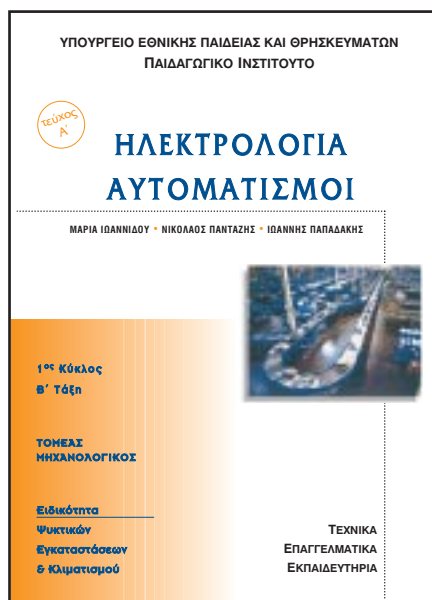


ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΙΑ - ΑΥΤΟΜΑΤΙΣΜΟΙ



Ενέργεια 2.3.2: «Ανάπτυξη των Τ.Ε.Ε. και Σ.Ε.Κ.»

ΠΑΙΔΑΓΩΓΙΚΟ ΙΝΣΤΙΤΟΥΤΟ:

Σταμάτης Αλαχιώτης

Καθηγητής Γενετικής Πανεπιστημίου Πατρών

Πρόεδρος του Παιδαγωγικού Ινστιτούτου

Έργο:

«Βιβλία Τ.Ε.Ε.»

– Επιστημονικός Υπεύθυνος του Έργου:

Γεώργιος Βούτσινος

Σύμβουλος του Παιδαγωγικού Ινστιτούτου

– Υπεύθυνος του Μηχανολογικού Τομέα

Δαφέρμος Ολύμπιος

Σύμβουλος του Παιδαγωγικού Ινστιτούτου

ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΕΘΝΙΚΗΣ ΠΑΙΔΕΙΑΣ ΚΑΙ ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ
ΠΑΙΔΑΓΩΓΙΚΟ ΙΝΣΤΙΤΟΥΤΟ

ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΙΑ ΑΥΤΟΜΑΤΙΣΜΟΙ

ΜΑΡΙΑ ΙΩΑΝΝΙΔΟΥ • ΝΙΚΟΛΑΟΣ ΠΑΝΤΑΖΗΣ
ΙΩΑΝΝΗΣ ΠΑΠΑΔΑΚΗΣ

ΤΕΧΝΙΚΑ ΕΠΑΓΓΕΛΜΑΤΙΚΑ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΗΡΙΑ

1ος Κύκλος • Τάξη Β΄

Ειδικότητα: *Ψυκτικών Εγκαταστάσεων και Κλιματισμού*

ΤΟΜΕΑΣ
ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΚΟΣ

ΣΥΓΓΡΑΦΕΙΣ

- 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, Φιλόλογος

ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ

- Δημητρέλου Κωνσταντίνα

ATELIER

- COSMOSWARE

ΠΑΙΔΑΓΩΓΙΚΟ ΙΝΣΤΙΤΟΥΤΟ
Υπεύθυνος του Μηχανολογικού Τομέα
Δαφέρμος Ολύμπιος
Σύμβουλος Παιδαγωγικού Ινστιτούτου

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Το βιβλίο αυτό αποσκοπεί να περιγράψει τους νόμους και της 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 στην 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, Γέωργιο Παπαβασιλό-

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

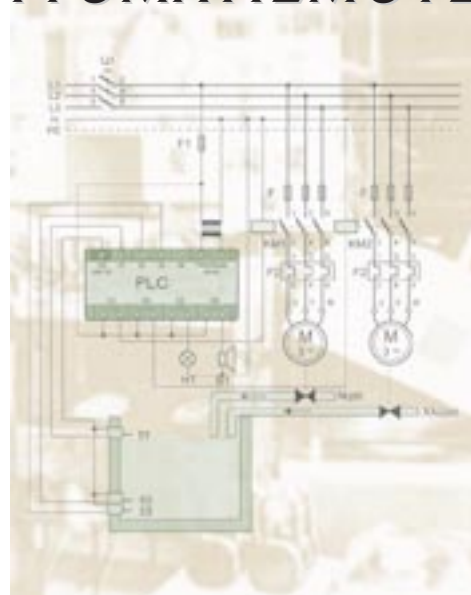
Ελπίζουμε ότι η μελέτη αυτού του βιβλίου θα βοηθήσει τους μαθητές των Τ.Ε.Ε να μάθουν ηλεκτρολογία και αυτοματισμούς με μικρή προσπάθεια και μεγάλη κατανόηση της ύλης.

Οι συγγραφείς

Μαρία Γ. Ιωαννίδου, Ιωάννης Παπαδάκης και Νικόλαος Πανταζής
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 περιγράφει τι είναι αυτοματισμός και πως 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.

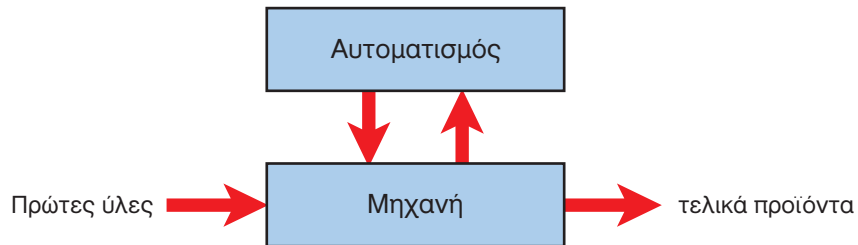
Για να είναι εφικτή η αυτόματη επεξεργασία ενός προϊόντος απαιτούνται δύο βασικά στοιχεία (Σχήμα 1.1):

- *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:

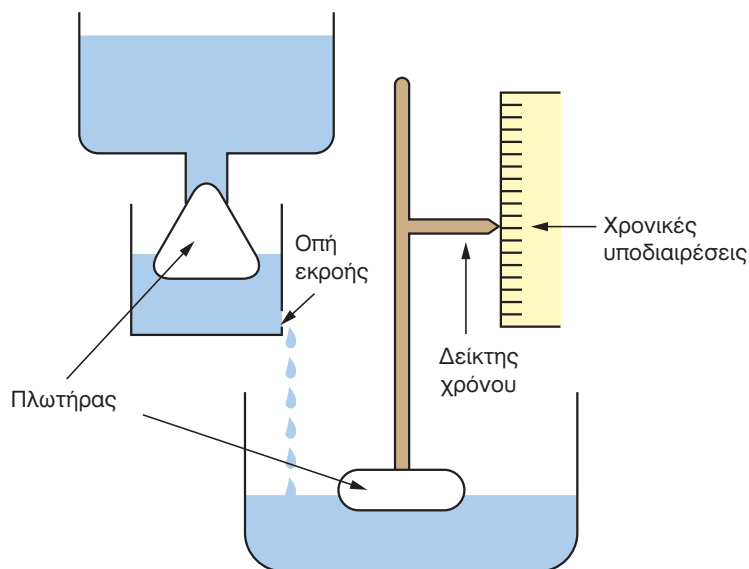
- ◆ το είδος του έργου
- ◆ το χαμηλότερο ή υψηλότερο βαθμό της αυτοματοποίησης που θα χρησιμοποιηθεί.



Σχήμα 1.1. Διάγραμμα σύνδεσης μηχανής και αυτοματισμού

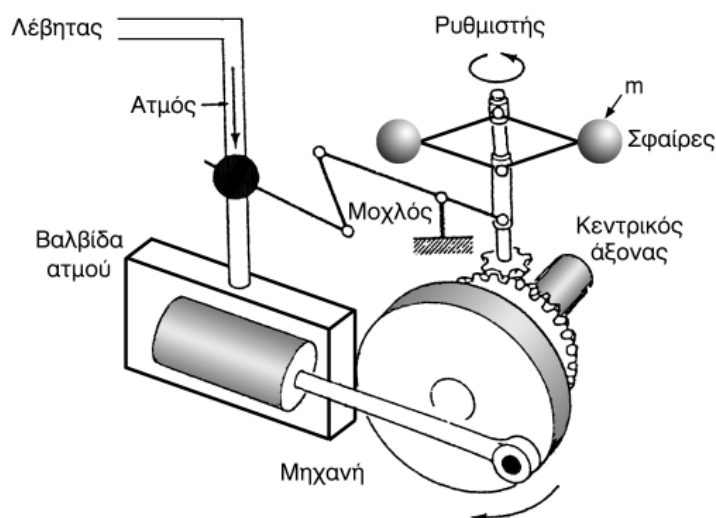
1.1.2 Ιστορική αναδρομή

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* επινόησε 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).

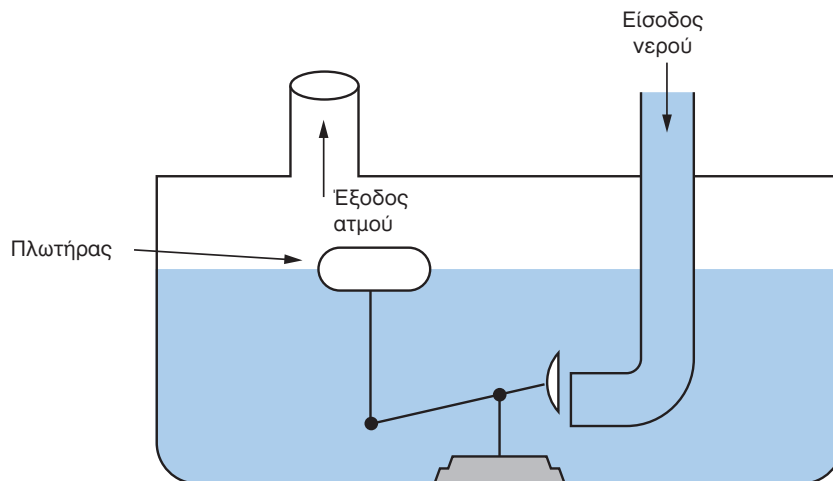


Σχήμα 1.3. Ο αυτόματος φυγοκεντρικός ρυθμιστής ταχύτητας του James Watt

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 παροχής

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 αυτόματου 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.

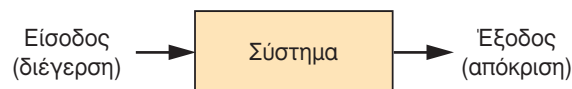
1.2 Συστήματα ανοικτού και κλειστού βρόχου

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.

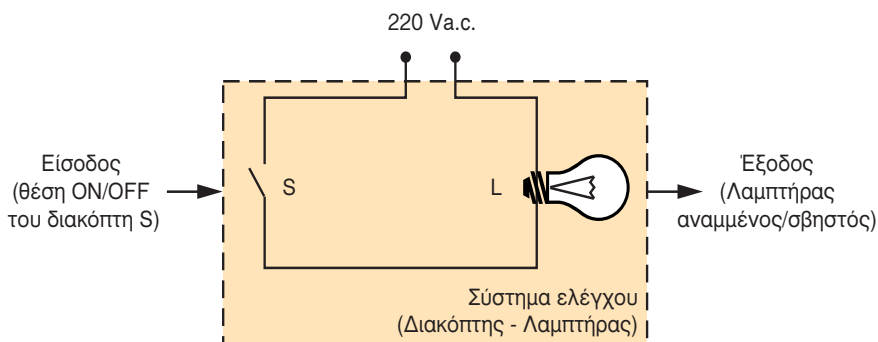


Σχήμα 1.5. Σχηματικό διάγραμμα ενός συστήματος ελέγχου

Π. Χ. ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 1

Άναμμα/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 κλείσιμό 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).



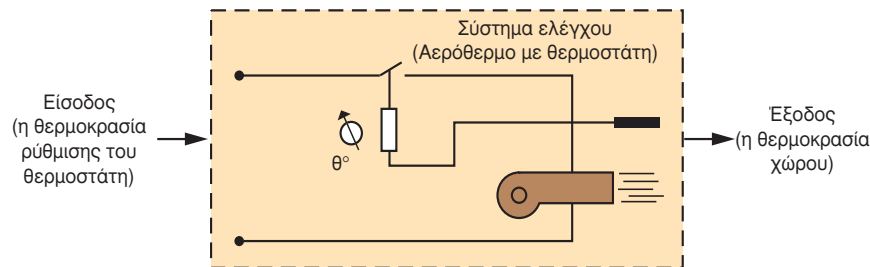
Σχήμα 1.6. Απλό σύστημα ελέγχου με διακόπτη και λαμπτήρα

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**”.

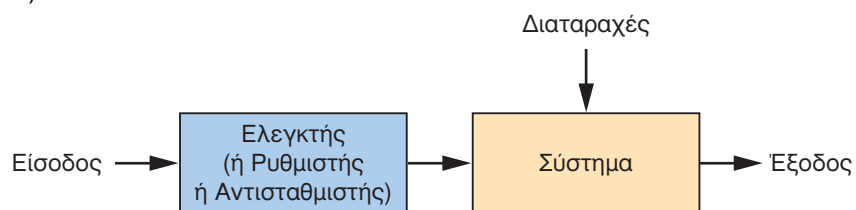
Εάν οι διαταραχές στο σύστημα είναι συχνές ή απρόβλεπτες πρέπει να παρακολουθείται συνεχώς η μεταβολή της πραγματικής τιμής στην έξοδο του και εφ’ όσον έχουμε μεγάλες απαιτήσεις από τη λειτουργία του συστήματος, τότε είναι πλέον απαραίτητη η **ανάδραση του συστήματος**.

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.

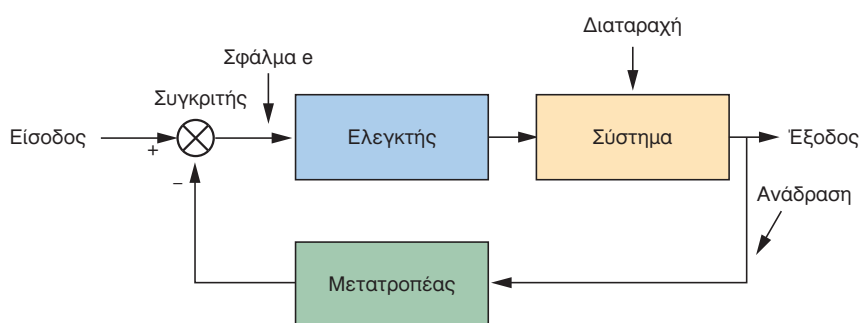
Τα ανοικτά συστήματα αυτομάτου ελέγχου εφαρμόζονται στις παρακάτω περιπτώσεις:

- 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 απορύθμιση του προγραμματιστή του πλυντηρίου).

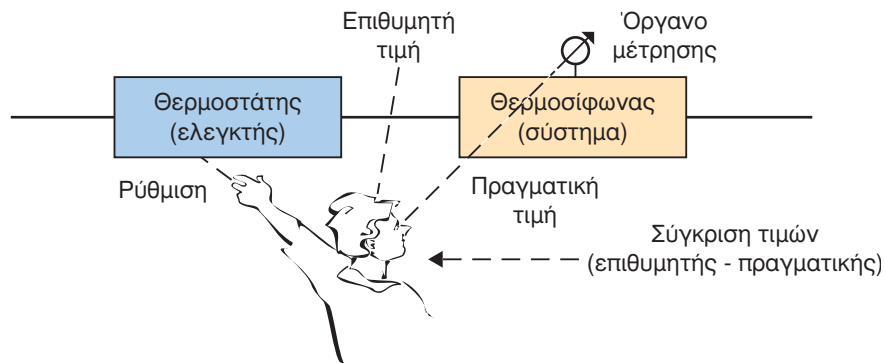
Τα κλειστά συστήματα αυτομάτου ελέγχου εφαρμόζονται στις περιπτώσεις όπου οι διαταραχές που επιδρούν στο σύστημα διαφέρουν τόσο στο είδος, όσο και στο μέγεθος (π.χ. η συχνότητα του ανοίγματος της πόρτας του ψυγείου, η μεταβολή της θερμοκρασίας του περιβάλλοντος, κτλ.).



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 καθόλη 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.

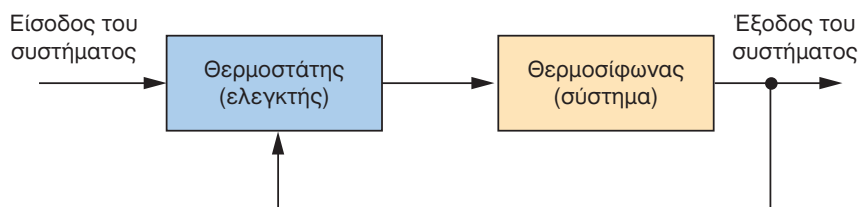
Π. Χ. ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 5

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 στον 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 εφ' όσον 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*.



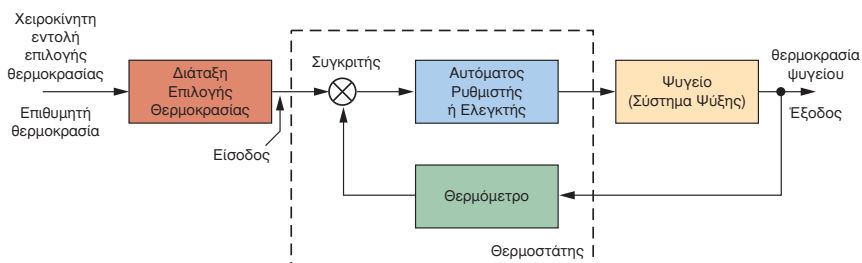
Σχήμα 1.11. Ο θερμοσίφωνας σαν σύστημα αυτομάτου ελέγχου κλειστού βρόχου

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.

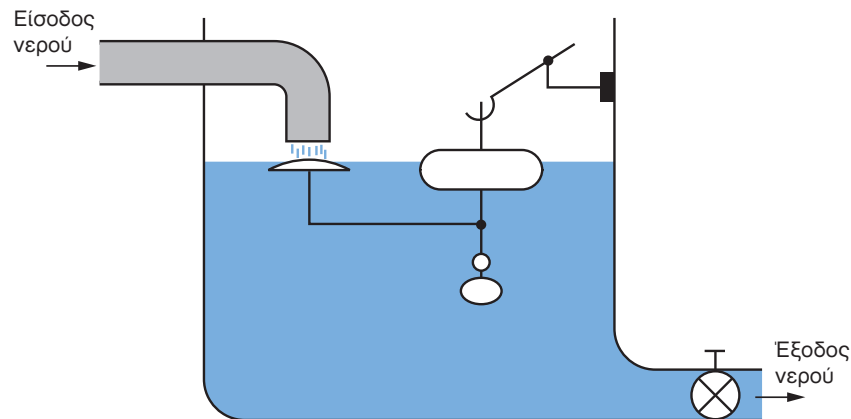


Σχήμα 1.12. Κλειστό σύστημα ελέγχου θερμοκρασίας ψυγείου

Π.Χ. ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 6

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 φλοτέρ

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 ποιο 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 οποιοδήποτε 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 (OFF), ή θα είναι κλειστός (ON), 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.

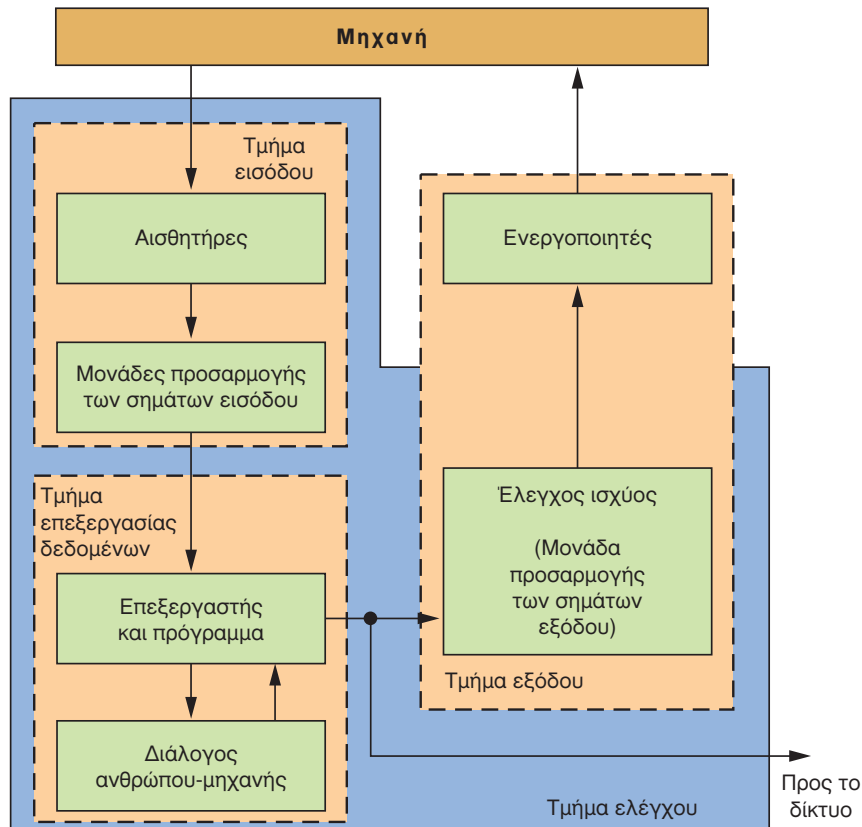
Η μέθοδος ελέγχου ON/OFF είναι ποιοτικά κατώτερη από τη μέθοδο συνεχούς ελέγχου, για βιομηχανική χρήση, αλλά παρ' όλα αυτά εξακολουθεί να χρησιμοποιείται ευρύτατα λόγω του χαμηλού της κόστους.

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 κάποιο 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 επί μέρους 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 τον 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 την μετάδοση των επεξεργασμένων σημάτων σε άλλους διαφορετικούς χώρους για παραπέρα επεξεργασία (καταχώρηση 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 αισθητηρίου 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, η ακόμη και να δημιουργήσουν διαδικασίες ανοίγματος/κλεισίματος διακοπών (*switching*) καθώς και γραμμικές ή περιστροφικές κινήσεις.

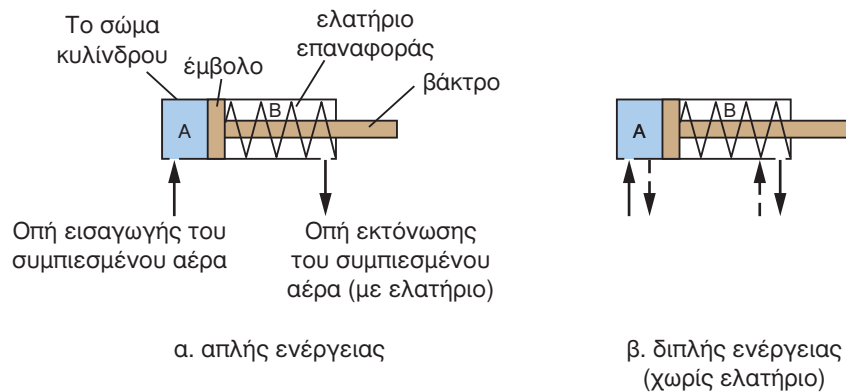
Πνευματικοί ενεργοποιητές

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 πνευματι-

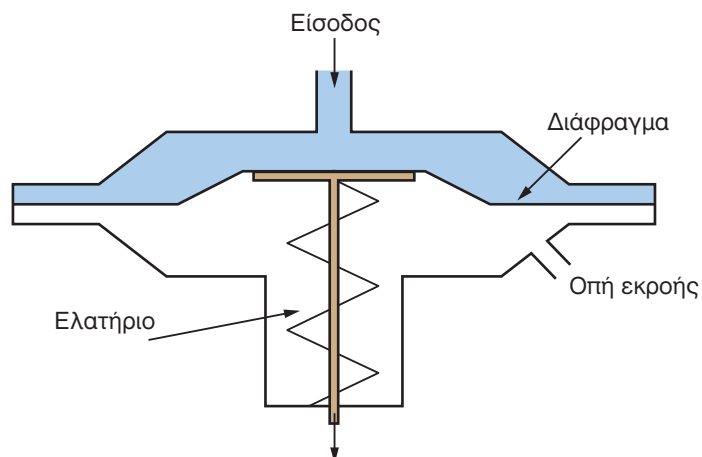
κός κύλινδρος απλής ενέργειας μπορεί να παράγει κίνηση μόνο προς τη μία κατεύθυνση (κατά την έκταση), (Σχήμα 1.15α). Ο πνευματικός κύλινδρος διπλής ενέργειας μπορεί να παράγει κίνηση και προς τις δύο κατευθύνσεις (έκταση-σύμπτυξη), (Σχήμα 1.15 β).



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

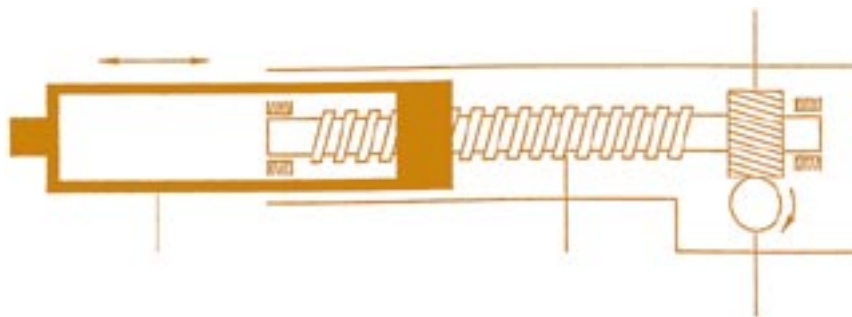
Ηλεκτρικοί ενεργοποιητές

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 διόδου).

1.6 Ηλεκτρικά, ηλεκτρονικά, πνευματικά και υδραυλικά εξαρτήματα αυτοματισμών

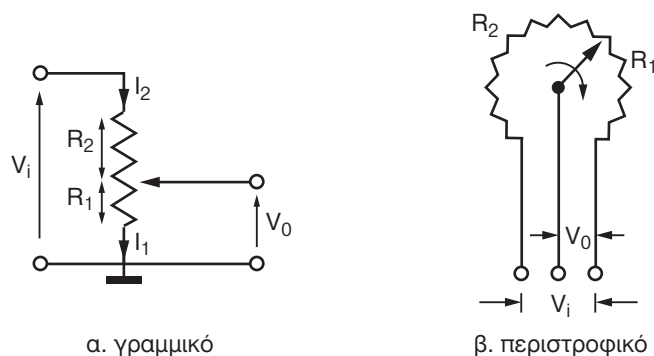
1.6.1 Ηλεκτρικά εξαρτήματα

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 1.19 α και β). Για το ποτενσιόμετρο ισχύει η σχέση:

$$V_o = kV_i$$

όπου $k = \frac{R_1}{R_1 + R_2}$

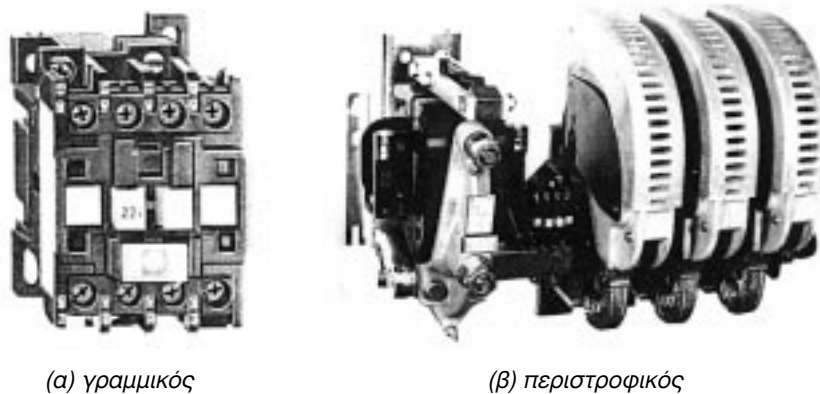


Σχήμα 1.19. Τύποι ποτενσιόμετρων

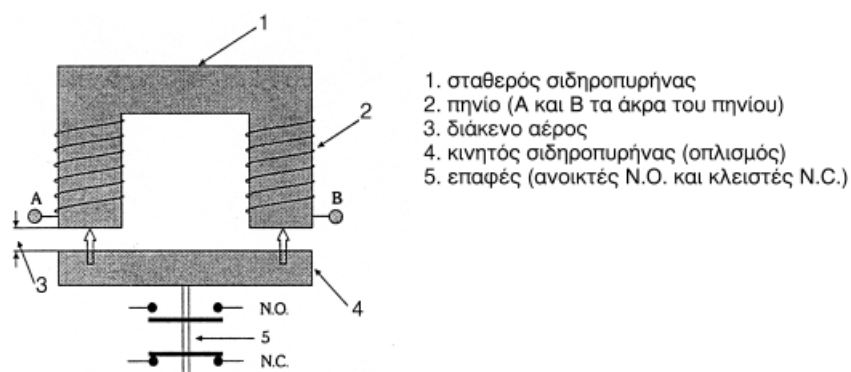
Ηλεκτρονόμος ή ρελέ (relay)

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 φορτίου).

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



Σχήμα 1.20 Τύποι ηλεκτρονόμων



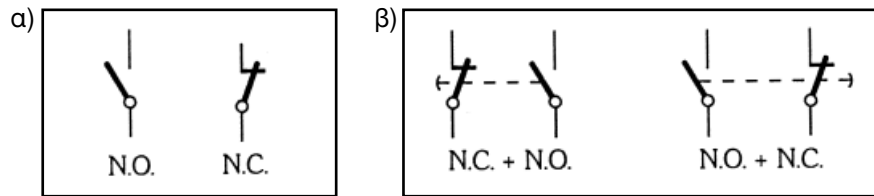
Σχήμα 1.21. Δομή ενός ηλεκτρονόμου

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 ανοιχτές - *normally open*, N.O. και κανονικά κλειστές - *normally closed*, N.C.

Οι κανονικά κλειστές επαφές λειτουργούν αντίθετα από τις κανονικά ανοιχτές επαφές, δηλαδή, άγουν μόνον 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 ON. 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.

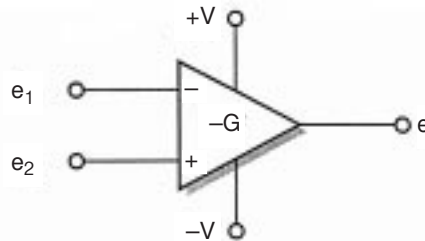
 **Θερμοστάτης.** Ανοίγει ή κλείνει αυτόματα μόλις η θερμοκρασία του χώρου (ή του ψυγείου) αποκλίνει από το επιθυμητό όριο.

 **Όργανα μέτρησης.** Μπορεί να είναι: *βολτόμετρα* (μετρούν τάσεις), *αμπερόμετρα* (μετρούν ρεύματα), *βατόμετρα* (μετρούν ισχύεις), 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

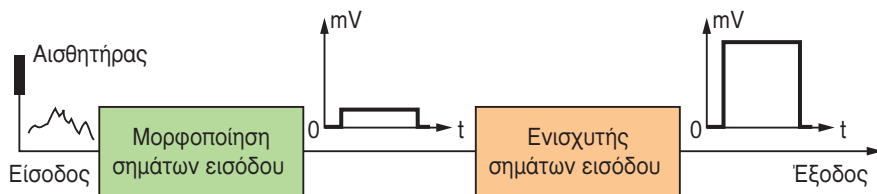
Αυτό το ηλεκτρονικό εξάρτημα ενισχύει το μορφοποιημένο σήμα χαμηλής στάθμης, (που προέρχεται από την έξοδο του μορφοποιητή), προτού οδηγηθεί στο τμήμα επεξεργασίας.

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 συμπίεζουν 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 ιδίου 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 διαφόρους 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 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 κτιρίου

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 ηλεκτροβάνα, 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 αυτήν 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 αυτόν 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 δε 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.

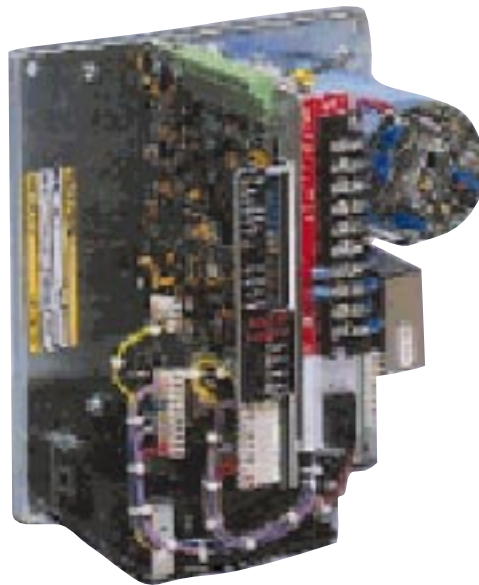
- Ο επεξεργαστής επεξεργάζεται τα σήματα μέτρησης, ακολουθώντας τις εντολές του προγράμματος και παράγει νέα σήματα τα οποία με τη σειρά τους οδηγούν τους ενεργοποιητές.
- Οι μονάδες προσαρμογής των σημάτων εξόδου αποτελούν τις ενδιάμεσες βαθμίδες ανάμεσα στον επεξεργαστή και στους ενεργοποιητές. Κύριος 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. Ποιά είναι η βασική διαφορά μεταξύ των συστημάτων ανοικτού και κλειστού βρόχου;
5. Ποιό είναι το κύριο στοιχείο που χαρακτηρίζει ένα σύστημα κλειστού βρόχου;
6. Τί είδους διάταξη θα πρέπει να χρησιμοποιήσουμε προκειμένου να ανιχνεύσουμε τη θερμοκρασία στο θάλαμο ψύξης ενός ψυγείου;
7. Ποιά 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. Τί είδους σύστημα ελέγχου θα χρησιμοποιούσατε προκειμένου να ελέγξετε τη θερμοκρασία ενός κλιματιστικού μηχανήματος;
13. Αναφέρετε συστήματα πεπιεσμένου αέρα.
14. Αναφέρετε υδραυλικά συστήματα.
15. Τί είδους σύστημα θα χρησιμοποιούσατε εάν θέλατε να σηκώσετε ένα πολύ μεγάλο βάρος και γιατί;

κεφάλαιο 2

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



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, οι μαθητές θα πρέπει να είναι σε θέση:

- ✓ Να υπολογίζουν την ηλεκτρική ενέργεια, την ηλεκτρική ισχύ και τον βαθμό απόδοσης ενός καταναλωτή.
- ✓ Να υπολογίζουν προσεγγιστικά την 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 την βοήθεια του νόμου του Ωμ 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 τον 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 την μετακίνηση θετικού ηλεκτρικού φορτίου από ένα σημείο σε άλλο, προς το ηλεκτρικό φορτίο.

Τα δύο σημεία αυτά μπορεί να είναι οι δυο πόλοι μιας πηγής ηλεκτρικής ενέργειας. Εφόσον η πηγή συνδέεται σε εξωτερικό ηλεκτρικό κύκλωμα, αρχίζει η μετακίνηση του φορτίου από τον ένα 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 την 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	Αμπερ - 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

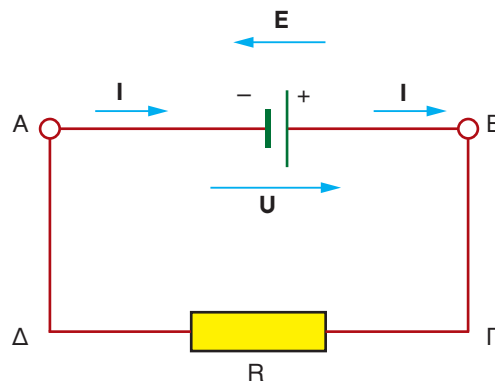
Οι ηλεκτρικές βιομηχανικές και οικιακές συσκευές και διατάξεις, έχουν ηλεκτρικά κυκλώματα, που περιλαμβάνουν περισσότερες ωμικές αντιστάσεις οι οποίες συνδέονται μεταξύ τους κατά πολλούς τρόπους. Τέτοιες σύνθετες συνδεσμολογίες με αγωγούς σύνδεσης μεταξύ των διαφόρων στοιχείων του κυκλώματος, όπως πηγές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

Ένας **βρόχος** είναι μια κλειστή αγωγίμη 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.

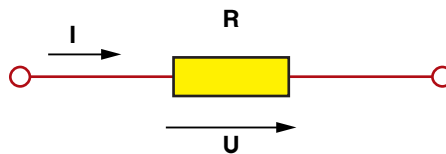
Ένας **κλάδος** του ηλεκτρικού κυκλώματος είναι ένα απλό στοιχείο όπως μια πηγή τάσης ή μία αντίσταση. Συνηθίζεται όμως να ονομάζεται **κλάδος** μια ομάδα περισσότερων όμοιων στοιχείων, που διαρρέονται από το ίδιο ρεύμα.

Ένας θρόχος 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 E 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 τον 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 την φορά του ρεύματος, (Σχήμα 2.2.2).

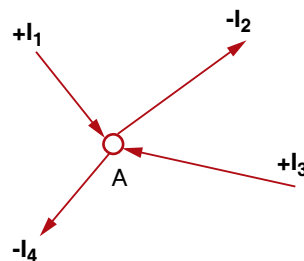


ΠΡΟΣΟΧΗ

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 τη 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 διατάξεις 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 την 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 την 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 την 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 ά-

κρα του εφαρμόζεται τάση ενός βολτ και διαρρέεται από ρεύμα έντασης ενός αμπερ.

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

Στην πράξη χρησιμοποιούνται και πολλαπλάσια του Ωμ :

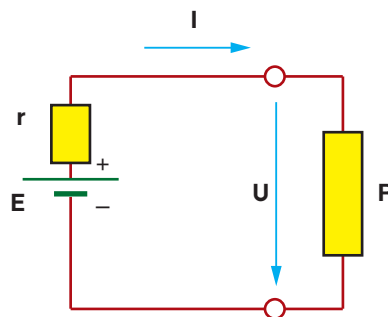
- Το κιλοώμ = $1\text{ k}\Omega = 1000\ \Omega = 10^3\ \Omega$
- Το μεγαώμ = $1\text{ M}\Omega = 1000\text{ k}\Omega = 10^6\ \Omega$

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 την δυσκολία που συναντούν τα ηλεκτρικά φορτία κατά την κίνηση 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 μετριέται 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.

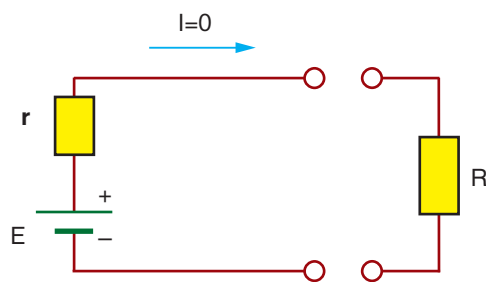


Σχήμα 2.2.4 Κλειστό κύκλωμα με εσωτερική αντίσταση της πηγής r και αντίσταση του φορτίου R

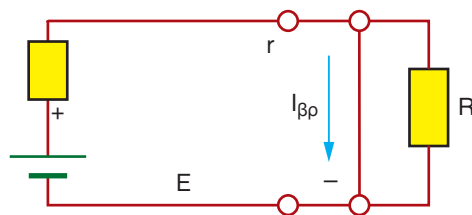
Ανοικτό κύκλωμα είναι το κύκλωμα στο οποίο η ηλεκτρική αντίσταση ή το στοιχείο που καταναλώνει ενέργεια έχει αποσυνδεθεί, (Σχήμα 2.2.5).

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

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



Σχήμα 2.2.5 Ανοικτό κύκλωμα



Σχήμα 2.2.6 Βραχυκυκλωμένο κύκλωμα

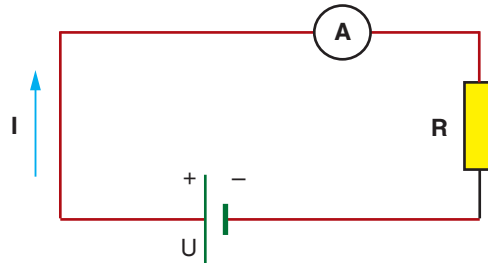
Π. Χ. ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 1

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 αντίσταση του είναι 3 Ω. Να βρεθεί η ένταση του ρεύματος όταν ανάβει ο προβολέας.

Λύση:

Το ρεύμα υπολογίζεται από τον 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 τον 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.

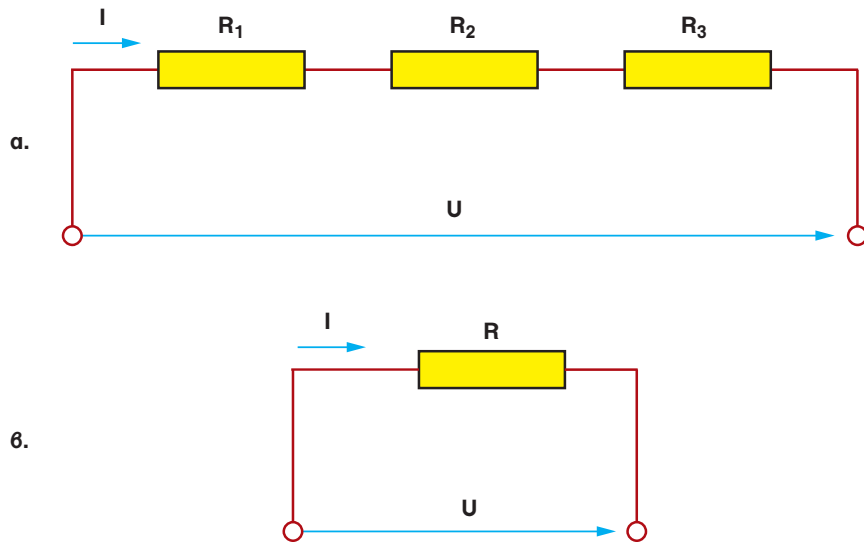
$$R = R_1 + R_2 + R_3$$

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.

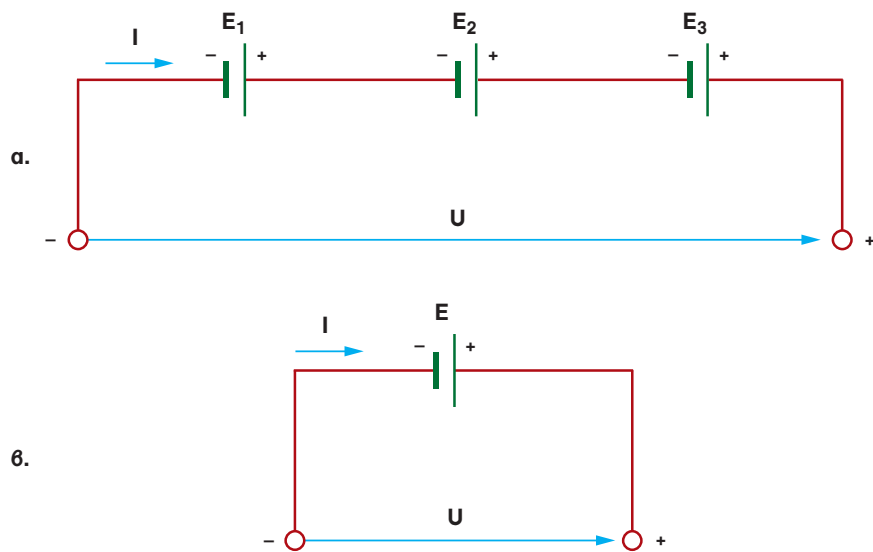
Η ισοδύναμη ηλεκτρεγερτική δύναμη E των πηγών τάσης που είναι συνδεδεμένες σε σειρά και έχουν ηλεκτρεγερτικές δυνάμεις E_1 , E_2 και E_3 ισούται με το άθροισμά τους.

$$E = E_1 + E_2 + E_3$$

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.

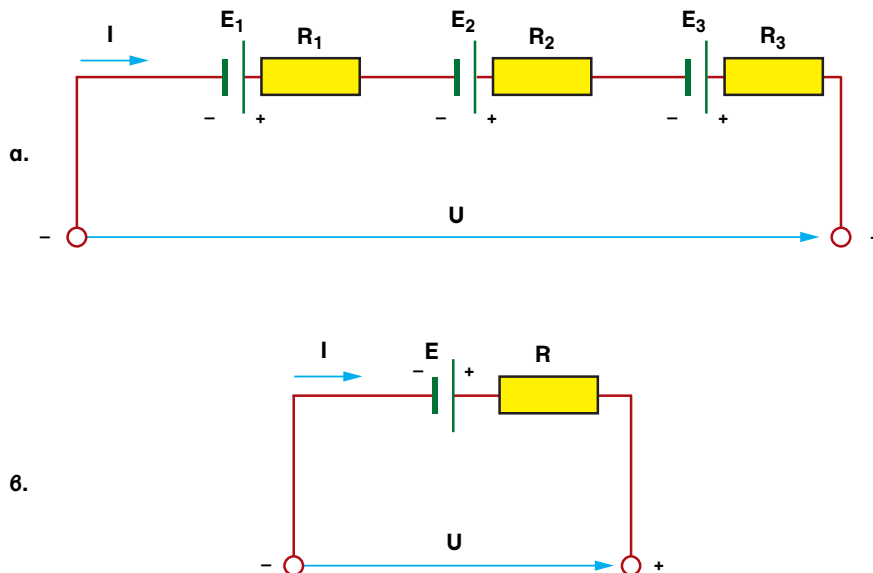


Σχήμα 2.2.8. α. Σύνδεση σε σειρά τριών αντιστάσεων και
β. Ισοδύναμη αντίσταση των τριών αντιστάσεων



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.

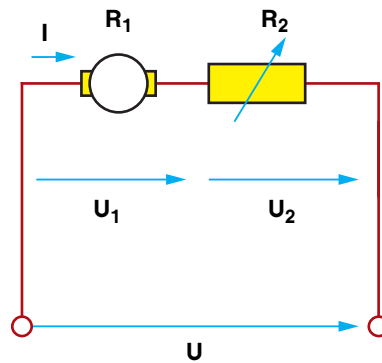
Π. Χ. ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 2

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 ένα κινητήρα με ωμική αντίσταση R_1 .

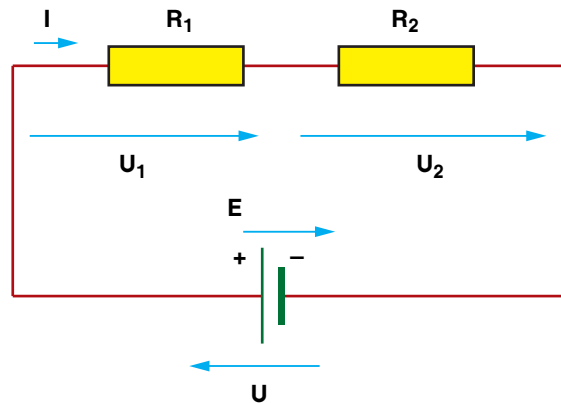
Επειδή οι ρυθμιστικές αντιστάσεις καταναλώνουν ηλεκτρική ενέργεια την οποία μετατρέπουν σε θερμότητα και μειώνουν τον βαθμό απόδοσης της διάταξης, χρησιμοποιούνται μόνο σε εφαρμογές χαμηλών ρευμάτων.



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

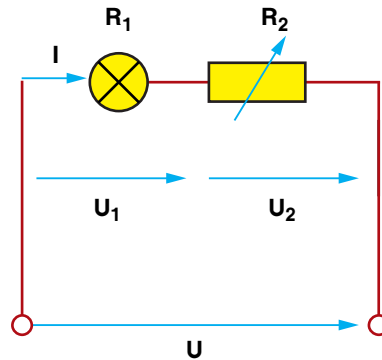
Οι τάσεις του κυκλώματος του Σχήματος 2.2.12 είναι $U_1=10 \, \text{V}$ και $U_2=20 \, \text{V}$. Υπολογίστε την πολική τάση της πηγής.

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 $2 \, \text{A}$. 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

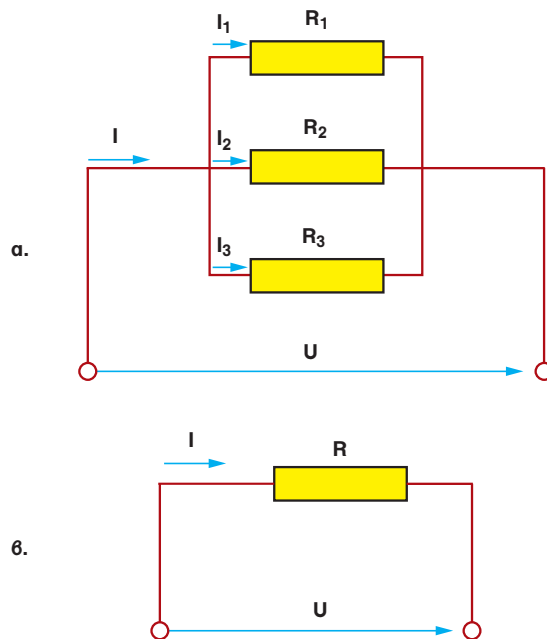
Περισσότερες αντιστάσεις είναι συνδεδεμένες παράλληλα όταν όλοι οι ακροδέκτες εισόδου του ρεύματος σ' αυτές συνδέονται μεταξύ τους, και όλοι οι ακροδέκτες εξόδου του ρεύματος από αυτές συνδέονται μεταξύ τους.

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 κλπ., 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:

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

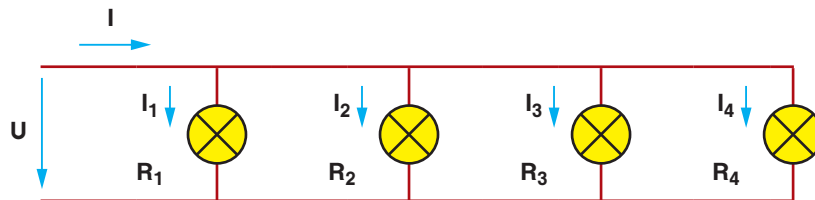
Όταν οι αντιστάσεις είναι όμοιες, τότε:

$$R_1 = R_2 = R_3$$

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

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 τον 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 τον 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 μικτή 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 δυο κυκλώματα που παρουσιάζονται στα Σχήματα 2.2.17 και 2.2.18 συναντούνται συχνά σε σύνθετα κυκλώματα.

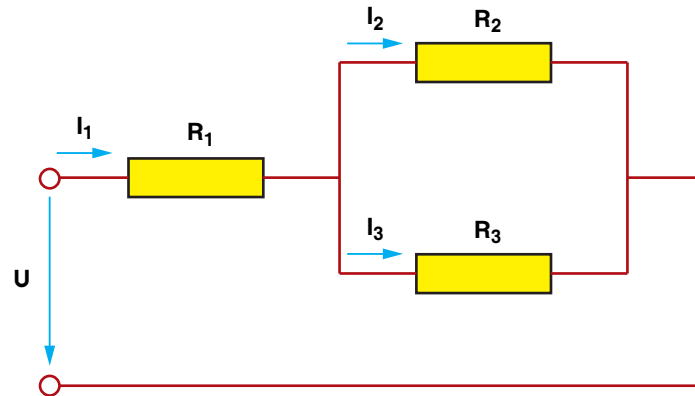
ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 1

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 .

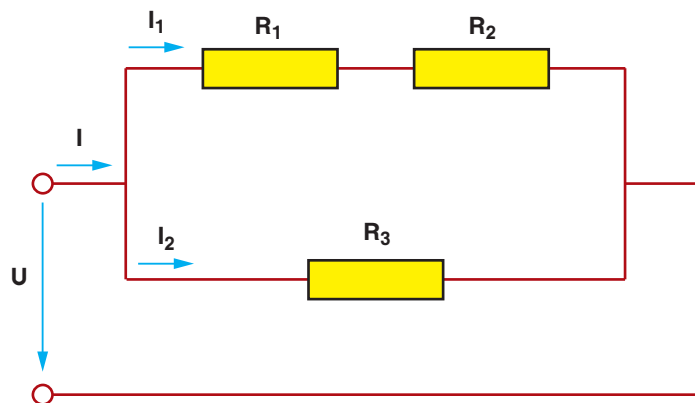
Λύση:

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

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



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 .

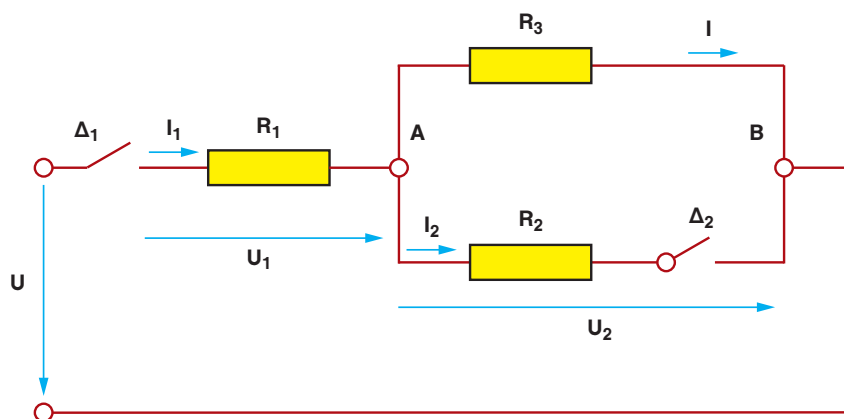
Λύση:

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

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

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 αντίσταση 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:

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

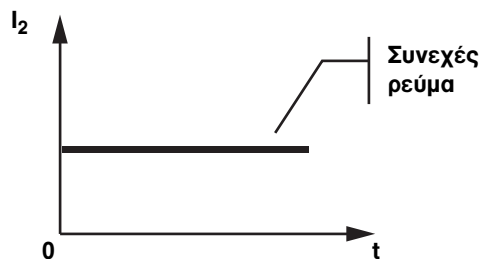
Το ρεύμα υπολογίζεται από το νόμο του Ωμ:

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

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.

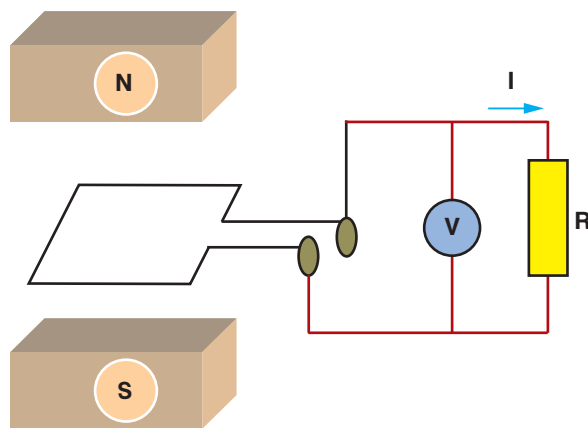


Σχήμα 2.3.1 Γραφική παράσταση συνεχούς ρεύματος

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** πλευράς μήκους ℓ με δύο μονωμένα μεταξύ τους μεταλλικά δακτυλίδια ολίσθησης, που βρίσκονται προσαρμοσμένα σε άξονα και περιστρέψουμε τον βρόχο μέσα σε ένα ομογενές μαγνητικό πεδίο, τότε αναπτύσσεται στα άκρα του βρόχου, **ηλε-**

κτρεγερτική δύναμη - ΗΕΔ ή επαγόμενη τάση, (Σχήμα 2.3.2). Αν συνδέσουμε ένα βολτόμετρο μέσω δυο ψηκτρών εφαιπτόμενων 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 νότιο πόλο **S** μόνιμου μαγνήτη. Παραγωγή επαγόμενης τάσης στα άκρα του

Το μέγεθος της ΗΕΔ **E** στα άκρα του περιστρεφόμενου βρόχου ο οποίος στρέφεται με σταθερή γωνιακή ταχύτητα ω δίνεται από την σχέση:

$$E = B \cdot \ell \cdot v$$

όπου **B** είναι η ένταση της μαγνητικής επαγωγής, ℓ η πλευρά του πλαισίου και **v** η ταχύτητα του βρόχου.

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. Όταν η γωνία αυτή είναι $\phi=0^\circ$, ή $\phi = 180^\circ$, τότε η μαγνητική ροή είναι $\Phi=0$. Όταν η γωνία είναι $\phi = 90^\circ$, ή $\phi = 270^\circ$, τότε η μαγνητική ροή μεταβάλλεται μεταξύ ενός μεγίστου και ενός ελαχίστου και έχει το μεγαλύτερο εύρος της, $\Phi=\max$. Η ταχύτητα με την οποία μεταβάλλεται η μαγνητική ροή εξαρτάται από τη συχνότητα περιστροφής του βρόχου.

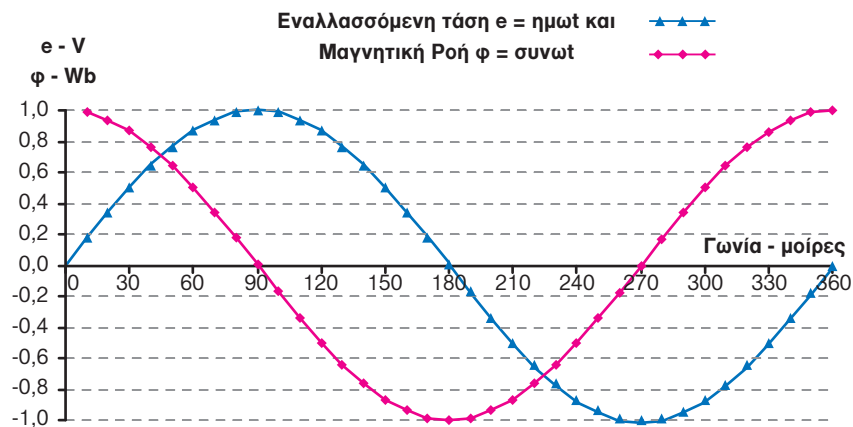
Οι εναλλαγές στην πολικότητα της επαγόμενης τάσης **E** προκαλούνται από την εναλλαγή της φοράς μεταβολής της ροής (αύξηση – μείωση) και

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).

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 την 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

ΠΙΝΑΚΑΣ 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 την 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	$\Phi = \Phi_{\max}$	$u = 0$

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 εναλλασσομένων μεγεθών και u και i είναι οι στιγμιαίες τιμές τους. Η σχέση μεταξύ U_m και I_m δίδεται από τον 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).

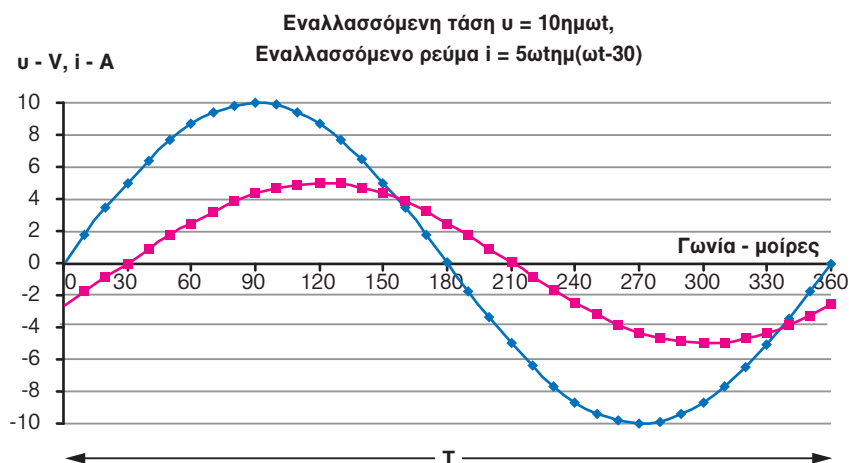
Περίοδος T ενός εναλλασσόμενου μεγέθους (τάσης ή έντασης) είναι ο σταθερός χρόνος T μέσα στον οποίο το εναλλασσόμενο μέγεθος συμπληρώνει μια πλήρη εναλλαγή (περιστροφή 360°) ή ο χρόνος σε δευτερόλεπτα μέσα στον οποίο ολοκληρώνεται ένας πλήρης κύκλος μεταβολής του.

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 . Στις περιπτώσεις που το μαγνητικό πεδίο δημιουργείται από περισσότερους μαγνήτες, π.χ. δύο μαγνήτες ή δύο ζευγάρια πόλων ή τέσσερις πόλους, τότε αντιστοιχεί μία περίοδο σε μισή στροφή. Αν το μαγνητικό πεδίο δημιουργείται από 3 ζευγάρια πόλων ή 6 πόλους, τότε αντιστοιχεί μία περίοδο σε $1/3$ περιστροφής του βρόχου κλπ. 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.

$$1\text{kHz} = 1000 \text{ Hz (Κίλο χερτζ)}$$

$$1\text{MHz} = 1.000.000 \text{ Hz (Μέγα χερτζ)}$$

$$1\text{GHz} = 1.000.000.000 \text{ Hz (Γίγα χερτζ)}$$

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 $f = 60 \text{ Hz}$. 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 1s.

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

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

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

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 $\phi=0^\circ$. 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:

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

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

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, ($Q=0,24 \cdot R \cdot I^2 \cdot t$ από τον νόμο του Joule).

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

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

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 $f=50$ Hz.

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

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

Κατά την διάρκεια αυτής της περιόδου το εναλλασσόμενο ρεύμα ολοκληρώνει ένα 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.

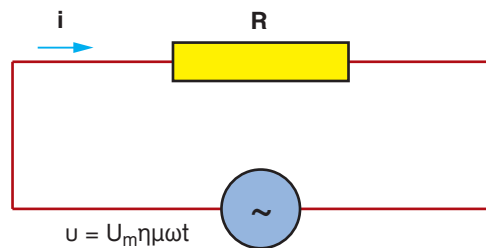
Οι οικιακές συσκευές και ο βιομηχανικός εξοπλισμός αποτελούνται συνήθως από πολύπλοκα κυκλώματα. Τα στοιχεία από τα οποία αποτελούνται είναι πολλά, αλλά θεωρούμε την αντίσταση R , το πηνίο L και τον πυκνωτή C ως τα σημαντικότερα.

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

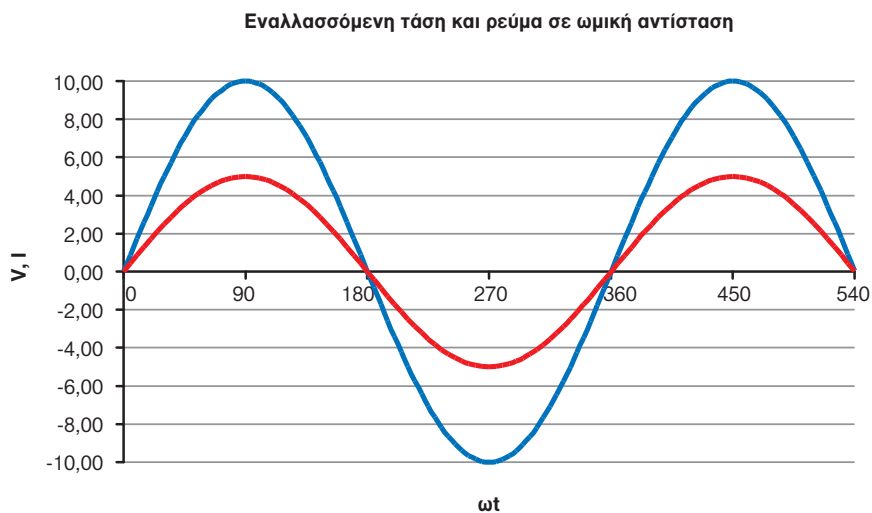
- Ωμικός καταναλωτής - το βασικό στοιχείο είναι η ηλεκτρική αντίσταση.
- Χωρητικός καταναλωτής - το βασικό στοιχείο είναι ο πυκνωτής.
- Επαγωγικός καταναλωτής - το βασικό στοιχείο είναι το πηνίο.

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 $u = U_m \sin \omega t$, 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 $i = I_m \cdot \sin \omega t$.

Για κάθε στιγμιαία τιμή της τάσης και της έντασης ισχύει και στο εναλλασσόμενο ρεύμα ο νόμος του Ωμ:

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

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

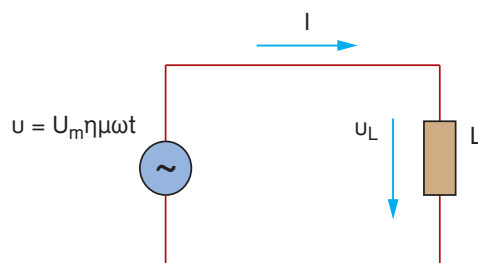
$$U_m = 10V \quad \text{και} \quad I_m = 2A$$

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 2.5.4).

$$i = I_m \eta\mu\left(\omega t - \frac{\pi}{2}\right)$$

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 την διαρρέει I . Αποδεικνύεται ότι, η επαγωγική αντίσταση είναι ανάλογη της κυκλικής συχνότητας ω του ρεύματος και ανάλογη της 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 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 ΕΡ

Από τον ορισμό του πυκνωτή είναι γνωστό ότι:

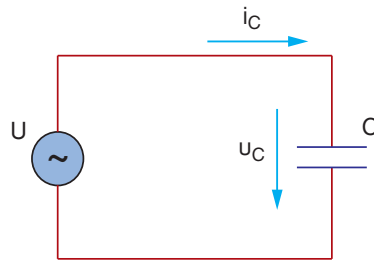
$$C = \frac{Q}{U} = \frac{Q}{U_1 - U_2} = \frac{\epsilon \cdot S}{\ell}$$

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:

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

Θεωρούμε μια πηγή εναλλασσόμενου ρεύματος συνδεδεμένη με ένα ιδανικό πυκνωτή, όπως φαίνεται στο Σχήμα 2.4.4. Ιδανικός πυκνωτής είναι αυτός που δεν παρουσιάζει ηλεκτρική αντίσταση.



Σχήμα 2.4.4 Πυκνωτής που συνδέεται σε πηγή εναλλασσόμενης τάσης

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

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 2.5.5):

$$i = I_m \eta \mu \left(\omega t + \frac{\pi}{2} \right) = I_m \sigma \nu \eta \mu \omega t$$

Βάση 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 ένα πυκνωτή $C=50 \mu F$ είναι $I_m = 10 A$ και η συχνότητα είναι $f = 50 Hz$. Να υπολογισθεί η 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:

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

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

Η στιγμιαία τάση που εφαρμόζεται στα άκρα του πυκνωτή είναι:

$$u = U_m \sin \omega t = 637 \sin 314t$$

Π. Χ. ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 4

Στα άκρα ιδανικού πυκνωτή εφαρμόζεται τάση $u = 310 \sin 314t$ και διαρρέεται από ρεύμα ενεργού έντασης $I = 20 A$. 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:

$$C = 1 / \omega X_c = 1 / (314 \cdot 11) = 290 \, \mu F$$

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, επι πλέον, η ηλεκτρική αντίσταση R αντικαθίσταται από την σύνθετη αντίσταση Z :

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

Το μέγεθος Z ονομάζεται **σύνθετη αντίσταση του κυκλώματος** και εξαρτάται από το είδος του στοιχείου 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	$Z = \frac{1}{\omega \cdot C}$

Στα σύνθετα κυκλώματα όπου συνυπάρχουν τα στοιχεία R , L , C , η σύνθετη αντίσταση υπολογίζεται από τον συνδυασμό της ωμικής, επαγωγικής και χωρητικής αντίστασης κάθε στοιχείου:

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

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 σε ένα δευτερόλεπτο 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):

$$1W = 1V \cdot 1A$$

Επομένως, η ισχύς μιας συσκευής συνεχούς ρεύματος υπολογίζεται εάν πολλαπλασιάσουμε την τάση λειτουργίας της επί το ρεύμα που την διαρρέει. Μία συσκευή ισχύος ενός βατ, εφ' όσον 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 τον χρόνο λειτουργίας των συσκευών αυτών.

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

$$1 \text{ kWh} = 1000 \text{ W} \cdot 3600 \text{ sec} = 3.600.000 \text{ J}$$

Σε οποιοδήποτε ηλεκτρικό κύκλωμα, το άθροισμα των ισχύων που παράγονται στους καταναλωτές (ωμικές αντιστάσεις) μέσω θερμικού φαινομένου Joule ισούται με το άθροισμα των ισχύων που παράγουν οι πηγές. Δηλαδή, η συνολική θερμική ισχύς των καταναλωτών ισούται με την συνολική ηλεκτρική ισχύς των πηγών. Με τον τρόπο αυτό γίνεται ο ισολογισμός της ισχύος στο κύκλωμα.

$$\Sigma R \cdot I^2 = \Sigma U \cdot I$$

$$R_1 \cdot I_1^2 + R_2 \cdot I_2^2 + R_3 \cdot I_3^2 + \dots = U_1 \cdot I_1 + U_2 \cdot I_2 + U_3 \cdot I_3 + \dots$$

Για την ομαλή λειτουργία τους, οι αντιστάσεις (φορτία) που απορροφούν αρκετή ισχύ, φροντίζουμε να αερίζονται, ώστε να απάγεται η θερμότητα.

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

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

Η ισχύς αυτή μετατρέπεται αποκλειστικά σε θερμότητα (φαινόμενο Joule). Εφ' όσον στην αντίσταση εφαρμόζεται τάση U επί χρόνο t , καταναλώνει ενέργεια:

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

**ΠΡΟΣΟΧΗ**

- ♦ Η ηλεκτρική ισχύς που παράγει μια πηγή συνεχούς ρεύματος είναι πάντα θετική, Η πηγή, όμως, μπορεί να παράγει, ή να καταναλώνει, ισχύ.
- ♦ Το πρόσημο της ισχύος μπορεί να είναι θετικό ή αρνητικό, σύμφωνα με τη φορά του ρεύματος στο κύκλωμα και με την πολικότητα της πηγής.

Π. Χ. ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 1

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

Λύση:

$$I = P/U$$

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

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 25 δραχμές/ 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:

$$630 \text{ kWh} \cdot 25 \text{ δραχμές/kWh} = 15750 \text{ δραχμές}$$

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 τη ποσότητα ηλεκτρικής ενέργειας που καταναλώθηκε.

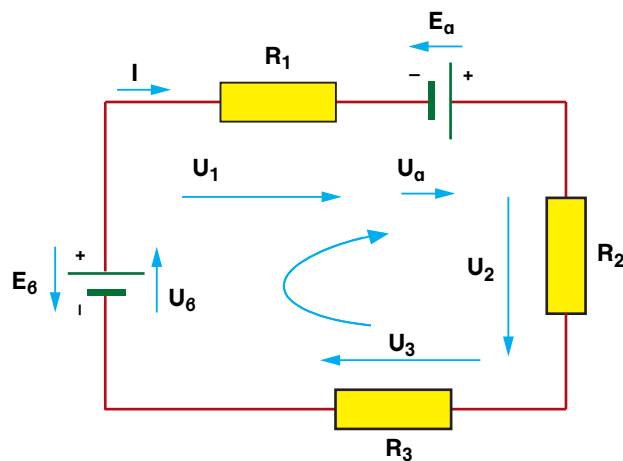
Λύση:

$$t = 1,5 \text{ ώρες}$$

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

Π. Χ. ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 4

Για το κύκλωμα του Σχήματος 2.5.1 δίνονται: $R_1=1,5 \Omega$, $R_2=3 \Omega$, $R_3=6 \Omega$, $U_a=9\text{V}$, $U_\beta=12 \text{ V}$. Υπολογίστε: α) το ρεύμα, β) την συνολική ηλεκτρική ισχύ που παράγουν οι πηγές τάσης, γ) την ηλεκτρική ισχύ που μετατρέπεται σε θερμότητα στις ωμικές αντιστάσεις και δ) συγκρίνετε το αποτέλεσμα των ερωτήσεων β) και γ) συζητήστε.



Σχήμα 2.5.1 Σύνδεση σε σειρά τριών αντιστάσεων και δύο πηγών

Λύση:

$$\alpha) I = (U_a + U_\beta) / (R_1 + R_2 + R_3) = (9 + 12) / (1,5 + 3 + 6) = 21 / 10,5 = 2 \text{ A}$$

β) Η ηλεκτρική ισχύ P_η που παράγεται από τις δύο πηγές τάσης είναι:

$$P_\eta = U_a \cdot I + U_\beta \cdot I = 9 \text{ V} \cdot 2 \text{ A} + 12 \text{ V} \cdot 2 \text{ A} = 18 \text{ W} + 24 \text{ W} = 42 \text{ W}$$

γ) Η ηλεκτρική ισχύς σε μια ωμική αντίσταση μετατρέπεται σε θερμική ισχύ και υπολογίζεται από τη σχέση:

$$P = R \cdot I^2$$

Η θερμική ισχύ των τριών αντιστάσεων είναι:

$$P_r = R_1 \cdot I^2 + R_2 \cdot I^2 + R_3 \cdot I^2 = 1,5 \Omega \cdot 2^2 + 3 \Omega \cdot 2^2 + 6 \Omega \cdot 2^2$$

$$P_r = 6 \text{ W} + 12 \text{ W} + 24 \text{ W} = 42 \text{ W}$$

δ) Παρατηρούμε ότι έχουμε βρει την ίδια ισχύ από τις ερωτήσεις β) και γ). Το αποτέλεσμα είναι σωστό καθώς η συνολική ηλεκτρική ισχύς των πηγών ισούται με την συνολική θερμική ισχύς των αντιστάσεων.

Π. Χ. ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 5

Μία ωμική αντίσταση (σύρματος) έχει χαρακτηριστικά $R=20 \Omega$ 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 6

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 7

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) την 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:

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

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

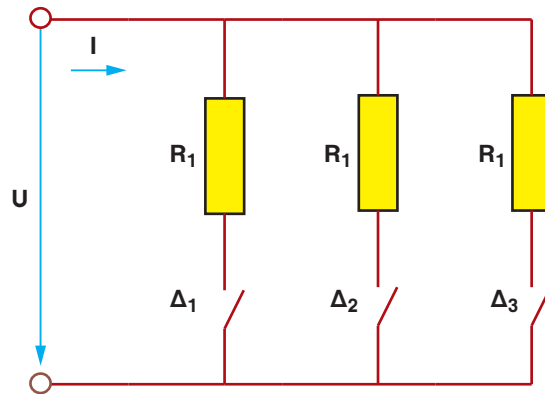
$$\gamma) I_1 = P_1 / U = 100 \text{ W} / 220 \text{ V} = 0,45 \text{ A}$$

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

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

Π. Χ. ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 8

Ένα θερμαντικό σώμα ισχύος $1,5 \text{ kW}$ 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) την 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 Δ_1 είναι κλειστός, οι διακόπτες Δ_2 και Δ_3 είναι ανοικτοί.

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

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

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

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 ε-

νέργειας 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 $\eta < 1$. Μετρείται 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 9

Ένα θερμαντικό μηχάνημα απορροφάει 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 απόδοσης 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 $i = I_m \cdot \eta\mu(\omega t + \phi)$, 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 $\phi_t = \omega t$ ενώ η φάση του εναλλασσόμενου ρεύματος είναι $\phi_i = \omega t + \phi$.

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

Η διαφορά φάσης $\Delta\phi$ δύο εναλλασσόμενων μεγεθών, τάση και ρεύμα υπολογίζεται από την σχέση:

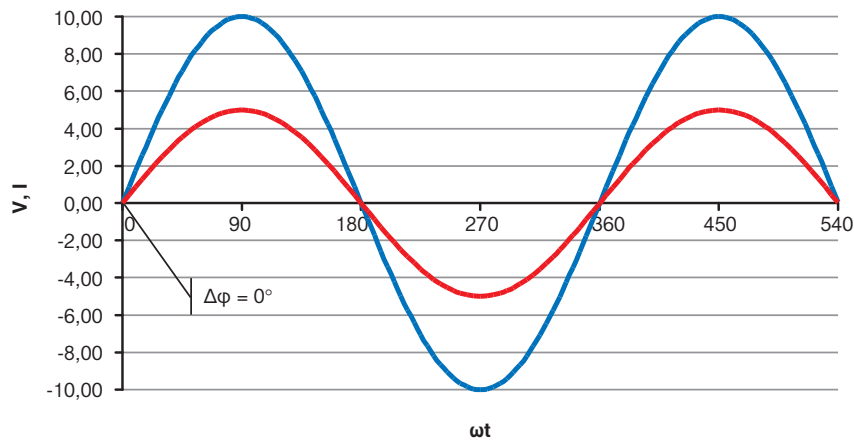
$$\Delta\phi = \phi_u - \phi_i = \omega t - (\omega t + \phi) = -\phi$$

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

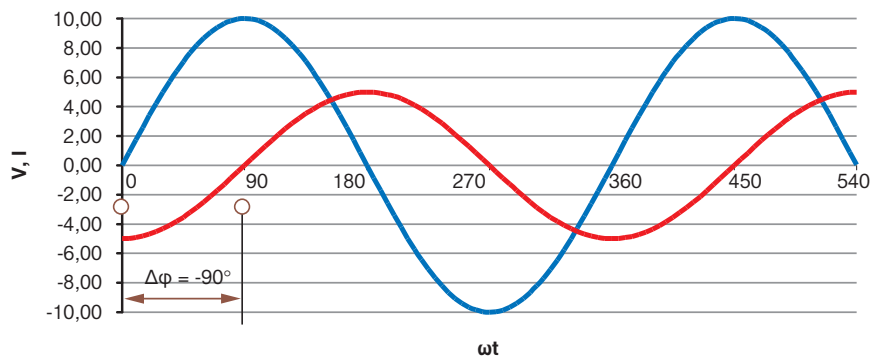
Η σύνθεση του κυκλώματος επηρεάζει την αρχική φάση του ρεύματος. Έτσι:

- ♦ 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 2.5.4).

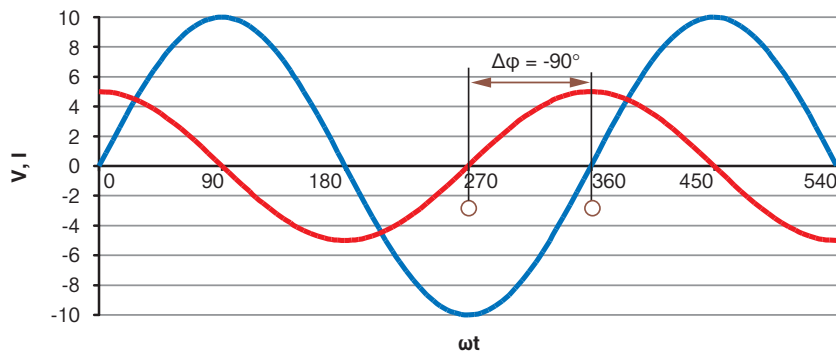
- ♦ Σε ένα κύκλωμα με πυκνωτή (χωρητικό φορτίο), η διαφορά φάσης μεταξύ τάσης και ρεύματος είναι $\Delta\phi = -90^\circ$, δηλαδή η τάση επιπορεύεται του ρεύματος κατά 90° , (Σχήμα 2.5.5).



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



Σχήμα 2.5.4 Σε κύκλωμα ΕΡ με πηνίο, η τάση $u=10\sin\omega t$ (μπλε γραμμή) προπορεύεται του ρεύματος $i=5\sin(\omega t-90^\circ)$ (κόκκινη γραμμή)



Σχήμα 2.5.5 Σε κύκλωμα ΕΡ 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.

Η ενεργός ισχύς είναι η μέση τιμή της εναλλασσόμενης ισχύος σε μία περίοδο, η οποία αποδεικνύεται ότι δίνεται από τη σχέση:

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

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 $\cos\phi$, που ονομάζεται **συντελεστής ισχύος**.

Ο συντελεστής ισχύος κυμαίνεται μεταξύ 0 και 1, $0 \leq \cos\phi \leq 1$. 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 έχει μεγάλη σημασία στις βιομηχανίες, στις οικιακές εγκαταστάσεις και στα δίκτυα διανομής ηλεκτρικής ενέργειας. Ο συντελεστής ισχύος καθορίζεται από τη συγκρότηση του κυκλώματος και, όταν είναι χαμηλός, πρέπει να βελτιωθεί.

- Στην περίπτωση του ωμικού φορτίου, το ρεύμα και η τάση βρίσκο-

νται σε φάση, τότε $\varphi=0^\circ$, $\cos\varphi=1$ και η ισχύς είναι $P = U \cdot I$.

- Στην γενική περίπτωση του ωμικού - επαγωγικού – χωρητικού φορτίου, υπάρχει διαφορά φάσης μεταξύ τάσης και ρεύματος και η ισχύς $U \cdot I$ είναι η μέγιστη ισχύς που μπορεί να απορροφήσει ο καταναλωτής. Στην γενική αυτή περίπτωση όπου $\cos\varphi < 1$, η ισχύς δίνεται από τη σχέση $P=U I \cos\varphi < UI$

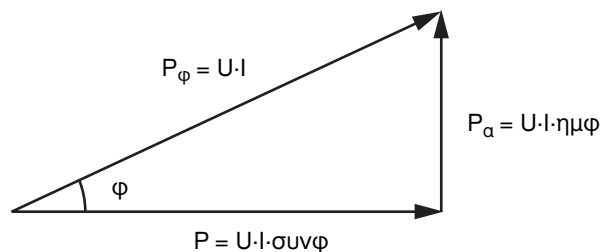
Η ποσότητα $P_\varphi = U \cdot I$ ονομάζεται φαινόμενη ισχύς και μετριέται σε βολταμπέρ VA. Η φαινόμενη ισχύς είναι συνήθως ένα ονομαστικό μέγεθος μιας συσκευής (π.χ. μετασχηματιστές). Από το είδος του καταναλωτή και τις συνθήκες του δικτύου θα εξαρτηθεί πόση πραγματική ισχύ θα απορροφήσει. Ο συντελεστής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

Η ποσότητα $P_a = U \cdot I \cdot \eta\mu\varphi$ ονομάζεται άεργη ισχύς και μετριέται σε VAr. Η άεργη ισχύς δεν παράγει μηχανικό έργο.

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

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

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



$$P_\varphi^2 = P^2 + P_a^2 \quad \cos\varphi = \frac{P}{P_\varphi} \quad \eta\mu\varphi = \frac{P_a}{P_\varphi}$$

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



ΠΡΟΣΟΧΗ

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

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 $\cos\varphi$ και β) η άεργη ισχύς P_a .

Λύση:

α) Από το τρίγωνο των ισχύων βρίσκουμε:

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

β) Η άεργη ισχύς υπολογίζεται από:

$$P_a = P_\varphi \sin\varphi = 9,5 \cdot \sin 40,5 = 6,2 \text{ KVAr}$$

Επαλήθευση:

Από το τρίγωνο ισχύος του σχήματος 2.5.6:

$$P_a^2 = P_\varphi^2 - P^2 = 9,5^2 - 7,2^2 = 38,41$$

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

Π. Χ. ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 10

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

Λύση:

Από την εξίσωση της πραγματικής ισχύος $P=UI\cos\varphi$ βρίσκουμε:

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

2.6 Όργανα μέτρησης

Για την 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. την **αρχή** λειτουργίας τους,
2. το **φυσικό μέγεθος** το οποίο μετρούν και
3. τον **τρόπο** με τον οποίο παρέχουν το αποτέλεσμα της μέτρησης.

♦ Με βάση την **αρχή λειτουργίας** τους, τα όργανα μέτρησης κατατάσσονται στις ακόλουθες κατηγορίες:

- **Μαγνητοηλεκτρικά όργανα ή όργανα στρεπτού πηνίου.** Η λειτουργία τους βασίζεται στην ανάπτυξη ροπής σε στρεπτό πηνίο το οποίο βρίσκεται σε μαγνητικό πεδίο μόνιμου μαγνήτη.
- **Ηλεκτροδυναμικά όργανα.** Η λειτουργία τους είναι παρόμοια με των οργάνων στρεπτού πηνίου, όμως διαθέτουν ηλεκτρομαγνήτη αντί του μόνιμου μαγνήτη.
- **Ηλεκτρομαγνητικά όργανα ή όργανα κινητού σιδήρου.** Η λειτουργία τους βασίζεται στην δύναμη που ασκείται στο σιδηρομαγνητικό υλικό, όταν βρίσκεται μέσα στο μαγνητικό πεδίο το οποίο παράγεται από ένα σταθερό πηνίο που διαρρέεται από ρεύμα.

- **Ηλεκτροστατικά όργανα.** Η λειτουργία τους βασίζεται στις δυνάμεις που ασκούνται μεταξύ σωμάτων που είναι υπό τάση.
 - **Επαγωγικά όργανα.** Η λειτουργία τους βασίζεται στην ίδια αρχή με τους κινητήρες επαγωγής.
 - **Θερμικά όργανα.** Η λειτουργία τους βασίζεται στην θερμότητα που παράγεται σε έναν αγωγό από τη διέλευση ηλεκτρικού ρεύματος.
- ♦ 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 Σφάλμα μέτρησης

Η σύνδεση του οργάνου μέτρησης στο κύκλωμα αλλάζει τη διάταξη του κυκλώματος και για το λόγο αυτό εισάγει ένα σφάλμα μέτρησης.

Το σχετικό σφάλμα μέτρησης σ είναι η διαφορά μεταξύ της τιμής του ηλεκτρικού μεγέθους πριν από τη σύνδεση του οργάνου μέτρησης x_o και της τιμής του ηλεκτρικού μεγέθους μετά από τη σύνδεση του οργάνου στο κύκλωμα x_m , ως ποσοστό της τιμής του ηλεκτρικού μεγέθους πριν από τη σύνδεση του οργάνου μέτρησης x_o .

$$\sigma = \frac{x_o - x_m}{x_o} \cdot 100(\%)$$

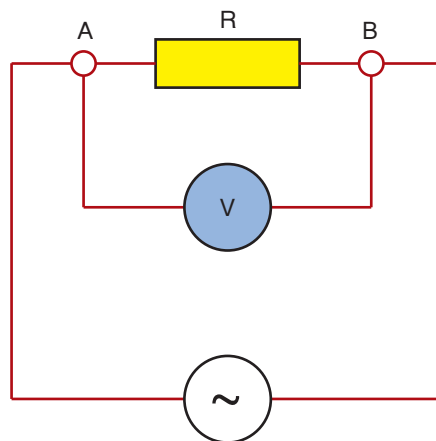
Η τιμή του ηλεκτρικού μεγέθους πριν από τη σύνδεση του οργάνου μέτρησης x_o , είναι η πραγματική τιμή και η τιμή του ηλεκτρικού μεγέθους μετά από τη σύνδεση του οργάνου στο κύκλωμα x_m , είναι η μετρούμενη τιμή.

2.6.3 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).

Τα βολτόμετρα είναι όργανα κινητού πηνίου όταν χρησιμοποιούνται για τη μέτρηση συνεχούς τάσης, ενώ για τη μέτρηση εναλλασσόμενης τάσης, χρησιμοποιούνται όργανα θερμικά, επαγωγικά, ηλεκτροστατικά και κινητού σιδήρου. Επίσης, τα βολτόμετρα είναι όργανα κινητού πηνίου με ανορθωτικές διατάξεις όταν χρησιμοποιούνται για τη μέτρηση τόσο της συνεχούς όσο και της εναλλασσόμενης τάσης.

Το σφάλμα μέτρησης του βολτομέτρου ελαχιστοποιείται όταν η εσωτερική του αντίσταση είναι πολύ μεγάλη. Στα περισσότερα βολτόμετρα, η εσωτερική αντίσταση τους είναι μεγαλύτερη από 10 kΩ.



Σχήμα 2.6.1 Το βολτόμετρο συνδέεται παράλληλα με την αντίσταση R

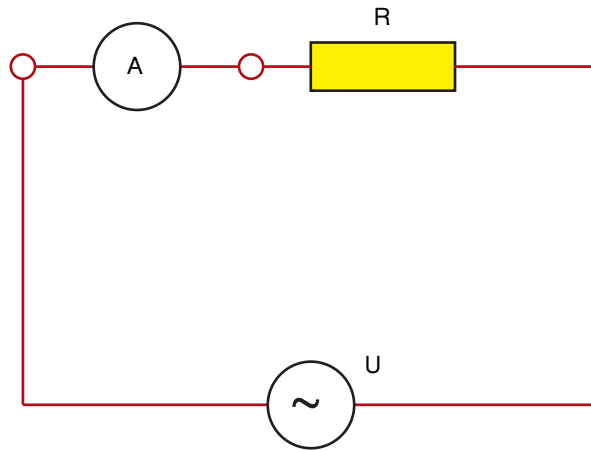
Συχνά, για τη μέτρηση με ακρίβεια διαφόρων επιπέδων τάσης, τα βολτόμετρα κατασκευάζονται με περισσότερες κλίμακες και με ένα διακόπτη - επιλογή, για την επιλογή της κατάλληλης κλίμακας μέτρησης.

2.6.4. 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).

Τα αμπερόμετρα είναι όργανα κινητού πηνίου όταν χρησιμοποιούνται για τη μέτρηση συνεχούς ρεύματος, ενώ για τη μέτρηση εναλλασσόμενου ρεύματος, χρησιμοποιούνται όργανα θερμικά, επαγωγικά, ηλεκτροστατικά και κινητού σιδήρου. Επίσης τα αμπερόμετρα είναι όργανα κινητού πηνίου με ανορθωτικές διατάξεις όταν χρησιμοποιούνται για τη μέτρηση τόσο του συνεχούς, όσο και του εναλλασσόμενου ρεύματος.

Το σφάλμα μέτρησης του αμπερομέτρου ελαχιστοποιείται όταν η εσωτερική του αντίσταση είναι πολύ μικρή. Στα περισσότερα αμπερόμετρα η εσωτερική αντίσταση τους είναι μικρότερη από 1 Ω και μπορεί να είναι μέχρι δέκατα ή εκατοστά του Ω.



Σχήμα 2.6.2 Το αμπερόμετρο συνδέεται σε σειρά με την αντίσταση R

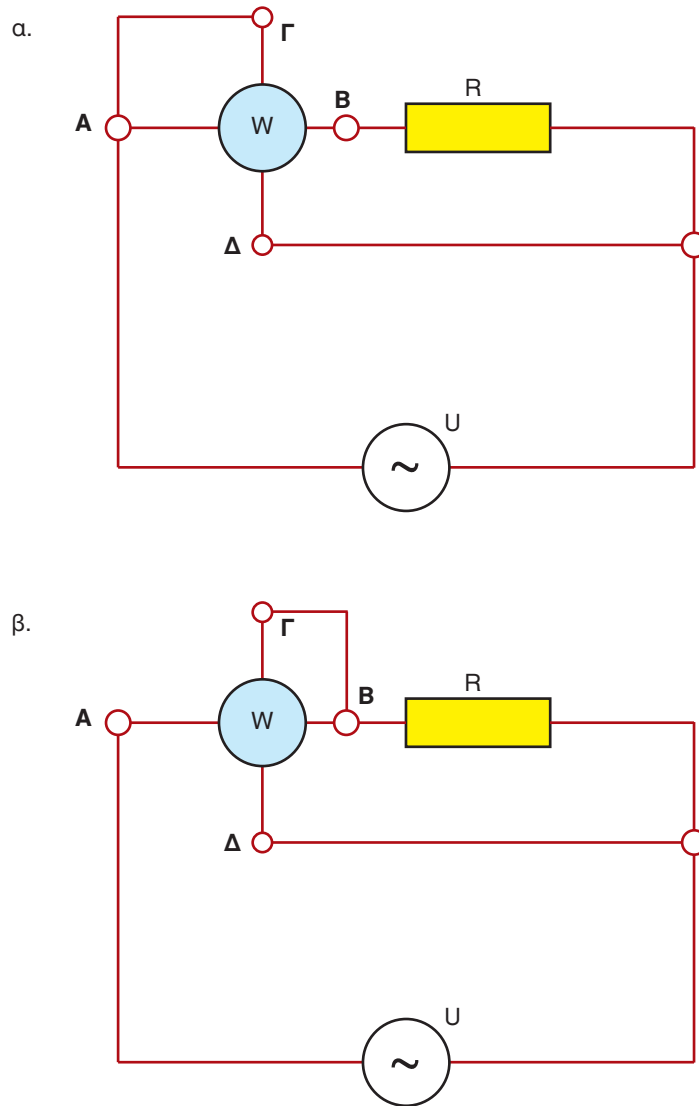
Συχνά για τη μέτρηση με ακρίβεια διαφόρων επιπέδων έντασης ρεύματος, τα αμπερόμετρα κατασκευάζονται με περισσότερες κλίμακες και διαθέτουν ένα διακόπτη-επιλογέα για την επιλογή της κατάλληλης κλίμακας μέτρησης.

2.6.5 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 την μέτρηση της ισχύος με βατόμετρο:

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

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), ταχύτητα περιστροφής (για στρεφόμενες ηλεκτρικές μηχανές) κ.ά. Τα μεγέθη αυτά ονομάζονται *ονομαστικά μεγέθη* λειτουργίας κάθε συσκευής και αναγράφονται σε πινακίδα η οποία βρίσκεται 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 την χημική σύσταση του υλικού ρ .

Ο συντελεστής ρ είναι η αντίσταση που παρουσιάζει ένας συμμάτινος αγωγός από συγκεκριμένο υλικό μήκους 1m και διατομής 1mm^2 και ονομάζεται *ειδική αντίσταση*.

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

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

Π. Χ. ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 1

Να υπολογισθεί η ηλεκτρική αντίσταση αγωγού χαλκού μήκους 200 m και διατομής 4mm^2 .

Λύση:

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

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

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

ΠΙΝΑΚΑΣ 2.7.1 Ειδική αντίσταση αγωγίμων υλικών

ΥΛΙΚΟ	ρ $\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$
Αλουμίνιο Al	0,0283
Κονσταντάν 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 αγωγού χαλκού 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 την θερμοκρασία (στα μέταλλα η αντίσταση αυξάνεται, στους ημιαγωγούς μειώνεται ενώ σε μερικά κράματα μένει σχεδόν αμετάβλητη). 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 $1/^\circ\text{C} = \text{grad}^{-1}$.

ΠΙΝΑΚΑΣ 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	$5 \cdot 10^{-3}$
Μαγγανίνη	$0,006 \cdot 10^{-3}$
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_0 μεταβάλλεται:

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

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 την 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 είναι:

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

Η μεταβολή της αντίστασης του χαλκού είναι:

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

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

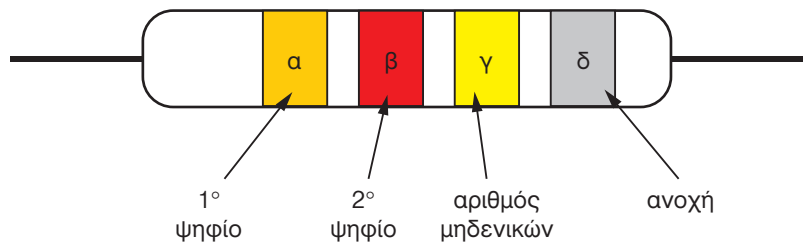
Η αντίσταση του αγωγού αυξήθηκε κατά:

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

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 τον 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 γνωστό, όταν το ηλεκτρικό ρεύμα διαρρέει μία ωμική αντίσταση, η ηλεκτρική ισχύς που παράγει είναι $P_{\theta} = R \cdot I^2$ 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, παραγωγή λιγότερων απωλειών θερμότητας, μείωση της θερμοκρασίας και έτσι ξεπερνιέται η δυσκολία στην απομάκρυνση της θερμότητας στο περιβάλλον.

Για το λόγο αυτό έχουν καθοριστεί ορισμένα όρια για το μέγιστο επιτρεπόμενο ρεύμα συνεχούς λειτουργίας σε συγκεκριμένη διατομή του αγωγού (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, βάση του Πίνακα 2.7.4, εφαρμόζεται για μικρού μήκους γραμμές. Για μεγάλου μήκους γραμμές πρέπει να ληφθεί υπόψη και η πτώση τάσης στη γραμμή.

**ΠΡΟΣΟΧΗ**

- ♦ Στην πράξη, ως όριο λειτουργίας είναι η θερμοκρασία των 55°C.
- ♦ Δεν πρέπει σε καμία περίπτωση η θερμοκρασία λειτουργίας των αγωγών να ξεπρνά την οριακή τιμή των 60°C.
- ♦ Σε αντίθετη περίπτωση, πρέπει να αλλάξει η διατομή τους (να επιλεγεί μεγαλύτερη διατομή αγωγών).

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.

ΠΙΝΑΚΑΣ 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

ΠΙΝΑΚΑΣ 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

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

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

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.

**ΠΡΟΣΟΧΗ**

- ♦ Το ρεύμα στους αγωγούς, στις περιελίξεις των ηλεκτρικών μηχανών, των μετασχηματιστών και των πηνίων δεν πρέπει να έχει υψηλή τιμή.
- ♦ 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, να προκληθεί βραχυκύκλωμα ή ακόμη και πυρκαγιά στις εγκαταστάσεις.

Προστασία των γραμμών από υπερεντάσεις απαιτείται στις ακόλουθες περιπτώσεις:

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

Για να προστατευτεί η ηλεκτρική γραμμή, **τοποθετείται 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 όση με τη μέγιστη επιτρεπόμενη ένταση των αγωγών.

Π.Χ. ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 5

Κλιματιστική συσκευή με εγκατεστημένη ισχύ 5 kW πρέπει να συνδεθεί στην ηλεκτρική εγκατάσταση με τάση 220V. Να γίνει η διαστασιολόγηση των αγωγών της γραμμής σύνδεσης.

Λύση:

$$I = \frac{P}{U} = \frac{5000W}{220V} = 22,7A$$

Από τον Πίνακα 2.7.4 επιλέγουμε τη διατομή των 4 mm² η οποία αντιστοιχεί στην αμέσως μεγαλύτερη από τα 22,7 A ένταση ρεύματος και η οποία είναι 25 A.

Π. Χ. ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 6

Ηλεκτρικό επαγγελματικό ψυγείο απορροφάει 5 kW από το δίκτυο τάσης 220 V. Επιλέξτε την 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:

$$I = \frac{P}{U} = \frac{5000W}{220V} = 22,7A$$

Από τον Πίνακα 2.7.4 επιλέγουμε διατομή S=4mm², η οποία αντιστοιχεί στο ρεύμα 25 A (αμέσως μεγαλύτερο από το ρεύμα 22,7 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 την 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 άθροισμα των ισχύων στις επί μέρους αντιστάσεις, συνδεδεμένες σε σειρά, ή παράλληλα, ισούται με την συνολική ισχύ που τροφοδοτεί η πηγή στο κύκλωμα.
- 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 όλους 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:

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

- Για κάθε χρονική στιγμή η εναλλασσόμενη τάση u και το εναλλασσόμενο ρεύμα i είναι: $u = U_m \cdot \eta \mu \varphi$ και $i = I_m \cdot \eta \mu \varphi$, 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 σε ένα δευτερόλεπτο:

$$P=W/t$$

- Η ηλεκτρική ισχύς μιας συσκευής συνεχούς ρεύματος 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:

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

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

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

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

- 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 την 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: $R = 10\ \Omega$
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. ($\rho_{\text{Cu}} = 0,018\ \Omega\text{mm}^2/\text{m}$). Απάντηση: $R = 1,8\ \Omega$
6. Χάλκινος αγωγός έχει μήκος $l = 1000\text{ m}$ και διατομή $S = 54\text{ mm}^2$. ($\rho_{\text{Cu}} = 0,018\ \Omega\text{mm}^2/\text{m}$). Ο θερμικός συντελεστής χαλκού στους $20\text{ }^\circ\text{C}$ είναι $\alpha = 3,92 \cdot 10^{-3}\text{ } 1/^\circ\text{C}$. Να βρεθεί η αντίσταση R_{80} του αγωγού σε θερμοκρασία $80\text{ }^\circ\text{C}$. Απάντηση: $R_{80} = 0,4\ \Omega$
7. Να βρεθεί η διατομή αγωγού αλουμινίου ($\rho = 0,029\ \Omega\cdot\text{mm}^2/\text{m}$) που παρουσιάζει ωμική αντίσταση $10\ \Omega$ και έχει μήκος 100 m. Απάντηση: $S = 0,29\text{ mm}^2$
8. Ποια ρεύματα σε ένα κόμβο θεωρούνται αρνητικά και ποια θεωρούνται θετικά;
9. Σε ένα σύνθετο κύκλωμα, πώς προσδιορίζουμε ποια τμήματα είναι σε σειρά και ποια είναι οι παράλληλοι κλάδοι;
10. Υπολογίστε την ισοδύναμη αντίσταση δέκα αντιστάσεων των $10\ \Omega$ που είναι συνδεδεμένες σε σειρά. Απάντηση: $100\ \Omega$
11. Υπολογίστε την ισοδύναμη αντίσταση δέκα αντιστάσεων των $10\ \Omega$ που είναι συνδεδεμένες παράλληλα. Απάντηση: $1\ \Omega$
12. Υπολογίστε την ισοδύναμη αντίσταση πέντε αντιστάσεων των $10\ \Omega$, $15\ \Omega$, $3\ \Omega$, $7\ \Omega$ και $20\ \Omega$ που είναι συνδεδεμένες σε σειρά. Απάντηση: $55\ \Omega$

13. Υπολογίστε την ισοδύναμη αντίσταση τριών αντιστάσεων των $10\ \Omega$, $20\ \Omega$ και $25\ \Omega$ που είναι συνδεδεμένες παράλληλα.
Απάντηση: $5,26\ \Omega$
14. Ένα φωτιστικό για Χριστουγεννιάτικο δέντρο αποτελείται από 20 λαμπτήρες των $9\ \text{W}$ συνδεδεμένους σε σειρά και συνδέεται σε τάση $220\ \text{V}$. Υπολογίστε α) το ρεύμα στο φωτιστικό και β) την αντίσταση κάθε λαμπτήρα.
Απάντηση: α) $0,8\ \text{A}$, β) $14\ \Omega$.
15. Δύο αντιστάσεις θέρμανσης των $60\ \Omega$ και $40\ \Omega$ συνδεδεμένες σε σειρά τροφοδοτούνται από τάση $220\ \text{V}$. Υπολογίστε την πτώση τάσης στην κάθε αντίσταση. Απάντηση: $132\ \text{V}$ και $88\ \text{V}$ αντίστοιχα.
16. Τρεις αντιστάσεις θέρμανσης των $100\ \Omega$, $60\ \Omega$ και $40\ \Omega$ συνδεδεμένες σε σειρά τροφοδοτούνται από τάση $220\ \text{V}$. Υπολογίστε την πτώση τάσης στην κάθε αντίσταση.
Απάντηση: $110\ \text{V}$, $66\ \text{V}$ και $44\ \text{V}$ αντίστοιχα.
17. Υπολογίστε την ισοδύναμη αντίσταση τριών αντιστάσεων των $10\ \Omega$, $15\ \Omega$ και $20\ \Omega$ συνδεδεμένων σε σειρά με άλλες τρεις αντιστάσεις των $10\ \Omega$, $15\ \Omega$ και $20\ \Omega$ συνδεδεμένες παράλληλα. Απάντηση: $49,62\ \Omega$
18. Ηλεκτρική κουζίνα στη θέση 3 του διακόπτη λειτουργεί με ισχύ $3,3\ \text{KW}$ υπό τάση λειτουργίας $220\ \text{V}$. Να υπολογίσετε: α) το ρεύμα που απορροφά, β) την ωμική αντίσταση σε αυτή την θέση, γ) την ενέργεια που καταναλώνει σε δύο ώρες λειτουργίας και δ) το κόστος κατανάλωσης εάν η kWh κοστίζει 25 δραχμές.
Απάντηση: α) $I = 15\ \text{A}$, β) $R = 14,6\ \Omega$, γ) $W = 6,6\ \text{KWh}$, δ) 165 δραχμές.
19. Ποια είναι η τιμή της κυκλικής συχνότητας ω και της περιόδου T μιας εναλλασσόμενης τάσης συχνότητας $f=50\ \text{Hz}$.
Απάντηση $314\ \text{rad/sec}$, $0,020\ \text{s}$
20. Τετραπολική γεννήτρια περιστρέφεται με ταχύτητα $n=1500$ στροφές το λεπτό. Υπολογίστε την συχνότητα της παραγόμενης ΗΕΔ.
Απάντηση $50\ \text{Hz}$.
21. Σε υδατόπτωση κινείται γεννήτρια με $n=500$ στροφές/λεπτό. Υπολογίστε πόσους πόλους πρέπει να έχει η γεννήτρια, ώστε να παράγει εναλλασσόμενη τάση με συχνότητα 50Hz .
Απάντηση $p = 6$ ζεύγη πόλων ή 12 πόλους

22. Η ενεργός τιμή εναλλασσόμενης τάσης είναι 220 V. Υπολογίστε τη μέγιστη τιμή της. Απάντηση $U_m = 311 \text{ V}$
23. Υπολογίστε την στιγμιαία τιμή της εναλλασσόμενης τάσης $u=300 \cdot \eta\mu(\omega t+6^\circ)$ όταν $t=0,01\text{s}$ και $f=50\text{Hz}$. Απάντηση $u = -259,8 \text{ V}$
24. Υπολογίστε την στιγμιαία τιμή του ρεύματος $i=1,42\eta\mu 225^\circ$. Απάντηση $i = -1\text{A}$.
25. Γεννήτρια εναλλασσομένου ρεύματος παράγει στην συχνότητα των 50Hz τάση με μέγιστη τιμή 300 V και αρχική φάση 0° . Υπολογίστε την τάση μετά από χρόνο $t=0,02\text{s}$ από την αρχή των χρόνων. Απάντηση $u = 0 \text{ V}$
26. Υπολογίστε την ενεργό τιμή εναλλασσομένου ρεύματος όταν η μέγιστη τιμή του είναι 15 A. Απάντηση 10,6 A.
27. 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 $\Delta\phi = 3\pi/2$.
28. Ορίστε την πραγματική, άεργη και φαινόμενη ισχύ.
29. Ποια είναι η διαφορά φάσης μεταξύ τάσης και ρεύματος σε κυκλώματα επαγωγικών και χωρητικών καταναλωτών;
30. Στα άκρα ωμικού καταναλωτή αντίστασης 11 Ω, εφαρμόζεται εναλλασσόμενη τάση ενεργού τιμής 220 V. Ποια είναι η ένταση του ρεύματος στον καταναλωτή και ποια η φασική του απόκλιση; Απάντηση: 20 A. Το ρεύμα είναι σε φάση με την τάση.
31. Δίνεται πηνίο με αυτεπαγωγή 0,6 H. Τι επαγωγική αντίσταση θα παρουσιάζει όταν στα άκρα του εφαρμόζεται εναλλασσόμενη τάση συχνότητας 50Hz; Απάντηση: 18,84 Ω
32. Στα άκρα πηνίου με αυτεπαγωγή 0,25 H εφαρμόζεται τάση 220 V, συχνότητας 50 Hz. Ποια είναι η ένταση του ρεύματος διαμέσου του πηνίου και ποια είναι η διαφορά φάσης; Απάντηση: 2,8 A. Το ρεύμα καθυστερεί της τάσης κατά 90° .
33. Ποια είναι η χωρητική αντίσταση ενός πυκνωτή των 10 μF, όταν εφαρμόζεται στα άκρα του εναλλασσόμενη τάση συχνότητας 50 Hz. Απάντηση: 318 Ω
34. Τάση 220 V και συχνότητας 50 Hz εφαρμόζεται σε πυκνωτή χωρητικότητας 20 μF. Ποια είναι η τιμή της έντασης του ρεύματος το ο-

ποίο διέρχεται δια μέσου του πυκνωτή; Απάντηση: 1,38 A.

35. 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 μF