV** (Variable Air Volume). Με τον όρο VAV δεν αναφερόμαστε σε κάτι ενιαίο και συγκεκριμένο και κάθε εταιρία που κατασκευάζει συστήματα VAV προσφέρει τις δικές της τεχνικές λύσεις.



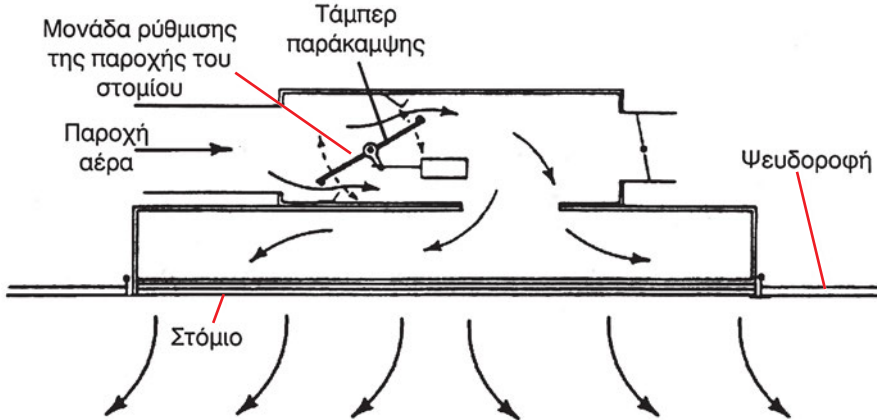
Σχήμα 7.19 Στόμιο του οποίου η παροχή ρυθμίζεται μέσω τάμπερ παράκαμψης (by-pass)

Τα συστήματα VAV ακολουθούν κάποιους γενικούς κανόνες πάνω στους οποίους βασίζεται η λειτουργία τους. Η παροχή των στομιών ρυθμίζεται με διάφορους τρόπους, όπως π.χ. μέσω των τάμπερ που φαίνονται στα Σχήματα 7.19 και 7.20. Στο Σχήμα 7.19 βλέπουμε ένα στόμιο όπου ένα μέρος του αέρα παρακάμπτει το τάμπερ, ενώ η υπόλοιπη ποσότητα διοχετεύεται στο χώρο (σύστημα παράκαμψης ή by-pass). Στο Σχήμα 7.20 το τάμπερ ανοίγει και κλείνει την είσοδο του στομίου, αλλάζοντας την αντίστασή του και αυξομειώνοντας ανάλογα την παροχή του αέρα, την οποία μπορεί ακόμη και να τη διακόψει τελείως (σύστημα αποκοπής ή shut-off).

Τα εν λόγω συστήματα θα τα βρείτε αντίστοιχα και με τις ονομασίες:

- Το σύστημα **παράκαμψης**: ως σύστημα **χαμηλών ταχυτήτων** επειδή συνδυάζεται με συνήθεις αεραγωγούς, που είναι ως επί το πλείστον χαμηλών ταχυτήτων.

- Το σύστημα **αποκοπής**: ως σύστημα **υψηλών ταχυτήτων** επειδή εφαρμόζεται συχνά σε μεγάλα κτήρια, όπου, λόγω των μεγάλων ποσοτήτων αέρα, οι αεραγωγοί είναι υψηλών ταχυτήτων.

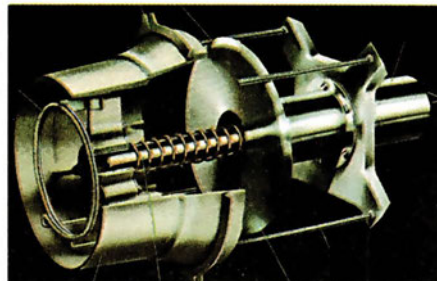


Σχήμα 7.20 Στόμιο του οποίου η παροχή ρυθμίζεται μέσω τάμπερ που μπορεί ακόμη και να διακόψει την παροχή του αέρα (shut off)

Ο αυτοματισμός της λειτουργίας των στομίων και στα δύο συστήματα γίνεται μέσω ενός κινητήρα, ο οποίος, στην απλούστερη δυνατή μορφή, λαμβάνει εντολή από έναν εσωτερικό θερμοστάτη χώρου. Υπάρχουν π.χ. στόμια που μπορούν συγχρόνως να κάνουν αναρρόφηση και επιστροφή αέρα. Στο Σχήμα 7.21 βλέπουμε έναν πολύ γνωστό τύπο στομίου που χρησιμοποιείται στα συστήματα VAV, καθώς και τον εσωτερικό μηχανισμό του.



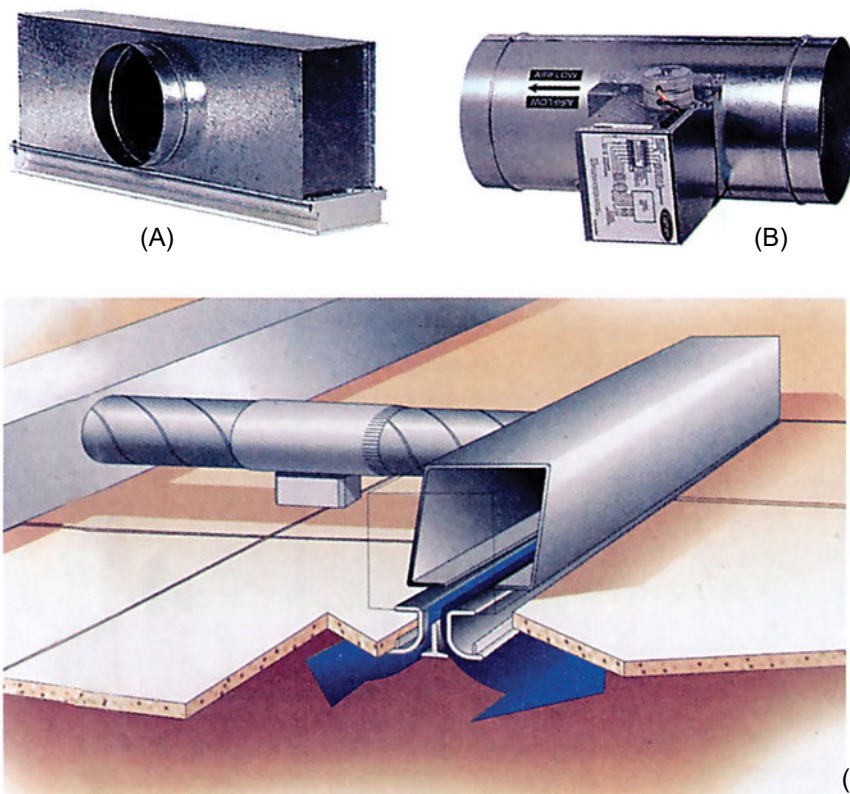
(A)



(B)

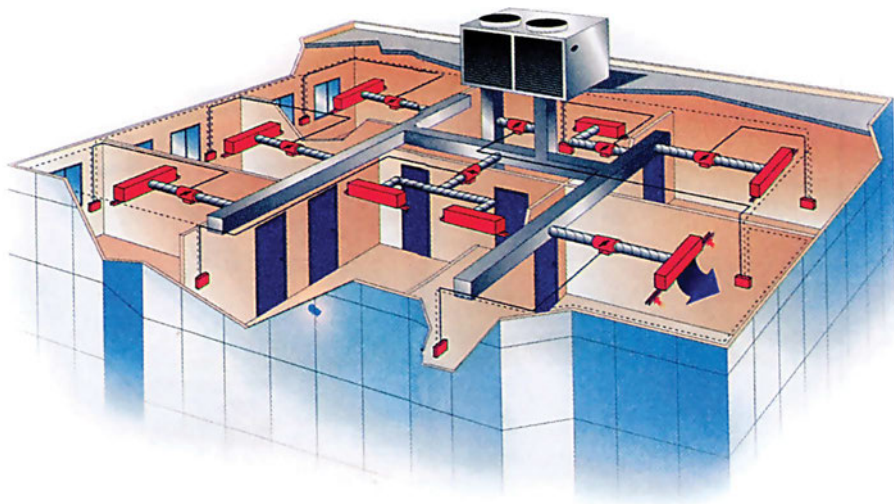
Σχήμα 7.21 Ένας από τους τύπους στομίων που ρυθμίζουν την παροχή του αέρα σε σύστημα VAV
(A) μορφή στομίου, (B) ο μηχανισμός ρύθμισης της παροχής του στομίου σε τομή

Επίσης συχνά γίνεται έλεγχος μέσω ενός τάμπερ που υπάρχει σε αεραγωγό πριν από το στόμιο. Μία από τις πλέον συνηθισμένες περιπτώσεις στομίων που ελέγχονται από ανεξάρτητο τάμπερ είναι ο διασκορπιστής αέρα (diffuser), που βλέπουμε στο Σχήμα 7.22^A. Διασκορπιστές, διαφόρων τύπων, κατασκευάζονται από όλες σχεδόν τις εταιρίες που προμηθεύουν συστήματα VAV.



Σχήμα 7.22 Μία από τις πλέον συνηθισμένες διατάξεις ρύθμισης της παροχής του αέρα σε σύστημα VA V: (A) ο διασκορπιστής αέρα (diffuser), (B) το τάμπερ, (Γ) ο τρόπος σύνδεσης

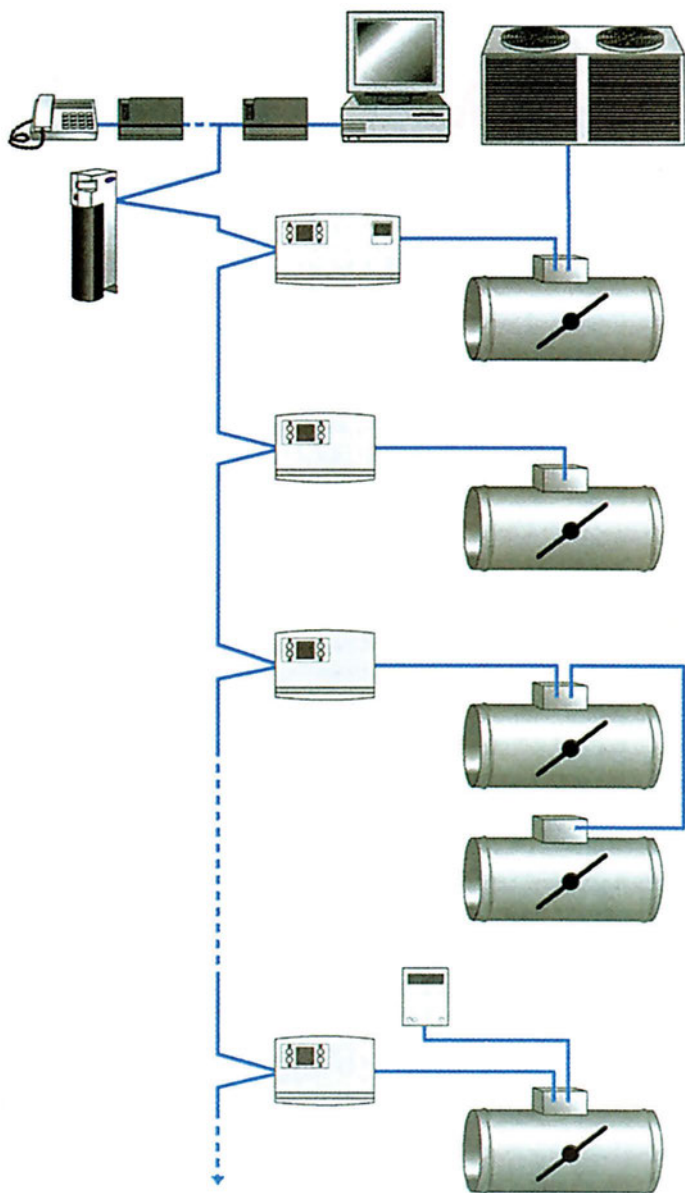
Μία περίπτωση συστήματος VAV που χρησιμοποιεί διασκορπιστές είναι το σύστημα που φαίνεται στο Σχήμα 7.23. Παρατηρούμε ότι κάθε τάμπερ αυτού του τύπου έχει ενσωματωμένο έναν κινητήρα και τον ελεγκτή, μέσω του οποίου ρυθμίζεται η θέση του.



Σχήμα 7.23 Παράδειγμα συστήματος VAV

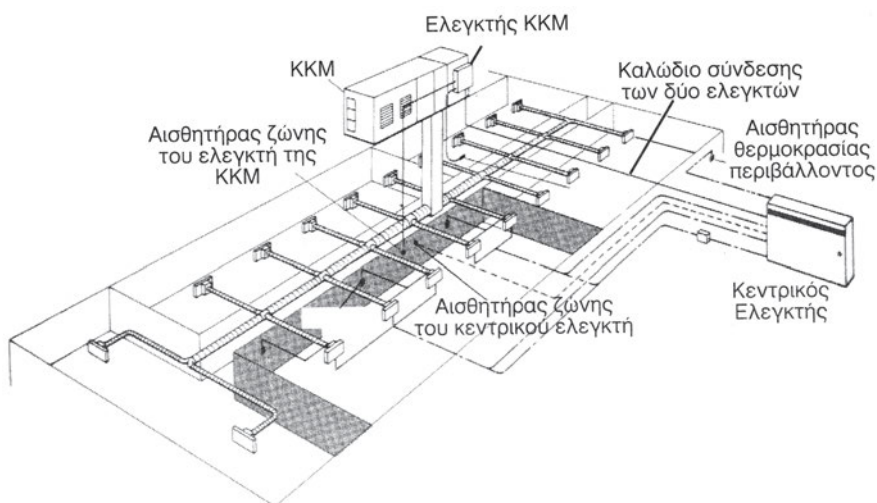
Τα στόμια στα συστήματα VAV συνήθως δεν λειτουργούν εντελώς ανεξάρτητα το ένα από το άλλο. Οι λόγοι είναι πολλοί και δεν είναι δυνατόν να τους αναφέρουμε όλους. Για παράδειγμα μόνο αναφέρουμε:

- Αν μειθούν πολύ οι συνολικές ανάγκες σε παροχή αέρα (όλων μαζί των στομιών), θα πρέπει να μειθούν αντίστοιχα και οι στροφές του ανεμιστήρα ή να υπάρχει κάποιο σύστημα παράκαμψης του πλεονάζοντος αέρα.
- Αν κλείσουν όλα τα στόμια, θα πρέπει κάποιο ηλεκτρονικό σύστημα να δώσει εντολή να σταματήσουν και οι ανεμιστήρες της ΚΚΜ.



Σχήμα 7.24 Διάταξη αυτοματισμού συστήματος VAV, με τάμπερ ελέγχου της ροής του αέρα

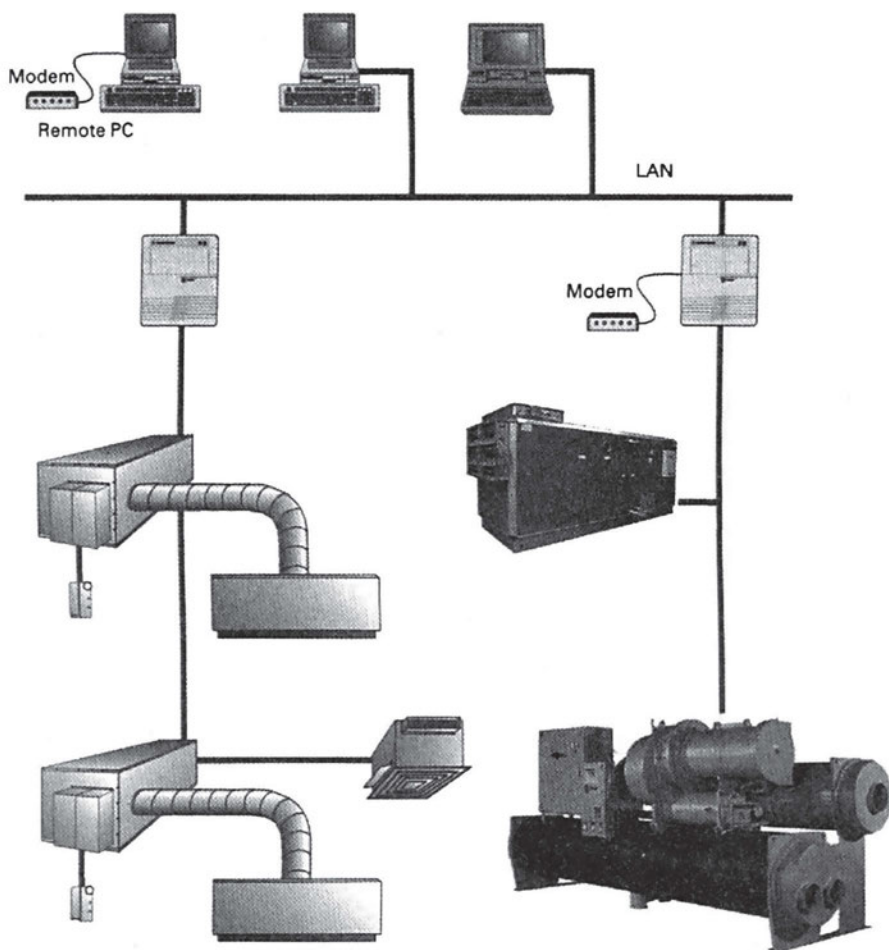
Στο Σχήμα 7.24 βλέπουμε μία σχηματική διάταξη κεντρικού ελέγχου ενός συστήματος VAV όπου η ροή του αέρα ελέγχεται μέσω τάμπερ. Επίσης στο Σχήμα 7.25 βλέπουμε ένα άλλο σύστημα ελέγχου, που βασίζεται σε μία κεντρική συσκευή που ελέγχει αυτόματα το όλο σύστημα.



Σχήμα 7.25 Σχηματική παράσταση της διάταξης αυτοματισμού της λειτουργίας συστήματος VAV, εγκατεστημένης σε κτήριο

7.8 Κεντρικό σύστημα ελέγχου κλιματιστικής εγκατάστασης

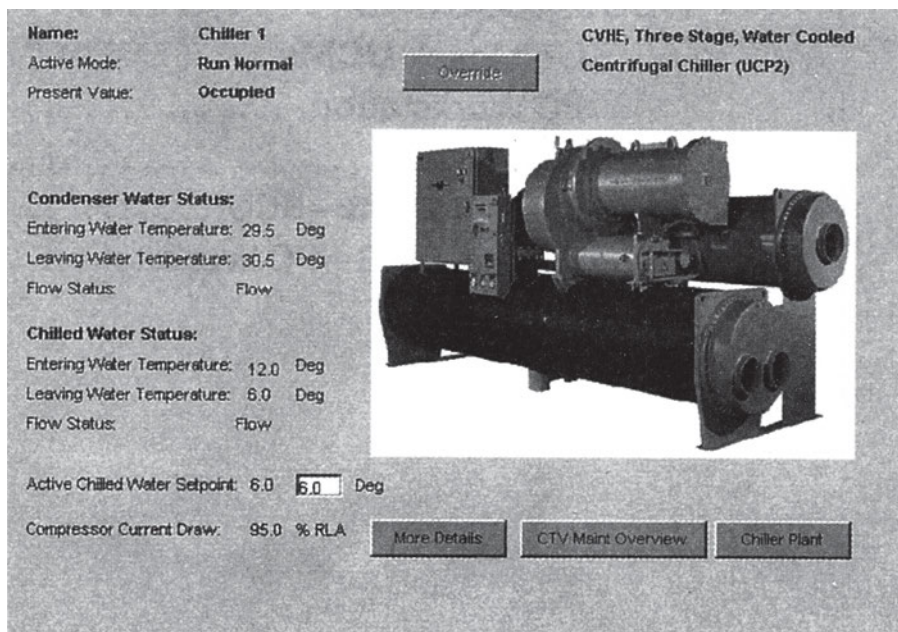
Στις σύγχρονες εγκαταστάσεις υπάρχει συνήθως ένα σύστημα ελέγχου και ρύθμισης που λειτουργεί αυτόματα. Ένα τέτοιο σύστημα σε πολύ απλοποιημένη και παραστατική μορφή το βλέπουμε στο Σχήμα 7.26.



Σχήμα 7.26 Κεντρικό σύστημα ελέγχου και ρύθμισης κλιματιστικής εγκατάστασης

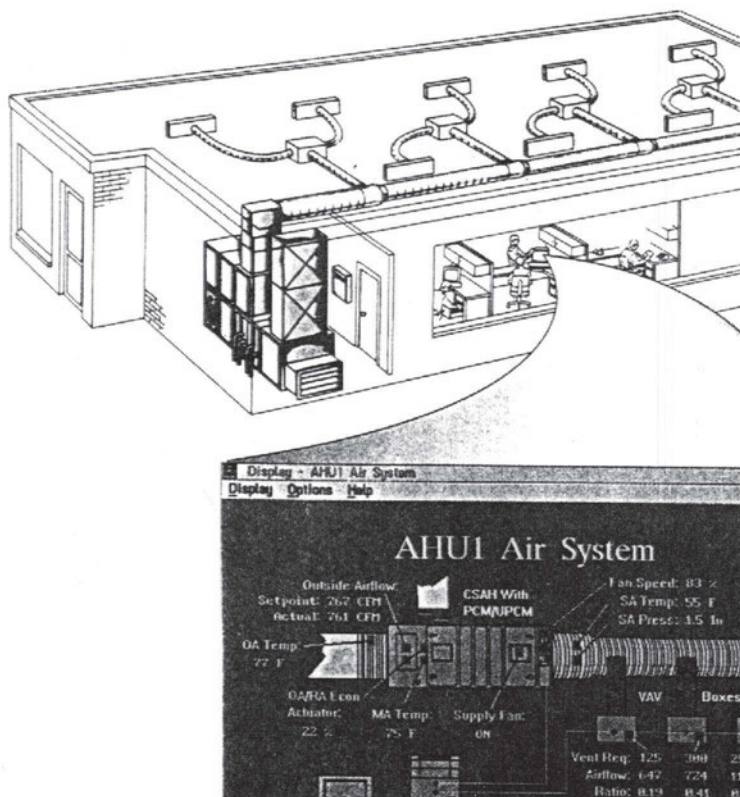
Από τα αισθητήρια που υπάρχουν σε πολλά σημεία ενός συστήματος, μεταφέρονται τα μηνύματα μέσω εσωτερικού δικτύου (LAN), στο κέντρο ελέγχου, όπως φαίνονται στο Σχήμα 7.26. Το κέντρο ελέγχου, σε μεγάλες εγκαταστάσεις, μπορεί να βρίσκεται μέσα στο κτήριο, να είναι εντελώς αυτόνομο και να εξυπηρετείται με το δικό του προσωπικό. Σε πιο μικρές εγκαταστάσεις, μπορεί να υπάρχει σύνδεση με ένα απομακρυσμένο κέντρο ελέγχου μέσω modem, από όπου μπορεί να ειδοποιείται ο συντηρητής για το οποιοδήποτε πρόβλημα, βλάβες ή δυσλειτουργία.

Στο κέντρο ελέγχου, ο συντηρητής μπορεί να έχει τη λειτουργική κατάσταση του συστήματος σε οθόνη όπως αυτή του Σχήματος 7.27.



Σχήμα 7.27 Παράδειγμα από παράθυρο της οθόνης ενός συστήματος κεντρικού ελέγχου

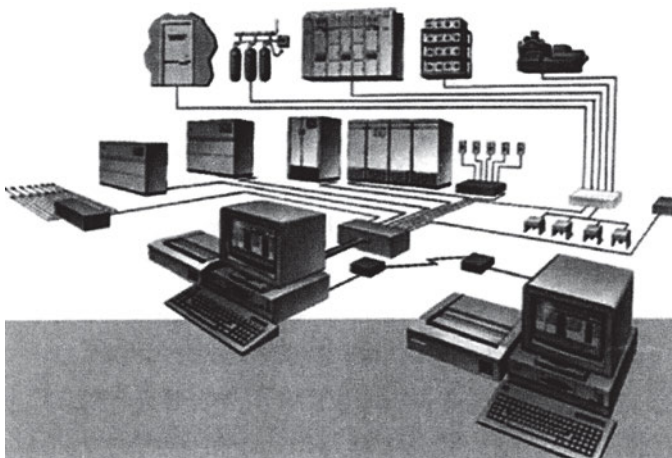
Πέραν των συστημάτων που ελέγχουν την καλή λειτουργία του εξοπλισμού, ορισμένες μοντέρνες εγκαταστάσεις έχουν και σύστημα αυτοματισμού για τον έλεγχο της ποιότητας του αέρα των κλιματιζόμενων χώρων. Ένα τέτοιο σύστημα, σε εικονική διάταξη, βλέπουμε στο Σχήμα 7.28. Με αυτό, λαμβάνονται πληροφορίες και γίνονται επεμβάσεις σε διάφορα σημεία του δικτύου των αεραγωγών. Η μέθοδος αυτού του ελέγχου προφανώς εφαρμόζεται μόνο στα πολύ σύγχρονα συστήματα κλιματισμού, όπως είναι τα συστήματα VAV.



Σχήμα 7.28 Κεντρικό σύστημα ελέγχου και ρύθμισης της ποιότητας του εσωτερικού αέρα των χώρων

Ένα άλλο σύστημα ελέγχου είναι αυτό που φαίνεται στο Σχήμα 7.29, όπου παρουσιάζεται ένα κεντρικό σύστημα ελέγχου κλιματιζόμενου χώρου, εξοπλισμένο με μονάδες **κλειστού κυκλώματος**.⁴ Η εξωτερική εμφάνιση των μονάδων κλειστού κυκλώματος φαίνεται στο Σχήμα 7.30.

⁴ Οι μονάδες κλειστού κυκλώματος είναι κλιματιστικά συγκροτήματα που ελέγχουν με μεγάλη ακρίβεια τις συνθήκες του χώρου όπου βρίσκονται. Μέσα στο περιβλήμα τους, περιέχουν όλο τον εξοπλισμό εκτός από τον συμπυκνωτή, που τοποθετείται σε υπαίθριο χώρο (συνήθως είναι αερόψυκτος). Στον εξοπλισμό τους πάντα συμπεριλαμβάνεται ένα σύστημα αυτοματισμού υψηλής ακρίβειας. Χρησιμοποιούνται μονάδες κλειστού κυκλώματος, όταν απαιτείται μεγάλη ακρίβεια των συνθηκών του χώρου σε θερμοκρασία και υγρασία. Τέτοιοι χώροι είναι τα συγκροτήματα ηλεκτρονικών υπολογιστών, τα μεγάλα τηλεφωνικά κέντρα κ.λπ.



Σχήμα 7.29 Κεντρικό σύστημα ελέγχου και ρύθμισης συγκροτήματος με μονάδες κλειστού κυκλώματος



Σχήμα 7.30 Εξωτερική εμφάνιση μονάδων κλειστού κυκλώματος



ΑΝΑΚΕΦΑΛΑΙΩΣΗ

- Στον κεντρικό κλιματισμό, οι επιθυμητές συνθήκες του εσωτερικού χώρου εξασφαλίζονται είτε με τοπικές κλιματιστικές μονάδες (TKM) είτε με Κεντρικές Κλιματιστικές μονάδες (KKM).
- Οι TKM παράγουν τον κλιματισμένο αέρα μέσα στον κλιματιζόμενο χώρο. Οι πλέον γνωστές είναι τα Fan Coil Units (FCU), που τροφοδοτούνται με νερό από το κεντρικό συγκρότημα παραγωγής της ψύξης. Έχουν ένα πολύ απλό σύστημα αυτοματισμού, που συνήθως περιορίζεται σε θερμοστάτη, διακόπτη θέρους-χειμώνα και επιλογήα τριών ταχυτήτων του ανεμιστήρα.
- Οι KKM αποτελούν περίπλοκα συγκροτήματα με πολλά είδη εξοπλισμού. Αποστέλλουν αέρα, τον οποίο έχουν επεξεργαστεί (καθαρισμός, ψύξη, αφύγρανση κ.λπ.), στους κλιματιζόμενους χώρους μέσω ενός δικτύου αεραγωγών. Ο αέρας που αποστέλλουν ονομάζεται **πρωτεύων** αέρας, που είναι μίγμα **νωπού** αέρα (από το περιβάλλον) και αέρα που προέρχεται από τους χώρους και ονομάζεται αέρας **ανακυκλοφορίας**. Ο αέρας που απομακρύνεται από τους χώρους ονομάζεται **απαγόμενος** αέρας, μέρος του οποίου είναι ο αέρας ανακυκλοφορίας, ενώ το υπόλοιπο τμήμα του απαγόμενου αέρα αντικαθίσταται από το νωπό αέρα και είναι ο **απορριπτόμενος** αέρας στο περιβάλλον.
- Οι KKM, για να συντονίσουν τη λειτουργία του εξοπλισμού με τον οποίο είναι εφοδιασμένες, συνήθως διαθέτουν ένα περίπλοκο και σοβαρό σύστημα αυτοματισμού, το οποίο στα σύγχρονα συγκροτήματα KKM ελέγχεται από μία ηλεκτρονική συσκευή διαμορφωτικού ελέγχου, τύπου P, PI ή PID.
- Τα σημεία που κυρίως ελέγχονται μέσω μίας KKM είναι η θερμοκρασία του χώρου, η υγρασία του χώρου και η ποιότητα του εσωτερικού αέρα.
- Οι συνθήκες του εσωτερικού χώρου δεν εξασφαλίζονται μόνο μέσω του αυτοματισμού των KKM. Ο αυτοματισμός αυτός μπορεί να ελέγχει τη μέση τιμή της θερμοκρασίας των χώρων, μετρώντας τη θερμοκρασία του απαγόμενου αέρα (ο οποίος είναι μίγμα από τον αέρα όλων των χώρων). Σημασία έχει ακόμη με ποιον τρόπο ο πρωτεύων αέρας θα κατανέμεται σωστά στους κλιματιζόμενους χώρους.

- Η σωστή κατανομή του πρωτεύοντος αέρα στους χώρους είναι πολύ δύσκολη και γίνεται ακόμη δυσκολότερη από τη φυσική αδυναμία μέτρησης της παροχής του αέρα με επαρκή ακρίβεια.
- Τα συστήματα VAV (variable air volume) είναι μία από τις τελευταίες εξελίξεις στον τομέα του κλιματισμού και βασίζονται σε στόμια που το καθένα ελέγχεται με το δικό του σύστημα αυτοματισμού. Αυτά, ανάλογα με το είδος του ελέγχου της ροής του αέρα που εκτελούν, διακρίνονται σε συστήματα παράκαμψης (by pass) ή χαμηλών ταχυτήτων και σε συστήματα αποκοπής (shut off) ή υψηλών ταχυτήτων.
- Στα σύγχρονα κεντρικά συστήματα κλιματισμού συνήθως υπάρχουν διατάξεις κεντρικού ελέγχου, οι οποίες συντονίζουν τόσο το σύστημα VAV των στομιών των αεραγωγών όσο και την ΚΚΜ, καθώς και το συγκρότημα παραγωγής της ψύξης. Στις εγκαταστάσεις αυτές πάντοτε υπάρχει ένας κεντρικός ελεγκτής και η επικοινωνία με τους αισθητήρες και τους ενεργοποιητές μπορεί να γίνεται μέσω ενός εσωτερικού δικτύου (LAN).
- Υπάρχουν και αντίστοιχα συστήματα συντήρησης, μέσω κεντρικού ελέγχου, με τα οποία γίνεται η έγκαιρη διαπίστωση των βλαβών ή των δυσλειτουργιών στα κρίσιμα σημεία της όλης εγκατάστασης.
- Στις μικρότερες αλλά σύγχρονες εγκαταστάσεις, ο κεντρικός έλεγχος της σωστής λειτουργίας και της συντήρησης μπορεί να εξασφαλίζεται και από ένα κέντρο ελέγχου, το οποίο να βρίσκεται μακριά, σε διαφορετικό κτήριο, το οποίο να επικοινωνεί με την εγκατάσταση μέσω modem.



ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ

1. Στο κτήριο που είσαστε συντηρητής, κατά το καλοκαίρι, σε κάποιο χώρο που κλιματίζεται από ένα FCU, δεν αντιμετωπίσαν κανένα πρόβλημα κλιματισμού. Το χειμώνα όμως σας διαμαρτύρονται ότι κρυώνουν. Πριν αρχίσετε να ψάχνετε για βλάβες, τι θα πρέπει να ελέγξετε πάνω στον πίνακα ελέγχου του FCU;
 2. Πότε πιστεύετε ότι έχετε καλύτερο έλεγχο της θερμοκρασίας στο χώρο ενός FCU: Όταν υπάρχει ενσωματωμένος θερμοστάτης ή όταν ο θερμοστάτης είναι ανεξάρτητος σε κάποιον τοίχο μακριά από τα FCU;
 3. Υπάρχει τρόπος να μη χρειάζεται το FCU διακόπτη θέρους-χειμώνα, αλλά να αντιλαμβάνεται μόνο του την αλλαγή της εποχής;
 4. Ποιος κατά τη γνώμη σας είναι ο καλύτερος τρόπος για να ελέγχει ο θερμοστάτης του FCU τη θερμοκρασία των χώρων και γιατί;
 - Θέτοντας τον ανεμιστήρα του FCU πότε εντός και πότε εκτός λειτουργίας (ON-OFF);
 - Επενεργώντας σε μία δίοδη ή τρίοδη βάνα ON-OFF;
 - Επενεργώντας σε μία δίοδη ή τρίοδη βάνα προοδευτικής λειτουργίας;
 - Επενεργώντας σε μία δίοδη ή τρίοδη βάνα αναλογικής λειτουργίας;
- Σημείωση:** Ο καλύτερος τρόπος δεν θα πρέπει να έχει ως μοναδικό κριτήριο τον καλύτερο έλεγχο θερμοκρασίας, αλλά μπορεί να συμπεριλαμβάνει και το κόστος του εξοπλισμού, τη δυσκολία ελέγχου, την ανάγκη εξειδικευμένου προσωπικού κ.λπ.⁵
5. Να περιγράψετε τον τρόπο λειτουργίας των παρακάτω εξαρτημάτων:
 - Δίοδη βάνα ON-OFF.
 - Δίοδη βάνα ρύθμισης της παροχής νερού, προοδευτικής λειτουργίας.
 - Τρίοδη βάνα που συνδέεται κατά τρόπο ώστε να αυξομειώνεται η παροχή του νερού.

- Τρίοδη βάνα που συνδέεται κατά τρόπο ώστε να ρυθμίζεται η θερμοκρασία του νερού.
 - Τετράοδη βάνα.
6. Από τα παραπάνω τρία εξαρτήματα ελέγχου της ροής, εσείς ποιο θα θεωρούσατε ως το πλέον κατάλληλο για να το χρησιμοποιείτε σε μία εγκατάσταση και γιατί;⁵
 7. Στο τετρασωλήνιο σύστημα FCU, σε ό,τι αφορά τον αυτοματισμό της λειτουργίας, ποια είναι κατά τη γνώμη σας τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα, αν το συγκρίνετε με το απλό δισωλήνιο σύστημα; Τι πιστεύετε ότι εξασφαλίζεται επιπλέον;
 8. Όταν έχουμε απότομη αλλαγή των εποχών, από καλοκαίρι σε χειμώνα και αντιστρόφως, σε τι διαφέρει η λειτουργία του τετρασωληνίου συστήματος FCU από το δισωλήνιο;
 9. Ποιος είναι ο ρόλος των ΚΚΜ και γιατί χρειάζεται εξελιγμένο σύστημα αυτοματισμού για το σωστό έλεγχο της λειτουργίας τους;
 10. Σχεδιάστε την τυπική διάταξη λειτουργίας μίας ΚΚΜ και ονομάστε το κάθε ρεύμα αέρα ανάλογα με την προέλευση και τη χρήση του.
 11. Τι καταλαβαίνετε αν πάνω στο σχέδιο της ΚΚΜ δείτε στο στοιχείο να αναγράφεται το σύμβολο + ή - ή +/-;
 12. Γιατί το στοιχείο αναθέρμανσης της ΚΚΜ ενδέχεται να χρειάζεται να είναι διαφορετικό από το στοιχείο της θέρμανσης; Τι πρόβλημα μπορεί να δημιουργηθεί;
 13. Έστω ότι ένα σύστημα παρουσιάζει πρόβλημα λόγω χρήσης του στοιχείου θέρμανσης ως στοιχείου αναθέρμανσης κατά το καλοκαίρι. Ο ενεργοποιητής επενεργεί σε μία τρίοδη βάνα και λαμβάνει εντολή από έναν ελεγκτή τύπου P. Πώς φαντάζεστε ότι θα είναι η συμπεριφορά του ενεργοποιητή;
 14. Ποια είναι τα σημεία που μπορεί να χρειαστεί να ελέγχετε μέσω του αυτοματισμού της ΚΚΜ;

⁵ Όλες οι τεκμηριωμένες απαντήσεις θα πρέπει να θεωρούνται σωστές και είναι αναμενόμενο ότι σε τέτοιου είδους ερωτήσεις θα υπάρχουν διαφορετικές απόψεις. Ο σκοπός της ερώτησης καθώς και άλλων ερωτήσεων που αναφέρονται παρακάτω είναι να σκεφτούν οι μαθητές σε βάθος τα συστήματα ελέγχου, να εντοπίσουν πιθανά προβλήματα που μπορεί να υπάρχουν κ.λπ.

15. Πότε γίνεται καλύτερος έλεγχος της θερμοκρασίας: (α) Όταν η ΚΚΜ έχει στοιχείο άμεσης εκτόνωσης; (β) Όταν έχει στοιχείο νερού;
16. Με ποιον τρόπο μπορούμε να ελέγχουμε την ποιότητα του αέρα του εσωτερικού χώρου; Αν αυτή δεν έχει καλώς (αυξημένο CO₂), τότε τι εντολή θα πρέπει να δίνει ο ελεγκτής του συστήματος;
17. Οι διαφορικοί πρεσοστάτες τι είδους πληροφόρηση μπορούν να μας δώσουν, όταν εφαρμόζονται πάνω στην ΚΚΜ;
18. Έστω ότι σας καλούν να πείτε τη γνώμη σας για κάποιο σύστημα αυτοματισμού σε μία ΚΚΜ.⁶
- (α) Ποιο σύστημα θα προτείνετε:
- Το απλούστερο, ώστε να είναι εύκολη η ρύθμιση και η λειτουργία του;
 - Το πλέον σύγχρονο, με πολλές δυνατότητες, αλλά συγχρόνως περίπλοκο τόσο στη ρύθμιση όσο και στη λειτουργία;
- (β) Ποια θα είναι τα κριτήριά σας βάσει των οποίων θα συνιστούσατε το ένα σύστημα ή το άλλο;
19. Γιατί μία ΚΚΜ δεν μπορεί να ελέγχει τον κλιματισμό σε όλους τους χώρους ενός κτηρίου, μέσω ενός αισθητηρίου που θα τοποθετηθεί σε κάποιον "αντιπροσωπευτικό χώρο";
20. Αναφέρατε τους λόγους για τους οποίους η σωστή ρύθμιση ενός δικτύου αεραγωγών είναι από πολύ δύσκολη έως αδύνατη.
21. Με ποιον τρόπο ο αυτοματισμός ενός στομίου, συστήματος VAV, ρυθμίζει τη θερμοκρασία του χώρου;
- Μετρώντας και ρυθμίζοντας την παροχή του αέρα έτσι ώστε να είναι όση η απαιτούμενη για τις ανάγκες του χώρου;
 - Ελέγχοντας τη θερμοκρασία του χώρου και υπολογίζοντας βάσει αυτής την παροχή του αέρα;
 - Ελέγχοντας τη θερμοκρασία του χώρου και μεταβάλλοντας βάσει αυτής τη θέση ενός τάμπερ, χωρίς να έχει καμία ένδειξη για το μέγεθος της παροχής του αέρα;
22. Τι μπορεί να αντιληφθεί ο ελεγκτής της ΚΚΜ σχετικά με τη θερμοκρασία των κλιματιζόμενων χώρων και με ποιον τρόπο;

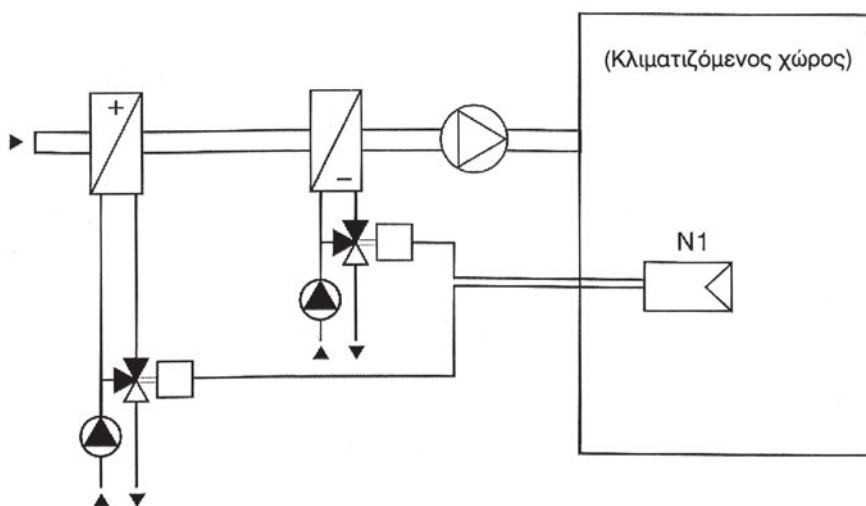
⁶ Κάθε τεκμηριωμένη απάντηση θα πρέπει να θεωρείται σωστή.

23. Ποιο είναι το πρόβλημα το οποίο καλείται να λύσει ένα σύστημα ελέγχου VAV;
24. Έστω ότι κάνετε έρευνα αγοράς για να εγκαταστήσετε ένα σύστημα, με δίκτυο αεραγωγών, σε ένα κτήριο γραφείων που είναι ελεύθερο και από τις 4 πλευρές του (δεν υπάρχουν κτήρια που να είναι σε επαφή μαζί του). Στην προσφορά του ένας εργολάβος αναφέρει ότι είναι σε θέση να κάνει την εγκατάσταση με το κλασικό σύστημα αεραγωγών και ισχυρίζεται ότι είναι σε θέση να επιτύχει την άριστη ρύθμιση των σταθερών στομιών του κτηρίου, χωρίς να χρησιμοποιήσει σύστημα VAV. Σας εγγυάται επίσης ότι είναι απόλυτα σίγουρος για το καλό αποτέλεσμα. Φυσικά η προσφορά του είναι πολύ φθηνότερη από οποιουδήποτε άλλου και είναι ο μειοδότης. Θα του την αναθέσετε τη δουλειά; Ναι ή όχι και γιατί;
25. Ποια είναι τα δύο βασικά συστήματα VAV;
26. Μπορούν τα στόμια ενός συστήματος VAV να λειτουργούν εντελώς ανεξάρτητα το ένα από το άλλο; Ποια είναι τα πιθανά προβλήματα που μπορεί να παρουσιαστούν;
27. Σε τι ωφελούν τα συστήματα κεντρικού ελέγχου της λειτουργίας μίας εγκατάστασης κλιματισμού; Θα ήσασταν υπέρ της εφαρμογής ενός τέτοιου συστήματος στο σύστημα κλιματισμού ενός κτηρίου στο οποίο είσαστε συντηρητής;
28. Πώς επικοινωνούν τα συστήματα κεντρικού ελέγχου με τα αισθητήρια και τους ενεργοποιητές;



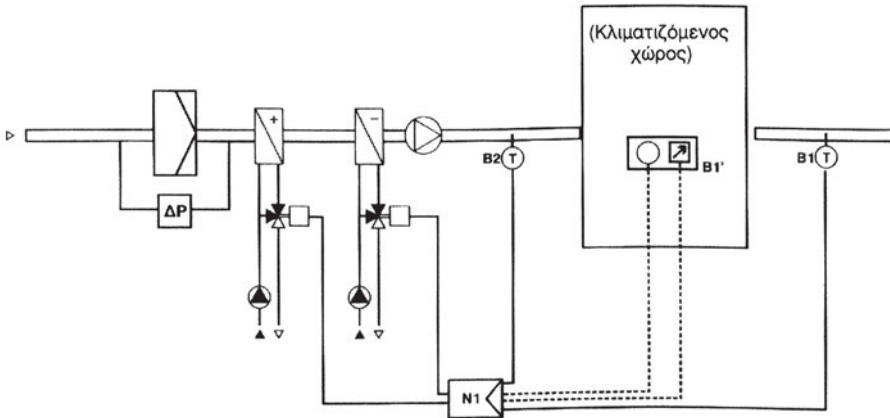
ΑΣΚΗΣΕΙΣ

1. Στο Σχήμα 7.30 ο N1 είναι ένας απλός αναλογικός θερμοστάτης (τύπος P), με δύο αναλογικές εξόδους.
 - Να εξηγήσετε τη λειτουργία του συστήματος αυτοματισμού.
 - Για να αποφασίσετε για τις χαρακτηριστικές καμπύλες των δύο συστημάτων ενεργοποιητή-τρίοδης βάννας, τι επιπλέον στοιχεία θα χρειαστείτε να ζητήσετε;



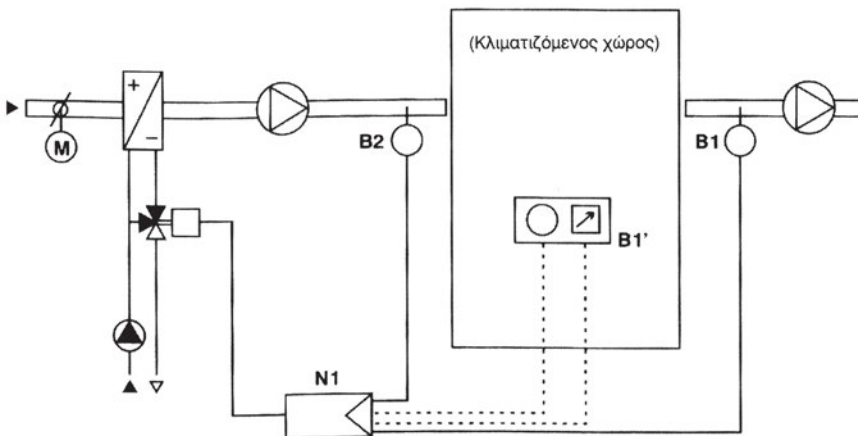
Σχήμα 7.30 Άσκηση 1

2. Στο Σχήμα 7.31 να εξηγηθεί η λειτουργία του συστήματος αυτοματισμού.



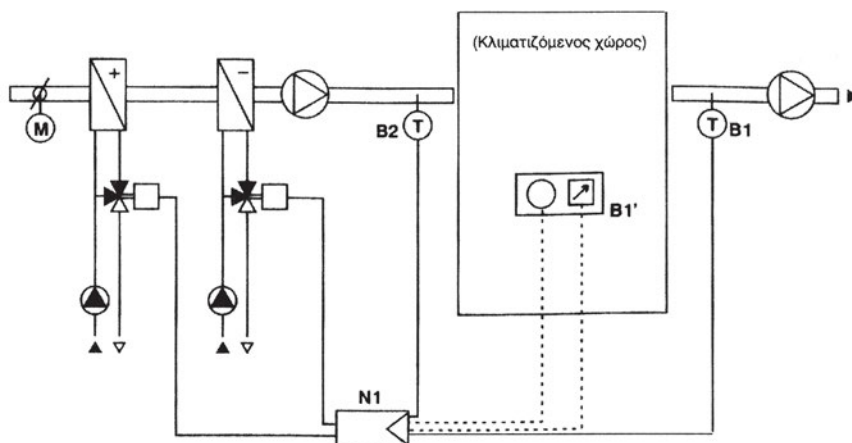
Σχήμα 7.31 Άσκηση 2

3. Στο Σχήμα 7.32 να εξηγηθεί η λειτουργία του συστήματος αυτοματισμού.



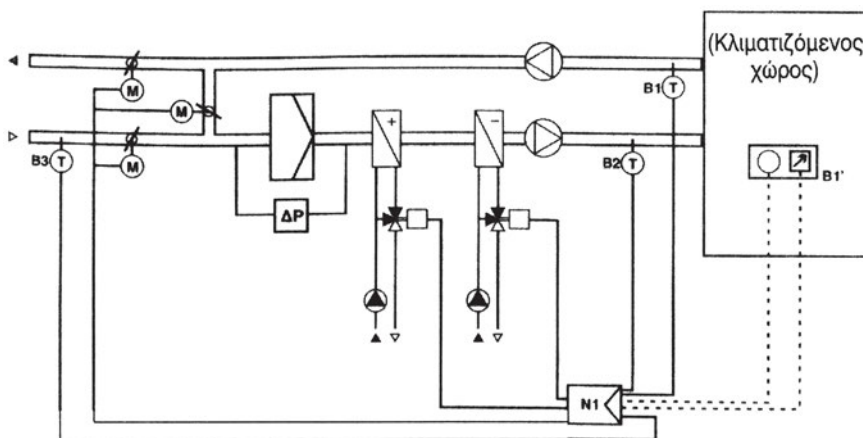
Σχήμα 7.32 Ασκήσεις 3 και 4

4. Στο Σχήμα 7.33 να εξηγηθεί η λειτουργία του συστήματος αυτοματισμού. Τι διαφορές βλέπετε αν το συγκρίνετε με το σύστημα του Σχήματος 7.32; Τι διαφορά θα πρέπει να έχουν οι ελεγκτές (N1) των Σχημάτων 7.32 και 7.33;



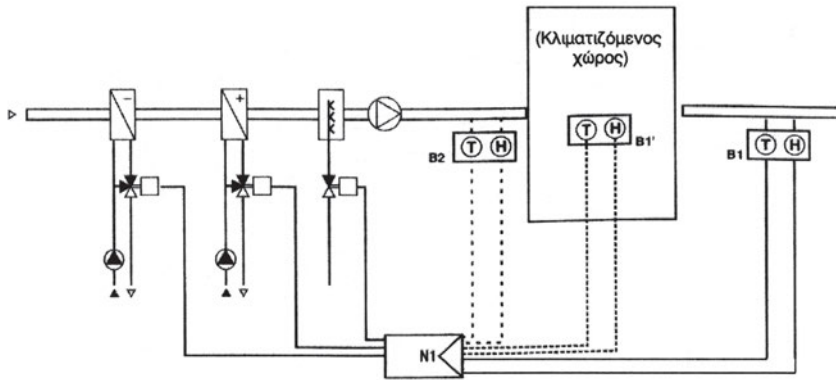
Σχήμα 7.33 Άσκηση 4

5. Στο Σχήμα 7.34 να εξηγηθεί η λειτουργία του συστήματος αυτοματισμού. Πόσες αναλογικές εξόδους πρέπει να έχει ο ελεγκτής N1;



Σχήμα 7.34 Άσκηση 5

6. Στο Σχήμα 7.35 να εξηγηθεί η λειτουργία του συστήματος αυτοματισμού.



Σχήμα 7.35 Άσκηση 6

ΔΙΑΤΑΞΕΙΣ ΑΥΤΟΜΑΤΙΣΜΟΥ ΨΥΚΤΙΚΩΝ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΩΝ

- 8.1 ΤΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΥΤΟΜΑΤΙΣΜΟΥ ΤΩΝ ΨΥΚΤΙΚΩΝ ΚΥΚΛΩΜΑΤΩΝ
- 8.2 ΤΟ ΟΙΚΙΑΚΟ ΨΥΓΕΙΟ
- 8.3 ΤΟ ΨΥΚΤΙΚΟ ΚΥΚΛΩΜΑ
- 8.4 Ο ΑΥΤΟΜΑΤΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΤΟΥ ΨΥΚΤΙΚΟΥ ΚΥΚΛΩΜΑΤΟΣ
- 8.5 Ο ΑΥΤΟΜΑΤΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΤΗΣ ΑΝΤΛΙΑΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ
- 8.6 Η ΡΥΘΜΙΣΗ ΤΗΣ ΠΙΕΣΗΣ ΣΤΟ RECEIVER (HEAD PRESSURE)
- 8.7 Η ΡΥΘΜΙΣΗ ΤΗΣ ΠΙΕΣΗΣ ΣΤΗ ΓΡΑΜΜΗ ΑΝΑΡΡΟΦΗΣΗΣ
- 8.8 Η ΡΥΘΜΙΣΗ ΤΗΣ ΠΙΕΣΗΣ ΣΤΟ ΣΤΡΟΦΑΛΟΘΑΛΑΜΟ ΤΟΥ ΣΥΜΠΙΕΣΤΗ
- 8.9 Η ΑΥΤΟΜΑΤΗ ΡΥΘΜΙΣΗ ΤΟΥ ΦΟΡΤΙΟΥ ΚΑΙ Η ΑΠΟΦΥΓΗ ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑΣ ΠΑΓΟΥ ΣΤΟΝ ΕΞΑΤΜΙΣΤΗ

- 8.10 Η ΑΥΤΟΜΑΤΗ ΑΠΟΠΑΓΟΠΟΙΗΣΗ ΤΟΥ ΕΞΑΤΜΙΣΤΗ
- 8.11 Η ΕΠΑΓΓΕΛΜΑΤΙΚΗ ΨΥΚΤΙΚΗ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ
- 8.12 Ο ΗΛΕΚΤΡΙΚΟΣ ΑΥΤΟΜΑΤΙΣΜΟΣ
- 8.13 Ο ΕΛΕΓΧΟΣ ΤΟΥ ΚΥΚΛΩΜΑΤΟΣ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΣ ΤΟΥ ΝΕΡΟΥ
- 8.14 ΤΟ ΚΥΚΛΩΜΑ ΤΟΥ ΛΑΔΙΟΥ
- 8.15 Ο ΗΛΕΚΤΡΙΚΟΣ ΠΙΝΑΚΑΣ ΑΥΤΟΜΑΤΙΣΜΟΥ
- 8.16 Ο ΗΛΕΚΤΡΙΚΟΣ ΠΙΝΑΚΑΣ ΜΕ PLC
- 8.17 Η ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗ ΣΥΣΚΕΥΗ ΑΝΑΓΝΩΡΙΣΗΣ ΒΛΑΒΩΝ
ΑΝΑΚΕΦΑΛΑΙΩΣΗ
ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ ΚΑΙ ΑΣΚΗΣΕΙΣ



ΕΠΙΔΙΩΚΟΜΕΝΟΙ ΣΤΟΧΟΙ

Στο τέλος αυτού του κεφαλαίου οι μαθητές θα πρέπει να γνωρίζουν τα εξής:

- ✓ Τη λειτουργία του οικιακού ψυγείου.
- ✓ Τη λειτουργία του ψυκτικού κυκλώματος και τα εξαρτήματα αυτοματισμού που μπορεί να συναντήσουμε πάνω σε αυτό.
- ✓ Τα συστήματα αυτοματισμού της λειτουργίας των ψυκτικών κυκλωμάτων.
- ✓ Το κλασικό ηλεκτρικό σύστημα αυτοματισμού ενός ψυκτικού μηχανήματος κατασκευασμένο αποκλειστικά από ηλεκτρικά ρελέ.
- ✓ Τη λειτουργία ενός αντίστοιχου ψυκτικού κυκλώματος με σύστημα PLC.
- ✓ Τι είναι τα ηλεκτρονικά συστήματα διάγνωσης βλαβών των ψυκτικών μηχανημάτων.

8.1 Τα συστήματα αυτοματισμού των ψυκτικών κυκλωμάτων

Στο κεφάλαιο 6, και συγκεκριμένα στον Πίνακα 6-1 κάναμε διάκριση των αυτοματισμών σε δύο μεγάλες κατηγορίες:

- Ελέγχου των συνθηκών των χώρων
- Λειτουργίας και προστασίας

Οι αυτοματισμοί των ψυκτικών κυκλωμάτων ανήκουν κυρίως στη δεύτερη κατηγορία και έχουν σκοπό τον έλεγχο της λειτουργίας και την προστασία του εξοπλισμού από τυχόν βλάβη. Πολλά από αυτά είναι ανοικτού βρόχου, δηλαδή δίνουν μία εντολή και δεν δέχονται απάντηση για τα αποτελέσματά της.

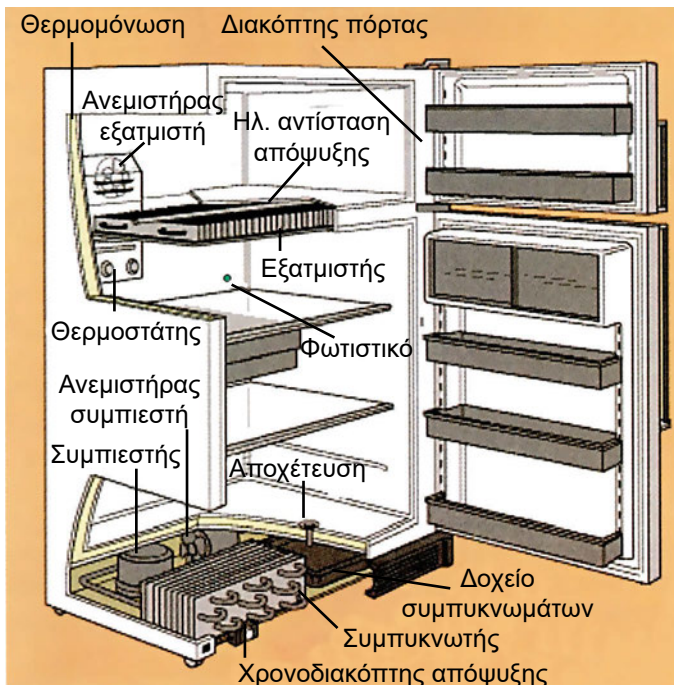
Τα ψυκτικά κυκλώματα περιλαμβάνουν δύο επιμέρους συστήματα αυτοματισμού, που λειτουργούν σχεδόν ανεξάρτητα το ένα από το άλλο και τα οποία είναι τα εξής:

- Ο αυτοματισμός του ψυκτικού κυκλώματος, ο οποίος αποτελεί τυπικό παράδειγμα αυτοματισμού όπου το μέσο που χρησιμοποιείται για τον έλεγχο της λειτουργίας του είναι το ίδιο το ψυκτικό ρευστό. Σχετικός με αυτό είναι και ο Πίνακας 6-2, περίπτωση 3, όπου τα συστήματα αυτοματισμού έχουν καταταχτεί βάσει του μέσου που χρησιμοποιούν για τη λειτουργία τους.
- Ο αυτοματισμός του ηλεκτρικού κυκλώματος. Αυτός σκοπό έχει κυρίως τη λειτουργία του συμπιεστή, καθώς και την προστασία του από τυχόν καταστροφή.

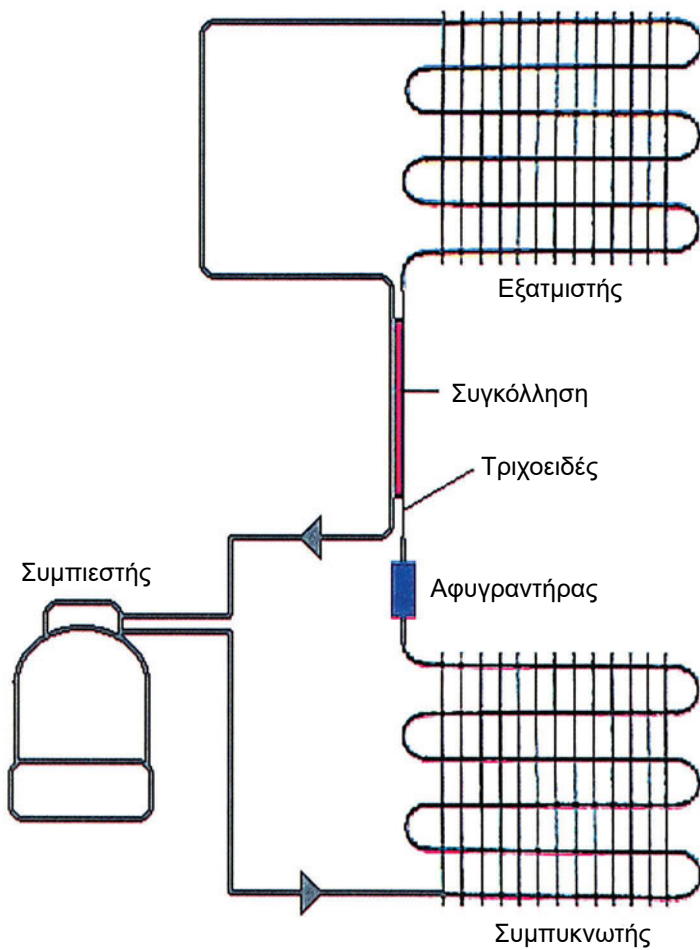
Προτού προχωρήσουμε στην ανάπτυξη των κάπως περίπλοκων συστημάτων αυτοματισμού, θα αναφερθούμε στην πλέον απλή περίπτωση αυτοματισμού ψυκτικού κυκλώματος, που είναι του συνηθισμένου και γνωστού σε όλου μας οικιακού ψυγείου.

8.2 Το οικιακό ψυγείο

Η μορφή του οικιακού ψυγείου είναι όπως φαίνεται στο Σχήμα 8.1. Το ψυγείο, όπως και κάθε άλλο ψυκτικό κύκλωμα, περιλαμβάνει το συμπιεστή, τον εξατμιστή και το συμπυκνωτή. Στο Σχήμα 8.1 μπορείτε να δείτε τις θέσεις στις οποίες τοποθετείται το κάθε ένα από αυτά τα βασικά εξαρτήματα. Εκτός από αυτά υπάρχουν και αρκετά ακόμη εξαρτήματα σε ένα οικιακό ψυγείο, όπως φαίνονται στο σχήμα.



Σχήμα 8.1 Η τυπική μορφή του οικιακού ψυγείου



Σχήμα 8.2 Το ψυκτικό κύκλωμα ενός ψυγείου

Το λειτουργικό διάγραμμα του ψυκτικού κυκλώματος του οικιακού ψυγείου φαίνεται στο Σχήμα 8.2. Το κύκλωμα του ψυγείου δεν χρησιμοποιεί θερμοεκτονωτική βαλβίδα για την πτώση της πίεσης του ψυκτικού υγρού αλλά έναν πολύ λεπτό σωλήνα που αποκαλείται **τριχοειδής**. Στο Σχήμα 8.2, ένα τμήμα του τριχοειδούς σωλήνα είναι συγκολλημένο πάνω στον κρύο σωλήνα που αναχωρεί από τον εξατμιστή. Με αυτό τον τρόπο, ο θερμός τριχοειδής σωλήνας θερμαίνει την επιφάνεια του κρύου σωλήνα, που εξέρχεται από τον εξατμιστή, και εμποδίζει το σχηματισμό συμπυκνωμάτων.

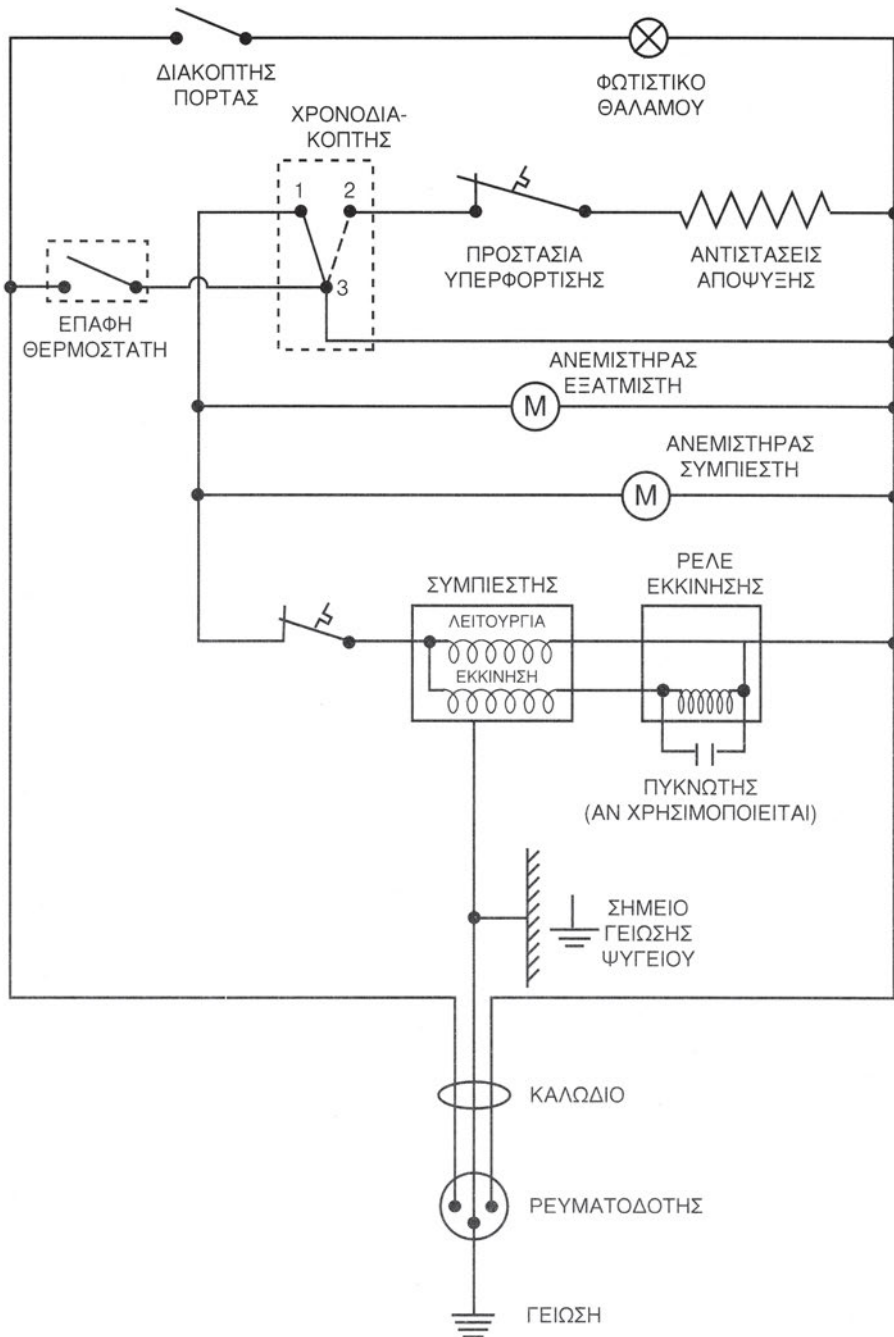
Περαιτέρω διερεύνηση της λειτουργίας (που δεν θα γίνει εδώ), αποδεικνύει ότι με την παραπάνω συγκόλληση του τριχοειδούς σωλήνα βελτιώνεται και η ενεργειακή απόδοση (συντελεστής COP). Δεν θα επεκταθούμε στον τρόπο λειτουργίας και υπολογισμού του τριχοειδούς σωλήνα, επειδή αυτός αποτελεί αντικείμενο της τεχνολογίας της ψύξης. Θα αναφερθούμε μόνο στο σύστημα αυτοματισμού της λειτουργίας του ψυκτικού κυκλώματος.

Η απλότητα του ψυκτικού κυκλώματος κάνει το Σχήμα 8.2 απόλυτα κατανητό. Η ρύθμιση της θερμοκρασίας του ψυγείου γίνεται με τη βοήθεια ενός θερμοστάτη, ο οποίος δίνει εντολή στο συμπιεστή να σταματήσει τη λειτουργία του, όταν η θερμοκρασία έχει φθάσει στην επιθυμητή τιμή, και να εκκινήσει πάλι όταν θα έχει πέσει κάτω από κάποιο ελάχιστο όριο. Ο χρονοδιακόπτης απόψυξης, κατά διαστήματα, προκαλεί την απόψυξη του ψυγείου, διακόπτοντας τη λειτουργία του ψυκτικού κυκλώματος και θέτοντας σε λειτουργία την ηλεκτρική αντίσταση απόψυξης.

Την τυπική ηλεκτρική συνδεσμολογία του οικιακού ψυγείου τη βλέπουμε στο Σχήμα 8.3. Η λειτουργία, συνοπτικά, έχει ως εξής:

- Όλα ελέγχονται από το θερμοστάτη, εκτός από το φωτάκι του θαλάμου του ψυγείου. Όταν η επαφή του θερμοστάτη είναι ανοικτή, τότε δεν μπορεί να λειτουργήσουν ούτε ο συμπιεστής αλλά ούτε και οι αντιστάσεις απόψυξης.
- Ο χρονοδιακόπτης ελέγχει ένα μεταγωγικό διακόπτη, δηλαδή μία ηλεκτρική επαφή δύο θέσεων. Όταν ο μεταγωγικός διακόπτης είναι στην κανονική του θέση 1-3, επιτρέπει τη λειτουργία του συμπιεστή και αποκλείει τη λειτουργία της αντίστασης απόψυξης. Το αντίθετο ακριβώς συμβαίνει όταν η επαφή του χρονοδιακόπτη, κάποια στιγμή, μετακινηθεί στη θέση 2-3 (αυτόματη απόψυξη).

Τόσο ο συμπιεστής, όσο και η αντίσταση απόψυξης προστατεύονται από τα τυχόν ισχυρά ρεύματα, που θα προκαλούσαν την καταστροφή τους, μέσω των διακοπών που βλέπουμε στο Σχήμα 8.3. Οι διακόπτες που συμβολίζονται με αυτό τον τρόπο ονομάζονται **διακόπτες θερμικής προστασίας**. Για την εκκίνηση του συμπιεστή, ο οποίος κινείται από μονοφασικό κινητήρα, υπάρχει το ρελέ εκκίνησης. Τέλος, όλα τα μεταλλικά μέρη του ψυγείου είναι ενωμένα στο σημείο γείωσης, για την προστασία σε περίπτωση βραχυκυκλώματος. Αν τυχόν συμβεί κάποιο βραχυκύκλωμα, θα καεί η ασφάλεια ή θα πέσει ο μικροαυτόματος του κεντρικού πίνακα της κατοικίας.



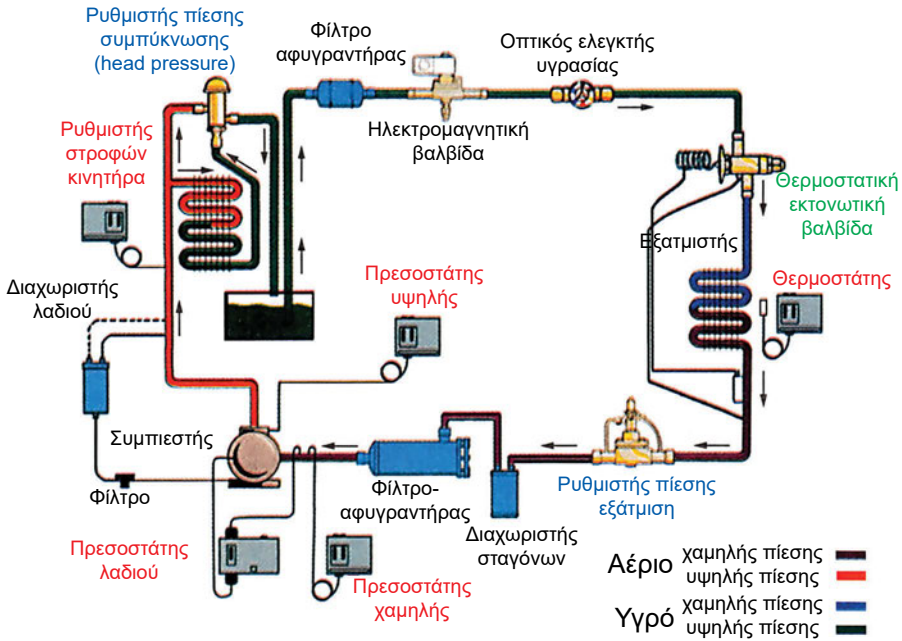
Σχήμα 8.3 Το τυπικό ηλεκτρικό διάγραμμα του οικιακού ψυγείου

8.3 Το ψυκτικό κύκλωμα

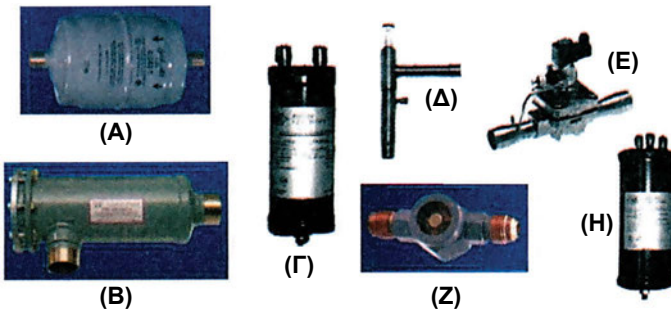
Η λεπτομερής ανάπτυξη όλων των εξαρτημάτων των ψυκτικών κυκλωμάτων είναι αντικείμενο του μαθήματος της τεχνολογίας της ψύξης. Το αντικείμενό μας, στο μάθημα αυτό, είναι οι αυτοματισμοί της λειτουργίας και γι' αυτό το λόγο, το ψυκτικό κύκλωμα θα το μελετήσουμε μόνο από την πλευρά των αυτοματισμών του. Αλλά για να μην υπάρχουν κενά που θα δυσκόλευαν στην κατανόηση του κειμένου, όπου χρειάζεται, θα γίνεται αναφορά και στα υπόλοιπα εξαρτήματα, έστω και αν αυτά δεν συμμετέχουν στον αυτοματισμό. Η αναφορά αυτή θα είναι πάρα πολύ συνοπτική και δεν παρεκκλίνουμε από το στόχο μας, δηλαδή από την ανάπτυξη των τεχνικών του αυτοματισμού των ψυκτικών κυκλωμάτων.

Η τυπική μορφή του ψυκτικού κυκλώματος φαίνεται στο Σχήμα 8.4. Τα εξαρτήματα του σχήματος **δεν** είναι όλα όσα μπορούν να συναντηθούν σε ένα ψυκτικό κύκλωμα αλλά μόνο τα απολύτως αναγκαία. Στα κυριότερα εξαρτήματα που συμμετέχουν στον αυτοματισμό του ψυκτικού κυκλώματος του Σχήματος 8.4 έχουν αναγραφεί οι ονομασίες τους με ιδιαίτερα χρώματα (με κόκκινο, πράσινο και μπλε, όπως εξηγείται και στο υπόμνημα του σχεδίου), ενώ τα εξαρτήματα που δεν συμμετέχουν στον αυτοματισμό αναγράφονται με μαύρο χρώμα.

Δεν θα γίνει λεπτομερής αναφορά στην επεξήγηση του Σχήματος 8.4, επειδή, εκτός του ότι είναι αρκετά απλό και αυτονόητο, θα πρέπει να είναι ήδη γνωστό στους μαθητές και από την τεχνολογία της ψύξης. Η λειτουργία των βασικότερων εξαρτημάτων αυτοματισμού που συμμετέχουν σ' αυτό αναπτύχθηκε στο κεφάλαιο 5. Τα κυριότερα από τα υπόλοιπα φαίνονται στο Σχήμα 8.5.



Σχήμα 8.4 Τα βασικά εξαρτήματα του ψυκτικού κυκλώματος ενός αερόψυκτου ψύκτη νερού (chiller). Με **κόκκινο** χρώμα τα εξαρτήματα που συμμετέχουν και στο ηλεκτρικό ή ηλεκτρονικό τμήμα των αυτοματισμού, με **πράσινο** αναφέρεται η θερμοστατική εκτονωτική βαλβίδα και με **μπλε** οι ρυθμιστές πίεσης. Τα υπόλοιπα εξαρτήματα που δεν συμμετέχουν στον αυτοματισμό της λειτουργίας απεικονίζονται με **μαύρο** χρώμα



Σχήμα 8.5 Η εξωτερική εμφάνιση διαφόρων εξαρτημάτων του Σχήματος 8.4: (A) φίλτρο γραμμής υγρού, (B) φίλτρο γραμμής αερίου, (Γ) διαχωριστής σταγόνων ψυκτικού ρευστού (ή δοχείο αναρρόφησης), (Δ) και (E) δύο διαφορετικοί τύποι ρυθμιστών της πίεσης εξόδου του εξατμιστή, (Z) οπτικός ελεγκτής υγρασίας, (H) διαχωριστής λαδιού (έχει τρία σημεία σύνδεσης, ενώ ο διαχωριστής σταγόνων έχει δύο)

Συνοπτικά, για λόγους υπενθύμισης, αναφέρουμε ότι η λειτουργία του ψυκτικού κυκλώματος του Σχήματος 8.4 έχει ως εξής:

- Το ψυκτικό υγρό βρίσκεται συγκεντρωμένο στο δοχείο το οποίο είναι περισσότερο γνωστό με τον αγγλικό όρο **receiver** (συσσωρευτής ψυκτικού υγρού).

¹ Οι ανάγκες σε ψυκτικό υγρό είναι μεταβλητές, ανάλογα με τη θερμοκρασία του περιβάλλοντος αλλά και με τον τρόπο λειτουργίας. Ιδιαίτερα μάλιστα, αν πρόκειται για αντλία θερμότητας, το χειμώνα οι ανάγκες σε ψυκτικό υγρό είναι πολύ μειωμένες. Η απουσία του receiver στα μεγάλα ψυκτικά κυκλώματα μπορεί να δημιουργήσει σοβαρά προβλήματα. Αντίθετα στα μικρά, όπως στα split units, το εξάρτημα αυτό μπορεί να μην είναι απαραίτητο.

- Η απαιτούμενη ποσότητα του ψυκτικού υγρού αποστέλλεται προς τον εξατμιστή, με υψηλή πίεση. Όταν υπάρχει receiver, η αποστολή του ψυκτικού υγρού εξασφαλίζεται από την πίεση που ασκεί το αέριο που υπάρχει, στο πάνω μέρος του receiver. Στη συνέχεια, το υγρό διέρχεται από το φίλτρο, όπου καθαρίζεται και αφαιρείται η τυχόν υγρασία του. Στη θερμοστατική εκτονωτική βαλβίδα, την οποία για συντομία θα τη γράφουμε στη συνέχεια ως **Θ.Ε.Β.**, δημιουργείται η κατάλληλη πτώση πίεσης. Η θερμότητα απάγεται μέσω της εξάτμισης του ψυκτικού υγρού που προκαλείται στον εξατμιστή. Μέσω του **ρυθμιστή πίεσης του εξατμιστή**,² τυπικές μορφές του οποίου βλέπουμε στο Σχήμα 8.5 (Δ και Ε), εξασφαλίζεται ότι η πίεση στην έξοδο του εξατμιστή δεν θα πέσει κάτω από μία ορισμένη τιμή.

Η ηλεκτρομαγνητική βαλβίδα κλείνει όταν ο συμπιεστής είναι εκτός λειτουργίας. Ο έλεγχος της υγρασίας γίνεται από τον οπτικό ελεγκτή, ο οποίος αλλάζει χρώμα όταν το ψυκτικό υγρό περιέχει υγρασία.

- Το αέριο, υπό χαμηλή πίεση, συγκεντρώνεται στον διαχωριστή σταγονιδίων ή δοχείο τροφοδοσίας (accumulator). Η τυχόν αναρρόφηση σταγονιδίων ενδέχεται να προκαλέσει βλάβη στο συμπιεστή. Πριν εισέλθει το αέριο στο συμπιεστή, φιλτράρεται εκ νέου και αφαιρείται η τυχόν υγρασία του. Ο συμπιεστής αναρροφά το αέριο χαμηλής πίεσης και το αποστέλλει στο συμπυκνωτή, με υψηλή πίεση και θερμοκρασία.

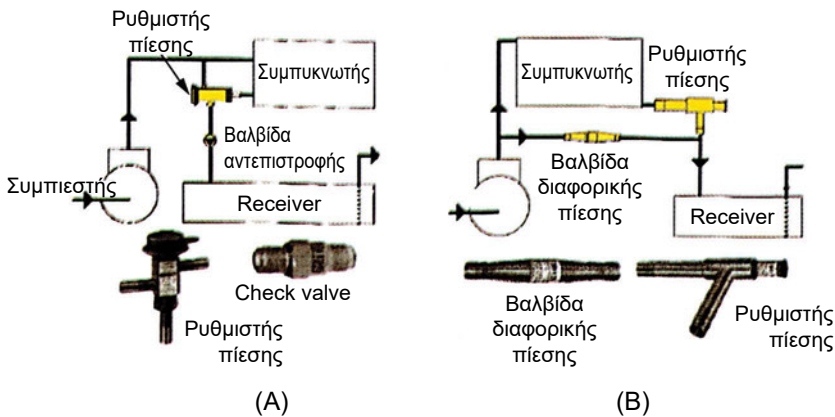
¹ Τα κείμενα με την πλάγια γραφή μπορούν να παραλειφθούν κατά την κρίση του διδάσκοντος. Έχουν συμπεριληφθεί για την περίπτωση που οι μαθητές δεν ενθυμούνται ή δεν έχουν διδαχθεί ακόμη τα αναφερόμενα σ' αυτά.

² Σ' αυτό το σύστημα θα αναφερθούμε και αργότερα με λεπτομέρειες, κατά την ανάπτυξη των συστημάτων αυτοματισμού του ψυκτικού κυκλώματος.

Το λιπαντικό λάδι και το αέριο, στο συμπιεστή συνυπάρχουν στο ίδιο περιβάλλον και διαχωρίζονται μέσω του διαχωριστή λαδιού.

- Στο συμπυκνωτή ψύχεται το ψυκτικό ρευστό, οπότε υγροποιείται και μετά συγκεντρώνεται στο receiver. Στα αερόψυκτα συστήματα, όταν η παροχή ψύξης είναι απαραίτητη και κατά το χειμώνα (π.χ. στους ψυκτικούς θαλάμους), πρέπει να υπάρχει και ένας ρυθμιστής για τη διατήρηση της **αρχικής πίεσης** (head pressure), δηλαδή της πίεσης που επικρατεί στο receiver, σε μία ελάχιστη τιμή. Η αντιμετώπιση των πτώσεων πίεσης στο ψυκτικό κύκλωμα καθιστά απαραίτητη την ύπαρξη μίας ελάχιστης πίεσης στο receiver, η οποία αποτελεί προϋπόθεση για τη σωστή λειτουργία του ψυκτικού κυκλώματος.

Ο ρυθμιστής της αρχικής πίεσης³ χρειάζεται επειδή η θερμοκρασία του αέρα το χειμώνα είναι πολύ χαμηλή. Όταν η θερμοκρασία του αέρα πέσει κάτω από κάποια τιμή, θα πέσει και η θερμοκρασία συμπύκνωσης κάτω από ένα ελάχιστο επιτρεπόμενο όριο. Με το ρυθμιστή πίεσης, εξασφαλίζεται ότι θα υπάρχει πάντοτε η ελάχιστη απαιτούμενη πίεση για τη λειτουργία του ψυκτικού κυκλώματος. Αυτό επιτυγχάνεται παρακάμπτοντας μία ποσότητα αερίου και στέλνοντάς την απευθείας στο receiver, ανεβάζοντας την πίεση στο χώρο του receiver, οπότε εξαναγκάζεται και ο συμπιεστής να λειτουργεί σε μεγαλύτερη πίεση.

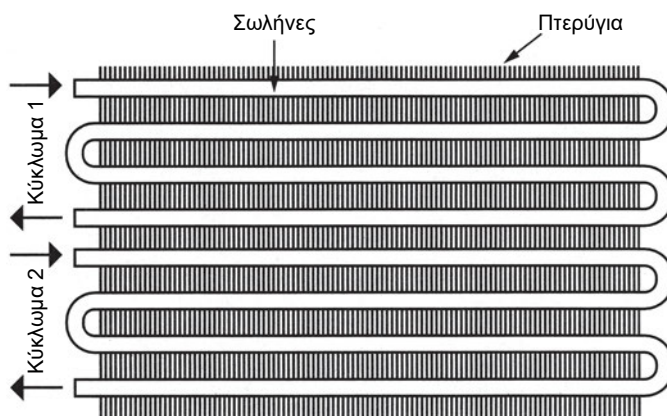


Σχήμα 8.6 Συστήματα ρύθμισης της ελάχιστης πίεσης στην έξοδο του συμπυκνωτή: (A) από την πλευρά του αερίου (η βαλβίδα αντεπιστροφής συχνά δεν χρειάζεται), (B) από την πλευρά του υγρού

³ Σ' αυτό το σύστημα θα αναφερθούμε και στους αυτοματισμούς του ψυκτικού κυκλώματος.

8.4 Ο αυτοματισμός της λειτουργίας του ψυκτικού κυκλώματος

Το κυριότερο εξάρτημα που συναντάμε είναι προφανώς η Θ.Ε.Β., της οποίας η λειτουργία αναπτύχθηκε στο κεφάλαιο 5. Η Θ.Ε.Β. του Σχήματος 8.4 είναι με εξωτερικό εξισωτή. Η ελεγχόμενη παράμετρος, σε τελευταία ανάλυση, είναι το μήκος του σωλήνα μέσα στο οποίο λαμβάνει χώρα η υπερθέρμανση του ψυκτικού ρευστού. Το μήκος αυτό του σωλήνα θέλουμε να το διατηρήσουμε κατά το δυνατό μικρότερο επειδή το τμήμα του εξατμιστή, στο οποίο έχουμε αποκλειστικά και μόνο αέριο, μας είναι σχεδόν άχρηστο.



Σχήμα 8.7 Τα κυκλώματα ενός εναλλάκτη θερμότητας (σε τομή)

Το ψυκτικό ρευστό μετά την έξοδό του από τη Θ.Ε.Β. κατανέμεται στα κυκλώματα του εξατμιστή. Ένας εξατμιστής μπορεί να έχει περισσότερα του ενός κυκλώματα, όπως φαίνεται στο Σχήμα 8.7, όπου βλέπουμε τι εννοούμε με τον όρο κυκλώματα.

Για την κατανομή του ψυκτικού υγρού στα κυκλώματα, χρησιμοποιούνται τα εξαρτήματα που ονομάζονται διανομείς. Τέτοιο εξάρτημα βλέπουμε στα Σχήματα 8.8^A και 8.8^B, ενώ στο Σχήμα 8.8^Γ βλέπουμε μία Θ.Ε.Β. με το διανομέα απευθείας συνδεδεμένο πάνω στη Θ.Ε.Β.

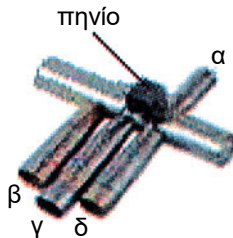


Σχήμα 8.8 Ο διανομέας του ψυκτικού ρευστού στα κυκλώματα: (Α) τυπική εξωτερική εμφάνιση, (Β) σε τομή, (Γ) τοποθετημένος απευθείας πάνω στη Θ.Ε.Β.

8.5 Ο αυτοματισμός της λειτουργίας της αντλίας θερμότητας

Ο αυτοματισμός της λειτουργίας του ψυκτικού κυκλώματος των αντλιών θερμότητας παρουσιάζει ιδιαίτερο τεχνικό ενδιαφέρον.

Η λειτουργία των αντλιών θερμότητας, θεωρητικά τουλάχιστον, είναι πολύ απλή. Γίνεται αντιστροφή της ροής λειτουργίας και ο συμπυκνωτής γίνεται εξατμιστής, ενώ ο εξατμιστής γίνεται συμπυκνωτής. Η αντιστροφή της λειτουργίας γίνεται μέσω μίας τετράοδης βάνας αντιστροφής (reversing valve), την οποία βλέπουμε στο Σχήμα 8.9. Η λειτουργία της τετράοδης βάνας βασίζεται στο πηνίο το οποίο μετακινεί ένα εσωτερικό έμβολο. Χάρη σ' αυτό το έμβολο η σπή α μπορεί να συνδέεται:

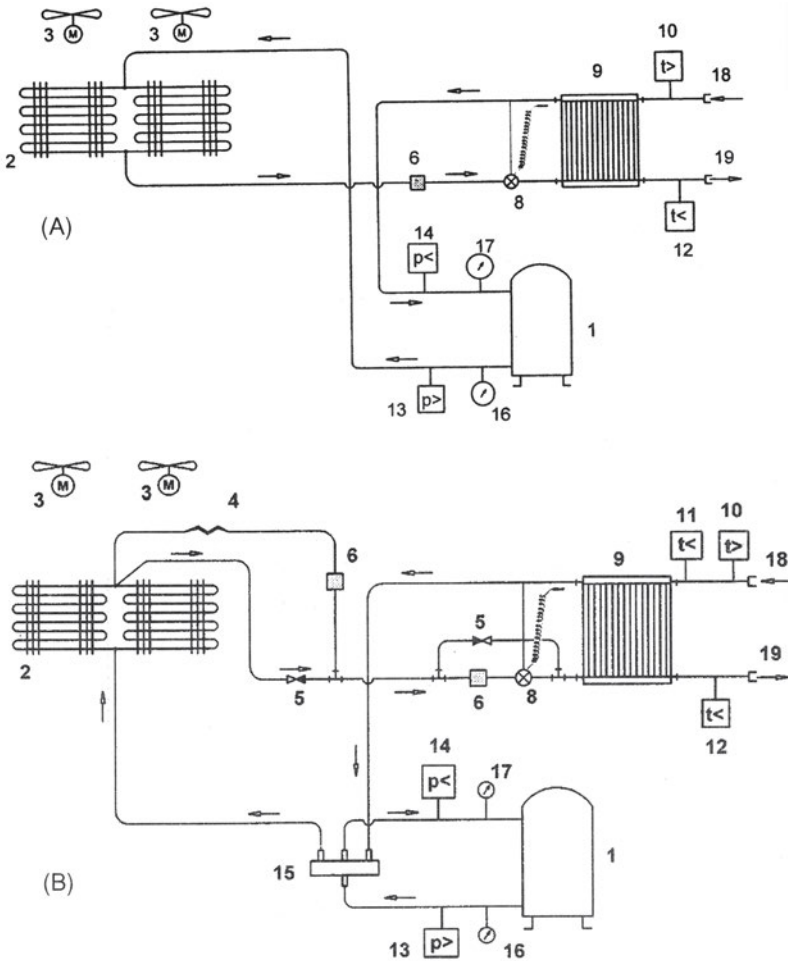


Σχήμα 8.9 Η τετράοδη βάνα

- Είτε με την σπή β, ενώ συγχρόνως οι γ και δ συνδέονται και αυτές μεταξύ τους.
- Είτε με τη δ με αντίστοιχη σύνδεση των β και γ.

Στο Σχήμα 8.10 φαίνεται πώς λειτουργεί ο αυτοματισμός που αναστρέφει τη λειτουργία της αντλίας θερμότητας. Στην περίπτωση (Α) έχουμε το απλό σύστημα ψύξης. Στην περίπτωση (Β) βλέπουμε το ίδιο κύκλωμα, το οποίο λειτουργεί ως αντλία θερμότητας, με την αναστροφή της λειτουργίας. Στο συγκεκριμένο διάγραμμα βλέπουμε ότι κατά την ανάστροφη λειτουργία χρησιμοποιείται τριχοειδές (η παροχή ψυκτικού υγρού κατά το χειμώνα είναι μικρότερη), αλλά αυτό δεν ισχύει πάντοτε. Θα μπορούσε εξίσου καλά να χρησιμοποιείτο μία δεύτερη Θ.Ε.Β.

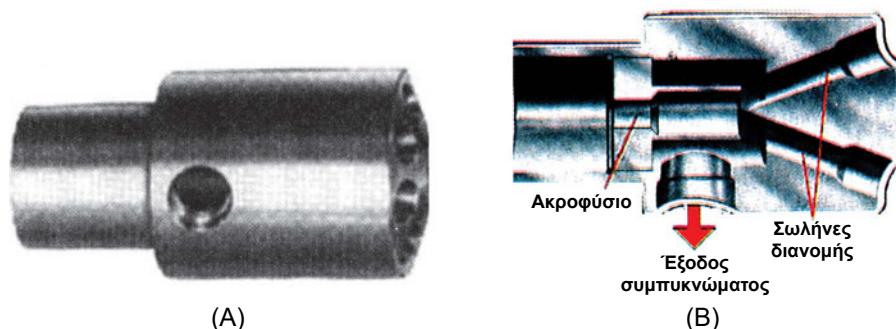
Κατά την αντιστροφή της λειτουργίας, δημιουργείται το πρόβλημα της παράκαμψης της Θ.Ε.Β. και του διανομέα. Το Σχήμα 8.10^β δείχνει παραστατικά τον τρόπο με τον οποίο επιτυγχάνεται η παράκαμψη, όταν έχουμε να κάνουμε **με ένα μόνο κύκλωμα**, οπότε δεν έχουμε ανάγκη από διανομέα. Για να γίνουν καλύτερα αντιληπτές οι διαφορές που υπάρχουν από την απλή λειτουργία της ψύξης, στο Σχήμα 8.10^α φαίνεται πώς είναι το ίδιο κύκλωμα όταν λειτουργεί μόνο σε ψύξη. Προκειμένου να υπάρχει απλότητα στα εν λόγω σχήματα και να επικεντρωθεί η προσοχή στα κύρια σημεία, δεν έχουν αναφερθεί όλα τα εξαρτήματα του κάθε ψυκτικού κυκλώματος (π.χ. το receiver, ο διαχωριστής σταγόνων κ.λπ.), τα οποία όμως είναι αυτονόητο ότι υπάρχουν.



- | | |
|---------------------------------------|--------------------------------|
| 1. Συμπιεστής | 11. Θερμοστάτης ασφαλείας |
| 2. Εναλλάκτης ψυκτικού μέσου-αέρα | 12. Πρεσοστάτης υψηλής πίεσης |
| 3. Ανεμιστήρας | 13. Πρεσοστάτης χαμηλής πίεσης |
| 4. Εκτονωτική διάταξη (Τριχοειδής) | 14. Τετράοδος βαλβίδα |
| 5. Αντεπίστροφη βαλβίδα | 15. Μανόμετρο υψηλής πίεσης |
| 6. Φίλτρο-Αφυγραντής | 16. Μανόμετρο χαμηλής πίεσης |
| 7. Θερμοστατική εκτονωτική βαλβίδα | 17. Είσοδος νερού εγκατάστασης |
| 8. Εναλλάκτης ψυκτικού μέσου-νερού | 18. Έξοδος νερού εγκατάστασης |
| 9. Θερμοστάτης λειτουργίας ψύξης | 19. Θερμοστάτης απόψυξης |
| 10. Θερμοστάτης λειτουργίας θέρμανσης | |

Σχήμα 8.10 Λειτουργία μηχανήματος παραγωγής κρύου νερού και αντλίας θερμότητας: (Α) μηχανήμα που λειτουργεί μόνο σαν ψύκτης νερού, (Β) μηχανήμα που λειτουργεί σαν αντλία θερμότητας. Με την τετράοδη βάνα στη θέση σύνδεσης α→β και δ→γ παράγει κρύο νερό. Στη θέση α→δ και β→γ παράγει ζεστό νερό

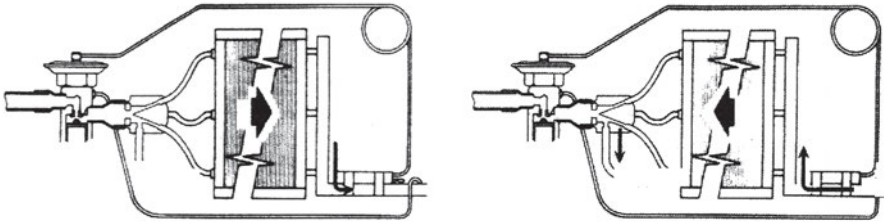
Το πρόβλημα είναι πώς θα επιτευχθεί η παράκαμψη της Θ.Ε.Β. όταν έχουμε επιπλέον στο κύκλωμα και το διανομέα (δηλαδή όταν ο εξαμιστής έχει πολλά κυκλώματα). Στην περίπτωση, όπως φαίνεται και στα Σχήματα 8.8B και 8.11B, υπάρχει μία στένωση (το ακροφύσιο), την οποία παρουσιάζει ο διανομέας πριν από τους σωλήνες που κατανέμουν το ψυκτικό ρευστό στα κυκλώματα. Η στένωση αυτή δεν επαρκεί για να υποδεχτεί την παροχή του ψυκτικού υγρού κατά ανάστροφη λειτουργία του κυκλώματος. Αν επαρκούσε, θα μπορούσε μεταξύ του διανομέα και της Θ.Ε.Β. να παρεμβάλλεται ένας κατάλληλος σωλήνας για την παράκαμψη της Θ.Ε.Β., κατά τον ίδιο τρόπο που γίνεται η παράκαμψη στο Σχήμα 8.10.



Σχήμα 8.11 Ο ειδικός διανομέας που μπορεί να λειτουργεί και ανάστροφα: (A) εξωτερική εμφάνιση, (B) ροή κατά την ανάστροφη λειτουργία

Η δυσκολία της συγκέντρωσης του συμπυκνωμένου ψυκτικού υγρού κατά την ανάστροφη λειτουργία έχει επιλυθεί με διάφορους τρόπους. Ο συνηθέστερος, που έχει και το μικρότερο κατασκευαστικό κόστος (αλλά ίσως όχι και ο καλύτερος⁴), είναι με τη χρήση ενός ειδικού διανομέα, ο οποίος φαίνεται στο Σχήμα 8.11. Ο διανομέας αυτός διαθέτει μία οπή, που παρεμβάλλεται μεταξύ του ακροφυσίου και των σωλήνων διανομής του ψυκτικού υγρού για την απομάκρυνση του ψυκτικού ρευστού κατά την ανάστροφη λειτουργία.

⁴ Ο καλύτερος τρόπος είναι με το συνδυασμό διανομέα και συλλέκτη, αλλά η τεχνική αυτή δεν αναπτύσσεται εδώ επειδή δεν έχει σχέση με τους αυτοματισμούς. Επίσης, χρησιμοποιείται σπάνια λόγω του υψηλού κόστους.



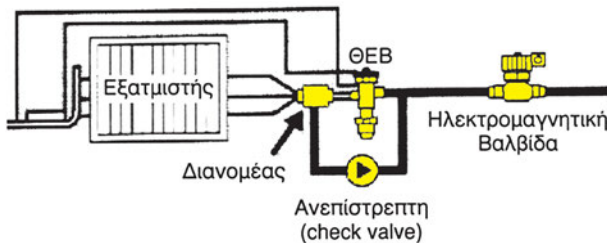
(A) Κανονική λειτουργία

(B) Ανάστροφη λειτουργία

Σχήμα 8.12 Η κανονική και η ανάστροφη λειτουργία του διανομέα του Σχήματος 8.11

Για την αποφυγή της επιστροφής του ρευστού όταν η λειτουργία είναι κατά την κανονική φορά, συνήθως παρεμβάλλεται μία βαλβίδα αντεπιστροφής ή μία ηλεκτρομαγνητική βαλβίδα στην έξοδο του ψυκτικού υγρού από το διανομέα. Στο Σχήμα 8.13 βλέπουμε το κρίσιμο αυτό τμήμα του αυτοματισμού του ψυκτικού κυκλώματος της αντλίας θερμότητας.

Στα μεγάλα μηχανήματα, η τοποθέτηση ενός τριχοειδή σωλήνα στην πλευρά του συμπυκνωτή (για τη λειτουργία του ως εξατμιστή κατά την ανάστροφη λειτουργία), κατά τον τρόπο που φαίνεται στο Σχήμα 8.10B, μπορεί να μην επαρκεί για να γίνεται η εκτόνωση. Οπότε, προφανώς, θα πρέπει να υπάρχει ακόμη ένα τέτοιο σύστημα, στην πλευρά του συμπυκνωτή, που θα λειτουργεί όταν θα έχουμε αναστροφή της λειτουργίας.



Σχήμα 8.13 Η ανάστροφη λειτουργία του ψυκτικού κυκλώματος

Ο ειδικός αυτός διανομέας δεν βρίσκει εφαρμογή μόνο στη συγκέντρωση των συμπυκνωμάτων. Όπως θα δούμε αργότερα, μπορεί η πλάγια σπή να χρησιμοποιείται εξίσου καλά και για την αυτόματη ρύθμιση του φορτίου της εγκατάστασης ή για την αποφυγή δημιουργίας πάγου.

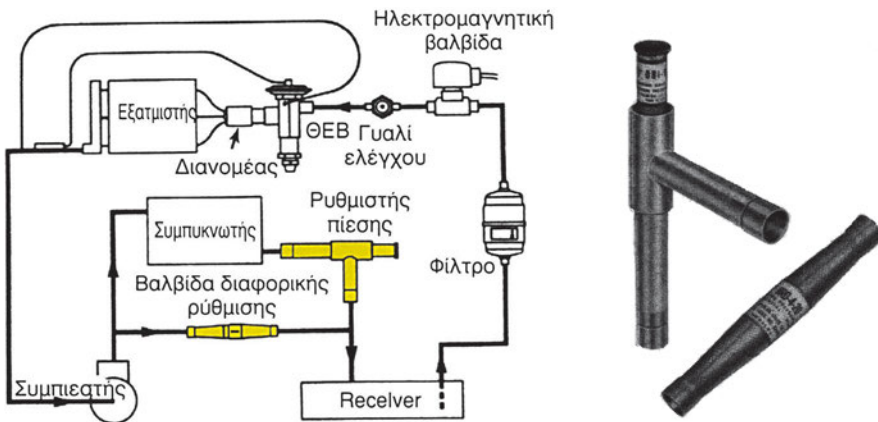
Τέλος ένα σημείο που θα πρέπει να αναφερθεί, αν και δεν έχει άμεση σχέση με τον αυτοματισμό, είναι το μέγεθος του receiver. Κατά το χειμώ-

να η απαιτούμενη ποσότητα του ψυκτικού υγρού είναι μικρότερη από ό,τι κατά το καλοκαίρι. Κατά συνέπεια, τίθεται θέμα αποθήκευσης του πλεονάζοντος ψυκτικού υγρού. Αυτό επιλύεται πολύ απλά με την εγκατάσταση ενός μεγαλύτερου receiver. Δηλαδή, αν έχουμε δύο μηχανήματα όπως αυτά του Σχήματος 8.10, στην πραγματική τους κατασκευή, δεν θα πρέπει να μας προκαλέσει κατάπληξη αν δούμε ότι, ενώ είναι σχεδόν τα ίδια, αυτό που λειτουργεί ως αντλία θερμότητας συμβαίνει να έχει μεγαλύτερο receiver.

8.6 Η ρύθμιση της πίεσης στο receiver (head pressure)

Στο σύστημα αυτής της ρύθμισης αναφερθήκαμε συνοπτικά και στην παράγραφο (8.3). Αν η θερμοκρασία του αέρα το χειμώνα είναι πολύ χαμηλή, υπάρχει κίνδυνος να πέσει και η θερμοκρασία συμπύκνωσης κάτω από ένα ελάχιστο επιτρεπόμενο όριο, με αποτέλεσμα να πέσει και η πίεση στο receiver κάτω από μία ελάχιστη πίεση που είναι απαραίτητη για τη λειτουργία του ψυκτικού κυκλώματος (η εξήγηση του φαινομένου είναι αντικείμενο της τεχνολογίας της ψύξης). Το πρόβλημα αντιμετωπίζεται με το ρυθμιστή της πίεσης στο receiver, την οποία θα την αποκαλούμε και ως **αρχική πίεση** (head pressure).

Στο Σχήμα 8.14, βλέπουμε το σύστημα του ρυθμιστή πίεσης ο οποίος συνδυάζεται με μία διαφορική βαλβίδα ελέγχου της πίεσης. Στο Σχήμα 8.15 βλέπουμε σε τομή το ρυθμιστή πίεσης και τη βαλβίδα διαφορικής ρύθμισης της διάταξης του Σχήματος 8.14.



Σχήμα 8.14 Σύστημα ρύθμισης της αρχικής πίεσης (*head pressure*) με ρυθμιστή πίεσης και βαλβίδα διαφορικής ρύθμισης

Έστω ότι ο ρυθμιστής πίεσης είναι ρυθμισμένος για να ανοίγει στα 800 kPa (= 8 bar). Επίσης η βαλβίδα διαφορικής πίεσης είναι ρυθμισμένη να ανοίγει στα 140 kPa και ως εκ τούτου ρυθμίζει τη διαφορά πίεσης έτσι ώστε αυτή να είναι κάτω από 140 kPa. Τότε το σύστημα του σχήματος θα έχει πάντοτε στο receiver πίεση τουλάχιστον 800 kPa. Η πίεση πριν από το συμπυκνωτή θα είναι το πολύ μέχρι 140 kPa μεγαλύτερη από την πίεση που θα υπάρχει στο receiver. Αν π.χ. η πίεση στο receiver είναι 1000 kPa (= 10 bar), η πίεση πριν το συμπυκνωτή θα είναι μικρότερη από 1140 kPa.

Μονάδες και Σύμβολα

Η τυπική μονάδα μέτρησης της πίεσης στο σύστημα SI είναι το kPa. Στην πράξη όμως, κατά το χρόνο συγγραφής του παρόντος βιβλίου, χρησιμοποιούνταν σχεδόν αποκλειστικά το bar. Ισχύει η σχέση:

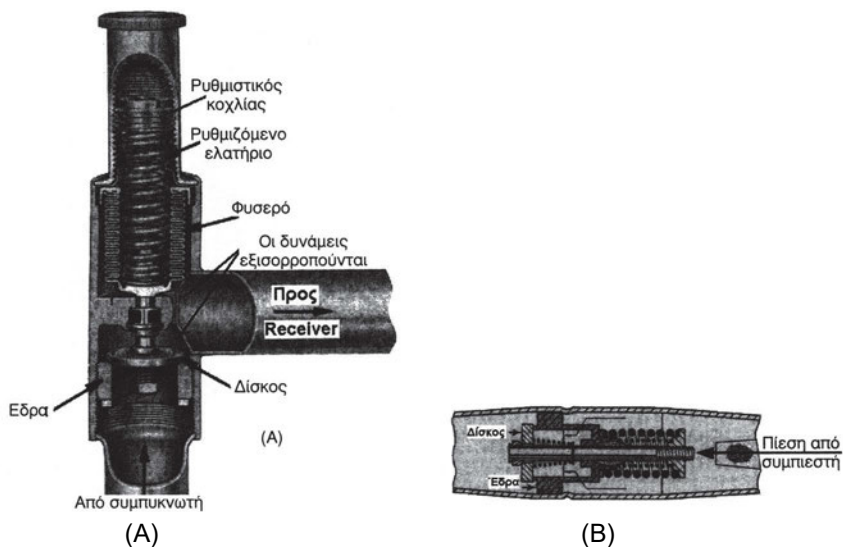
$$1 \text{ bar} = 100 \text{ kPa}$$

Παλαιότερα ήταν σε χρήση το *psi*, που είναι η τυπική μονάδα πίεσης του συστήματος I-P. Ισχύουν οι σχέσεις:

$$1 \text{ bar} = 14,5 \text{ psi}$$

$$1 \text{ psi} = 6,9 \text{ kPa}$$

Οι μονάδες πίεσης που χρησιμοποιούνται στο βιβλίο είναι του συστήματος SI, δηλαδή το kPa. Αν η προτίμηση για τις πιέσεις είναι το bar, η μετατροπή τους είναι εύκολη, απλά διαιρούμε με το 100.



Σχήμα 8.15 Τομές των: (Α) ρυθμιστή πίεσης, (Β) βαλβίδας διαφορικής ρύθμισης

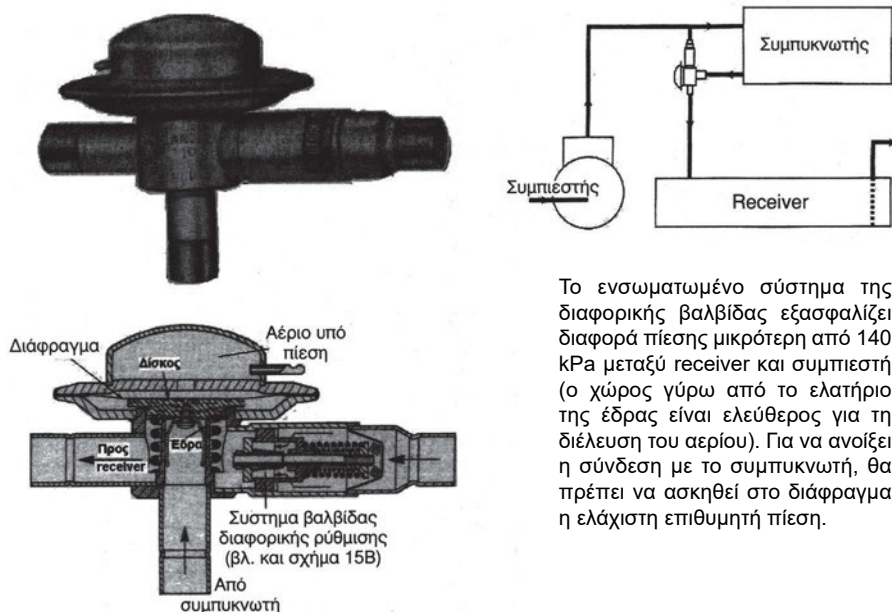
Η βαλβίδα ρύθμισης του Σχήματος 8.15Α παρουσιάζει την ιδιότητα **να μην επηρεάζεται από την πίεση που επικρατεί μέσα στο receiver**. Αυτό συμβαίνει επειδή **η επιφάνεια του φυσερού και η επιφάνεια του δίσκου είναι ακριβώς οι ίδιες**, οπότε οι δυνάμεις που εφαρμόζονται από την πίεση του αερίου που υπάρχει στο receiver αλληλοεξουδετερώνονται.

Αναλυτικότερα, το σύστημα αυτοματισμού λειτουργεί ως εξής:

- Αν κάποια στιγμή η διαφορική πίεση στο receiver πέσει κάτω από 800 kPa, που είναι η αντίσταση του ελατηρίου του ρυθμιστή του Σχήματος 8.15Α, τότε κλείνει ο ρυθμιστής και υποχρεώνει το συμπιεστή να ανεβάσει την πίεση μέχρι που να αρχίσει να ανοίγει, πράγμα που θα αρχίσει να συμβαίνει μόλις η πίεση γίνει πάλι 800 kPa.
- Όσο η διαφορά πίεσης μεταξύ της εισόδου συμπυκνωτή και του receiver είναι μικρότερη από 140 kPa, η βαλβίδα διαφορικής ρύθμισης παραμένει κλειστή. Αν όμως η διαφορά πίεσης μεταξύ της εισόδου του συμπυκνωτή και του receiver φθάσει στα 140 kPa, ανοίγει η βαλβίδα διαφορικής πίεσης και διοχετεύει αέριο με υψηλή πίεση στο receiver, ανεβάζοντας την πίεση. Η βαλβίδα θα κλείσει πάλι μόλις η διαφορά πίεσης πέσει κάτω από 140 kPa.

Ο ρυθμιστής της πίεσης του Σχήματος 8.15Α έχει το ιδιαίτερο χαρακτηριστικό ότι η πίεση στο ρυθμιστή **μπορεί να μεταβάλλεται** με τη βοήθεια

του ρυθμιστικού κοχλίου που φαίνεται στο σχήμα. Η περιοχή ρύθμισής του συνήθως είναι από 450 μέχρι 1550 kPa. Η ρύθμιση από το εργοστάσιο είναι περί τα 800 kPa.



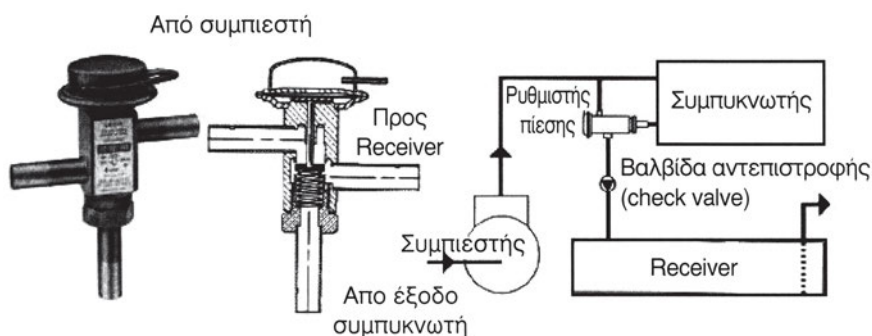
Το ενσωματωμένο σύστημα της διαφορικής βαλβίδας εξασφαλίζει διαφορά πίεσης μικρότερη από 140 kPa μεταξύ receiver και συμπιεστή (ο χώρος γύρω από το ελατήριο της έδρας είναι ελεύθερος για τη διέλευση του αερίου). Για να ανοίξει η σύνδεση με το συμπυκνωτή, θα πρέπει να ασκηθεί στο διάφραγμα η ελάχιστη επιθυμητή πίεση.

Σχήμα 8.16 Το σύστημα ρύθμισης της πίεσης με το ρυθμιστή πριν από το συμπυκνωτή. Οι ρυθμιστές που χρησιμοποιούνται σε τέτοιες διατάξεις είναι σταθερής ρύθμισης της πίεσης

Εκτός από το παραπάνω σύστημα ρύθμισης της αρχικής πίεσης, υπάρχει ένα ακόμη σύστημα στο οποίο ο ρυθμιστής τοποθετείται πριν το συμπυκνωτή. Τη διάταξη αυτή τη βλέπουμε στο Σχήμα 8.16. Με αυτή χρησιμοποιούνται διαφορετικής κατασκευής ρυθμιστές, όπως αυτός που φαίνεται στο Σχήμα 8.16. Η ρύθμιση της πίεσης σ' αυτού του τύπου τους ρυθμιστές **είναι σταθερή από το εργοστάσιο** και ο χρήστης δεν μπορεί να τη μεταβάλλει. Η ρύθμιση εξαρτάται από το είδος του ψυκτικού ρευστού (π.χ. R-22, R-134a, R404A, R407C, R502 κ.λπ.). Κατά την παραγγελία τους πρέπει να καθορίζεται το ψυκτικό ρευστό ή η επιθυμητή πίεση.

Στο Σχήμα 8.17 βλέπουμε έναν άλλο τύπο ρυθμιστή της αρχικής πίεσης, που είναι επίσης κατάλληλος για να τοποθετηθεί πριν από το συμπυκνωτή. Η λειτουργία του είναι πολύ απλή, όπως φαίνεται και από την τομή του σχήματος. Όμως, μετά την έξοδό του με την οποία επικοινωνεί με το receiver πρέπει να παρεμβάλλεται βαλβίδα αντεπιστροφής. Ο λόγος είναι

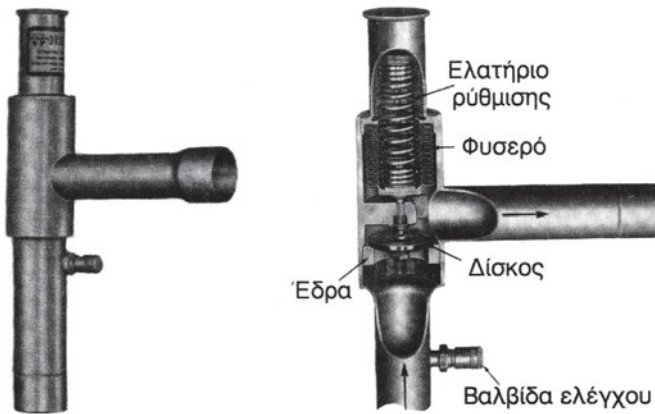
ότι η κατασκευή του είναι τέτοια που δεν απομονώνει το receiver, οπότε μπορεί να υπάρξει επιστροφή του ψυκτικού υγρού όταν ο συμπιεστής είναι εκτός λειτουργίας. Οι ρυθμιστές αυτού του τύπου έχουν επίσης σταθερή ρύθμιση που καθορίζεται από το εργοστάσιο, ανάλογα με το ψυκτικό ρευστό που χρησιμοποιείται.



Σχήμα 8.17 Ρυθμιστής πίεσης με ανεπίστρεπτη βαλβίδα στην έξοδο προς το receiver

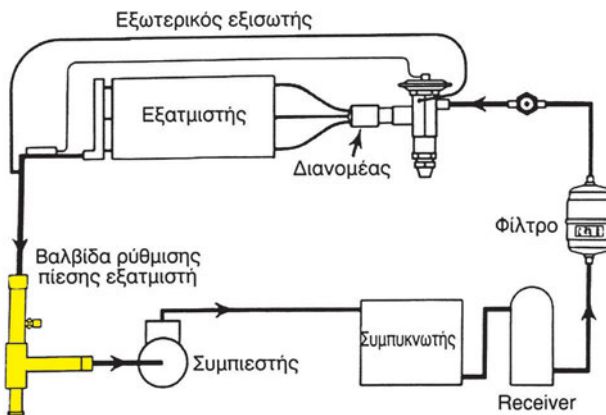
8.7 Η ρύθμιση της πίεσης στη γραμμή αναρρόφησης

Στο ρυθμιστή της πίεσης αναρρόφησης, δηλαδή αμέσως μετά τον εξατμιστή, αναφερθήκαμε συνοπτικά και στην παράγραφο (8.3). Ο σκοπός του είναι να εξασφαλίζει μία ελάχιστη επιθυμητή πίεση στην έξοδο του εξατμιστή, γι' αυτό και οι ρυθμιστές αυτοί ονομάζονται **ρυθμιστές πίεσης του εξατμιστή**. Η απλούστερη μορφή τους φαίνεται στο Σχήμα 8.18. Μοιάζει πολύ με αυτή του ρυθμιστή του Σχήματος 8.15^A, αλλά διαφέρει ως προς την περιοχή ρύθμισης του ελατηρίου, το οποίο ασκεί πολύ μικρότερη δύναμη.



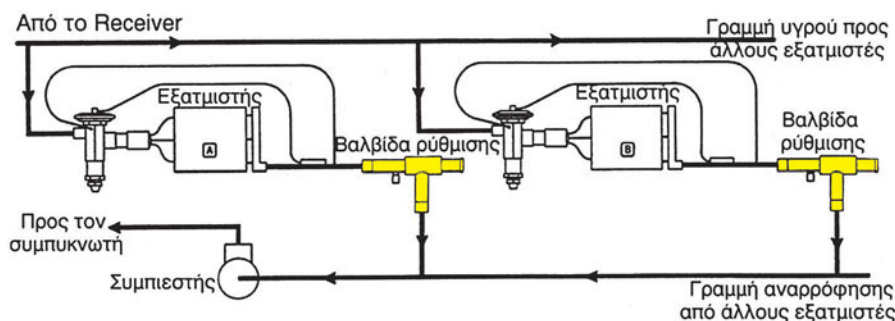
Σχήμα 8.18 Ρυθμιστής ελάχιστης πίεσης αναρρόφησης (έξοδος εξατμιστή)

Το σημείο ρύθμισης συνήθως δεν υπερβαίνει τα 450 kPa και η μέγιστη δυνατή ρύθμιση είναι κάτω από 700 kPa. Στο εμπόριο υπάρχει συνήθως σε δύο τύπους με αντίστοιχες περιοχές ρύθμισης από 0-350 kPa και 200-700 kPa. Η λειτουργία και η σύνδεση του ρυθμιστή του Σχήματος 8.18 φαίνεται στο Σχήμα 8.19.



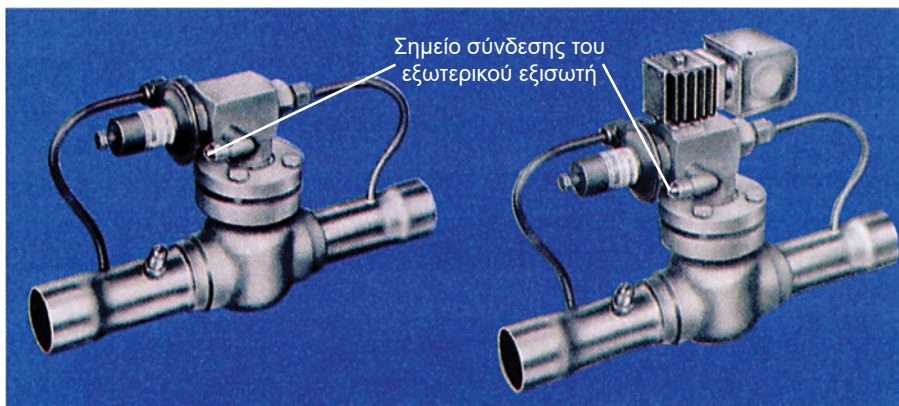
Σχήμα 8.19 Σύνδεση του ρυθμιστή πίεσης του εξατμιστή του Σχήματος 8.18

Ενδιαφέρουσα είναι η περίπτωση κατά την οποία υπάρχουν δύο εξατμιστές στο ίδιο κύκλωμα. Η περίπτωση αυτή φαίνεται στο Σχήμα 8.20.



Σχήμα 8.20 Η παράλληλη σύνδεση ρυθμιστών ελέγχου της πίεσης του εξατμιστή

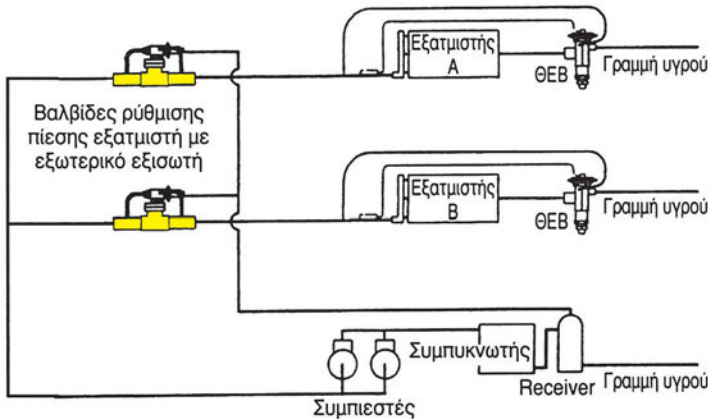
Υπάρχουν ακόμη και ρυθμιστές μέσω των οποίων επιτυγχάνεται η ρύθμιση με μεγάλη ακρίβεια. Τέτοιοι είναι οι ρυθμιστές που φαίνονται στο Σχήμα 8.21. Αυτοί διαθέτουν και εξωτερικό εξισωτή, που βελτιώνει εξαιρετικά την ακρίβεια ρύθμισης, όπως ακριβώς συμβαίνει και με τις Θ.Ε.Β. Οι ρυθμιστές όπως αυτοί του Σχήματος 8.21 έχουν τη δυνατότητα αξιόπιστης ρύθμισης ακόμη και όταν επιδιώκεται ακρίβεια ρύθμισης της τάξεως των 5 kPa.



Σχήμα 8.21 Ρυθμιστής ελάχιστης πίεσης του συμπυκνωτή, υψηλής ακρίβειας ρύθμισης

Η σύνδεση του ρυθμιστή του Σχήματος 8.21^Α φαίνεται στο Σχήμα 8.22. Ο ρυθμιστής του Σχήματος 8.21^Β χρησιμοποιείται στα συστήματα αποπαγοποίησης. Είναι όμοιος με το ρυθμιστή του Σχήματος 8.21^Α, με μόνη

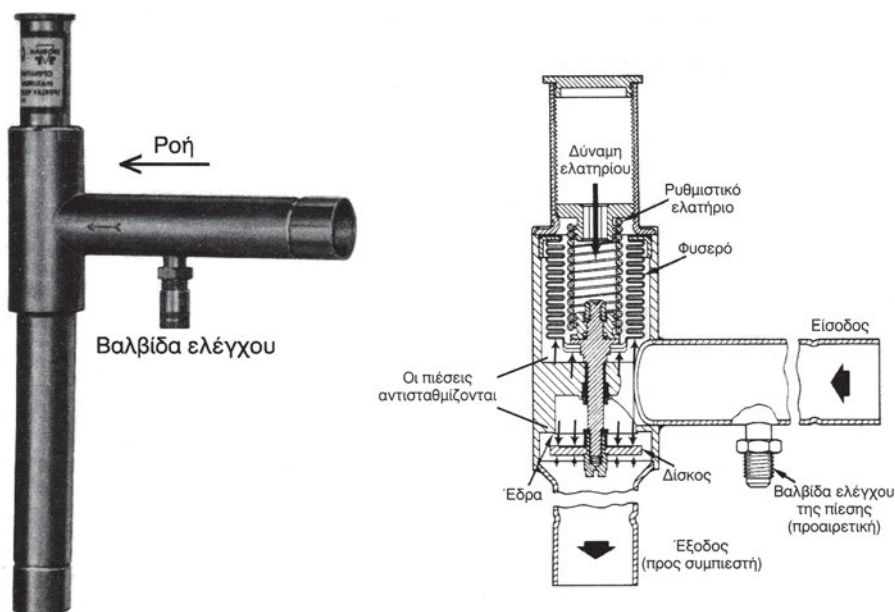
διαφορά ότι η λειτουργία του ελέγχεται επιπλέον και από ένα πηνίο που είναι απαραίτητο για να κλείνει κατά τη λειτουργία της αποπαγοποίησης, την οποία θα δούμε σε επόμενη παράγραφο.



Σχήμα 8.22 Σύνδεση του ρυθμιστή πίεσης του εξατμιστή του Σχήματος 8.21 Α

8.8 Η ρύθμιση της πίεσης στο στροφαλοθάλαμο του συμπιεστή

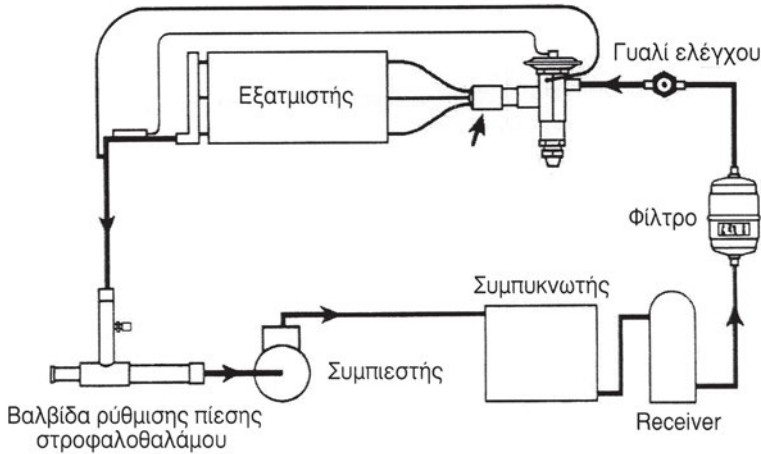
Οι ρυθμιστές αυτού του τύπου φαίνονται στο Σχήμα 8.23. Μοιάζουν με τους ρυθμιστές των Σχημάτων 8.15 και 8.18, αλλά η διαφορά τους είναι ότι η σύνδεσή τους είναι με την αντίστροφη φορά, όπως μπορείτε να αντιληφθείτε συγκρίνοντας τα σχήματα. Επίσης η βαλβίδα ελέγχου της πίεσης (αν υπάρχει) πρέπει να είναι στο άλλο σκέλος από αυτό που βλέπουμε στο Σχήμα 8.18. Η περιοχή ρύθμισής τους, δεν υπερβαίνει τα 750 kPa. Συνήθως ρυθμίζονται σε μία πίεση που αντιστοιχεί σε θερμοκρασία κατά 5°C μεγαλύτερη από τη θερμοκρασία εξάτμισης.



Σχήμα 8.23 Ρυθμιστής πίεσης στροφαλοθαλάμου

Οι ρυθμιστές αυτοί περιορίζουν την υπερφόρτιση του συμπιεστή, ελατώνοντας τη διαφορά πίεσης που έχει να αντιμετωπίσει ο συμπιεστής κατά την εκκίνησή του, μετά από μία περίοδο διακοπής της λειτουργίας. Όπως φαίνεται και από το Σχήμα 8.23, δημιουργείται στην έξοδο της βαλβίδας, δηλαδή στην πλευρά του συμπιεστή, μία ελάχιστη δυνατή πίεση, η οποία ρυθμίζεται από τη δύναμη του ελατηρίου. Η πίεση που υπάρχει στην είσοδο (δηλαδή στην πλευρά του εξατμιστή), επειδή η επιφάνεια του φυσερού και η επιφάνεια του δίσκου είναι ίσες, δεν έχει καμία επίδραση και οι δυνάμεις από την πίεση εισόδου αλληλοεξουδετερώνονται. Ως εκ τούτου, οι μόνες δυνάμεις που επενεργούν είναι του ελατηρίου και της πίεσης του στροφαλοθαλάμου του συμπιεστή.

Η συνδεσμολογία των ρυθμιστών πίεσης του στροφαλοθαλάμου είναι πολύ απλή, όπως φαίνεται και στο Σχήμα 8.24.

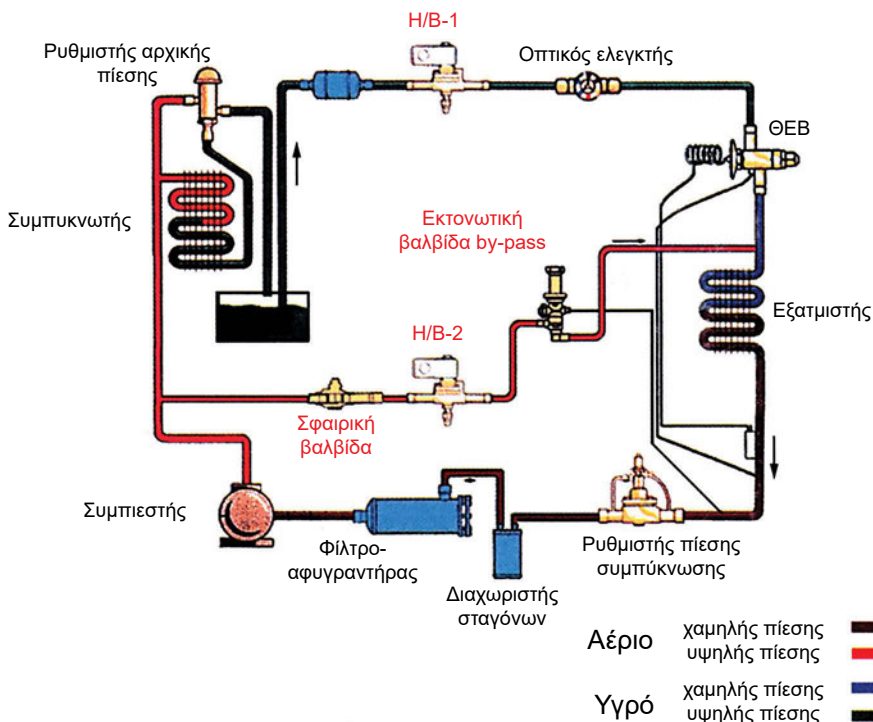


Σχήμα 8.24 Η σύνδεση του ρυθμιστή πίεσης στροφαλοθαλάμου

8.9 Η αυτόματη ρύθμιση του φορτίου και η αποφυγή δημιουργίας πάγου στον εξατμιστή

Τα ψυκτικά κυκλώματα, είτε χρησιμοποιούνται για ψύξη είτε για κλιματισμό, αντιμετωπίζουν δύο βασικά προβλήματα:

- (α) Με ποιον τρόπο θα ρυθμίζεται το φορτίο ανάλογα με τις ανάγκες. Στην ψύξη, το πρόβλημα αυτό συχνά αντιμετωπίζεται πολύ απλά, μόνο με τη διακοπή της λειτουργίας του συμπιεστή. Είναι περισσότερο έντονο στον κλιματισμό, όπου έχουμε συνεχείς και σημαντικές μεταβολές του φορτίου. Ένας τρόπος ελέγχου, που χρησιμοποιείται πολύ στα chillers των κλιματιστικών εγκαταστάσεων, είναι με τη χρήση συστημάτων αποφόρτισης των κυλίνδρων των συμπιεστών (cylinder unloaders), η λειτουργία των οποίων αποτελεί αντικείμενο της τεχνολογίας της ψύξης.
- (β) Με ποιον τρόπο θα αποφευχθεί η δημιουργία πάγου στην επιφάνεια του εξατμιστή, όταν οι θερμοκρασίες που επιζητούμε είναι ιδιαίτερα χαμηλές.



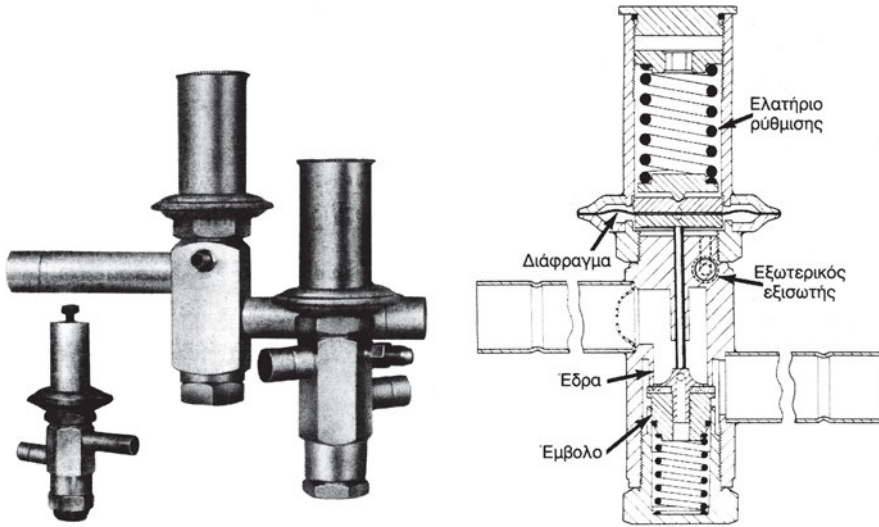
Σχήμα 8.25 Το σύστημα ρύθμισης του φορτίου και αποφυγής δημιουργίας πάγου. Με κόκκινο χρώμα φαίνονται τα τμήματα που συμμετέχουν στη λειτουργία

Τα παραπάνω δύο προβλήματα επιλύονται και με τον κατάλληλο αυτοματισμό στη λειτουργία του ψυκτικού κυκλώματος. Στο Σχήμα 8.25 βλέπουμε τη βασική μορφή που έχει ένα σύστημα που επιτρέπει τον αυτόματο έλεγχο του φορτίου με παράλληλη αποφυγή δημιουργίας πάγου. Αυτό είναι επέκταση του Σχήματος 8.4, που είναι η βασική μορφή του ψυκτικού κυκλώματος το οποίο αναπτύχθηκε στην παράγραφο (8.3). Τα τμήματα τα οποία συμμετέχουν στη λειτουργία του συστήματος φαίνονται στο Σχήμα 8.25 με κόκκινα γράμματα. Για την απλοποίηση του Σχήματος 8.4 οι γραμμές των πρεσοστατών και του διαχωριστή λαδιού, που φαίνονται στο Σχήμα 8.3, έχουν παραλειφθεί.

(α) Η αυτόματη ρύθμιση του φορτίου

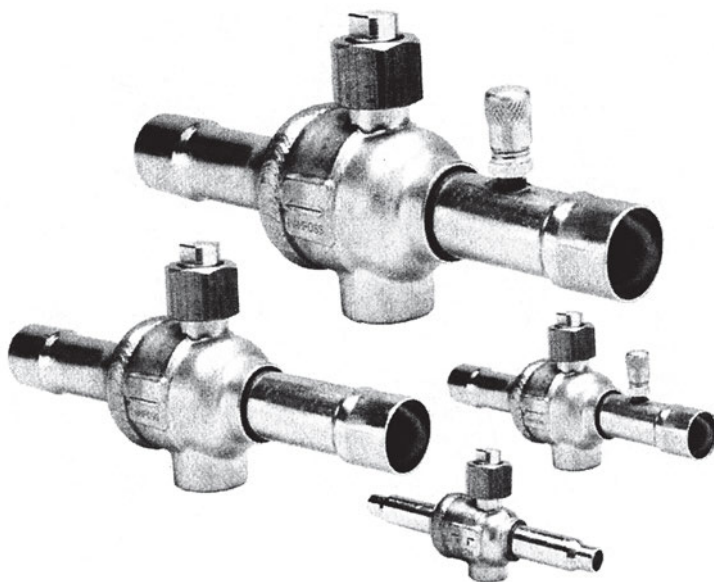
Η λειτουργία ρυθμίζεται μέσω των δύο ηλεκτρομαγνητικών βαλβίδων (H/B). Όταν το σύστημα είναι σε πλήρη λειτουργία, τότε η H/B-1 είναι ανοικτή και η H/B-2 είναι κλειστή, ενώ, όταν γίνεται μόνο αποπαγοποίη-

ση, συμβαίνει ακριβώς το αντίθετο. Το πλέον όμως σύνηθες είναι και οι δύο Η/Β να είναι ανοικτές και το κύκλωμα της Η/Β-1 να στέλνει το ψυκτικό υγρό, ενώ το κύκλωμα της Η/Β-2 να παρακάμπτει θερμό αέριο προς την είσοδο του εξατμιστή, μειώνοντας τη θερμοκρασία του ψυκτικού ρευστού πριν την είσοδό του στον εξατμιστή. Με τον τρόπο αυτό, επιτυγχάνεται η ρύθμιση του φορτίου ανάλογα με τις ανάγκες.



Σχήμα 8.26 Εκτονωτική βαλβίδα παράκαμψης (ή βαλβίδα ρύθμισης φορτίου)

Το καινούριο εξάρτημα του Σχήματος 8.25 είναι η εκτονωτική βαλβίδα παράκαμψης (discharge by-pass), την οποία τη συναντάμε και με την ονομασία ρυθμιστής φορτίου (capacity regulator). Η τυπική μορφή και η τομή της φαίνονται στο Σχήμα 8.26. Η βαλβίδα αυτή φέρει εξωτερικό εξισωτή για τον έλεγχο της πίεσης στην έξοδο του εξατμιστή.



Σχήμα 8.27 Σφαιρικές βαλβίδες (διπλής κατεύθυνσης)

Η σφαιρική βαλβίδα που αναφέρεται στο Σχήμα 8.25 δεν είναι παρά μία χειροκίνητη βαλβίδα με την οποία μπορεί να γίνεται μία επιπλέον ρύθμιση της ροής (χειροκίνητη) ή ακόμη και η πλήρης αποκοπή του συστήματος ρύθμισης του φορτίου. Στο Σχήμα 8.27 φαίνονται τέτοιες βαλβίδες. Ορισμένες από αυτές διαθέτουν και βαλβίδα μέτρησης της πίεσης.

(β) Η αποφυγή δημιουργίας πάγου

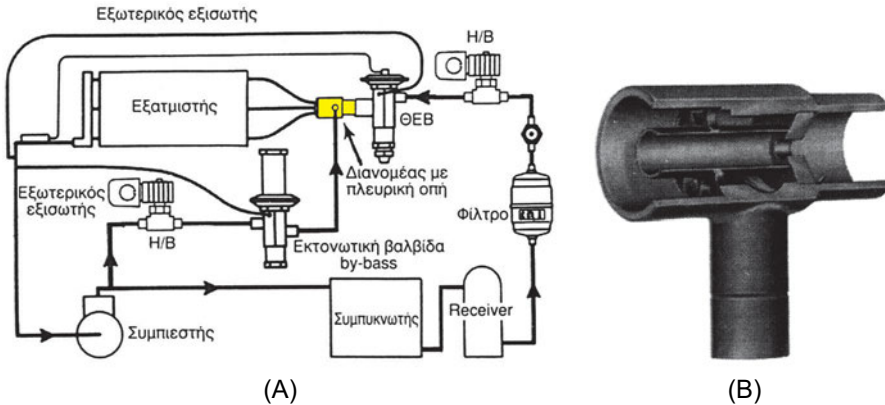
Για να μην έχουμε δημιουργία πάγου, θα πρέπει η θερμοκρασία της εξωτερικής επιφάνειας του στοιχείου να μη βρεθεί κάτω από 0°C . Η θερμοκρασία αυτή είναι πάντοτε πάνω από τη θερμοκρασία του ρευστού στους σωλήνες (αλλιώς δεν θα υπήρχε εναλλαγή θερμότητας). Συνήθως, θερμοκρασία ψυκτικού ρευστού από -2°C μέχρι -4°C επαρκεί για να μην έχουμε δημιουργία πάγου στην επιφάνεια του εξατμιστή. Η θερμοκρασία ελέγχεται έμμεσα, επειδή αντιστοιχεί σε μία συγκεκριμένη τιμή της πίεσης.

Με τον έλεγχο της πίεσης στην έξοδο του εξατμιστή, μέσω του εξωτερικού εξισωτή, επιτυγχάνεται η διατήρηση της θερμοκρασίας εξάτμισης σε επίπεδα στα οποία αποφεύγεται η δημιουργία του πάγου. Η θερμοκρασία αυτή, λόγω της υπερθέρμανσης στην έξοδο του εξατμιστή, είναι μεγαλύτερη από τη θερμοκρασία εξάτμισης, η διαφορά αυτή όμως μας είναι σχεδόν

γνωστή (συνήθως 5°C). Κατά συνέπεια, η εκτονωτική βαλβίδα παράκαμψης μπορεί να ρυθμιστεί κατάλληλα, βάσει αυτής της πίεσης, έτσι ώστε η θερμοκρασία εξατμίσεως να βρίσκεται στην ασφαλή περιοχή, δηλαδή από -2°C μέχρι -4°C .

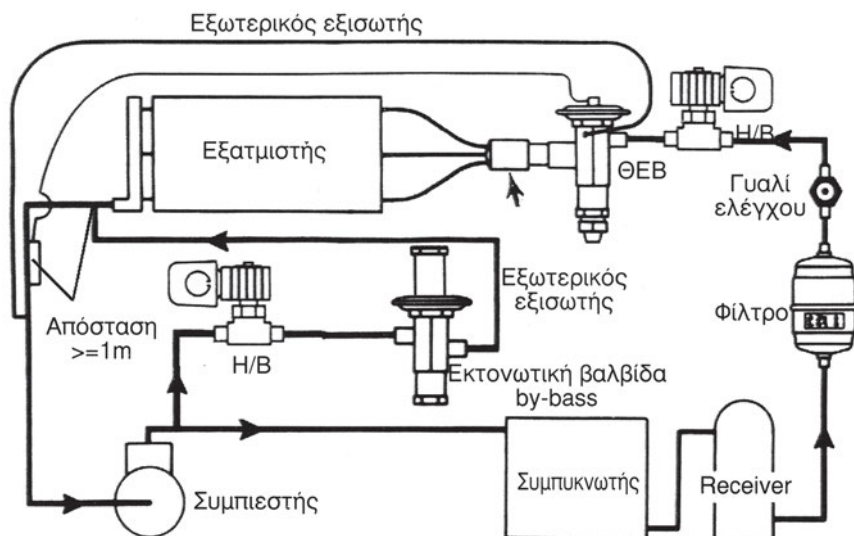
(γ) Δίκτυα με περισσότερα του ενός κυκλώματα

Στο Σχήμα 8.25 έχουμε μόνο ένα κύκλωμα, οπότε δεν χρησιμοποιείται διανομέας.



Σχήμα 8.28 Η ρύθμιση του φορτίου μέσω της πλευρικής οπής του διανομέα: (Α) η σύνδεση στο κύκλωμα, (Β) τομή του διανομέα με πλευρική οπή

Όταν υπάρχουν πολλά κυκλώματα, τότε, τόσο για τη ρύθμιση του φορτίου, όσο και για την προστασία έναντι δημιουργίας πάγου χρησιμοποιείται διανομέας με την πλάγια οπή, όπως αυτός που είδαμε στην παράγραφο (8.5) και στο Σχήμα 8.11. Όπως αναφέραμε, η χρήση του διανομέα αυτού του τύπου δεν περιορίζεται μόνο στις αντλίες θερμότητας. Στο Σχήμα 8.28^Α βλέπουμε την εκτονωτική βαλβίδα παράκαμψης να στέλνει το θερμό αέριο στην οπή του διανομέα. Η κατασκευή του διανομέα επιτρέπει την καλή ανάμειξη του κρύου ρευστού με το θερμό αέριο. Ένας τύπος διανομέα, με πλάγια οπή, που προορίζεται για την ανάμειξη θερμού αερίου με ψυκτικό υγρό φαίνεται σε τομή στο Σχήμα 8.28^Β.



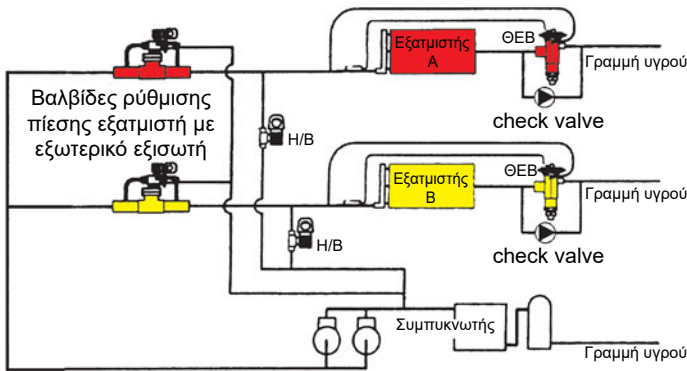
Σχήμα 8.29 Σύστημα με παράκαμψη του θερμού αερίου μετά τον εξισωτή

Αν το σύστημα δεν διαθέτει τον κατάλληλο διανομέα που φαίνεται στο Σχήμα 8.28, αν π.χ. πρόκειται για παλιό σύστημα που προστίθεται η ρύθμιση του φορτίου, υπάρχει δυνατότητα να γίνεται ρύθμιση του φορτίου παρακάμπτοντας το θερμό προς την έξοδο του εξατμιστή (αέριο με υψηλή πίεση). Το σύστημα αυτό φαίνεται στο Σχήμα 8.29 και λειτουργεί ανεβάζοντας την πίεση στην έξοδο του εξατμιστή όταν συμβεί η θερμοκρασία συμπύκνωσης να έχει πέσει κάτω από το όριο ασφαλείας. Αναγκαστικά τότε, το σύστημα θα ανεβάσει την πίεση και στην είσοδο του εξατμιστή, οπότε θα λειτουργήσει σε μεγαλύτερη θερμοκρασία εξάτμισης.

Το σύστημα του Σχήματος 8.29 παρουσιάζει το μειονέκτημα ότι, αν δεν κατασκευαστεί σωστά, μπορεί να προκαλέσει υπερθέρμανση ή ακόμη και καταστροφή του συμπιεστή. Επίσης η απόσταση μεταξύ του βολβού της Θ.Ε.Β. και του εξισωτή της βαλβίδας by-bass θα πρέπει να είναι τουλάχιστον 1 m (καλό είναι να παρεμβάλλεται και κάποια καμπύλη), για να επιτυγχάνεται η καλή ανάμειξη του θερμού και του ψυχρού ρευστού πριν το σημείο όπου δέχεται εντολή η Θ.Ε.Β. Το πλεονέκτημα όμως του συστήματος του Σχήματος 8.29 είναι ότι εφαρμόζεται εύκολα, ακόμη και σε υπάρχοντα συστήματα, καθ' όσον η αντικατάσταση του διανομέα είναι σχεδόν αδύνατη. Συνήθως τα συστήματα αυτού του τύπου λειτουργούν χωρίς προβλήματα.

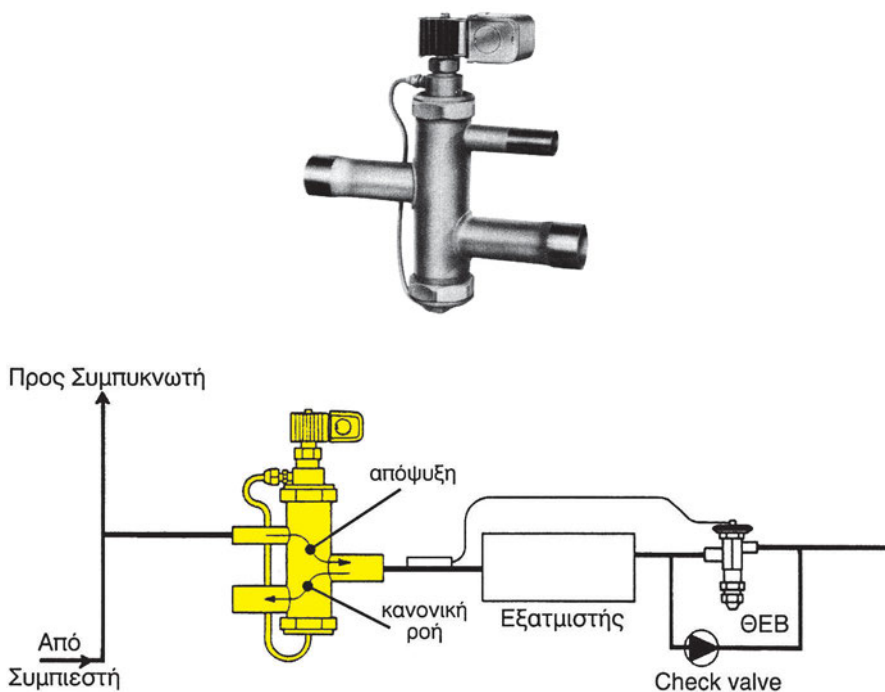
8.10 Η αυτόματη αποπαγοποίηση του εξατμιστή

Όταν η λειτουργία της ψύξης γίνεται σε πολύ χαμηλές θερμοκρασίες, ο εξατμιστής είναι αναπόφευκτο να συγκεντρώνει πάγο στην επιφάνειά του και κατά διαστήματα θα πρέπει να του γίνεται αποπαγοποίηση. Αυτή επιτυγχάνεται με τη βοήθεια του κατάλληλου αυτοματισμού, μέσω του οποίου γίνεται η αντιστροφή της λειτουργίας και για πολύ μικρό χρονικό διάστημα. Το θερμό αέριο, από το πάνω μέρος του receiver ή από την έξοδο των συμπυκνωτών, διέρχεται μέσω του εξατμιστή και τον αποψύχει. Στον αυτοματισμό αυτό συμμετέχουν ηλεκτρομαγνητικές βάνες, οι οποίες κατά διαστήματα δέχονται την ανάλογη εντολή από τον ηλεκτρικό πίνακα.



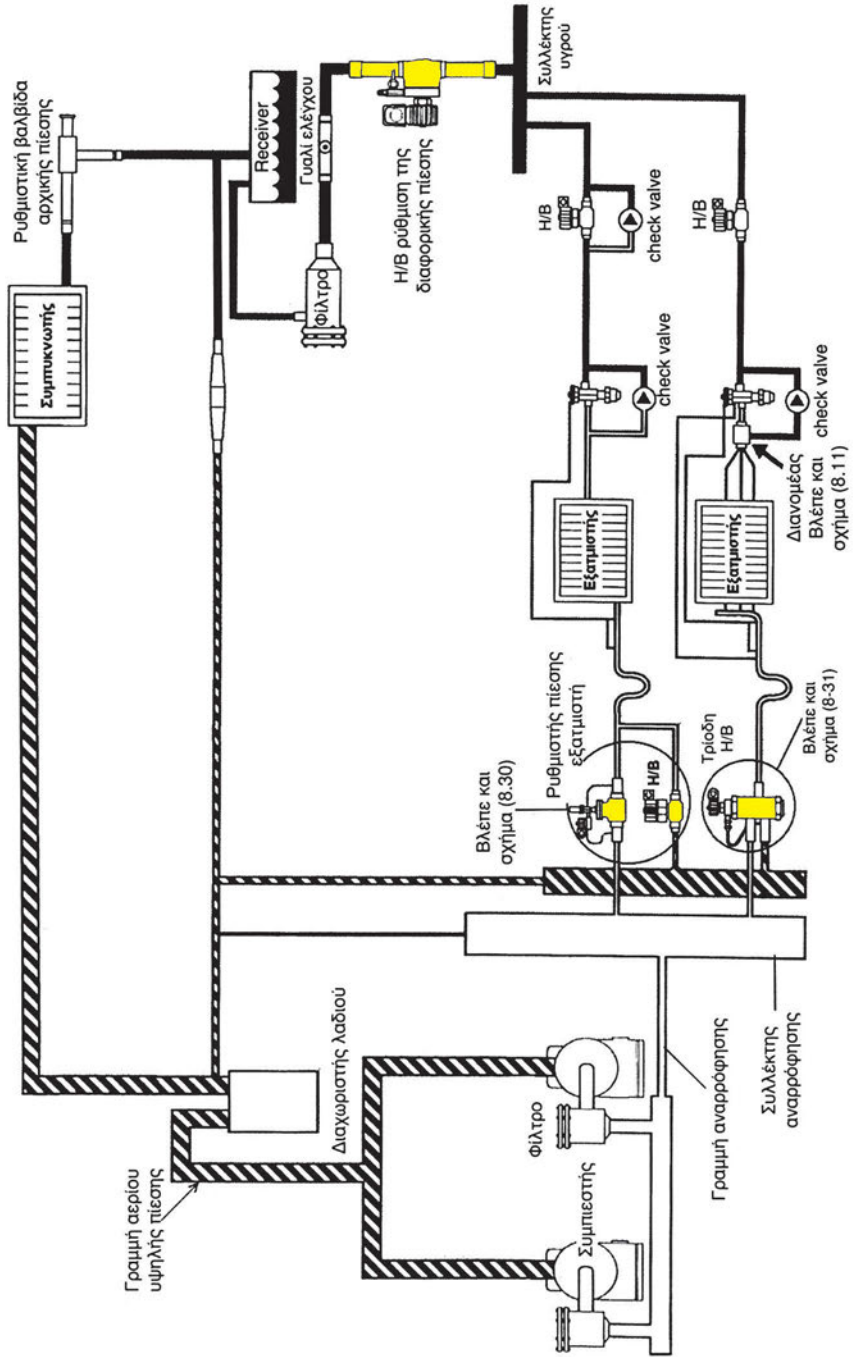
Σχήμα 8.30 Η αρχή λειτουργίας του συστήματος αποπαγοποίησης

Τη βασική λειτουργία του συστήματος αποπαγοποίησης με τη χρήση του ρυθμιστή εξάτμισης του Σχήματος 8.21^B τη βλέπουμε στο Σχήμα 8.30, όπου έχουμε δύο εξατμιστές, ελεγχόμενους από δύο διαφορετικά συστήματα αποπαγοποίησης. Προφανώς, όπως καταλαβαίνουμε από το σχήμα, όταν κλείνει η βάνα ρύθμισης της πίεσης του εξατμιστή, ανοίγει μία απλή ηλεκτρομαγνητική βαλβίδα που ενώνει απευθείας την έξοδο του συμπιεστή με την είσοδο του εξατμιστή. Οι Θ.Ε.Β. παρακάμπτονται μέσω των βαλβίδων αντεπιστροφής (check valves) που φαίνονται στο σχήμα.



Σχήμα 8.31 Η τρίοδη βάνα αποπαγοποίησης και η συνδεσμολογία της

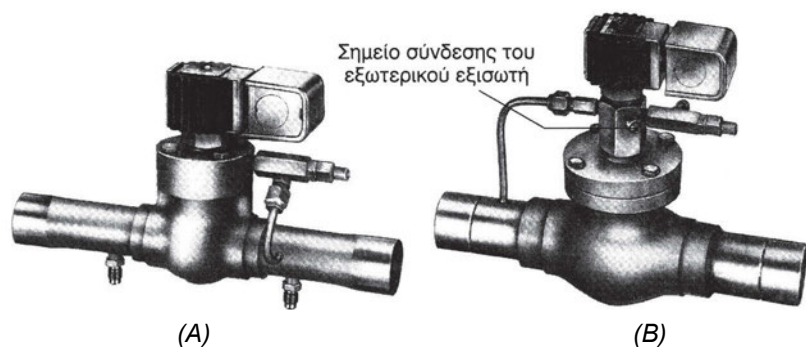
Εκτός από τη διάταξη του Σχήματος 8.30, υπάρχει και η διάταξη του Σχήματος 8.31, όπου χρησιμοποιείται μία τρίοδη ηλεκτρομαγνητική βαλβίδα. Όταν το πηνίο δεν είναι ενεργοποιημένο, έχουμε τη ροή κατά την κανονική κατεύθυνση. Όταν το πηνίο ενεργοποιηθεί, έχουμε ροή κατά την αντίθετη κατεύθυνση.



Σχήμα 8.32 Το κύκλωμα αποπνοποίησης

Τη διάταξη ενός συστήματος αποπαγοποίησης τη βλέπουμε στο Σχήμα 8.32. Το σύστημα χρειάζεται να έχει δύο τουλάχιστον κυκλώματα εξατμιστών, πράγμα που στις επαγγελματικές εγκαταστάσεις ψύξης συνήθως ισχύει. Στο Σχήμα 8.32 υπάρχουν δύο κυκλώματα, κατασκευασμένα τελείως διαφορετικά το ένα από το άλλο. Όταν γίνεται η αποπαγοποίηση στο ένα από τα δύο, το θερμό αέριο συμπυκνώνεται στον «εξατμιστή» και συγκεντρώνεται στο συλλέκτη υγρού που βλέπουμε στο σχήμα, μαζί με το ψυκτικό ρευστό που προέρχεται από την κανονική λειτουργία της συμπύκνωσης. Τα άλλα κυκλώματα εξακολουθούν να λειτουργούν κανονικά και να τροφοδοτούνται με το ψυκτικό υγρό που προέρχεται τόσο από το συμπυκνωτή όσο και από το κύκλωμα εξατμιστή που βρίσκεται στη φάση της αποπαγοποίησης.

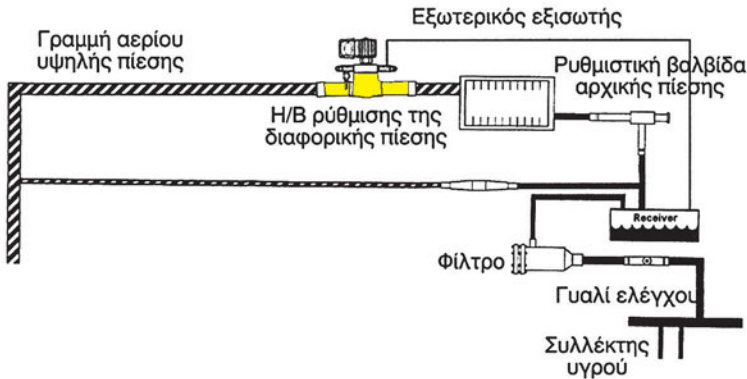
Το πρόβλημα για να μπορέσει να λειτουργήσει η αποπαγοποίηση είναι με ποιον τρόπο θα δημιουργήσουμε αυτή την ανάστροφη ροή. Ο συλλέκτης υγρού και η πλευρά του θερμού αερίου παρουσιάζουν πολύ μικρή διαφορά πίεσης μεταξύ τους, η οποία ενδέχεται να μην επαρκεί για να δημιουργήσει την κατάλληλη ανάστροφη ροή. Το πρόβλημα είναι ακόμη μεγαλύτερο, όταν το θερμό αέριο προέρχεται από το πάνω μέρος του receiver.



Σχήμα 8.33 Τύποι βαλβίδων με τις οποίες δημιουργείται η διαφορική πίεση αποπαγοποίησης: (A) Συνδέεται όπως στο Σχήμα 8.32, (B) Συνδέεται πριν από το συμπυκνωτή (Σχήμα 8.34)

Το παραπάνω πρόβλημα της δημιουργίας των προϋποθέσεων για τη δημιουργία της ανάστροφης ροή επιλύεται με την ηλεκτρομαγνητική βαλβίδα διαφορικής πίεσης, η συνδεσμολογία της οποίας φαίνεται στο Σχήμα 8.32, ενώ η ίδια η βαλβίδα φαίνεται στο Σχήμα 8.33^A. Όταν το πηνίο είναι απενεργοποιημένο, η βαλβίδα αυτή είναι σαν να μην υπάρχει. Όταν όμως ενεργοποιηθεί, δημιουργείται μία διαφορά πίεσης μεταξύ του receiver και

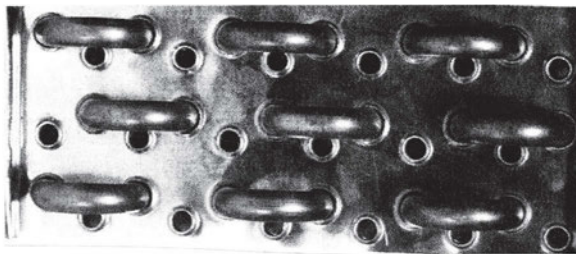
του συλλέκτη υγρού, που είναι συνήθως 130-150 kPa, η λεγόμενη διαφορική πίεση (η βαλβίδα αυτή δεν διακόπτει τη ροή).



Σχήμα 8.34 Δημιουργία διαφορικής πίεσης αποπαγοποίησης με βαλβίδα με εξωτερικό εξισωτή

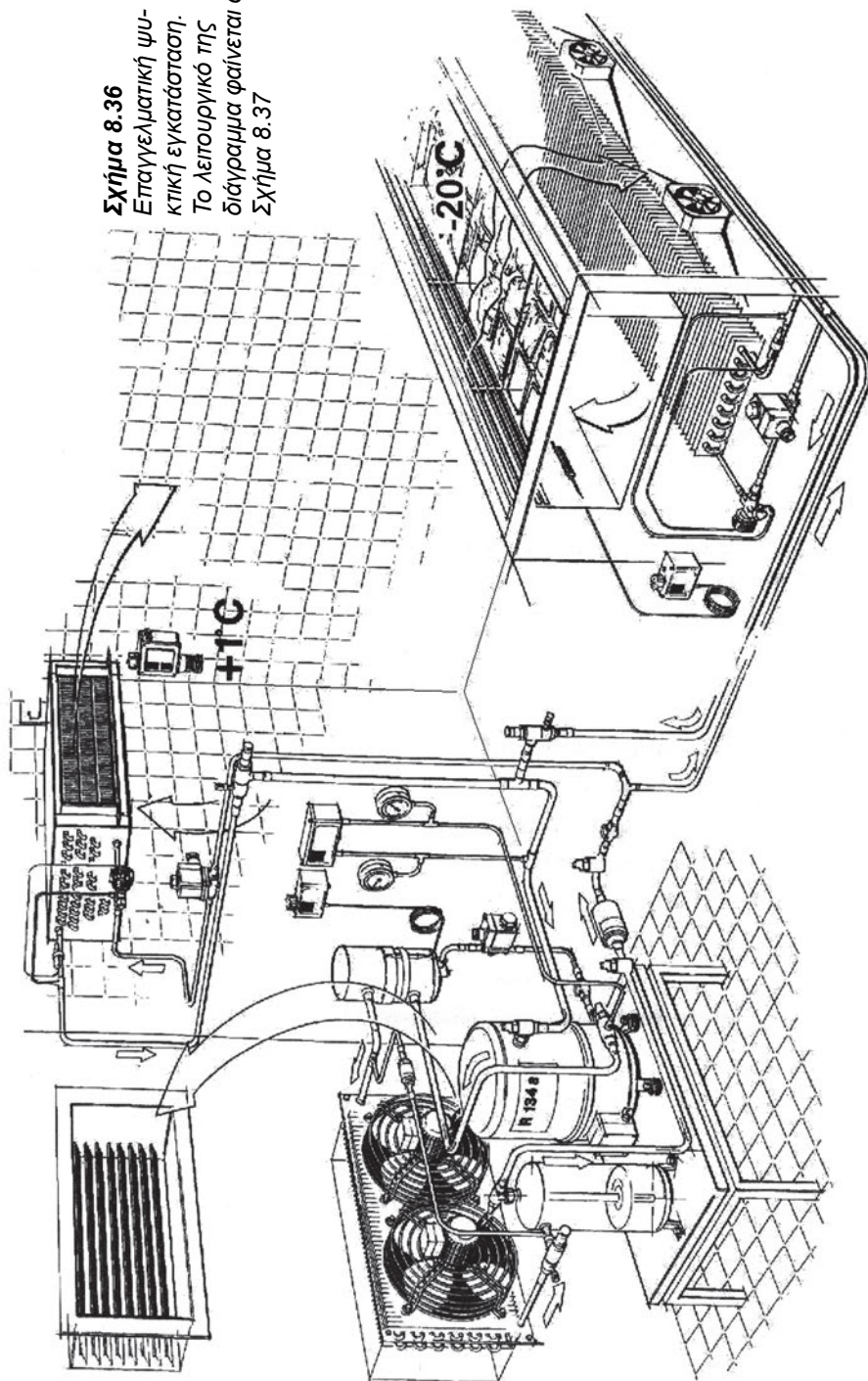
Υπάρχει επίσης και τύπος βαλβίδας δημιουργίας διαφορικής πίεσης η οποία τοποθετείται πριν από το συμπυκνωτή. Η βαλβίδα που χρησιμοποιείται σ' αυτό το σύστημα φαίνεται στο Σχήμα 8.33^B και για να δημιουργήσει τη διαφορική έχει και εξωτερικό εξισωτή που συνδέεται με το πάνω μέρος του receiver. Έχοντας την πληροφορία για την πίεση που υπάρχει στο receiver δημιουργεί την κατάλληλη πτώση πίεσης (διαφορική πίεση) πάνω στη γραμμή του θερμού αερίου. Όταν δεν είναι ενεργοποιημένο το πηνίο της, η βαλβίδα αυτή είναι επίσης σαν να μην υπάρχει στο κύκλωμα.

Το σύστημα αποπαγοποίησης του Σχήματος 8.32 απαιτεί, για να λειτουργήσει σωστά, να υπάρχουν τουλάχιστον δύο εξατμιστές που να λειτουργούν παράλληλα. Αν το κύκλωμα είναι μόνο ένα, τότε η μόνη λύση για την αποπαγοποίηση είναι η παράκαμψη μέρους του θερμού αερίου, με τη διάταξη την οποία είδαμε στην παράγραφο (8.10) και στα Σχήματα 8.25 και 8.28.



Σχήμα 8.35 Στοιχείο εξατμιστή στο οποίο φαίνονται οι οπές για τη διέλευση των ηλεκτρικών αντιστάσεων αποπαγοποίησης.

Σχήμα 8.36
Επαγγελματική ψυ-
κτική εγκατάσταση.
Το λειτουργικό της
διάγραμμα φαίνεται στο
Σχήμα 8.37



Για την αποπαγοποίηση υπάρχουν και άλλες τεχνικές λύσεις, όπως π.χ. με τη χρήση ηλεκτρικών αντιστάσεων, οι οποίες βρίσκονται τοποθετημένες σε ειδικές υποδοχές των στοιχείων του εξατμιστή. Τέτοιο στοιχείο βλέπουμε στο Σχήμα 8.34, οι σπές που φαίνονται στο στοιχείο προορίζονται για τη διέλευση των ηλεκτρικών αντιστάσεων. Στην περίπτωση αυτή, κατά τη φάση της αποπαγοποίησης, ο ηλεκτρικός αυτοματισμός του συστήματος κλείνει τις ηλεκτρομαγνητικές βαλβίδες και διακόπτει την παροχή ψυκτικού υγρού προς το στοιχείο που αποπαγοποιείται. Συγχρόνως στέλνει ηλεκτρικό ρεύμα προς τις αντιστάσεις.

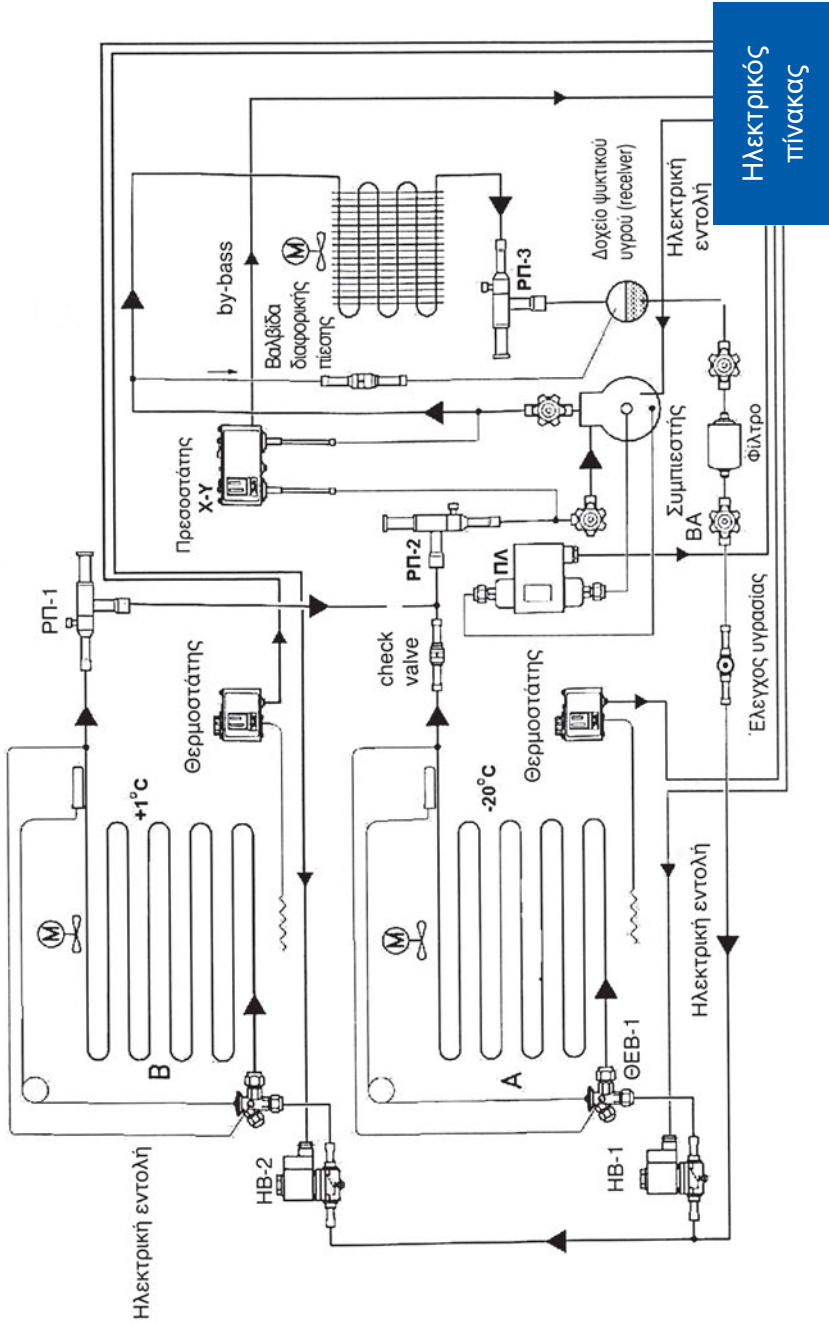
8.11 Η επαγγελματική ψυκτική εγκατάσταση

Στο Σχήμα 8.36 βλέπουμε σχηματικά την εγκατάσταση και τον αυτοματισμό της λειτουργίας μίας επαγγελματικής ψυκτικής εγκατάστασης. Το κύκλωμα αυτό περιλαμβάνει τους περισσότερους από τους αυτοματισμούς που αναφέρθηκαν προηγουμένως. Δεν περιλαμβάνει μόνο τη διάταξη αυτόματης αποπαγοποίησης.⁵

Το λειτουργικό διάγραμμα του παραπάνω κυκλώματος φαίνεται στο Σχήμα 8.38. Έχουμε δύο διακεκριμένες περιοχές που τροφοδοτούνται από το ψυκτικό υγρό, την Α με θερμοκρασία -20°C και τη Β με $+1^{\circ}\text{C}$. Η λειτουργία, με σημείο εκκίνησης το receive, συνοπτικά έχει ως εξής:

- Το ψυκτικό υγρό φιλτράρεται, διέρχεται από το γυαλί ελέγχου της υγρασίας και φθάνει στις δύο ηλεκτρομαγνητικές βαλβίδες HB-1 και HB-2. Προσέξτε ότι εκατέρωθεν του φίλτρου είναι δύο βαλβίδες αποκοπής, των οποίων η μορφή είναι όπως στο Σχήμα 8.37 (shut-off valves). Αυτές προορίζονται για να μπορεί να αντικατασταθεί το φίλτρο χωρίς να φύγει το ψυκτικό ρευστό.
- Οι ηλεκτρομαγνητικές βάνες ελέγχονται μέσω θερμοστατών. Όταν η θερμοκρασία πέσει κάτω από τη ρύθμιση, κλείνουν και δεν επιτρέπουν τη λειτουργία του κυκλώματος. Όταν κλείσουν και οι δύο, μέσω κατάλληλου αυτοματισμού που υπάρχει στο γενικό πίνακα διακόπτεται και η λειτουργία του συμπιεστή.

⁵ Προβλέπεται να συμπληρωθεί από τους μαθητές, ως άσκηση.



Ηλεκτρικός Πίνακας

Σχήμα 8.38 Το λειτουργικό διάγραμμα της ψυκτικής εγκατάστασης του Σχήματος 8.36.

- Η εκτόνωση γίνεται μέσω των Θ.Ε.Β.-1 και Θ.Ε.Β.-2.
- Ο ρυθμιστής πίεσης ΡΠ-1 εξασφαλίζει ότι στην έξοδο των εξαμιστών η πίεση θα έχει μία ελάχιστη τιμή. Για να αποφευχθεί η επιστροφή υγρού μέσω του κυκλώματος 2, όταν το 2 είναι εκτός λειτουργίας, έχει τοποθετηθεί μία βαλβίδα αντεπιστροφής (check valve).
- Πριν την είσοδο στο συμπιεστή, η ρυθμιστική βαλβίδα πίεσης του στροφαλοθαλάμου, η ΡΠ-3, προστατεύει τον κινητήρα του συμπιεστή έναντι υπερφόρτισης κατά την εκκίνηση.
- Στη συνέχεια το θερμό αέριο από την έξοδο του συμπιεστή οδηγείται στο συμπυκνωτή. Η ελάχιστη πίεση λειτουργίας που χρειάζεται το ψυκτικό κύκλωμα για να λειτουργήσει εξασφαλίζεται από το ρυθμιστή πίεσης ΡΠ-3. Στο by-pass έχει τοποθετηθεί μία βαλβίδα διαφορική πίεσης.
- Μέσω του πρεσοστάτη λαδιού ΠΛ ελέγχεται η διαφορική πίεση του λαδιού και αν αυτή δεν είναι στα επιτρεπόμενα όρια, δίδεται εντολή διακοπής της λειτουργίας του συμπιεστή.

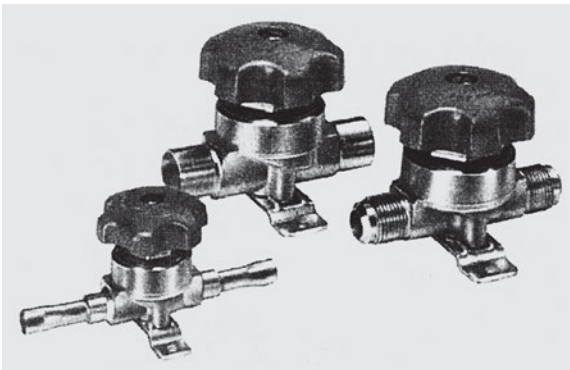


ΑΣΚΗΣΗ

Φωτοτυπήστε το Σχήμα 8.36 και αναγράψτε επάνω τα επιμέρους εξαρτήματα. Σε ξεχωριστή σελίδα να περιγράψετε τον αυτοματισμό της λειτουργίας του ψυκτικού κυκλώματος. Μπορείτε να συμβουλευέστε και το Σχήμα 8.38.

ΣΗΜΕΙΩΣΗ

Ένα σημείο που θα πρέπει να προσέξουμε στο Σχήμα 8.36 είναι ότι το receiver είναι διαφανές, πράγμα που μας επιτρέπει, χωρίς τον έλεγχο των πιέσεων, να δούμε αν το κύκλωμα έχει επαρκή ποσότητα ψυκτικού υγρού.

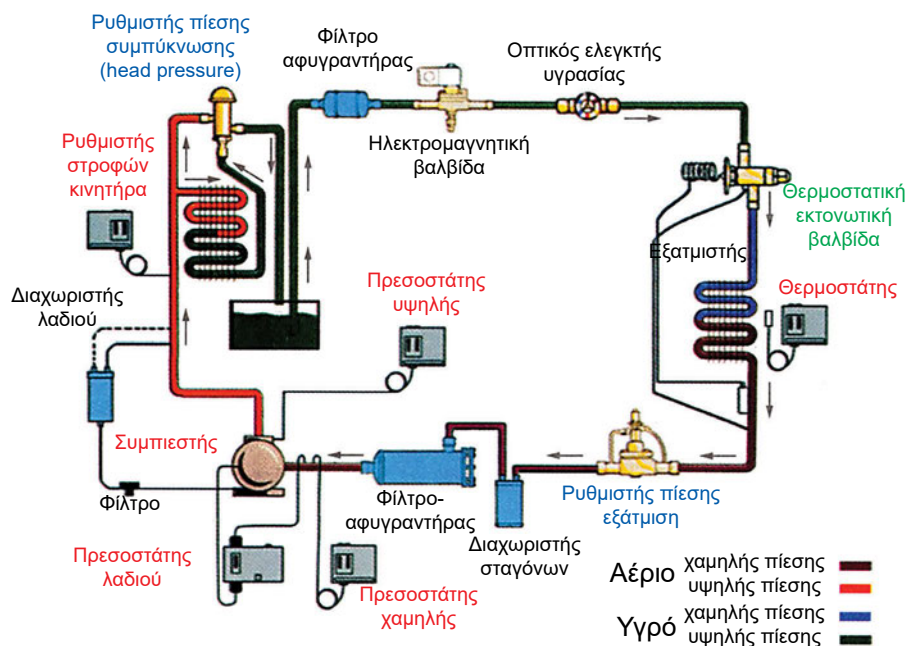


Σχήμα 8.37
Βαλβίδες αποκοπής
(shut-off valves)

8.12 Ο ηλεκτρικός αυτοματισμός

Εκτός από τη Θ.Ε.Β., που είναι ο βασικότερος αυτοματισμός του ψυκτικού κυκλώματος, καθώς και των άλλων διατάξεων αυτοματισμού που αναπτύχθηκαν, αναπόσπαστο τμήμα ενός ψυκτικού κυκλώματος είναι και ο ηλεκτρικός (ή ο ηλεκτρονικός) αυτοματισμός. Οι λειτουργίες αυτού του συστήματος είναι οι εξής:

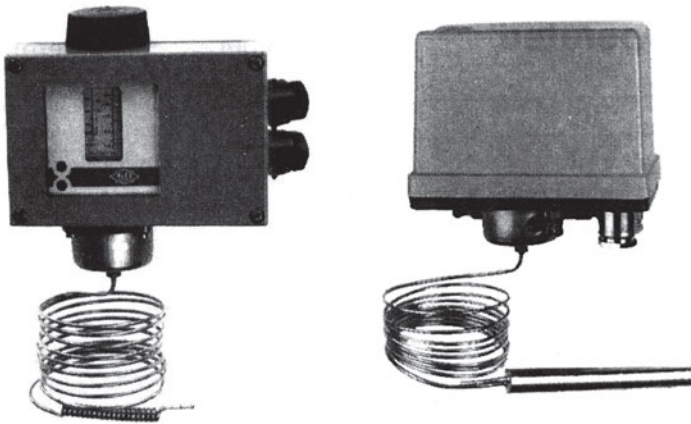
- (α) Ρυθμίζει τη λειτουργία των συμπιεστών και τους προστατεύει από τυχόν υπερφόρτιση, μέσω των θερμικών προστασιών.
- (β) Δέχεται εντολές από ορισμένα όργανα του ψυκτικού κυκλώματος, τα οποία φαίνονται στο Σχήμα 8.39. Το σχήμα αυτό είναι το ίδιο με το Σχήμα 8.4 και απεικονίζεται εκ νέου για διευκόλυνση της μελέτης. Ο ηλεκτρικός αυτοματισμός, ανάλογα με τις εντολές που δέχεται, δίνει με τη σειρά του εντολές, π.χ. κλείνει ή ανοίγει κάποιο τμήμα του κυκλώματος αν ο θερμοστάτης δώσει αντίστοιχη εντολή (ανοίγει ή κλείνει την αντίστοιχη ηλεκτρομαγνητική βαλβίδα), ή σταματάει τη λειτουργία του συμπιεστή αν η υψηλή πίεση υπερβεί το όριο ασφαλείας κ.λπ.



Σχήμα 8.39 Τα βασικά εξαρτήματα του ψυκτικού κυκλώματος ενός αερόψυκτου ψυκτη νερού (chiller). Με κόκκινο χρώμα είναι τα εξαρτήματα που συμμετέχουν και στο ηλεκτρικό (ή ηλεκτρονικό) τμήμα του αυτοματισμού

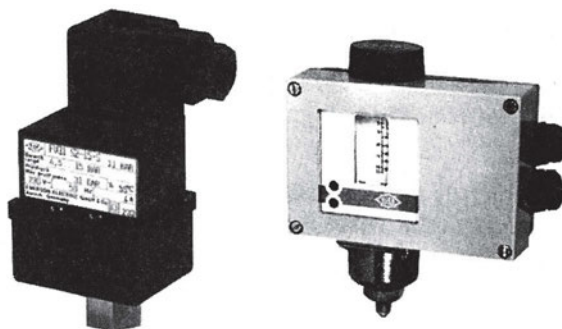
Αναλυτικότερα, τα σημεία στα οποία συνδέεται ο ηλεκτρικός αυτοματισμός με το ψυκτικό κύκλωμα είναι τα εξής:

- Με τους ηλεκτροκινητήρες στους οποίους παρέχει την απαραίτητη για τη λειτουργία τους ηλεκτρική ισχύ. Ηλεκτροκινητήρες υπάρχουν στο συμπιεστή και στους ανεμιστήρες των αερόψυκτων συστημάτων.
- Με τα ασφαλιστικά λειτουργίας του συμπιεστή που είναι οι πρεσοστάτες υψηλής και χαμηλής, καθώς και ο πρεσοστάτης του λαδιού. Αυτοί αποτελούν συστήματα ανοικτού βρόχου, δηλαδή δίνουν την εντολή διακοπής, όταν παραστεί ανάγκη, αλλά μετά δεν ενδιαφέρονται για τίποτε περισσότερο. Η επαναφορά του συστήματος σε λειτουργία γίνεται χειροκίνητα.
- Με τις ηλεκτρομαγνητικές βαλβίδες οι οποίες κλείνουν όταν το σύστημα ή κάποιο τμήμα αυτού είναι εκτός λειτουργίας.



Σχήμα 8.40 Τυπικές μορφές θερμοστάτη ελέγχου θερμοκρασίας χώρου

- Με το θερμοστάτη που ελέγχει τη θερμοκρασία στο χώρο. Τυπικές μορφές αυτού του θερμοστάτη βλέπουμε στο Σχήμα 8.40.



Σχήμα 8.41 Τυπικές μορφές ρυθμιστή στροφών ανεμιστήρα

- Με το ρυθμιστή των στροφών του ανεμιστήρα. Το όργανο αυτό, το οποίο το βλέπουμε στο Σχήμα 8.41, ανάλογα με την πίεση συμπίκνωσης, ρυθμίζει τις στροφές του ανεμιστήρα. Έτσι, όταν π.χ. η θερμοκρασία του αέρα είναι πολύ χαμηλή, οπότε η πίεση συμπίκνωσης πέφτει, ρίχνει τις στροφές του ανεμιστήρα και ανεβάζει κατά τον τρόπο αυτό την πίεση.



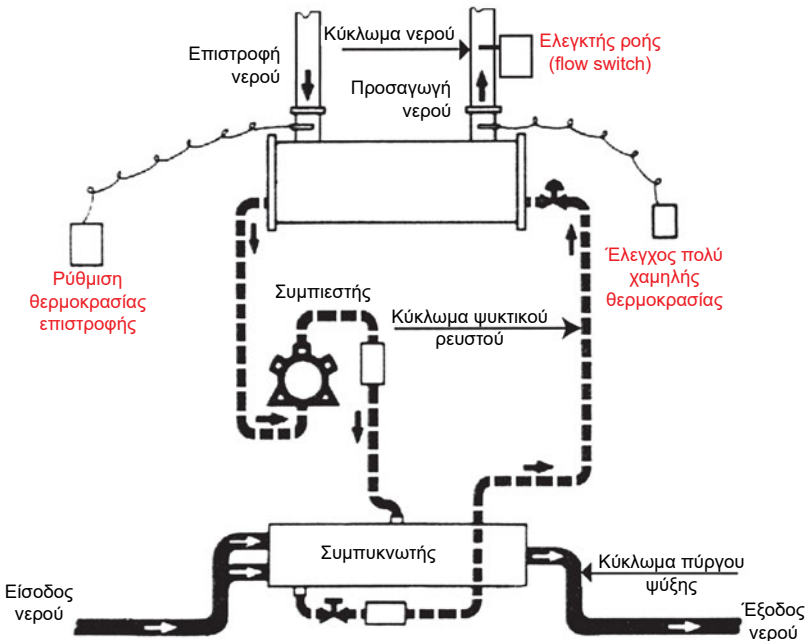
Σχήμα 8.42 Ηλεκτρονικό όργανο ελέγχου, πολλαπλών χρήσεων, ελεγχόμενο με τηλεκοντρόλ

Τέλος θα πρέπει να αναφερθούμε στην ύπαρξη ηλεκτρονικών οργάνων τα οποία σε πολλές περιπτώσεις ελέγχονται μέσω συστήματος με

τηλεκοντρόλ. Στο Σχήμα 8.42 βλέπουμε ένα τέτοιο όργανο, προγραμματιζόμενο πολλαπλών χρήσεων. Το όργανο αυτό μπορεί να μετράει τη θερμοκρασία και την υγρασία του ψυκτικού θαλάμου, την πίεση, να δίνει σήμα συναγερμού κ.λπ. Τέτοια όργανα προσφέρουν και εξόδους που μπορούν να συνδεθούν με το σύστημα αυτοματισμού του ηλεκτρικού πίνακα.

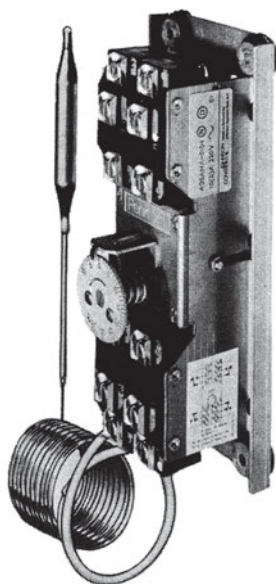
8.13 Ο έλεγχος του κύκλωματος κυκλοφορίας του νερού

Όταν ο συμπυκνωτής ή ο εξατμιστής είναι υδρόψυκτοι, υπάρχει υποχρεωτικά και το δίκτυο της κυκλοφορίας του νερού. Στο δίκτυο της ροής του κρύου νερού, υπάρχουν ακόμη τέσσερα σημεία που θα πρέπει να ελέγχονται μέσω του ηλεκτρικού πίνακα αυτοματισμού. Στο Σχήμα 8.43 φαίνονται παραστατικά τα σημεία του ελέγχου. Αυτά είναι:



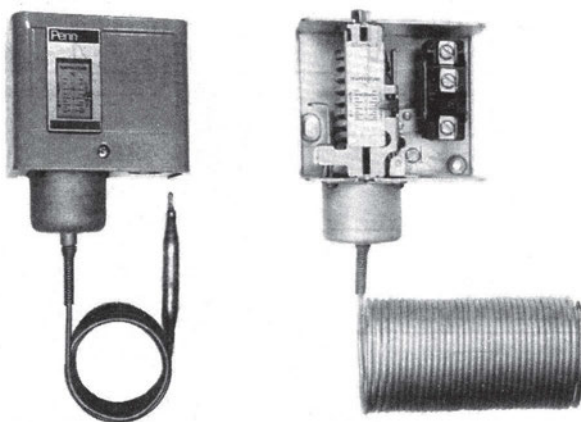
Σχήμα 8.43 Το κύκλωμα του νερού ψύξης και τα σημεία ελέγχου

- Η θερμοκρασία του κρύου νερού επιστροφής. Αυτή είναι η θερμοκρασία βάσει της οποίας ελέγχεται το ψυκτικό φορτίο. Πρόκειται για κύκλωμα ανοικτού βρόχου. Οι θερμοστάτες που χρησιμοποιούνται είναι της μορφής του Σχήματος 8.44.



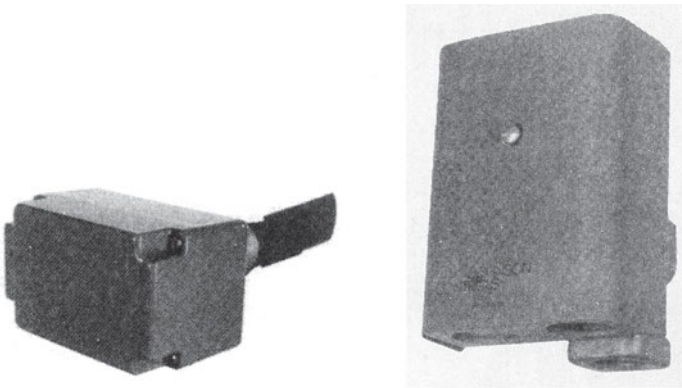
Σχήμα 8.44 Θερμοστάτης κατάλληλος για τον έλεγχο της θερμοκρασίας του νερού επιστροφής

- Η θερμοκρασία του εξερχόμενου νερού για τυχόν κίνδυνο να παγώσει το νερό και να σπάσει τον εξατμιστή. Πρόκειται για κύκλωμα ανοικτού βρόχου. Οι θερμοστάτες που χρησιμοποιούνται είναι της μορφής του Σχήματος 8.45. Η ρύθμισή τους είναι συνήθως στους 3°C.



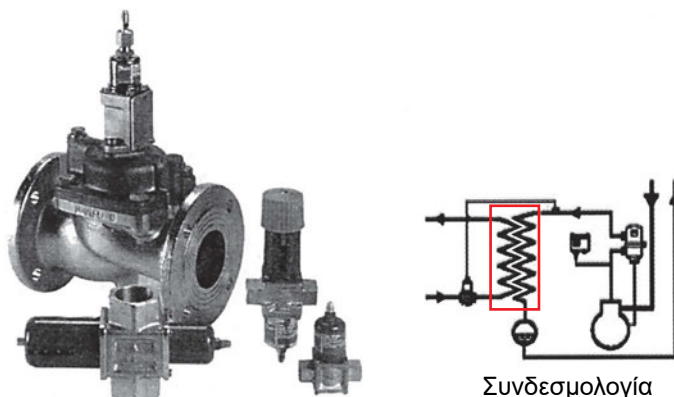
Σχήμα 8.45 Θερμοστάτες για την προστασία έναντι παγώματος του νερού

- Ότι υπάρχει ροή κρύου νερού στο δίκτυο του εξαμιστή. Ο έλεγχος γίνεται μέσω ελεγκτών ροής, που είναι περισσότερο γνωστοί ως flow switch. Πρόκειται επίσης για κύκλωμα ελέγχου ανοικτού βρόχου. Τυπικές μορφές των flow switch φαίνονται στο Σχήμα 8.46. Θα πρέπει να έχουμε υπόψη μας ότι στα υδρόψυκτα συστήματα, **το πλέον σημαντικό σημείο ελέγχου είναι το flow switch**. Ποτέ δεν πρέπει ένα μηχανήμα να λειτουργεί χωρίς να υπάρχει το flow switch. Αν το κάνουμε, μπορεί να σπάσει ο εξαμιστής ακόμη και από ένα ανθρώπινο λάθος, π.χ. από κάποιον που τυχαία έκλεισε μία βάνα.



Σχήμα 8.46 Δύο τύποι ελεγκτή ροής (flow switch)

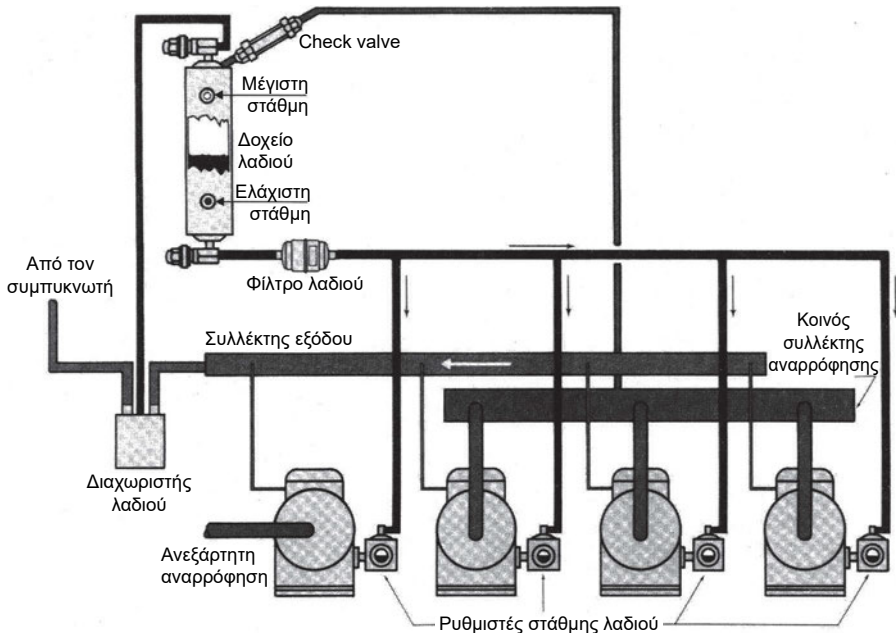
- Η πίεση συμπύκνωσης μέσα στον υδρόψυκτο συμπυκνωτή. Η πίεση συμπύκνωσης ελέγχεται με ειδικές βάνες, όπως αυτές του Σχήματος 8.47. Οι βάνες μπορεί να είναι ON/OFF ή να κινούνται μέσω σερβοκινητήρα. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι αυτός ο αυτοματισμός συχνά παραλείπεται. Άλλοτε πάλι ο έλεγχος γίνεται με έμμεσους αλλά όχι και τόσο σίγουρους τρόπους, όπως π.χ. ελέγχεται η θερμοκρασία του νερού του πύργου ψύξης και διακόπτεται η λειτουργία του ανεμιστήρα του πύργου, όταν η θερμοκρασία του νερού είναι πολύ χαμηλή.



Σχήμα 8.47 Ρυθμιστές πίεσης συμπίκνωσης υδρόψυκτων συμπυκνωτών

8.14 Το κύκλωμα του λαδιού

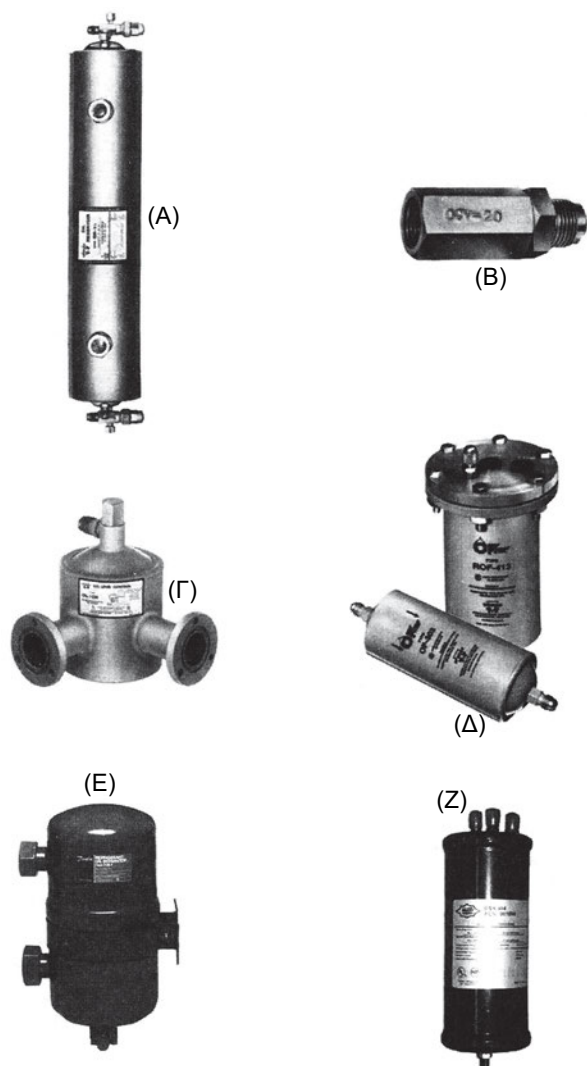
Το λάδι είναι απαραίτητο για τη λειτουργία των συμπιεστών. Συνυπάρχει στο κύκλωμα μαζί με το ψυκτικό ρευστό. Είναι κακός αγωγός της θερμότητας και γι' αυτό η επικάθεισή του στα τοιχώματα του εξατμιστή ή του συμπυκνωτή μειώνει την απόδοση του συστήματος. Ως εκ τούτου, πρέπει να ελαχιστοποιείται η παρουσία του στο ψυκτικό κύκλωμα. Κατά συνέπεια, το σύστημα αυτομάτου ελέγχου της κυκλοφορίας του λαδιού είναι από τα πλέον βασικά. Την τυπική μορφή του τη βλέπουμε στο Σχήμα 8.48. Το κοινό σημείο στο οποίο ενώνονται τα δύο συστήματα, δηλαδή του ψυκτικού ρευστού και της κυκλοφορίας του λαδιού, είναι ο διαχωριστής. Εκεί γίνεται η απομάκρυνση του λαδιού από το ψυκτικό ρευστό και η επιστροφή του στο δοχείο.



Σχήμα 8.48 Το διάγραμμα της κυκλοφορίας του λαδιού

Από το δοχείο του λαδιού τροφοδοτούνται οι ρυθμιστές της στάθμης λαδιού στους συμπιεστές. Μέσω αυτών διατηρείται πάντοτε η ελάχιστη απαιτούμενη ποσότητα λαδιού στους συμπιεστές, σύμφωνα με τις προδιαγραφές του κατασκευαστή τους. Στη γραμμή αυτή παρεμβάλλεται και το φίλτρο του λαδιού. Η απαραίτητη για τη λειτουργία πίεση, μέσα στο δοχείο του λαδιού, εξασφαλίζεται μέσω μίας γραμμής που συνδέει την έξοδο των συμπιεστών με το δοχείο. Με την ανεπίστρεπτη βαλβίδα (check valve) που φαίνεται στο Σχήμα 8.49, εξασφαλίζεται ότι η διαφορική πίεση μεταξύ του δοχείου και της εξόδου των συμπιεστών δεν θα πέσει κάτω από μία προκαθορισμένη τιμή, στην οποία είναι ρυθμισμένη να ανοίγει η βαλβίδα αντεπιστροφής (συνήθως η ρύθμιση είναι στην περιοχή 35-140 kPa).

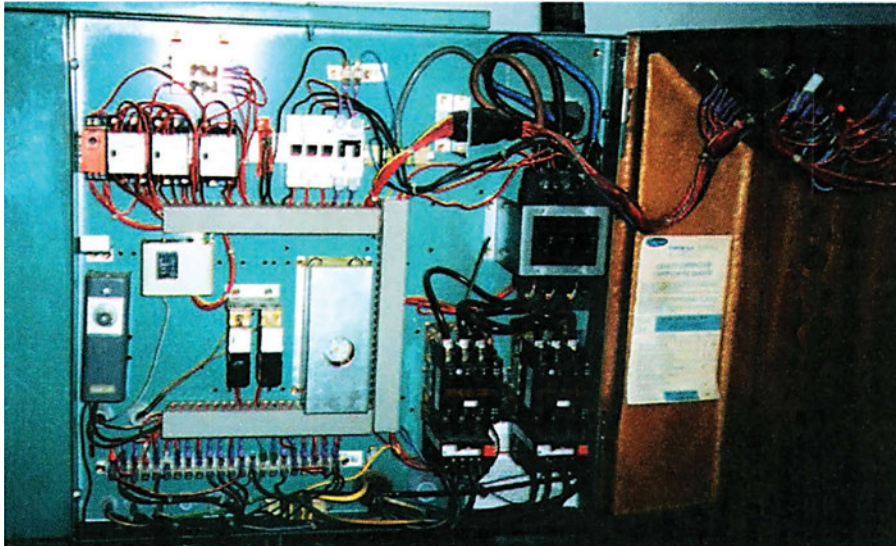
Στο Σχήμα 8.49, βλέπουμε τις τυπικές μορφές των βασικών εξαρτημάτων που χρησιμοποιούνται στο κύκλωμα του λαδιού. Τέλος θα πρέπει να αναφερθεί ότι, εκτός από το παραπάνω κλασικό σύστημα ελέγχου του κυκλώματος του λαδιού, έχουν αναπτυχθεί και ηλεκτρονικά συστήματα για τον αυτόματο και ακριβέστερο έλεγχο της στάθμης του λαδιού στους συμπιεστές.



Σχήμα 8.49 Τα βασικότερα εξαρτήματα του κυκλώματος λαδιού: (Α) δοχείο λαδιού, (Β) check valve, (Γ) ρυθμιστής στάθμης στο συμπιεστή, (Δ) φίλτρα λαδιού, (Ε) και (Ζ) διαχωριστές

8.15 Ο ηλεκτρικός πίνακας αυτοματισμού

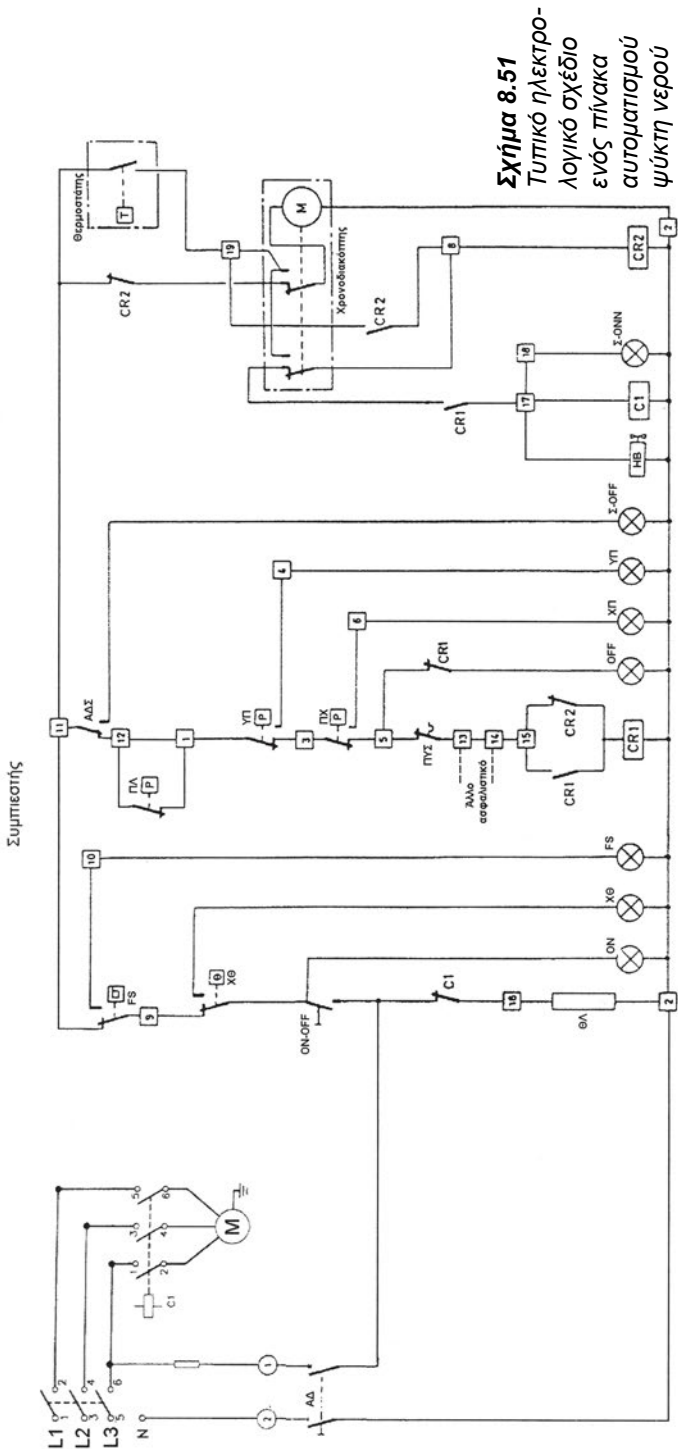
Τα σημεία ελέγχου που αναφέρθηκαν στις προηγούμενες δύο παραγράφους καταλήγουν στον πίνακα αυτοματισμού. Ο πίνακας αυτός μπορεί να είναι αποκλειστικά ηλεκτρικός ή να περιέχει και κάποιο σύστημα PLC (προγραμματιζόμενος ηλεκτρονικός ελεγκτής). Και στις δύο περιπτώσεις γίνονται ακριβώς οι ίδιοι έλεγχοι. Το πλεονέκτημα ενός συστήματος PLC είναι ότι είναι περισσότερο συμπαγές και καταλαμβάνει πολύ λιγότερο χώρο.



Σχήμα 8.50 Πίνακας αυτοματισμού υδρόψυκτου chiller

Στο Σχήμα 8.50 βλέπουμε έναν ηλεκτρικό πίνακα αυτοματισμού. Ο συγκεκριμένος πίνακας αφορά έναν υδρόψυκτο ψύκτη νερού. Βλέποντας τον πίνακα, εκτός από την υποδειγματική του τάξη και τη σωστή τακτοποίηση όλων των εξαρτημάτων, δεν μπορούμε να αντιληφθούμε τίποτε παραπάνω. Μόνο από το ηλεκτρολογικό σχέδιο που περιγράφεται ο αυτοματισμός μπορούμε να καταλάβουμε τη λειτουργία του μηχανήματος.

- C1 Ρελέ ισχύος του συμπιεστή
- ΑΔ Αυτόματος διακόπτης με reset
- ΑΔΣ Αυτόματος διακόπτης συμπιεστή
- ΘΛ Θερμαντήρας λαδιού
- CR1 ... Ρελέ βοηθητικών επαφών
- CR2 ... Ρελέ βοηθητικών επαφών
- FS Flow switch
- ΥΠ Προστασία υψηλής πίεσης
- ΧΠ Προστασία χαμηλής πίεσης
- ΠΥΣ Προστασία υπερφόρτισης συμπιεστή
- ΠΛ Προστασία λαδιού
- Σ-ON ... Σύστημα σε λειτουργία
- Σ-OFF .. Σύστημα εκτός λειτουργίας
- ΧΘ Θερμοστάτης χαμηλής θερμοκρασίας νερού
- ΗΒ Ηλεκτρομαγνητική βαλβίδα



Σχήμα 8.51
 Τυπικό ηλεκτρο-
 λογικό σχέδιο
 ενός πίνακα
 αυτοματισμού
 ψύκτη νερού

Ένα τυπικό ηλεκτρολογικό σχέδιο του πίνακα αυτοματισμού ενός ψύκτη νερού φαίνεται στο Σχήμα 8.51. Εκ πρώτης όψεως δίνει την εντύπωση ότι είναι ένα μπερδεμένο σύνολο από γραμμές. Όμως η μελέτη του δεν είναι τόσο δύσκολη, όπως εκ πρώτης όψεως μπορεί να φαίνεται. Επίσης, τα βασικά σύμβολα που χρησιμοποιούνται στους ηλεκτρικούς αυτοματισμούς είναι πολύ απλά, ελάχιστα στον αριθμό και φαίνονται στο σχήμα. Και είναι πολύ βασικό, για τον τεχνίτη ψυκτικό που καλείται να επισκευάσει μία βλάβη, να είναι σε θέση να διαβάσει από μόνος του τέτοια σχέδια, προκειμένου να μπορεί να εντοπίσει ευκολότερα την αιτία της βλάβης και να την αποκαταστήσει.

Ας προσπαθήσουμε να μελετήσουμε το Σχήμα 8.51, βήμα προς βήμα. Κατ' αρχήν, το σύστημα αυτοματισμού καταναλώνει ελάχιστη ενέργεια και γι' αυτό τροφοδοτείται μόνο από τη μία φάση του ηλεκτρικού ρεύματος. Αρχίζουμε τη μελέτη από τις επαφές [1] και [2], από όπου είναι η είσοδος του ηλεκτρικού ρεύματος. Ο αυτόματος διακόπτης ΑΔ, για να τροφοδοτηθεί ο αυτοματισμός με ηλεκτρικό ρεύμα, θα πρέπει να είναι εντός. Το σύστημα εκκινεί με το πάτημα του μπουτόν ON-OFF. Με το που θα πατηθεί το ON-OFF θα συμβούν τα εξής:

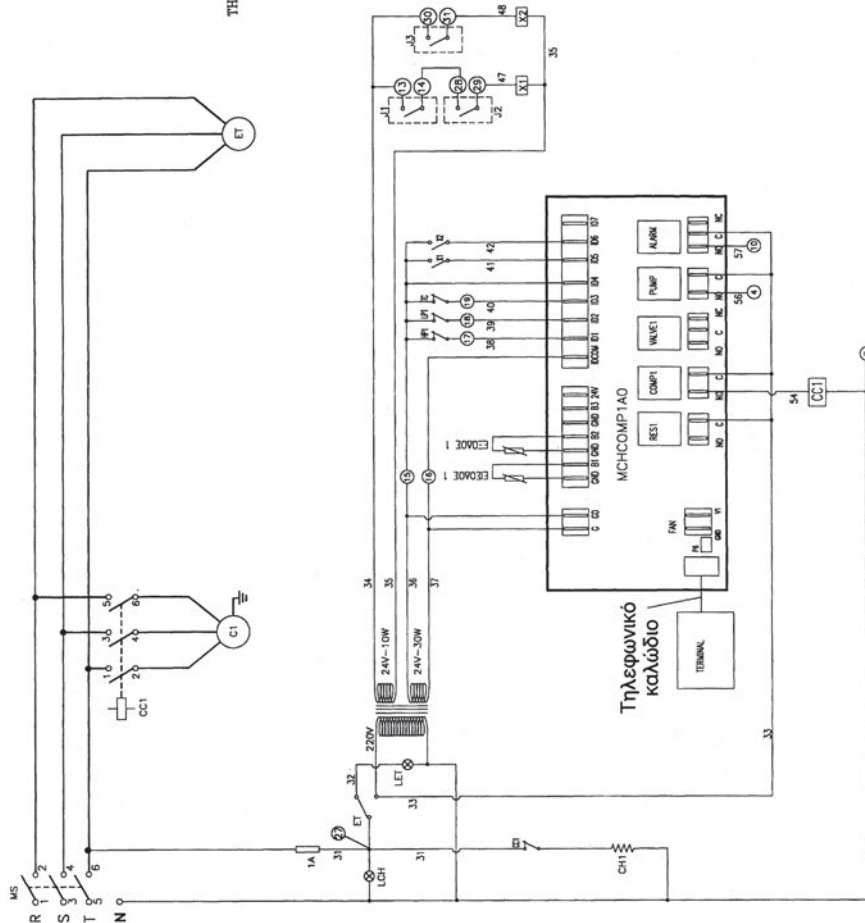
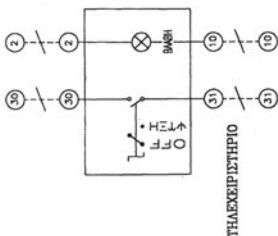
- Θα ανάψει η λυχνία ON (δείχνει ότι το σύστημα είναι σε λειτουργία).
- Θα αρχίσει να λειτουργεί ο θερμοαντήρας λαδιού (ΘΛ).
- Θα σπλίσει το ρελέ CR1.
- Θα τεθεί σε λειτουργία ο χρονοδιακόπτης.

Ο χρονοδιακόπτης **καθυστερεί την εκκίνηση** για να δώσει χρόνο για την εξίσωση των πιέσεων (χαμηλής και υψηλής), ώστε ο συμπιεστής **να μην εκκινήσει υπό φορτίο**.

Αν υπάρξει κάποιο πρόβλημα, είτε κατά την εκκίνηση είτε αργότερα κατά τη λειτουργία, θα διακοπεί η λειτουργία του ρελέ CR1 και το σύστημα θα πάψει να λειτουργεί. Π.χ. αν ενεργοποιηθεί ο πρεσοστάτης χαμηλής πίεσης (ΧΠ), θα ανοίξει η επαφή που φαίνεται στο σχέδιο, οπότε θα διακοπεί η λειτουργία του ρελέ CR1 και μαζί με αυτό και όλου του μηχανήματος (βλέπε την επαφή CR1 στη θέση 17). Συγχρόνως θα ανάψει και η λυχνία ΧΠ. Έτσι, θα έχουμε την ένδειξη της βλάβης.

Ο θερμοστάτης ελέγχει τη θερμοκρασία του νερού επιστροφής από τις κλιματιστικές μονάδες (συνήθως την ορίζουμε στην περιοχή 10-12°C). Αν η θερμοκρασία του νερού επιστροφής είναι κάτω από τη θερμοκρασία ρύθμισης, τότε η επαφή του θερμοστάτη θα είναι όπως στο σχήμα και το σύστημα δεν θα μπορεί να ξεκινήσει ακόμη και μετά που θα δώσει την εντολή ο

Σχήμα 8.52
 Σύστημα ελέγχου
 αντλίας θερμότητας,
 μεγάλης ισχύος



- MS: Γενικός διακόπτης μηχανήματος
- CC: Ρελέ συμπίεσου
- CF: Ρελέ ανεμιστήρα
- X: Βοηθητικό ρελέ
- RV: Τετραδιά βαλβίδα
- HP: Πρεσοστάτης υψηλής
- LP: Πρεσοστάτης χαμηλής
- CH: Αντίσταση στρωφαλοθαλάμου συμπίεσου
- ET: Επιτηρητής τάσης
- TF: Θερμικό ανεμιστήρα
- J1: Επαφή κανονικά ανοικτή (NO) αντλίας νερού
- J2: Διακόπτης ροής (Flow switch)
- J3: Τηλεχειρισμός ON-OFF
- J4: Τηλεχειρισμός Ψύξη-Θέρμανση
- LCH: Ενδεικτική λυχνία διακοπής επιτηρητή τάσης
- 10: Επαφή βλάβης (230 V)
- 4: Εντολή λειτουργίας αντλίας νερού (230 V)
- : Από τον εγκαταστάτη

χρονοδιακόπτης. Αν η θερμοκρασία του νερού επιστροφής είναι μεγαλύτερη από τη ρύθμιση, όπως συμβαίνει όταν το σύστημα εκκινεί, τότε η επαφή θα είναι στην άλλη θέση (κλειστή) και το σύστημα θα είναι έτοιμο να εκκινήσει.

Μόλις παρέλθει ο χρόνος, οι επαφές του χρονοδιακόπτη θα αλλάξουν στιγμιαία θέση και θα οπλίσει το ρελέ CR2. Μαζί θα οπλίσει και το C1, που σημαίνει ότι θα εκκινήσει ο συμπιεστής και συγχρόνως θα ανοίξει και η ηλεκτρομαγνητική βαλβίδα της γραμμής του υγρού (HB), η οποία φαίνεται στο Σχήμα 8.51.

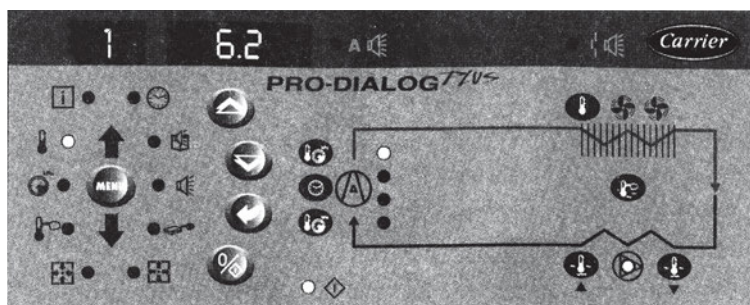
8.16 Ο ηλεκτρικός πίνακας με PLC

Η τάση στους σύγχρονους αυτοματισμούς είναι να χρησιμοποιούνται προγραμματιζόμενοι ηλεκτρονικοί ελεγκτές με μικροεπεξεργαστή. Αυτές οι ηλεκτρονικές συσκευές, περισσότερο γνωστές με την ονομασία PLC, προγραμματίζονται για να εκτελούν ορισμένες οδηγίες. Δεν έχουν σχέση με τους ηλεκτρονικούς ελεγκτές διαμορφωμένης λειτουργίας (τύπου P, PI, PID) που είδαμε στο κεφάλαιο 6.

Διάταξη αυτοματισμού, βασισμένη σε σύστημα PLC, βλέπουμε στο Σχήμα 8.52. Στην αρχή, και αυτό στο σχέδιό μας φαίνεται σαν ένα σύνολο γραμμών και λέξεων χωρίς νόημα. Στην πραγματικότητα όμως η λειτουργία του είναι πολύ εύκολο να γίνει αντιληπτή. Π.χ. στη θέση J2 (γραμμή 47), συνδέεται ο ελεγκτής ροής (flow switch ή για συντομία FS). Αν κάποια στιγμή πάψει να υπάρχει ροή νερού, τότε λειτουργεί το FS και το ρελέ X1 απενεργοποιείται. Η επαφή του X1 με τη σειρά της θέτει εκτός τάσης την επαφή ID5 του PLC. Τι σημαίνει τώρα αυτό για το μηχάνημα και πώς θα ανηδράσει το PLC; Εξαρτάται από τον προγραμματισμό που έχει γίνει. Το πιθανότερο όμως είναι ότι έχει προγραμματιστεί για να σταματήσει.

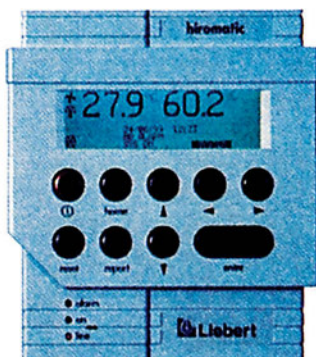
8.17 Η ηλεκτρονική συσκευή αναγνώρισης βλαβών

Τέτοιες συσκευές βλέπουμε στα Σχήματα 8.53 και 8.54. Και τα δύο είναι ελεγκτές του τύπου PID. Έχουν τη δυνατότητα να κάνουν όλους τους ελέγχους κατά τη λειτουργία και να υποκαθιστούν όλους του ελέγχους που γίνονται με τους συμβατικούς ηλεκτρικούς πίνακες. Επίσης έχουν και σύστημα διάγνωσης βλαβών και ιστορικό αρχείο. Οι βλάβες αναγνωρίζονται βάσει κωδικών που εμφανίζονται στην οθόνη. Από τους κωδικούς αυτούς και από το manual του μηχανήματος που εξηγεί τη σημασία του κάθε κωδικού μπορούμε να εντοπίσουμε το είδος της βλάβης.



Σχήμα 8.53 Πίνακας ελέγχου με δυνατότητα ανάκλησης μέχρι και 80 βλαβών

Στο Σχήμα 8.54 βλέπουμε ένα άλλο σύστημα ελέγχου και προγραμματισμού της λειτουργίας αναγνώρισης βλαβών. Το σύστημα αυτό χρησιμοποιείται ιδίως σε συστήματα κλειστού ελέγχου.



Σχήμα 8.54 Άλλη μορφή συστήματος ελέγχου και αναγνώρισης βλαβών που χρησιμοποιείται σε συστήματα κλειστού ελέγχου (χώροι Η/Υ κ.λπ.)



ΑΝΑΚΕΦΑΛΑΙΩΣΗ

- Η πλέον απλή διάταξη αυτοματισμού ψυκτικού κυκλώματος είναι του οικιακού ψυγείου. Το ψυκτικό κύκλωμα φαίνεται στο διάγραμμα (8.2) και το τυπικό ηλεκτρικό κύκλωμα στο (8.3).
- Τα κυριότερα εξαρτήματα αυτοματισμού ενός επαγγελματικού ψυκτικού κυκλώματος είναι:
 - η θερμοστατική εκτονωτική βαλβίδα (Θ.Ε.Β.)
 - οι πρεσοστάτες (χαμηλής-υψηλής πίεσης, πίεσης λαδιού)
 - οι ρυθμιστές πίεσης (αρχική, αναρρόφησης, στροφαλοθαλάμου)
 - οι ηλεκτρομαγνητικές βαλβίδες (H/B)
 - οι ρυθμιστές στροφών του ανεμιστήρα του συμπυκνωτή
 - οι θερμοστάτες
 - το σύστημα αποπαγοποίησης
 - το κύκλωμα λίπανσης
- Η διανομή του ψυκτικού υγρού στα κυκλώματα γίνεται μέσω ενός εξαρτήματος που ονομάζεται διανομέας.
- Ο αυτοματισμός της αντλίας θερμότητας βασίζεται σε ένα εξάρτημα που ονομάζεται τετράοδη βαλβίδα και αντιστρέφει τη ροή του ψυκτικού ρευστού. Κατά την ανάστροφη λειτουργία, η Θ.Ε.Β. και ο διανομέας παρακάμπτονται με τη χρήση του κατάλληλου διανομέα με πλευρική σπή.
- Το σύστημα ρύθμισης της αρχικής πίεσης έχει σκοπό να έχουμε μία ελάχιστη πίεση στο ресείνερ που είναι απαραίτητη για τη λειτουργία του ψυκτικού κυκλώματος. Το πρόβλημα παρουσιάζεται το χειμώνα, όταν έχουμε χαμηλές θερμοκρασίες περιβάλλοντος.
- Το σύστημα ρύθμισης της πίεσης στη γραμμή αναρρόφησης έχει σκοπό να μην πέσει η πίεση στην έξοδο του εξατμιστή κάτω από ένα ελάχιστο επιτρεπόμενο όριο.
- Το σύστημα ελέγχου της πίεσης στο στροφαλοθάλαμο εξασφαλίζει ότι δεν θα υπάρχει μεγάλη διαφορά πίεσης μεταξύ στροφαλοθαλάμου και κατάθλιψης, κατά την εκκίνηση του συμπιεστή.

- Το σύστημα αυτόματης ρύθμισης του φορτίου έχει διπλή αποστολή: Να αποτρέψει τη δημιουργία πάγου στον εξατμιστή και να ρυθμίζει την παρεχόμενη ψυκτική ισχύ ανάλογα με τις ανάγκες.
- Στις μεγάλες ψυκτικές εγκαταστάσεις, με περισσότερους από έναν εξατμιστές, εφαρμόζεται σύστημα αποπαγοποίησης, κατά το οποίο διαδοχικά, στον κάθε ένα από τους εξατμιστές αναστρέφεται η λειτουργία, ενώ οι άλλοι λειτουργούν κανονικά. Η απαιτούμενη διαφορική πίεση για την πρόκληση της αναστροφής ροής του ψυκτικού ρευστού εξασφαλίζεται από την ηλεκτρομαγνητική βαλβίδα αποπαγοποίησης.
- Όλες οι ψυκτικές εγκαταστάσεις έχουν και σύστημα ηλεκτρικού αυτοματισμού, το οποίο δέχεται εντολές από διάφορα σημεία του ψυκτικού κυκλώματος και εκτελεί ανάλογα διάφορες ενέργειες. Εντολές δέχεται κυρίως από τους πρεσοστάτες, τους θερμοστάτες, τους ελεγκτές ροής και τους χρονοδιακόπτες και δίνει εντολές κυρίως στο συμπιεστή και στις ηλεκτρομαγνητικές βαλβίδες.
- Το κυριότερο όργανο ελέγχου της ροής στα υδρόψυκτα συστήματα είναι ο ελεγκτής ροής του κρύου νερού, που είναι περισσότερο γνωστός ως flow switch. Τοποθετείται στην έξοδο του εξατμιστή. Αν δεν υπάρχει ή δεν λειτουργεί, είναι σχεδόν σίγουρο ότι κάποια στιγμή, από βλάβη ή από ανθρώπινο σφάλμα, θα σπάσει ο υδρόψυκτος εξατμιστής.
- Το κύκλωμα λαδιού είναι ένα ανεξάρτητο αλλά βασικότατο κύκλωμα στη λειτουργία του ψυκτικού μηχανήματος. Ο διαχωρισμός του λαδιού από το ψυκτικό υγρό γίνεται στο διαχωριστή λαδιού.
- Η τυπική μορφή ενός καθαρά ηλεκτρικού διαγράμματος αυτοματισμού φαίνεται στο Σχήμα 8.51. Το σχήμα αυτό είναι προσαρμοσμένο για υδρόψυκτο σύστημα.
- Στους αυτοματισμούς των ηλεκτρικών κυκλωμάτων χρησιμοποιούνται όλο και περισσότερο τα PLC, τα οποία υποκαθιστούν ένα μεγάλο μέρος του κλασικού ηλεκτρικού αυτοματισμού. Οι ενέργειές τους εξαρτώνται από τον προγραμματισμό που τους έχει γίνει.
- Στο σύστημα του αυτοματισμού των ψυκτικών κυκλωμάτων χρησιμοποιούνται και ηλεκτρονικές συσκευές διάγνωσης βλαβών, οι οποίες έχουν ψηφιακές οθόνες. Διατηρούν αρχείο με δεκάδες πρόσφατες βλάβες ή μηνύματα. Ανάλογα με τον κωδικό αριθμό που παρουσιάζεται στην οθόνη, γίνεται η διάγνωση της βλάβης.

**ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ**

1. Δείτε τα Σχήματα 8.1 και 8.3 και σκεφτείτε τι θα συμβεί αν αφήσετε την πόρτα του ψυγείου ανοικτή για πολλές ώρες.
2. Γιατί ο τριχοειδής σωλήνας ενός οικιακού ψυγείου πρέπει να είναι κολημένος στη γραμμή αναρρόφησης;
3. Ποια είναι τα κυριότερα σημεία αυτοματισμού που βλέπετε στο Σχήμα 8.4;
4. Ποιος κατά τη γνώμη σας είναι ο βασικότερος αυτοματισμός του ψυκτικού κυκλώματος;
5. Γιατί χρειάζεται ο ρυθμιστής αρχικής πίεσης;
6. Πόσοι τρόποι υπάρχουν για τη ρύθμιση της αρχικής πίεσης; Εσείς ποιον θα προτιμούσατε να εφαρμόζετε και γιατί;
7. Ποιος είναι ο λόγος που χρησιμοποιείται ο διανομέας;
8. Με ποιον τρόπο γίνεται η αντιστροφή της ροής του ρευστού σε μία αντλία θερμότητας;
9. Τι προβλήματα παρουσιάζονται κατά την αντιστροφή της ροής και πώς αντιμετωπίζονται;
10. Γιατί οι αντλίες θερμότητας έχουν μεγαλύτερα receiver από ό,τι έχουν τα αντίστοιχης ισχύος ψυκτικά μηχανήματα;
11. Πώς παρακάμπτεται ο διανομέας κατά την αντιστροφή της λειτουργίας του ψυκτικού κυκλώματος;
12. Σε τι χρησιμεύει το σύστημα ρύθμισης της ελάχιστης πίεσης αναρρόφησης και σε τι το σύστημα ρύθμισης της πίεσης στο στροφαλοθάλαμο;
13. Αφού το σύστημα ρύθμισης της ελάχιστης πίεσης εξασφαλίζει ότι η πίεση στην αναρρόφηση θα έχει μία ελάχιστη τιμή, ποιος είναι ο λόγος που μας χρειάζεται και το σύστημα ρύθμισης της πίεσης του στροφαλοθαλάμου;
14. Πόσοι τρόποι υπάρχουν για τη ρύθμιση της ελάχιστης πίεσης αναρρόφησης; Ποιον θα προτιμούσατε να εφαρμόζετε και γιατί;

15. Ένα σύστημα μπορεί να έχει πολλούς εξαμιστές; Πώς εξασφαλίζεται η παράλληλη λειτουργία τους χωρίς να επηρεάζει ο ένας τον άλλο;
16. Μπορεί ένα σύστημα να έχει πολλούς συμπυκνωτές; Αν ναι, τι θα πρέπει κατά τη γνώμη σας να συμβαίνει για να λειτουργούν παράλληλα και χωρίς προβλήματα; Θα προτιμούσατε μία τέτοια λύση όταν έχετε μεγάλα φορτία;
17. Ποιοι τρόποι υπάρχουν για την αυτόματη ρύθμιση του φορτίου;
18. Το σύστημα αυτόματης ρύθμισης του φορτίου τι επιπλέον μπορεί να μας εξασφαλίσει;
19. Σας δίνουν ένα παλιό σύστημα χωρίς ρύθμιση του φορτίου (η ρύθμιση επιτυγχάνεται με ON/OFF του συμπιεστή). Σας ρωτάνε αν μπορεί να τοποθετηθεί σύστημα αυτόματης ρύθμισης. Τι θα τους απαντήσετε;
20. Σε τι διαφέρει η λειτουργία των σφαιρικών βαλβίδων από τις βαλβίδες shut-off;
21. Η εκτονωτική βαλβίδα παράκαμψης πώς λειτουργεί όταν το κύκλωμα έχει διανομέα;
22. Σε ένα σούπερ μάρκετ, έχουμε ένα δίκτυο με 6 εξαμιστές που λειτουργούν στους καταψύκτες. Πώς θα εξασφαλίζετε την αυτόματη αποπαγοποίησή τους;
23. Γιατί κατά την αυτόματη αποπαγοποίηση ενός κυκλώματος με πολλούς εξαμιστές είναι δύσκολη η πρόκληση της ανάστροφης ροής; Με ποιον τρόπο αυτή επιτυγχάνεται;
24. Σε τι χρησιμεύει ο ηλεκτρικός αυτοματισμός ενός ψυκτικού κυκλώματος;
25. Πώς συνεργάζεται ο ηλεκτρικός αυτοματισμός με τα συστήματα αυτοματισμού του ψυκτικού κυκλώματος;
26. Ποια σημεία θα πρέπει να ελέγχει ο ηλεκτρικός αυτοματισμός σε ένα υδρόψυκτο κύκλωμα;
27. Ποιο είναι το κυριότερο σημείο ελέγχου ενός υδρόψυκτου αυτοματισμού και τι θα μπορούσε να συμβεί σε περίπτωση βλάβης του;
28. Κλείνουμε τη βάνα της εξόδου του εξαμιστή ενός υδρόψυκτου συστήματος. Υποθέστε ότι όλα τα όργανα λειτουργούν σωστά. Ποιες αναμένετε ότι θα είναι οι διαδοχικές αντιδράσεις του ψυκτικού και του ηλεκτρικού συστήματος αυτοματισμού;

29. Αν στο παραπάνω κύκλωμα ανοίξουμε μετά από 5 λεπτά τη βάνα που κλείσαμε, θα ξεκινήσει αυτόματα; Αν όχι, τι ενέργειες θα πρέπει να προηγηθούν;
30. Γιατί το λάδι δεν πρέπει να κυκλοφορεί σε μεγάλες ποσότητες στο ψυκτικό κύκλωμα; Με ποιον τρόπο αυτό εξασφαλίζεται;
31. Ποιος είναι ο ρόλος του χρονοδιακόπτη καθυστέρησης της εκκίνησης σε ένα ηλεκτρικό κύκλωμα αυτοματισμού;
32. Τι είναι τα PLC και ποιος ο ρόλος τους στους ηλεκτρικούς πίνακες αυτοματισμού;
33. Γιατί σε ένα μηχάνημα με PLC δεν υπάρχει χρονοδιακόπτης καθυστέρησης της εκκίνησης;
34. Τι είναι οι ηλεκτρονικές συσκευές αναγνώρισης βλαβών και ποιον ρόλο επιτελούν;



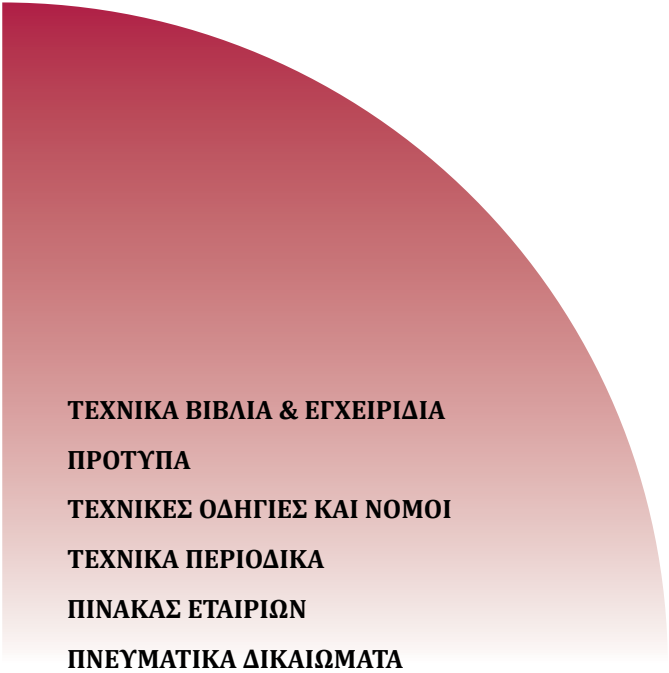
ΑΣΚΗΣΕΙΣ

1. Σχεδιάστε το ηλεκτρικό κύκλωμα ενός απλού οικιακού ψυγείου.
2. Ένα οικιακό ψυγείο έχει δύο ανεξάρτητα συστήματα ψύξης, της κατάψυξης και της συντήρησης, δύο με ανεξάρτητους συμπιεστές. Σχεδιάστε το ηλεκτρικό του κύκλωμα.
3. Σχεδιάστε τους δύο διαφορετικούς τρόπους που ελέγχεται η αρχική πίεση σε ένα ψυκτικό κύκλωμα.⁶
4. Σχεδιάστε το ψυκτικό κύκλωμα μίας αντλίας θερμότητας με αερόψυκτους συμπιεστή και εξατμιστή.
5. Σχεδιάστε το ψυκτικό κύκλωμα ενός split unit. Χρησιμοποιούνται μόνο τριχοειδείς σωλήνες.
6. Κάντε ένα σκίτσο με το οποίο να φαίνεται ο τρόπος που παρακάμπτεται ο διανομέας κατά την ανάστροφη λειτουργία.
7. Σχεδιάστε τρεις διαφορετικούς τρόπους ρύθμισης της ελάχιστης πίεσης αναρρόφησης.
8. Σχεδιάστε τη λειτουργία του συστήματος ρύθμισης φορτίου και αποπαγοποίησης του εξατμιστή, με τη χρήση της εκτονωτικής βαλβίδας παράκαμψης.
9. Σχεδιάστε το ίδιο κύκλωμα με την παράκαμψη στην έξοδο του εξατμιστή.
10. Σχεδιάστε τη σύνδεση αποπαγοποίησης (α) με βαλβίδες ρύθμισης και με εξωτερικό εξισωτή (β) με τρίοδες βάνες. Και στις δύο περιπτώσεις υποθέστε ότι υπάρχουν δύο εξατμιστές.
11. Μελετήστε τα Σχήματα 8.36 και 8.37. Μετά, χωρίς να βλέπετε το Σχήμα 8.37 και έχοντας μπροστά σας μόνο το Σχήμα 8.36 να σχεδιάσετε το ψυκτικό κύκλωμα της εγκατάστασης.
12. Σχεδιάστε εκ νέου το σύστημα του Σχήματος 8.37, προσθέτοντας και το σύστημα αποπαγοποίησης. Μπορείτε κατά την άσκηση αυτή να έχετε μπροστά σας φωτοτυπίες των Σχημάτων 8.32, 8.36 και 8.37.

⁶ Όπου ζητείται σχεδίαση, ο μαθητής θα μπορεί να χρησιμοποιεί δικά του απλοποιημένα σύμβολα. Αυτό ισχύει για όλες τις ασκήσεις του παρόντος κεφαλαίου.

13. Σχεδιάστε το κύκλωμα του ψυκτελαίου.
14. Σχεδιάστε το τυπικό ηλεκτρικό διάγραμμα ενός υδρόψυκτου ψύκτη νερού (chiller).
15. Σχεδιάστε το ηλεκτρικό διάγραμμα ενός ψύκτη με αερόψυκτο συμπυκνωτή και εξατμιστή. Μπορείτε να έχετε μπροστά σας τα Σχήματα 8.39 και 8.51.
16. Τροποποιήστε το παραπάνω ηλεκτρικό διάγραμμα έτσι ώστε να καλύπτεται με αυτό η λειτουργία μίας αντλίας θερμότητας, με χειροκίνητο διακόπτη θέρους-χειμώνα.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ



ΤΕΧΝΙΚΑ ΒΙΒΛΙΑ & ΕΓΧΕΙΡΙΔΙΑ
ΠΡΟΤΥΠΑ
ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΟΔΗΓΙΕΣ ΚΑΙ ΝΟΜΟΙ
ΤΕΧΝΙΚΑ ΠΕΡΙΟΔΙΚΑ
ΠΙΝΑΚΑΣ ΕΤΑΙΡΙΩΝ
ΠΝΕΥΜΑΤΙΚΑ ΔΙΚΑΙΩΜΑΤΑ

1 – ΤΕΧΝΙΚΑ ΒΙΒΛΙΑ & ΕΓΧΕΙΡΙΔΙΑ

- 1.1. Φ. Δημόπουλος, Χ. Παγιάτης, Σ. Πάγκαλος, "Στοιχεία Ηλεκτρολογίας", ΟΕΔΒ, Α΄ Έκδοση, Αθήνα, 2000.
- 1.2. Σ. Γαντζούδης, Μ. Λαγουδάκος, Α. Μπινιάρης, "Ηλεκτρικές Μηχανές", ΟΕΔΒ, Β΄ τάξη 1ου Κύκλου, Αθήνα.
- 1.3. Μ. Γ. Ιωαννίδου, Θ. Μικρώνης, Β. Τσίλης, "Ανάλυση Ηλεκτρικών Κυκλωμάτων", ΟΕΔΒ, Α΄ Έκδοση, Αθήνα, 2000.
- 1.4. Ε. Κ. Μπρακατσούλας, Γ. Ι. Παπαϊωάννου, Ι. Α. Παπαδάκης, "Γενικά Ηλεκτρονικά", ΟΕΔΒ, Α΄ Έκδοση, Αθήνα, 2000.
- 1.5. Μ. Γ. Ιωαννίδου, "Έλεγχος Συστημάτων Κίνησης", Εκδόσεις Συμεών, Αθήνα, 1991.
- 1.6. Κ. Ανδρακάκος, Α. Βελέντζας, Ι. Γάτσιος, Ν. Διαμαντής, Ε. Δρυς, Κ. Κρίκος, Ν. Πιερράκος, "Φυσική της Β΄ Λυκείου Θετικής - Τεχνολογικής Κατεύθυνσης", ΟΕΔΒ, Αθήνα, 2000.
- 1.7. Α. Ν. Σαφάκας, "Ηλεκτρονικά ισχύος, Θυρίστορ, μετατροπείς, εφαρμογές", ΟΕΔΒ, Αθήνα, 1985.
- 1.8. Ν. Mohan, Τ. Μ. Underland and W. P. Robbins, "Power electronics", 2nd Ed., John Wiley&Sons, 1995.
- 1.9. Β. Κ. Bose, "Modern Power Electronics: Evolution, Technology and Applications", IEEE Press, 1991.
- 1.10. W. C. Whitman, W. M. Johnson, J. A. Tomczyk, "Ηλεκτρολογία & Αυτοματισμοί", Εκδόσεις "ΙΩΝ", 4η Έκδοση, 2000.
- 1.11. Ν. Γλώσσας, Δ. Τσελές, "Αρχές Αυτοματισμού", ΟΕΔΒ, Αθήνα, 2000.
- 1.12. SenSym, "Pressure Transducer Handbook", 1983.
- 1.13. Siemens, "Passive Components and Electron Tubes", 1999.
- 1.14. Philips, "Components and Materials. Part 11", 1982.
- 1.15. National Semiconductors, "Data Acquisition", 1995.
- 1.16. Ν. Ζούλης, Π. Καφφετζάκης, Γ. Σούλτης, "Συστήματα Αυτοματισμών", Α΄ Τόμος, Τ.Ε.Ε., Αθήνα, 2000.
- 1.17. ΟΥΤΕΚΟ ΑΒΕΕ, "Θερμοηλεκτρονικές Κατασκευές, Όργανα Μέτρησης και Ελέγχου", 2000.
- 1.18. Σ. Παλαιοκρασάς, "Βιομηχανικά ηλεκτρονικά – Αυτοματισμοί", Τεύχος Β΄, "Συστήματα αυτόματου ελέγχου", Ευγενίδειο Ίδρυμα.
- 1.19. Σ. Αναστασιάδης, "Αυτοματισμοί Εγκαταστάσεων Ψύξεως και Κλιματισμού", Αθήνα, 2001.

- 1.20. Α. Ασημακόπουλος, "Τεχνολογία Ψύξεως", Αθήναι.
- 1.21. Σ. Αναστασιάδης, "Τεχνολογία Ψύξεως", Αθήνα, 1997.
- 1.22. Σ. Πακτίτη, "Ηλεκτρονικές Μετρήσεις", Αθήνα, 1983.
- 1.23. Ν. Πανταζή, Προγραμματιζόμενοι λογικοί Ελεγκτές
- 1.24. Κ. Διακουμάκου - Επιλογή των FCU και των AHU.
- 1.25. ASHRAE – Fundamentals.
- 1.26. ASHRAE – HVAC Systems and Equipment.
- 1.27. ASHRAE – HVAC Applications.
- 1.28. ASHRAE – Refrigeration.
- 1.29. ASHRAE – Air Conditioning Engineer's Handbook.
- 1.30. CARRIER – System design manual.
- 1.31. TRANE – Applications Engineering Manual.
- 1.32. TOUR & ANDERSSON – Balancing manuals 1,2,3,4.
- 1.33. W. Bolton – "Engineering Instrumentation & Control", Butterworths, 1980.

2 – ΠΡΟΤΥΠΑ – ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΟΔΗΓΙΕΣ

- 2.1. ISO-31 "Units & Symbols".
- 2.2. ASHRAE 62-1989 "Ventilation for Acceptable Air Quality".
- 2.3. ΤΟΤΕΕ 2423/86 - Κλιματισμός κτηριακών χώρων.

3 – ΤΕΧΝΙΚΑ ΠΕΡΙΟΔΙΚΑ

- 3.1. ASHRAE Journal
- 3.2. ΔΕΛΤΙΟ Πανελληνίου Συλλόγου Διπλωματούχων Μηχανολόγων-Ηλεκτρολόγων

4 – ΔΙΕΥΘΥΝΣΕΙΣ INTERNET

- 4.1. <http://www.sensorsci.com>
- 4.2. <http://www.temperature.com>
- 4.3. <http://www.inco.com>
- 4.4. <http://my.execpc.com/~rhoadley/magacmot.htm>

5 – ΠΙΝΑΚΑΣ ΕΤΑΙΡΙΩΝ

Αναφέρονται παρακάτω, κατά **αλφαβητική σειρά**, οι εταιρίες που βοήθησαν στην προσπάθεια της σύνταξης του παρόντος βιβλίου, θέτοντας στη διάθεση των συγγραφέων καταλόγους προϊόντων που κατασκευάζουν ή αντιπροσωπεύουν, τεχνικά φυλλάδια, φωτογραφίες, σχήματα κ.λπ.

Τους εκφράζουμε τις θερμές μας ευχαριστίες.

ΒΑΣΙΛΕΙΑΔΗΣ & ΥΙΟΙ Α.Ε.
ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΟΣ & ΝΑΥΤΙΛΙΑΚΟΣ ΑΥΤΟΜΑΤΙΣΜΟΣ
ΒΙΟΣΩΛ Α.Β.Ε.
ΜΑΝΤΑΝΟΒΙΤΣ-ΚΑΤΣΑΡΟΣ ΑΕΒΕ (JOHNSON CONTROLS)
ΣΝΕΝΤΕΡ ΕΛΕΚΤΡΙΚ Α.Ε.
ΤΕΨΑ Ε.Π.Ε.
ΦΥΡΟΓΕΝΗΣ Α.Β.Ε.
HELCOMA Α.ΛΥΚΟΜΗΤΡΟΥ-Θ.ΡΩΤΑΣ Ο.Ε. (ALCO CONTROLS)
ALPHA-ΓΚΡΙΣΙΝ INFOTECH Α.Ε. (LIEBERT-HIROS)
CARRIER HELLAS Α.Ε.
DANFOSS Ε.Π.Ε.
FRIGO-KLIMA Α.Ε.Β.Ε. (SPORLAN)
HAGER HELLAS ΑΕΒΕ
IN.CO. ΕΠΕ – ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΟΙ ΑΥΤΟΜΑΤΙΣΜΟΙ
SIEMENS BUILDING TECHNOLOGIES SpA, Υποκατάστημα Ελλάδος
TETRAGON HELLAS Ε.Π.Ε. (TA-TOUR & ANDERSON)
SIGMA HELLAS Ε.Π.Ε. (TESTO)
TRANE HELLAS Α.Ε.
WILO HELLAS Α.Β.Ε.Ε. (WILO, CENTRA)

ΠΝΕΥΜΑΤΙΚΑ ΔΙΚΑΙΩΜΑΤΑ

*Το δικαίωμα της εκμετάλλευσης των πνευματικών δικαιωμάτων του παρόντος βιβλίου έχει μεταβιβαστεί από τους συγγραφείς στο Παιδαγωγικό Ινστιτούτο. Εξαιρούνται οι **φωτογραφίες** και τα **σχήματα** που προέρχονται από τρίτους. Επί αυτών το Παιδαγωγικό Ινστιτούτο έχει μόνο την **άδεια χρήσης** τους για τις ανάγκες του παρόντος βιβλίου.*

ΠΑΡΟΡΑΜΑΤΑ

Τα παροράματα, τόσο του βιβλίου της θεωρίας "ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ ΚΛΙΜΑΤΙΣΜΟΥ II", όσο και του παρόντος εργαστηριακού οδηγού υπάρχουν στην αντίστοιχη ιστοσελίδα του Παιδαγωγικού Ινστιτούτου.

Διεύθυνση internet

[http:// www.pi-schools.gr](http://www.pi-schools.gr)

Επιλέξτε κατά σειρά:

- ↳ ΤΕΕ (Τομείς)
- ↳ Μηχανολογικός
- ↳ Παροράματα βιβλίων Μηχανολογικού Τομέα

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

| | |
|----------------|---|
| Πρόλογος | 7 |
|----------------|---|

ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΙΑ

Κεφάλαιο 1

| | |
|--|----|
| ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΟΥΣ ΑΥΤΟΜΑΤΙΣΜΟΥΣ | 9 |
| 1.1 Η έννοια του αυτοματισμού - Ιστορική αναδρομή | 12 |
| 1.1.1 Η έννοια του αυτοματισμού..... | 12 |
| 1.1.2 Ιστορική αναδρομή | 13 |
| 1.2 Συστήματα ανοικτού και κλειστού βρόχου | 16 |
| 1.2.1 Συστήματα ελέγχου | 16 |
| 1.2.2 Ταξινόμηση των συστημάτων ελέγχου | 18 |
| 1.3 Ρύθμιση συνεχής και ρύθμιση δύο θέσεων (ON-OFF)..... | 23 |
| 1.4 Τα βασικά μέρη ενός συστήματος ελέγχου | 24 |
| 1.5 Αισθητήρες, συσκευές ελέγχου, ενεργοποιητές | 26 |
| 1.5.1 Αισθητήρες..... | 26 |
| 1.5.2 Συσκευές και στοιχεία του συστήματος ελέγχου | 27 |
| 1.5.3 Ενεργοποιητές (actuators)..... | 28 |
| 1.6 Ηλεκτρικά, ηλεκτρονικά, πνευματικά και υδραυλικά εξαρτήματα αυτοματισμών..... | 32 |
| 1.6.1 Ηλεκτρικά εξαρτήματα | 32 |
| 1.6.2 Ηλεκτρονικά εξαρτήματα..... | 35 |
| 1.6.3 Πνευματικά εξαρτήματα | 37 |
| 1.6.4 Υδραυλικά εξαρτήματα..... | 39 |
| 1.7 Οι αυτοματισμοί που εφαρμόζονται στις εγκαταστάσεις ψύξης και κλιματισμού | 40 |
| Ανακεφαλαίωση | 42 |
| Ερωτήσεις..... | 44 |

Κεφάλαιο 2**ΒΑΣΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΙΑΣ..... 45**

| | |
|---|-----|
| 2.1 Βασικές έννοιες και μεγέθη | 48 |
| 2.2 Ηλεκτρικά κυκλώματα, νόμοι και θεωρήματα | 50 |
| 2.2.1 Περιγραφή του ηλεκτρικού κυκλώματος | 50 |
| 2.2.2 Νόμος του Ωμ | 52 |
| 2.2.3 Σύνδεση σε σειρά | 57 |
| 2.2.4 Παράλληλη σύνδεση αντιστάσεων | 62 |
| 2.2.5 Σύνθετη σύνδεση | 65 |
| 2.3 Συνεχές ρεύμα και εναλλασσόμενο ρεύμα | 68 |
| 2.4 Ωμική αντίσταση, επαγωγική αντίσταση και χωρητική αντίσταση στο ΕΡ | 75 |
| 2.4.1 Ωμική αντίσταση στο ΕΡ | 75 |
| 2.4.2 Επαγωγική αντίσταση στο ΕΡ | 77 |
| 2.4.3 Χωρητική αντίσταση στο ΕΡ | 79 |
| 2.4.4 Νόμος του Ωμ στο ΕΡ | 82 |
| 2.5 Ηλεκτρική ενέργεια, ισχύς και συντελεστής ισχύος..... | 83 |
| 2.5.1 Ηλεκτρική ενέργεια | 83 |
| 2.5.2 Ηλεκτρική ισχύς | 83 |
| 2.5.3 Βαθμός απόδοσης..... | 89 |
| 2.5.4 Ισχύς στο ΕΡ και συντελεστής ισχύος | 90 |
| 2.6 Όργανα μέτρησης..... | 95 |
| 2.6.1 Ταξινόμηση των οργάνων μέτρησης..... | 95 |
| 2.6.2 Το βολτόμετρο | 96 |
| 2.6.3 Το αμπερόμετρο | 97 |
| 2.6.4 Το βατόμετρο | 98 |
| 2.7 Στοιχεία ηλεκτρικών εγκαταστάσεων | 100 |
| 2.7.1 Ονομαστικά μεγέθη ηλεκτρικών συσκευών | 100 |
| 2.7.2 Ειδική αντίσταση..... | 100 |
| 2.7.3 Θερμικός συντελεστής..... | 102 |
| 2.7.4 Χρωματικός κώδικας αντιστάσεων | 104 |
| 2.7.5 Θέρμανση των αγωγών και η εκλογή της διατομής τους | 105 |
| Ανακεφαλαίωση | 110 |
| Ερωτήσεις και Ασκήσεις | 113 |

Κεφάλαιο 3**ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΤΕΣ115**

| | |
|---------------------------------------|-----|
| 3.1 Μονοφασικοί μετασχηματιστές | 118 |
| 3.2 Αυτομετασχηματιστής | 126 |
| 3.3 Τριφασικοί μετασχηματιστές | 127 |
| Ανακεφαλαίωση | 131 |
| Ερωτήσεις και Ασκήσεις | 134 |

Κεφάλαιο 4**ΗΛΕΚΤΡΙΚΕΣ ΜΗΧΑΝΕΣ 135**

| | |
|--|-----|
| 4.1 Δομή και λειτουργία ηλεκτροκινητήρων | 138 |
| 4.1.1 Εισαγωγή | 138 |
| 4.1.2 Αρχές λειτουργίας | 140 |
| 4.1.3 Ονομαστικά μεγέθη ηλεκτρικών μηχανών | 142 |
| 4.1.4 Συστήματα μετάδοσης κίνησης | 143 |
| 4.2 Τριφασικοί κινητήρες επαγωγής | 144 |
| 4.2.1 Κατασκευαστικά στοιχεία | 144 |
| 4.2.2 Χαρακτηριστικά του κινητήρα επαγωγής | 150 |
| 4.2.3 Λειτουργία των κινητήρων με φορτία | 151 |
| 4.3 Μονοφασικοί κινητήρες επαγωγής | 153 |
| 4.3.1 Αρχή λειτουργίας μονοφασικών κινητήρων επαγωγής | 153 |
| 4.3.2 Μονοφασικός κινητήρας επαγωγής με αντίσταση | 155 |
| 4.3.3 Μονοφασικός κινητήρας επαγωγής με πυκνωτή | 156 |
| 4.3.4 Μονοφασικός κινητήρας επαγωγής με χαμηλή ροπή εκκίνησης | 160 |
| 4.4 Εκκίνηση ηλεκτροκινητήρων | 161 |
| 4.4.1 Τα προβλήματα στην εκκίνηση | 161 |
| 4.4.2 Εκκίνηση κινητήρων επαγωγής με δρομείς κλωβού | 161 |
| 4.4.3 Εκκίνηση με επαγωγική αντίδραση σε σειρά | 163 |
| 4.4.4 Εκκίνηση με αυτομετασχηματιστή | 163 |
| 4.4.5 Εκκίνηση με διακόπτη αστέρα - τρίγωνο | 164 |
| 4.4.6 Εκκίνηση με μερικό τύλιγμα | 166 |
| 4.4.7 Εκκίνηση κινητήρων επαγωγής με τυλιγμένο δρομέα | 167 |
| 4.5 Προστασία ηλεκτροκινητήρων | 169 |
| 4.5.1 Ο ηλεκτρονόμος (ρελέ) | 170 |
| 4.5.2 Ο επαφέας | 171 |
| 4.5.3 Ο ηλεκτρονόμος τάσης (ρελέ τάσης) | 173 |
| 4.5.4 Ο ηλεκτρονόμος ρεύματος (ρελέ ρεύματος) | 174 |
| 4.5.5 Ο αυτόματος διακόπτης | 175 |

| | |
|---|-----|
| 4.6 Ψύξη ηλεκτροκινητήρων..... | 177 |
| 4.7 Χρήση ηλεκτροκινητήρων στις εγκαταστάσεις ψύξης και κλιματισμού..... | 179 |
| 4.7.1 Εφαρμογές με ηλεκτροκινητήρες | 179 |
| 4.7.2 Κινητήρες συμπιεστών | 180 |
| 4.7.3 Συντελεστής απόδοσης ψυκτικών εγκαταστάσεων..... | 184 |
| 4.7.4 Κινητήρες ελεγχόμενης ταχύτητας | 186 |
| Ανακεφαλαίωση | 187 |
| Ερωτήσεις..... | 192 |

ΟΙ ΑΥΤΟΜΑΤΙΣΜΟΙ ΤΩΝ ΨΥΚΤΙΚΩΝ ΚΑΙ ΤΩΝ ΚΛΙΜΑΤΙΣΤΙΚΩΝ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΩΝ

Κεφάλαιο 5

Η ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΤΩΝ ΒΑΣΙΚΩΝ ΕΞΑΡΤΗΜΑΤΩΝ ΑΥΤΟΜΑΤΙΣΜΟΥ.... 195

| | |
|---|-----|
| 5.1 Εισαγωγή..... | 198 |
| 5.2 Η θερμοκρασία | 200 |
| 5.3 Οι θερμοστάτες..... | 200 |
| 5.4 Θερμοστάτες με διμεταλλικό έλασμα | 202 |
| 5.5 Θερμοστάτες αερίου | 203 |
| 5.6 Ηλεκτρονικοί θερμοστάτες..... | 204 |
| 5.7 Θερμοστοιχείο ή θερμοζεύγος (thermocouple) | 204 |
| 5.8 Θερμίστορ - τύποι N.T.C. – P.T.C | 206 |
| 5.9 Συσκευές ελέγχου με διαστελλόμενο υγρό σε βολβό | 210 |
| 5.10 Θερμοστατικές εκτονωτικές βαλβίδες (Θ.Ε.Β.)..... | 210 |
| 5.11 Ανακεφαλαίωση αισθητηρίων θερμοκρασίας | 213 |
| 5.12 Χρήση των μηχανισμών ελέγχου της θερμοκρασίας στα συστήματα ψύξης και κλιματισμού | 215 |
| 5.13 Θερμοστάτες ρευστού | 215 |
| 5.14 Θερμοστάτες χώρου..... | 216 |
| 5.15 Θερμοστάτες ασφαλείας | 218 |
| 5.16 Σφάλματα μέτρησης-καλιμπράρισμα οργάνων | 220 |
| 5.17 Μηχανισμοί ελέγχου πίεσης..... | 220 |
| 5.18 Πρεσοστάτες ή (πιεζοστάτες) | 222 |
| 5.19 Ο έλεγχος της πίεσης μέσω μεμβρανών και διαφραγμάτων | 224 |
| 5.20 Μανόμετρα για διαφορική πίεση..... | 225 |
| 5.21 Μανόμετρο για απόλυτη πίεση | 227 |
| 5.22 Πρεσοστάτης με ηλεκτρονικό αισθητήριο (πιεζοκρυστάλλος)..... | 228 |
| 5.23 Πρεσοστάτης ελέγχου πίεσης λαδιού | 230 |

| | |
|--|-----|
| 5.24 Μέτρηση και έλεγχος της πίεσης και της παροχής με την αρχή του Bernoulli | 231 |
| 5.25 Διακόπτης ροής (flow switch) | 233 |
| 5.26 Διακόπτης ροής με υπερήχους | 234 |
| 5.27 Συσκευές ελέγχου στάθμης | 235 |
| 5.28 Μέτρηση και έλεγχος σχετικής υγρασίας | 240 |
| 5.29 Ηλεκτρομαγνητικές βαλβίδες ON-OFF | 242 |
| 5.30 Οι σερβοκινητήρες | 243 |
| Ανακεφαλαίωση | 245 |
| Ερωτήσεις - Ασκήσεις - Δραστηριότητες | 246 |

Κεφάλαιο 6

ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΕΣ ΔΙΑΤΑΞΕΙΣ ΚΑΙ ΣΥΣΚΕΥΕΣ

ΕΛΕΓΧΟΥ ΚΑΙ ΡΥΘΜΙΣΗΣ 249

| | |
|---|-----|
| 6.1 Γενικά για τα συστήματα ελέγχου και ρύθμισης | 251 |
| 6.2 Ο τρόπος λειτουργίας ενός συστήματος αυτοματισμού | 252 |
| 6.3 Τα είδη των συστημάτων αυτοματισμού | 256 |
| 6.4 Τα μέρη από τα οποία αποτελείται ένα σύστημα αυτοματισμού ... | 259 |
| 6.5 Τα συστήματα ανοικτού βρόχου | 259 |
| 6.6 Τα συστήματα κλειστού βρόχου | 261 |
| 6.7 Ο τρόπος ελέγχου και ρύθμισης με ηλεκτρονικές διατάξεις στα συστήματα κλειστού βρόχου | 261 |
| 6.8 Διάκριση των συστημάτων κλειστού βρόχου ανάλογα με τον τρόπο που επενεργούν | 264 |
| 6.9 Αυτοματισμοί επιλογής μεταξύ δύο θέσεων (ON-OFF) | 265 |
| 6.10 Αυτοματισμοί πλωτού ελέγχου (floating action) | 267 |
| 6.11 Αυτοματισμοί διαμορφωτικού ελέγχου (modulating control) | 269 |
| 6.12 Τα είδη των ελεγκτών διαμορφωτικού ελέγχου | 271 |
| 6.13 Ανακεφαλαίωση των παραμέτρων που θα πρέπει να ρυθμίζονται σε ένα σύστημα διαμορφωτικού ελέγχου | 280 |
| 6.14 Παράδειγμα ελέγχου της θερμοκρασίας με αναλογική ρύθμιση | 280 |
| 6.15 Ευσταθές και ασταθές σύστημα | 281 |
| 6.16 Οι παράμετροι χρόνου συναρτήσεως της ελεγχόμενης μεταβλητής | 283 |
| 6.17 Οι μηχανισμοί που κινούνται από τους ενεργοποιητές | 286 |
| 6.18 Τα είδη των τάμπερ | 286 |
| 6.19 Τα είδη των βανών | 288 |
| 6.20 Η λειτουργική συμπεριφορά των βανών και των τάμπερ | 290 |

| | |
|--|-----|
| 6.21 Η επιλογή της κατάλληλης βάνας ή τάμπτερ | 295 |
| 6.22 Η συνδυασμένη λειτουργία ελεγκτή+ενεργοποιητή+βάνα ή τάμπτερ | 297 |
| 6.23 Το σύστημα αυτοματισμού και η εξισορρόπηση του δικτύου | 298 |
| 6.24 Η ρύθμιση των ελεγκτών | 300 |
| 6.25 Παράδειγμα ρύθμισης ενός ελεγκτή | 301 |
| 6.26 Οι λογικοί ελεγκτές (fuzzy logic controllers) | 302 |
| 6.27 Ο ρόλος του τεχνίτη ψυκτικού στους αυτοματισμούς..... | 303 |
| Ανακεφαλαίωση | 305 |
| Ερωτήσεις..... | 308 |
| Ασκήσεις..... | 312 |

Κεφάλαιο 7

ΔΙΑΤΑΞΕΙΣ ΑΥΤΟΜΑΤΙΣΜΟΥ ΚΛΙΜΑΤΙΣΤΙΚΩΝ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΩΝ 317

| | |
|---|-----|
| 7.1 Οι κλιματιστικές μονάδες | 320 |
| 7.2 Ο αυτοματισμός των κλιματιστικών εγκαταστάσεων..... | 320 |
| 7.3 Η τοπική κλιματιστική μονάδα νερού (FCU) | 321 |
| 7.4 Η Κεντρική Κλιματιστική Μονάδα (ΚΚΜ) | 326 |
| 7.5 Ο αυτοματισμός της λειτουργίας της ΚΚΜ | 331 |
| 7.6 Ο έλεγχος των αεραγωγών και των στομιών | 336 |
| 7.7 Ο έλεγχος της διανομής του αέρα με τα συστήματα VAV | 338 |
| 7.8 Κεντρικό σύστημα ελέγχου κλιματιστικής εγκατάστασης | 343 |
| Ανακεφαλαίωση | 348 |
| Ερωτήσεις..... | 350 |
| Ασκήσεις..... | 354 |

Κεφάλαιο 8

ΔΙΑΤΑΞΕΙΣ ΑΥΤΟΜΑΤΙΣΜΟΥ ΨΥΚΤΙΚΩΝ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΩΝ 359

| | |
|--|-----|
| 8.1 Τα συστήματα αυτοματισμού των ψυκτικών κυκλωμάτων | 362 |
| 8.2 Το οικιακό ψυγείο | 363 |
| 8.3 Το ψυκτικό κύκλωμα | 368 |
| 8.4 Ο αυτοματισμός της λειτουργίας του ψυκτικού κυκλώματος..... | 372 |
| 8.5 Ο αυτοματισμός της λειτουργίας της αντλίας θερμότητας | 373 |
| 8.6 Η ρύθμιση της πίεσης στο receiver (head pressure)..... | 378 |
| 8.7 Η ρύθμιση της πίεσης στη γραμμή αναρρόφησης..... | 382 |
| 8.8 Η ρύθμιση της πίεσης στο στροφαλοθάλαμο του συμπιεστή | 385 |
| 8.9 Η αυτόματη ρύθμιση του φορτίου και η αποφυγή δημιουργίας πάγου στον εξατμιστή | 387 |
| 8.10 Η αυτόματη αποπαγοποίηση του εξατμιστή | 393 |

| | |
|---|------------|
| 8.11 Η επαγγελματική ψυκτική εγκατάσταση | 399 |
| 8.12 Ο ηλεκτρικός αυτοματισμός | 402 |
| 8.13 Ο έλεγχος του κυκλώματος κυκλοφορίας του νερού | 405 |
| 8.14 Το κύκλωμα του λαδιού | 408 |
| 8.15 Ο ηλεκτρικός πίνακας αυτοματισμού | 411 |
| 8.16 Ο ηλεκτρικός πίνακας με PLC | 415 |
| 8.17 Η ηλεκτρονική συσκευή αναγνώρισης βλαβών | 416 |
| Ανακεφαλαίωση | 417 |
| Ερωτήσεις..... | 419 |
| Ασκήσεις..... | 422 |
| ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ..... | 425 |

Βάσει του ν. 3966/2011 τα διδακτικά βιβλία του Δημοτικού, του Γυμνασίου, του Λυκείου, των ΕΠΑ.Λ. και των ΕΠΑ.Σ. τυπώνονται από το ΙΤΥΕ - ΔΙΟΦΑΝΤΟΣ και διανέμονται δωρεάν στα Δημόσια Σχολεία. Τα βιβλία μπορεί να διατίθενται προς πώληση, όταν φέρουν στη δεξιά κάτω γωνία του εμπροσθόφυλλου ένδειξη «ΔΙΑΤΙΘΕΤΑΙ ΜΕ ΤΙΜΗ ΠΩΛΗΣΗΣ». Κάθε αντίτυπο που διατίθεται προς πώληση και δεν φέρει την παραπάνω ένδειξη θεωρείται κλεψίτυπο και ο παραβάτης διώκεται σύμφωνα με τις διατάξεις του άρθρου 7 του νόμου 1129 της 15/21 Μαρτίου 1946 (ΦΕΚ 1946,108, Α').

Απαγορεύεται η αναπαραγωγή οποιουδήποτε τμήματος αυτού του βιβλίου, που καλύπτεται από δικαιώματα (copyright), ή η χρήση του σε οποιαδήποτε μορφή, χωρίς τη γραπτή άδεια του Υπουργείου Παιδείας και Θρησκευμάτων / ΙΤΥΕ - ΔΙΟΦΑΝΤΟΣ.

