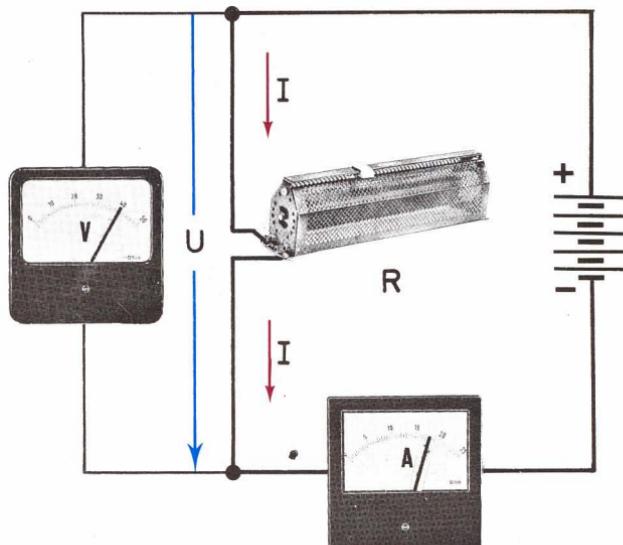




ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΙΑ ΗΛΕΚΤΡΙΚΑ ΟΡΓΑΝΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΣ

Σπυρίδωνος Ν. Βασιλακόπουλου
ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΟΥ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΟΥ Ε.Μ.Π.

$$\text{Ο νόμος τοῦ "Ωμ" } I = \frac{U}{R}$$





1954

ΙΔΡΥΜΑ ΕΥΓΕΝΙΔΟΥ
ΧΡΥΣΟΥΝ ΜΕΤΑΛΛΙΟΝ ΑΚΑΔΗΜΙΑΣ ΑΘΗΝΩΝ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ ΙΔΡΥΜΑΤΟΣ ΕΥΓΕΝΙΔΟΥ

Ο Ευγένιος Ευγενίδης, ο ιδρυτής και χορηγός του «Ιδρύματος Ευγενίδου», πολύ νωρίς προέβλεψε και σχημάτισε την πεποίθηση ότι η άρτια κατάρτιση των τεχνικών μας, σε συνδυασμό με την εθνική αγωγή, θα ήταν αναγκαίος και αποφασιστικός παράγων για την πρόοδο του Έθνους μας.

Την πεποίθησή του αυτή ο Ευγενίδης εκδήλωσε με τη γενναιόφρονα πράξη ευεργεσίας, να κληροδοτήσει σεβαστό ποσό για τη σύσταση Ιδρύματος, που θα είχε ως σκοπό να συμβάλλει στην τεχνική εκπαίδευση των νέων της Ελλάδας.

Έτσι, το Φεβρουάριο του 1956 συστήθηκε το «Ίδρυμα Ευγενίδου», του οποίου τη διοίκηση ανέλαβε η αδελφή του Μαρ. Σίμου, σύμφωνα με την επιθυμία του διαθέτη. Το έργο του Ιδρύματος συνεχίζει από το 1981 ο κ. Νικόλαος Βερνίκος - Ευγενίδης.

Από το 1956 έως σήμερα η συμβολή του Ιδρύματος στην τεχνική εκπαίδευση πραγματοποιείται με διάφορες δραστηριότητες. Όμως απ' αυτές η σημαντικότερη, που κρίθηκε από την αρχή ως πρώτης ανάγκης, είναι η έκδοση βιβλίων για τους μαθητές των Τεχνικών και Επαγγελματικών Σχολών και Λυκείων.

Μέχρι σήμερα, με τη συνεργασία με τα Υπουργεία Εθνικής Παιδείας και Θρησκευμάτων και Εμπορικής Ναυτιλίας, εκδόθηκαν εκατοντάδες τόμοι βιβλίων, που έχουν διατεθεί σε πολλά εκατομμύρια αντίτυπα. Τα βιβλία αυτά κάλυπταν ή καλύπτουν ανάγκες των Κατωτέρων και Μέσων Τεχνικών Σχολών του Υπ. Παιδείας, των Σχολών του Οργανισμού Απασχολήσεως Εργατικού Δυναμικού (ΟΑΕΔ), των Τεχνικών και Επαγγελματικών Λυκείων, των Τεχνικών Επαγγελματικών Σχολών και των Δημοσίων Σχολών Εμπορικού Ναυτικού.

Μοναδική φροντίδα του Ιδρύματος σ' αυτή την εκδοτική του προσπάθεια ήταν και είναι η συγγραφή και έκδοση βιβλίων ποιότητας, από άποψη όχι μόνον επιστημονική, παιδαγωγική και γλωσσική, αλλά και ως προς την εμφάνιση, ώστε το βιβλίο να αγαπηθεί από τους μαθητές.

Για την επιστημονική και παιδαγωγική αρτιότητα των βιβλίων τα κείμενα υποβάλλονται σε πολλές επεξεργασίες και βελτιώνονται πριν από κάθε νέα έκδοση συμπληρούμενα καταλλήλως.

Ιδιαίτερη σημασία απέδωσε το Ίδρυμα από την αρχή στη γλωσσική διατύπωση των βιβλίων, γιατί πιστεύει ότι και τα τεχνικά βιβλία, όταν είναι γραμμένα σε γλώσσα σωστή και ομοιόμορφη αλλά και κατάλληλη για τη στάθμη των μαθητών, μπορούν να συμβάλλουν στη γλωσσική κατάρτιση των μαθητών.



Έτσι, με απόφαση που ίσχυσε ήδη από το 1956, όλα τα βιβλία της Βιβλιοθήκης του Τεχνίτη, δηλαδή τα βιβλία για τις τότε Κατώτερες Τεχνικές Σχολές, όπως αργότερα και για τις Σχολές του ΟΑΕΔ, ήταν γραμμένα σε γλώσσα δημοτική, με βάση τη γραμματική του Τριανταφυλλίδη, ενώ όλα τα άλλα βιβλία ήταν γραμμένα στην απλή καθαρεύουσα. Σήμερα ακολουθείται η γραμματική που διδάσκεται στα σχολεία της δευτεροβάθμιας εκπαίδευσεως. Η γλωσσική επεξεργασία των βιβλίων ανατίθεται σε φιλολόγους του Ιδρύματος και έτσι εξασφαλίζεται η ενιαία σύνταξη και ορολογία κάθε κατηγορίας βιβλίων.

Η ποιότητα του χαρτιού, το είδος των τυπογραφικών στοιχείων, τα σωστά σχήματα, η καλαίσθητη σελιδοποίηση, το εξώφυλλο και το μέγεθος του βιβλίου, περιλαμβάνονται και αυτά στις φροντίδες του Ιδρύματος και συμβάλλουν στη σωστή «λειτουργικότητα» των βιβλίων.

Το Ίδρυμα θεώρησε ότι είναι υποχρέωσή του, σύμφωνα με το πνεύμα του ιδρυτή του, να θέση στη διάθεση του Κράτους όλη αυτή την πείρα του των 20 ετών, αναλαμβάνοντας το 1978 και την έκδοση των βιβλίων για τις νέες Τεχνικές Επαγγελματικές Σχολές και τα Τεχνικά και Επαγγελματικά Λύκεια, σύμφωνα πάντοτε με τα εγκεκριμένα Αναλυτικά Προγράμματα του Π.Ι. και του ΥΠΕΠΘ.

ΕΠΙΤΡΟΠΗ ΕΚΔΟΣΕΩΝ ΙΔΡΥΜΑΤΟΣ ΕΥΓΕΝΙΔΟΥ

Μιχαήλ Αγγελόπουλος, ομ. καθηγητής ΕΜΠ, Πρόεδρος.

Αλέξανδρος Σταυρόπουλος, ομ. Καθηγητής Πανεπιστημίου Πειραιώς, Αντιπρόεδρος.

Ιωάννης Τεγόπουλος, καθηγητής ΕΜΠ.

Σταμάτης Παλαιοκρασάς, Ηλεκτρολόγος Μηχανικός, Σύμβουλος Παιδαγωγικού Ινστιτούτου.

Χρήστος Σιγάλας, Δ/ντής Σπ. Δευτ. Εκπαιδεύσεως ΥΠΕΠΘ.

Σύμβουλος εκδόσεων του Ιδρύματος **Κ.Α. Μανάφης**, καθηγ. Φιλ. Σχολής Παν/μίου Αθηνών.

Γραμματέας της Επιτροπής, **Γεώργιος Ανδρεάκος**.

Διατελέσαντα μέλη ή σύμβουλοι της Επιτροπής

Γεώργιος Κακριδής (1955-1959) Καθηγητής ΕΜΠ. Αγγελος Καλογεράς (1957-1970) Καθηγητής ΕΜΠ, Δημητριος Νιάνιας (1957-1965) Καθηγητής ΕΜΠ, Μιχαήλ Σπετσιέρης (1956-1959), Νικόλαος Βασιώτης (1960-1967), Θεόδωρος Κουζέλης (1968-1976) Μηχ. Ηλ. ΕΜΠ, Παναγιώτης Χατζηιάννου (1977-1982) Μηχ. Ηλ. ΕΜΠ, Αλέξανδρος Ι. Παππάς (1955-1983) Καθηγητής ΕΜΠ, Χρυσόστομος Καβουνίδης (1955-1984) Μηχ. Ηλ. ΕΜΠ, Γεώργιος Ρούσσος (1970-1987) Χημ.-Μηχ. ΕΜΠ, Δρ. Θεοδόσιος Παπαθεοδοσίου (1982-1984) Δ/ντής Σπουδών Δευτεροβάθμιας Εκπαίδευσεως ΥΠΕΠΘ, Ιγνάτιος Χατζευστρατίου (1985-1988) Μηχανολόγος, Δ/ντής Σπουδών Δευτεροβάθμιας Εκπαίδευσεως ΥΠΕΠΘ, Γεώργιος Σταματίου (1988-1990) Ηλεκτρολόγος ΕΜΠ, Δ/ντής Σπουδών Δευτεροβάθμιας Εκπαίδευσεως ΥΠΕΠΘ, Σωτ. Γκλαβάς (1989-1993) Φιλόλογος, Δ/ντής Σπουδών Δευτεροβάθμιας Εκπαίδευσεως ΥΠΕΠΘ, Εμ. Τρανούδης (1993-1996) Δ/ντής Σπ. Δευτ. Εκπαίδευσεως ΥΠΕΠΘ.





Α' ΤΑΞΗ
ΜΕΣΩΝ ΤΕΧΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΕΠΑΓΓΕΛΜΑΤΙΚΩΝ ΣΧΟΛΩΝ

ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΙΑ
ΚΑΙ
ΗΛΕΚΤΡΙΚΑ ΟΡΓΑΝΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ

ΣΠΥΡ. Ν. ΒΑΣΙΛΑΚΟΠΟΥΛΟΥ
ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΟΥ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΟΥ Ε.Μ.Π.



AΘΗΝΑ
1998



Α' ΕΚΔΟΣΗ 1981



ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Τό βιβλίο ἀπευθύνεται στούς μαθητές τῆς Α΄ τάξεως τοῦ Ἡλεκτρολογικοῦ Τμήματος τῶν Μέσων Τεχνικῶν Ἐπαγγελματικῶν Σχολῶν Ν.Τ. Χωρίζεται σέ τέσσερα μέρη.

Στό πρῶτο μέρος περιλαμβάνονται τά συνεχή ρεύματα μέ σύντομη ἀνάπτυξη τῶν βασικῶν ἐννοιῶν γιά τά ἡλεκτρικά φορτία καί τίς ἡλεκτρικές τάσεις.

Στό δεύτερο μέρος ἀναπτύσσονται τά φαινόμενα τοῦ ἡλεκτρομαγνητισμοῦ καί τῶν σημαντικοτέρων ἐφαρμογῶν τους.

Στό τρίτο μέρος περιλαμβάνονται τά ἐναλλασσόμενα ρεύματα, μονοφασικά καί τριφασικά.

Τέλος, στό τέταρτο μέρος δίνονται συμπληρωματικά στοιχεῖα γιά τά ἡλεκτρικά ὅργανα μετρήσεων.

Στήν ἀνάπτυξη τῆς ὕλης καταβλήθηκε συστηματική προσπάθεια νά γίνει ὅσο τό δυνατό ἀπλούστερη διατύπωση τῶν ἐννοιῶν καί παρουσίαση τῶν φαινομένων μέ τή χρησιμοποίηση μόνο ἀπλῶν μαθηματικῶν σχέσεων. Στήν ἀνάπτυξη αὐτή ὀρισμένες βασικές ἐννοιοι, ὅπως γιά τά ἡλεκτρικά φορτία, γιά τή δομή τῆς ὕλης, γιά τήν ἐνέργεια κλπ. Θεωρήθηκαν γνωστές ἀπό τή Φυσική τοῦ Γυμνασίου, γι' αὐτό καί ἐδῶ ἔγινε μόνο σύντομη ύπενθύμισή τους. Ἐπίσης θεωρήθηκαν γνωστά ἀπό τά Μαθηματικά τοῦ Γυμνασίου, ή ἐπίλυση ἀπλῶν ἔξισώσεων, ή χρήση τῶν διανυσμάτων κλπ.

Στό κείμενο ἔγινε σέ ἀρκετές περιπτώσεις ἀνάπτυξη τῆς ἀρχῆς λειτουργίας διαφόρων ἡλεκτρικῶν μηχανῶν καί συσκευῶν πού ἀποτελοῦσαν ἐφαρμογές τῶν φαινομένων πού περιγράψαμε. Ή παρουσίαση ὅμως τῆς κατασκευῆς καί τῆς λειτουργίας τῶν μηχανῶν καί συσκευῶν αὐτῶν θά γίνει στά εἰδικά μαθήματα τῶν Ἡλεκτρικῶν Μηχανῶν, τῶν Ἐσωτερικῶν Ἡλεκτρικῶν Ἐγκαταστάσεων κλπ.

Μέ τήν παράθεση ἀριθμητικῶν παραδειγμάτων στό τέλος πολλῶν παραγράφων, παραδειγμάτων τά όποια ὅπου ἵταν δυνατόν πάρθηκαν ἀπό πρακτικές ἐφαρμογές, καταβλήθηκε προσπάθεια νά ἔξηγεῖται η χρήση τῶν διαφόρων τύπων ἡ σχέσεων καί νά γίνουν ἀντιληπτά τά μεγέθη πού ἐμφανίζονται στήν πράξη.

Στό βιβλίο αύτό γίνεται άποκλειστικά χρήση τῶν μονάδων τοῦ Διεθνοῦς Συστήματος (SI). Σέ δρισμένες δημαρχίες περιπτώσεις δίνονται και άλλες μονάδες πού χρησιμοποιούνται γιά τά διάτα μεγέθη και ή σχέση τούς μέ τίς μονάδες SI.

'Εκφράζω καί ἀπό τή θέση αὐτή τίς θερμές εύχαριστίες μου πρός τήν Ἐπιτροπή Ἐκδόσεων καί τό τμῆμα Ἐκδόσεων τοῦ Ἰδρύματος Εὐγενίδου γιά τήν προσπάθεια πού κατέβαλαν γιά τήν δόσο τό δυνατόν ἀρτιότερη ἔκδοση τοῦ βιβλίου καί παρακαλῶ δσους χρησιμοποιήσουν τό βιβλίο, νά κάνουν τίς ύποδείξεις τους γιά. ἐνδεχόμενα λάθη ἡ παραλείψεις μέ σκοπό τή βελτίωσή του σέ μελλοντική ἔκδοση.

Ο συγγραφέας

ΜΕΡΟΣ ΠΡΩΤΟ

ΣΥΝΕΧΕΣ ΡΕΥΜΑ

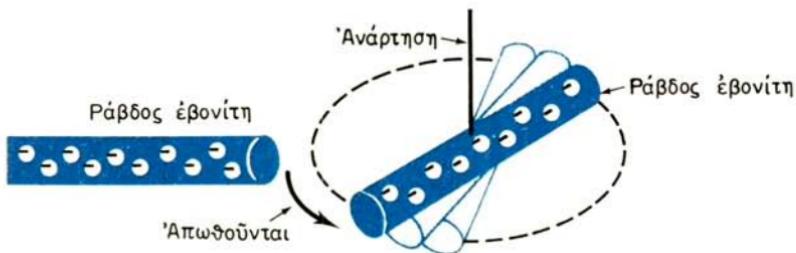
ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΠΡΩΤΟ

ΗΛΕΚΤΡΙΚΑ ΦΟΡΤΙΑ ΚΑΙ ΤΑΣΕΙΣ

1.1 Ήλεκτριση τῶν σωμάτων.

Από τή Φυσική γνωρίζομε ότι, όταν τρίψουμε μιά γυάλινη ράβδο μέ ένα κομμάτι στεγνό μεταξωτό ύφασμα, ή ράβδος **ήλεκτριζεται**, δηλαδή άποκτα **ήλεκτρικό φορτίο**. Τό ίδιο θά συμβεί και όταν τρίψουμε μέ ένα κομμάτι μάλλινο ύφασμα μιά ράβδο άπο έβονίτη (σκληρό έλαστικό).

Τά ηλεκτρικά φορτία τής γυάλινης ράβδου και τής ράβδου άπο έβονίτη δέν είναι τού ίδιου είδους. Αύτό τό διαπιστώνομε ώς έξης: Πλησιάζομε μιά ήλεκτρισμένη ράβδο άπο έβονίτη σε μιά άλλη ήλεκτρισμένη ράβδο άπο τό ίδιο ύλικο, άναρτημένη όπως φαίνεται στό σχήμα 1.1α.



Σχ. 1.1α.

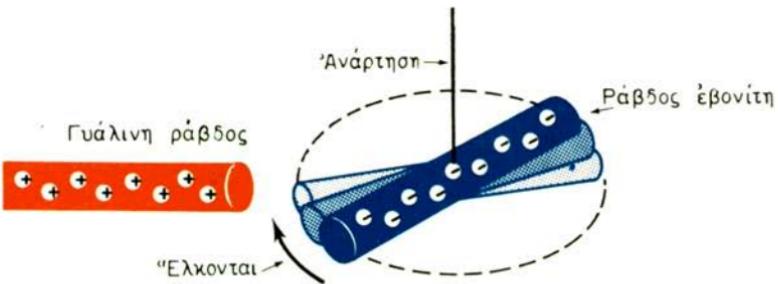
Όμώνυμα ηλεκτρικά φορτία άπωθούνται.

Παρατηροῦμε ότι άπωθούνται. "Αν δημιας στήν άναρτημένη ράβδο τοῦ έβονίτη πλησιάσομε μιά ήλεκτρισμένη ράβδο άπο γυαλί, παρατηροῦμε ότι έλκονται (σχ. 1.1β).

Τό ηλεκτρικό φορτίο τοῦ γυαλιοῦ όνομάστηκε **Θετικό** και τοῦ έβονίτη **άρνητικό**. Υπάρχουν και άλλα ύλικα πού οταν τρίβονται μέ ένα κομ-

μάτι υφασμα ήλεκτρίζονται. Διαπιστώθηκε όμως από πειράματα ότι δέν ύπάρχουν άλλα είδη ήλεκτρικών φορτίων από τα θετικά και τα άρνητικά φορτία.

Δύο ή περισσότερα ήλεκτρικά φορτία τοῦ ίδιου είδους όνομάζονται **δμώνυμα**. Δύο ήλεκτρικά φορτία διαφορετικού είδους όνομάζονται **έτερώνυμα**. Τά δμώνυμα ήλεκτρικά φορτία άπωθούνται, ένω τά έτερώνυμα έλκονται, όπως άποδείχθηκε και μέ τά πειράματα πού δείχνουν τά σχήματα 1.1α και 1.1β.



Σχ. 1.1β.
Έτερώνυμα ήλεκτρικά φορτία έλκονται.

1.2 Ήλεκτρόνια καί πρωτόνια.

Από τή Χημεία άλλα καί τή Φυσική γνωρίζομε ότι τά ύλικά σώματα άποτελούνται από **μόρια**. Τά μόρια είναι τά πιό μικρά ύλικά σωματίδια πού ύπάρχουν σέ έλευθερη κατάσταση καί διατηροῦν τίς χαρακτηριστικές ιδιότητες τοῦ σώματος.

Γνωρίζομε έπίσης ότι τά μόρια άποτελούνται από **ἄτομα**. Τά μόρια τῶν **ἀπλῶν σωμάτων** ή **στοιχείων** άποτελούνται από άτομα όμοια μεταξύ τους. Τά μόρια τῶν **συνθέτων σωμάτων** άποτελούνται από διαφορετικά μεταξύ τους άτομα. Π.χ. τό μόριο τοῦ όξυγόνου άποτελείται από δύο όμοια μεταξύ τους άτομα, ένω τό μόριο τοῦ νεροῦ, πού είναι σύνθετο σώμα, άποτελείται από δύο άτομα ύδρογόνου καί ένα άτομο όξυγόνου συνδεμένα μεταξύ τους.

Τέλος, κάθε άτομο είναι ένα συγκρότημα άκόμα μικροτέρων **σωματίδιων**.

Ο **πυρήνας**, πού είναι στό κέντρο τοῦ άτομου, άποτελείται από **πρωτόνια** καί **νετρόνια** πού βρίσκονται πολύ κοντά μεταξύ τους. Σέ σχετικά μεγάλη άπόσταση από τόν πυρήνα περιστρέφονται μέ μεγάλη ταχύτητα γύρω από αύτόν τά **ήλεκτρόνια**. Κάθε ήλεκτρόνιο κινεῖται σέ καθορισμένη τροχιά. Οι τροχιές αύτές άνήκουν σέ καθορισμένες **στοιβάδες**,

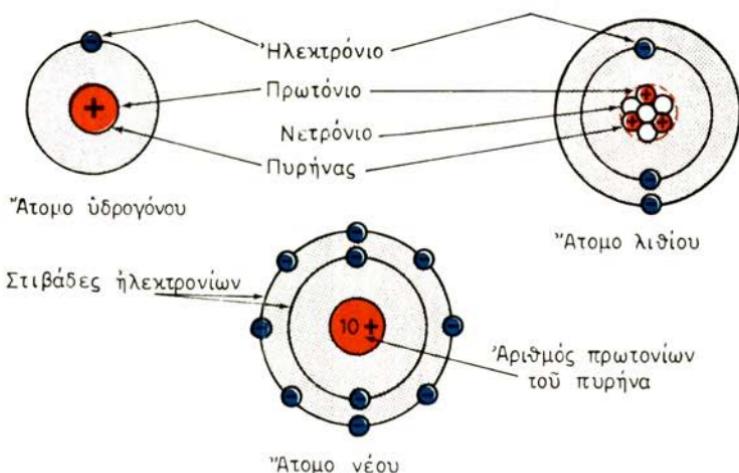
πού καθεμιά τους χαρακτηρίζεται άπό τήν ένέργεια τῶν ήλεκτρονίων πού ύπαγονται σ' αὐτήν.

Μέ πειράματα άποδείχθηκε ότι τά ήλεκτρόνια όλων τῶν σωμάτων είναι όμοια μεταξύ τους καί ότι είναι άρνητικά ήλεκτρισμένα, δηλαδή έχουν ήλεκτρισμό όμοιο μέ τόν ήλεκτρισμό τοῦ έβονίτη. 'Ακόμα διαπιστώθηκε ότι ή ποσότητα τοῦ ήλεκτρισμοῦ ένός ήλεκτρονίου είναι σταθερή, ή ίδια σέ δλα τά ήλεκτρόνια καί ή μικρότερη πού ύπαρχει στή φύση.

Κάθε πρωτόνιο, πού είναι ένα βαρύ σωματίδιο ύλης (περίπου 1830 φορές βαρύτερο από τό ήλεκτρόνιο), φέρει ποσότητα θετικοῦ ήλεκτρικού φορτίου ἵση καί ἀντίθετη πρός τό ήλεκτρικό φορτίο ένός ήλεκτρονίου. "Ολα τά πρωτόνια, από όποιοδήποτε στοιχείο καί ἄν προέρχονται, είναι όμοια μεταξύ τους.

Τά νετρόνια είναι σωματίδια μέ μάζα ούσιαστικά ἵση μέ τή μάζα τῶν πρωτονίων, ἀλλά ήλεκτρικά είναι ούδετερα. Τό νετρόνιο προσθέτει βάρος στόν πυρήνα ὅχι όμως καί ήλεκτρικό φορτίο.

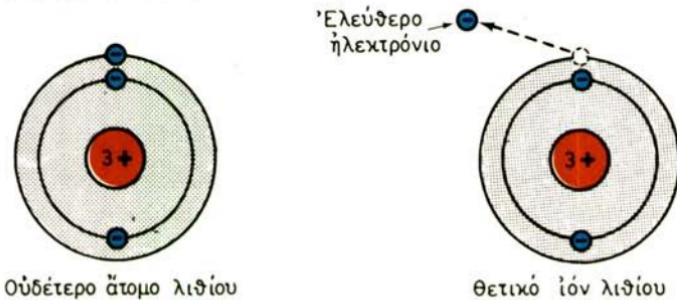
Στήν κανονική τους κατάσταση τά ἄτομα είναι **ήλεκτρικά ούδετερα**, δηλαδή δέν ἐμφανίζονται πρός τά ἔξω ως ήλεκτρικά φορτισμένα. 'Από αύτό συμπεραίνομε ότι σέ κάθε ἄτομο ύπάρχουν τόσα ήλεκτρόνια ὅσα είναι καί τά πρωτόνια τοῦ πυρήνα, ὥστε νά έξουδετερώνονται τά φορτία τους. Στό σχῆμα 1.2 φαίνεται παραστατικά ή δομή ούδετέρων ἄτομων ύδρογόνου, λιθίου καί νέου.



Σχ. 1.2.
"Άτομα διαφόρων στοιχείων."

1.3 Έλεύθερα ηλεκτρόνια – Ιόντα.

Κάτω από δρισμένες συνθήκες, π.χ. μέ την παροχή θερμότητας, είναι δυνατό από μερικά άτομα ένός σώματος νά ξεφύγουν ήλεκτρόνια (κυρίως έκεινα πού βρίσκονται πιό μακριά από τόν πυρήνα) και νά απομακρυνθοῦν από τά άτομα (σχ. 1.3). Τά ήλεκτρόνια αύτά, πού τά ονομάζομε **έλευθερα ήλεκτρόνια ή ήλεκτρόνια άγωγιμότητας** περιπλανώνται τότε στά διάκενα πού υπάρχουν μεταξύ τών άτομων και είναι δυνατό νά συγκρουσθοῦν μέ άλλα άτομα.



Σχ. 1.3.

Όρισμένες φορές μάλιστα είναι δυνατόν ένα ή περισσότερα τέτοια ηλεκτρόνια νά προστεθούν στις έξωτερικές τροχιές μερικών άτομων.

Καί στίς δύο παραπάνω περιπτώσεις, ό αριθμός τῶν ἡλεκτρονίων τῶν ἀτόμων αὐτῶν δέν εἶναι πιά ἵσος μέ τὸν ἀριθμό τῶν πρωτονίων τοῦ πυρήνα. Τά ἄτομα αὐτά ὀνομάζονται *Ιονισμένα* καί τό φαινόμενο τῆς ἀφαιρέσεως ἢ προσθήκης ἡλεκτρονίων σέ ἔνα ἄτομο ὀνομάζεται *Ιονισμός τοῦ ἀτόμου*.

Στήν πρώτη περίπτωση, πού άφαιροῦνται ήλεκτρόνια, τά άτομα συμπεριφέρονται ως θετικά φορτισμένα και ονομάζονται **θετικά ίόντα**. Στή δεύτερη περίπτωση, πού προσθέτονται στά άτομα ήλεκτρόνια, είναι άρνητικά φορτισμένα και ονομάζονται **άρνητικά ίόντα**.

1.4 Προσότητα ηλεκτρισμοῦ.

“Οταν άφαιρεθούν άπό αὐτόμα ένός σώματος ήλεκτρόνια, τότε καί δλόκληρο τό σώμα είναι θετικά ήλεκτρισμένο, δηλαδή έμφανίζεται μέθετικό ήλεκτρικό φορτίο. Αντίθετα, όταν προστεθούν σέ αὐτόμα τοῦ σώματος ήλεκτρόνια, τότε τό σώμα έμφανίζεται νά έχει άρνητικό ήλεκτρικό φορτίο. Μάλιστα τό σώμα έμφανίζεται τόσο περισσότερο θετικά ή άρνητικά ήλεκτρισμένο, όσο περισσότερα ήλεκτρόνια τοῦ έχουν άφαιρεθεῖ ή προστεθεῖ.

Τά παραπάνω συμβαίνουν καί μέ τήν τριβή μέ ένα κομμάτι ύφασμα τῶν ράβδων ἀπό γυαλί ἢ ἀπό ἔβονίτη, πού ἀναφέραμε στήν παράγραφο 1.1. Ἀπό τή γυαλίνη ράβδο ἀφαιροῦνται ἐλεύθερα ἡλεκτρόνια, τά δοποῖα προσκολλοῦνται στά ἄτομα τοῦ μεταξωτοῦ ύφασματος. "Ετσι ἡ ράβδος ἐμφανίζεται μέ θετικό ἡλεκτρικό φορτίο καί τό κομμάτι τοῦ ύφασματος μέ ἀρνητικό ἡλεκτρικό φορτίο (σχ. 1.4). Τά ἀντίθετα συμβαίνουν μέ τή ράβδο ἀπό ἔβονίτη. Ἐδῶ ἀφαιροῦνται ἐλεύθερα ἡλεκτρόνια ἀπό τό κομμάτι τοῦ μάλλινου ύφασματος καί προσκολλοῦνται στά ἄτομα τῆς ράβδου, πού ἐμφανίζεται ἀρνητικά φορτισμένη.



Σχ. 1.4.
Ἡλεκτρισμὸς γυαλίνης ράβδου.

Γενικότερα μποροῦμε νά πούμε ὅτι ἔνα σῶμα εἶναι θετικά ἡλεκτρισμένο, ὅταν ἔχει **ἔλλειψη** ἡλεκτρονίων ἢ ὅταν ἔχει θετικά ίόντα. Ἀντίθετα ἔνα σῶμα εἶναι ἀρνητικά ἡλεκτρισμένο, ὅταν ἔχει **πλεόνασμα** ἡλεκτρονίων ἢ ὅταν ἔχει ἀρνητικά ίόντα.

Εἶναι φανερό ἀπ' ὅσα ἀναφέραμε, ὅτι εἶναι δυνατό νά μετρήσομε τό φορτίο ἐνός σώματος πού εἶναι θετικά ἢ ἀρνητικά ἡλεκτρισμένο, ἀν ὑπολογίσομε τό πλῆθος τῶν ἡλεκτρονίων, πού τοῦ λείπουν ἢ πού εἶναι παραπάνω σ' αὐτό. Τό συνολικό φορτίο τῶν ἡλεκτρονίων αὐτῶν ὀνομάζεται **ἡλεκτρικό φορτίο τοῦ σώματος** καί συμβολίζεται μέ τό γράμμα Q.

Στήν Ἡλεκτροτεχνία, ὅπου χρησιμοποιεῖται σήμερα τό Διεθνές Σύστημα Μονάδων (S.I.), ὡς μονάδα τοῦ ἡλεκτρικοῦ φορτίου ἔχομε τό **κουλόμπ** (coulomb) μέ σύμβολο C. Δηλαδή εἶναι:

$$1 \text{ C} = 6,28 \times 10^{18} \text{ ἡλεκτρόνια}$$

Έπειδή ή μονάδα αύτή είναι σημαντικά μεγάλη, στίς τεχνικές έφαρμογές χρησιμοποιείται καί τό ύποπολλαπλάσιο της, τό **μικροκουλόμπ** μέσυ μβολο μC. Δηλαδή είναι:

$$1 \text{ } \mu\text{C} = \frac{1}{1.000.000} \text{ C} = 10^{-6} \text{ C}$$

Παράδειγμα.

Πόσο ήλεκτρικό φορτίο φέρει ένα σῶμα άπό τό δοποϊο έχουν άφαιρεθεί $25,12 \times 10^{12}$ ήλεκτρόνια;

Λύση:

Είναι φανερό ότι τό σῶμα είναι θετικά φορτισμένο. Τό φορτίο του είναι:

$$Q = \frac{25,12 \times 10^{12}}{6,28 \times 10^{18}} \text{ C} = 4 \times 10^{-6} \text{ C} = 4 \text{ } \mu\text{C}$$

1.5 Σώματα άγωγιμα καί μονωτικά.

Άλλα άπό τά ύλικά σώματα έπιτρέπουν στά έλευθερα ήλεκτρόνια, πού κατά κάποιον τρόπο ύπάρχουν μέσα σ' αύτά, νά κινοῦνται μέ μεγάλη έλευθερία άναμεσα στά άτομά τους καί άλλα όχι. Τά σώματα τῆς πρώτης περιπτώσεως δνομάζονται **άγωγιμα σώματα ή καλοί άγωγοι τού ήλεκτρισμού** ή άπλα, **άγωγοι**. Τά σώματα άντιθετα πού δέν έπιτρέπουν σχεδόν καμιά μετακίνηση ήλεκτρονίων άναμεσα στά άτομά τους, καί στά δοποϊα τά έλευθερα ήλεκτρόνια είναι έλαχιστα, δνομάζονται **μονωτικά σώματα ή κακοί δύωγοι τού ήλεκτρισμού** ή άπλα, **μονωτήρες**.

Τά άγωγιμα σώματα λέμε ότι παρουσιάζουν μικρή **άντισταση** στήν κίνηση τῶν ήλεκτρονίων άναμεσα στά άτομά τους. Στήν κατηγορία αύτή άνήκουν κυρίως τά μέταλλα. Ιδιαίτερα ό χαλκός είναι πολύ καλός άγωγός, γιατί παρουσιάζει πολύ μικρή άντισταση στήν κίνηση τῶν ήλεκτρονίων καί γι' αύτό τόν χρησιμοποιοῦμε πολύ στήν κατασκευή τῶν γραμμῶν μέ τίς δοποῖες μεταφέρομε ήλεκτρικά φορτία άπό μιά Θέση σέ άλλη. Γιά τούς ίδιους λόγους χρησιμοποιοῦμε τελευταία πολύ τό άλουμίνιο πού είναι πιό οίκονομικό.

Τά μονωτικά σώματα είναι τόσο άπαραίτητα στίς ήλεκτροτεχνικές έφαρμογές όσο είναι καί τά άγωγιμα. Χρησιμεύουν γιά νά μήν άφηνουν τόν ήλεκτρισμό νά διαρρέει άπό τίς γραμμές μέ τίς δοποῖες μεταφέρεται, καθώς καί στίς ήλεκτρικές συσκευές, γιά νά τόν έμποδίζουν νά πηγαίνει σέ άλλα σώματα μέ τά δοποϊα αύτές έρχονται σέ έπαφή. Μονωτικά σώματα είναι τό γυαλί, ά έβονίτης, ή πόρσελάνη, τό μάρμαρο, ά ξηρός ά-

ρας καί ἄλλα. Τό ἀπόλυτο κενό, πού δέν ἔχει καθόλου ἡλεκτρόνια, εἶναι τέλειο μονωτικό.

‘Ανάμεσα στούς ἀγωγούς καί στούς μονωτῆρες ὑπάρχει μιά τρίτη κατηγορία σωμάτων, τά **ἡμιαγωγά σώματα** ἢ ἀπλά, οι **ἡμιαγωγοί**.

Σέ δρισμένες περιπτώσεις οι ἡμιαγωγοί συμπεριφέρονται ως ἀγωγοί, ἐνῶ σέ ἄλλες περιπτώσεις ως μονωτῆρες, ἀνάλογα μέ τήν κατεύθυνση κινήσεως τῶν ἡλεκτρονίων μέσα σ' αὐτούς.

‘Ημιαγωγά σώματα εἶναι τό σελήνιο, τό γερμάνιο, τό πυρίτιο κλπ. Καί οι ἡμιαγωγοί χρησιμοποιοῦνται στήν ‘**Ἡλεκτροτεχνία** γιά ειδικούς σκοπούς.

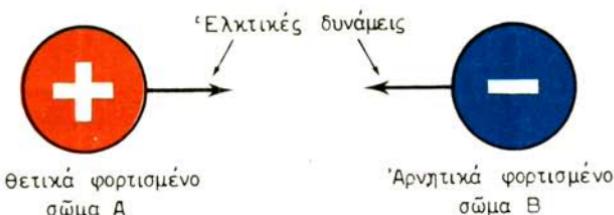
“Αν μέ ὅποιοδήποτε τρόπο προστεθοῦν σ' ἔνα σημεῖο ἐνός ἀγωγοῦ ἡλεκτρόνια, αὐτά θά μετακινηθοῦν μέσα ἀπ' αὐτόν καί θά διαμοιρασθοῦν σέ δλη τήν ἐπιφάνειά του. ‘Επίσης, ἀν ἀφαιρεθοῦν ἡλεκτρόνια ἀπό ἔνα σημεῖο ἀγωγοῦ, τότε ἐλεύθερα ἡλεκτρόνια ἀπό τά ὑπόλοιπα μέρη τοῦ ἀγώγιμου σώματος θά μετακινηθοῦν πρός τό σημεῖο αὐτό καί ἔτσι τό ἔλλειμα γίνεται αἰσθητό σέ δλη τήν ἐπιφάνεια τοῦ ἀγωγοῦ.

‘Αντίθετα, ἀν προστεθοῦν ἢ ἀφαιρεθοῦν ἡλεκτρόνια ἀπό ἔνα σημεῖο ἐνός μονωτικοῦ σώματος, τό πλεόνασμα ἢ τό ἔλλειμα τῶν ἡλεκτρονίων περιορίζεται μόνο στό σημεῖο ὅπου δημιουργήθηκε.

Μετακίνηση ίοντων, δηλαδή ἀτόμων ἡλεκτρισμένων, μέσα ἀπό τά μέταλλα δέν εἶναι δυνατή. ‘Υπάρχουν ὅμως ἄλλοι ἀγωγοί, ὅπως π.χ. εἶναι τά διαλύματα στό νερό τῶν ὁξέων, ἀλάτων καί βάσεων, οι ὅποιοι ἐπιτρέπουν νά μετακινοῦνται ίοντα μέσα ἀπ' αὐτούς.

1.6 Ἡλεκτρική τάση.

“Οπως ἀναφέραμε στήν παράγραφο 1.1, μεταξύ δύο ἐτερώνυμα ἡλεκτρισμένων σωμάτων ἀσκοῦνται ἐλκτικές δυνάμεις. Λέμε τότε ὅτι μεταξύ τῶν σωμάτων αὐτῶν ὑπάρχει **ἡλεκτρική τάση**, μέ τήν ἔννοια ὅτι τά θετικά ἡλεκτρικά φορτία τοῦ ἐνός σώματος (Α στό σχήμα 1.6α) τείνουν, δηλαδή προσπαθοῦν νά μετακινηθοῦν πρός τό ἄλλο σῶμα Β πού εἶναι ἀρνητικά ἡλεκτρισμένο. ‘Επίσης τά ἀρνητικά φορτία τοῦ δεύτερου αὐτοῦ σώματος τείνουν νά μετακινηθοῦν πρός τό σῶμα Α.

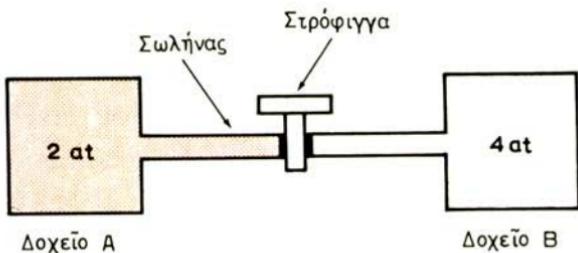


Σχ. 1.6α.
Ἡλεκτρική τάση.

"Οσο μεγαλύτερο είναι τό περίσσευμα τῶν ἡλεκτρονίων πού ἔχει τό σῶμα B, καθώς καί δύο μεγαλύτερο είναι τό ἔλλειμα πού ὑπάρχει στό σῶμα A, τόσο μεγαλύτερες είναι οι ἐλκτικές δυνάμεις πού ἀσκοῦν τό ἔνα σῶμα ἐπάνω στό ἄλλο. Δηλαδή τόσο μεγαλύτερη είναι ἡ ἡλεκτρική τάση πού ὑπάρχει μεταξύ τους.

Φυσικά, αν μεταξύ των δύο ήλεκτρισμένων σωμάτων μεσολαβεί ένα μονωτικό σώμα, όπως συμβαίνει στό σχήμα 1.6α, όπου ύποτιθεται ότι μεσολαβεί ένα μονωτικός άέρας, δέν θα μπορέσουν νά μετακινηθούν ή-λεκτρόνια ή Ιόντα άπό τό ένα σώμα στό άλλο, παρ' όλο πού μεταξύ τους ύπάρχει ήλεκτρική τάση.

Καλύτερα κατανοητό γίνεται τό φαινόμενο της ήλεκτρικής τάσεως, ἂν τό παραλληλίσομε μέ τό άκόλουθο μηχανικό φαινόμενο: Σ' ἔνα δοχεῖο A βρίσκεται άέρας μέ πίεση π.χ. 2 άτμοσφαιρῶν καί σ' ἔνα άλλο B, άέρας μέ πίεση 4 άτμοσφαιρῶν (σχ. 1.6β). Τά δύο δοχεῖα συγκοινωνοῦν μ' ἔνα σωλήνα, τόν δποιο φράζομε ἐρμητικά μέ μιά στρόφιγγα.



ΣΧ. 1.6β.

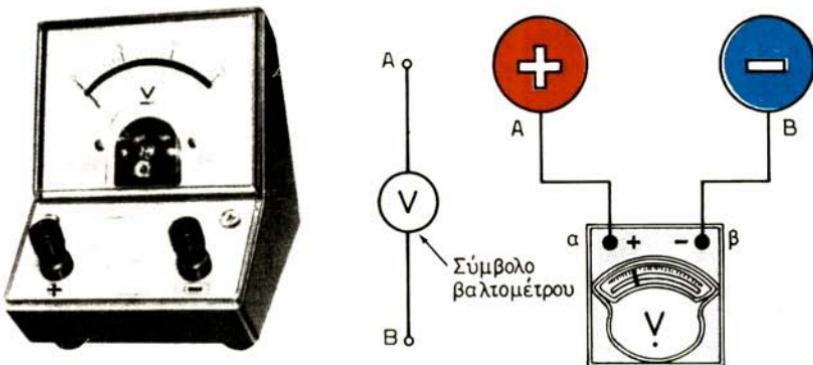
Έπειδή υπάρχει διαφορά στίς πιέσεις των δύο δοχείων, τά μόρια του άέρα των 4 άτμοσφαιρών έχουν τήν τάση νά μετακινθοῦν πρός τό δοχείο Α των 2 άτμοσφαιρών, έμποδίζονται ζημιές σ' αύτό άπό τή στρόφιγγα. "Ο,τι κάνει ή στρόφιγγα στό παράδειγμα αύτό, κάνει καί τό μονωτικό σώμα μεταξύ δύο ήλεκτρισμένων σωμάτων: 'Εμποδίζει δηλαδή τή μετακίνηση Ιόντων καί ήλεκτρονίων άπό τό ένα σώμα στό άλλο.

1.7 Μέτρηση της ηλεκτρικής τάσεως.

‘Η λεκτρική τάση είναι ένα από τα μεγέθη πού χρησιμοποιείται πολύ τακτικά στήν ‘Ηλεκτροτεχνία. Μιλάμε γιά τήν λεκτρική τάση ή άπλα γιά τήν τάση τῆς μπαταρίας τοῦ αύτοκινήτου, γιά τήν τάση τοῦ δικτύου διανομῆς λεκτρικῆς ένέργειας τῆς πόλεως, γιά τήν τάση πού είναι κατασκευασμένη νά λειτουργεῖ μιά λεκτρική συσκευή κλπ.

Τήν ήλεκτρική τάση πού τή συμβολίζομε μέ τό U, τή μετράμε σέ μονάδες πού όνομάζονται **βόλτα** (volt). Γιά σύμβολο τής μονάδας βόλτ χρησιμοποιεῖται τό V.

Τά δργανα πού χρησιμοποιοῦμε γιά νά μετροῦμε τίς ήλεκτρικές τάσεις λέγονται **βολτόμετρα** (σχ. 1.7α). Κάθε βολτόμετρο είναι έφοδιασμένο μέ δύο άκροδέκτες α καί β τούς όποίους συνδέομε μέ άγωγούς, δημοσιεύεται στό σχήμα 1.7β, μέ τά δύο ήλεκτρισμένα σώματα A καί B τῶν όποιων θέλομε νά μετρήσομε τήν τάση.



Σχ. 1.7α.

Βολτόμετρο έργαστηρίου.

Συμειώνομε έδω, χωρίς σώμας νά έπεκταθοῦμε περισσότερο, ότι τά δύο σώματα A καί B μεταξύ τῶν όποιων ύπάρχει τάση πού θέλομε νά μετρήσομε, μπορεῖ νά έχουν καί διμώνυμα φορτία. Ή σύνδεση τῶν άκροδεκτῶν τοῦ βολτομέτρου γίνεται πάλι κατά τόν ίδιο τρόπο.

Τό βολτόμετρο έχει έσωτερικά ένα περιστρεφόμενο σύστημα στό διπολού είναι στερεωμένη μιά βελόνα, ή διπολού δείχνει στή βαθμολογημένη **κλίμακα** τοῦ δργάνου τήν τάση σέ βόλτ, πού ύπάρχει μεταξύ τῶν σωμάτων A καί B ή δύο σημείων A καί B.

Από τούς άκροδεκτες τοῦ δργάνου δέ ένας έχει τό σύμβολο (+) καί δέ άλλος τό (-), γιά νά συνδέονται στά άντίστοιχα ήλεκτρισμένα σώματα. Ή σύνδεση γίνει άντίθετα ή βελόνα τοῦ δργάνου προσπαθεῖ νά κινηθεῖ άνάποδα καί θά πρέπει τότε νά άναστρέψωμε τή σύνδεση.

Στό άριστερό μέρος τοῦ σχήματος 1.7β φαίνεται δέ συμβολικός τρόπος πού χρησιμοποιοῦμε στά ήλεκτροτεχνικά σχέδια, γιά νά παραστήσομε ένα βολτόμετρο, πού μετρά τήν τάση μεταξύ τῶν σωμάτων ή τῶν σημείων A καί B.

Πολλές φορές άντι γιά τόν δρό ήλεκτρική τάση μεταξύ δύο σωμάτων ή δύο σημείων, χρησιμοποιοῦμε καί τόν δρό **διαφορά δυναμικοῦ** μεταξύ τῶν δύο σωμάτων ή σημείων.

Στήν πράξη τακτικά χρησιμοποιούμε καί τά άκόλουθα πολλαπλάσια ἥ ύποπολλαπλάσια τοῦ βόλτη:

Τό **κιλοβόλτη** μέ σύμβολο kV

$$1 \text{ kV} = 1000 \text{ V}$$

Τό **μιλλιβόλτη** μέ σύμβολο mV

$$1 \text{ mV} = \frac{1}{1000} \text{ V} = 10^{-3} \text{ V}$$

Τό **μικροβόλτη** μέ σύμβολο μV

$$1 \text{ μV} = \frac{1}{1.000.000} \text{ V} = 10^{-6} \text{ V}$$

1.8 Ήλεκτρικά στοιχεῖα.

Γιά νά δημιουργήσομε ήλεκτρικές τάσεις μεταξύ δύο σωμάτων στήν πράξη χρησιμοποιούμε σήμερα ειδικές συσκευές καί μηχανές πού όνομάζονται **ήλεκτρικές πηγές** ἥ **πηγές ήλεκτρικού ρεύματος**. 'Υπάρχουν πολλῶν ειδῶν τέτοιες πηγές. 'Από τίς πιό άπλές είναι τά **ήλεκτρικά στοιχεῖα**, πού όνομάζονται καί **ήλεκτροχημικά στοιχεῖα**.

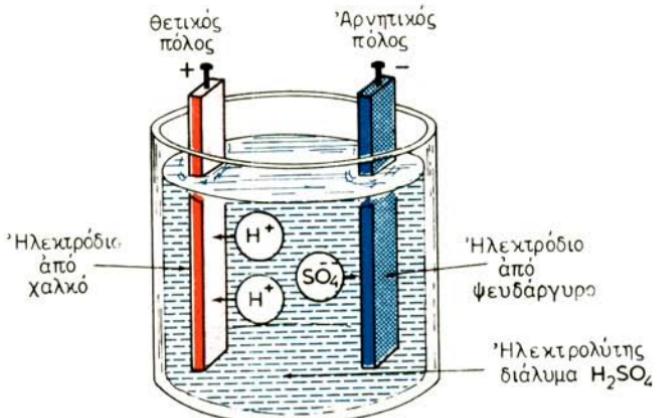
"Ενα τέτοιο ήλεκτρικό στοιχεῖο πού μποροῦμε εύκολα νά κατασκευάσουμε, άποτελεῖται άπό δύο ράβδους ἥ δύο μεταλλικά έλάσματα άπό διαφορετικό μέταλλο, π.χ. τό ένα άπό χαλκό καί τό άλλο άπό ψευδάργυρο (τσίγκο). Τά έλάσματα αύτά, πού όνομάζονται **ήλεκτρόδια** τοῦ στοιχείου, τοποθετοῦνται μέσα σ' ένα γυάλινο δοχεῖο (σχ. 1.8) μέσα στό δύοιο ρίχνομε καί τόν **ήλεκτρολύτη**, δηλαδή νερό μέσα στό δύοιο έχει διαλυθεῖ κάποιο δέξυ ἥ άλατι, π.χ. θειικό δέξυ ἥ άμμωνιακό άλατι.

Τά άκρα τῶν ήλεκτροδίων, πού μένουν έξω άπό τόν ήλεκτρολύτη, όνομάζονται **πόλοι** τοῦ ήλεκτρικοῦ στοιχείου καί φέρουν συνήθως άπό έναν κοχλία μέ περικόχλιο γιά τήν έξωτερική σύνδεση.

Κατά τήν κατασκευή τῶν ήλεκτρικῶν στοιχείων προσέχομε, ὅστε νά μήν ἔρχονται σέ έπαφή μεταξύ τους τά ήλεκτρόδια, δηλαδή ηλεκτρολύτης νά πειριθρέχει καί τά δύο ήλεκτρόδια καί νά μήν ύπάρχει περίπτωση οι πόλοι νά βυθισθοῦν καί αύτοί μέσα στόν ήλεκτρολύτη.

Μέ ένα βολτόμετρο πού συνδέομε στούς δύο πόλους τοῦ στοιχείου, μποροῦμε νά διαπιστώσομε δτι μεταξύ τους ύπάρχει διαφορά δυναμικοῦ, δηλαδή ήλεκτρική τάση καί δτι δ χαλκός έχει ήλεκτρισθεῖ θειικά καί δ ψευδάργυρος άρνητικά.

Θά έξηγήσομε μέ λίγα λόγια καί κάπως άπλοποιημένα, χωρίς νά χρησιμοποιήσομε πολλούς τύπους, πῶς δημιουργεῖται η διαφορά δυναμικοῦ στό ήλεκτρικό στοιχεῖο. Μέ τή διάλυση τοῦ δέξεος ἥ τοῦ άλατοιού



Σχ. 1.8.
Ηλεκτρικό στοιχείο.

μέσα στό νερό τοῦ ήλεκτρολύτη δημιουργούνται θετικά καί άρνητικά ιόντα. Υπενθυμίζομε ότι, όπως άναφέραμε καί στήν παράγραφο 1.3, θετικά ιόντα είναι απότομα θετικά ήλεκτρισμένα (έχουν άφαιρεθεῖ ήλεκτρόνια) καί άρνητικά ιόντα είναι απότομα άρνητικά ήλεκτρισμένα (έχουν προστεθεῖ ήλεκτρόνια). Τά μόρια τοῦ θειικοῦ δξέος ($H_2 SO_4$) π.χ. διασπώνται τό καθένα σέ δύο θετικά ιόντα H^+ + H^+ καί σ' ἕνα σύνθετο άρνητικό ίόν SO_4^{2-} . Αύτό λέγεται ιονισμός τοῦ διαλύματος. Τά θετικά ιόντα όνομάζονται καί **κατιόντα** καί τά άρνητικά **άνιόντα**.

Όταν στόν ήλεκτρολύτη βυθίσομε ἔνα ήλεκτρόδιο από χαλκό καί ἔνα από ψευδάργυρο, συγκεντρώνονται τά κατιόντα στό ήλεκτρόδιο τοῦ χαλκοῦ πού φορτίζεται ἔτσι θετικά καί τά άνιόντα στό ήλεκτρόδιο τοῦ ψευδαργύρου πού φορτίζεται άρνητικά. Δηλαδή τό χάλκινο ήλεκτρόδιο γίνεται ὁ θετικός πόλος τοῦ ήλεκτρικοῦ στοιχείου καί τό ήλεκτρόδιο από ψευδάργυρο ὁ άρνητικός πόλος.

Άποτέλεσμα τῶν παραπάνω είναι νά έμφανισθεῖ δρισμένη τάση μεταξύ τῶν δύο ήλεκτροδίων τήν όποια μποροῦμε, όπως εἴπαμε, νά μετρήσομε μέ ἔνα βολτόμετρο.

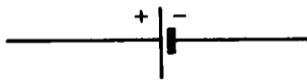
1.9 Ηλεκτρεγερτική δύναμη πηγῆς.

Τήν τάση ἡ διαφορά δυναμικοῦ πού άναπτύσσεται μεταξύ τῶν ήλεκτροδίων ἐνός στοιχείου καί γενικότερα μιᾶς όποιασδήποτε ήλεκτρικῆς πηγῆς ὅταν δέν τροφοδοτεῖ κανένα έξωτερικό κύκλωμα, τήν όνομάζομε **ήλεκτρεγερτική δύναμη** τῆς πηγῆς (ΗΕΔ) καί τήν παριστάνομε μέ τό σύμβολο E.

‘Η ήλεκτρεγερτική δύναμη ίσοϋται, όπως είπαμε, μέ τήν τάση πού μετροῦμε μεταξύ τῶν ήλεκτροδίων ή πόλων τῆς πηγῆς, δταν σ’ αύτούς δέν είναι συνδεμένο κανένα έξωτερικό κύκλωμα. Δηλαδή δταν ή πηγή έργαζεται χωρίς φορτίο. Αύτός είναι ο λόγος πού ή ήλεκτρεγερτική δύναμη μιᾶς πηγῆς όνομάζεται καί **τάση στό κενό ή τάση χωρίς φορτίο**.

‘Η λέξη δύναμη πού περιλαμβάνει ο δρος ήλεκτρεγερτική δύναμη χρησιμοποιεῖται, γιά νά έπισημανθεῖ δτι ή πηγή άσκει μιά δύναμη γιά τή μεταφορά τῶν κατιόντων καί άνιόντων στό θετικό καί άρνητικό ήλεκτροδίο. ‘Ομως ή ήλεκτρεγερτική δύναμη, όπως τήν δρίσαμε, δέν είναι δύναμη άλλα τάση, πού μετριέται σέ βόλτ καί δχι σέ νιούτον πού μετριούνται οι δυνάμεις.

‘Η ήλεκτρεγερτική δύναμη είναι ένα σταθερό μέγεθος πού χαρακτηρίζει τήν ήλεκτρική πηγή. Σ’ ένα ήλεκτρικό στοιχείο ή ήλεκτρεγερτική δύναμη του είναι άνεξάρτητη άπο τίς διαστάσεις τῶν μερῶν τού στοιχείου καί έξαρτάται μόνο άπο τή φύση τῶν ύλικών, πού χρησιμοποιήθηκαν γιά τήν κατασκευή τού ήλεκτρολύτη καί τῶν ήλεκτροδίων.



Σχ. 1.9.

Σύμβολο ήλεκτρικής πηγής.

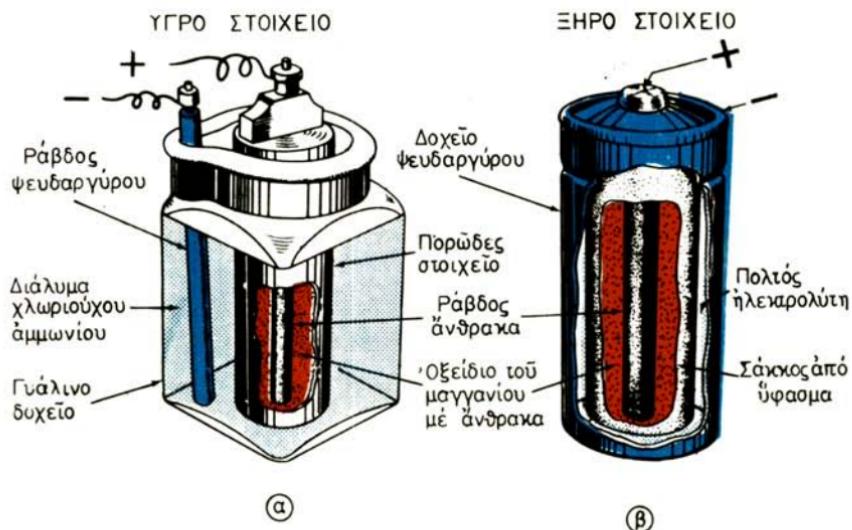
Στό σχήμα 1.9 φαίνεται η συμβολική παράσταση ένός ήλεκτρικού στοιχείου καί γενικότερα μιᾶς ήλεκτρικής πηγῆς, πού χρησιμοποιεῖται στά σχέδια τῆς Ήλεκτροτεχνίας. Η μακριά λεπτή γραμμή παριστάνει τό θετικό πόλο καί ή χονδρή καί κοντή τόν άρνητικό πόλο τῆς πηγῆς. ‘Αν χρειάζεται κοντά στό σύμβολο σημειώνομε καί τήν ήλεκτρεγερτική δύναμη τῆς πηγῆς, όπως στό σχήμα, δτου είναι $E = 110 \text{ V}$.

1.10 Ήλεκτρικές πηγές.

1.10.1 Ήλεκτροχημικά στοιχεία Λεκλανσέ (Leclanché).

‘Ηλεκτροχημικά στοιχεία όπως αύτό πού περιγράψαμε στήν παράγραφο 1.8, ύπάρχουν καί άλλα μέ μικρές διαφορές στή διαμόρφωση καί κατασκευή, μέ διαφορετική σύνθεση τού ήλεκτρολύτη καί μέ άλλα μέταλλα γιά ήλεκτρόδια. Τά στοιχεία αύτά όνομάζονται **ύγρα ήλεκτρικά στοιχεία** καί χρησιμοποιούνται σήμερα πολύ σπάνια. Στό σχήμα 1.10α φαίνεται τό ύγρο ήλεκτρικό στοιχείο πού όνομάζεται στοιχείο Λεκλανσέ (Leclanché). Τό στοιχείο αύτό δίνει σταθερή τάση 1,5 V καί έχει θετικό ήλεκτρόδιο άπο άνθρακα.

Μία παραλλαγή τῶν παραπάνω στοιχείων είναι τά **ξηρά ήλεκτρικά**



Σχ. 1.10α.

‘Ηλεκτρικά στοιχεία Λεκλανσέ. α) Ύγρο στοιχείο. β) Ξηρό στοιχείο.

στοιχεία, άπό τά διόπια κατασκευάζονται οι γνωστές **ξηρές μπαταρίες** ή **στήλες** πού χρησιμοποιούνται σε μεγάλη έκταση σχεδόν σ' όλες τις σύγχρονες φορητές ήλεκτρονικές συσκευές, στά ήλεκτρικά φαναράκια κλπ. Υπάρχει μεγάλη ποικιλία ξηρών ήλεκτρικών στοιχείων άναλογα μέ τή συγκεκριμένη συσκευή γιά τήν διόπια προορίζονται. Στό σχήμα 1.10α φαίνεται ή κατασκευή ένός ξηρού ήλεκτρικού στοιχείου Λεκλανσέ, πού έχει τό γνωστό κυλινδρικό σχήμα τών ξηρών στοιχείων 1,5 V. Σ' αύτά, όπως παρατηρούμε καί στό σχήμα, τό ήλεκτρόδιο τού ψευδαργύρου έχει τή μορφή κυλινδρικού δοχείου, ένω τό άλλο ήλεκτρόδιο είναι καί έδω μία ράβδος άπό άνθρακα.

Σημειώνομε δτι στό σχήμα 1.10α τό ξηρό στοιχείο είναι σχεδιασμένο μέ διαφορετική κλίμακα άπό τό ύγρο στοιχείο Λεκλανσέ, τό διόπιο στήν πραγματικότητα είναι πολύ μεγαλύτερο άπ' τό πρώτο.

1.10.2 Γεννήτριες ήλεκτρικού ρεύματος.

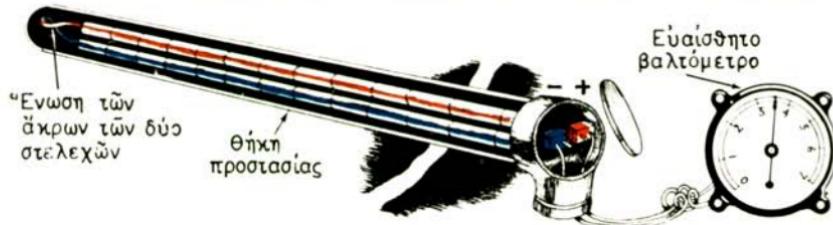
Έκτος άπό τούς δύο τρόπους πού άναφέραμε ως τώρα, δηλαδή τήν ήλεκτριση μέ τριβή καί τά ήλεκτροχημικά στοιχεία, ύπαρχουν καί πολλοί άλλοι τρόποι, μέ τούς διόπιους μπορούμε νά άναπτύξομε ήλεκτρεγερτικές δυνάμεις, δηλαδή νά δημιουργήσομε έλλειμα ήλεκτρονίων σ' ένα σώμα καί άντιστοιχο περίσσευμα σ' ένα άλλο.

‘Απ' αύτούς τή μεγαλύτερη σπουδαιότητα γιά τήν Ηλεκτροτεχνία έχει ή άναπτυξη ήλεκτρεγερτικών δυνάμεων μέ τίς ειδικές ήλεκτρικές

μηχανές, πού όνομάζονται **γεννήτριες ήλεκτρικού ρεύματος**. Μέ τέοις μηχανές είναι τεχνικά εύκολο νά άναπτυχθοῦν μεγάλες διαφορές δυναμικοῦ, έκατοντάδων ἥ καὶ χιλιάδων ἀκόμη βόλτ. Μέ τίς ήλεκτρικές γεννήτριες θά ἀσχοληθοῦμε σέ ἔκταση στό Δεύτερο Μέρος τοῦ βιβλίου αὐτοῦ.

1.10.3 Θερμοηλεκτρικά στοιχεῖα.

Μικρότερο ἐνδιαφέρον ώς πηγές ήλεκτρικοῦ ρεύματος, παρουσιάζουν τά λεγόμενα **Θερμοηλεκτρικά στοιχεῖα**. "Ἐνα τέοιο στοιχεῖο ἀποτελεῖται ἀπό δύο μεταλλικά στελέχη, ἀπό διαφορετικά μέταλλα ἐνώμενα μεταξύ τους στό ἔνα τους ἄκρο (σχ. 1.10β)." "Οταν τό σημεῖο ἐνώσεως θερμανθεῖ, μεταξύ τῶν δύο ἄλλων ἄκρων γεννιέται ήλεκτρεγερτική δύναμη, πού κάνει τό ἔνα θετικό καί τό ἄλλο ἀρνητικό πόλο.



Σχ. 1.10β.
Θερμοηλεκτρικό στοιχεῖο.

Ἡ ήλεκτρεγερτική αὐτή δύναμη τοῦ στοιχείου εἶναι τόσο μεγαλύτερη, ὅσο μεγαλύτερη εἶναι ἡ θερμοκρασία πού φθάνει τό σημεῖο ἐνώσεως τῶν δύο μετάλλων. Αὐτός εἶναι ὁ λόγος πού τά θερμοηλεκτρικά στοιχεῖα χρησιμεύουν ώς θερμόμετρα γιά νά μετροῦμε ὑψηλές θερμοκρασίες.

ΠΙΝΑΚΑΣ 1.10.1.
Χαρακτηριστικά θερμοηλεκτρικῶν στοιχείων.

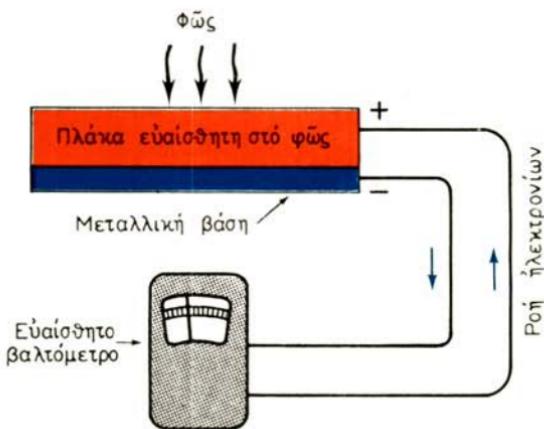
Θερμοκρασία κοινοῦ σημείου	100°C	500°C	1000°C	1500°C
Ζεῦγος μετάλλων	Ἡλεκτρεγερτική δύναμη στοιχείου σέ mV			
Σίδηρος-Κονσταντάν	5.37	27.84	—	—
Χαλκός-Κονσταντάν	4.25	27.40	—	—
Χρωμονικέλιο-Νικέλιο	4.04	20.64	41.32	—
Πλατινορόδιο-Πλατινά	0.64	4.22	9.60	15.58

Ἐκτός ἀπό τή θερμοκρασία τοῦ σημείου ἐνώσεως, ἡ ήλεκτρεγερτική δύναμη ἔξαρτᾶται καὶ ἀπό τή φύση τῶν μετάλλων τῶν δύο στελέχων. Στόν Πίνακα 1.10.1 ἀναφέρονται τά θερμοηλεκτρικά στοιχεῖα π.:

χρησιμοποιούνται συνήθως καί τά χαρακτηριστικά τους. Σέ κάθε ζεῦγος μετάλλων πρώτα αναφέρεται τό μέταλλο πού μέ τή θέρμανση τού στοιχείου ήλεκτριζεται θετικά καί κατόπιν τό μέταλλο πού ήλεκτριζεται άρνητικά.

1.10.4 Φωτοηλεκτρικά στοιχεία.

Ήλεκτρεγερτική δύναμη μπορει νά άναπτυχθει καί μέ τό φωτισμό δρισμένων εύαισθητων στό φως μεταλλικών πλακών. Οι πλάκες αύτες περιέχονται σέ ειδικές διατάξεις οι όποιες ονομάζονται **φωτοηλεκτρικά στοιχεία** (σχ. 1.10γ). Ή ήλεκτρεγερτική δύναμη πού άναπτύσσεται σ' αύτα είναι σχεδόν άναλογη μέ τήν ένταση μέ τήν όποια φωτίζονται καί βέβαια είναι πολύ μικρή. Φωτοηλεκτρικά στοιχεία χρησιμοποιούνται στήν τηλεόραση, στίς κινηματογραφικές μηχανές γιά τήν άπόδοση τού ήχου, στά φωτόμετρα κλπ.



Σχ. 1.10γ.
Φωτοηλεκτρικό στοιχείο.

Τά τελευταία χρόνια φωτοηλεκτρικά στοιχεία χρησιμοποιούνται ώς πηγές ήλεκτρικῆς ένέργειας, δηλαδή ώς ήλιακές μπαταρίες, σέ δρισμένους τεχνητούς δορυφόρους γιά τήν τροφοδότηση μέ ήλεκτρικό ρεύμα τών διαφόρων όργάνων τους.

1.10.5 Πιεζοηλεκτρικά στοιχεία.

Τέλος, ήλεκτρεγερτική δύναμη άναπτύσσεται έπισης όταν συμπιέζομε ή κάμπτομε πλάκες άπο χαλαζία (ή άπο δρισμένους άλλους κρυστάλλους). Τό μέγεθος τής ήλεκτρεγερτικῆς δυνάμεως είναι άναλογο μέ τό

μέγεθος τῆς παραμορφώσεως τῆς πλάκας τοῦ κριστάλλου. Τά στοιχεῖα πού στηρίζονται στό φαινόμενο αύτό δονομάζονται **πεζοηλεκτρικά στοιχεῖα** καί χρησιμοποιοῦνται σέ μικρόφωνα, σέ πικάπ κλπ.

1.11 Ἐρωτήσεις.

1. Πόσων ειδῶν ἡλεκτρικά φορτία ὑπάρχουν;
2. Ποιά δύναμη ἀναπτύσσεται μεταξύ δύο ἐτερωνύμων ἡλεκτρικῶν φορτίων καί ποιά μεταξύ δύο δημωνύμων;
3. Τί σωματίδια ὑπάρχουν στό ἐσωτερικό τοῦ ἀτόμου καί τί φορτία φέρουν;
4. Γιατί ἔνα ἄτομο στή φυσική του κατάσταση συμπεριφέρεται ως οὐδέτερο ἡλεκτρικά;
5. Ποιές δυνάμεις συγκρατοῦν τά ἡλεκτρόνια καθώς περιστρέφονται γύρω ἀπό τόν πυρήνα καί δέν τά ἀφήνουν νά ἀποσπασθοῦν ἀπό τό ἄτομο, διν δέν ὑπάρχει κάποια ἔξωτερηκή αἰτία;
6. Γιατί μποροῦμε νά θεωροῦμε ὅτι ὅλη ἡ μάζα τοῦ ἀτόμου βρίσκεται στόν πυρήνα;
7. Πώς δημιουργοῦνται τά θετικά καί πῶς τά ἀρνητικά λόντα;
8. Πότε ἔνα σῶμα εἶναι θετικά καί πότε ἀρνητικά ἡλεκτρισμένο;
9. Μέ τί ισοῦται τό ἡλεκτρικό φορτίο πού φέρει ἔνα ἡλεκτρισμένο σῶμα;
10. Πόσα ἡλεκτρόνια ἔχουν προστεθεῖ σ' ἔνα σῶμα πού ἔχει ἀρνητικό φορτίο 2 C;
11. Σέ ποιές κατηγορίες διακρίνομε τά σώματα σχετικά μέ τή μετακίνηση μέσα ἀπό αύτά τῶν ἐλεύθερων ἡλεκτρονίων;
12. Τί θά συμβεῖ, ἀν δύο ἀγωγούς πού φέρουν ἵσα καί ἀντίθετα ἡλεκτρικά φορτία, τούς ἔρομε σέ ἑπαφή;
13. Τί δυναμάζομε ἡλεκτρική τάση μεταξύ δύο σωμάτων ἐτερώνυμα φορτισμένων. Πώς ἀλλιώς δυνομάζεται ἡ ἡλεκτρική τάση;
14. Μέ ποιά μονάδα καί μέ ποιά δργανα μετροῦμε τήν ἡλεκτρική τάση;
15. Πώς συνδέομε τό βολτόμετρο, γιά νά μετρήσομε τή διαφορά δυναμικοῦ μεταξύ δύο σωμάτων ἐτερώνυμα ἡλεκτρισμένων;
16. Ποιά εἶναι τά κύρια μέρη ἐνός ἡλεκτροχημικοῦ στοιχείου;
17. Πώς δημιουργεῖται ἡ διαφορά δυναμικοῦ σέ ἔνα ἡλεκτροχημικό στοιχεῖο;
18. Μέ τί ισοῦται ἡ ἡλεκτρεγερτική δύναμη μιᾶς ἡλεκτρικῆς πηγῆς; Πώς ἀλλιώς δυνομάζεται;
19. Ποιές ἡλεκτρικές πηγές γνωρίζεις;
20. Ποιά εἶναι ἡ ἀρχή λειτουργίας ἐνός θερμοηλεκτρικοῦ στοιχείου;

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΔΕΥΤΕΡΟ

ΗΛΕΚΤΡΙΚΟ ΡΕΥΜΑ ΚΑΙ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ

2.1 Ή φύση τοῦ ηλεκτρικοῦ ρεύματος.

Όπως άναφέραμε στήν παράγραφο 1.6, μεταξύ δύο έτερώνυμα ήλεκτρισμένων σωμάτων πού χωρίζονται άπό ἓνα μονωτικό, άναπτύσσεται ηλεκτρική τάση. Θά έξετάσομε τώρα τί θά συμβεῖ, ἐν τά δύο αὐτά σώματα τά συνδέσομε, δημοσιεύοντας γνωρίζομε (παράγρ. 1.5) εἶναι άγωγιμο σῶμα.



Σχ. 2.1.
Δημιουργία ηλεκτρικοῦ ρεύματος.

Στήν περίπτωση αύτή θά συμβεῖ διάταξη αύτή άνοιξομε τή στρόφιγγα, τότε μόρια τοῦ άέρα πού βρίσκονται μέ πίεση 4 άτμοσφαιρών στό δοχείο Β θά διοχετευθοῦν στό άριστερό δοχείο Α, δημοσιεύοντας στά δύο δοχεία. Τό ρεύμα αύτό θά διαρκέσει μέχρι νά έξισωθοῦν οι πιέσεις στά δύο δοχεία.

Άναλογα πράγματα συμβαίνουν καί στά δύο ήλεκτρισμένα σώματα τοῦ σχήματος 2.1. Ήλεκτρικά φορτία θά μεταφερθοῦν άπό τό ἓνα σώμα στό άλλο περνώντας μέσα άπό τόν άγωγό. Ή μετακίνηση αύτή διείλεται στήν ηλεκτρική τάση πού ύπάρχει άνάμεσα στά δύο σώματα, δηλαδή στήσ έλκτικές δυνάμεις πού έξασκοῦν μεταξύ τους τά έτερώνυμα.

μα ήλεκτρικά φορτία. Ή μετακίνηση θά διαρκέσει έλαχιστο χρονικό διάστημα, μέχρις ότου ένωθούν τά άντιθετα ήλεκτρικά φορτία καί πάψει νά ύπάρχει ήλεκτρική τάση μεταξύ τῶν δύο σωμάτων.

"Οπως ἔχομε ἀναφέρει (παράγρ. 1.5) μέσα ἀπό τούς μεταλλικούς ἄγωγούς εἶναι δυνατή ή μετακίνηση μόνο τῶν ἐλεύθερων ήλεκτρονίων. "Αρα καί στήν περίπτωση πού ἔξετάζομε, θά ἔχομε μετακίνηση ήλεκτρονίων μέσα ἀπό τὸν ἄγωγό, ἀπό τὸ ἀρνητικά φορτισμένο σῶμα πρός τὸ θετικά φορτισμένο, δηλαδή ἀπό τὸ ἀρνητικό ἄκρο τοῦ ἄγωγοῦ πρός τὸ θετικό. Ή μετακίνηση αὐτή ήλεκτρονίων μέσα ἀπό τούς ἄγωγούς εἶναι τὸ **ήλεκτρικό ρεύμα**.

Παλιότερα, ὅταν δέν ἦταν ἀκόμη γνωστή ή ὑπαρξῃ τῶν ήλεκτρονίων, εἶχε δρισθεῖ συμβατικά ὅτι φορά τοῦ ήλεκτρικοῦ ρεύματος μέσα ἀπό τούς μεταλλικούς ἄγωγούς ἦταν **ἀπό τὸ θετικό ἄκρο τους πρός τὸ ἀρνητικό**. Μέ βάση αὐτή τὴν **συμβατική φορά τοῦ ήλεκτρικοῦ ρεύματος** ἔχουν διαμορφωθεῖ ἔνα σωρό κανόνες καί δρισμοί πού δέν εἶναι εὐκολό τώρα νά τούς ἀλλάξομε. Γί' αὐτό ἔξακολουθοῦμε νά δεχόμαστε καί σήμερα ὡς φορά τοῦ ήλεκτρικοῦ ρεύματος μέσα στούς ἄγωγούς τῆ φορά ἀπό τὸ θετικό ἄκρο τους πρός τὸ ἀρνητικό. Πρέπει όμως πάντοτε νά ἔχομε ὑπ' ὅψη μας ὅτι ὅταν λέμε πώς σ' ἔνα μεταλλικό ἄγωγό το ρεύμα κυκλοφορεῖ ἀπό τὸ ἄκρο Α πρός τὸ ἄκρο Β, ή πραγματική κίνηση τῶν ήλεκτρονίων ἔχει φορά ἀπό τὸ Β πρός τὸ Α.

Σημειώνομε, χωρίς νά ἐπεκταθοῦμε περισσότερο, ὅτι, ὅταν τά δύο σώματα Α καί Β τοῦ σχήματος 2.1 δέν εἶναι ἐνωμένα μέ μεταλλικό ἄγωγό ἀλλά μέ ἔναν ύγρο ἄγωγό, π.χ. ὅταν βρίσκονται μέσα σέ ἔνα δοχεῖο μέ διάλυμα θειικοῦ δέξος σέ νερό, τότε μποροῦν νά μετακινηθοῦν καί θετικά ίόντα ἀπό τὸ Α πρός τὸ Β καί ταυτόχρονα ήλεκτρόνια ἀπό τὸ Β πρός τὸ Α.

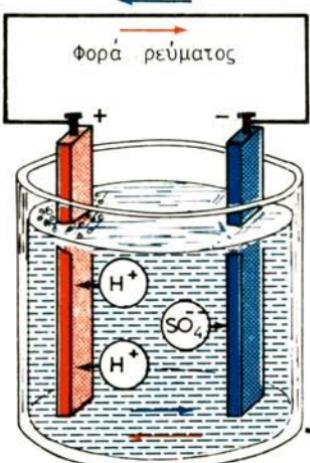
2.2 Συνεχές ήλεκτρικό ρεύμα.

Τό ρεύμα πού κυκλοφορεῖ στὸν ἄγωγό τοῦ παραδείγματος πού χρησιμοποιήσαμε στήν προηγούμενη παράγραφο εἶναι ἔνα **ρεύμα μεταβλητό**. Καθώς γίνεται μεταφορά φορτίων ἀπό τό ἔνα σῶμα στό ἄλλο, ή τάση ἡ διαφορά δυναμικοῦ, πού ύπάρχει μεταξύ τους, συνεχῶς ἐλαττώνεται. Τά μεταφερόμενα φορτία λιγοστεύουν, τό ήλεκτρικό ρεύμα ἔξασθενίζει συνεχῶς, μέχρις ότου μηδενισθεῖ ἐντελῶς, ὅταν μηδενισθεῖ καί ἡ τάση. Ή ὅλη διαδικασία μάλιστα γίνεται πολύ γρήγορα, σχεδόν ἀστραπαιαία.

Γιά νά δημιουργήσομε **συνεχές ήλεκτρικό ρεύμα**, δηλαδή ρεύμα δημιουργούμενο πρός τήν ίδια πάντοτε κατεύθυνση καί μέ σταθερή ταχύτητα ροῆς, χρησιμοποιοῦμε τίς ήλεκτρικές πηγές, πού σέ συντομία ἀναφέραμε στίς παραγράφους 1.8 καί 1.10.

“Αν στό ήλεκτρικό στοιχείο τοῦ σχήματος 1.8 συνδέσομε τούς πόλους του μ' ἔναν ἀγωγό ἀπό μεταλλικό σύρμα, ἡ ήλεκτρεγερτική δύναμη τοῦ στοιχείου θά προκαλέσει τή μετακίνηση ήλεκτρονίων μέσα ἀπό τὸν ἀγωγό, πού θά κινηθοῦν, ὅπως ἀναφέραμε, ἀπό τὸν ἀρνητικὸν πόλο πρός τὸ θετικό (σχ. 2.2).

Φορά κινήσεως ἡλεκτρονίων



Σχ. 2.2.
Λειτουργία ήλεκτρικοῦ στοιχείου.

Τά ήλεκτρόνια αὐτά ὅταν φθάνουν στό θετικό πόλο ἔλκουν ἔναν ἀντίστοιχο ἀριθμό θετικῶν ιόντων ύδρογόνου (H^+). Τό καθένα ἀπό τά ιόντα αὐτά ἐνώνεται μὲν ἔνα ήλεκτρόνιο καὶ μετατρέπεται ἔτσι σέ οὐδέτερο ἄτομο ύδρογόνου. Τά ἄτομα τοῦ ύδρογόνου σχηματίζουν τότε φυσαλίδες πού βγαίνουν στήν ἐπιφάνεια τοῦ ήλεκτρολύτη καὶ διασκορπίζονται στήν ἀτμόσφαιρα. Ταυτόχρονα ἀντίστοιχος ἀριθμός ἀρνητικῶν ιόντων SO_4^{2-} τοῦ ήλεκτρολύτη ἐνώνεται μὲν ἄτομα ψευδαργύρου τοῦ ἀρνητικοῦ ήλεκτροδίου, μὲν ἀποτέλεσμα νά σχηματίζεται θειικός ψευδαργυρος καὶ νά ἐλευθερώνονται νέα ήλεκτρόνια στό ἀρνητικό ήλεκτρόδιο.

Μέ τὸν τρόπο αὐτό ἔχομε συνεχή μετακίνηση ήλεκτρονίων στὸν ἐσωτερικὸν ἀγωγό, δηλαδὴ συνεχές ήλεκτρικό ρεῦμα. Στό ἐσωτερικό τῆς πηγῆς ἔχομε συνεχή ἐπίσης μετακίνηση ἀρνητικῶν φορτίων πρός τό ἀρνητικό ήλεκτρόδιο καὶ θετικῶν πρός τό θετικό. Δηλαδὴ σχηματίζεται ἔνα **κλειστό κύκλωμα** στὸ ὅποιο ἀρνητικά φορτία κινοῦνται ἀπό τό ἀρνητικό ήλεκτρόδιο μέσα ἀπό τό μεταλλικό ἀγωγό στό θετικό ήλεκτρόδιο καὶ στό ἐσωτερικό τῆς πηγῆς μέσα ἀπό τὸν ήλεκτρολύτη ἀπό τό θετικό ήλεκτρόδιο πρός τό ἀρνητικό (σχ. 2.2). Ἡ «συμβατική» φορά τοῦ ρεύματος, ὅπως εἴπαμε, εἶναι ἡ ἀντίθετη. “Ἐνα κλειστό ήλεκτρικό κύκλωμα δημιουργεῖται καὶ κατά τή λειτουργία ὅποιασδήποτε ἄλλης ήλεκτρικῆς πηγῆς.

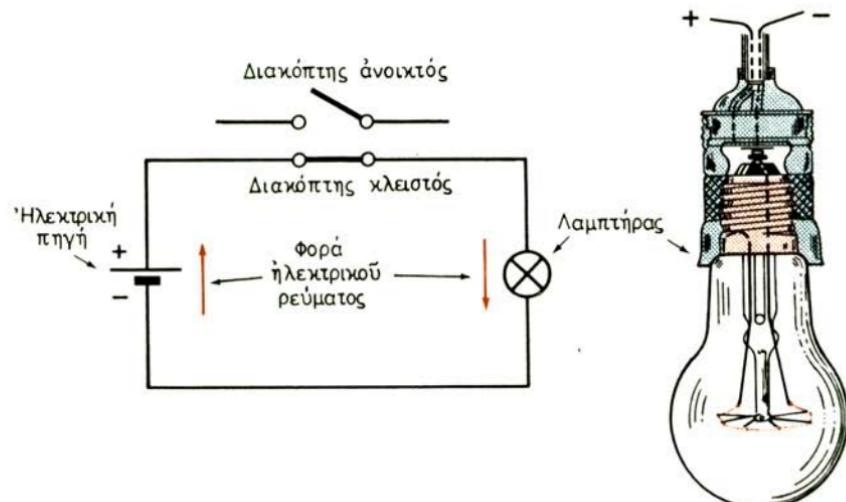
Μέ τίς ήλεκτροχημικές δράσεις, πού άναφέραμε παραπάνω, παράγεται συνεχές ήλεκτρικό ρεύμα, ένώ καταναλώνεται ψευδάργυρος καί ήλεκτρολύτης. Τό ήλεκτρικό ρεύμα θά σταματήσει νά κυκλοφορεῖ, μόνο ἀν διακοπεῖ τό κύκλωμα σέ δοποιοδήποτε σημείο του ή ἀν έξαντληθεῖ δψευδάργυρος ή δ ήλεκτρολύτης.

2.3 Ήλεκτρικοί καταναλωτές.

Οι ήλεκτρικές συσκευές λειτουργοῦν όταν μέσα ἀπ' αύτές περνᾶ ήλεκτρικό ρεύμα. Γι' αύτό τό λόγο λέγονται **καταναλωτές ήλεκτρικού ρεύματος** ή **καταναλωτές ήλεκτρικής ένέργειας** ή ἀπλά **καταναλωτές**.

Γιά νά περάσει τό ήλεκτρικό ρεύμα μέσα ἀπό ἔναν καταναλωτή (π.χ. ἔναν ήλεκτρικό λαμπτήρα, μία ήλεκτρική κουζίνα κλπ.) δηλαδή γιά νά τόν **τροφοδοτήσομε** όπως λέμε, πρέπει νά τόν συνδέσομε μέ δύο άγωγούς σέ ἔνα κύκλωμα στό δοποίο νά ύπάρχει μία κατάλληλη ήλεκτρική πηγή. Μέ τόν ἔνα άγωγό ἔρχονται τά ήλεκτρόνια ἀπό τόν άρνητικό πόλο τῆς πηγῆς, περνοῦν μέσα ἀπό τόν καταναλωτή καί ἐπιστρέφουν στό θετικό πόλο τῆς πηγῆς μέ τόν ἄλλο άγωγό.

Στό σχήμα 2.3α φαίνεται σχεδιασμένο μέ τά σύμβολα πού χρησιμοποιοῦμε στά ήλεκτρονικά σχέδια, τό κύκλωμα τροφοδοτήσεως ἐνός ήλεκτρικού λαμπτήρα. Τό κύκλωμα περιλαμβάνει καί ἔνα **διακόπτη** μέ τόν δοποίο μποροῦμε μ' ἔναν εύκολο χειρισμό νά διακόπτομε όταν θέλομε τή λειτουργία τῆς ήλεκτρικής συσκευῆς, δηλαδή ἐδῶ τοῦ λαμπτή-



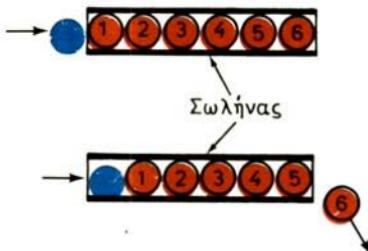
Σχ. 2.3α.
Τροφοδότηση ήλεκτρικού λαμπτήρα.

ρα. Οι διακόπτες συνήθως σχεδιάζονται στή θέση ήρεμίας, δηλαδή άνοικτοί, όπως φαίνεται στό έπανω μέρος του σχήματος 2.3α.

"Όταν κλείσομε τό διακόπτη, έχομε ένα κλειστό κύκλωμα, όπότε θά άρχισει άμεσως νά κυκλοφορεῖ μέσα σ' αύτό ήλεκτρικό ρεῦμα όπως τό περιγράψαμε στά προηγούμενα. Στό σχήμα έχει σημειωθεῖ καί ή (συμβατική) φορά τοῦ ρεύματος.

Σημειώνομε έδω δτι, ἀν καί τό κάθε ήλεκτρόνιο κινεῖται μέσα στούς άγωγούς τοῦ κυκλώματος μέ πολύ μικρή ταχύτητα, ή μετάδοση τῆς κινήσεώς τους, δηλαδή ή δημιουργία ήλεκτρικοῦ ρεύματος γίνεται σχεδόν ταυτόχρονα (μέ τήν άστραπαία ταχύτητα τῶν 300.000 km/s) σέ ολα τά σημεῖα τοῦ κυκλώματος.

Τό, ήλεκτρικό αύτό φαινόμενο εἶναι άναλογο μέ τό έξης μηχανικό φαινόμενο: Μέσα σ' ἔναν δριζόντιο σωλήνα βρίσκονται σέ έπαφή μεταξύ τους μεταλλικές σφαίρες (σχ. 2.3β, έπανω μέρος). "Άν άπο τό άριστερό ἄκρο του βάλομε μέσα στό σωλήνα μιά άλλη σφαίρα (τήν μπλέ στό σχήμα) καί τήν σπρώξομε μέ μικρή ταχύτητα πρός τά δεξιά, ή κίνηση θά ματαδοθεῖ **άμεσως** σέ δλες τίς σφαίρες, ώστε σχεδόν άμεσως ή τελευταία θά ξεφύγει άπο τό δεξιό ἄκρο τοῦ σωλήνα (όπως φαίνεται



Σχ. 2.3β.

στό κάτω μέρος του σχήματος) έστω καί ἀν ή ταχύτητα τῆς σφαίρας πού σπρώξαμε εἶναι μικρή.

2.4 Ένταση ήλεκτρικοῦ ρεύματος.

Στίς ήλεκτροτεχνικές έφαρμογές σπάνια μᾶς ένδιαφέρει νά ξέρομε πόσα ήλεκτρόνια, δηλαδή πόσο ήλεκτρικό φορτίο (πόσα κουλόμπι) πέρασε μέσα άπο ἔναν άγωγό τοῦ κυκλώματος. Έκεϊνο πού μᾶς ένδιαφέρει ίμως πολύ τακτικά νά γνωρίζομε εἶναι τό πόσο φορτίο μετρούμενο σέ κουλόμπι (παράγρ. 1.4) πέρασε μέσα άπο μία διατομή τοῦ άγωγοῦ στή μονάδα τοῦ χρόνου, δηλαδή στό δευτερόλεπτο. Τό φορτίο αύτό στή μονάδα τοῦ χρόνου τό όνομάζομε **ένταση τοῦ ήλεκτρικοῦ ρεύματος**.

τος. Τήν ἔνταση τήν παριστάνομε μέ τό σύμβολο I. Είναι συνεπῶς (γιά σταθερό συνεχές ρεῦμα):

$$I = \frac{Q}{t} \quad \text{σέ} \quad \frac{C}{s}$$

ὅπου: Q τό ήλεκτρικό φορτίο πού πέρασε ἀπό ἔναν ἀγωγό σέ C καί t ὁ χρόνος μέσα στόν ὅποιο πέρασε τό φορτίο σέ s.

Μονάδα μετρήσεως τῶν ἔντασεων είναι τό **άμπερ** (ampère) μέ σύμβολο A. Ή ἔνταση τοῦ ήλεκτρικοῦ ρεύματος μέσα ἀπό ἔναν ἀγωγό είναι ἵση μέ ἑνα ἀμπέρ ὅταν μέσα ἀπό αὐτόν περνᾶ σέ κάθε δευτερόλεπτο ποσότητα ήλεκτρισμοῦ ἵση μέ ἑνα κουλόμπ.

$$1 A = \frac{1 C}{1 s}$$

Ἄπο τή σχέση αύτή προκύπτει ὅτι:

$$1 C = 1 A \times 1 s = 1 As$$

Πολλαπλάσια καί ύποπολλαπλάσια τοῦ A, πού χρησιμοποιοῦνται συνήθως στήν πράξη είναι:

Τό **κιλοαμπέρ** μέ σύμβολο kA

$$1 kA = 1000 A$$

Τό **μιλλιαμπέρ** μέ σύμβολο mA

$$1 mA = \frac{1}{1000} A = 10^{-3} A$$

Παράδειγμα 1.

Ἄπο τόν ήλεκτρικό λαμπτήρα τοῦ σχήματος 2.3α περνᾶ σέ μία ὡρα λειτουργίας φορτίο ἵσο μέ 720 C. Ποιά είναι ἡ ἔνταση τοῦ ρεύματος πού περνᾶ μέσα ἀπό τό λαμπτήρα;

Λύση:

$$I = \frac{Q}{t} = \frac{720}{3600} = 0,2 A$$

Παράδειγμα 2.

Μέσα ἀπό ήλεκτρική θερμάστρα περνᾶ ἔνταση ρεύματος 10 A. Ποιά ποσότητα ήλεκτρισμοῦ θά περάσει μέσα ἀπό τή θερμάστρα ἀν λειτουργήσει 4 ὡρες;

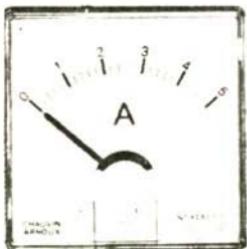
Λύση:

$$\text{Από τή σχέση } I = \frac{Q}{t} \text{ προκύπτει ότι:}$$

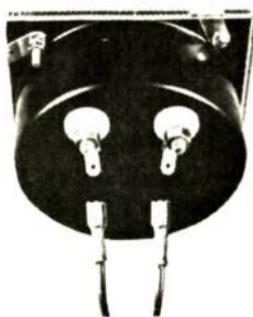
$$Q = I \cdot t = 10 \times 4 \times 3600 = 144.000 \text{ C} = 144 \text{ kC}$$

2.5 Μέτρηση τής έντασεως ρεύματος.

Υπάρχουν είδικά όργανα μέ τά διοιδή περιοχή μετροῦμε τήν ένταση τοῦ ήλεκτρικοῦ ρεύματος. Τά όργανα αύτά, πού τά δονομάζομε **άμπερόμετρα**, έχουν μέ τά βολτόμετρα, έπάνω δημιουργήσαντα πινακίδα μέ τή βαθμολογημένη κλίμακα σέ άμπερ φέρουν τό ένδεικτικό γράμμα A. Κάθε άμπερόμετρο έχει δύο άκροδέκτες. Τό άμπερόμετρο, πού δείχνει τό σχήμα 2.5a, είναι κατασκευασμένο γιά νά τοποθετεῖται έπάνω στόν πίνακα τροφοδοτήσεως κάποιας βιομηχανικῆς έγκαταστάσεως. Τά όργανα αύτά δονομάζονται **τύπου πίνακα**, γιά νά τά ξεχωρίζομε άπο τά όργανα **τύπου έργαστηρίου**, δημιουργήσαντα πινακίδα μέ τά διακόπτη στό σχήμα 1.7a.



"Οψη από έμπρος"

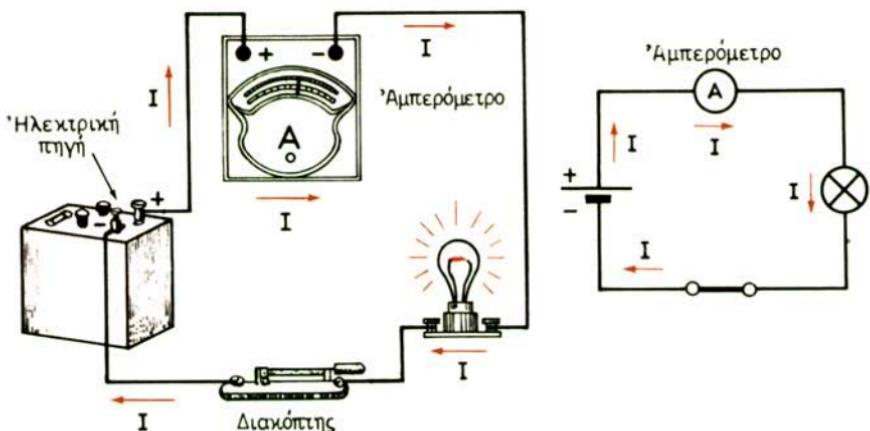


"Οψη από πίσω"

Σχ. 2.5a.

Άμπερόμετρο τύπου πίνακα.

Γιά νά μετρήσομε τήν ένταση τοῦ ρεύματος, πού περνᾶ μέσα άπο ένα κύκλωμα, πρέπει νά διακόψουμε τό κύκλωμα σέ ένα διοιδή ποτε σημείο του. Έτσι θά έχομε δύο άκρα άγωγῶν τοῦ κυκλώματος, πού τά συνδέομε τό ένα στό έναν άκροδέκτη καί τό άλλο στόν άλλο άκροδέκτη τοῦ ήλεκτρομέτρου, δημιουργήσαντα πινακίδα μέσα στό σχήματος 2.5β πού δείχνει ένα ήλεκτρικό λαμπτήρα. Μέ αύτόν τόν τρόπο διόλοκληρο τό ρεύμα τοῦ κυκλώματος περνᾶ καί μέσα άπο τό ήλεκτρομέτρο. Ο δείκτης τοῦ όργανου δείχνει τότε τήν ένταση τοῦ ρεύματος αύτοῦ.



Σχ. 2.5β.
Σύνδεση άμπερομέτρου.

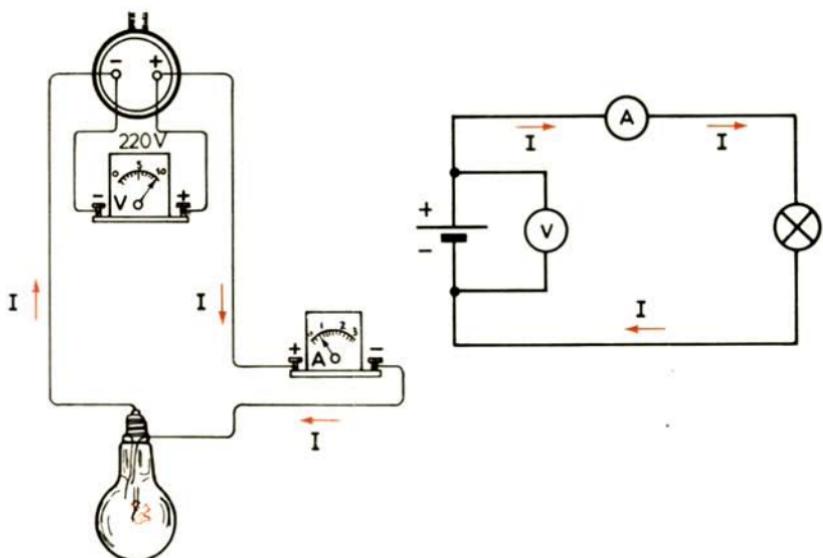
Σέ δρισμένα άμπερόμετρα υπάρχει τό σημείο (+) στόν ένα άκροδέκτη και τό (-) στόν άλλο. Γιά νά κινηθεῖ ή βελόνα τοῦ όργανου πρός τή σωστή διεύθυνση στήν κλίμακα, θά πρέπει ή σύνδεση τών άμπερομέτρων αύτῶν νά γίνεται έτσι, ώστε τό ρεύμα νά μπαίνει στό δργανο άπο τόν άκροδέκτη (+) και νά βγαίνει άπο τόν άκροδέκτη (-), δημος φαίνεται στό σχήμα 2.5β.

Στό δεξιό μέρος τοῦ σχήματος 2.5β φαίνεται τό κύκλωμα, στό δημος έχει συνδεθεῖ τό άμπερόμετρο, σχεδιασμένο δμως μέ τά σύμβολα πού χρησιμοποιούνται στά ήλεκτροτεχνικά σχέδια.

'Ονομάζομε **ἀπλό κύκλωμα**, τό κύκλωμα πού άποτελεῖται άπο τήν πηγή, τόν καταναλωτή και τούς δύο άγωγούς πού συνδέουν τούς δύο πόλους τής πηγῆς μέ τόν καταναλωτή. Σέ ένα τέτοιο κύκλωμα σέ δημοιδήποτε σημείο του καί ἄν συνδεθεῖ τό άμπερόμετρο, θά δώσει τήν ίδια ένδειξη. Δηλαδή ή ένταση τοῦ ρεύματος έναι ή ίδια σέ δλα τά σημεία ένός άπλού κυκλώματος.

2.6 Η ήλεκτρική άντίσταση τών σωμάτων.

"Οπως έξηγήσαμε σέ προηγούμενες παραγράφους αύτοῦ τοῦ κεφαλαίου, ή αίτια πού προκαλεῖ τό ήλεκτρικό ρεύμα μέσα σέ ένα κύκλωμα έναι ή ήλεκτρεγερτική δύναμη τής πηγῆς. "Αν λοιπόν στούς δύο πόλους ένός **ρευματοδότη** (πρίζα) πού άναμεσά τους ύπάρχει τάση π.χ. 220 V, συνδέσομε ένα λαμπτήρα, μέσα άπο αύτόν θά περάσει ήλεκτρικό ρεύμα. Τήν ένταση αύτοῦ τοῦ ρεύματος καί τήν τάση τής πηγῆς μπορούμε νά τά μετρήσομε μέ ένα άμπερόμετρο καί ένα βολτόμετρο, πού τά συν-



Σχ. 2.6.

Μέτρηση τάσεως και έντασεως σε κύκλωμα.

δέομε στό κύκλωμα όπως φαίνεται στό σχήμα 2.6. Στό δεξιό μέρος του σχήματος φαίνεται και ή σχεδίαση τοῦ ίδιου κυκλώματος μέ τά γνωστά σύμβολα.

Κάνομε τίς μετρήσεις δύο φορές. Τή μία φορά μέ ένα λαμπτήρα πού έχει ένδειξεις άπό τόν κατασκευαστή του 220 V, 60 W καί τή δεύτερη φορά μέ ένα λαμπτήρα μέ ένδειξεις 220 V, 100 W. Θά παρατηρήσομε ότι, ἀν καί τό βολτόμετρο καί τίς δυό φορές δείχνει τήν ίδια άκριβως τάση 220 V, τό άμπερόμετρο τήν πρώτη φορά δείχνει ένταση 0,27 A καί τή δεύτερη 0,45 A.

Ἡ διαφορά ὀφείλεται στό δτι τό συρματάκι πού είναι μέσα στή λάμπα καί πού πυρακτώνεται καθώς περνᾶ ἀπ' αύτό τό ήλεκτρικό ρεύμα, παρουσιάζει μεγαλύτερη **ἀντίσταση** στή μετακίνηση τῶν ήλεκτρονίων στόν πρώτο λαμπτήρα ἀπό αύτή πού παρουσιάζει στό δεύτερο.

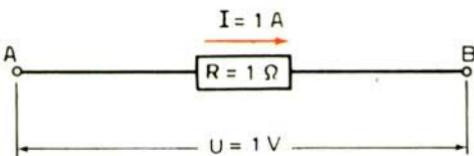
Κάθε άγωγός καί γενικότερα κάθε σῶμα, παρουσιάζει μιά δρισμένη ἀντίσταση στό πέρασμα τοῦ ρεύματος, γιατί τά ήλεκτρόνια, καθώς κινοῦνται μέσα ἀπό τά διάκενα πού υπάρχουν ἀνάμεσα ἀπό τά ἄτομα τοῦ σώματος, προσκρούουν κάθε τόσο ἐπάνω στά ἄτομα αύτά. Μέ τίς συγκρούσεις αύτές τά ήλεκτρόνια χάνουν τήν ταχύτητά τους καί γενικά, ἐμποδίζονται στήν κίνησή τους. Ταυτόχρονα ὀλόκληρος ὁ άγωγός θερμαίνεται, γιατί μέ τίς συγκρούσεις ή κινητική ἐνέργεια, πού είχαν τά ήλεκτρόνια, μετατρέπεται σέ θερμότητα, ὅπως γνωρίζομε ἀπό τή Φυσική.

Τά μονωτικά σώματα παρουσιάζουν πολύ μεγάλη άντισταση. "Ετσι και ὅταν ἀκόμα τοποθετοῦνται ἀνάμεσα σέ δύο σημεῖα, τά διόπια βρίσκονται σέ διαφορά δυναμικοῦ πολλῶν βόλτ, δέν ἀφήνουν νά περνοῦν παρά μόνο πολύ λίγα ἡλεκτρόνια. Στήν πράξη μποροῦμε νά πούμε ὅτι τά μονωτικά σώματα ἐμποδίζουν τή ροή τοῦ ἡλεκτρικοῦ ρεύματος.

Τά άγνωμα σώματα παρουσιάζουν πολύ μικρότερη άντισταση από τά μονωτικά σώματα. Άλλα και μεταξύ των άγνωμών σωμάτων ύπαρχουν πολύ μεγάλες διαφορές στήν ηλεκτρική άντισταση που παρουσιάζουν, άναλογα με τό ύλικο από τό δημοποιητικό τό καθένα άποτελεῖται και μέτο γεωμετρικό σχήμα που έχει.

2.7 Μονάδα της ηλεκτρικής άντιστάσεως.

Τό μέγεθος τής ήλεκτρικής άντιστάσεως ένός σώματος παριστάνεται μέ το σύμβολο R. Μονάδα μετρήσεως τής άντιστάσεως είναι τό ώμ, μέ σύμβολο Ω. Λέμε δτι ένα σώμα έχει άντισταση ένός ώμ ($1\ \Omega$) δταν, άφοι παρεμβληθεί άνάμεσα σέ δύο σημεία A και B (σχ. 2.7) μέ διαφορά δυναμικού ένός βόλτ ($1\ V$), άφηνε νά περνά άπο μέσα του ρεύμα έντάσεως ένός άμπερ ($1\ A$).



Σχ. 2.7.

Πολλαπλάσια τοῦ ὥμ πού χρησιμοποιοῦνται στήν πράξη εῖναι:

Τό κιλοώμ μέ σύμβολο $k\Omega$

$$1 \text{ k}\Omega = 1000 \text{ }\Omega = 10^3 \text{ }\Omega$$

Τό μεγγώμ μέ σύμβολο ΜΩ

$$1 \text{ M}\Omega = 1.000.000 \text{ } \Omega = 10^6 \text{ } \Omega$$

Τό σύμβολο πού χρησιμοποιήσαμε στο σχήμα 2.7 γιά νά παραστήσουμε τήν άντίσταση τοῦ ένος ὥμ, είναι και τό γραφικό σύμβολο πού χρησιμοποιοῦμε στά σχέδια γιά νά παραστήσουμε κάθε άγωγό ή καταναλωτή πού έχει κάποια δρισμένη ήλεκτρική άντίσταση. Ή άντίσταση αυτή σέ Ω άναγράφεται η μέσα στό όρθιογώνιο ή δίπλα άπό αύτό.

2.8 Η ήλεκτρική άγωγιμότητα.

Όνομάζομε **ήλεκτρική άγωγιμότητα** τό άντιστροφο της ήλεκτρικής άντιστάσεως και τήν παριστάνομε μέ τό σύμβολο G.

$$G = \frac{1}{R} \quad \text{σέ} \quad \frac{1}{\Omega}$$

Η μονάδα $\frac{1}{\Omega}$ όνομάζεται ζῆμενς και παριστάνεται μέ τό σύμβολο S.

Μποροῦμε νά πούμε ότι ήλεκτρική άγωγιμότητα είναι ή ίδιότητα τῶν άγωγῶν νά διευκολύνουν λιγότερο ἡ περισσότερο τό πέρασμα μέσα απ' αύτούς τοῦ ήλεκτρικοῦ ρεύματος. Από αύτό συμπεραίνομε ότι ένας άγωγός μέ μικρή άντισταση έχει μεγάλη άγωγιμότητα, ένω ένας άγωγός μέ μεγάλη άντισταση έχει μικρή άγωγιμότητα.

Παράδειγμα.

Ποιά είναι ή άντισταση ένός άγωγοῦ πού έχει άγωγιμότητα: a) 10 S και β) 0,2 S;

Λύση:

Από τίς σχέσεις:

$$G = \frac{1}{R} \quad \text{καί} \quad S = \frac{1}{\Omega}$$

προκύπτει ότι:

$$R = \frac{1}{G} \quad \text{καί} \quad \frac{1}{S} = \Omega$$

Άρα έχομε:

$$\text{a)} \quad R = \frac{1}{G} = \frac{1}{10} = 0,1 \Omega$$

$$\text{β)} \quad R = \frac{1}{G} = \frac{1}{0,2} = 5 \Omega$$

2.9 Η ήλεκτρική άντισταση τῶν συρμάτων.

2.9.1 Ειδική άντισταση.

Όπως είναι γνωστό **σύρματα** όνομάζομε τά μεταλλικά σώματα πού

έχουν πολύ μεγάλο μῆκος σχετικά μέ τίς διαστάσεις τῆς διατομῆς τους, πού εἶναι σταθερή σέ δόλο τό μῆκος τους.

Ἡ ἡλεκτρικὴ ἀντίσταση ἐνός σύρματος ἔξαρτᾶται:

α) Ἀπό τίς φυσικές ίδιότητες τοῦ ύλικοῦ ἀπό τό δοποῖο εἶναι κατασκευασμένο καί

β) ἀπό τίς διαστάσεις του, δηλαδή τό μῆκος του καί τό ἐμβαδόν τῆς διατομῆς του.

Γιά νά λάβομε ύπ' ὅψη τίς φυσικές ίδιότητες τοῦ ύλικοῦ, πού χαρακτηρίζουν τήν ἀντίστασή του κατά τή διέλευση τοῦ ἡλεκτρικοῦ ρεύματος χρησιμοποιοῦμε τήν εἰδική ἀντίσταση. Ὁνομάζομε **εἰδική ἀντίσταση** ἐνός ύλικοῦ τήν ἀντίσταση πού παρουσιάζει σύρμα μήκους ἐνός μέτρου (1 m) καί διατομῆς ἐνός τετραγωνικοῦ χιλιοστόμετρου (1 mm^2), κατασκευασμένο ἀπό τό ύλικό αύτό.

Ἡ εἰδική ἀντίσταση συμβολίζεται μέ τό γράμμα ρ καί μετριέται σέ ὥμ έπι τετραγωνικό χιλιοστόμετρο ἀνά μέτρο ($\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$). Ἡ εἰδική ἀντίσταση πού ἔχουν τά διάφορα μέταλλα καί κράματα τά δοποῖα χρησιμο-

ΠΙΝΑΚΑΣ 2.9.1.

Εἰδική ἀντίσταση, εἰδική ἀγωγιμότητα, εἰδικό βάρος καὶ συντελεστής θερμοκρασίας στούς 20°C.

Μέταλλο ἢ κράμα	Χημική σύνθεση	Εἰδική ἀντίσταση $\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$ ρ	Εἰδική ἀγωγιμότητα $\text{m}/\Omega \cdot \text{mm}^2$ k	Εἰδικό βάρος kp/dm^3 γ	Συντελεστής θερμοκρασίας α
Ἄλουμινο	Al	0.029	34,48	2,7	0,00446
Ἀνθρακας	C	40 – 100	0,025 – 0,01	1–2,7	0,0003–0,0008
Ἄργυρος	Ag	0,0163	61,4	10,5	0,0038
Βολφράμιο	W	0,055	18,18	19,3	0,0045
Κασσίτερος	Sn	0,12	8,4	7,3	0,0044
Λευκόχρυσος	Pt	0,095	10,5	21,4	0,0030
Μόλυβδος	Pb	0,204	5	11,3	0,004
Νικέλιο	Ni	0,10	10	8,9	0,0050
Σίδηρος	Fe	0,10–0,15	10–6,66	7,85	0,0050
Ύδραργυρος	Hg	0,958	1,04	13,6	0,0009
Χαλκός	Cu	0,0175	57	8,9	0,00392
Χρυσός	Au	0,023	43,48	19,3	0,0034
Ψευδάργυρος	Zn	0,061	16,4	7,1	0,00347
Καντάλ D	Fe + Gr + Al + Co	1,35	0,74	7,25	-0,00003
Κονσταντάν	Cu + Ni + Mn	0,50	2	8,8	-0,00001
Κρουπίνη	Fe + Ni	0,85	1,18		0,0007
Μαγγανίνη	Cu + Mn + Ni	0,43	2,33	8,4	+ 0,000015
Νικελίνη	Cu + Ni + Zn	0,40	2,5	8,7	0,00028
Χρωμονικελίνη	Cr + Ni	1	1	8,4	0,0007
Ὄρειχαλκος	Cu + Zn	0,08	12,5	8,4	0,0015

ποιούμε στήν Ἡλεκτροτεχνία γιά τήν κατασκευή συρμάτων φαίνεται στόν Πίνακα 2.9.1. "Οπως θά δοῦμε στά ἐπόμενα, ἡ εἰδική ἀντίσταση μεταβάλλεται μέ τή θερμοκρασία. Ὁ πίνακας δίνει τήν εἰδική ἀντίσταση σέ θερμοκρασία 20°C. Ἐπίσης σημειώνομε ὅτι ἡ εἰδική ἀντίσταση ἐνός μετάλλου ἔχαρταται καί ἀπό τό βαθμό τῆς καθαρότητάς του. Κάθε πρόσμιξη ξένων ούσιων αὐξάνει τήν εἰδική ἀντίσταση. Οἱ τιμές τοῦ πίνακα εἶναι γιά μέταλλα τοῦ ἐμπορίου καί ὅχι γιά χημικῶς καθαρά.

2.9.2 Ὑπολογισμός τῆς ἀντίστασεως σύρματος.

Γιά νά ὑπολογίσομε τήν ἀντίσταση R ἐνός σύρματος μέ βάση τίς γεωμετρικές του διαστάσεις, χρησιμοποιούμε τόν ἀκόλουθο τύπο:

$$R = \rho \frac{l}{S} \quad \text{σέ } \Omega$$

ὅπου: ρ εἶναι ἡ εἰδική ἀντίσταση τοῦ ύλικοῦ σέ $\frac{\Omega \cdot \text{mm}^2}{\text{m}}$,

l εἶναι τό μῆκος τοῦ σύρματος σέ m καί

S τό ἐμβαδόν τῆς διατομῆς τοῦ σύρματος σέ mm^2 .

"Οπως παρατηροῦμε ἀπό τόν παραπάνω τύπο ἡ ἀντίσταση τοῦ σύρματος εἶναι ἀνάλογη μέ τό μῆκος του. Σύρμα μέ διπλάσιο μῆκος ἀπό ἕνα ἄλλο, ἔχει διπλάσια ἀντίσταση, ὅταν εἶναι ἀπό τό ἴδιο ύλικό καί ἔχουν τήν ἴδια διατομή. Ἐπίσης ἀπό τόν παραπάνω τύπο παρατηροῦμε ὅτι ἡ ἀντίσταση τοῦ σύρματος εἶναι ἀντιστρόφως ἀνάλογη μέ τό ἐμβαδόν τῆς διατομῆς του. "Οταν διπλασιάσομε τή διατομή, ἡ ἀντίσταση δρισμένου μήκους σύρματος γίνεται ἡ μισή ὅταν τό ύλικό εἶναι τό ἴδιο.

'Από τόν παραπάνω τύπο προκύπτουν οἱ ἀκόλουθοι δύο, μέ τή βοήθεια τῶν ὅποιων μποροῦμε νά ὑπολογίσομε τό μῆκος l τοῦ σύρματος ἡ τή διατομή του S ὅταν γνωρίζομε τά ὑπόλοιπα στοιχεῖα του:

$$l = \frac{R \cdot S}{\rho} \quad \text{σέ } \text{m}$$

$$S = \frac{\rho \cdot l}{R} \quad \text{σέ } \text{mm}^2$$

Παράδειγμα 1.

"Ἐνα σύρμα ἀπό χαλκό ἔχει μῆκος 1000 m καί διατομή 10 mm^2 . Πόση ἀντίσταση παρουσιάζει;

Λύση:

'Από τόν Πίνακα 2.9.1 βρίσκομε ὅτι ὁ χαλκός ἔχει $\rho = 0,0175 \frac{\Omega \cdot \text{mm}^2}{\text{m}}$

"Αρα είναι:

$$R = \rho \cdot \frac{l}{S} = 0,0175 \times \frac{1000}{10} = 1,75 \Omega$$

Παράδειγμα 2.

"Ένας άγωγός από άλουμινιο μέ έμβαδόν διατομής $2,5 \text{ mm}^2$ έχει άντισταση $1,5 \Omega$. Ποιό είναι τό μήκος τοῦ άγωγοῦ σέ μέτρα;

Λύση:

'Από τόν Πίνακα 2.9.1 έχομε $\rho = 0,029 \frac{\Omega \cdot \text{mm}^2}{\text{m}}$ γιά τό άλουμινιο.

"Αρα είναι:

$$l = \frac{R \cdot S}{\rho} = \frac{2,5 \times 1,5}{0,029} = 129,3 \text{ m}$$

Παράδειγμα 3.

"Ένας χάλκινος άγωγός έχει μήκος 1000 m και άντισταση $1,093 \Omega$. Πόσο είναι τό έμβαδόν τῆς διατομῆς του;

Λύση:

$$\text{Είναι: } S = \frac{\rho \cdot l}{R} = \frac{0,0175 \times 1000}{1,093} = 16 \text{ mm}^2$$

2.9.3 Είδική άγωγιμότητα.

'Ονομάζομε **είδική άγωγιμότητα** ένός ύλικοῦ τό άντιστροφο τῆς είδικής άντιστάσεως τοῦ ύλικοῦ αύτοῦ. 'Η είδική άγωγιμότητα συμβολίζεται μέ τό γράμμα k καὶ μετριέται σέ μέτρα άνά ώμ $\text{έπι τετραγωνικό χιλιοστόμετρο (m}/\Omega \cdot \text{mm}^2)$:

$$k = \frac{1}{\rho} \quad \text{σέ} \quad \frac{\text{m}}{\Omega \cdot \text{mm}^2}$$

'Ο Πίνακας 2.9.1 δίνει τήν είδική άγωγιμότητα τῶν μετάλλων καὶ κραμμάτων στή θερμοκρασία τῶν 20°C .

Μέ τή χρησιμοποίηση τῆς είδικής άγωγιμότητας οι τύποι τῆς προηγουμένης παραγράφου γίνονται:

$$R = \frac{l}{k \cdot S}, \quad l = k \cdot R \cdot S, \quad S = \frac{l}{k \cdot R}$$

όπου πάλι είναι:

R ή άντισταση τοῦ σύρματος σέ Ω,
/ τό μήκος τοῦ σύρματος σέ m,
S τό έμβαδόν τῆς διατομῆς του σέ mm² καί
k ή ειδική άγωγιμότητα σέ m/Ω.mm².

2.9.4 Μεταβολή τῆς άντιστάσεως μέ τή θερμοκρασία.

Όπως άναφέραμε, ή ειδική άντισταση τῶν άγωγῶν άλλάζει όταν άλλάζει ή θερμοκρασία. Αύτό σημαίνει ότι μέ τή θερμοκρασία άλλάζει καί ή άντισταση τοῦ άγωγού. Π.χ. ή άντισταση τοῦ μεταλλικοῦ νηματίδιου ένός λαμπτήρα φωτισμοῦ είναι περίπου 10 φορές πιό μεγάλη όταν λειτουργεῖ δι λαμπτήρας καί είναι πυρακτωμένο άπό δι, τι είναι σέ ψυχρή κατάσταση. Γενικά ή άντισταση τῶν άπλων μετάλλων αύξανεται όταν αύξανεται ή θερμοκρασία, ένω ή άντισταση τῶν κραμάτων καί τῶν ήμιαγωγῶν συνήθως έλαττωνεται όταν αύξανεται ή θερμοκρασία.

Άν γνωρίζομε τήν άντισταση R_θ, ένός άγωγοῦ σέ θερμοκρασία θ₁, μπορούμε νά ύπολογίσομε τήν άντισταση τοῦ R_{θ₂}, σέ μιά άλλη θερμοκρασία θ₂ (μεγαλύτερη ή μικρότερη άπό τή θ₁) άπό τή σχέση:

$$R_{\theta_2} = R_{\theta_1} [1 + \alpha (\theta_2 - \theta_1)] \quad \text{σέ } \Omega$$

όπου τά θ₂ καί θ₁, είναι σέ °C καί τό α, πού όνομάζεται **θερμικός συντελεστής**, έχει διαφορετική τιμή γιά κάθε ύλικο. Ή τιμή αύτή δίνεται άπό τόν Πίνακα 2.9.1 (σέ 1/°C).

Παράδειγμα 1.

Ένας άγωγός άπό χαλκό έχει άντισταση 5 Ω σέ θερμοκρασία 20°C. Ο άγωγός διαρρέεται άπό ήλεκτρικό ρεύμα καί θερμαίνεται στούς 60°C. Πόση είναι τώρα ή άντιστασή του;

Λύση:

Άπο τόν Πίνακα 2.9.1 βλέπομε ότι δι χαλκός έχει α = 0,00392.

Άρα είναι:

$$R_{\theta_2} = R_{\theta_1} [1 + \alpha (\theta_2 - \theta_1)] \quad \text{ή}$$

$$R_{60} = 5 [1 + 0,00392 (60 - 20)] = 5,78 \Omega$$

Παράδειγμα 2.

Ένας λαμπτήρας πυρακτώσεως έχει όταν δέν λειτουργεῖ, σέ θερμοκρασία 20°C, άντισταση 112 Ω. Όταν λειτουργεῖ ή θερμοκρασία τοῦ νήματός του, πού είναι άπό βολφράμιο, φθάνει τούς 2400°C. Πόση είναι τότε ή άντιστασή του;

Λύση:

Γιά τό βολφράμιο είναι $\alpha = 0,0045$

$$\text{Έχομε } R_{\theta_2} = R_{\theta_1} [1 + \alpha (\theta_2 - \theta_1)] \text{ ή}$$

$$R_{2400} = 112 [1 + 0,0045 (2400 - 20)] = 1312 \Omega$$

2.9.5 Ύπολογισμός τής Θερμοκρασίας άγωγού.

Τόν τύπο πού δώσαμε προηγουμένως μπορούμε νά τόν χρησιμοποιήσουμε καί γιά νά ύπολογίσουμε τή Θερμοκρασία θ_2 στήν όποια φθάνει ένας άγωγός όταν θερμαίνεται. Γι' αύτό θά πρέπει νά έχομε μετρήσει τήν άντισταση R_{θ_1} , πού είχε πρίν άπο τή θέρμανση (σέ Θερμοκρασία θ_1) καί τή νέα άντισταση R_{θ_2} τήν όποια έχει μέ τή θέρμανση.

Ή μέθοδος αύτή χρησιμοποιείται στήν πράξη, γιά νά βρίσκουμε τή Θερμοκρασία στήν όποια φθάνει π.χ. τό τύλιγμα μιᾶς ήλεκτρικῆς μηχανῆς. Μέ μετασχηματισμό ό παραπάνω τύπος δίνει γιά τή Θερμοκρασία θ_2 στήν όποια φθάνει τό τύλιγμα, τή σχέση:

$$\theta_2 = \theta_1 + \frac{R_{\theta_2} - R_{\theta_1}}{\alpha \cdot R_{\theta_1}} \quad \text{σέ } {}^{\circ}\text{C}$$

Παράδειγμα.

Σέ Θερμοκρασία περιβάλλοντος $\theta_1 = 15 {}^{\circ}\text{C}$, τό τύλιγμα τῶν πόλων μιᾶς ήλεκτρικῆς μηχανῆς (πρίν άρχισει νά λειτουργεῖ) έχει άντισταση $R_{15} = 19,86 \Omega$. Κατά τή λειτουργία τής μηχανῆς ή άντισταση τοῦ τυλίγματος μετρήθηκε καί βρέθηκε $R_{\theta_2} = 23,45 \Omega$. Σέ ποιά Θερμοκρασία φθάνει τό τύλιγμα κατά τή λειτουργία;

Λύση:

Έπειδή τό ύλικό τῶν άγωγῶν τοῦ τυλίγματος είναι χαλκός, έχομε $\alpha = 0,00392$. Άρα:

$$\theta_2 = \theta_1 + \frac{R_{\theta_2} - R_{\theta_1}}{\alpha \cdot R_{\theta_1}}$$

$$\theta_2 = 15 + \frac{23,45 - 19,86}{0,00392 \times 19,86} = 60,11 {}^{\circ}\text{C}$$

2.10 Έρωτήσεις.

1. Τί είναι τό δηλεκτρικό ρεύμα που διαρρέει ένα μεταλλικό άγωγό;
 2. Πώς διευθύνεται τό δηλεκτρικό ρεύμα στήν πραγματικότητα και πώς συμβατικά;
 3. Πώς διευθύνεται τό ρεύμα δηλεκτρονίων στόν έξωτερικό άγωγό, που συνδέει τούς πόλους δηλεκτροχημικού στοιχείου, και πώς στό έσωτερικό του; Πώς διευθύνεται αντίστοιχα τό συμβατικό ρεύμα;
 4. Νά άναφέρεις τά μέρη άπό τά άποτελείται τό κλειστό κύκλωμα ένός ύγρου δηλεκτρικού στοιχείου.
 5. Γιά νά παραχθεί τό δηλεκτρικό ρεύμα τί καταναλώνεται στό δηλεκτροχημικό στοιχείο;
 6. Νά σχεδιάσεις ένα κύκλωμα γιά τήν τροφοδότηση ένός καταναλωτή άπό μιά δηλεκτρική πηγή και νά σημειώσεις τή φορά τού δηλεκτρικού ρεύματος στά διάφορα σημεία τού κυκλώματος.
 7. Τί όνομάζομε ένταση δηλεκτρικού ρεύματος;
 8. Ποιός τύπος μᾶς δίνει τήν ένταση, δταν γνωρίζομε τό φορτίο Q, που πέρασε άπό μιά διατομή τού άγωγού σ' ένα χρόνο t;
 9. Μέ ποιό δργανο μετροῦμε τήν ένταση τού δηλεκτρικού ρεύματος που περνά μέσα άπό ένα κύκλωμα; Σέ ποιό σημείο ένός δπλού κυκλώματος συνδέομε τό δργανο αύτό;
 10. Πού δφείλεται ή άντίσταση που παρουσιάζουν οι άγωγοι στό πέρασμα τού δηλεκτρικού ρεύματος μέσα άπό αύτούς;
 11. Γιατί θερμαίνεται ένας άγωγός δταν περνά μέσα άπό αύτόν δηλεκτρικό ρεύμα;
 12. Ποιό είναι τό σύμβολο τού μεγέθους τής άντιστάσεως, ποιά είναι ή μονάδα μετρήσεως της και ποιό είναι τό σύμβολό της;
 13. Πότε ένας άγωγός έχει άντισταση 1 Ω;
 14. Τί είναι άγωγιμότητα και ποιά σχέση τή συνδέει μέ τήν άντισταση;
 15. Τί όνομάζομε ειδική άντισταση ένός μετάλλου;
 16. Ποιός τύπος δίνει τήν άντισταση ένός συρμάτινου άγωγού;
 17. Ποιά σχέση συνδέει τήν ειδική άντισταση μέ τήν ειδική άγωγιμότητα;
 18. Στούς μεταλλικούς άγωγούς τί παθαίνει ή άντισταση δταν αύξηθει ή θερμοκρασία;
 19. Μέ τή βοήθεια ποιού τύπου μποροῦμε νά βροῦμε τήν άντισταση ένός άγωγού σε μιά θερμοκρασία, δταν γνωρίζομε τήν άντιστασή του σέ μιά δλλη;

2.11 Προβλήματα.

1. Μέσα σε $2\frac{1}{2}$ ώρες πόσα κουλόμπι μεταφέρονται από ρεύμα έντασης 2,8 A;

'Απάντ. 25.200 C

- 2.** Ποιά ἔνταση ρεύματος μεταφέρει ποσότητα ήλεκτρισμοῦ 181.000 C σε χρόνο 30 λεπτῶν και 10 δευτερολέπτων;

'Απάντ. 100 Α

3. "Όταν ή αντίσταση ένός άγωγού είναι $25\ \Omega$, ποιά είναι η άγωγιμότητά του;

'Απάντ. 0,04 S

4. Ποιά άντισταση παρουσιάζει άγωγός από χαλκό που έχει διάμετρο 0,5 mm και μήκος 800 m;

Απάντ. 71,32 Ω

Έποδειξη: Ή διατομή τοῦ άγωγοῦ θά ύπολογισθεῖ ἀπό τή σχέση:

$$S = \frac{\pi d^2}{4} \quad \text{σέ } mm^2$$

ὅπου d ή διάμετρος τοῦ άγωγοῦ σέ mm.

5. "Όταν διπλασιάσομε τό μήκος καί τή διάμετρο ἐνός άγωγοῦ πῶς μεταβάλλεται ή ἀντίστασή του, ὅταν δέν άλλάζει τό ύλικό;

Απάντ. Ή ἀντίσταση γίνεται τό μισό ἀπό τήν ἀρχική

6. Ποιό εἶναι τό μήκος άγωγοῦ ἀπό χρωμονικελίνη ($\rho = 1,1 \Omega.mm^2/m$) πού παρουσιάζει ἀντίσταση 110 Ω καί ἔχει διατομή 0,50 mm^2 ;

Απάντ. 50 m

7. Ποιά εἶναι ή ἀντίσταση σέ θερμοκρασία 60°C ἐνός άγωγοῦ ἀπό χαλκό μήκους 1000 m καί διατομῆς 1,13 mm^2 ;

Απάντ. 17,91 Ω

8. Νά βρεθεῖ ή θερμοκρασία στήν δοπία ἔνας χάλκινος άγωγός παρουσιάζει ἀντίσταση 2,2 Ω ὅταν ξέρομε ὅτι ὁ άγωγός αὐτός στή θερμοκρασία τῶν 20°C παρουσιάζει ἀντίσταση 2 Ω .

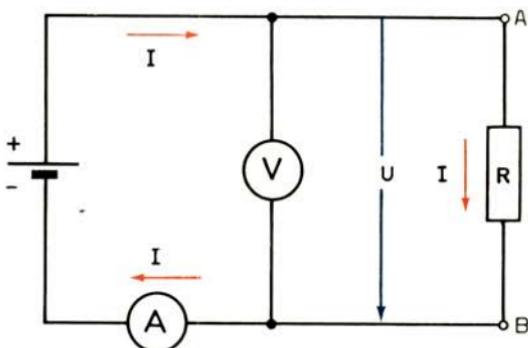
Απάντ. 45,5°C

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΡΙΤΟ

ΤΟ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟ ΚΥΚΛΩΜΑ ΚΑΙ ΟΙ ΝΟΜΟΙ ΤΟΥ ΡΕΥΜΑΤΟΣ

3.1 Όνομας του Ωμ.

"Αν στά ακρα ένός καταναλωτή μέ άντισταση R (σχ. 3.1), έφαρμόσομε μιά διαφορά δυναμικού, δηλαδή μιά τάση U , θά περάσει, όπως έξηγήσαμε και στά προηγούμενα, μέσα από αύτόν ήλεκτρικό ρεῦμα έντασεως I .



Σχ. 3.1.

Τάση, ένταση και άντισταση καταναλωτή.

Τά τρία αύτά μεγέθη U , I και R τά συνδέει μιά άπλή σχέση, πού είναι ομως από τίς σπουδαιότερες σχέσεις τής Ήλεκτροτεχνίας. Η σχέση αύτη ονομάζεται **νόμος του Ωμ**, από τό ονομα αύτού πού τή διατύπωσε πρώτος.

Νόμος του Ωμ:

"Η ένταση του ρεύματος, πού περνά μέσα από έναν καταναλωτή, βρίσκεται, ἀν διαιρέσομε τήν τάση, πού έφαρμόζεται στά ακρα του, μέ τήν ήλεκτρική άντισταση του καταναλωτή.

Μέ τή μορφή τύπου ή σχέση αύτή γράφεται:

$$\text{ένταση} = \frac{\text{τάση}}{\text{άντισταση}}$$

καὶ μέ τά σύμβολα τῶν μεγεθῶν:

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

ὅπου: U εἶναι ἡ τάση πού ἐφαρμόζεται στὸν καταναλωτή σὲ V ,

R ἡ ἀντίσταση τοῦ καταναλωτῆ σὲ Ω καὶ

I ἡ ἔνταση τοῦ ρεύματος μέσα ἀπό αὐτὸν σὲ A .

Ἄπο τὴν παραπάνω σχέση προκύπτει ὅτι ἡ ἔνταση τοῦ ρεύματος, πού περνᾶ ἀπό ἔναν καταναλωτή δρισμένης ἀντιστάσεως εἶναι ἀνάλογη μέ τὴν τάση πού ἐφαρμόζεται σ' αὐτόν.

Ο νόμος τοῦ "Ωμ συνδέει μεταξύ τους τρία ἡλεκτρικά μεγέθη (τάση ἀντίσταση, ἔνταση), πού ἀναφέρονται δημοσίᾳ ὅλᾳ στὸν ἴδιο καταναλωτή. Μποροῦμε λοιπόν ὅταν ξέρομε δύο ἀπό αὐτά τὰ μεγέθη νά ύπολογίσουμε τό τρίτο.

Ἄπο τή σχέση πού γράψαμε παραπάνω, ύπολογίζομε τὴν ἔνταση ὅταν ξέρομε τὴν τάση καὶ τὴν ἀντίσταση. Πολλές φορές δημοσίᾳ ξέρομε τὴν ἔνταση καὶ τὴν ἀντίσταση καὶ θέλομε νά ύπολογίσουμε τὴν τάση πού ἐπικρατεῖ στά ἄκρα τοῦ καταναλωτῆ. Μποροῦμε γιά τό σκοπό αὐτό νά μετασχηματίσουμε τὴν παραπάνω σχέση ώς ἔξης:

$$\text{τάση} = \text{ἀντίσταση} \times \text{ἔνταση}$$

ἢ μέ τά σύμβολα τῶν μεγεθῶν:

$$U = R.I$$

Ἡ σχέση αὐτή, πού εἶναι ἡ δεύτερη μορφή τοῦ νόμου τοῦ "Ωμ, λέει:

Ἡ τάση (σέ V) πού ἐπικρατεῖ στά ἄκρα ἐνός καταναλωτῆ εἶναι ἵση μέ τό γινόμενο τῆς ἀντιστάσεως τοῦ καταναλωτῆ (σέ Ω) ἐπί τὴν ἔνταση τοῦ ρεύματος (σέ A), πού περνᾶ μέσα ἀπ' αὐτόν.

Σημειώνομε ἔδω ὅτι, ὅπως ἡ συμβατική φορά τοῦ ρεύματος μέσα στὸν καταναλωτή εἶναι ἀπό τό θετικό πόλο πρός τὸν ἀρνητικό, ἔτσι καὶ ἡ φορά τῆς ἀντίστοιχης (θετικῆς) τάσεως εἶναι ἀπό τό θετικό πόλο πρός τὸν ἀρνητικό, ὅπως ἔχει σημειωθεῖ μέ τό μπλέ βέλος στό σχῆμα 3.1. Ἡ τάση αὐτή U πολλές φορές σημειώνεται καὶ ώς τάση U_{AB} γιά νά ἐπισημανθεῖ ὅτι ἔχει τή διεύθυνση ἀπό τό ἄκρο A τοῦ καταναλωτῆ πρός τό ἄκρο B .

Πολλές φορές τέλος γνωρίζομε τὴν τάση καὶ τὴν ἔνταση καὶ θέλομε νά ύπολογίσουμε τὴν ἀντίσταση τοῦ καταναλωτῆ. Μέ μετασχηματισμό πάλι τῆς ἀρχικῆς σχέσεως ἔχομε:

$$\text{ἀντίσταση} = \frac{\text{τάση}}{\text{ἔνταση}}$$

ή μέ τά σύμβολα τῶν μεγεθῶν:

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

‘Η σχέση αύτή είναι ή τρίτη μορφή τοῦ νόμου τοῦ “Ωμ καί λέει:
‘Η ἀντίσταση ἐνός καταναλωτῆ (σέ Ω) βρίσκεται, ὅταν διαιρέσομε τὴν
τάση (σέ V), πού ἐπικρατεῖ στά ἄκρα του μέ τὴν ἔνταση τοῦ ρεύματος
(σέ A), πού περνᾶ μέσα ἀπ’ αὐτόν.

Παράδειγμα 1.

Τό νῆμα ἐνός ἡλεκτρικοῦ λαμπτήρα πυρακτώσεως, ὅταν λειτουργεῖ
σέ τάση 220 V ἔχει ἀντίσταση 1220 Ω. Ποιά είναι ή ἔνταση τοῦ ρεύ-
ματος πού περνᾶ μέσα ἀπό τό νῆμα τοῦ λαμπτήρα;

Λύση:

$$I = \frac{U}{R} = \frac{220}{1220} = 0,18 \text{ A}$$

Παράδειγμα 2.

Μιά ἡλεκτρική θερμάστρα ἔχει ἀντίσταση 44 Ω. Μέσα ἀπό τή θερ-
μάστρα αύτή ὅταν λειτουργεῖ, περνᾶ ἔνταση ρεύματος 5 A. Μέ ποιά τά-
ση δικτύου τροφοδοτεῖται ή θερμάστρα;

Λύση:

$$U = R \cdot I = 44 \times 5 = 220 \text{ V}$$

Παράδειγμα 3.

“Ενα ἡλεκτρικό κολλητήρι ἀπορροφᾷ ρεῦμα ἔντάσεως 0,55 A, ὅταν
συνδέεται σέ πρίζα 220 V. Ποιά ειναι ή ἀντίστασή του;

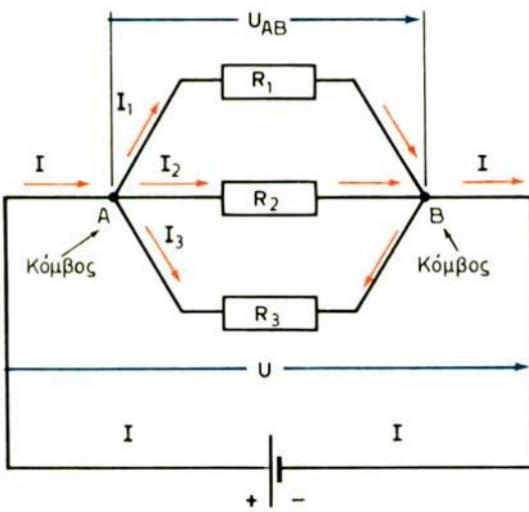
Λύση:

$$R = \frac{U}{I} = \frac{220}{0,55} = 400 \Omega$$

3.2 Διακλαδώσεις τοῦ ἡλεκτρικοῦ ρεύματος.

Πολλές φορές τό ἡλεκτρικό ρεῦμα ὀδηγεῖται μ’ ἔναν ἀγωγό σέ ἔνα
σημεῖο τοῦ κυκλώματος, πού ὀνομάζεται **κόμβος** καὶ ἐκεῖ διακλαδίζεται
σέ περισσότερους ἀγωγούς, ὅποτε μέσα ἀπό τόν καθένα περνᾶ ἔνα
ρεῦμα πού ἔχει ἔνταση μικρότερη ἀπό τήν ἔνταση πού εἶχε τό ἀρχικό.

Στό κύκλωμα τοῦ σχήματος 3.2a στόν κόμβο A τό ὀλικό ρεῦμα μέ
ἔνταση I, πού ἔρχεται ἀπό τήν πηγή, διακλαδίζεται σέ τρία μερικά ρεύ-



Σχ. 3.2α.
Διακλαδώσεις ρεύματος.

ματα μέ έντάσεις I_1 , I_2 , I_3 . Τό καθένα από τά μερικά ρεύματα τροφοδοτεῖ και έναν από τους καταναλωτές R_1 , R_2 , R_3 . Στόν άλλο κόμβο B , τά τρία μερικά ρεύματα ένώνονται πάλι γιά νά άποτελέσουν τό δίλικό ρεύμα τῆς πηγῆς μέ ένταση I .

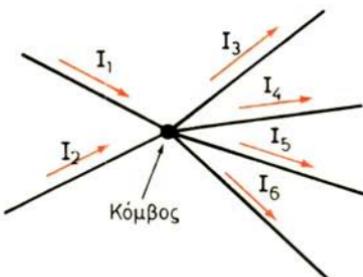
Στήν πράξη πολλές φορές έχομε σύνθετα κυκλώματα στά δποια ύπαρχουν σημεία όπου τρεῖς ή περισσότεροι άγωγοί συνδέονται άγωγιμα μεταξύ τους. Σέ κάθε τέτοιο σημείο, πού δπως είπαμε όνομάζεται κόμβος μέ δρισμένους άγωγούς, έρχονται ήλεκτρικά ρεύματα, ένω μέ άλλους άγωγούς τοῦ ίδιου κόμβου άναχωροῦν.

Είναι φανερό πώς ό άριθμός τῶν ήλεκτρονίων, τά δποια μέσα σέ δποιοδήποτε χρονικό διάστημα φθάνουν σ' ένα κόμβο, είναι ίσος μέ τό άθροισμα τῶν ήλεκτρονίων, πού μέσα στό ίδιο χρονικό διάστημα φεύγουν άπ' αύτόν. Μέ άλλα λόγια γιά τό παράδειγμα τοῦ σχήματος 3.2α, ή ένταση I είναι ίση μέ τό άθροισμα τῶν έντάσεων I_1 , I_2 καὶ I_3 . Δηλαδή είναι:

$$I = I_1 + I_2 + I_3$$

Τό παραπάνω παρατήρηση γενικεύεται γιά κάθε κόμβο, δσαδήποτε καὶ ἄν είναι τά ρεύματα πού φθάνουν καὶ άναχωροῦν άπ' αύτόν (σχ. 3.2β) ώς έξῆς:

Τό άθροισμα τῶν έντάσεων τῶν ρευμάτων, πού διευθύνονται πρός έναν κόμβο, είναι ίσο μέ τό άθροισμα τῶν έντάσεων τῶν ρευμάτων, πού φεύγουν άπ' αύτόν.



Σχ. 3.2β.

Η πρόταση αύτή ονομάζεται **κανόνας τῶν κόμβων ή πρῶτος κανόνας τοῦ Κίρχχωφ** (Kirchhoff).

"Όπως θά δοῦμε ύπαρχει καί δεύτερος κανόνας τοῦ Κίρχχωφ μέ τόν οποῖο ομως δέν θά άσχοληθούμε στό βιβλίο αύτό άναλυτικά.

Ο κανόνας τῶν κόμβων έφαρμοζόμενος στήν περίπτωση τοῦ σχήματος 3.2β δίνει:

$$I_1 + I_2 = I_3 + I_4 + I_5 + I_6$$

Π.χ. ἂν εἴναι $I_3 = 2 \text{ A}$, $I_4 = 5 \text{ A}$, $I_5 = 1 \text{ A}$ καί $I_6 = 2 \text{ A}$, ἔχομε γιά τό άθροισμα $I_1 + I_2$:

$$I_1 + I_2 = 2 + 5 + 1 + 2 = 10 \text{ A}$$

Ο κανόνας τῶν κόμβων είναι χρήσιμος στίς ήλεκτροτεχνικές έφαρμογές, γιατί έπιτρέπει μέ απλές πράξεις τόν ύπολογισμό τῶν έντάσεων, πού περνοῦν μέσα ἀπό τούς άγωγούς. Θά άναφέρομε δύο παραδείγματα ἀπό τήν έφαρμογή τοῦ κανόνα στόν ύπολογισμό τῶν έντάσεων στούς άγωγούς τῶν έσωτερικῶν ήλεκτρικῶν έγκαταστάσεων.

Παράδειγμα 1.

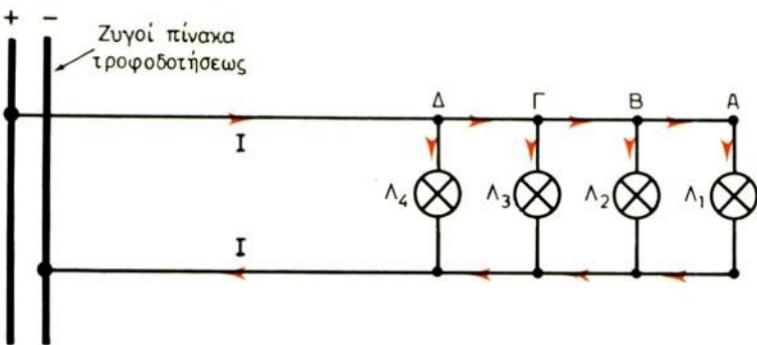
Μιά γραμμή έσωτερικῆς έγκαταστάσεως τροφοδοτεῖ 4 λαμπτήρες φωτισμοῦ ὅπως φαίνεται στό σχῆμα 3.2γ. Κάθε λάμπα χρειάζεται γιά τή λειτουργία της ρεύμα έντάσεως $0,5 \text{ A}$. Πόση εἴναι ή ένταση ρεύματος I , πού περνᾶ ἀπό τη γραμμή πού τίς τροφοδοτεῖ;

Λύση:

Αρχίζομε ἀπό τόν κόμβο B . Ἀπό αὐτόν φεύγουν τά ρεύματα πού τροφοδοτοῦν τίς λάμπες Λ_1 καί Λ_2 . Ἀρα τό ρεύμα στόν άγωγό ΓB , πού διευθύνεται πρός τόν κόμβο B , θά έχει ένταση:

$$0,5 + 0,5 = 1 \text{ A}$$

Ἀπό τόν κόμβο Γ φεύγει τό ρεύμα τοῦ άγωγοῦ ΓB (1 A) καί τό ρεῦ-



Σχ. 3.2γ.

μα τοῦ λαμπτήρα Λ_3 (0,5 A). Ήρα μέσα ἀπό τὸν ἀγωγὸν $\Delta\Gamma$ θά διευθύνεται πρός τὸν κόμβο Γ ἔνα ρεῦμα μένταση:

$$1 + 0,5 = 1,5 \text{ A}$$

Ἡ ἐνταση I τοῦ ρεύματος τῆς γραμμῆς τροφοδοτήσεως μπορεῖ νά ὑπολογισθεῖ τώρα ἀπό τὸ ρεῦμα τοῦ ἀγωγοῦ $\Delta\Gamma$ (1,5 A) καὶ τὸ ρεῦμα τοῦ λαμπτήρα Λ_4 . Συνεπῶς εἶναι:

$$I = 1,5 + 0,5 = 2 \text{ A}$$

"Οπως βλέπομε στὸ σχῆμα 3.2γ τὴν πηγὴν τροφοδοτήσεως τῆς γραμμῆς ἔχουν ἀντικαταστήσει οἱ **ζυγοί τοῦ πίνακα τροφοδοτήσεως** τῆς ἐσωτερικῆς ἐγκαταστάσεως.

Παράδειγμα 2.

Νά ὑπολογισθοῦν οἱ ἐντάσεις ρεύματος στὶς διάφορες γραμμές τῆς ἐσωτερικῆς ἡλεκτρικῆς ἐγκαταστάσεως, πού παριστάνεται στὸ σχῆμα 3.2δ. Κάθε λαμπτήρας ἀπορροφᾷ ἐνταση 0,5 A.

Λύση:

Στήν ἀρχή ὑπολογίζομε μέδσα ἀναφέραμε στὸ προηγούμενο παράδειγμα τίς ἐντάσεις I_3 , I_4 , I_5 , I_6 στὶς γραμμές τροφοδοτήσεως τῶν λαμπτήρων:

$$\begin{aligned} I_3 &= 4 \times 0,5 = 2 \text{ A} \\ I_5 &= 4 \times 0,5 = 2 \text{ A} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I_4 &= 2 \times 0,5 = 1 \text{ A} \\ I_6 &= 3 \times 0,5 = 1,5 \text{ A} \end{aligned}$$

Οι ζυγοί κάθε πίνακα εἶναι συνήθως ράβδοι ἀπό χαλκό ἢ ὀρείχαλκο στούς ὅποιους συνδέονται τόσο ἡ γραμμή πού τροφοδοτεῖ τὸν πίνακα, δσο καὶ οἱ γραμμές πού ἀναχωροῦν ἀπό αὐτὸν. Εἶναι δηλαδή κόμβοι

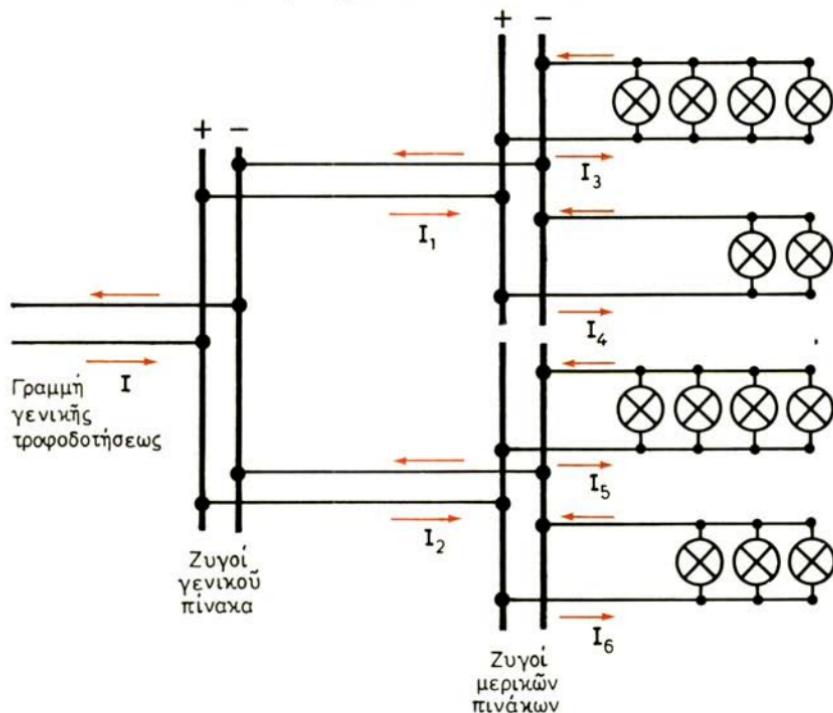
τῆς έγκαταστάσεως ή τοῦ κυκλώματος. Ή έφαρμογή τοῦ κανόνα τῶν κόμβων στούς ζυγούς τῶν μερικῶν πινάκων δίνει:

$$I_1 = I_3 + I_4 = 2 + 1 = 3 \text{ A} \text{ καί}$$

$$I_2 = I_5 + I_6 = 2 + 1,5 = 3,5 \text{ A}$$

"Όμοια ύπολογίζομε τήν ένταση ρεύματος στή γραμμή πού τροφοδοτεῖ τό γενικό πίνακα:

$$I = I_1 + I_2 = 3 + 3,5 = 6,5 \text{ A}$$



Σχ. 3.26.

3.3 Παράλληλη σύνδεση καταναλωτῶν.

"Όταν δύο ή περισσότεροι καταναλωτές είναι συνδεμένοι μεταξύ δύο κοινῶν κόμβων, ὅπως στό σχήμα 3.2α μεταξύ τῶν κόμβων A καὶ B, λέμε ὅτι ἔχομε **παράλληλη σύνδεση τῶν καταναλωτῶν**.

Μέ τήν έφαρμογή τοῦ κανόνα τῶν κόμβων (παράγρ. 3.2) προκύπτει

ὅτι στήν παράλληλη σύνδεση τό αδθροισμα τῶν ἐντάσεων τῶν καταναλωτῶν εἶναι ἵσο μέ τήν ἐνταση τῆς πηγῆς. **Ἡ τάση δμως, πού ἐφαρμόζεται σέ κάθε καταναλωτή, είναι κοινή γιά δλους**, ὅπως μποροῦμε νά δοῦμε στό σχήμα 3.2α καί εἶναι ή τάση U_{AB} πού ἐπικρατεῖ μεταξύ τῶν κόμβων A καί B, δηλαδή στήν περίπτωση αὐτή εἶναι ἵση μέ τήν τάση τῆς πηγῆς U.

Μέ ἄλλα λόγια, στήν παράλληλη σύνδεση δλοι οι καταναλωτές πρέπει νά εἶναι κατασκευασμένοι νά λειτουργοῦν μέ τήν ἴδια τάση, τήν τάση τῆς πηγῆς πού τούς τροφοδοτεῖ.

Παράλληλη σύνδεση εἶναι καί ἡ σύνδεση τῶν καταναλωτῶν τοῦ σχήματος 3.2γ, δηλαδή τῶν λαμπτήρων. Ἐδῶ οι κόμβοι A, B, Γ, Δ μπορεῖ νά θεωρηθοῦν ὅτι ἀποτελοῦν ἔναν κόμβο, ἀφοῦ μεταξύ τους δέν ύπάρχουν ἀντιστάσεις (οἱ ἀντιστάσεις τῶν συνδετικῶν ἀγωγῶν εἶναι πολὺ μικρές καί τίς θεωροῦμε ἀμελητέες) ἢ ἄλλοι καταναλωτές. Τό ἴδιο I-ισχύει καί γιά τούς κόμβους ἀπό τήν ἄλλη πλευρά τῶν λαμπτήρων. "Ἄρα σέ δλους τούς λαμπτήρες ἐπικρατεῖ ἡ ἴδια τάση, δηλαδή ἡ τάση τῆς γραμμῆς τροφοδοτήσεως, πού εἶναι καί ἡ τάση τῶν ζυγῶν τοῦ πίνακα ἥτοι δικτύου τῆς πόλεως.

'Ανάλογα ίσχύουν καί γιά τήν ἑσωτερική ἡλεκτρική ἐγκατάσταση τοῦ σχήματος 3.2δ. Γενικά μποροῦμε νά πούμε ὅτι ἡ παράλληλη σύνδεση τῶν καταναλωτῶν εἶναι ἡ σύνδεση πού ἐφαρμόζεται σέ δλες σχεδόν τίς ἑσωτερικές ἡλεκτρικές ἐγκαταστάσεις.

'Αφοῦ ἡ τάση εἶναι κοινή σέ δλους τούς καταναλωτές πού βρίσκονται σέ παράλληλη σύνδεση, γιά νά βροῦμε τήν ἐνταση, πού περνᾶ μέσα ἀπό τόν καθένα, ἐφαρμόζομε τό νόμο τοῦ "Ωμ.

Γιά τούς καταναλωτές τοῦ σχήματος 3.2α ἔχομε:

$$I_1 = \frac{U_{AB}}{R_1}, \quad I_2 = \frac{U_{AB}}{R_2} \quad \text{καί} \quad I_3 = \frac{U_{AB}}{R_3}$$

Γιά τήν δλική ἐνταση I, ὅπως εἶναι γνωστό, ἔχομε:

$$I = I_1 + I_2 + I_3$$

Πολλές φορές ἀντιμετωπίζομε τό πρόβλημα στούς ύπολογισμούς ἥ καί στήν πράξη, νά πρέπει νά ἀντικαταστήσομε τίς ἀντιστάσεις, πού εἶναι σέ παράλληλη σύνδεση, μέ μιά **ισοδύναμη ἀντίσταση** ἥ ὅποια νά ἀπορροφᾷ τήν ἴδια δλική ἐνταση I ἀπό τούς τροφοδοτικούς ἀγωγούς, δηλαδή ἀπό τήν πηγή στό σχήμα 3.2α.

'Η ισοδύναμη ἀντίσταση R τῶν ἀντιστάσεων R_1, R_2, R_3, \dots πού εἶναι σέ παράλληλη σύνδεση, δίνεται ἀπό τή σχέση:

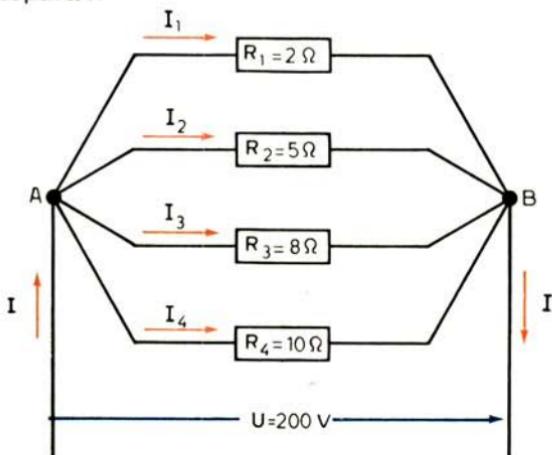
$$R = \frac{1}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \dots}$$

"Όταν έχομε ν' ἵσες άντιστάσεις, τιμῆς R_o ή καθεμιά, σέ παράλληλη σύνδεση, τότε ή ίσοδύναμη άντιστασή τους R δίνεται από τή σχέση:

$$R = \frac{R_o}{v}$$

Παράδειγμα.

Οι τέσσερις άντιστάσεις $R_1 = 2 \Omega$, $R_2 = 5 \Omega$, $R_3 = 8 \Omega$, $R_4 = 10 \Omega$, βρίσκονται σέ παράλληλη σύνδεση. Ή τάση U μεταξύ τῶν κόμβων A καὶ B (σχ. 3.3) είναι 200 V. Νά ύπολογισθοῦν: ή ίσοδύναμη άντιστασή τους R , ή ἔνταση I τοῦ ολικοῦ ρεύματος καὶ οἱ ἔντασεις I_1 , I_2 , I_3 , I_4 τῶν μερικῶν ρευμάτων.



Σχ. 3.3.

Λύση:

$$\begin{aligned} R &= \frac{1}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_4}} = \\ &= \frac{1}{\frac{1}{2} + \frac{1}{5} + \frac{1}{8} + \frac{1}{10}} = 1,081 \Omega \end{aligned}$$

$$I = \frac{U}{R} = \frac{200}{1,081} = 185 \text{ A}$$

$$I_1 = \frac{U}{R_1} = \frac{200}{2} = 100 \text{ A} \quad I_2 = \frac{U}{R_2} = \frac{200}{5} = 40 \text{ A}$$

$$I_3 = \frac{U}{R_3} = \frac{200}{8} = 25 \text{ A} \quad I_4 = \frac{U}{R_4} = \frac{200}{10} = 20 \text{ A}$$

"Ενας έλεγχος πού μπορεῖ νά γίνει είναι νά δοῦμε ἂν τό άθροισμα τῶν ἐντάσεων τῶν μερικῶν ρευμάτων είναι ίσο μέ τήν ἐνταση τοῦ δόλικοῦ ρεύματος πού ύπολογίσαμε. Δηλαδή:

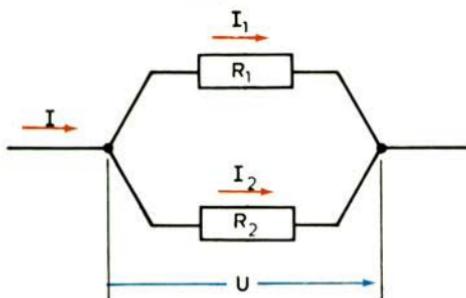
$$I = I_1 + I_2 + I_3 + I_4 = 100 + 40 + 25 + 20 = 185 \text{ A}$$

3.4 Παράλληλη σύνδεση δύο άντιστάσεων.

3.4.1 Παράλληλη σύνδεση δύο καταναλωτῶν.

"Οταν έχομε δύο καταναλωτές σέ παράλληλη σύνδεση, δημιουργούμενη παράγραφο γιά τήν ίσοδύναμη άντίσταση ἀπλοποιεῖται σημαντικά. Η σχέση πού δίνει τήν ίσοδύναμη άντίσταση δύο καταναλωτῶν R_1 καί R_2 σέ παράλληλη σύνδεση είναι:

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



Σχ. 3.4a.
Παράλληλη σύνδεση δύο καταναλωτῶν.

Στήν περίπτωση αύτή είναι έπισης εύκολο νά ύπολογίσομε τή σχέση πού ύπάρχει μεταξύ τῶν ἐντάσεων τῶν μερικῶν ρευμάτων I_1 καί I_2 .

'Εφαρμόζοντας τό νόμο του "Ωμ έχομε:

$$U = R_1 \cdot I_1 \text{ καί } U = R_2 \cdot I_2$$

"Άρα:

$$R_1 \cdot I_1 = R_2 \cdot I_2$$

$$\text{ή} \quad \frac{I_1}{I_2} = \frac{R_2}{R_1}$$

Η τελευταία σχέση λέει, ότι οι έντασεις των δύο ρευμάτων είναι αντιστρόφως άναλογες μέ τίς άντιστάσεις των δύο καταναλωτών πού είναι σέ παράλληλη σύνδεση. "Ετσι, αν έχομε δύο άνισες άντιστάσεις οι έντασεις πού περνοῦν άπ' αύτές είναι άνισες, και ή μεγαλύτερη ένταση περνά από τή μικρότερη άντισταση.

Παράδειγμα.

Στό σχήμα 3.4α είναι $R_1 = 3 \Omega$ και $R_2 = 15 \Omega$. Η ένταση τού άλικου ρεύματος πού περνά μέσα από τό κύκλωμα είναι $I = 60 \text{ A}$. Πόσες είναι οι έντασεις I_1 και I_2 των μερικών ρευμάτων;

Λύση:

"Έχομε:

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{R_2}{R_1} = \frac{15}{3} = 5$$

"Αρα:

$$I_1 = 5 I_2$$

"Επίσης είναι:

$$I = I_1 + I_2$$

"Αντικαθιστοῦμε στήν τελευταία έξισωση τήν τιμή τῆς I_2 από τήν προηγούμενη, διόπτες έχομε:

$$I = 5 I_2 + I_2 = 6 I_2$$

$$\text{ή} \quad I_2 = \frac{I}{6} = \frac{60}{6} = 10 \text{ A}$$

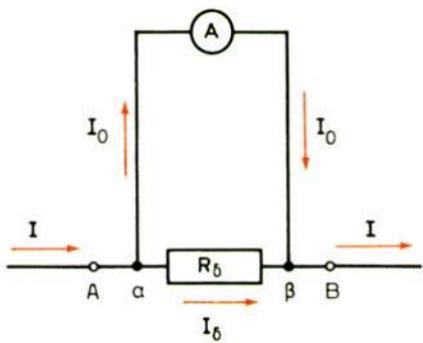
καί

$$I_1 = 5 I_2 = 5 \times 10 = 50 \text{ A}$$

Παρατηροῦμε ότι από τήν άντισταση R_1 πού είναι 5 φορές μικρότερη περνά 5πλάσιο ρεύμα από έκεινο πού περνά από τήν R_2 .

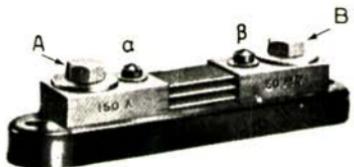
3.4.2 Άντισταση διακλαδώσεως άμπερομέτρου.

Η παραπάνω ίδιότητα των δύο άντιστάσεων σέ παράλληλη σύνδεση χρησιμοποιεῖται δταν θέλομε νά έπεκτείνομε τήν περιοχή μετρήσεων ένός άμπερομέτρου. Δηλαδή δταν θέλομε νά χρησιμοποιήσομε ένα όργανο γιά τή μέτρηση έντάσεων πολύ μεγαλυτέρων από αύτές γιά τίς δποιες είχε άρχικά κατασκευασθεῖ. Γιά τό σκοπό αύτό συνδέομε παράλληλα πρός τό άμπερόμετρο μία άντισταση R_δ (σχ. 3.4β), πού ονομάζεται **άντισταση διακλαδώσεως ή σουάντ** (shunt).

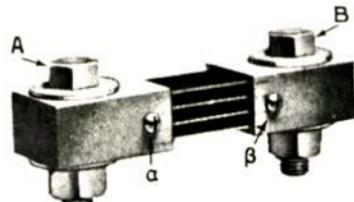


Σχ. 3.4β.

Αντιστάσεις διακλαδώσεως άμπερομέτρου.



Τύπος μέχρι 200 A



Τύπος από 100 - 7000 A

"Εστω ότι θέλομε νά έπεκτείνομε τήν περιοχή μετρήσεων ένός άμπερομέτρου κατά n φορές. Αύτό σημαίνει ότι θά πρέπει $I_0 = I/n$ (σχ. 3.4β), δηλαδή ότι μέσα από τό δργανο θά περνά τό ένα διά n της δλικής έντασεως. Χωρίς νά έπεκταθούμε μέ λεπτομέρεια στίς πράξεις, πού έξ αλλου είναι άπλες, θά δώσομε τή σχέση πού δίνει τήν τιμή της άντιστάσεως διακλαδώσεως R_δ , όταν ή έσωτερική άντισταση τοῦ δργάνου είναι R_0 .

Εἶναι:

$$R_\delta = \frac{R_0}{n-1}$$

Παράδειγμα.

"Ένα άμπερόμετρο έχει έσωτερική άντισταση $R_0 = 10 \Omega$. Η περιοχή ένδειξεών του είναι $0 - 0,15 A$ και θέλομε νά τήν αύξήσουμε, γιά νά μετρά έντασεις μέχρι $60 A$. Ποιά άντισταση διακλαδώσεως πρέπει νά συνδέσομε στό άμπερόμετρο;

Λύση:

Η περιοχή μετρήσεων τοῦ δργάνου πρέπει νά μεγαλώσει κατά:

$$n = \frac{60}{0,15} = 400 \text{ φορές}$$

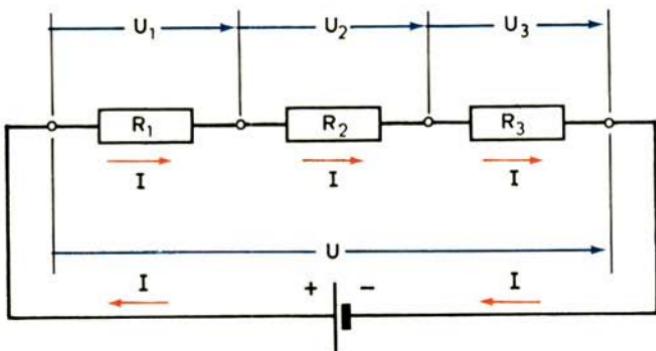
Γιά τήν άντισταση διακλαδώσεως έχομε:

$$R_\delta = \frac{R_0}{n-1} = \frac{10}{400-1} = \frac{10}{399} = 0,025 \Omega$$

3.5 Σύνδεση καταναλωτών σέ σειρά.

"Ένας άλλος τρόπος γιά νά συνδέσομε καταναλωτές μεταξύ τους είναι αύτός πού δείχνει τό σχήμα 3.5. Τό τέλος τοῦ πρώτου καταναλωτῆ συνδέεται μέ τήν άρχή τοῦ δεύτερου, τό τέλος τοῦ δεύτερου μέ τήν άρχη τοῦ τρίτου κ.ο.κ. όταν ύπάρχουν περισσότεροι από τρεῖς καταναλωτές. Μέ τόν ἔνα πόλο τῆς πηγῆς συνδέεται ή άρχη τοῦ πρώτου καταναλωτῆ καί μέ τόν ἄλλο πόλο τό τέλος τοῦ τελευταίου καταναλωτῆ.

'Ο τρόπος αύτός λέγεται **σύνδεση σέ σειρά**, γιατί τά ήλεκτρόνια πού θέτει σέ κίνηση ή ήλεκτρεγερτική δύναμη τῆς πηγῆς διατρέχουν στή σειρά τόν ἔνα καταναλωτή μετά τόν ἄλλο. Είναι φανερό πώς όλα τά ήλεκτρόνια, πού σέ δοποιοδήποτε χρονικό διάστημα βγαίνουν από ἔναν καταναλωτή, καί μόνο αύτά μπαίνουν στόν άμεσως ἐπόμενο. 'Από τή βασική αύτή παρατήρηση βγαίνουν οι ἐπόμενες ιδιότητες τῶν κυκλωμάτων μέ σύνδεση τῶν καταναλωτῶν σέ σειρά.



Σχ. 3.5.

Σύνδεση καταναλωτῶν σέ σειρά.

3.5.1 Πρώτη ιδιότητα.

"Αμεση συνέπεια τῆς παραπάνω παρατηρήσεως ἔναι δτι:

Ή ἔνταση τοῦ ρεύματος είναι ή ίδια σέ όλους τούς καταναλωτές πού συνδέονται σέ σειρά.

"Άρα σέ σειρά πρέπει νά συνδέονται μόνο καταναλωτές πού είναι κατασκευασμένοι νά λειτουργούν μέ τήν ίδια ἔνταση ρεύματος. Π.χ. ἂν συνδεθοῦν σέ σειρά μιά λάμπα κατασκευασμένη γιά 0,35 Α καί μιά ἄλλη κατασκευασμένη γιά 1,36 Α καί ρυθμιστεῖ ή ἔνταση τοῦ ρεύματος ἔτσι, ώστε νά είναι 0,35 Α, τότε ή πρώτη λάμπα θά φωτίζει κανονικά, ἐνῶ ή δεύτερη δέν θά άνάβει. "Αν, πάλι, ή ἔνταση τοῦ ρεύματος τοῦ κυκλώματος ρυθμιστεῖ ἔτσι, ώστε νά είναι 1,36 Α, ή πρώτη λάμπα θά καεῖ.

"Οταν ένα κύκλωμα καταναλωτῶν σέ σειρά είναι κλειστό, τότε λειτουργοῦν δλοι οι καταναλωτές συγχρόνως." Όταν δημιώσεις διακοπεῖ σέ δημιοδήποτε σημείο του, άν π.χ. από βλάβη διακοπεῖ σέ έναν καταναλωτή, τότε διακόπτεται και ή λειτουργία δλων τῶν καταναλωτῶν. Τέτοια περίπτωση είναι ή σύνδεση λαμπτήρων σέ σειρά. "Άν καεί μιά λάμπα σβήνουν δλες μαζί.

Σ' αύτό ή σύνδεση σειρᾶς **μειονεκτεῖ** άπέναντι στήν παράλληλη σύνδεση καταναλωτῶν, όπου βλάβη σέ έναν καταναλωτή διακόπτει τή λειτουργία μόνο αύτοῦ. "Όλοι ξέρομε ότι έταν καεί ένας λαμπτήρας πού λειτουργεῖ σ' ένα σπίτι (όπου οι λαμπτήρες είναι σέ παράλληλη σύνδεση) καμία έπιδραση δέν έχει στούς δλους λαμπτήρες ή τίς δλλες συσκευές τοῦ σπιτιοῦ.

3.5.2 Δεύτερη ιδιότητα.

"Όπως είπαμε, τά ήλεκτρόνια συναντοῦν στήν πορεία τους δλους τούς καταναλωτές. Ή άντισταση πού βρίσκουν προέρχεται άπό τίς άντιστάσεις δλων τῶν άγωγών, άρα:

Η συνολική άντισταση τοῦ συστήματος καταναλωτῶν σέ σύνδεση σειρᾶς είναι ίση μέ τό άθροισμα τῶν άντιστάσεών τους.

Δηλαδή, γιά τό σχῆμα 3.5 είναι:

$$R = R_1 + R_2 + R_3$$

"Άν έχομε σέ σύνδεση σειρᾶς ν ίσες άντιστάσεις, τιμῆς R_0 ή καθεμιά, τότε ή συνολική άντιστασή τους R δίνεται άπό τήν

$$R = v \cdot R_0$$

3.5.3 Τρίτη ιδιότητα.

"Από τίς δύο προηγούμενες ιδιότητες και μέ τή βοήθεια τοῦ νόμου τοῦ "Ωμ είναι εύκολο νά διαπιστώσει κανένας τήν άλήθεια τής τρίτης ιδιότητας, πού λέει:

Σέ ένα κύκλωμα καταναλωτῶν σέ σύνδεση σειρᾶς ή έφαρμοζόμενη τάση στά δκρα τοῦ κυκλώματος είναι ίση μέ τό άθροισμα τῶν τάσεων δλων τῶν καταναλωτῶν.

Δηλαδή γιά τό σχῆμα 3.5 είναι:

$$U = U_1 + U_2 + U_3$$

"Άν έχομε ν ίσες άντιστάσεις σέ σύνδεση σειρᾶς, τότε οι τάσεις U_1 , U_2 , $U_3...$ είναι ίσες μεταξύ τους. "Άν U_0 είναι ή κοινή αύτή τιμή τους, τότε:

$$U = v \cdot U_0$$

Μιά γνωστή έφαρμογή αύτοῦ είναι τά λαμπάκια τῶν Χριστουγεννιάτικων δένδρων, δπου συνδέομε σέ σειρά 11 π.χ. λαμπάκια τῶν 20 V γιά νά τά τροφοδοτήσομε μέ τήν τάση τῶν 220 V πού έχουν τά σπίτια.

Παράδειγμα.

Στό κύκλωμα σέ σειρά τοῦ σχήματος 3.5, μέ τιμές τῶν άντιστάσεων $R_1 = 5 \Omega$, $R_2 = 10 \Omega$, $R_3 = 15 \Omega$, περνᾶ ἔνταση ρεύματος $I = 5 A$. Νά βρεθοῦν τό μέγεθος τῆς τάσεως πού έφαρμόζεται σέ κάθε ἔνα καταναλωτή, ή συνολική τάση U καί ή συνολική άντισταση R τοῦ κυκλώματος.

Λύση:

Οι τάσεις στούς καταναλωτές ύπολογίζονται μέ τή βοήθεια τοῦ νόμου τοῦ "Ωμ:

$$\begin{aligned} U_1 &= R_1 \cdot I = 5 \times 5 = 25 V \\ U_2 &= R_2 \cdot I = 10 \times 5 = 50 V \\ U_3 &= R_3 \cdot I = 15 \times 5 = 75 V \end{aligned}$$

Η συνολική τάση U είναι:

$$U = U_1 + U_2 + U_3 = 25 + 50 + 75 = 150 V$$

Η συνολική άντισταση είναι:

$$R = R_1 + R_2 + R_3 = 5 + 10 + 15 = 30 \Omega$$

Η άντισταση αύτή μπορεῖ νά ύπολογισθεῖ καί μέ τό νόμο τοῦ "Ωμ έφαρμοζόμενο σέ δλο τό κύκλωμα σειρᾶς:

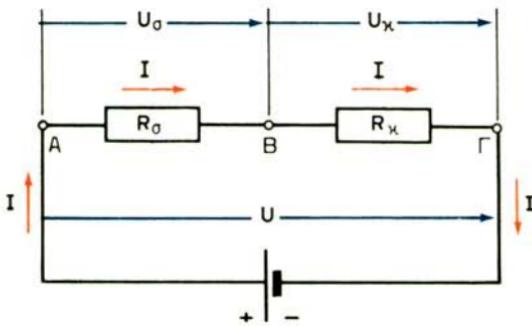
$$R = \frac{U}{I} = \frac{150}{5} = 30 \Omega$$

3.6 Πτώση τάσεως. Ρυθμιστικές άντιστάσεις σειρᾶς.

3.6.1 Πτώση τάσεως.

Πολλές φορές στήν πράξη παρουσιάζονται προβλήματα δπως τό άκόλουθο: νά έχομε δηλαδή μιά ήλεκτρική συσκευή κατασκευασμένη γιά νά λειτουργεῖ σέ μιά τάση U_k μικρότερη ἀπό τήν τάση U τῆς ήλεκτρικῆς πηγῆς πού διαθέτομε. "Αν συνδέσομε τήν ήλεκτρική συσκευή ἀπ' εύθειας στήν πηγή ύπαρχει κίνδυνος νά καταστραφεῖ, γιατί θά περάσει ἔνταση ρεύματος μέσα ἀπό αύτή μεγαλύτερη ἀπό τήν κανονική ένταση I γιά τήν όποια είναι κατασκευασμένη.

Μιά ἀπό τίς λύσεις τοῦ προβλήματος αύτοῦ είναι νά συνδέσομε σέ σειρά μέ τήν ήλεκτρική συσκευή, δηλαδή τόν καταναλωτή R_k μιά κατάλληλη άντισταση R_σ (σχ. 3.6a). Η άντισταση αύτή πρέπει πρώτα



Σχ. 3.6α.
Πτώση τάσεως σε άντισταση σειρᾶς.

άπ' όλα νά άντέχει νά περνά όπο μέσα της τό ρεύμα I , πού χρειάζεται για τήν κανονική λειτουργία του δ' καταναλωτής R_κ . Ή τιμή τής R_σ πρέπει νά είναι τέτοια, ώστε, όταν περνά όπο μέσα της ή ένταση I , νά δημιουργεῖται μεταξύ τῶν ἄκρων της A καὶ B μία τάση U_σ , ή δοπία άφαιρούμενη όπο τήν τάση τής πηγῆς U νά μᾶς δίνει τήν τάση U_κ , πού πρέπει νά έχει μεταξύ τῶν ἄκρων του B καὶ Γ δ' καταναλωτής R_κ .

Αύτός είναι δ' λόγος πού λέμε δτι ή R_σ δημιουργεῖ μιά **πτώση τάσεως** U_σ γιά τόν καταναλωτή R_κ . Γενικότερα δημιουργεῖται σύνδεση σειρᾶς όνομαζομε τήν τάση πού έπικρατεῖ μεταξύ τῶν ἄκρων μιᾶς όπο τίς άντιστάσεις πού βρίσκονται σε σύνδεση σειρᾶς καὶ διαρρέονται όπο ένα ήλεκτρικό ρεύμα. Τόν δρο αύτό θά τόν χρησιμοποιήσομε τακτικά στά έπομενα.

Γιά νά ύπολογίσομε τήν R_σ , ύπολογίζομε πρῶτα τήν U_σ όπο τή σχέση:

$$U_\sigma = U - U_\kappa$$

πού προκύπτει όπο τή γνωστή σε μᾶς σχέση γιά τή σύνδεση σειρᾶς $U = U_\sigma + U_\kappa$.

"Επειτά ύπολογίζομε τήν R_σ μέ τή βοήθεια τοῦ νόμου τοῦ "Ωμ.

$$R_\sigma = \frac{U_\sigma}{I}$$

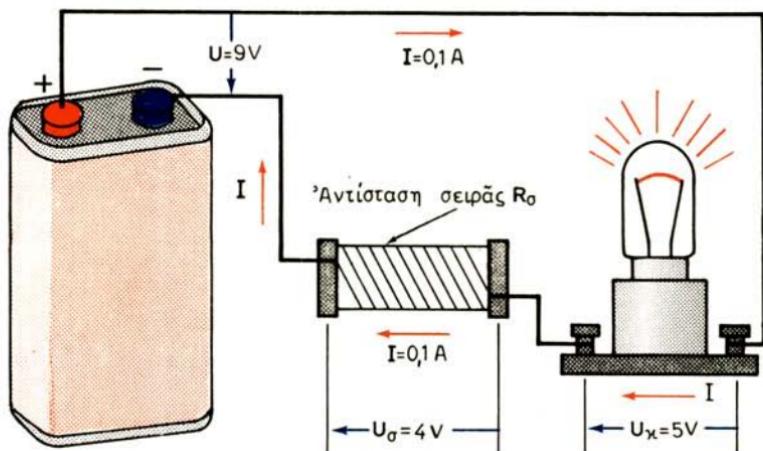
Η περίπτωση τής πτώσεως τάσεως πού άναφέραμε παραπάνω είναι έκείνη πού τή δημιουργούμε έπιτηδες, γιά νά έπιτυχομε κανονική τροφοδότηση σ' ἔναν καταναλωτή. Η πτώση τάσεως παρουσιάζεται δημιουργεῖται μεταξύ τῶν δύο ηλεκτρικών σημείων της σύνδεσης σειρᾶς καὶ όταν δέν τήν έπιθυμούμε, π.χ. στούς ἀγωγούς πού συνδέονται τούς διάφορους καταναλωτές μεταξύ τους καὶ μέ τίς ήλεκτρικές πηγές.

Μέχρι τώρα θεωρήσαμε ότι ή αντίσταση των άγωγών αύτων ήταν **άμελητέα**, λόγω κυρίως τού μικρού μήκους τους.

"Όταν τό μήκος αύτό δημιουργεῖται πτώση τάσεως. Αύτή είναι συνήθως ή περίπτωση των ηλεκτρικών γραμμών, που έχουν τά ηλεκτρικά δίκτυα, για τήν τροφοδότηση των καταναλωτών. "Οπως θά δούμε καί μέ ένα παράδειγμα παρακάτω, ή πτώση τάσεως στούς άγωγούς αύτούς δέν είναι άμελητέα.

Παράδειγμα 1.

"Ένα ηλεκτρικό λαμπάκι, κατασκευασμένο γιά νά λειτουργεῖ σέ τάση $U_K = 5 \text{ V}$, θέλουμε νά τό τροφοδοτήσομε άπό μία ξηρή μπαταρία 9 V . Η ένταση τού ρεύματος πού άπορροφά τό λαμπάκι όταν έργαζεται μέ τήν κανονική του τάση είναι $I = 0,1 \text{ A}$. Νά βρεθεῖ ή τιμή τῆς αντίστασης R_σ (σχ. 3.6β), πού πρέπει νά συνδέομε σέ σειρά μέ τό λαμπάκι.



Σχ. 3.6β.

Λύση:

Γιά τόν ύπολογισμό τῆς τιμῆς τῆς R_σ έχομε:

$$U_\sigma = U - U_K = 9 - 5 = 4 \text{ V}$$

Συνεπῶς:

$$R_\sigma = \frac{U_\sigma}{I} = \frac{4}{0,1} = 40 \Omega$$

Γιά νά βεβαιωθοῦμε ότι ή ένταση πού θά περνᾶ άπό τό κύκλωμα τοῦ

σχήματος 3.6β είναι πραγματικά $I = 0,1 \text{ A}$, ύπολογίζομε πρώτα τήν άντισταση R_k τῆς λάμπας (σέ λειτουργία):

$$R_k = \frac{U_k}{I} = \frac{5}{0,1} = 50 \Omega$$

"Αρα ή άλική άντισταση τοῦ κυκλώματος σέ σύνδεση σειρᾶς είναι:

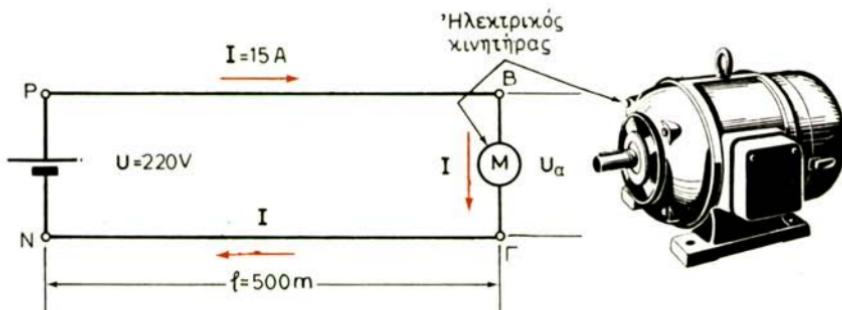
$$R = R_\sigma + R_k = 40 + 50 = 90 \Omega$$

Ο νόμος τοῦ "Ωμ έφαρμοζόμενος στήν άλική άντισταση τοῦ κυκλώματος δίνει:

$$I = \frac{U}{R} = \frac{9}{90} = 0,1 \text{ A}$$

Παράδειγμα 2.

Ένας ήλεκτρικός κινητήρας, πού χρειάζεται γιά τή λειτουργία του ρεύμα έντασεως $I = 15 \text{ A}$ συνδέεται σ' ένα ήλεκτρικό δίκτυο μέ μία γραμμή μήκους $l = 500 \text{ m}$ (σχ. 3.6γ). Η τάση στό σημείο τροφοδοτήσεως τῆς γραμμῆς άπό τήν πηγή είναι $U = 220 \text{ V}$. Ποιά θά είναι ή τάση στόν κινητήρα, όταν η γραμμή άποτελείται άπό χάλκινους άγωγούς διατομῆς $S = 25 \text{ mm}^2$:



Σχ. 3.6γ.

Λύση:

Σύμφωνα μέ δσα άναφέραμε στήν παράγραφο αύτή, θά πρέπει έδω νά λάβομε ύπ' ίψη καί τήν πτώση τάσεως πού δημιουργεῖται άπό τήν άντισταση τῶν άγωγῶν τῆς γραμμῆς τροφοδοτήσεως.

Η άντισταση τοῦ άγωγοῦ PB είναι σέ σύνδεση σειρᾶς μέ τόν κινητήρα M καί μέ τήν άντισταση τοῦ άγωγοῦ ΓΝ. Γιά νά ύπολογίσομε τήν πτώση τάσεως στήν άντισταση κάθε άγωγοῦ, ύπολογίζομε πρώτα τήν

τιμή τῆς ἀντιστάσεώς του R_a , δηπως ὑπολογίζομε τήν ἀντίσταση ἐνός σύρματος ἀπό χαλκό. Εἶναι:

$$R_a = \frac{\rho \cdot l}{S} = \frac{0,0175 \times 500}{25} = 0,35 \Omega$$

Η πτώση τάσεως στούς δύο ἀγωγούς τῆς γραμμῆς εἶναι:

$$U_a = 2 \cdot R_a \cdot I = 2 \times 0,35 \times 15 = 10,5 V$$

Γιά τό κύκλωμα σειρᾶς ἔχομε:

$$U = U_a + U_k$$

Ἄρα:

$$U_k = U - U_a = 220 - 10,5 = 209,5 V$$

Δηλαδή ὁ κινητήρας θά λειτουργεῖ μέ τάση 209,5 V καί ἡ πτώση τάσεως στούς δύο ἀγωγούς τῆς γραμμῆς τροφοδοτήσεως θά εἶναι ἵση μέ 10,5 V.

3.6.2 Ρύθμιση τῆς ἐντάσεως.

Σέ πολλές ἔφαρμογές τῆς Ἡλεκτροτεχνίας παρουσιάζεται ἡ περίπτωση νά πρέπει νά μεταβάλλομε μέ κάποιο εὔκολο τρόπο τήν ἐνταση τοῦ ρεύματος πού περνά μέσα ἀπό ἔναν καταναλωτή.

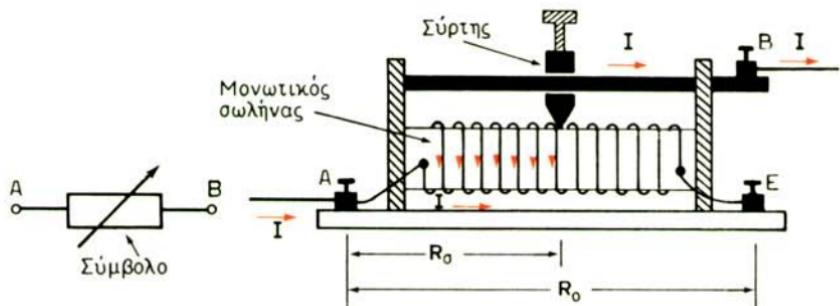
Στό συνεχές ρεῦμα, αὐτό γίνεται μέ τή σύνδεση σέ σειρά μέ τόν καταναλωτή μιάς μεταβλητῆς ἀντιστάσεως ἡ δούσια όνομάζεται **ρυθμιστής ἀντίσταση** ἢ **ροοστάτης**. Οι ἀντιστάσεις αύτές εἶναι ἔτσι κατασκευασμένες ὥστε νά μή διακόπτεται τό κύκλωμα κατά τή διάρκεια τῆς ρυθμίσεως.

Ὑπάρχουν δύο τύποι ρυθμιστικῶν ἀντιστάσεων: μέ **σύρτη** καί **στροφαλοφόροι**.

Οι ρυθμιστικές ἀντιστάσεις μέ σύρτη ἀποτελοῦνται ἀπό ἔνα σωλήνα ἀπό μονωτικό ύλικό (πορσελάνη κλπ.) πάνω στόν διποῖο εἶναι τυλιγμένο πυκνά ἔνα σύρμα (σχ. 3.6δ).

Κατά μῆκος τοῦ σωλήνα μπορεῖ νά κινηθεῖ ἔνας δρομέας πού ἀκουμπά στό σύρμα καί εἶναι ἐπίσης ἀγώγιμα συνδεμένος μέ ἔναν ἀκροδέκτη B. Τά ἄκρα τοῦ σύρματος καταλήγουν στούς δύο ἀκροδέκτες A καί E. Μεταξύ τῶν ἀκροδέκτων αύτῶν εἶναι δλη ἡ ἀντίσταση R_o τοῦ σύρματος.

Τή ρυθμιστική ἀντίσταση συνδέομε στό κύκλωμα μέ τούς ἀκροδέκτες της A καί B. Εἶναι φανερό δτι σέ σειρά μέ τό κύκλωμα μπαίνει μόνο τό τμῆμα R_o τῆς ἀντιστάσεως τοῦ σύρματος πού βρίσκεται μεταξύ τοῦ ἄκρου A καί τοῦ σύρτη, πού συνδέεται μέ τόν B. Ἀνάλογα μέ τή



Σχ. 3.6δ.
Ρυθμιστική άντισταση μέ σύρτη.

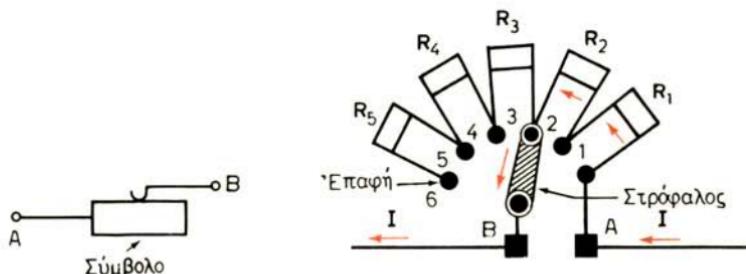
Θέση τοῦ σύρτη ή άντιστασης R_σ **μεταβάλλεται συνεχῶς** ἀπό τιμή μηδέν ὥμ, ὅταν ὁ σύρτης εἶναι στὸ ἀριστερὸ ἄκρο, μέχρι R_0 , ὅταν εἶναι στὸ δεξιό ἄκρο. Στὸ σχῆμα 3.6δ φαίνεται καὶ τὸ σύμβολο, μέ τὸ ὅποιο παριστάνομε στὰ σχέδια μιά ρυθμιστική άντισταση μέ συνεχή μεταβολή.

Οἱ στροφαλοφόροι ρυθμιστικές άντιστάσεις ἀποτελοῦνται, συνήθως, ἀπό μιά μονωτικὴ πλάκα ἐπάνω στὴν ὥποια εἶναι στερεωμένες οἱ χάλκινες ἑπαφές 1, 2, 3... πού σχηματίζουν ὅπως φαίνεται στὸ σχῆμα 3.6ε, ἔνα τόξο κύκλου. Σέ κάθε ἑπαφή εἶναι συνδεμένα τὰ ἄκρα δύο άντιστάσεων. "Ἐτσι οἱ άντιστάσεις συνδέονται σέ σειρά μέσω τῶν ἑπαφῶν. Ἐπάνω στὶς ἑπαφές ἔφαπτεται, περιστρεφόμενος μέ τὸ χέρι, ἔνας στρόφαλος ἀπό χαλκό ἢ ὄρείχαλκο, πού συνδέεται ἐπίσης ἀγώγιμα μέ τὸν ἄκροδέκτη B. Ἡ ἀρχή τῆς πρώτης άντιστάσεως R_1 συνδέεται μέ τὸν ἄκροδέκτη A.

'Η στροφαλοφόρος ρυθμιστική άντισταση συνδέεται στὸ κύκλωμα μέ τούς ἄκροδέκτες τῆς A καὶ B. Εἶναι φανερό ἀπό τὸ σχῆμα 3.6ε ὅτι σέ σειρά μέ τὸ κύκλωμα συνδέεται άντισταση R_σ ἵση μέ τὸ ἄθροισμα τῶν άντιστάσεων ἐκείνων ἀπό τίς R_1 , R_2 ..., πού βρίσκονται μεταξύ τοῦ ἄκρου A καὶ τῆς ἑπαφῆς, μέ τὴν ὥποια ἔφαπτεται κάθε φορά ὁ στρόφαλος (στὴν περίπτωση πού δείχνει τὸ σχῆμα, οἱ άντιστάσεις R_1 , καὶ R_2). Δηλαδή ἡ μεταβολή τῆς R_σ ἐδῶ γίνεται **κατά βήματα**, καὶ δχι συνεχῶς ὅπως στὶς άντιστάσεις μέ σύρτη. Στὸ σχῆμα 3.6ε φαίνεται καὶ τὸ σύμβολο μιᾶς ρυθμιστικῆς άντιστάσεως κατά βήματα.

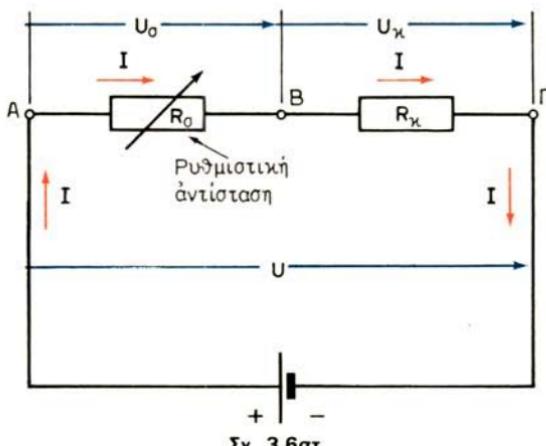
Σέ ὅλους τούς στροφαλοφόρους ροοστάτες οἱ ἑπαφές βρίσκονται σέ τέτοια ἀπόσταση μεταξύ τους, ὥστε ὁ στρόφαλος νά μήν αφήνει μιά ἑπαφή προτοῦ πατήσει στὴν παραπλεύρως. "Ἐτσι ἀποφεύγεται ἡ διακοπή τοῦ κυκλώματος κατά τίς μετακινήσεις τοῦ στροφάλου.

'Η ἔνταση τοῦ ρεύματος πού περνᾶ μέσα ἀπό ἔνα κύκλωμα, στὸ ὅποιο σέ σειρά μέ ἔναν καταναλωτή R_K ἔχομε συνδέσει καὶ μιὰ



Σχ. 3.6ε.
Στροφαλοφόρος ρυθμιστική άντισταση.

ρυθμιστική άντισταση R_σ , ύπολογίζεται μέ τή βοήθεια τοῦ νόμου τοῦ "Ωμ, ἀν τὸν ἐφαρμόσομε γιά τὴν δλική τάση U τοῦ κυκλώματος (σχ. 3.6στ) καὶ τὴν δλική άντισταση $R = R_\sigma + R_k$.



Σχ. 3.6στ.
Σύνδεση ρυθμιστικῆς άντιστάσεως.

Ο νόμος τοῦ "Ωμ γιά τὴν περίπτωση αὐτή δίνει:

$$I = \frac{U}{R} = \frac{U}{R_\sigma + R_k}$$

Εἶναι φανερό ὅτι I ἀλλάζει ὅταν ἀλλάζει R_σ . Οἱ ἀκραῖες τιμές πού μπορεῖ νά πάρει I εἶναι:

Η μέγιστη $I_{\mu\text{εγ.}} = \frac{U}{R_k}$ γιά $R_\sigma = 0$ καὶ

$$\text{ή έλαχιστη } I_{\text{ελαχ.}} = \frac{U}{R_o + R_k} \quad \text{γιά } R_\sigma = R_o$$

"Όταν μεταβάλλεται ή ένταση τοῦ ρεύματος I , πού περνᾶ μέσα ἀπό τόν καταναλωτή R_k είναι αὐτονότο ὅτι μεταβάλλεται καί ή τάση U_k πού ἐπικρατεῖ μεταξύ τῶν ἄκρων του B καί Γ (σχ. 3.6στ) ἀφοῦ είναι:

$$U_k = I \cdot R_k$$

καί δεχόμασθε ὅτι τό R_k είναι σταθερό γιά ἔναν καταναλωτή.

Είναι εύκολο νά ἀποδειχθεῖ ὅτι:

$$U_{k_{\mu\epsilon\gamma.}} = U \quad \text{γιά } R_\sigma = 0$$

$$U_{k_{\text{ελαχ.}}} = U \frac{R_k}{R_o + R_k} \quad \text{γιά } R_\sigma = R_o$$

'Αντίθετα ἀπό τή μεταβολή τῆς U_k γίνεται ή μεταβολή τῆς U_σ , ὥστε νά είναι πάντα:

$$U_k + U_\sigma = U$$

Παράδειγμα.

Σέ ἔναν καταναλωτή, πού είναι κατασκευασμένος γιά τάση 220 V καί κανονική ἔνταση ρεύματος 0,5 A, θέλομε νά ρυθμίζομε τήν ἔνταση μέχρι 0,2 A. a) Ποιά είναι ή τιμή R_o τῆς ρυθμιστικῆς ἀντιστάσεως μέ σύρτη πού πρέπει νά συνδέσομε σέ σειρά μέ τόν καταναλωτή αὐτόν; β) Ποιά θά είναι ή τάση στά ἄκρα τοῦ καταναλωτῆ γιά τό μισό τῆς τιμῆς αὐτῆς τῆς ἀντιστάσεως σειρᾶς;

Λύση:

a) Στό πρόβλημα αύτό είναι:

$$I_{\text{ελαχ.}} = 0,2 \text{ A} \quad \text{καί } R_k = \frac{U}{I} = \frac{220}{0,5} = 440 \Omega$$

'Από τή σχέση πού δώσαμε παραπάνω γιά τό $I_{\text{ελαχ.}}$ προκύπτει:

$$R_o + R_k = \frac{U}{I_{\text{ελαχ.}}} = \frac{220}{0,2} = 1100 \Omega$$

"Αρα:

$$R_o = 1100 - R_k = 1100 - 440 = 660 \Omega$$

Μέ μεταβολή τῆς ρυθμιστικῆς ἀντιστάσεως ἀπό 0 μέχρι 660 Ω ἔχομε ὅλες τίς τιμές τῆς ἔντάσεως ρεύματος μέσα ἀπό τόν καταναλωτή μεταξύ 0,5 A καί 0,2 A.

$$\beta) \text{ Γιά} \quad R_{\sigma} = \frac{R_o}{2} = \frac{660}{2} = 330 \Omega \quad \text{έχομε:}$$

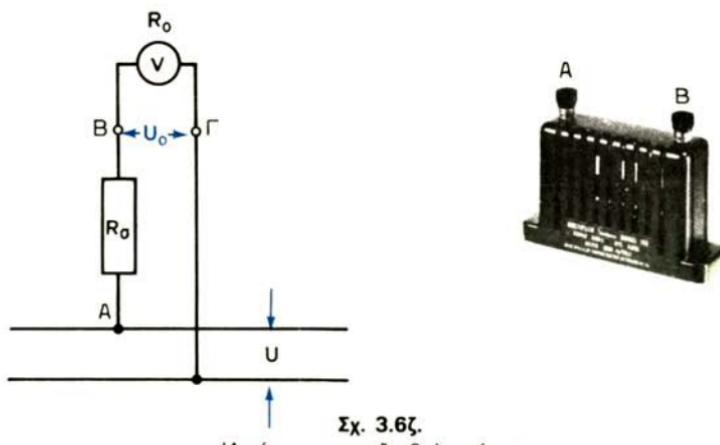
$$I = \frac{U}{R_{\sigma} + R_k} = \frac{220}{330 + 440} = 0,286 \text{ A}$$

Άρα ή τάση στά άκρα τοῦ καταναλωτῆ θά είναι:

$$U_k = I \cdot R_k = 0,286 \times 440 = 125,8 \text{ V}$$

3.6.3 Άντισταση σειρᾶς βολτομέτρου.

"Οπως γιά τά άμπερόμετρα (παράγρ. 3.4.1) έτσι και γιά τά βολτόμετρα χρειάζεται μερικές φορές νά έπεκτείνομε τήν περιοχή ένδείξεων ένος όργανου. Στήν περίπτωση τῶν βολτομέτρων αύτό γίνεται μέ τή σύνδεση σέ σειρά μέ τό όργανο μιᾶς κατάλληλης άντιστάσεως R_{σ} (σχ. 3.6ζ).



Μέ τή χρησιμοποίηση τής άντιστάσεως σειρᾶς στό όργανο δέν έφαρμόζεται τάση μεγαλύτερη άπό τήν τάση U_0 γιά τήν όποια είναι κατασκευασμένο.

Μέ τό σύστημα δημοσιεύμε νά μετράμε τάσεις μέχρι μιᾶς τιμῆς U , ή όποια είναι η φορές μεγαλύτερη άπό τήν U_0 . Είναι δηλαδή $U/U_0 = n$. Ή διαφορά τῶν δύο τάσεων $U - U_0$ είναι ή πτώση τάσεως στήν άντισταση σειρᾶς.

Χωρίς νά άσχοληθοῦμε μέ τίς λεπτομέρειες τῶν σχετικῶν πράξεων,

δίνομε τή σχέση πού μᾶς έπιτρέπει νά ύπολογίζομε τήν τιμή τῆς άντιστάσεως σειρᾶς R_σ , πού πρέπει νά συνδέσομε σέ ένα βολτόμετρο έσωτερικής άντιστάσεως R_0 , γιά νά μᾶς μετρᾶ τάσεις πιό μεγάλες.

Είναι:

$$R_\sigma = R_0 (n - 1)$$

Παράδειγμα.

"Ένα βολτόμετρο μέ ένδειξεις μέχρι 25 V καί μέ έσωτερική άντισταση $R_0 = 12.500 \Omega$. Θέλομε νά μετρᾶ τάσεις μέχρι $U = 150 \text{ V}$. Ποιά είναι ή τιμή τῆς άντιστάσεως σειρᾶς R_σ πού πρέπει νά συνδέσομε στό δργανό;

Λύση:

"Έχομε:

$$n = \frac{U}{U_0} = \frac{150}{25} = 6$$

"Άρα:

$$R_\sigma = R_0 (n - 1) = 12.500 (6 - 1) = 62.500 \Omega$$

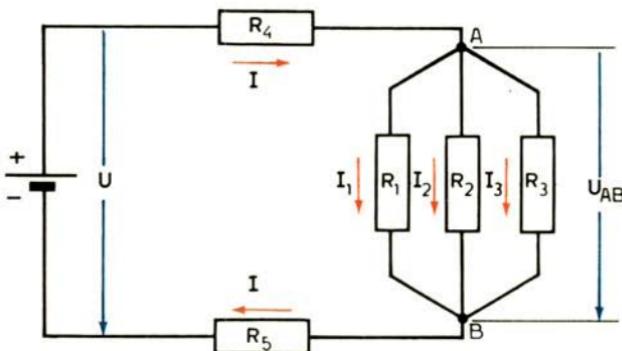
3.7 Μικτή σύνδεση καταναλωτῶν.

3.7.1 Μικτά κυκλώματα.

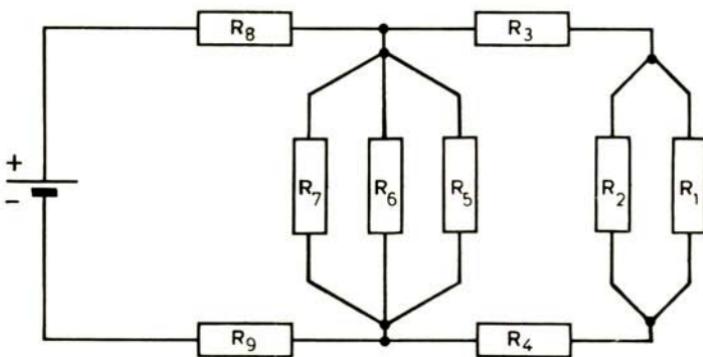
Στά προηγούμενα γνωρίσαμε τήν παράλληλη σύνδεση καταναλωτῶν καί τή σύνδεση καταναλωτῶν σέ σειρά. Συνδυασμός στό ίδιο κύκλωμα τῶν δύο αύτῶν τρόπων συνδέσεως είναι τά **μικτά κυκλώματα**. Μιά άπλη περίπτωση μικτοῦ κυκλώματος είναι αύτή πού φαίνεται στό σχήμα 3.7a. Ή περίπτωση ένός τέτοιου κυκλώματος άπαντάται όταν έχομε νά τροφοδοτήσομε περισσότερους άπό έναν καταναλωτές στό ίδιο μικτό ηλεκτρικής γραμμῆς, τής δύοις οι άγωγοι έχουν άντισταση πού δέν μποροῦμε νά άμελήσομε (βλέπε καί παράγραφο 3.6.1) Δηλαδή στήν περίπτωση αύτή R_4 είναι ή άντισταση τοῦ άγωγοῦ άπό τό θετικό πόλο τῆς πηγῆς μέχρι τόν κόμβο Α καί R_5 ή άντισταση τοῦ άγωγοῦ άπό τόν άρνητικό πόλο τῆς πηγῆς μέχρι τόν κόμβο Β.

Μιά πιό σύνθετη μορφή μικτοῦ κυκλώματος είναι αύτή πού φαίνεται στό σχήμα 3.7β.

Τέτοιο κύκλωμα παρουσιάζει ή περίπτωση τροφοδοτήσεως δύο διαδών καταναλωτῶν άπό δύο σημεία μιας ηλεκτρικῆς γραμμῆς πού άπέχουν μεταξύ τους καί άπό τήν πηγή σημαντική άπόσταση, ώστε νά πρέπει νά ληφθοῦν ύπ' όψη καί οι άντιστάσεις τῶν άγωγῶν τῆς γραμμῆς.



Σχ. 3.7α.
Μικτό κύκλωμα.



Σχ. 3.7β.
Σύνθετο μικτό κύκλωμα.

Έπίλυση ένός κυκλώματος όνομάζομε τούς ύπολογισμούς πού κάνουμε, γιά νά καθορίσουμε τίς τάσεις στά άκρα τῶν διαφόρων τμημάτων τοῦ κυκλώματος καί τίς έντασεις τοῦ ρεύματος πού περνοῦν μέσα άπο τούς καταναλωτές καί τούς συνδετικούς άγωγούς.

Γιά τήν έπίλυση τῶν μικτῶν κυκλωμάτων, δημοσιεύεται σε σειρά αντιστάσεων μέ τήν ισοδύναμή τους.

α) Άντικαθιστοῦμε κάθε δύμαδα παραλλήλων ἢ σέ σειρά άντιστάσεων μέ τήν ισοδύναμή τους.

β) Θά προκύψει ἔτσι ἔνα κύκλωμα μέ σύνδεση άντιστάσεων σέ σειρά, τό διόποιο ἐπιλύομε σύμφωνα μέ δσα εἴπαμε στήν προηγούμενη παράγραφο, δηλαδή βρίσκομε τήν ἔνταση τοῦ διλοκού ρεύματος καί τίς τάσεις μεταξύ τῶν άκρων τῶν δύμάδων παραλλήλων άντιστάσεων.

γ) Άπο τίς τάσεις αύτές ύπολογίζομε τίς έντασεις τοῦ ρεύματος πού περνοῦν μέσα από κάθε άντισταση.

Παράδειγμα.

Τρεῖς καταναλωτές σέ παράλληλη σύνδεση έχουν άντιστάσεις $R_1 = 20 \Omega$, $R_2 = 25 \Omega$ και $R_3 = 50 \Omega$. Ή γραμμή πού τούς τροφοδοτεῖ μέ ήλεκτρικό ρεῦμα έχει μῆκος $l = 1000 \text{ m}$ και άποτελεῖται από χάλκινους άγωγούς μέ διατομή $S = 50 \text{ mm}^2$. Ποια ένταση ρεύματος θά περάσει μέσα από κάθε καταναλωτή, όποια ένταση στήν άρχη της γραμμῆς τροφοδοτήσεως είναι $U = 220 \text{ V}$;

Λύση:

Τό κύκλωμα τοῦ παραδείγματος παριστάνεται στό σχήμα 3.7a, όπου γιά τήν άντισταση κάθε άγωγού της γραμμῆς έχομε:

$$R_4 = R_5 = \frac{\rho \cdot l}{S} = \frac{0,0175 \times 1000}{50} = 0,35 \Omega$$

Ή ίσοδύναμη άντισταση R_{AB} τῶν τριῶν καταναλωτῶν R_1 , R_2 , R_3 ύπολογίζεται (παράγρ. 3.3) από τή σχέση:

$$\begin{aligned} R_{AB} &= \frac{1}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}} = \frac{1}{\frac{1}{20} + \frac{1}{25} + \frac{1}{50}} = \\ &= \frac{1}{0,05 + 0,04 + 0,02} = 9,09 \Omega \end{aligned}$$

Άρα ή δλική άντισταση τοῦ κυκλώματος (μαζί μέ τή γραμμή) θά είναι:

$$R = R_4 + R_{AB} + R_5 = 0,35 + 9,09 + 0,35 = 9,79 \Omega$$

Ή ένταση τοῦ ρεύματος πού περνᾶ μέσα από τή γραμμή είναι:

$$I = \frac{U}{R} = \frac{220}{9,79} = 22,47 \text{ A}$$

Τήν τάση U_{AB} πού έπικρατεῖ στά άκρα A και B τῶν καταναλωτῶν τήν ύπολογίζομε μέ τό νόμο τοῦ "Ωμ, έφαρμοζόμενο στήν ίσοδύναμη άντιστασή τους R_{AB} ". Είναι:

$$U_{AB} = R_{AB} \cdot I = 9,09 \times 22,47 = 204,3 \text{ V}$$

Ή ένταση τοῦ ρεύματος πού περνᾶ μέσα από κάθε καταναλωτή ύ-

πολογίζεται τώρα μέ τή βοήθεια πάλι τοῦ νόμου τοῦ "Ωμ:

$$I_1 = \frac{U_{AB}}{R_1} = \frac{204,3}{20} = 10,22 \text{ A}$$

$$I_2 = \frac{U_{AB}}{R_2} = \frac{204,3}{25} = 8,17 \text{ A}$$

$$I_3 = \frac{U_{AB}}{R_3} = \frac{204,3}{50} = 4,08 \text{ A}$$

Γιά ἔλεγχο προσθέτομε τίς ἐντάσεις. Πρέπει νά εἶναι:

$$I = I_1 + I_2 + I_3 = 10,22 + 8,17 + 4,08 = 22,47 \text{ A}$$

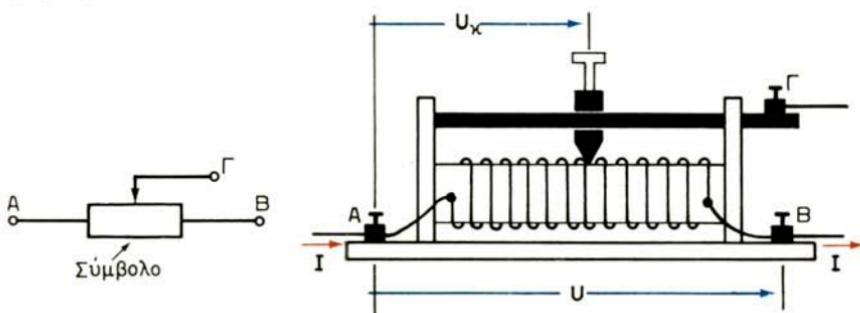
Η διαφορά τῶν τάσεων:

$$U - U_{AB} = 220 - 204,3 = 15,7 \text{ V},$$

εἶναι ἡ πτώση τάσεως στούς δύο ἀγωγούς τῆς γραμμῆς, δηλαδή σέ κάθε ἀγωγό ἔχομε πτώση τάσεως 7,85 V.

3.7.2 Ρύθμιση τῆς τάσεως.

"Οπως εἴδαμε στήν παράγραφο 3.6.2, μέ τή χρησιμοποίηση ρυθμιστικῶν ἀντιστάσεων μποροῦμε νά μεταβάλλομε τήν ἐνταση τοῦ ρεύματος, πού περνᾶ μέσα ἀπό ἔναν καταναλωτή καί ἔτσι νά μεταβάλλομε καί τήν τάση στά ἄκρα του. Ο τρόπος αὐτός, ως μέθοδος γιά τή ρύθμιση τῆς τάσεως, ἔφαρμόζεται ὅταν ἡ ἀντίσταση τοῦ καταναλωτῆ εἶναι μικρή καί ἡ ἐνταση τοῦ ρεύματος, πού χρειάζεται γιά τή λειτουργία του, μεγάλη.

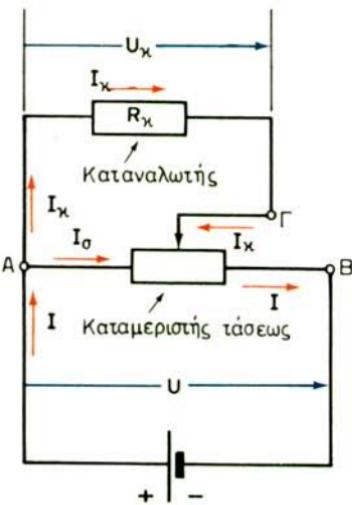


Σχ. 3.7γ.
Καταμεριστής τάσεως.

"Οταν δημιουργούμε έναν καταναλωτή μέσω μεγάλης αντίστασης και μικρής εντασης ρεύματος λειτουργίας, τότε για τη ρύθμιση της τάσεως στα ἄκρα του καταναλωτή είναι προτιμότερη ή χρησιμοποίηση ένός **καταμεριστή τάσεως** ή όπως άλλιως λέγεται ένός **ποτενσιομέτρου**.

Από αποψη κατασκευής, ο καταμεριστής τάσεως είναι μιά ρυθμιστική αντίσταση, συνήθως μέσω σύρτης, όπως τήν περιγράψαμε στήν παράγραφο 3.6.2. Η μόνη διαφορά είναι ότι έδω χρησιμοποιείται διπλής δήποτε και ό τριτος άκροδέκτης Β (σχ. 3.7γ) ο οποίος στήν ρυθμιστική αντίσταση δέν είναι άπαραιτητος.

Η πηγή συνδέεται στούς άκροδέκτες Α και Β και ό καταναλωτής, τού όποιου θέλομε νά ρυθμίζομε τήν τάση τροφοδοτήσεως, στούς άκροδέκτες Α και Γ. Οπως φαίνεται και στό σχήμα 3.7δ, η συνδεσμολο-



Σχ. 3.7δ.

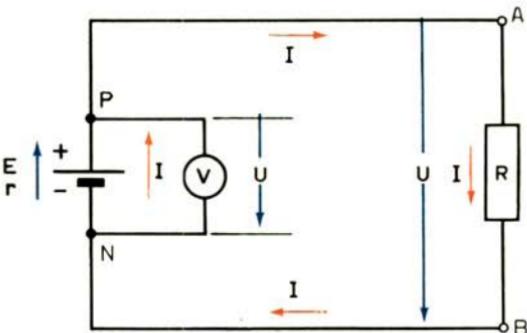
Συνδεσμολογία καταμεριστή τάσεως.

γία του καταμεριστή τάσεως και του καταναλωτή είναι ένα παράδειγμα μικτού κυκλώματος. "Αν χρειασθεῖ, ή έπιλυσή του είναι εύκολη. Ό καταναλωτής είναι σέ παράλληλη σύνδεση μέτων μέρος τής αντιστάσεως τού σύρματος τού ποτενσιομέτρου, πού βρίσκεται μεταξύ τῶν άκροδεκτῶν Α και Γ. Σέ σειρά μέτων δύο αύτές παράλληλες αντιστάσεις είναι τό ύπόλοιπο μέρος τής αντιστάσεως τού σύρματος τού ποτενσιομέτρου.

"Οταν ό σύρτης τού καταμεριστή τάσεως βρίσκεται στό άριστερό ἄκρο του, ή τάση U_K πού έφαρμόζεται στόν καταναλωτή μηδενίζεται. "Οσο μεταφέρομε τό σύρτη πρός τά δεξιά, τόσο μεγαλώνει ή τάση U_K και γίνεται ίση μέτων U , όταν ό σύρτης φθάσει στό δέξιο ἄκρο τού ποτενσιομέτρου.

3.8 Τό κλειστό κύκλωμα καί ὁ νόμος τοῦ Ὁμ.

Ο νόμος τοῦ Ὁμ, ὅπως διατυπώθηκε στήν παράγραφο 3.1, ἀφορᾶ τή σχέση πού ύπάρχει μεταξύ τῶν τριῶν μεγεθῶν U , I καὶ R ἐνός καταναλωτῆ (σχ. 3.1). Θά ἔξετάσομε τώρα τή μορφή πού παίρνει ὁ νόμος αὐτός σε ἔνα **κλειστό κύκλωμα**, τό δοποῖο ἀποτελεῖται ἀπό μιά πηγή μέ ήλεκτρεγερτική δύναμη E (παράγρ. 1.9) καὶ ἔναν καταναλωτή μέ ἀντίσταση R , ὅπως φαίνεται στό σχῆμα 3.8.



Σχ. 3.8.

Τά στοιχεῖα κλειστοῦ κυκλώματος.

Ὑπενθυμίζομε ὅτι στό κλειστό κύκλωμα (παράγρ. 2.2) τό ἡλεκτρικό ρεῦμα ἀκολουθεῖ (συμβατικά) τή διαδρομή: Θετικός πόλος τῆς πηγῆς, ἔξωτερικό κύκλωμα μέσα ἀπό τόν καταναλωτή, ἀρνητικός πόλος τῆς πηγῆς, γιά νά καταλήξει μέσα ἀπό τό ἐσωτερικό τῆς πηγῆς πάλι στό θετικό πόλο. Δηλαδή, ἐνώ στό ἔξωτερικό κύκλωμα τό ρεῦμα κυκλοφορεῖ ἀπό τό θετικό πόλο τῆς πηγῆς πρός τόν ἀρνητικό, στό ἐσωτερικό τῆς πηγῆς κυκλοφορεῖ ἀπό τόν ἀρνητικό πόλο στό θετικό.

Στή διαδρομή του αὐτή τό ἡλεκτρικό ρεῦμα συναντᾷ τήν ἀντίσταση R τοῦ ἔξωτερικοῦ κυκλώματος (παραδεχόμαστε ὅτι καὶ ἡ ἀντίσταση τῶν ἀγωγῶν περιλαμβάνεται στήν τιμή τῆς R) καὶ τήν ἀντίσταση r τοῦ ἀγώγιμου δρόμου στό ἐσωτερικό τῆς πηγῆς, πού ὄνομάζεται γι' αὐτό **ἐσωτερική ἀντίσταση τῆς πηγῆς**. Οι δύο ἀντίστάσεις R καὶ r βρίσκονται σέ σύνδεση σειρᾶς. "Ἄρα ἡ ὀλική τους ἀντίσταση εἶναι $R + r$.

Ἡ δημιουργία τοῦ ἡλεκτρικοῦ ρεύματος ὀφείλεται, ὅπως ἔχομε ἀναφέρει στήν παράγραφο 2.2, στήν ἡλεκτρεγερτική δύναμη τῆς πηγῆς. Ἡ ἡλεκτρεγερτική δύναμη, πού μετριέται ὅπως εἶναι γνωστό σέ βόλτ, ἔχει φορά μέσα στήν πηγή ἀπό τόν ἀρνητικό πόλο πρός τό θετικό (σχ. 3.8).

Ο νόμος τοῦ Ὁμ γιά τό κλειστό κύκλωμα λέει ὅτι:

Ἡ ἔνταση τοῦ ρεύματος I , πού περνᾶ μέσα ἀπό κλειστό κύκλωμα, βρίσκεται ἀν διαιρέσομε τήν ἡλεκτρεγερτική δύναμη E τῆς πηγῆς μέ τό

ἄθροισμα τῆς ἀντιστάσεως R τοῦ ἔξωτερικοῦ κυκλώματος καὶ τῆς ἐσωτερικῆς ἀντιστάσεως r τῆς πηγῆς. Δηλαδή:

$$I = \frac{E}{R + r} \quad \text{σέ } A$$

Από τὸν τύπο αὐτό προκύπτει ὅτι:

$$E = (R + r) \cdot I = R \cdot I + r \cdot I$$

Τό γινόμενο $R \cdot I$ στήν τελευταίᾳ αὐτή σχέση εἶναι ἡ τάση, ἡ δοπία ἔφαρμόζεται μεταξύ τῶν ἄκρων A καὶ B τοῦ καταναλωτῆ (ππώση τάσεως στὸν καταναλωτή) καὶ πού εἶναι ἡ ἴδια μὲ τὴν τάση U πού μετρᾶ ἕνα βολτόμετρο μεταξύ τῶν πόλων P καὶ N τῆς πηγῆς (δεখθήκαμε ὅτι ἡ ἀντίσταση τῶν ἀγωγῶν περιλαμβάνεται στήν ἀντίσταση τοῦ καταναλωτῆ). Γιά τό λόγο αὐτό ἡ τάση $U = R \cdot I$ ὀνομάζεται καὶ **πολική τάση τῆς πηγῆς**.

Ἡ πολική τάση τῆς πηγῆς εἶναι ἵση μὲ τὴν ἡλεκτρεγερτική δύναμη μόνο ὅταν ἡ πηγή λειτουργεῖ στό κενό, δηλαδή χωρίς φορτίο ($I = 0$), δηπως ἀναφέραμε καὶ στήν παράγραφο 1.9. Σέ κάθε ἄλλη περίπτωση ἡ πολική τάση εἶναι μικρότερη ἀπό τὴν ἡλεκτρεγερτική δύναμη τῆς πηγῆς κατά τὴν **ἔσωτερική πτώση τάσεως τῆς πηγῆς**, πού εἶναι ἵση μὲ $r \cdot I$. Εἶναι δηλαδή:

$$U = R \cdot I = E - r \cdot I$$

Ἄντι γιά ἔναν καταναλωτή R , τό κλειστό κύκλωμα μπορεῖ νά περιλαμβάνει περισσότερους καταναλωτές σέ σύνδεση παράλληλη, σειρᾶς ἢ μικτή. Στίς περιπτώσεις αὐτές, γιά νά ἔφαρμόσομε τὸ νόμο τοῦ "Ωμ στό κλειστό κύκλωμα, βρίσκομε πρώτα, σύμφωνα μὲ ὅσα ἀναφέραμε στίς τρεῖς προηγούμενες παραγράφους, τὴν ἰσοδύναμη ἀντίσταση R ὅλου τοῦ κυκλώματος καταναλώσεως μαζί μὲ τούς ἀγωγούς του πού συνδέεται στούς πόλους τῆς πηγῆς. Ἔπειτα, μὲ τὴν ἔφαρμογή τοῦ νόμου τοῦ "Ωμ, βρίσκομε τὴν ἔνταση τοῦ ὀλικοῦ ρεύματος καὶ τά ὑπόλοιπα στοιχεῖα πού μᾶς ἐνδιαφέρουν.

"Οταν οἱ πόλοι μιᾶς πηγῆς συνδεθοῦν μεταξύ τους ἔξωτερικά μὲ ἔναν ἀγωγό σχεδόν μηδενικῆς ἀντιστάσεως ($R \sim 0$), ὅταν **βραχυκυκλώθοῦν** ὅπως λέμε, τότε ἡ ἔνταση, πού θά δώσει ἡ πηγή, δίνεται ἀπό τὴ σχέση:

$$I_{μεγ} = \frac{E}{r}$$

Αὐτή εἶναι ἡ πιό μεγάλη ἔνταση πού μπορεῖ νά δώσει ἡ πηγή καὶ ὀνομάζεται **ἔνταση βραχυκυκλώσεως τῆς πηγῆς**. Οἱ ἡλεκτρικές πηγές



δέν είναι συνήθως κατασκευασμένες γιά νά άντέχουν σέ τόσο μεγάλες έντασεις. "Ετσι π.χ. ένα ξηρό στοιχείο θά καταστραφεῖ μέσα σέ λίγα λεπτά άν βραχυκυκλωθούν οι πόλοι του. Πρέπει συνεπώς νά προσέχομε πάρα πολύ, ώστε νά μή συμβαίνουν βραχυκυκλώματα στούς πόλους τών ήλεκτρικών πηγών.

Παράδειγμα 1.

Στό κλειστό κύκλωμα τοῦ σχήματος 3.8 δίνεται ή ήλεκτρεγερτική δύναμη $E = 3 \text{ V}$, ή έσωτερική άντισταση $r = 1,5 \Omega$ καί ή άντισταση τοῦ καταναλωτῆ $R = 10,5 \Omega$. Νά βρεθοῦν ή ένταση I καί ή πολική τάση U .

Λύση:

Ο νόμος τοῦ "Ωμ έφαρμοζόμενος στό κλειστό κύκλωμα μᾶς δίνει:

$$I = \frac{E}{R + r} = \frac{3}{10,5 + 1,5} = 0,25 \text{ A}$$

καί

$$U = E - r \cdot I = 3 - 1,5 \times 0,25 = 2,625 \text{ V}$$

Παράδειγμα 2.

Από πηγή μέ ήλεκτρεγερτική δύναμη $E = 220 \text{ V}$ καί έσωτερική άντισταση $r = 5 \Omega$ πρόκειται νά τροφοδοτήσουμε 5 λαμπτήρες άπο τούς δύοιους ή καθένας είναι κατασκευμένος γιά τάση $U_{k_0} = 42 \text{ V}$ καί ένταση $I = 0,5 \text{ A}$. α) Πώς πρέπει νά συνδεθοῦν οι λαμπτήρες; β) Πόση θά είναι ή πολική τάση τής πηγής; γ) Ποιά άντισταση πρέπει νά συνδεθεῖ σέ σειρά μέ τήν πηγή γιά νά έργαζονται οι λαμπτήρες κανονικά;

Λύση:

α) Οι λαμπτήρες πρέπει νά συνδεθοῦν σέ σειρά, έτσι θά χρειάζονται γιά τή λειτουργία τους κανονική τάση:

$$U_k = 5 \cdot U_{k_0} = 5 \times 42 = 210 \text{ V}$$

Η τάση αύτή είναι μικρότερη άπο τήν ήλεκτρεγερτική δύναμη τής πηγής ($E = 220 \text{ V}$) καί θά πρέπει νά συνδεθεῖ μιά άντισταση σέ σειρά, ήποτε ή πηγή θά δίνει ρεύμα $I = 0,5 \text{ A}$.

β) Η πολική τάση τής πηγής θά είναι:

$$U = E - r \cdot I = 220 - 5 \times 0,5 = 217,5 \text{ V}$$

γ) Σέ σειρά πρέπει νά συνδεθεῖ μία άντισταση πού νά δημιουργεῖ μέ ένταση $I = 0,5 \text{ A}$ πώση τάσεως:

$$U_\sigma = U - U_k = 217,5 - 210 = 7,5 \text{ V}$$

Η τιμή τῆς άντιστάσεως σειρᾶς R_σ θά είναι:

$$R_\sigma = \frac{U_\sigma}{I} = \frac{7,5}{0,5} = 15 \Omega$$

Παράδειγμα 3.

Μιά ήλεκτρική πηγή μέ ήλεκτρεγερτική δύναμη $E = 3,8$ V, όταν τροφοδοτεῖ έναν καταναλωτή άντιστάσεως R μέ ένταση ρεύματος $I = 2$ A, έχει πολική τάση $U = 3,4$ V (σχ. 3.8). α) Ποιά είναι η τιμή τῆς έσωτερικής άντιστάσεως τῆς πηγῆς; β) Ποιά είναι η τιμή τῆς άντιστάσεως R τοῦ καταναλωτῆ; γ) Γιά ποιά τιμή τῆς R ή πηγή θά δώσει τή μέγιστη έντασή της καί πόση είναι αύτή;

Λύση:

α) Από τό νόμο τοῦ "Ωμ γιά κλειστό κύκλωμα" έχομε:

$$I = \frac{E}{R + r}$$

Από αύτή προκύπτει ότι:

$$r = \frac{E - R \cdot I}{I} = \frac{E - U}{I} = \frac{3,8 - 3,4}{2} = 0,2 \Omega$$

β) Η έξωτερική άντισταση ύπολογίζεται άπό τό νόμο τοῦ "Ωμ γιά καταναλωτή":

$$R = \frac{U}{I} = \frac{3,4}{2} = 1,7 \Omega$$

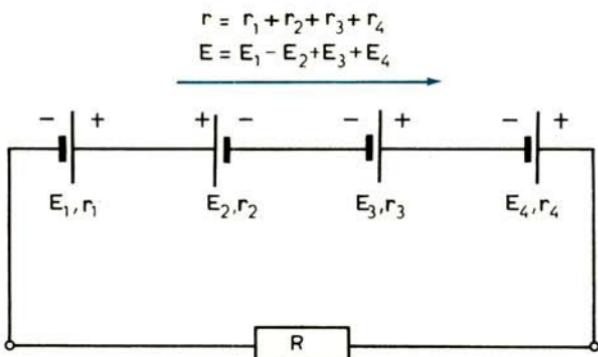
γ) Η μέγιστη τιμή τῆς έντάσεως ρεύματος πού μπορεῖ νά δώσει η πηγή είναι η ένταση βραχυκυκλώσεως, δηλαδή γιά $R = 0$. Είναι τότε:

$$I_{\mu\epsilon\gamma.} = \frac{E}{r} = \frac{3,8}{0,2} = 19 \text{ A}$$

3.9 Σύνδεση πηγῶν σέ σειρά.

Πολλές φορές έχομε άναγκη άπό μιά πηγή μέ άρισμένη ήλεκτρεγερτική δύναμη ένω διαθέτομε περισσότερες πηγές άπό τίς οποίες ή καθεμιά έχει μικρότερη άπ' αύτή πού θέλομε ήλεκτρεγερτική δύναμη. Τότε μποροῦμε, γιά νά άντιμετωπίσουμε τήν περίπτωση, δύο ή περισσότερες άπό τίς πηγές αυτές νά τίς συνδέσουμε σέ σειρά, όπως δείχνει τό σχήμα 3.9. Δηλαδή συνδέομε τόν άρνητικό πόλο τῆς πρώτης πηγῆς μέ τό θετικό τῆς δεύτερης, τόν άρνητικό τῆς δεύτερης μέ τό θετικό τῆς τρίτης Κ.Ο.Κ.





Σχ. 3.9.
Συστοιχία.

Τό συγκρότημα αύτό τῶν πηγῶν, πού εἶναι συνδεμένες ὅπως περιγράφαμε, λέγεται **συστοιχία** (τὸ σχῆμα 3.10β δείχνει μιά ἄλλη συμβολική σχεδίαση τῆς συστοιχίας). Θετικός πόλος τῆς συστοιχίας εἶναι ὁ θετικός πόλος τῆς πρώτης καὶ ἀρνητικός πόλος ὁ ἀρνητικός πόλος τῆς τελευταίας πηγῆς. Τέτοιες συστοιχίες εἶναι π.χ. οἱ συσσωρευτές τῶν αὐτοκινήτων, πού ἀποτελοῦνται ἀπό 3 ἢ 6 στοιχεῖα, οἱ ξηρές μπαταρίες ἢ στῆλες πού ἀποτελοῦνται ἀπό 3 ἢ περισσότερα ξηρά στοιχεῖα κλπ.

Ἡ ἡλεκτρεγερτική δύναμη τῆς συστοιχίας εἶναι ἵση μέ τό ἄθροισμα τῶν ἡλεκτρεγερτικῶν δυνάμεων τῶν πηγῶν πού τήν ἀποτελοῦν. Δηλαδή:

$$E = E_1 + E_2 + E_3 + \dots$$

Αὐτό προκύπτει ἀπό τό δεύτερο κανόνα τοῦ Κίρχωφ, μέ τόν ὅποιο ὅπως καὶ ἄλλο ἀναφέραμε, δέν θά ἀσχοληθοῦμε στό βιβλίο αὐτό. Πάντως καὶ ποιοτικά εἶναι εὔκολο νά γίνει κατανοητό, ὅταν σκεφθεῖ κανεῖς ὅτι μέ τή σύνδεση πού περιγράφαμε, ὅλες οἱ πηγές ὡθοῦν τά ἡλεκτρόνια πρός τήν ἴδια κατεύθυνση.

Ἡ ἐσωτερική ἀντίσταση τῆς συστοιχίας εἶναι ἐπίσης ἄθροισμα τῶν ἐσωτερικῶν ἀντιστάσεων τῶν πηγῶν πού τήν ἀποτελοῦν, ἀφοῦ ὅλες εἶναι ἐνωμένες σέ σειρά. Δηλαδή:

$$r = r_1 + r_2 + r_3 + \dots$$

"Οταν ἡ συστοιχία ἀποτελεῖται ἀπό ν ὅμοιες ἡλεκτρικές πηγές, ἀπό τίς ὅποιες ἡ καθεμιά ἔχει ἡλεκτρεγερτική δύναμη E_0 καὶ ἐσωτερική ἀντίσταση r_0 , τότε γιά τήν E καὶ r τῆς συστοιχίας ἔχομε:

$$E = v \cdot E_0$$

$$r = v \cdot r_0$$

‘Ο νόμος τοῦ “Ωμ γιά κλειστό κύκλωμα (παράγρ. 5.8)

$$I = \frac{E}{R + r}$$

έφαρμόζεται καί στήν περίπτωση πού τό κλειστό κύκλωμα τροφοδοτεῖται άπο μιά συστοιχία. Άρκει στόν παραπάνω τύπο τά Ε καί r νά είναι ή ήλεκτρεγερτική δύναμη καί ή έσωτερική άντίσταση τής συστοιχίας.

3.10 Συσσωρευτές μολύβδου.

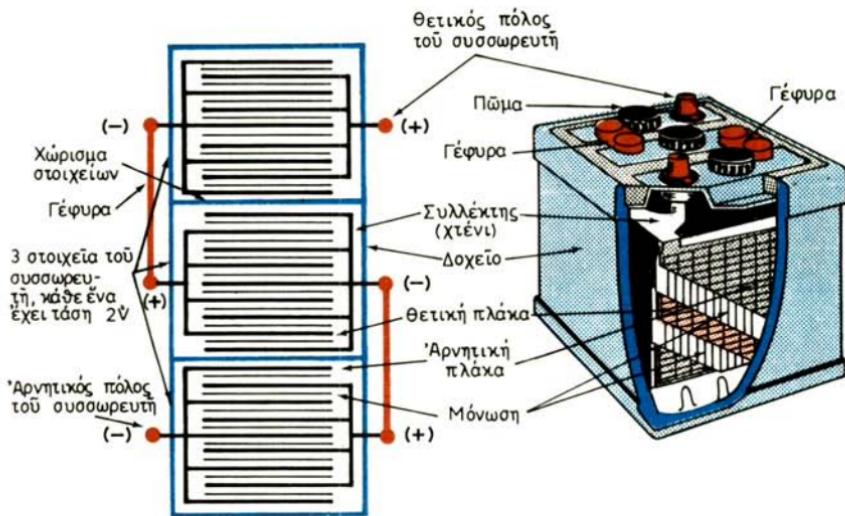
“Οπως άναφέραμε, άπο τίς πιό συνηθισμένες έφαρμογές τῶν συστοιχιῶν είναι οι **συσσωρευτές**. Σ’ αύτούς 3 ή 6 ή καί περισσότερα στοιχεῖα συνδέονται σέ σειρά γιά νά έχομε τάσεις 6, 12 ή καί περισσότερα βόλτα.

Τά στοιχεῖα τῶν συσσωρευτῶν διαφέρουν άπο τά ήλεκτρικά στοιχεῖα, πού περιγράψαμε στίς παραγράφους 1.8 καί 2.2, στό ότι δέν παράγουν άπως έκεινα ήλεκτρισμό, δηλαδή ήλεκτρική ένέργεια. Οι συσσωρευτές **άποθηκεύουν** τήν ήλεκτρική ένέργεια, πού τούς δίνομε κατά τή **φόρτιση** καί τήν άποδίδουν ώς συνεχές ήλεκτρικό ρεῦμα κατά τήν **έκφροτισή** τους, δηλαδή θταν συνδέσομε έναν καταναλωτή μεταξύ τῶν πόλων τους. Αύτή ή φόρτιση καί έκφροτισή ένός συσσωρευτῆ μπορεῖ νά γίνει πάρα πολλές φορές, χωρίς νά πάθει τίποτε δ συσσωρευτής.

Συσσωρευτές ύπαρχουν πολλών ειδῶν. Αύτοί πού χρησιμοποιούνται συνήθως είναι οι **συσσωρευτές μολύβδου**. “Ενας τέτοιος συσσωρευτής, άποτελούμενος άπο 3 στοιχεῖα, φαίνεται σέ μερική τομή στό δεξιό μέρος τοῦ σχήματος 3.10a. Στό άριστερό μέρος τοῦ ίδιου σχήματος φαίνεται ή συνδεσμολογία τοῦ συσσωρευτῆ. “Οπως παρατηροῦμε τά τρία στοιχεῖα συνδέονται σέ σειρά μέ τίς έξωτερικές **γέφυρες** καί έτσι δ συσσωρευτής αύτός δίνει τάση $3 \times 2 V = 6 V$ μεταξύ τῶν δύο πόλων του, άφού κάθε στοιχεῖο τῶν συσσωρευτῶν μολύβδου δίνει τάση περίπου $2 V$.

Τό **δοχεῖο** (σχ. 3.10a) τῶν συσσωρευτῶν μολύβδου είναι κατασκευασμένο άπο **σκληρό έλαστικό** (έβονίτη) ή άπο **άσφαλτικό μίγμα** καί σπανιότερα άπο γυαλί. Μέ τά **χωρίσματα** πού είναι κατασκευασμένα άπο τό ίδιο υλικό, τό δοχεῖο αύτό διαιρεῖται σέ τόσα διαμερίσματα, δσος είναι δί αριθμός τῶν στοιχείων του, άπως φαίνεται στό άριστερό μέρος τοῦ σχήματος 3.10a.

Τό κάθε στοιχεῖο τοῦ συσσωρευτῆ άποτελεῖται άπο έναν δρισμένο άριθμό **πλακών άπό μόλυβδο**. Οι πλάκες συνήθως είναι έννια. Άπο αύτές οι πέντε άποτελούνται άπο σπογγώδη μόλυβδο, πού είναι ένα είδος μολύβδου καί έχουν γκρίζο χρῶμα. Οι ύπολοιπες 4 φέρουν έπιστρωση άπο ζειδίο τοῦ μολύβδου καί γι’ αύτό έχουν χρῶμα καφέ.



Σχ. 3.10a.
Συσσωρευτής μολύβου 6 V.

"Όπως φαίνεται καί στό άριστερό μέρος του σχήματος 3.10a, οι πλάκες των δύο ειδών πού άναφέραμε, τοποθετοῦνται μέσα σε κάθε διαμέρισμα του δοχείου έναλλαξ. Μεταξύ των πλακών αυτών τοποθετοῦνται **μονώσεις** οι οποίες δέν έπιτρέπουν στίς πλάκες άπο μόλυβδο νά έλθουν σε έπαφή μεταξύ τους ή μέ τά τοιχώματα του δοχείου.

Οι πέντε **άρνητικές πλάκες** άπο σπογγώδη μόλυβδο συνδέονται μεταξύ τους μέ τό **συλλέκτη ή κτενί**, πού είναι καί αυτός άπο μόλυβδο καί άποτελούν τόν άρνητικό πόλο του στοιχείου. Τό θετικό πόλο του ίδιου στοιχείου άποτελούν οι τέσσερις **θετικές πλάκες** μέ τήν έπιστρωση άπο τό δξείδιο του μολύβδου, πού συνδέονται έπίσης μεταξύ τους μέ έναν άλλο συλλέκτη. Ό άρνητικός πόλος του πρώτου στοιχείου καί ο θετικός πόλος του τελευταίου στοιχείου άποτελούν τούς άντιστοιχους πόλους του σωσσωρευτῆ.

Μετά τήν τοποθέτηση των πλακών καί τῶν μονωτικῶν, τό κάθε διαμέρισμα τού δοχείου τού συσσωρευτῆ τό γεμίζομε μέ ήλεκτρολύτη, πού είναι διάλυμα θειικού δξέος σέ άποσταγμένο νερό μέ θρισμένη άναλογία, δηλαδή μέ θρισμένη **πυκνότητα**, όπως λέμε.

'Ο ήλεκτρολύτης πρέπει νά φθάνει μέχρι τούς συλλέκτες. Στό **κάλυμμα** τού δοχείου ύπάρχουν τρύπες μέ κατάλληλα **πώματα**, πού μᾶς έπιπτρέπουν νά έπιθεωρούμε τόν ήλεκτρολύτη καί, ἀν χρειάζεται, νά τόν συμπληρώνωμε. Έπισης τά πώματα αυτά έπιπτρέπουν τόν έξαερισμό τού δοχείου άπο τά άέρια πού παράγονται κατά τή λειτουργία τού συσσωρευτῆ.

Η φόρτιση τοῦ συσσωρευτῆ γίνεται, όπως θά δοῦμε καί μέ ένα παράδειγμα στά ἐπόμενα, μέ τό πέρασμα συνεχοῦς ρεύματος μέσα ἀπό τό συσσωρευτή καί μάλιστα ἀπό τό θετικό πόλο του πρός τόν ἀρνητικό. Κατά τή φόρτιση, μέ τίς χημικές δράσεις πού γίνονται μεταξύ τοῦ ἡλεκτρολύτη καί τῶν πλακῶν τοῦ μολύβδου, ἀποθηκεύεται ἡ ἡλεκτρική ἐνέργεια, πού δίνει τό συνεχές ρεῦμα στό συσσωρευτῆ, ὡς χημική ἐνέργεια. Ή ἐνέργεια αὐτή ἀποδίδεται ἀπό τό συσσωρευτή στήν ἑκφόρτιση, δόποτε λειτουργεῖ σάν μία ἡλεκτρική πηγή πού παράγει συνεχές ρεῦμα.

Η ἡλεκτρεγερτική δύναμη (E_0) τῶν στοιχείων τοῦ συσσωρευτῆ δέν ἔχαρτᾶται ἀπό τό πλῆθος ἡ τό μέγεθος τῶν πλακῶν μολύβδου, πού ἔχει τό στοιχεῖο, ἀλλά μόνο ἀπό τό εἶδος τῶν ύλικῶν κατασκευῆς καί τήν πυκνότητα τοῦ ἡλεκτρολύτη. Η ἡλεκτρεγερτική δύναμη ἐνός συσσωρευτῆ μέ ν στοιχεῖα εἶναι:

$$E = v \cdot E_0$$

Η ἐσωτερική ἀντίσταση (r_0) τῶν στοιχείων τοῦ συσσωρευτῆ εἶναι μικρή καί συνήθως ἔχει τιμές μεταξύ 0,01 Ω καί 0,001 Ω. Η ἐσωτερική ἀντίσταση ὅλου τοῦ συσσωρευτῆ εἶναι:

$$r = v \cdot r_0$$

Η τάση πού μετροῦμε μεταξύ τῶν πόλων τοῦ συσσωρευτῆ (πολική τάση), ὅταν αὐτός ἐκφορτίζεται, εἶναι περίπου 2 V ἀνά στοιχεῖο, ὅπως ἀναφέραμε καί στήν ἀρχή τῆς παραγράφου. "Οταν δ συσσωρευτής ἔχει ἐκφορτισθεῖ τελείως, ἡ τάση κάθε στοιχείου του μπορεῖ νά πέσει μέχρι 1,7 V. "Οταν φθάσει σ' αὐτήν τήν τάση, δέν πρέπει νά ἀφήσομε τό συσσωρευτή νά ἐκφορτισθεῖ περισσότερο, γιατί θά καταστραφοῦν οἱ πλάκες του.

Κατά τή φόρτιση ἡ τάση τοῦ συσσωρευτῆ φθάνει τά 2,5 ὥς 2,6 V γιά κάθε στοιχεῖο. Η τάση αὐτή δέν ἀνεβαίνει περισσότερο, ἔστω καί ἀν ἔξακολουθοῦμε τή φόρτιση.

Σημειώνομε ἐπίσης ὅτι ἡ πυκνότητα τοῦ ἡλεκτρολύτη ἔχει μεγάλη σημασία γιά τήν καλή λειτουργία τοῦ συσσωρευτῆ. Θά πρέπει συνεπώς νά τήν παρακολουθοῦμε καί νά τή ρυθμίζομε, ἀν χρειάζεται, σύμφωνα καί μέ τίς λεπτομερεῖς δόηγίες, πού ύπάρχουν γι' αὐτό τό θέμα.

Χωρητικότητα ἐνός συσσωρευτῆ δονομάζομε τήν ίκανότητά του νά ἀποθηκεύει ἡλεκτρική ἐνέργεια. Η χωρητικότητα μετριέται μέ τό γινόμενο τῆς (σταθερῆς) ἐντάσεως τοῦ ρεύματος, πού παίρνομε ἀπό τό συσσωρευτή ἐπί τό χρόνο πού διαρκεῖ ἡ ἐκφόρτισή του. Η μονάδα μέ τήν δύναμη μετριέται ἡ χωρητικότητα εἶναι τό **άμπερώριο** μέ σύμβολο Ah. Π.χ. ἔνας συσσωρευτής πού ἔχει χωρητικότητα 100 Ah, μπορεῖ νά μᾶς δώσει ἔνταση ρεύματος 25 A ἐπί 4 ὥρες ἡ ἔνταση ρεύματος 10 A

έπι 10 ώρες ή ένταση ρεύματος 5 A έπι 20 ώρες.

‘Η χωρητικότητα κάθε στοιχείου τοῦ συσσωρευτῆ ἔξαρτᾶται ἀπό τό μέγεθος τῶν πλακῶν καὶ ἀπό τὸν ἀριθμό τῶν πλακῶν.’ Οταν θέλομε νά αύξησομε τή χωρητικότητα, αύξανομε τὸν ἀριθμό τῶν πλακῶν, π.χ. σὲ 15 ή 19 πλάκες γιά κάθε στοιχεῖο, ή τό μέγεθός τους ή τέλος καί τά δύο.

‘Η φόρτιση τῶν συσσωρευτῶν πρέπει νά γίνεται μέ ενταση ρεύματος ἵση μέ τό 1/10 ή τό 1/20 τοῦ ἀριθμοῦ τῶν ἀμπερωρίων του. Σέ ἐξαιρετικές περιπτώσεις μπορεῖ νά φθάνει τό 1/3. Ο ἀντίστοιχος **χρόνος φορτίσεως** είναι 10 ώρες ή 20 ώρες ή 3 ώρες. Η φόρτιση πρέπει νά σταματᾶ ὅταν δ συσσωρευτής φορτισθεῖ τελείως.

‘Η ἐκφόρτιση τῶν συσσωρευτῶν δέν πρέπει νά γίνεται σέ πολύ μικρό χρόνο (π.χ. λιγότερο ἀπό 3 ώρες). Η κανονική ένταση γιά τήν ἐκφόρτιση ἐνός συσσωρευτῆ μολύβδου είναι ἵση μέ τό 1/10 τῶν ἀμπερωρίων του. Υπάρχουν δημοσιεύσεις πού μποροῦν νά δίνουν πολύ μεγαλύτερες ἐντάσεις. Π.χ. ἔνας συσσωρευτής αὐτοκινήτου 100 Ah μπορεῖ νά δώσει ἐντάσεις 300 A ή 500 A γιά πολλά δευτερόλεπτα. Βραχυκύκλωση τῶν πόλων ἐνός συσσωρευτῆ, δόποτε γίνεται γρήγορη ἐκφόρτισή του, ἐπιφέρει τήν καταστροφή του γιατί στρεβλώνουν οι πλάκες τῶν στοιχείων του.

Παράδειγμα.

‘Ἐνας συσσωρευτής ἀποτελεῖται ἀπό 6 στοιχεῖα, ἀπό τά δημοσιεύσεις τοῦ καθένα ἔχει ἡλεκτρεγερτική δύναμη $E_0 = 2,02$ V καὶ ἐσωτερική ἀντίσταση $r_0 = 0,01$ Ω. Ο συσσωρευτής τροφοδοτεῖ συγκρότημα λαμπτήρων πού ἔχει ἴσοδύναμη ἀντίσταση $R_k = 0,91$ Ω (σχ. 3.10β). Ο κάθε συνδετικός ἀγωγός PA καὶ NB ἔχει ἀντίσταση 0,02 Ω. Νά βρεθοῦν: α) Η ένταση τοῦ ρεύματος I πού περνά μέσα ἀπό τό κύκλωμα. β) Η πολική τάση U_{PN} τοῦ συσσωρευτῆ. γ) Η πώση τάσεως μέσα στό συσσωρευτή. δ) Η τάση U_{AB} πού ἐφαρμόζεται στούς λαμπτήρες. ε) Η πώση τάσεως στούς συνδετικούς ἀγωγούς.

Λύση:

‘Υπολογίζομε πρῶτα:

– Τήν ἡλεκτρεγερτική δύναμη τοῦ συσσωρευτῆ, πού είναι:

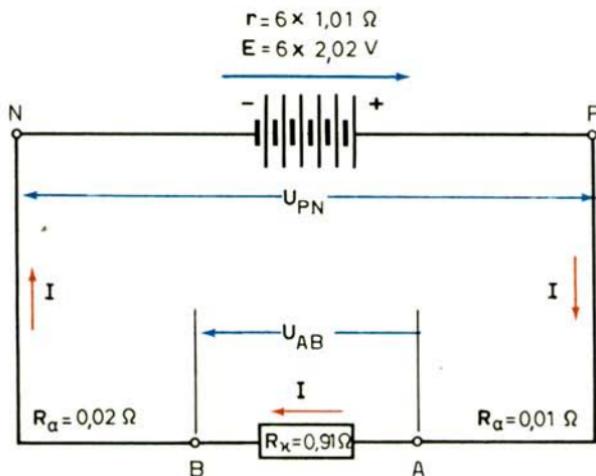
$$E = 6 \times 2,02 = 12,12 \text{ V}$$

– Τήν ἐσωτερική ἀντίσταση τοῦ συσσωρευτῆ πού είναι:

$$r = 6 \times 0,01 = 0,06 \text{ } \Omega$$

– Τήν ἀντίσταση τοῦ κυκλώματος πού είναι:

$$R = R_a + R_k + R_d = 0,02 + 0,91 + 0,02 = 0,95 \text{ } \Omega$$



Σχ. 3.10β.

α) Η ένταση του ρεύματος I ύπολογίζεται από τό νόμο του "Ωμ γιά κλειστό κύκλωμα. Είναι δηλαδή:

$$I = \frac{E}{R + r} = \frac{12,12}{0,95 + 0,06} = 12 \text{ A}$$

β) Για τήν πολική τάση U_{PN} έχομε:

$$U_{PN} = R \cdot I = 0,95 \times 12 = 11,4 \text{ V}$$

γ) Η πώση τάσεως μέσα στό συσσωρευτή είναι:

$$r \cdot I = 0,06 \times 12 = 0,72 \text{ V}$$

Έπαλήθευση:

$$\text{Πρέπει } E = U_{PN} + r \cdot I = 11,4 + 0,72 = 12,12 \text{ V}$$

δ) Η τάση U_{AB} πού έφαρμόζεται στούς λαμπτήρες είναι:

$$U_{AB} = R_k \cdot I = 0,91 \times 12 = 10,92 \text{ V}$$

ε) Η πώση τάσεως στούς συνδετικούς άγωγούς είναι γιά τόν καθένα:

$$R_a \cdot I = 0,02 \times 12 = 0,24 \text{ V}$$

Η συνολική πώση τάσεως στούς άγωγούς είναι $0,48 \text{ V}$.

Έπαλήθευση:

$$\text{Πρέπει } U_{PN} = U_{AB} + 2R_a \cdot I = 10,92 + 0,48 = 11,4 \text{ V}$$

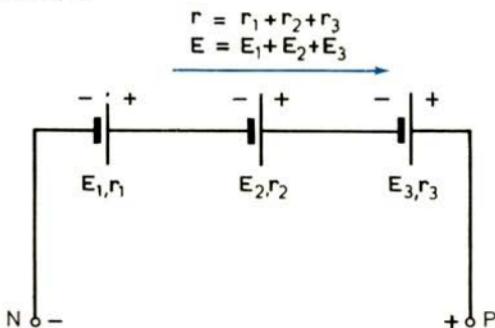
3.11 Άντιηλεκτρεγερτική δύναμη.

"Αν μιά άπό τίς πηγές μιᾶς συστοιχίας συνδεθεῖ άνάποδα, όπως ή πηγή E_2 στό σχήμα 3.11a, τότε, γιά νά βροῦμε τήν ήλεκτρεγερτική δύναμη E τής συστοιχίας, θά πρέπει άπό τό άθροισμα τῶν ήλεκτρεγερτικῶν δυνάμεων τῶν ἄλλων πηγῶν νά ἀφαιρέσομε τήν ήλεκτρεγερτική δύναμη τῆς πηγῆς πού ἔχει συνδεθεῖ άνάποδα.

Μέ ἄλλα λόγια ή E , πού εἶναι ή συνισταμένη τῶν ήλεκτρεγερτικῶν δυνάμεων δλων τῶν πηγῶν, εἶναι ίση μέ τό άλγεβρικό άθροισμά τους:

$$E = E_1 - E_2 + E_3 + E_4$$

Αύτό προκύπτει άπό τό δεύτερο κανόνα τοῦ Κίρχωφ εἶναι δημος καί εύκολονότο, ἀφοῦ ή E_2 τοῦ σχήματος 3.11a βρίσκεται σέ αντίθεση μέ τήν ὥθηση τῶν ήλεκτρονίων, πού ἀσκοῦν οἱ ὑπόλοιπες πηγές. Αύτός εἶναι ὁ λόγος, πού στίς περιπτώσεις αὐτές ή E_2 ονομάζεται **άντιηλεκτρεγερτική δύναμη**.



Σχ. 3.11a.

"Οταν η συστοιχία τροφοδοτεῖ ἕνα κύκλωμα, τό ρεῦμα πού κυκλοφορεῖ μέσα στό κύκλωμα συναντᾶ συνδεμένες σέ σειρά δλες τίς ἐσωτερικές άντιστάσεις τῶν πηγῶν, τόσο αὐτῶν πού εἶναι κανονικά συνδεσμολογημένες, ὅσο καί αὐτῶν πού εἶναι άνάποδα. Δηλαδή ή ἐσωτερική άντισταση τῆς συστοιχίας καί στήν περίπτωση αὐτή ίσοῦται μέ τό άθροισμα τῶν ἐσωτερικῶν άντιστάσεων δλων τῶν πηγῶν. Δηλαδή:

$$r = r_1 + r_2 + r_3 + r_4$$

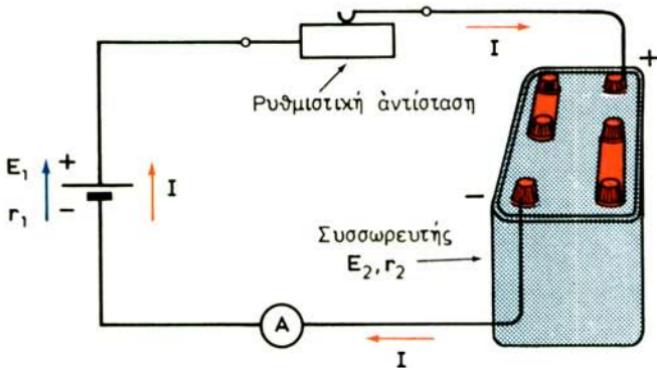
Μέ αὐτά τά E καί r μποροῦμε νά ἐφαρμόσομε τόν νόμο τοῦ "Ωμ γιά κλειστό κύκλωμα:

$$I = \frac{E}{R + r}$$

καὶ στήν περίπτωση, πού ύπάρχουν πηγές συνδεσμολογημένες άνάποδα, δηλαδή πού ύπάρχουν άντιηλεκτρεγερτικές δυνάμεις.

Στήν πράξη έμφανιζονται συχνά άντιηλεκτρεγερτικές δυνάμεις. Θά έξετασομε τήν περίπτωση φορτίσεως τῶν συσσωρευτῶν καὶ τήν περίπτωση λειτουργίας τῶν ήλεκτροκινητήρων.

Γιά νά φορτίσομε ἔνα συσσωρευτή πρέπει νά τόν συνδέσομε μέ μιά πηγή συνεχοῦς ρεύματος, πού νά έχει μεγαλύτερη ήλεκτρεγερτική δύναμη ἀπ' αὐτόν. Ή συνδεσμολογία γίνεται ὅπως φαίνεται στό σχῆμα 3.11β.



Σχ. 3.11β.
Διάταξη φορτίσεως συσσωρευτῆ.

Πρέπει δηλαδή ὁ θετικός πόλος τοῦ συσσωρευτῆ νά συνδεθεῖ μέ τό θετικό πόλο τῆς πηγῆς καὶ ὁ άρνητικός μέ τόν άρνητικό. Δηλαδή ἡ ήλεκτρεγερτική δύναμη τοῦ συσσωρευτῆ, ὁ δοποῖος ἐδῶ εἶναι καὶ ὁ καταναλωτής, εἶναι άντιηλεκτρεγερτική δύναμη στό κύκλωμα φορτίσεως, ἀφοῦ άντιστέκεται στήν κυκλοφορία τοῦ ρεύματος.

Ἡ ρυθμιστική άντισταση, πού έχει συνδεθεῖ στό κύκλωμα τοῦ σχήματος 3.11β, σκοπό έχει νά μᾶς ἐπιτρέπει νά ρυθμίζομε τήν ἔνταση I τοῦ **ρεύματος φορτίσεως** τοῦ συσσωρευτῆ, πού παρακολουθοῦμε μέ τό ἀμπερόμετρο τοῦ κυκλώματος.

Ἡ ήλεκτρεγερτική δύναμη τοῦ κυκλώματος φορτίσεως τοῦ συσσωρευτῆ εἶναι:

$$E = E_1 - E_2$$

ὅπου: E_1 ἡ ήλεκτρεγερτική δύναμη τῆς πηγῆς καὶ

E_2 ἡ ήλεκτρεγερτική δύναμη τοῦ συσσωρευτῆ.

Ἡ συνολική ἐσωτερική άντισταση πηγῆς καὶ συσσωρευτῆ εἶναι:

$$r = r_1 + r_2$$

όπου: r_1 ή έσωτερική άντίσταση της πηγῆς και

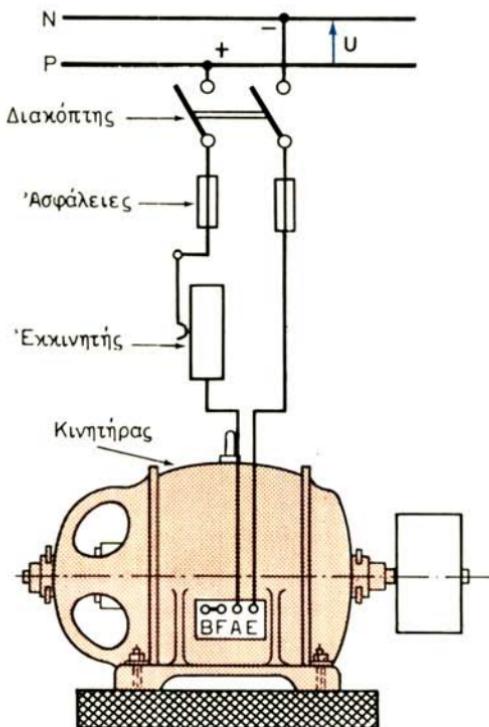
r_2 ή έσωτερική άντίσταση τοῦ συσσωρευτῆ.

Μία άλλη συνθήσιμένη περίπτωση, δημοσιεύεται στήν πράξη άντιλεκτρεγερτικές δυνάμεις, εἶναι η περίπτωση τῶν ήλεκτροκινητήρων. "Οταν ὁ κινητήρας λειτουργεῖ, άναπτύσσει, όπως θά έξηγήσομε ἀργότερα, άντιλεκτρεγερτική δύναμη E_a πού εἶναι άντιθετη ἀπό τὴν τάση U τοῦ δικτύου πού τὸν τροφοδοτεῖ.

"Αν παραδεχτοῦμε ὅτι η τάση U τοῦ δικτύου εἶναι σταθερή, δηλαδή ἀνεξάρτητη τοῦ φορτίου τοῦ κινητήρα, πράγμα πού μέ αλλα λόγια σημαίνει ὅτι η έσωτερική άντίσταση τοῦ δικτύου εἶναι μηδενική τότε η ἐνταση τοῦ ρεύματος πού περνᾶ μέσα ἀπό τὸν κινητήρα, ύπολογίζεται ἀπό τὴν σχέση:

$$I = \frac{U - E_a}{r} \quad \text{σὲ } A$$

ὅπου r εἶναι η άντίσταση τοῦ τυλίγματος τοῦ κινητήρα.



Σχ. 3.11γ.

Συνδεσμολογία τροφοδοτήσεως κινητήρα.

"Όπως είπαμε, ή άντιηλεκτρεγερτική δύναμη στούς κινητήρες άναπτυσσεται όταν οι κινητήρες περιστρέφονται. Ήρα τή στιγμή πού θέτομε τόν κινητήρα σέ λειτουργία, δηλαδή τή στιγμή πού κλείνομε τό διακόπτη γιά νά ξεκινήσει είναι $E_a = 0$. Ή ένταση τού ρεύματος πού θά περάσει μέσα άπο τόν κινητήρα θά είναι πολύ μεγάλη, άφού ή τιμή της τώρα προκύπτει άπο τή σχέση:

$$I_{\text{ΕΚΚ.}} = \frac{U}{r}$$

Γιά τό λόγο αύτό, όπως φαίνεται καί στό σχήμα 3.11γ συνδέομε σέ σειρά στό κύκλωμα τροφοδοτήσεως τού κινητήρα μιά ρυθμιστική **άντισταση έκκινησεως** πού όνομάζεται καί **έκκινητής**. Ή άντισταση αύτή περιορίζει τό ρεύμα στήν έκκινηση. "Ετσι δέν έχομε μεγάλα ρεύματα έκκινησεως, πού είναι άνεπιθύμητα γιατί προκαλοῦν άνωμαλίες στούς ύπόλοιπους καταναλωτές πού τροφοδοτούνται άπο τά δίκτυα, τά δποια τροφοδοτούν τούς κινητήρες. "Οταν θα κινητήρας ξεκινήσει καί άναπτύξει άρκετή άντιηλεκτρεγερτική δύναμη, μετακινώντας τό στρόφαλο τής ρυθμιστικής άντιστάσεως, τήν άφαιρούμε σιγά - σιγά άπο τό κύκλωμα.

Παράδειγμα 1.

Στό κύκλωμα φορτίσεως ένός συσσωρευτή είναι $E_1 = 24 \text{ V}$, $r_1 = 0,2 \Omega$, $E_2 = 6 \text{ V}$ καί $r_2 = 0,06 \Omega$. "Αν, γιά μιά δρισμένη θέση τού στροφάλου, ή άντισταση R τής ρυθμιστικής άντιστάσεως καί τών συνδετικών άγωγών είναι $1,24 \Omega$, νά ύπολογισθούν: α) Ή ένταση φορτίσεως τού συσσωρευτή καί β) ή τάση πού θά έδειχνε ένα βολτόμετρο συνδεμένο στούς πόλους τού συσσωρευτή.

Λύση:

α) Ή ένταση φορτίσεως δίνεται άπο τό νόμο τού "Ωμ γιά τό κλειστό κύκλωμα:

$$I = \frac{E}{R + r_1 + r_2} = \frac{E_1 - E_2}{R + r_1 + r_2} = \frac{24 - 6}{1,24 + 0,2 + 0,06} = 12 \text{ A}$$

β) Γιά νά βρούμε τήν τάση στούς πόλους τού συσσωρευτή, πρέπει άπο τήν ήλεκτρεγερτική δύναμη τής πηγής νά άφαιρέσουμε τήν έσωτερηκή πτώση τάσεως της καί τήν πτώση τάσεως στή ρυθμιστική άντισταση καί τούς άγωγούς. Δηλαδή:

$$U = E - (r_1 \cdot I + R \cdot I) = 24 - (0,2 \times 12 + 1,24 \times 12) = 6,72 \text{ V}$$

Παράδειγμα 2.

"Ένας ήλεκτροκινητήρας τροφοδοτεῖται μέ ήλεκτρικό ρεύμα άπο δύ

κτυού τάσεως $U = 220$ V. Ό κινητήρας κατά τή λειτουργία του άναπτύσσει άντιηλεκτρεγερτική δύναμη $E_a = 210$ V. Άν ή άντισταση τού τυλίγματος τού κινητήρα είναι $0,4 \Omega$ νά ύπολογισθοῦν: α) Ή ένταση τού ρεύματος, πού ό κινητήρας άπορροφᾶ άπό τό δίκτυο. β) Ή ένταση τού ρεύματος, πού ό κινητήρας θά άπορροφήσει άπό τό δίκτυο, άν κάποια στιγμή άπό μιά έξωτερική αίτια άκινητοποιηθεῖ ο δξονάς του καί έχακολουθεῖ ή τροφοδότησή του μέ ήλεκτρικό ρεῦμα.

Λύση:

α) Ή ένταση τού ρεύματος πού ό κινητήρας άπορροφᾶ άπό τό δίκτυο είναι:

$$I = \frac{U - E_a}{r} = \frac{220 - 210}{0,4} = 25 \text{ A}$$

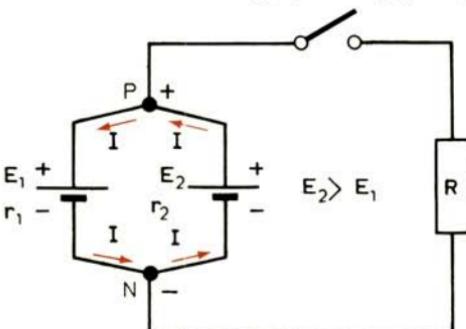
β) Ή ένταση τού ρεύματος, πού θά άπορροφήσει ο κινητήρας στήν περίπτωση αύτή, είναι δση καί ή ένταση τού ρεύματος έκκινήσεως. Είναι:

$$I_{\text{εκκ.}} = \frac{U}{r} = \frac{220}{0,4} = 550 \text{ A}$$

3.12 Παράλληλη σύνδεση πηγών.

Λέμε ότι δρισμένες ήλεκτρικές πηγές είναι σέ παράλληλη σύνδεση, όταν οι θετικοί πόλοι δλων τών πηγών είναι ένωμένοι μεταξύ τους καί οι άρνητικοί έπισης ένωμένοι μεταξύ τους (σχ. 3.12a). Τό κύκλωμα τού καταναλωτῆ R τροφοδοτεῖται άπό τούς δύο κόμβους P καί N, άπό τούς οποίους ό P είναι ο θετικός πόλος καί ό N ο άρνητικός.

"Όταν οι δύο πηγές δέν έχουν τίς ίδιες ήλεκτρεγερτικές δυνάμεις, δπως ύποτίθεται ότι είναι οι δύο πηγές τού σχήματος 3.12a ($E_2 > E_1$),



Σχ. 3.12a.

Παράλληλη σύνδεση πηγών.

τότε θά ύπάρχει ένα **ρεύμα κυκλοφορίας** μεταξύ τους και όταν άκόμα δέν τροφοδοτείται τό κύκλωμα καταναλώσεως (διακόπτης Δ άνοικτός). Ή πηγή μέ τή μικρότερη ήλεκτρεγερτική δύναμη (E_1) μεταβάλλεται σε καταναλωτή τῆς πηγῆς μέ τή μεγαλύτερη ήλεκτρεγερτική δύναμη (E_2). Τούτο θά έξακολουθήσει νά συμβαίνει και όταν κλείσομε τό διακόπτη και τροφοδοτηθεί ό καταναλωτής R .

Πρέπει συνεπῶς, όταν κάνομε παράλληλη σύνδεση πηγῶν, ή ήλεκτρεγερτική δύναμη δλων τῶν πηγῶν νά είναι ή ίδια γιατί άλλιως θά έχομε ρεύματα νά κυκλοφοροῦν δισκοπα μεταξύ τους. Ή ήλεκτρεγερτική δύναμη μεταξύ τῶν δύο κόμβων P καί N θά είναι στήν περίπτωση αύτή ίση μέ τήν ήλεκτρεγερτική δύναμη τῆς μιᾶς πηγῆς.

Στήν πράξη άποφεύγομε, συνήθως, νά συνδέσομε παράλληλα συσσωρευτές ή ήλεκτρικά στοιχεῖα. Οι πηγές αύτές και όταν άκόμη οι ήλεκτρεγερτικές δυνάμεις τους είναι ίσες στήν άρχή τῆς παράλληλης λειτουργίας τους, δέν είναι βέβαιο ότι θά έξακολουθήσουν νά είναι ίσες και μετά άπο δρισμένο χρόνο λειτουργίας.

Άντιθετα, ή παράλληλη λειτουργία γεννητριῶν συνεχοῦς ρεύματος είναι δυνατή, γιατί στίς μηχανές αύτές έχομε τή δυνατότητα νά ρυθμίζουμε τήν τιμή τῆς ήλεκτρεγερτικῆς δυνάμεως. Μποροῦμε συνεπῶς νά έξισώσουμε τίς ήλεκτρεγερτικές δυνάμεις τῶν μηχανῶν αύτῶν και πρίν άπο τήν παράλληλη σύνδεσή τους και κατά τήν παράλληλη λειτουργία τους.

Ή **ισοδύναμη έσωτερική άντισταση r** πηγῶν, μέ έσωτερικές άντιστάσεις r_1 , r_2 , r_3 πού λειτουργοῦν παράλληλα, δίνεται άπο τή σχέση:

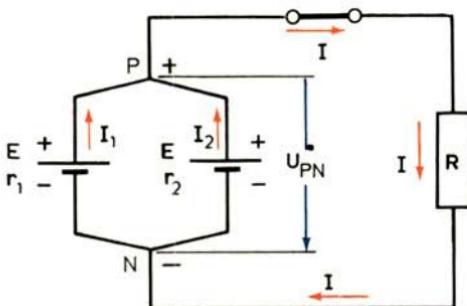
$$r = \frac{1}{\frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} + \frac{1}{r_3}}$$

Άν έχομε ν πηγές σέ παράλληλη σύνδεση, μέ τήν ίδια δημος έσωτερική άντισταση r_0 , τότε ή ισοδύναμη έσωτερική τους άντισταση θά είναι:

$$r = \frac{r_0}{v}$$

Χωρίς νά τό άποδείξομε άναλυτικά, άναφέρομε ότι στήν περίπτωση πού έχομε παράλληλη σύνδεση πηγῶν, οι όποιες έχουν ίσες ήλεκτρεγερτικές δυνάμεις και διαφορετικές έσωτερικές άντιστάσεις (σχ. 3.12β), μποροῦμε νά έφαρμόσουμε τό νόμο τού "Ωμ γιά τόν ύπολογισμό τῆς έντάσεως τοῦ ρεύματος τοῦ κλειστοῦ κυκλώματος

$$I = \frac{E}{R + r}$$



Σχ. 3.12β.

Παράλληλη σύνδεση πηγών μέ τις ίσες ήλεκτρεγερτικές δυνάμεις.

αν όπου E θέσομε τήν ήλεκτρεγερτική δύναμη τής μιᾶς πηγῆς και όπου r τήν ισοδύναμη έσωτερική άντίσταση τῶν πηγῶν, όπως ύπολογίζεται από τὸν παραπάνω τύπο.

Ο ύπολογισμός τῆς πολικῆς τάσεως U_{PN} γίνεται ἀπό τή σχέση:

$$U_{PN} = R \cdot I$$

Η έσωτερική πτώση τάσεως στίς δύο παράλληλες πηγές εἶναι ή ίδια:

$$r_1 \cdot I_1 = r_2 \cdot I_2 \quad \text{ή}$$

$$\boxed{\frac{I_1}{I_2} = \frac{r_2}{r_1}}$$

Δηλαδή οι έντάσεις τῶν ρευμάτων πού δίνουν οι δύο πηγές, εἶναι άντιστρόφως άναλογες μέ τίς έσωτερικές τους άντιστάσεις. Η πηγή μέ τή μεγαλύτερη έσωτερική άντισταση δίνει τή μικρότερη ένταση ρεύματος και ή πηγή μέ τή μικρότερη έσωτερική άντισταση τή μεγαλύτερη ένταση. "Όταν οι έσωτερικές άντιστάσεις εἶναι ίσες και οι έντάσεις τῶν ρευμάτων πού δίνουν οι δύο πηγές, εἶναι ίσες. Πάντως σέ κάθε περίπτωση εἶναι:

$$I_1 + I_2 = I$$

Παράδειγμα.

Δύο ήλεκτρικές πηγές μέ τις ίσες ήλεκτρεγερτικές δυνάμεις $E = 220 \text{ V}$ και έσωτερικές άντιστάσεις $r_1 = 0,4 \Omega$ και $r_2 = 0,6 \Omega$ έχουν συνδεθεῖ παράλληλα και τροφοδοτοῦν καταναλωτή μέ δίλική άντισταση τοῦ κυκλώματος καταναλώσεως $R = 2.176 \Omega$. Νά ύπολογισθοῦν: a) Η έντα-

ση τοῦ ρεύματος I , πού περνᾶ μέσα ἀπό τὸν καταναλωτή. β) Ἡ πολική τάση τῶν δύο πηγῶν πού εἶναι σὲ παράλληλη σύνδεση. γ) Ἡ ἐσωτερική πτώση τάσεως στὸ συγκρότημα τῶν δύο πηγῶν καὶ δ) ἡ ἔνταση τοῦ ρεύματος πού δίνει κάθε πηγή.

Λύση:

Βρίσκομε πρῶτα τὴν Ισοδύναμη ἐσωτερική ἀντίσταση τῶν δύο πηγῶν πού εἶναι:

$$r = \frac{r_1 \cdot r_2}{r_1 + r_2} = \frac{0,4 \times 0,6}{0,4 + 0,6} = 0,24 \Omega$$

α) Τὴν ἔνταση I τοῦ ρεύματος πού περνᾶ μέσα ἀπό τὸν καταναλωτή τὴν ὑπολογίζομε μέ τὸ νόμο τοῦ "Ωμ γιά τὸ κλειστό κύκλωμα":

$$I = \frac{E}{R + r} = \frac{220}{21,76 + 0,24} = 10 \text{ A}$$

β) Ἡ πολική τάση τῶν δύο παραλλήλων πηγῶν εἶναι:

$$\bullet \quad U_{PN} = R \cdot I = 21,76 \times 10 = 217,6 \text{ V}$$

γ) Ἡ ἐσωτερική πτώση τάσεως τῶν πηγῶν:

$$r \cdot I = 0,24 \times 10 = 2,4 \text{ V}$$

Ἐπαλήθευση:

$$E = U_{PN} + r \cdot I = 217,6 + 2,4 = 220 \text{ V}$$

δ) Ἡ ἐσωτερική πτώση τάσεως σὲ κάθε πηγή εἶναι ἵση μὲ τὴν ἐσωτερική πτώση τάσεως τοῦ συγκροτήματος τῶν δύο πηγῶν, πού εἶναι σὲ παράλληλη σύνδεση. Ἀρα:

$$r_1 \cdot I_1 = r_2 \cdot I_2 = r \cdot I = 2,4 \text{ V}$$

Ἄπο τίς σχέσεις αὐτές ὑπολογίζομε τίς ἔντασεις τῶν ρευμάτων πού δίνουν οἱ δύο πηγές. Εἶναι:

$$I_1 = \frac{r \cdot I}{r_1} = \frac{2,4}{0,4} = 6 \text{ A} \quad I_2 = \frac{r \cdot I}{r_2} = \frac{2,4}{0,6} = 4 \text{ A}$$

Ἐπαλήθευση:

$$I = I_1 + I_2 = 6 + 4 = 10 \text{ A}$$

3.13 Ἐρωτήσεις.

- Πώς ὀνομάζεται ἡ σχέση, πού συνδέει τὴν τάση, τὴν ἔνταση καὶ τὴν ἀντίσταση ἐνός καταναλωτῆ; Ποιές εἶναι οἱ τρεῖς μορφές πού παίρνει ἡ σχέση αὐτή;



2. Έξηγείστε μέ όνα παράδειγμα τί λέει ό κανόνας τών κόμβων.
3. Μέ τί ισούται τό άθροισμα τών έντάσεων τών ρευμάτων, πού περνοῦν μέσα από καταναλωτές σε παράλληλη σύνδεση; Τί γνωρίζετε γιά τίς τάσεις τών καταναλωτών αυτών;
4. Τί δονομάζουμε ισοδύναμη άντίσταση δύο καταναλωτών σε παράλληλη σύνδεση; Μέ ποιά σχέση τήν ύπολογίζομε;
5. Σέ τί χρησιμεύει καί πώς συνδέεται ή άντίσταση διακλαδώσεως ένός άμπερομέτρου;
6. Μέ τί ισούται τό άθροισμα τών τάσεων στά άκρα τών καταναλωτών πού βρίσκονται σε σύνδεση σειρᾶς; Τί γνωρίζεις γιά τίς έντάσεις τών ρευμάτων, πού περνοῦν μέσα από τόν κάθε καταναλωτή; Μέ τί ισούται ή δλική άντίστασή τους;
7. Μπορούν δύο καταναλωτές πού έιναι κατασκευασμένοι γιά διαφορετική ένταση ρεύματος, νά λειτουργήσουν σε σύνδεση σειρᾶς; Δικαιολόγησε τήν άπαντησή σου.
8. Πότε είμαστε ύποχρεωμένοι νά προκαλέσομε πώση τάσεως γιά νά τροφοδοτήσουμε έναν καταναλωτή από μιά δρισμένη πηγή; Πώς τή δημιουργούμε αύτή τήν πτώση τάσεως;
9. Μέ τί ισούται ή πτώση τάσεως στούς άγωγούς πού τροφοδοτούν έναν καταναλωτή;
10. Γιατί χρησιμοποιούμε τίς ρυθμιστικές άντιστάσεις;
11. Πόσων ειδών ρυθμιστικές άντιστάσεις έχομε; Πώς συμπεριφέρεται κάθε είδος σχετικά μέ τή συνεχή ή δχι ρύθμιση τού ρεύματος;
12. Πώς συνδέεται μιά ρυθμιστική άντισταση στό κύκλωμα ένός καταναλωτή; Πότε ή ένταση τού ρεύματος, πού περνά μέσα από τόν καταναλωτή, γίνεται μέγιστη καί πότε γίνεται έλαχιστη;
13. Σέ τί χρησιμεύει καί πώς συνδέεται ή άντισταση σειρᾶς ένός βολτομέτρου;
14. Δώσε ένα παράδειγμα μικτού κυκλώματος μέ τρεις καταναλωτές τροφοδοτούμενο από μιά πηγή. Σημείωσε τά βέλη τών έντάσεων τών ρευμάτων πού περνοῦν μέσα από τούς καταναλωτές καί τήν πηγή.
15. Σέ τί μᾶς χρησιμεύει καί πώς συνδέεται ό καταμεριστής τάσεως.
16. Τί λέει ό νόμος τού "Ωμ γιά τό κλειστό κύκλωμα";
17. Τί δονομάζουμε πολική τάση καί τί έσωτερική πτώση τάσεως μιᾶς πηγῆς;
18. Πότε ή ένταση τού ρεύματος πού δίνει μιά πηγή γίνεται μέγιστη; Πώς δονομάζεται ή ένταση αύτή;
19. Μέ τί ισούται ή ήλεκτρεγερτική δύναμη καί μέ τί ή έσωτερική άντισταση τεσσάρων δομιών ήλεκτρικών πηγῶν σε σύνδεση σειρᾶς; Σχεδίασε τή σχετική συνδεσμολογία.
20. Γράψε τό νόμο τού "Ωμ γιά τό (κλειστό) κύκλωμα φορτίσεως ένός συσσωρευτή ή πού μιά πηγή καί έξηγησε τί έιναι καθένα από τά μεγέθη, πού μπαίνουν στόν τύπο αύτού.
21. Ποιος τύπος δίνει τήν ένταση τού ρεύματος, πού άπορροφά ένας ήλεκτροκινητήρας στή λειτουργία του;
22. Γιατί ή ένταση έκκινησεως ένός ήλεκτροκινητήρα έιναι πολύ μεγάλη; Τί μέτρα παίρνομε γιά νά τήν περιορίσουμε;
23. Γιατί δέν πρέπει νά συνδέομε παράλληλα πηγές μέ διαφορετικές ήλεκτρεγερτικές δυνάμεις; Σχεδίασε τό κύκλωμα δύο τέτοιων πηγῶν μ' έναν καταναλωτή.
24. Πότε οι έντάσεις τών ρευμάτων, πού δίνουν δύο πηγές σε παράλληλη σύνδεση, είναι ίσες;

3.14 Προβλήματα.

1. Τό θερμαντικό στοιχείο ένός ήλεκτρικού σιδήρου έχει άντισταση

88 Ω. Τό σίδηρο είναι κατασκευασμένο γιά νά τροφοδοτεῖται μέ τάση 220 V. Ύπολόγισε τήν ἔνταση τοῦ ρεύματος πού άπορροφά τό σίδηρο όταν λειτουργεῖ.

Απάντ. 2,5 A

2. Τό νῆμα ἐνός λαμπτήρα πυρακτώσεως ἔχει ἀντίσταση 807 Ω όταν λειτουργεῖ. Μέσα ἀπό αὐτό περνᾶ ρεῦμα ἐντάσεως 0,273 A. Πόση είναι ἡ τάση τοῦ δικτύου ἀπό τό διποίο τροφοδοτεῖται δ λαμπτήρας;

Απάντ. 220 V

3. Τά ἄκρα ἐνός σύρματος ἀπό Κονσταντάν τροφοδοτοῦνται μέ τάση 220 V. Μέσα ἀπό τό σύρμα περνᾶ ρεῦμα ἐντάσεως 0,5 A. Ποιά είναι ἡ ἀντίσταση τοῦ σύρματος;

Απάντ. 440 Ω

4. Οι ἀντιστάσεις $R_1 = 5 \Omega$, $R_2 = 10 \Omega$, $R_3 = 15 \Omega$ είναι σέ παράλληλη σύνδεση μεταξύ τους.

a) Ποιά είναι ἡ Ισοδύναμη ἀντίστασή τους;

b) Ποιά ἔνταση θά περάσει μέσα ἀπό κάθε ἀντίσταση, ἀν ἡ τάση τῆς πηγῆς τροφοδοτήσεως είναι 120 V;

γ) Ποιά θά είναι ἡ ἔνταση τοῦ ρεύματος μέσα ἀπό τήν πηγή;

Απάντ. a) $2,72 \Omega$, b) $I_1 = 24 \text{ A}$, $I_2 = 12 \text{ A}$, $I_3 = 8 \text{ A}$, γ) $I = 44 \text{ A}$

5. Δύο ἀντιστάσεις $R_1 = 4 \Omega$ καί $R_2 = 6 \Omega$ σέ παράλληλη σύνδεση τροφοδοτοῦνται ἀπό μιά ήλεκτρική πηγή. Ἀν ἡ ἔνταση τοῦ ρεύματος πού δίνει ἡ πηγή είναι 10 A, νά ύπολογισθοῦν:

a) Ή πολική τάση τῆς καί

b) οι ἐντάσεις τῶν ρευμάτων πού περνοῦν μέσα ἀπό καθεμιά ἀντίσταση.

Απάντ. a) 24 V, b) 6 A, 4 A

6. "Ενα ἀμπερόμετρο ἔχει ἑσωτερική ἀντίσταση $R_0 = 1 \Omega$. Θέλομε νά ἐπεκτείνομε τήν περιοχή μετρήσεων τοῦ δργάνου ἀπό 0,15 A πού είναι σέ 30 A. Ποιά ἀντίσταση διακλαδώσεως πρέπει νά συνδέσομε στό ἀμπερόμετρο;

Απάντ. 0,005 Ω

7. Μέσα ἀπό τίς ἀντιστάσεις $R_1 = 5 \Omega$, $R_2 = 10 \Omega$, $R_3 = 15 \Omega$, $R_4 = 20 \Omega$ καί $R_5 = 30 \Omega$, πού βρίσκονται σέ σύνδεση σειρᾶς, περνᾶ ρεῦμα ἐντάσεως $I = 5 \text{ A}$.

a) Πόση είναι καθεμιά ἀπό τίς τάσεις U_1 , U_2 , U_3 , U_4 καί U_5 , πού ἐπικρατοῦν στά ἄκρα τῶν ἀντιστοίχων ἀντιστάσεων;

β) Πόση είναι ἡ συνολική τάση U;

Απάντ. a) 25 V, 50 V, 75 V, 100 V, 150 V

β) 400 V



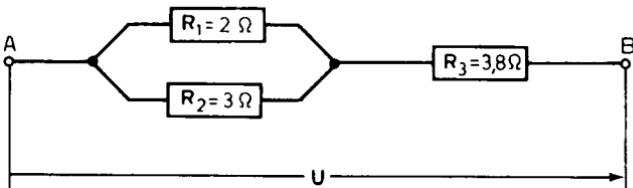
8. "Ενα βολτόμετρο, πού μετρά τάσεις μέχρι 240 V, έχει έσωτερική άντισταση 24.000 Ω . Ποιά άντισταση πρέπει νά συνδέσουμε σέ σειρά μέ το δργανο γιά νά έπεκτείνομε τήν περιοχή μετρήσεών του μέχρι τά 400 V;

Απάντ. 16.000 Ω

9. Τρεις καταναλωτές μέ άντιστάσεις $R_1 = 2 \Omega$, $R_2 = 4 \Omega$ και $R_3 = 6 \Omega$ συνδέονται σέ σειρά. Μεταξύ τῶν ἀκρων τοῦ κυκλώματος έφαρμόζεται τάση 24 V. Νά βρεθοῦν.

- a) Ή συνολική άντισταση τοῦ κυκλώματος τῶν τριῶν καταναλωτῶν.
 β) Ή ένταση τοῦ ρεύματος πού περνᾶ μέσα άπό αύτό και
 γ) ή τάση στά ἀκρα τοῦ κάθε καταναλωτῆ.

Απάντ. a) 12 Ω , β) 2 A, γ) 4 V, 8 V, 12 V



Σχ. 3.14.

10. Δύο καταναλωτές συνδέονται σέ σειρά. "Αν έφαρμόσουμε τάση 110 V στά ἀκρα τοῦ κυκλώματος τους, περνᾶ μέσα άπό αύτό ρεῦμα έντασεως 2 A. Ή άντισταση τοῦ ἐνός καταναλωτῆ εῖναι 19,5 Ω . Πόση εῖναι η άντισταση τοῦ ἄλλου καταναλωτῆ;

Απάντ. 35,5 Ω

11. Στό κύκλωμα τοῦ σχήματος 3.14, ἂν εῖναι $U = 12$ V, νά ύπολογισθοῦν:
 α) Ή ίσοδύναμη άντισταση τοῦ κυκλώματος.
 β) Ή ένταση τοῦ δλικού ρεύματος και
 γ) ή ένταση τοῦ ρεύματος, πού περνᾶ μέσα άπό κάθε καταναλωτή

Απάντ. a) 5 Ω , β) 2,4 A, γ) 1,44 A, 0,96 A, 2,4 A

12. Δύο καταναλωτές σέ παράλληλη σύνδεση έχουν άντιστάσεις $R_1 = 10 \Omega$ και $R_2 = 15 \Omega$. Ή γραμμή πού τούς τροφοδοτεῖ έχει μήκος 500 m και άποτελεῖται άπό χάλκινους ἀγωγούς μέ διατομή $S = 25 \text{ mm}^2$. "Αν η τάση τροφοδοτήσεως στήν ἀρχή τῆς γραμμῆς εῖναι 120 V, νά βρεθοῦν:
 α) Ή ένταση τοῦ ρεύματος πού περνᾶ μέσα άπό τή γραμμή.
 β) Ή ένταση τοῦ ρεύματος πού ἀπορροφᾶ κάθε καταναλωτής και

γ) ή τάση στά άκρα τοῦ καταναλωτῆ.

Απάντ. α) 17,91 A, β) 10,75 A, γ) 107,5 V

- 13.** Μεταξύ τῶν πόλων μιᾶς πηγῆς μέ ήλεκτρεγερτική δύναμη $E = 115$ V καί μέ έσωτερική άντίσταση $0,5 \Omega$, συνδέομε ἔνα κύκλωμα καταναλώσεως πού παρουσιάζει δλική άντίσταση 11Ω . Ποιά εἶναι ή ἔνταση τοῦ ρεύματος πού περνᾶ μέσα ἀπό τό κύκλωμα;

Απάντ. 10 A

- 14.** Μιά πηγή μέ έσωτερική άντίσταση $0,5 \Omega$, ἔχει πολική τάση 12 V διαταντροφοδοτεῖ τό κύκλωμα τοῦ σχήματος 3.14. Νά βρεθεῖ ή ήλεκτρεγερτική δύναμη τῆς πηγῆς.

Απάντ. 13,2 V

- 15.** Τί άντίσταση πρέπει νά συνδέσομε μεταξύ τῶν πόλων ἐνός συσσωρευτῆ, πού ἔχει ήλεκτρεγερτική δύναμη $6,1$ V καί έσωτερική άντίσταση $0,01 \Omega$, γιά νά κυκλοφορήσει ρεύμα ἐντάσεως 10 A μέσα ἀπό τό κύκλωμα;

Απάντ. 0,6 Ω

- 16.** "Ἐνας συσσωρευτής ἀποτελεῖται ἀπό 6 στοιχεῖα σέ σύνδεση σειρᾶς. Κάθε στοιχεῖο ἔχει ήλεκτρεγερτική δύναμη 2 V καί έσωτερική άντίσταση $0,002 \Omega$. 'Ο συσσωρευτής τροφοδοτεῖ 5 λαμπτήρες σέ παράλληλη σύνδεση. 'Ο κάθε λαμπτήρας ἔχει άντίσταση λειτουργίας $2,85 \Omega$. 'Αν ή άντισταση τῶν τροφοδοτικῶν γραμμῶν εἶναι ἀμελητέα, νά ύπολογισθοῦν:

- α) 'Η ίσοδύναμη άντισταση τῶν λαμπτήρων.
- β) 'Η ἔνταση τοῦ ρεύματος πού δίνει δ συσσωρευτής.
- γ) 'Η πολική τάση τοῦ συσσωρευτῆ καί
- δ) ή έσωτερική πτώση τάσεως στό συσσωρευτή.

Απάντ. α) $0,57 \Omega$, β) $20,6$ A, γ) $11,753$ V, δ) $0,247$ V

- 17.** "Ἐνας ήλεκτροκινητήρας τροφοδοτεῖται ἀπό μιά ήλεκτρική γραμμή, τῆς διοίας ή τάση στήν ἀναχώρηση εἶναι 220 V. Κατά τήν κανονική λειτουργία του δ κινητήρας ἀναπτύσσει άντιηλεκτρεγερτική δύναμη 212 V. 'Η έσωτερική άντισταση τοῦ κινητήρα εἶναι $0,15 \Omega$ καί ή άντισταση τῶν ἀγωγῶν τροφοδοτήσεως $0,1 \Omega$. Νά βρεθοῦν:

- α) 'Η ἔνταση τοῦ ρεύματος πού ἀπορροφᾶ δ κινητήρας στήν κανονική λειτουργία καί
- β) ή τιμή τῆς άντιστάσεως ἐκκίνησεως, ὥστε στήν ἐκκίνηση δ κινητήρας νά ἀπορροφᾶ ρεύμα ἐντάσεως $2,5$ φορές μεγαλύτερης ἀπό τήν ἔνταση, πού ἀπορροφᾶ στήν κανονική του λειτουργία.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΕΤΑΡΤΟ

ΙΣΧΥΣ, ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΚΑΙ ΘΕΡΜΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΤΟΥ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟΥ ΡΕΥΜΑΤΟΣ

4.1 Γενικά.

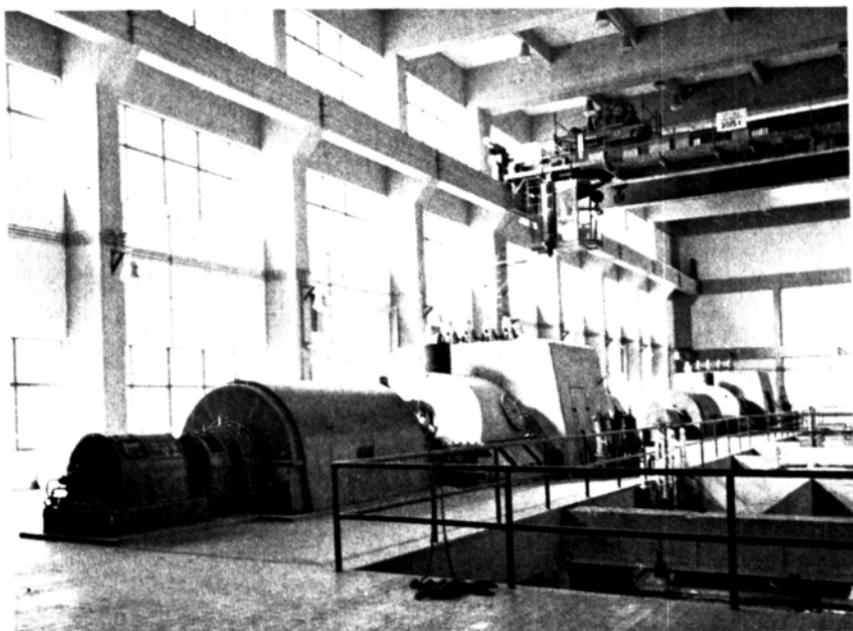
Τό ηλεκτρικό ρεύμα είναι καί αύτό μιά **μορφή ένέργειας**. Ή ένέργεια αύτή τήν δποία όνομάζομε **ηλεκτρική ένέργεια**, έχει μεγάλη σημασία γιά τήν έκπλήρωση τών άναγκων τού άνθρωπου. Χρησιμοποιείται σε μεγάλη έκταση σχεδόν παντού: στά σπίτια, στά μαγαζιά, στά έργοστάσια, στούς άγρους, γιά φωτισμό, γιά κίνηση, γιά θέρμανση καί γιά πολλές άλλες χρήσεις.

Ή παραγωγή τών μεγάλων ποσοτήτων ηλεκτρικής ένέργειας πού έχουμε άναγκη γίνεται σέ ειδικά έργοστάσια, πού όνομάζονται **σταθμοί παραγωγής**. Στούς σταθμούς αύτούς γίνεται μετατροπή σέ ηλεκτρική ένέργεια μιᾶς άπό τίς μορφές ένέργειας, πού βρίσκονται σέ μεγάλες ποσότητες στή φύση. Δηλαδή, τής **θερμικής ένέργειας**, πού παράγεται άπο τήν καύση τού άνθρακα ή τού πετρελαίου ή άπο τή διάσπαση τού πυρήνα τού ούρανίου καί τής **ύδραυλικής ένέργειας**, πού προέρχεται άπο τήν πτώση τού νερού τών ποταμών.

Στούς σταθμούς παραγωγής ή ηλεκτρική ένέργεια παράγεται μέ τή βοήθεια τών ειδικών μηχανών, πού όνομάζονται **ηλεκτρικές γεννήτριες** ή **γεννήτριες ηλεκτρικού ρεύματος**, όπως άναφέραμε καί στήν παράγραφο 1.10.2. Γιά νά δώσουν ηλεκτρική ένέργεια, οι γεννήτριες πρέπει νά πάρουν περιστροφική κίνηση (μηχανική ένέργεια) άπο άλλες μηχανές, πού όνομάζονται **κινητήριες μηχανές**. Οι κινητήριες μηχανές γιά τήν κίνησή τους χρησιμοποιούν τή θερμική ένέργεια κάποιου καυσίμου (σχ. 4.1), όπως άναφέραμε παραπάνω ή τήν ύδραυλική ένέργεια τού νερού.

Ή μεγάλη διάδοση τής χρήσεως τού ηλεκτρικού ρεύματος δύείλεται στό ότι τό ηλεκτρικό ρεύμα είναι μιά μορφή ένέργειας, ή δποία μπορεί εύκολα νά μετατραπεῖ σέ άλλες χρήσιμες μορφές.

Μέ τό ηλεκτρικό ρεύμα καί μέ τή βοήθεια ηλεκτροκινητήρων μπο-



Σχ. 4.1.
Θερμικός σταθμός παραγωγής.

ροῦμε νά κινήσομε βαρούλκα, ήλεκτρικά τραίνα, μηχανήματα, άνεμι-
στήρες κλπ.

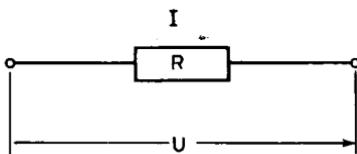
Μέ τό ήλεκτρικό ρεύμα καί μέ τή βοήθεια άντιστάσεων μποροῦμε
νά θερμάνομε χώρους (θερμάστρες), φούρνους, νερό (θερμοσίφωνες)
κλπ.

Μέ τό ήλεκτρικό ρεύμα καί μέ τή βοήθεια λαμπτήρων διαφόρων εί-
δῶν μποροῦμε νά ίκανοποιήσομε άνάγκες σέ φωτισμό.

Τέλος, τό ήλεκτρικό ρεύμα, μέ τήν ιδιότητα πού ἔχει νά προκαλεῖ χη-
μικές άντιδράσεις όταν περνᾶ μέσα από ήλεκτρολύτες, χρησιμοποιείται
σέ ένα πλήθος έφαρμογών όπως ήλεκτρολύτεις, έπιμεταλλώσεις, φόρ-
τιση συσσωρευτῶν κλπ.

4.2 Ίσχύς τοῦ ήλεκτρικοῦ ρεύματος.

"Οταν μεταξύ τῶν ἄκρων ἐνός καταναλωτῆ ἔφαρμοσθεῖ μία τάση U , θά περάσει μέσα από αὐτὸν ήλεκτρικό ρεύμα μέ ἔνταση I . Ό κατανα-
λωτής, σέ ένα δρισμένο χρονικό διάστημα, θά μετατρέψει ένα ποσό ή-
λεκτρικῆς ἐνέργειας, πού παίρνει από τό ήλεκτρικό ρεύμα σέ κάποια
ἄλλη μορφή ἐνέργειας. Π.χ. ἀν ὁ καταναλωτής εἶναι μία ήλεκτρική άντι-
σταση R (σχ. 4.2a), θά παραχθεῖ θερμική ἐνέργεια.



Σχ. 4.2α.

"Όπως είναι γνωστό άπό τή Φυσική, τήν ένέργεια πού καταναλώνει ό καταναλωτής στή μονάδα τοῦ χρόνου, δηλαδή στό ένα δευτερόλεπτο, τήν όνομάζομε **ίσχυ**. Ή ίσχυς αυτή πού όνομάζεται και **ίσχυς τοῦ καταναλωτῆ** ισούται μέ τήν ίσχυ πού δίνει ή πηγή στό τμῆμα τοῦ κυκλώματος στό διόπιο άνήκει ό καταναλωτής. Τήν ίσχυ τή συμβολίζομε μέ τό γράμμα P και τήν μετροῦμε μέ μονάδα τό βάττ (Watt), πού έχει σύμβολο τό W.

'Αποδεικνύεται ότι γιά τό συνεχές ρεῦμα: **ή ίσχυς, πού καταναλώνει ένας καταναλωτής, είναι την μέ τό γινόμενο τής τάσεως, ή δημοσίευτης στά άκρα του, έπι τήν ένταση τοῦ ρεύματος, πού περνᾶ μέσα άπό αύτόν.** Δηλαδή:

$$\text{Ισχύς} = \text{τάση} \times \text{ένταση}$$

Μέ τά σύμβολα τῶν μεγεθῶν έχομε γιά τήν ίσχυ πού καταναλώνεται:

$$P = U \cdot I \quad \text{σέ W}$$

ὅπου: U είναι ή τάση πού έφαρμόζεται στόν καταναλωτή σέ V και I ή ένταση τοῦ ρεύματος πού περνᾶ μέσα άπό αύτόν σέ A.

Γιά τή μονάδα βάττ άπό τήν παραπάνω σχέση έχομε:

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

Πολλαπλάσια και ύποπολλαπλάσια τής μονάδας βάττ, πού χρησιμοποιοῦνται τακτικά στήν πράξη είναι:

Τό **κιλοβάττ** μέ σύμβολο kW

$$1 \text{ kW} = 1000 \text{ W} = 10^3 \text{ W}$$

Τό **μεγαβάττ** μέ σύμβολο MW

$$1 \text{ MW} = 1.000.000 \text{ W} = 10^6 \text{ W} = 1000 \text{ kW}$$

Τό **μιλλιβάττ** μέ σύμβολο mW

$$1 \text{ mW} = \frac{1}{1000} \text{ W} = 10^{-3} \text{ W}$$

Παλιότερα ώς μονάδα ίσχυος, χρησιμοποιούσαν και τόν *Ιππο* μέσυ μβολο PS. Είναι:

$$1 \text{ PS} = 0,736 \text{ kW} \text{ καὶ}$$

$$1 \text{ kW} = 1,36 \text{ PS}$$

"Αν δικαίωτης είναι μία **καθαρή άντισταση** R, δηλαδή αν δέν άντιποσσει άντιηλεκτρεγερτική δύναμη, τότε, έπειδή είναι $I = U/R$ (νόμος του "Ωμ) ή ίσχυς $P = U \cdot I$ πού καταναλίσκει ύπολογίζεται καί ώς έξῆς:

$$P = \frac{U^2}{R} \quad \text{σέ W}$$

καί έπειδή είναι $U = R \cdot I$ έχομε:

$$P = R \cdot I^2 \quad \text{σέ W}$$

όπου: U είναι ή τάση στά δικρα τοῦ καταναλωτῆ σέ V,
 I ή ένταση πού περνᾶ μέσα άπο αὐτὸν σέ A καί
 R ή άντισταση τοῦ καταναλωτῆ σέ Ω.

Παράδειγμα 1.

"Ενα ήλεκτρικό τρυπάνι (σχ. 4.2β) πού τροφοδοτεῖται μέ τάση 220 V άπορροφά ένταση ρεύματος 1 A. Ποιά ίσχυ καταναλώνει τό τρυπάνι;

Λύση:

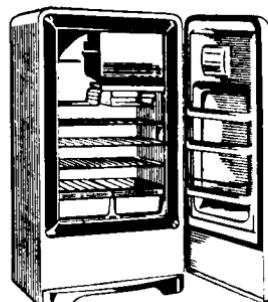
$$P = U \cdot I = 220 \times 1 = 220 \text{ W}$$

Παράδειγμα 2.

Ποιά ένταση ρεύματος άπορροφά δικινητήρας ένός ήλεκτρικοῦ ψυγείου (σχ. 4.2β), πού έχει ίσχυ 130 W καί τάση λειτουργίας 220 V;



Τρυπάνι 220 W



Ψυγεῖο 130 W

Σχ. 4.2β.

Ίσχεις ήλεκτρικῶν συσκευῶν.

Λύση:

Από τή σχέση $P = U \cdot I$, προκύπτει ή σχέση:

$$I = \frac{P}{U} = \frac{130}{220} = 0,59 \text{ A}$$

Παράδειγμα 3.

Μέσα από τό θερμαντικό στοιχείο ένός ήλεκτρικού σιδήρου (σχ. 4.2γ) περνᾶ ρεύμα έντασεως 4 A. Πόση ήλεκτρική ίσχυ καταναλώνει τό σίδερο άν τη άντισταση του θερμαντικού στοιχείου είναι 50Ω ;

Λύση:

$$P = R \cdot I^2 = 50 \times 4 \times 4 = 800 \text{ W}$$



Κολλητήρι 100 W



Σίδερο 800 W

Σχ. 4.2γ.

Ίσχεις ήλεκτρικών συσκευών.

Παράδειγμα 4.

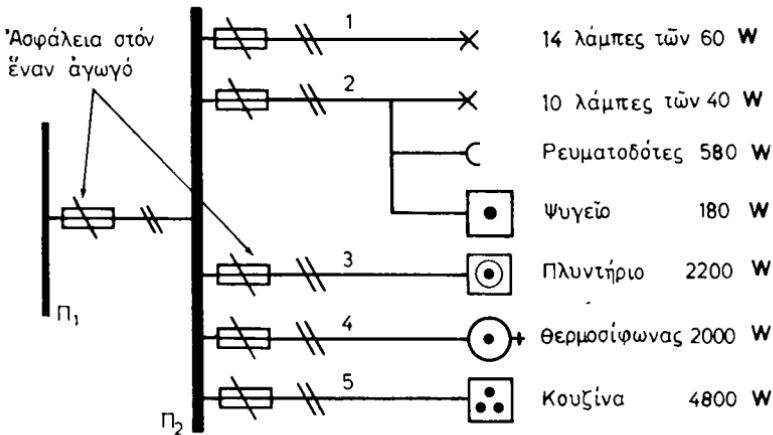
Ένα ήλεκτρικό κολλητήρι (σχ. 4.2γ) έχει θερμαντικό στοιχείο μέ άντισταση 484Ω . Πόση ήλεκτρική ίσχυ καταναλώνει τό κολλητήρι, θταν τροφοδοτεῖται μέ τάση 220 V ;

Λύση:

$$P = \frac{U^2}{R} = \frac{220 \times 220}{484} = 100 \text{ W}$$

Παράδειγμα 5.

Η έσωτερική ήλεκτρική έγκατάσταση ένός σπιτιού και οι συσκευές που τροφοδοτούνται από αύτή φαίνονται στό σχήμα 4.2δ. Τό σπίτι τροφοδοτεῖται από τό δίκτυο τής ΔΕΗ (Π₁ στό σχήμα) μέ τάση 220 V . Ζητοῦνται: α) Η έγκαταστημένη ίσχυς του σπιτιού, δηλαδή ή συνολική Ι-



Σχ. 4.2δ.

'Εσωτερική ήλεκτρική έγκατάσταση σπιτιού.

σχύς τῶν συσκευῶν (καταναλωτῶν) καὶ β) ἡ μέγιστη ἔνταση τοῦ ρεύματος, πού περνᾷ ἀπό τή γραμμή γενικῆς τροφοδοτήσεως (γραμμή μεταξύ Π_1 καὶ Π_2 στό σχῆμα 4.2δ).

Σημείωση:

Στό σχῆμα 4.2δ ἡ σχεδίαση τῶν γραμμῶν τῆς ἐσωτερικῆς έγκαταστάσεως τοῦ σπιτιοῦ ἔγινε μέ τόν δυναμαζόμενο **μονογραμμικό** τρόπο. Δηλαδή κάθε ήλεκτρική γραμμή, πού στήν πραγματικότητα ἀποτελεῖται ἀπό δύο άγωγούς, ὅπως δείχνουν τά σχήματα 3.2γ καὶ 3.2δ, σχεδιάζεται μέ μία γραμμή ἐπάνω στήν δύοις με πλάγιες μικρές γραμμές σημειώνεται ὁ ἀριθμός τῶν άγωγῶν πού περιλαμβάνει (ἔδω δύο). Οι ἀσφάλειες, τή χρησιμότητα τῶν δοπίων θά δοῦμε στά ἐπόμενα, τοποθετοῦνται μόνο στόν ένα άγωγό καὶ γί' αὐτό ἔχουν μία πλάγια μικρή γραμμή. Στό ἴδιο σχῆμα ἡ χονδρή γραμμή παριστάνει τούς ζυγούς τοῦ **πίνακα διανομῆς** τοῦ σπιτιοῦ ἢ τοῦ διαμερίσματος. Τά σύμβολα, πού παριστάνουν τίς διάφορες καταναλώσεις, εἶναι ἀπό αὐτά πού χρησιμοποιοῦνται στά ήλεκτροτεχνικά σχέδια.

Λύση:

a) Τήν έγκαταστημένη ίσχύ τή βρίσκομε ἀπό τό ἄθροισμα:

$$\begin{array}{lll}
 \text{Γραμμή 1.} & \text{Λάμπες } 14 \times 60 = & 840 \text{ W} \\
 \text{Γραμμή 2.} & \text{Λάμπες } 10 \times 40 = & 400 \text{ W} \\
 & \text{Ρευματοδότης} & 580 \text{ W} \\
 & \text{Ψυγεῖο} & 180 \text{ W}
 \end{array}$$

Γραμμή 3.	Πλυντήριο	2200 W
Γραμμή 4.	Θερμοσίφωνας	2000 W
Γραμμή 5.	Κουζίνα	<u>4800 W</u>

Συνολική έγκαταστημένη ίσχυς 11.000 W ή 11 kW

β) Γιά νά βροῦμε τή μέγιστη ένταση τοῦ ρεύματος, πού περνᾶ άπό τή γραμμή γενικῆς τροφοδοτήσεως, πρέπει νά βροῦμε τή μέγιστη ίσχυ πού άπορροφοῦν οι συσκευές τοῦ σπιτιοῦ. Ή ίσχυς αύτή είναι μικρότερη άπό τήν έγκαταστημένη ίσχυ, γιατί οι συσκευές δέν έργαζονται δλες μαζί. Δηλαδή είναι:

$$\text{Μέγιστη ίσχυς} = \eta_p \times \text{Έγκαταστημένη ίσχυς}$$

Τό η_p , πού όνομάζεται **συντελεστής μεταχρονισμού**, είναι άριθμός μικρότερος ή τό πολύ ίσος μέ τή μονάδα. Τό η_p έξαρταται άπό τό είδος τῶν συσκευῶν και άπό τό είδος τοῦ οίκηματος (σπίτι, έργοστάσιο, γραφείο κλπ.). Στό παράδειγμα μποροῦμε νά δεχθοῦμε $\eta_p = 0,6$ δπότε είναι:

$$\text{Μέγιστη ίσχυς } P = 0,6 \times 11.000 = 6600 \text{ W}$$

Συνεπώς ή μέγιστη ένταση πού περνᾶ άπό τή γραμμή γενικῆς τροφοδοτήσεως είναι:

$$I = \frac{P}{U} = \frac{6600}{200} = 30 \text{ A}$$

4.3 Βαθμός άποδόσεως μηχανήματος.

Κάθε καταναλωτής, δηλαδή κάθε συσκευή ή μηχάνημα πού λειτουργεῖ μέ ήλεκτρικό ρεύμα, καταναλώνει ή δπως άλλιως λέμε, άπορροφά δρισμένη ήλεκτρική ένέργεια και τή μετατρέπει στή μορφή ένέργειας, ή δποία είναι κατάλληλη γιά τήν έργασία πού έκτελει.

Μόνο στίς καθαρές άντιστάσεις θλόκληρη ή άπορροφούμενη ήλεκτρική ένέργεια μετατρέπεται σέ θερμότητα δπως θά δοῦμε σέ έπόμενη παράγραφο. Στά άλλα είδη καταναλωτῶν ένα μόνο τμῆμα άπό τήν **παραλαμβανόμενη ήλεκτρική ένέργεια** μετατρέπεται στή μορφή ένέργειας, πού έξυπηρετεί τό σκοπό τοῦ καταναλωτή. Αύτή όνομάζεται **ώφελιμη ένέργεια**. Ή ύπόλοιπη μετατρέπεται σέ άλλες μορφές ένέργειας, πού είναι άχρηστες γιά τό σκοπό τοῦ καταναλωτή και γι' αύτό δνομάζονται **άπώλειες ή ένέργεια άπωλειών**.

"Οσα είπαμε παραπάνω γιά τήν ένέργεια μποροῦν νά άναχθοῦν και στήν ίσχυ, πού δπως γνωρίζομε είναι ένέργεια στή μονάδα τοῦ χρόνου.

Δηλαδή μπορούμε νά πούμε ότι ή **παραλαμβανόμενη ίσχυς** P_{π} άπό έναν καταναλωτή είναι ίση μέ το άθροισμα της **ώφελιμης ίσχύος** P_{ω} , πού δίνει και της **ίσχυος τών άπωλειών** P_a . Αύτό μέ τη μορφή τύπου γράφεται:

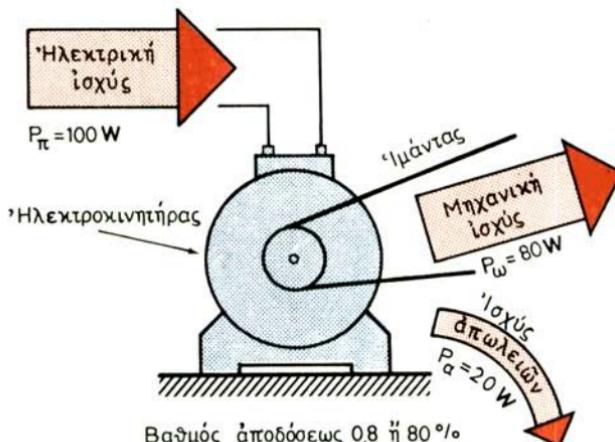
$$P_{\pi} = P_{\omega} + P_a$$

Σ' έναν ήλεκτροκινητήρα π.χ. ή παραλαμβανόμενη άπό τό δίκτυο ή-λεκτρική ίσχυς μετατρέπεται κατά τό μεγαλύτερο μέρος σέ ώφελιμη μηχανική ίσχύ, πού έξυπηρετεί τό σκοπό του κινητήρα, δηλαδή τήν παροχή κινήσεως. Κατά τό ύπόλοιπο μετατρέπεται σέ αρχηστη γιά τό σκοπό του κινητήρα θερμότητα, όπως π.χ. θερμότητα πού έμφανίζεται στά τυλίγματα του κινητήρα, στά έδρανά του κλπ. Τό σχήμα 4.3 δείχνει παραστατικά τήν κατανομή αύτή τών ίσχυών σ' έναν ήλεκτροκινητήρα.

Τό πηλίκον τής διαιρέσεως τής ώφελιμης ίσχύος ένός καταναλωτή μέ τήν παραλαμβανόμενη άπό αύτόν ίσχυ, δνομάζεται **βαθμός άποδόσεως** και συμβολίζεται μέ τό γράμμα η. Είναι:

$$\eta = \frac{P_{\omega}}{P_{\pi}} = \frac{P_{\omega}}{P_{\omega} + P_a}$$

όπου: P_{ω} ή ώφελιμη ίσχυς τοῦ καταναλωτῆ σέ W,
 P_{π} ή παραλαμβανόμενη άπό αύτόν ίσχυ σέ W και
 P_a ή ίσχυς άπωλειῶν σέ W.



Σχ. 4.3.

Η έννοια τοῦ βαθμοῦ άποδόσεως στόν ήλεκτροκινητήρα.

Είναι εύκολο νά συμπεράνει κανείς άπό τόν παραπάνω τύπο ότι ο βαθμός άποδόσεως η είναι πάντοτε άριθμός μικρότερος άπό τή μονάδα.

Σημειώνομε έδω ότι, όταν στήν πράξη μιλάμε γιά τήν όνομαστική Ισχύ ένός ήλεκτροκινητήρα, έννοούμε τήν ώφέλιμη Ισχύ, πού άποδίδει στόν άξονά του. Π.χ. όταν λέμε ότι ένας κινητήρας είναι Ισχύος 3 kW, έννοούμε ότι ο κινητήρας αύτός άποδίδει ώφέλιμη μηχανική Ισχύ 3 kW.

Παράδειγμα 1.

Ο ήλεκτροκινητήρας, πού κινεῖ ένα μηχάνημα, άπορροφά άπό δίκτυο τάσεως 220 V ρεύμα έντασεως 50 A. Ο βαθμός άποδόσεως τοῦ κινητήρα είναι 0,80. Τί Ισχύ παραλαμβάνει ο κινητήρας άπό τό δίκτυο, τί ώφέλιμη Ισχύ άποδίδει (σέ kW καί PS) καί τί Ισχύς χάνεται σέ άπωλειες.

Λύση:

Η Ισχύς πού ο κινητήρας παραλαμβάνει άπό τό δίκτυο, είναι:

$$P_{\pi} = U \cdot I = 220 \times 50 = 11.000 \text{ W} = 11 \text{ kW}$$

Από τή σχέση $\eta = \frac{P_{\omega}}{P_{\pi}}$ προκύπτει ότι η ώφέλιμη Ισχύς, πού άποδίδει ο κινητήρας, είναι:

$$P_{\omega} = \eta \cdot P_{\pi} = 0,80 \times 11 = 8,8 \text{ kW}$$

καί σέ ίππους:

$$P_{\omega} = 8,8 \times 1,36 = 11,97 \text{ PS}$$

Τέλος η Ισχύς τῶν άπωλειῶν είναι:

$$P_a = P_{\pi} - P_{\omega} = 11 - 8,8 = 2,2 \text{ kW}$$

Παράδειγμα 2.

Πόση ένταση ρεύματος άπορροφά άπό τό δίκτυο ένας ήλεκτροκινητήρας 4 kW καί 220 V, όταν έργαζεται μέ τό πλήρες φορτίο του; Ο βαθμός άποδόσεως τοῦ κινητήρα είναι 0,84.

Λύση:

Από τή σχέση $\eta = \frac{P_{\omega}}{P_{\pi}}$ προκύπτει ότι η Ισχύς πού ο κινητήρας άπορ-

ροφᾶ ἀπό τό δίκτυο εἶναι:

$$P_{\pi} = \frac{P_{\omega}}{\eta} = \frac{4000}{0,83} = 4819 \text{ W}$$

Άρα ή ἔνταση πού ἀπορροφᾶ, θά εἶναι:

$$I = \frac{P_{\pi}}{U} = \frac{4819}{220} = 21,9 \text{ A}$$

4.4 Ἐνέργεια τοῦ ἡλεκτρικοῦ ρεύματος.

"Οταν τό ἡλεκτρικό ρεῦμα περνᾶ μέσα ἀπό ἔναν καταναλωτή, ὅπως ἀναφέραμε καὶ στήν παράγραφο 4.2, δαπανᾶται ἔνα ποσό ἡλεκτρικῆς ἐνέργειας, τό δόποιο μετατρέπεται σέ κάποια ἄλλη μορφή ἐνέργειας, γιά νά ἐπιτελέσει ὁ καταναλωτής τό ἔργο του.

"Οταν γνωρίζουμε τή (σταθερή) ίσχυ τοῦ καταναλωτῆ καὶ τό χρόνο πού πέρασε ἀπό μέσα του τό ἡλεκτρικό ρεῦμα, εἶναι εὕκολο νά ύπολογίσουμε τήν ἡλεκτρική ἐνέργεια πού καταναλώθηκε, μέ τό γνωστό καὶ ἀπό τή Φυσική τύπο:

$$A = P \cdot t \quad \text{σέ Ws}$$

ὅπου: P ή παραλαμβανόμενη ἀπό τόν καταναλωτή (σταθερή) ίσχύς σέ W καὶ

t ὁ χρόνος λειτουργίας σέ s .

Τή ἐνέργεια πού ύπολογίζεται ἀπό τήν παραπάνω σχέση μετριέται μέ τή μονάδα **βάττ βευτερόλεπτο** μέ σύμβολο τό Ws , πού όνομάζεται καὶ **Τζούλ** (Joule) μέ σύμβολο τό J .

Τή παραπάνω μονάδα εἶναι πολύ μικρή γιά τίς ἀνάγκες στήν πράξη, ὅπου θέλομε νά μετράμε τίς ποσότητες τῆς ἡλεκτρικῆς ἐνέργειας, πού καταναλώνομε στά σπίτια, στά μαγαζιά κλπ. Γιά τίς ἀνάγκες αὐτές χρησιμοποιοῦμε τίς ἀκόλουθες δύο μονάδες:

Τή **βαττώρα** μέ σύμβολο Wh

$$1 \text{ Wh} = 3600 \text{ Ws}$$

Τήν **κιλοβαττώρα** μέ σύμβολο kWh

$$1 \text{ kWh} = 1000 \text{ Wh} = 3.600.000 \text{ Ws}$$

Βαττώρα εἶναι ή ἐνέργεια πού καταναλώνει ἔνας καταναλωτής ίσχυος ἐνός βάττ, ὅταν λειτουργεῖ μιά ὥρα. Γιά νά ύπολογίσουμε τήν ἐνέργεια σέ Wh , πρέπει στόν παραπάνω τύπο, πού δίνει τήν ἐνέργεια A , νά βάζομε τήν ίσχυ P σέ W καὶ τό χρόνο t σέ h .

Κιλοβαττώρα είναι ή ένέργεια που καταναλώνει ένας καταναλωτής ίσχυός ένός κιλοβάττ, όταν λειτουργεῖ μία ώρα. Γιά νά ύπολογίσομε τήν ένέργεια σέ kWh, πρέπει στόν παραπάνω τύπο πού δίνει τήν ένέργεια A, νά βάζομε τήν ίσχυ P σέ kW και τό χρόνο t σέ h.

Παράδειγμα 1.

"Ενας θερμοσίφωνας 3 kW λειτουργησε 3 ώρες καί 15 πρῶτα λεπτά. Πόση ήλεκτρική ένέργεια κατανάλωσε;

Λύση:

Θά ύπολογίσομε πρῶτα τό χρόνο σέ ώρες. Είναι:

$$t = 3 \text{ h } 15 \text{ min} = 3 \frac{15}{60} = 3,25 \text{ h}$$

"Άρα έχομε:

$$A = P \cdot t = 3 \times 3,25 = 9,75 \text{ kWh}$$

Παράδειγμα 2.

Ποιά είναι ή ίσχυς ένός ήλεκτρικοῦ λαμπτήρα, που καταναλώνει ήλεκτρική ένέργεια 560 Wh, όταν λειτουργεῖ γιά 9 h 20 min;

Λύση:

$$t = 9 \text{ h } 20 \text{ min} = 9 \frac{20}{60} = 9,33 \text{ h}$$

"Από τή σχέση A = P · t προκύπτει ότι:

$$P = \frac{A}{t} = \frac{560}{9,33} = 60 \text{ W}$$

4.5 Μέτρηση τής ήλεκτρικής ίσχυος καί ένέργειας.

4.5.1 Μέτρηση τής ίσχυος.

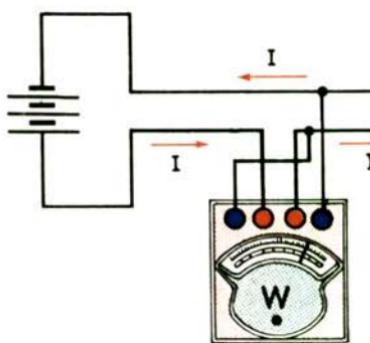
Γιά νά μετρήσομε τήν ήλεκτρική ίσχυ, πού άπορροφᾶ ένας καταναλωτής, άρκει νά μετρήσομε τήν τάση U, πού έφαρμόζεται σ' αύτόν καί τήν ένταση I τοῦ ρεύματος πού άπορροφᾷ. "Ενα βολτόμετρο καί ένα άμπερόμετρο, συνδεσμολογημένα δημοσιεύεται στό σχήμα 3.1 άρκούν γιά τό σκοπό αύτό. Ή ίσχυς τοῦ καταναλωτῆ βρίσκεται άπό τή σχέση πού δώσαμε στήν παράγραφο 4.2:

$$P = U \cdot I \quad \text{σέ W}$$

Ο τρόπος αύτός έφαρμόζεται τακτικά στό συνεχές ρεῦμα. "Ένας άλλος τρόπος γιά τή μέτρηση τής ίσχύος είναι νά χρησιμοποιήσουμε ένα ειδικό δργανό, πού λέγεται **βαττόμετρο**. Τό δργανό αύτό μᾶς δίνει μέ τήν ένδειξή του άπ' εύθειας σέ βάττη τήν ίσχυ, πού άπορροφα δ καταναλωτής.

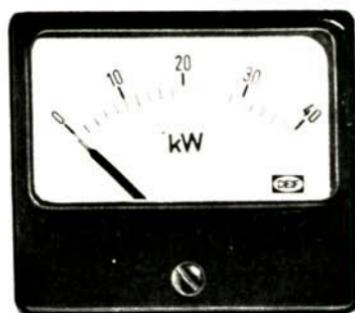
Τά βαττόμετρα είναι τοῦ τύπου τῶν δργάνων μετρήσεως πού όνομάζονται **ήλεκτροδυναμικά**. Τά δργανα αύτά, όπως θά δούμε καί στά έπομενα δταν θά τά περιγράψουμε, έχουν έσωτερικά δύο πηνία. "Ένα σταθερό **πηνίο έντασεως** καί ένα κινητό (στρεφόμενο γύρω άπο έναν ξόνα) **πηνίο τάσεως**, στό δποιο είναι προσαρμοσμένη καί ή βελόνα τῶν ένδειξεων τοῦ δργάνου.

Τό σχήμα 4.5α δείχνει πώς συνδέεται ένα βαττόμετρο στό κύκλωμα τροφοδοτήσεως τοῦ καταναλωτή, άπο τόν δποιο θέλομε νά μετρήσουμε τήν ίσχυ πού άπορροφα. Τό πηνίο έντασεως συνδέεται σέ σειρά μέ τόν καταναλωτή, ώστε νά περνά μέσα άπο αύτό δλο τό ρεῦμα τοῦ καταναλωτή. Γιά τό σκοπό αύτό τό πηνίο έντασεως έχει ξεχωριστούς άκροδέκτες (κόκκινοι στό σχήμα 4.5α), άπο τό πηνίο τάσεως (μπλέ άκροδέκτες στό ίδιο σχήμα), πού συνδέεται παράλληλα μέ τόν καταναλωτή, ώστε νά βρίσκεται στήν ίδια μέ αύτόν τάση.



Σχ. 4.5α.

Σύνδεση βαττομέτρου έργαστηρίου.



Σχ. 4.5β.

Κιλοβαττόμετρο πίνακα.

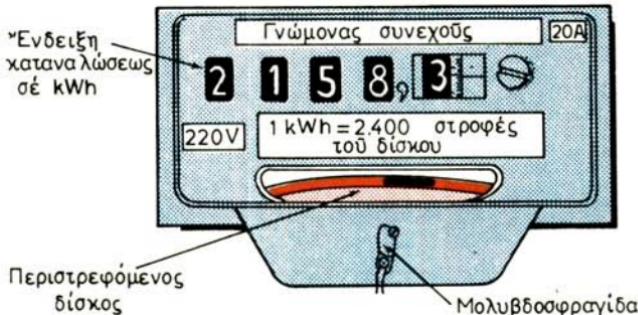
Γιά τή σωστή συνδεσμολογία τῶν δργάνων αύτῶν πού, όπως είπαμε δείχνουν άπ' εύθειας τήν άπορροφούμενη άπο τόν καταναλωτή ίσχυ σέ βάττη, πρέπει νά άκολουθούνται οι δηγίες τοῦ κατασκευαστή. 'Υπάρχουν τέτοια δργανα πού δείχνουν τήν ίσχυ σέ kW καί όνομάζονται **κιλοβαττόμετρα** (σχ. 4.5β).

4.5.2 Μέτρηση τής ένέργειας.

Γιά τή μέτρηση τής ήλεκτρικῆς ένέργειας, πού άπορροφα ένας κατα-

ναλωτής καί γενικότερα μιά ήλεκτρική έγκατάσταση, χρησιμοποιούμε ειδικά δρυγανα, πού όνομάζονται **μετρητές ήλεκτρικής ένέργειας ή ήλεκτρικοί γνώμονες**. Τα δρυγανα αύτα μᾶς δίνουν άπ' εύθειας τήν ένέργεια αύτή σέ κιλοβαττώρες (kWh).

Οι μετρητές έχουν στό έσωτερικό τους ένα περιστρεφόμενο σύστημα, τό δύο περιστρέφεται άργα ή γρήγορα, αντίστοιχα μέ τό ἄν ή λισχύς τῆς καταναλώσεως είναι μικρή ή μεγάλη. Τό περιστρεφόμενο αύτό σύστημα κινεῖ ένα μηχανισμό δόντωτων τροχῶν μέ άριθμούς στήν κυλινδρική τους έπιφάνεια, οι δύο οι άριθμοί δείχνουν τήν κατανάλωση σέ kWh (σχ. 4.5γ).



Σχ. 4.5γ.
Μετρητής ήλεκτρικής ένέργειας.

Έπάνω στό περιστρεφόμενο σύστημα τοῦ μετρητῆς είναι στερεωμένος καί ένας δίσκος, δύο ποίος είναι δρατός άπ' ξεω. "Έτσι μπορούμε κάθε στιγμή νά δοῦμε ἄν δη μετρητής λειτουργεῖ καί άκομη νά μετρήσομε, ἄν θέλομε, τίς στροφές τοῦ δίσκου. "Όταν δέν λειτουργεῖ καμιά συσκευή στήν έγκατάσταση, δη μετρητής δέν πρέπει νά έργαζεται καί συνεπώς δη δίσκος πρέπει νά είναι άκινητος. "Άν περιστρέφεται, έστω καί άργα, αύτό σημαίνει δη δη μετρητής έχει βλάβη ή δη ή έγκατάσταση έχει κάποια βλάβη καί έχομε διαρροή ήλεκτρικής ένέργειας.

Γιά νά βροῦμε πόση κατανάλωση ήλεκτρικής ένέργειας έγινε σέ μιά έγκατάσταση μέσα σ' ένα δρισμένο χρονικό διάστημα π.χ. ἀπό 6 Μαρτίου μέχρι 6 Απριλίου, άφαιρούμε ἀπό τήν ένδειξη, πού έχει δη μετρητής στίς 6 Απριλίου αύτήν πού είχε στίς 6 Μαρτίου.

Στήν πινακίδα, τήν δύοια φέρει κάθε μετρητής, έκτος ἀπό τά άλλα του στοιχεία (τάση, ένταση, είδος ρεύματος), άναγράφεται καί δη άριθμός τῶν στροφῶν, πού πρέπει νά κάνει δη δίσκος, γιά νά γράψει δη μετρητής κατανάλωση μᾶς kWh. Τό στοιχεῖο αύτό μᾶς βοηθάει γιά νά έλεγχομε πρόχειρα τό μετρητή. "Επίσης μέ βάση τό στοιχεῖο αύτό μπορούμε νά ύπολογίσομε καί τήν ίσχυ μᾶς συσκευής πού τροφοδοτεῖται ἀπό τήν έγκατάσταση, στήν δύοια είναι τοποθετημένος δη μετρητής. "Ένα τέτοιο παράδειγμα θά δώσομε παρακάτω.

Παράδειγμα 1.

Η ένδειξη τοῦ μετρητῆ ἡλεκτρικῆς ἐνέργειας μᾶς ἐγκαταστάσεως εἶναι 7252,8 kWh, ἐνῶ ή ένδειξη τήν ίδια μέρα τοῦ προηγούμενου μῆνα ἦταν 7102,3 kWh. Ποιά εἶναι ή δαπάνη γιά ἡλεκτρική ἐνέργεια πού καταναλώθηκε στόν ύπ' ὅψη μήνα ἢν ή κιλοβαττώρα κοστίζει 3,20 δρχ.:

Λύση:

Η ἡλεκτρική ἐνέργεια πού καταναλώθηκε εἶναι:

$$A = 7252,8 - 7102,3 = 150,5 \text{ kWh}$$

καί ή δαπάνη:

$$150,5 \times 3,20 = 481,6 \text{ δρχ.}$$

Παράδειγμα 2.

Γιά νά βροῦμε τήν ίσχύ πού ἀπορροφᾶ ἕνα ἡλεκτρικό ψυγεῖο, διακόψαμε τή λειτουργία κάθε ἄλλης συσκευῆς καί ἀφήσαμε τό ψυγεῖο νά ἐργάζεται μόνο του. Μέ τή βοήθεια καί ἐνός ωρολογίου, μετρήσαμε ὅτι σέ χρόνο 3 λεπτῶν ὁ δίσκος τοῦ μετρητῆ ἔκανε 20 στροφές. Στήν πινακίδα τοῦ μετρητῆ ἀναγράφεται ὅτι ὁ δίσκος κάνει 2000 στροφές γιά κάθε kWh. Ποιά εἶναι ή ίσχύς τοῦ ψυγείου;

Λύση:

Μιά στροφή τοῦ δίσκου τοῦ μετρητῆ ἀντιπροσωπεύει κατανάλωση:

$$\frac{1}{2000} \text{ kWh} \quad \& \quad \frac{1000}{2000} = 0,5 \text{ Wh}$$

Συνεπῶς οἱ 20 στροφές τοῦ δίσκου, πού μετρήσαμε, ἀντιπροσωπεύουν κατανάλωση ἡλεκτρικῆς ἐνέργειας:

$$A = 20 \times 0,5 = 10 \text{ Wh}$$

Η ἐνέργεια αὐτή καταναλώθηκε σέ χρόνο $t = 3 \text{ min}$ ἢ

$$t = \frac{3}{60} \text{ h} = 0,05 \text{ h}$$

Άρα ή ίσχύς τῆς καταναλώσεως, δηλαδή τοῦ ψυγείου, θά εἶναι:

$$P = \frac{A}{t} = \frac{10}{0,05} = 200 \text{ W}$$



4.6 Θερμικά άποτελέσματα του ήλεκτρικού ρεύματος.

4.6.1 Νόμος του Joule.

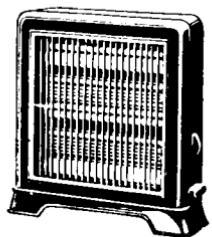
"Οπως άναφέραμε και στήν παράγραφο 2.6, όταν ήλεκτρικό ρεῦμα περνᾶ μέσα από έναν άγωγό, τόν θερμαίνει. Η θέρμανση αύτή, δηλαδή έξηγήσαμε έκει, προέρχεται από τίς συγκρούσεις τών έλευθέρων ήλεκτρονίων, πού κινούνται μέσα στόν άγωγό, μέ τά αποτέλεσμα του ίδιου άγωγού. "Έχομε έτσι μετατροπή τής ήλεκτρικής ένέργειας του ρεύματος σε θερμότητα, δηλαδή θερμική ένέργεια.

Τό φαινόμενο αυτό είναι σε δρισμένες περιπτώσεις έπιζημιο, σε άλλες δημοσίες είναι ωφέλιμο.

Είναι έπιζημιο στίς περιπτώσεις πού ο κύριος προορισμός μιᾶς ήλεκτρικής συσκευής ή ένός ήλεκτρικού μηχανήματος, δέν είναι ή παραγωγή θερμότητας, άλλα ή μετατροπή τής ήλεκτρικής ένέργειας σε ένέργεια μηχανική, χημική, φωτεινή κλπ. Στίς περιπτώσεις αύτές ή παραγωγή θερμότητας στούς άγωγούς του μηχανήματος, πού διαρρέονται από ρεῦμα, είναι άπωλεια ένέργειας, οπως έξηγήσαμε και στήν παράγραφο 4.3. Είναι ένέργεια πού δέν χρησιμοποιείται σε τίποτε και χάνεται στό περιβάλλον.

Άπωλεια ένέργειας είναι και η θερμότητα πού έμφανίζεται στούς άγωγούς των γραμμών μεταφορᾶς και των γραμμών διανομῆς του ήλεκτρικού ρεύματος, καθώς και στούς άγωγούς των έσωτερικών ήλεκτρικών έγκαταστάσεων φωτισμού και κινήσεως.

Τόσο στά μηχανήματα, όσο και στίς ήλεκτρικές γραμμές, η θέρμανση των άγωγών έκτος από τό διατίθεται άπωλεια ένέργειας, προκα-

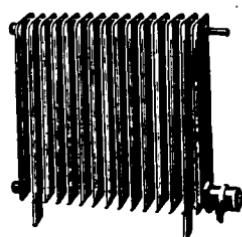


Ηλεκτρική θερμάστρα
2 kW



Ηλεκτρική κουζίνα
5,1 kW

Σχ. 4.6a.
Έφαρμογές του φαινομένου Τζούλ.



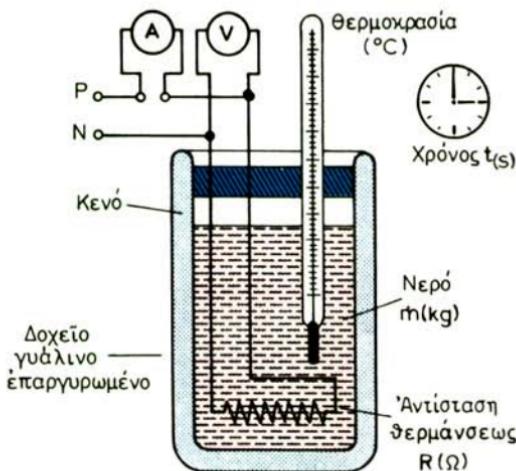
Ηλεκτρικό καλοριφέρ
2,5 kW

λεῖ καὶ ἀνύψωση τῆς θερμοκρασίας τους. Ἡ ἀνύψωση αὐτή τῆς θερμοκρασίας δέν πρέπει νά ξεπερνᾶ δρισμένα γιά κάθε περίπτωση δρια. Ἡ ύπερβαση αὐτῶν τῶν δρίων ἐνδέχεται νά προκαλέσει ἀνωμαλίες στό μηχάνημα ἢ στίς ἐγκαταστάσεις, π.χ. καταστροφή τῶν μονώσεων, πυρκαϊά κλπ.

Τό φαινόμενο τῆς παραγωγῆς θερμότητας στούς ἀγωγούς πού διαρρέονται ἀπό ήλεκτρικό ρεῦμα, εἶναι, ἀντίθετα, ὡφέλιμο σέ δρισμένες περιπτώσεις. Ἐφαρμογές τοῦ φαινομένου αὐτοῦ εἶναι οἱ ήλεκτρικές θερμάστρες, οἱ ήλεκτρικές κουζίνες, οἱ ήλεκτρικοί θερμοσίφωνες, οἱ ήλεκτροσυγκολλήσεις κλπ. (σχ. 4.6α).

Τό φαινόμενο τῆς μετατροπῆς μέσα στούς ἀγωγούς τῆς ήλεκτρικῆς ἐνέργειας σέ θερμότητα δονομάζεται καὶ **φαινόμενο Τζούλ**, ἀπό τό δονομα τοῦ Ἀγγλου ἐρευνητοῦ Joule, πού τό μελέτησε πρώτος. Μέ τή βοήθεια τοῦ γνωστοῦ καὶ ἀπό τή Φυσική **θερμιδομέτρου** (σχ. 4.6β), δ Τζούλ διατύπωσε τήν ἀκόλουθη σχέση:

Ἡ θερμότητα A (θερμική ἐνέργεια) πού ἔκλυεται σ' ἕναν ἀγωγό εἴ-



Σχ. 4.6β.

Θερμιδόμετρο. Μέτρηση τῆς θερμότητας πού ἔκλυει τό ήλεκτρικό ρεῦμα.

ναι ἵση μέ τήν ἐνέργεια πού καταναλώνεται ἀπό τό ήλεκτρικό ρεῦμα πού διαρρέει τόν ἀγωγό:

$$A = R \cdot I^2 \cdot t \quad \text{σέ Ws ή J}$$

ὅπου: R ἢ ἀντίσταση τοῦ ἀγωγοῦ σέ Ω ,

Ι ή ένταση τοῦ ρεύματος πού περνᾶ μέσα ἀπό τὸν ἀγωγό, σέ A τὸ χρόνος πού διαρκεῖ η διέλευση τοῦ ρεύματος σέ s.

Η σχέση αὐτή, πού δνομάζεται καί νόμος τοῦ **Τζούλ**, παίρνει τὴν ἀκόλουθη μορφή, ὅταν θέλομε η θερμότητα πού ἐκλύεται ἀπό τὸν ἀγωγό, νά έκφράζεται σέ **Θερμίδες** (cal):

$$Q = 0,24 \cdot R \cdot I^2 \cdot t \quad \text{σέ cal}$$

ὅπου πάλι τὰ R, I, t, μετριοῦνται μέ τίς ἕδιες μονάδες, πού ἀναφέραμε παραπάνω.

Σημειώνομε ἔδω τίς ἀκόλουθες σχέσεις μεταξύ τῶν μονάδων μέ τίς δόποιες μετροῦμε τὴν ἡλεκτρική ἐνέργεια καί τῶν μονάδων τῆς θερμότητας, δηλαδή τῆς θερμικῆς ἐνέργειας:

$$\begin{aligned} 1 \text{ Ws} &= 0,24 \text{ cal} \\ 1 \text{ Wh} &= 860 \text{ cal} \\ 1 \text{ kWh} &= 860 \text{ kcal} \end{aligned}$$

Παράδειγμα 1.

Ποιό ποσό θερμότητας ἐκλύει σέ 2 ὥρες μιά ἡλεκτρική θερμάστρα τῆς δόποίας τό θερμαντικό στοιχεῖο ἔχει ἀντίσταση 20 Ω καί διαρρέεται ἀπό ρεῦμα ἐντάσεως 10 A;

Λύση:

Εἶναι: t = 2 h = 7200 s

$$\begin{aligned} Q &= 0,24 \cdot R \cdot I^2 \cdot t = 0,24 \times 20 \times 10 \times 10 \times 7200 = \\ &= 3.456.000 \text{ cal} = 3456 \text{ kcal} \end{aligned}$$

Παράδειγμα 2.

Ποιό εἶναι τό ποσό τῆς θερμότητας πού ἐκλύει ἡλεκτρικό κολλητήρι 150 W σέ μιά ὥρα;

Λύση:

Από τίς γνωστές σχέσεις (παράγρ. 4.2 καί 4.6):

$$P = R \cdot I^2 \quad \text{καί} \quad Q = 0,24 \cdot R \cdot I^2 \cdot t$$

προκύπτει ὅτι:

$$Q = 0,24 \cdot P \cdot t = 0,24 \times 150 \times 3600 = 129.600 \text{ cal} = 129,6 \text{ kcal}$$

Παράδειγμα 3.

Μάτι ήλεκτρικής κουζίνας, πού λειτουργεῖ μέ τάση 220 V, άπορροφά ρεῦμα ἐντάσεως 7 A. Τί ποσό θερμότητας ἀναπτύσσει μέσα σέ δύο ώρες;

Λύση:

$$\text{Εἶναι } t = 2 \text{ h} = 2 \times 3600 = 7200 \text{ s}$$

Από τίς γνωστές σχέσεις:

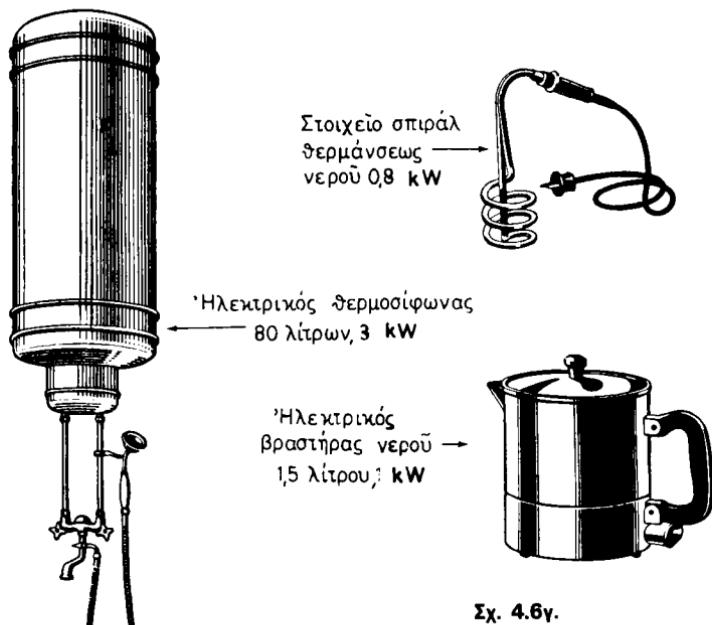
$$R \cdot I^2 = U \cdot I \quad \text{καὶ} \quad Q = 0,24 \cdot R \cdot I^2 \cdot t$$

προκύπτει ότι:

$$Q = 0,24 \cdot U \cdot I \cdot t = 0,24 \times 220 \times 7 \times 7200 = \\ = 2.661.000 \text{ cal} = 2661 \text{ kcal}$$

4.6.2 Ήλεκτρική θέρμανση τοῦ νεροῦ.

Μιά ἀπό τίς περιπτώσεις, στίς δποῖες τό φαινόμενο Τζούλ βρίσκει χρήσιμη ἑφαρμογή, εἶναι ή θέρμανση τοῦ νεροῦ μέ τό ήλεκτρικό ρεῦμα (σχ. 4.6γ). Γιά τήν ἔξεταση τῆς ἑφαρμογῆς αὐτῆς, χρήσιμο εἶναι νά ὑπενθυμίσομε πρῶτα πῶς καθορίζονται οἱ μονάδες θερμίδα (cal) καὶ χιλιοθερμίδα (kcal).



Σχ. 4.6γ.
Συσκευές γιά τήν ήλεκτρική θέρμανση τοῦ νεροῦ.

Μιά θερμίδα είναι τό ποσό της θερμότητας που χρειάζεται γιά νά-άνυψωθεί ή θερμοκρασία ένός γραμμαρίου καθαρού νερού κατά ένα βαθμό Κελσίου (1°C). Μάζα ένός γραμμαρίου έχει τό νερό που περιέχεται σέ ένα κυβικό έκατοστόμετρο (1 cm^3).

Στήν πράξη χρησιμοποιούμε συνήθως τή χιλιοθερμίδα (kcal), που είναι ίση μέ 1000 cal. Μιά χιλιοθερμίδα είναι τό ποσό της θερμότητας που χρειάζεται γιά νά άνυψωθεί ή θερμοκρασία ένός χιλιογράμμου καθαρού νερού κατά ένα βαθμό Κελσίου. Μάζα ένός χιλιογράμμου έχει τό νερό, που περιέχεται σ' ένα λίτρο (1 lt) ή κυβικό δεκατόμετρο (1 dm^3).

Η ποσότητα της θερμότητας Q_{ω} που χρειάζεται γιά νά άνυψωθεί ή θερμοκρασία μιάς ποσότητας νερού άπό θ_1 σέ θ_2 βαθμούς Κελσίου είναι:

$$Q_{\omega} = m \cdot (\theta_2 - \theta_1) \quad \text{σέ kcal}$$

οπου: Q_{ω} ή μάζα τοῦ νεροῦ, σέ kg καί

θ_1 , καί θ_2 ή άρχική καί τελική θερμοκρασία τοῦ νεροῦ, σέ $^{\circ}\text{C}$.

Τό ποσό της θερμότητας Q_{π} δημαρχίας που πρέπει νά δώσει τό θερμαντικό στοιχείο που προκαλεῖ τή θέρμανση τοῦ νεροῦ, είναι μεγαλύτερο άπό τό Q_{ω} . Αύτό δύνεται στό ίστι ένα μέρος άπό τή θερμότητα που δίνομε, χάνεται άπό μετάδοση θερμότητας στήν άτμο-σφαιρα, γιά τή θέρμανση τοῦ δοχείου κλπ. "Έχομε δηλαδή καί έδω άπωλειες ένέργειας, δημαρχίας άναφέραμε στήν παράγραφο 4.3.

Πάιρνομε βέβαια διάφορα μέτρα γιά νά έλαττώσομε τίς άπωλειες αύτές οπως π.χ. καλύτερες θερμικές μονώσεις τῶν δοχείων κλπ. Ποτέ δημαρχίας οι άπωλειες δέν μπορεῖ νά γίνουν μηδενικές.

Συνέπεια τῶν παραπάνω είναι ίστι έχομε καί στίς συσκευές θερμάνσεως τοῦ νεροῦ ένα βαθμό άποδόσεως η , που είναι άριθμός μικρότερος άπό τή μονάδα. Μόνο στά έργαστηριακά θερμιδόμετρα (σχ. 4.6β) μπορεῖ πρακτικά νά θεωρηθεί ίστι είναι $\eta = 1$. Είναι συνεπῶς:

$$\eta = \frac{Q_{\omega}}{Q_{\pi}}$$

καί

$$Q_{\omega} = \eta \cdot Q_{\pi}$$

Χωρίς νά έξηγήσομε άναλυτικά πῶς προκύπτουν, δίνομε παρακάτω δύο σχέσεις χρήσιμες στήν πράξη, οι ίστοις σχέσεις συνδέουν τήν ίσχυ τοῦ θερμαντικοῦ στοιχείου ή τήν ήλεκτρική ένέργεια, που καταναλώνει αύτό, μέ τά στοιχεία τοῦ νεροῦ που πρέπει νά θερμανθεῖ.

$$m \cdot (\theta_2 - \theta_1) = 860 \cdot \eta \cdot P \cdot t$$

$$m \cdot (\theta_2 - \theta_1) = 860 \cdot \eta \cdot A$$

καί

όπου: m ή μάζα τοῦ νεροῦ γιά θέρμανση σέ kg,
 θ_1 , καί θ_2 ή άρχική καί τελική θερμοκρασία του σέ °C,
 P ή ηλεκτρική ισχύς τοῦ θερμαντικοῦ στοιχείου σέ kW,
 t ο χρόνος θερμάνσεως σέ h,
 A ή ηλεκτρική ένέργεια πού χρειάζεται σέ kWh καί
 η ο βαθμός άποδόσεως τῆς συσκευῆς θερμάνσεως.

Παράδειγμα 1.

Σέ ένα θερμιδόμετρο (σχ. 4.6β), πού έχει ποσότητα νεροῦ 5 kg διοχετεύομε ρεύμα τάσεως 220 V καί έντασεως 10 A έπι 12 min. Πόσο θά άνεβει ή θερμοκρασία τοῦ νεροῦ;

Λύση:

Στό θερμιδόμετρο μποροῦμε νά δεχθοῦμε $\eta = 1$. Εἶναι έπισης:

$$P = U \cdot I = 220 \times 10 = 2200 \text{ W} = 2,2 \text{ kW} \quad \text{καί} \quad t = \frac{12}{60} = 0,2 \text{ h}$$

Από τή σχέση:

$$m (\theta_2 - \theta_1) = 860 \cdot \eta \cdot P \cdot t$$

προκύπτει ότι:

$$\theta_2 - \theta_1 = \frac{860 \cdot \eta \cdot P \cdot t}{m} = \frac{860 \times 1 \times 2,2 \times 0,2}{5} = 75,7^\circ\text{C}$$

Δηλαδή ή θερμοκρασία τοῦ νεροῦ άνυψώθηκε κατά $75,7^\circ\text{C}$ άπό ό,τι ήταν προηγουμένως.

Παράδειγμα 2.

Μ' ένα ηλεκτρικό βραστήρα νεροῦ (σχ. 4.6γ) πού έχει βαθμό άποδόσεως 0,86, θέλομε νά ζεστάνομε 1,5 kg νερό άπο 20°C στούς 100°C (νά βράσει). Πόση ηλεκτρική ένέργεια πρέπει νά ξοδέψομε;

Λύση:

Από τή σχέση:

$$m \cdot (\theta_2 - \theta_1) = 860 \cdot \eta \cdot A$$

έχομε:

$$A = \frac{m \cdot (\theta_2 - \theta_1)}{860 \cdot \eta} = \frac{1,5 \times (100 - 20)}{860 \times 0,86} = 0,162 \text{ kWh}$$

Παράδειγμα 3.

Θέλομε ένας ήλεκτρικός θερμοσίφωνας μέ βαθμό άποδόσεως 0,90 νά θερμαίνει 15 lt νερό άπο τούς 14°C στούς 80°C μέσα σέ 30 min. Ποιά ίσχυ πρέπει νά έχει τό θερμαντικό στοιχείο τοῦ θερμοσίφωνα;

Λύση:

Από τή σχέση:

$$m \cdot (\theta_2 - \theta_1) = 860 \cdot \eta \cdot P \cdot t$$

προκύπτει ότι:

$$P = \frac{m \cdot (\theta_2 - \theta_1)}{860 \cdot \eta \cdot t} = \frac{15 \times (80 - 14)}{860 \times 0,9 \times 30} = 2,56 \text{ kW}$$

Παράδειγμα 4.

Ένας θερμοσίφωνας 80 lt (σχ. 4.6γ), 3 kW καί βαθμοῦ άποδόσεως 0,92, σέ πόσο χρόνο άνυψωνει τή θερμοκρασία τοῦ νεροῦ κατά 60°C;

Λύση:

Από τή σχέση:

$$m \cdot (\theta_2 - \theta_1) = 860 \cdot \eta \cdot P \cdot t$$

προκύπτει ότι:

$$t = \frac{m \cdot (\theta_2 - \theta_1)}{860 \cdot \eta \cdot P} = \frac{80 \times 60}{860 \times 0,92 \times 3} = 2 \text{ h}$$

4.7 Οι άγωγοί τῶν ἑσωτερικῶν ήλεκτρικῶν ἐγκαταστάσεων.

4.7.1. Θέρμανση τῶν άγωγῶν.

Στήν άρχή τῆς προηγούμενης παραγράφου άναφέραμε ότι μιά άπό τίς άνεπιθύμητες συνέπειες τοῦ φαινομένου Τζούλ είναι η άπωλεια ένέργειας καί η ύψωση τής θερμοκρασίας στούς άγωγούς τῶν γραμμῶν μέ τίς όποιες μεταφέρομε ή διανέμομε τήν ήλεκτρική ένέργεια καί στούς άγωγούς τῶν ἑσωτερικῶν ήλεκτρικῶν ἐγκαταστάσεων τῶν σπιτιών, καταστημάτων, έργοστασίων κλπ.

Η θερμοκρασία στήν όποια φθάνει ένας άγωγός άπο τόν όποιο περνᾶ ήλεκτρικό ρεῦμα γιά μεγάλο χρονικό διάστημα, ξεπράτται άπο τό ποσό τής θερμότητας, πού παράγεται μέσα σ' αύτόν καί έπισης άπο τήν εύκολιά (ή τή δυσκολία) πού έχει νά μεταδίδει στό γύρω του χώρο τή

θερμότητα πού άναπτύσσεται. Ή μετάδοση αύτή της θερμότητας έξαρταται άπο τό αν διαχωρίζεται στό ύπαιθρο ή μέσα σέ σωλήνα και αν μέσα στό σωλήνα ύπάρχουν και άλλοι άγωγοι πού διαρρέονται άπο ρεύμα.

Η θερμότητα πού παράγεται σέ έναν διαδικαστικό χρόνο μέσα σ' έναν άγωγό, όπως είδαμε άπο τό νόμο του Τζούλ, έχαρταται άπο τήν ένταση τού ρεύματος πού περνά μέσα άπο τόν άγωγό και άπο τήν άντιστασή του. Η άντισταση αύτή είναι τόσο μεγαλύτερη όσο μικρότερη είναι ή διατομή τού άγωγού.

Μικρότερη διατομή δύμας τού άγωγού δέν σημαίνει μόνο μεγαλύτερη άντισταση. Δυσκολεύει και τή μετάδοση της θερμότητας στό γύρω χώρο. Δηλαδή ή διατομή τού άγωγού έπιδρα μέ δύο τρόπους στήν αύξηση της θερμοκρασίας του. "Οσο μικρότερη είναι, τόσο αύξανεται η παραγόμενη θερμότητα και τόσο δυσκολεύεται η μετάδοσή της στό περιβάλλον.

Σέ κάθε χώρα ύπάρχουν κρατικοί Κανονισμοί, πού καθορίζουν πόση ένταση ρεύματος έπιτρέπεται νά περνά άπο κάθε άγωγό, άνάλογα μέ τόν τρόπο πού χρησιμοποιείται και μέ τή διατομή του. Στά έπομενα αύτής της παραγράφου θά έξετάσομε τούς άγωγούς τών έσωτερικών ή λεκτρικών έγκαταστάσεων. Θά δοῦμε πώς έκλεγομε τή διατομή τών άγωγών αύτών, ώστε νά μήν ύπάρχει κίνδυνος νά αύξηθεί ύπερβολικά ή θερμοκρασία τους κατά τή λειτουργία της έγκαταστάσεως.

Ο Πίνακας 4.7.1 περιλαμβάνεται στόν **Κανονισμό Έσωτερικών Ήλεκτρικών Έγκαταστάσεων** τής χώρας μας και δίνει τή **μέγιστη έπιτρεπόμενη ένταση συνεχούς ροής** μέσα άπο μονωμένους χάλκινους άγωγούς, μέ μόνωση άπο έλαστικό ή θερμοπλαστική ούσια. Οι διατομές τών άγωγών πού άναφέρονται στόν πίνακα είναι οι τυποποιημένες διατομές πού βρίσκονται στό έμπόριο.

Άναλογα μέ τό είδος ή τόν τρόπο έγκαταστάσεως, οι άγωγοι έχουν καταταγεῖ στόν πίνακα αύτό σέ τρεις διατομές:

Όμάδα I: Τρεις τό πολύ άγωγοί μέσα στόν ίδιο σωλήνα ή σέ καλώδιο, σέ δρατή ή χωνευτή έγκατασταση.

Όμάδα II: Μονοπολικά καλώδια ή μονοπολικοί άγωγοί σέ δρατές έγκαταστάσεις και σέ άπόσταση μεταξύ τους.

Όμάδα III: Συνδετικοί άγωγοί και κορδόνια γιά τήν τροφοδότηση κινητών και φορητών συσκευών.

Οι τιμές τού πίνακα έχουν καθορισθεῖ έτσι, ώστε ή μέγιστη θερμοκρασία τών άγωγών νά μήν περνά τούς 60°C , γιά θερμοκρασία περιβάλλοντος μέχρι 30°C . "Αν ή θερμοκρασία τού περιβάλλοντος περνά τούς 30°C , παίρνομε μικρότερες τιμές τών έπιτρεπομένων έντάσεων απ' αύτές πού γράφει ο πίνακας. Π.χ. αν ή θερμοκρασία τού περιβάλ-

ΠΙΝΑΚΑΣ 4.7.1.
Έπιτρεπόμενες έντάσεις σε Α.

Διατομή άγωγού σε mm ²	'Ομάδα I	'Ομάδα II	'Ομάδα III
0,75	9	15	7
1	11	18	9
1,5	14	22	10
2,5	20	31	15
4	25	41	20
6	33	54	26
10	43	70	35
16	60	96	48
25	83	128	65
35	100	153	78
50	127	197	100
70	147	234	—
95	181	287	—
120	208	336	—
150	238	383	—
185	266	435	—
240	310	515	—
300	355	596	—

λοντος φθάνει τους 35°C, παίρνομε τό 91% από τίς τιμές του πίνακα, αν φθάνει τους 40°C, παίρνομε τό 82% κ.ο.κ.

Όπως άναφέραμε ό πίνακας ισχύει γιά χάλκινους άγωγούς. Άν οι άγωγοι είναι από άλουμινιο, παίρνομε ώς έπιτρεπόμενες έντάσεις τό 80% από τίς τιμές του πίνακα.

Παράδειγμα.

Μιά ήλεκτρική κουζίνα μέ τρία μάτια και φούρνο έχει συνολική ίσχυ 5 kW. Ποιά διατομή πρέπει νά έχει ό καθένας από τους δύο άγωγούς, πού συνδέουν τήν κουζίνα μέ τόν πίνακα του διαμερίσματος; Ή τάση του ρεύματος είναι 220 V και ή έγκατάσταση είναι χωνευτή.

Λύση:

Ή ένταση του ρεύματος ύπολογίζεται, γιά τήν περίπτωση αύτή, παραδεχόμενοι ότι θά λειτουργοῦν ταυτόχρονα τά τρία μάτια και ό φούρνος τής κουζίνας, δύοτε θά είναι:

$$I = \frac{P}{U} = \frac{5000}{220} = 22,73 \text{ A}$$

Άπο τόν Πίνακα 4.7.1, στή στήλη τής διμάδας I, στήν δοπία άνήκει ή

περίπτωση, βρίσκομε ότι αν οι άγωγοί της γραμμῆς είναι χάλκινοι, θά πρέπει, για νά μήν ύπερθερμανθοῦν, νά έχουν διατομή τουλάχιστον 4 mm². Η διατομή αύτή άντεχει σέ ρεύμα έντασεως μέχρι 25 A.

4.7.2 Πτώση τάσεως στούς άγωγούς.

Η αντίσταση τῶν άγωγῶν δέν έχει μόνο ώς άποτέλεσμα τήν άπωλεια ένεργειας σ' αύτούς καί τή θέρμανσή τους. "Έχει καί τήν πτώση τάσεως σ' αύτούς, δημοσιευμένη στήν παράγραφο 3.6.1 καθώς καί στό παράδειγμα 2 τής ίδιας παραγράφου. Η πτώση τάσεως στίς γραμμές τῶν έσωτερικῶν έγκαταστάσεων, δημοσιευμένη στήν παράγραφο 3.6.1 καθώς καί στό παράδειγμα 2 τής ίδιας παραγράφου. Η πτώση τάσεως στίς γραμμές τῶν δικτύων μεταφορᾶς καί διανομῆς, δέν πρέπει νά ύπερβαίνει μιά καθορισμένη τιμή, ώστε νά έξασφαλίζεται σχετική σταθερότητα τάσεως καί συνεπῶς καλή λειτουργία τῶν συσκευῶν.

Στόν Κανονισμό τῶν έσωτερικῶν ηλεκτρικῶν έγκαταστάσεων τής χώρας μας «συνιστάται» δημοσιευμένη πτώση τάσεως στή γραμμή μιᾶς έσωτερικῆς έγκαταστάσεως, άπό τό μετρητή μέχρι τό σημείο πού γίνεται διακλάδωση γιά τήν τροφοδότηση τῶν συσκευῶν, νά μήν ξεπερνά τό 1% τής τάσεως παροχῆς γιά φορτία φωτισμοῦ καί τό 3% γιά φορτία κινήσεως.

"Αν παραστήσομε μέ ρ τό ποσοστό τοῖς έκατό τής τάσεως τοῦ δικτύου U πού δεχόμαστε σάν έπιτρεπτή πτώση τάσεως στή γραμμή (π.χ. 3% γιά κίνηση), τότε ή πτώση τάσεως υ σέ βόλτ θά είναι:

$$u = \frac{p \cdot U}{100} \quad \text{σέ V}$$

Π.χ. αν ή τάση τοῦ δικτύου είναι U = 220 V καί τό ποσοστό τής έπιτρεπόμενης πτώσεως τάσεως 2%, τότε ή πτώση τάσεως σέ V θά είναι:

$$u = \frac{p \cdot U}{100} = \frac{2 \times 220}{100} = 4,4 \text{ V}$$

"Αν λάβομε ύπ' όψη μας ότι:

$$u = R \cdot I \quad \text{καί} \quad R = \frac{2 \cdot p \cdot l}{S}$$

προκύπτει ότι ή διατομή, πού πρέπει νά έχουν οι άγωγοί τής γραμμῆς τής έσωτερικῆς έγκαταστάσεως, γιά νά έχομε τήν έπιτρεπόμενη πτώση τάσεως σ' αύτούς, δίνεται άπό τή σχέση:

$$S = \frac{2 \cdot p \cdot l \cdot I}{u} \quad \text{σέ mm}^2$$

όπου l τό μήκος τής γραμμῆς σέ m,

Ι ή ἔνταση τοῦ ρεύματος μέσα στούς άγωγούς σέ A,
υ ή ἐπιτρεπόμενη πτώση τάσεως στούς δύο άγωγούς τῆς γραμμῆς σέ V,

ρ ή ειδική ἀντίσταση τοῦ ύλικοῦ τῶν άγωγῶν σέ $\Omega \text{mm}^2/\text{m}$.

"Αν γνωρίζομε τή διατομή καί θέλομε νά βροῦμε τήν πτώση τάσεως, πού θά ἔχομε καί στούς δύο άγωγούς τῆς γραμμῆς, χρησιμοποιοῦμε τή σχέση:

$$u = \frac{2 \cdot \rho \cdot l \cdot I}{S} \quad \text{σέ V}$$

Σέ κάθε συγκεκριμένη περίπτωση μεταξύ τῆς διατομῆς, πού θά προκύψει ἀπό τόν παραπάνω ύπολογισμό μέ βάση τήν ἐπιτρεπόμενη πτώση τάσεως καί ἔκείνης πού θά πρέπει νά πάρομε μέ βάση τή θέρμανση τῶν άγωγῶν, δπως ἔξηγήσαμε στήν προηγούμενη παράγραφο, τελικά ἔκλεγομε τή μεγαλύτερη ἀπό τίς δύο. "Αν ή διατομή αύτή δέν είναι τυποποιημένη, ώστε νά ύπαρχει στό ἐμπόριο, ἔκλεγομε τήν άμέσως μεγαλύτερή της τυποποιημένη διατομή.

Παράδειγμα 1.

"Η γραμμή γενικῆς τροφοδοτήσεως τῆς έσωτερικῆς ἐγκαταστάσεως τοῦ σπιτιοῦ τοῦ παραδείγματος 5 τῆς παραγράφου 4.2, πού περιλαμβάνεται μεταξύ τοῦ σημείου τροφοδοτήσεως ἀπό τή ΔΕΗ καί τοῦ πίνακα διανομῆς (Π , καί Π_2 στό σχῆμα 4.2δ), ἔχει μῆκος 7 m καί διαρρέεται ἀπό (μέγιστη) ἔνταση ρεύματος 30 A. Ή πτώση τάσεως στή γραμμή δέν πρέπει νά περνᾶ τό 1% τῆς όνομαστικῆς τάσεως τοῦ δικτύου (= 220 V). Ποιά διατομή πρέπει νά ἔχουν οἱ μονωμένοι χάλκινοι άγωγοί τῆς γραμμῆς, οἱ δποῖοι είναι τοποθετημένοι σέ χωνευτή σωλήνωση;

Λύση:

Μέ βάση τήν ἐπιτρεπόμενη πτώση τάσεως ύπολογίζομε πρῶτα τή ζητούμενη διατομή. "Έχομε:

$$u = \frac{\rho \cdot U}{100} = \frac{1 \times 220}{100} = 2,2 \text{ V} \quad \text{καί}$$

$$S = \frac{2 \cdot \rho \cdot l \cdot I}{u} = \frac{2 \times 0,0175 \times 7 \times 30}{2,2} = 3,34 \text{ mm}^2$$

"Εκλέγομε τήν άμέσως μεγαλύτερη τυποποιημένη διατομή, πού δπως βλέπομε ἀπό τόν Πίνακα 4.7.1 είναι $S = 4 \text{ mm}^2$. Ή διατομή αύτή ομως δέν είναι παραδεκτή ἀπό τήν ἀποψη τῆς θερμάνσεως, γιατί ή ἐπι-

τρεπόμενη γι' αύτή ένταση είναι 25 Α (Όμάδα I τοῦ Πίνακα), ένω στό παράδειγμα αύτό ή ένταση γραμμῆς είναι 30 Α. Έκλεγομε τελικά τή διατομή $S = 6 \text{ mm}^2$, γιά τήν όποια ή έπιτρεπόμενη ένταση ρεύματος είναι 33 Α.

Παράδειγμα 2.

Έάν ή γραμμή τής έσωτερικής έγκαταστάσεως τοῦ προηγούμενου παραδείγματος έχει μῆκος 18 m, ένω τά ύπόλοιπα στοιχεῖα είναι τά ī-δια, ποιά πρέπει νά είναι τώρα ή διατομή τῶν ἀγωγῶν τῆς γραμμῆς;

Λύση:

Η διατομή θά προκύψει πάλι ἀπό τή σχέση:

$$S = \frac{2 \cdot p \cdot l \cdot I}{u} = \frac{2 \times 0,0175 \times 18 \times 30}{2,2} = 8,59 \text{ mm}^2$$

Έκλεγομε τήν ἀμέσως μεγαλύτερη τυποποιημένη διατομή, πού είναι τά 10 mm². Γιά τή διατομή αύτή, ἀπό ἄποψη θερμάνσεως, ὅπως παρατηροῦμε στόν Πίνακα 4.7.1 έπιτρέπεται ρεῦμα έντάσεως 43 A, πού ύπερβαίνει τά 30 A τοῦ παραδείγματος.

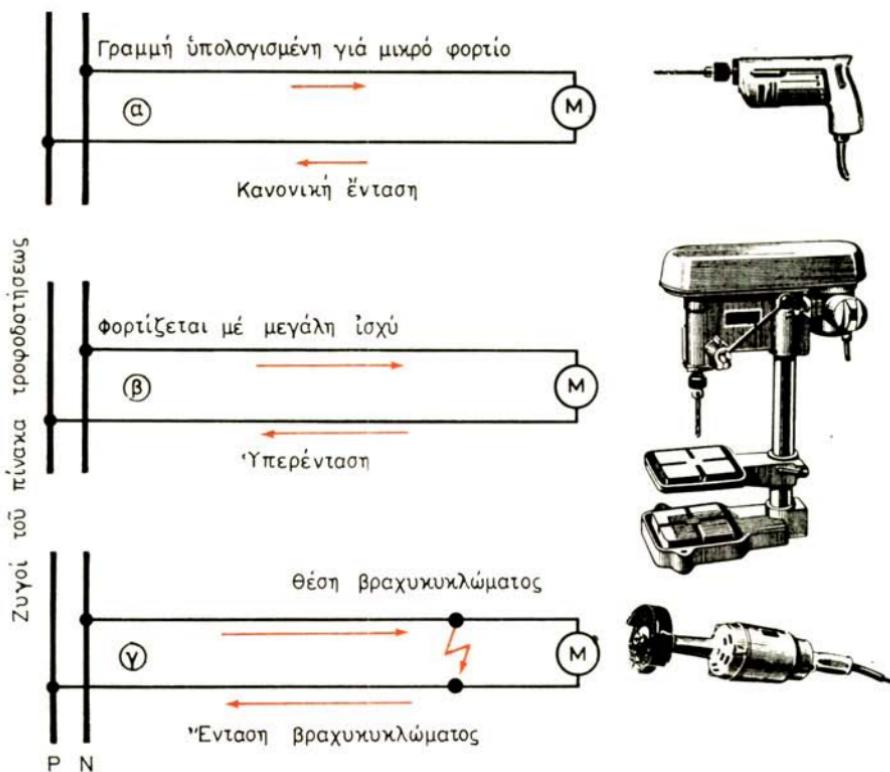
Ως συμπέρασμα προκύπτει ὅτι, ὅταν ή γραμμή έχει μικρό σχετικά μῆκος καὶ σημαντική ένταση, ή διατομή τῶν ἀγωγῶν τῆς καθορίζεται μέ βάση τίς έπιτρεπόμενες έντάσεις τοῦ Πίνακα 4.7.1. "Αν, ἀντίθετα, ή γραμμή έχει σημαντικό μῆκος χωρίς πολύ μεγάλη ένταση, ή διατομή τῶν ἀγωγῶν καθορίζεται ἀπό τήν πτώση τάσεως πού θεωρεῖται έπιτρεπτή.

4.7.3 Προστασία τῶν γραμμῶν ἀπό ύπερεντάσεις.

Ρεῦμα έντάσεως μεγαλύτερης ἀπό αύτήν γιά τήν όποια έχει ύπολογισθεῖ μιά γραμμή, μπορεῖ νά παρουσιασθεῖ σέ δύο περιπτώσεις:

α) "Οταν στή γραμμή, πού είχε προβλεφθεῖ ὅτι θά τροφοδοτεῖ κάποιο μικρό φορτίο [σχ. 4.7a(α)], συνδεθεῖ ἔνα φορτίο πού νά έχει σημαντικά μεγαλύτερη ίσχυ [σχ. 4.7a(β)].

β) "Οταν συμβεῖ ἔνα βραχυκύκλωμα μεταξύ τῶν δύο ἀγωγῶν τῆς γραμμῆς. Τό βραχυκύκλωμα αύτό μπορεῖ νά συμβεῖ σέ όποιοδήποτε σημεῖο τῆς γραμμῆς, ἢν χαλάσει ή μόνωση τῶν ἀγωγῶν καὶ ἔλθει σέ ἐπαφή δένας ἀγωγός μέ τόν ἄλλο [σχ. 4.7a(γ)]. Στήν περίπτωση αύτή μηδενίζεται γιά τήν πηγή ή ἀντίσταση τοῦ καταναλωτῆ καὶ μένει μόνο, μεταξύ τῶν πόλων P καὶ N αύτῆς (ἢ τῶν ζυγῶν P καὶ N τοῦ πίνακα) ή πολύ μικρή ἀντίσταση τῶν ἀγωγῶν. Θά συμβεῖ τότε καὶ ἔδω αύτό πού ἔχηγήσαμε ὅτι συμβαίνει στό βραχυκύκλωμα τῶν πόλων μιᾶς πηγῆς (παράγρ. 3.8). Δηλαδή μέσα ἀπό τούς ἀγωγούς θά περάσει μιά πολύ μεγάλῃ ένταση ρεύματος.



Σχ. 4.7α.

Υπερεντάσεις σε γραμμή έσωτερης ή λεκτρικής έγκαταστάσεως.

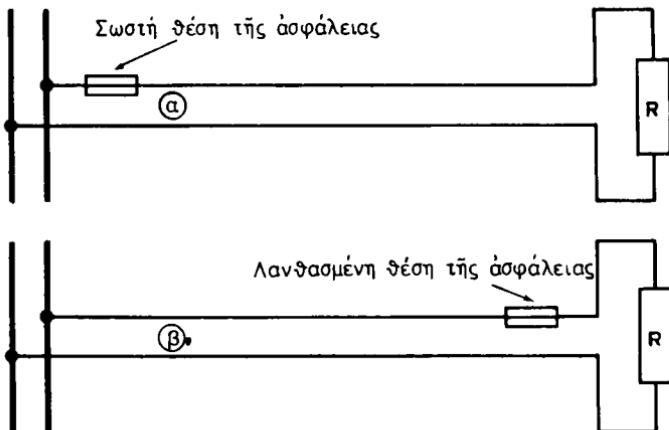
Τό ρεύμα, πού θά περάσει μέσα από τούς άγωγούς, σε δοπιαδήποτε από τίς δύο παραπάνω περιπτώσεις, άν ξεπερνά τά όρια έντασεων πού έπιτρέπουν οι Κανονισμοί (Πίνακας 4.7.1), άν έχομε δηλαδή περίπτωση **ύπερεντάσεως**, οπως λέμε, θά προκαλέσει ύπερβολική θέρμανση τῶν άγωγῶν. Συνεπῶς θά διατρέξουν κίνδυνο καταστροφῆς οι μονώσεις τῶν άγωγῶν τῆς γραμμῆς ή άκόμα είναι ένδεχόμενο νά προκληθεῖ πυρκαϊά κλπ.

Γιά νά άποφευχθοῦν οι κίνδυνοι αύτοί, χρησιμοποιοῦνται διάφορα μέσα προστασίας από τίς ύπερεντάσεις, πού προβλέπονται από τούς Κανονισμούς. Μέ τά μέσα αύτά πετυχαίνομε τήν γρήγορη **άπόξευξη** τῶν γραμμῶν (ή τῶν μηχανημάτων), πού έμφανίσθηκαν οι ύπερεντάσεις. "Ετσι άποκλείονται οι σοβαρές βλάβες στίς έγκαταστάσεις καί οι κίνδυνοι γιά τούς άνθρωπους.

Τό άπλούστερο από αύτά τά μέσα προστασίας είναι **οι άσφαλειες τή-**

ξεως. Τό κύριο μέρος τους είναι ένα ψιλό συρματάκι, πού συνδέεται στήν άρχη τής γραμμῆς σέ σειρά μέ αύτή (σχ. 4.7β), ώστε μέσα άπό τό συρματάκι νά περνᾶ δλο τό ρεύμα τής γραμμῆς. Έάν ή ένταση τοῦ ρεύματος είναι κανονική, τό συρματάκι θερμαίνεται λίγο.

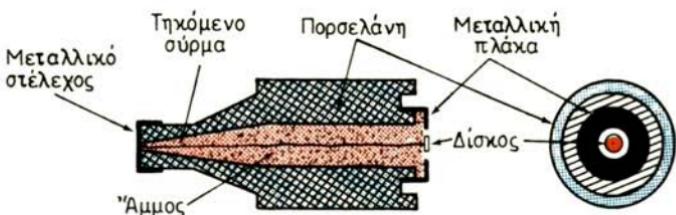
Άν δημαρχεί μιά ύπερένταση στή γραμμή, τό συρματάκι θερμαίνεται πολύ καί λιώνει, διακόπτοντας τό κύκλωμα, προτοῦ γίνει δημιαδήποτε ύπερθέρμανση στούς άγωγούς. Δηλαδή μποροῦμε νά πούμε δη άπό τήν άποψη τοῦ φαινομένου τοῦ Τζούλ, οι άσφαλειες είναι μιά άκόμη χρήσιμη έφαρμογή του.



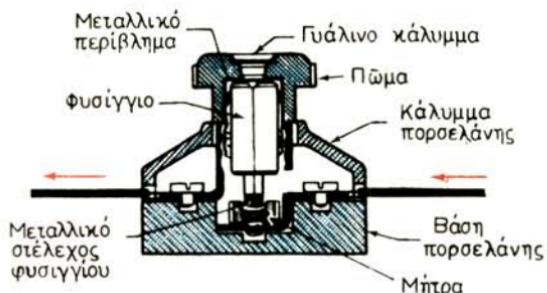
Σχ. 4.7β.
Σωστή θέση τής άσφαλειας προστασίας γραμμῆς.

Όπως φαίνεται καί στό σχήμα 4.7β(α), ή σωστή θέση τής άσφαλειας είναι στήν άρχη τής γραμμῆς. Άν ή τοποθέτηση γίνει δημιαδή προστατεύει τή γραμμή άπό τά βραχυκυκλώματα, πού μπορεῖ νά συμβοῦν στό διάστημα άπό τούς ζυγούς τοῦ Πίνακα μέχρι τή θέση πού είναι ή άσφαλεια.

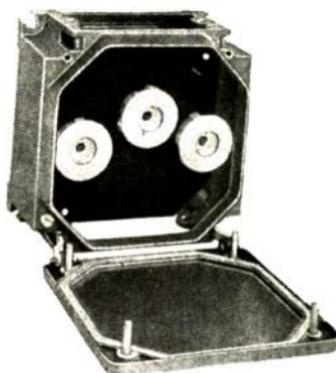
Η θερμοκρασία, στήν δημιαδή φθάνει τό συρματάκι κατά τό λιώσιμό του, είναι πολύ μεγάλη καί θά μποροῦσε νά προκαλέσει πυρκαϊά. Γι' αύτό στίς άσφαλειες, πού χρησιμοποιοῦμε, συνήθως, στίς έσωτερικές ήλεκτρικές έγκαταστάσεις, τό συρματάκι αύτό είναι τοποθετημένο μέσα σέ ειδικά **φυσίγγια** (σχ. 4.7γ) άπό πορσελάνη καί περιβάλλεται άπό άμμο. Σέ μία άκρη τό φυσίγγιο φέρει μία μεταλλική πλάκα καί στήν άλλη ένα μεταλλικό στέλεχος. Μέ αύτά τό συρματάκι έχασφαλίζει τήν άγωγιμη έπαφή του μέ τό κύκλωμα, δημιαδή φαίνεται στό σχήμα 4.7δ. Στό



Σχ. 4.7γ.
Φυσιγγιό άσφαλειας τήξεως.



Σχ. 4.7δ.
Άσφαλεια τήξεως.



Σχ. 4.7ε.
Άσφαλειοκιβώτιο.

σχῆμα αύτό το φυσιγγιό είναι τοποθετημένο μέσα σ' єνα **πώμα** άπο πορσελάνη καί δύτα μαζί στή **βάση** τής άσφαλειας, πού είναι έπισης άπο πορσελάνη.

Στό σχήμα 4.7ε φαίνεται єνα **άσφαλειοκιβώτιο**, πού περιέχει τρεῖς άσφαλειες τήξεως, δηλαδή τό άσφαλειοκιβώτιο αύτό μπορεί νά χρησιμοποιηθεί γιά τήν **άσφαλιση** τριῶν γραμμῶν μιᾶς έσωτερικῆς ήλεκτρικῆς έγκαταστάσεως.

'Ονομαστική ἔνταση μιᾶς άσφαλειας (τοῦ φυσιγγίου τῆς) λέγεται ή μικρότερη ἔνταση ρεύματος πού προκαλεῖ τό κάψιμό της, δηλαδή πού λιώνει τό συρματάκι, ἀν περάσει γιά μεγάλο χρονικό διάστημα άπο τήν άσφαλεια. Ή όνομαστική ἔνταση ἐνός φυσιγγίου άναγνωρίζεται καί άπο τό χρώμα πού ἔχει ἔνας μικρός δίσκος, πού φέρει στό κέντρο τής μεταλλικῆς πλάκας (σχ. 4.7γ). Ο Πίνακας 4.7.2 δίνει τίς όνομαστικές ἔντάσεις τῶν φυσιγγίων, πού βρίσκονται στό έμπόριο μέ τήν ἀντιστοιχία σέ χρώματα τοῦ δίσκου.

Σημειώνομε δτί δ μικρός αύτός δίσκος άποκόπτεται άπο τό συρματά-

ΠΙΝΑΚΑΣ 4.7.2.

Όνομαστικές έντασεις και χρώματα δίσκου φυσιγγίων άσφαλειῶν.

Όνομαστική ένταση Α	Χρώμα δίσκου φυσιγγίου	Όνομαστική ένταση Α	Χρώμα δίσκου φυσιγγίου
6	πράσινο	35	μαύρο
10	κόκκινο	50	δασπρό
16	γκρί	60	χαλκόχρουν
20	μπλέ	80	άσημί
25	κίτρινο	100	κόκκινο

κι, όταν αύτό λιώσει. Ήτσι είναι εύκολο νά διαπιστώσομε καί όπτικά ἄν ένα φυσίγγιο ἔχει καεῖ, όταν ἔχει άποκοπεῖ καί πέσει δίσκος του.

Είναι φανερό δτι όταν καεῖ ένα φυσίγγιο πρέπει νά τό άντικαταστήσομε μέ άλλο τῆς ίδιας όνομαστικής έντασεως. Ποτέ δέν πρέπει νά έπισκευάζομε πρόχειρα τά καμμένα φυσίγγια γεφυρώνοντάς τα μέ συρματάκια. Ή άσφαλεια τότε δέν έκτελεῖ τόν προορισμό της καί μπορεῖ νά προκληθοῦν ζημιές στήν έγκατάσταση.

“Οπως δρίζουν οι Κανονισμοί, ή όνομαστική ένταση τῶν άσφαλειῶν, πού χρησιμοποιοῦνται γιά τήν προστασία γραμμῶν έσωτερικῶν έγκαταστάσεων, δέν πρέπει νά είναι μεγαλύτερη άπό τήν καθοριζόμενη στόν Πίνακα 4.7.1 μέγιστη έπιτρεπόμενη ένταση συνεχούς ροής τῶν άγωγῶν πού προστατεύουν.

4.8 Έρωτήσεις.

- Ποὺ καὶ πῶς παράγεται ή ήλεκτρική ένέργεια, πού χρησιμοποιοῦμε γιά τήν ικανοποίηση τῶν καθημερινῶν άναγκῶν;
- Τί όνομάζομε ήλεκτρική ίσχύ ένός καταναλωτῆ;
- Μέ τί ίσοῦται ή ίσχύς πού καταναλώνει ένας καταναλωτής; Μέ τί ίσοῦται ή ίσχύς αύτή όταν διατηρείται η ίσχυς της καταναλωτής είναι καθαρή άντισταση;
- Ποιά είναι ή μονάδα μετρήσεως τής ίσχύος καί ποιά τά πολλαπλάσια καί ύποπολλαπλάσια της, πού χρησιμοποιοῦνται συνήθως στήν πράξη; Ποιά σχέση τά συνδέει μέ τή μονάδα τής ίσχύος;
- Τί όνομάζομε έγκαταστημένη ίσχυ μᾶς έγκαταστάσεως καί τί συντελεστή μεταχρονισμοῦ;
- Τί όνομάζομε βαθμό άποδόσεως ένός μηχανήματος; Γιατί διαθέτει βαθμός άποδόσεως είναι πάντοτε άριθμός μικρότερος άπό τή μονάδα;
- Ποιά σχέση δίνει τήν ένέργεια, πού καταναλώνει ένας καταναλωτής, όταν γνωρίζουμε τήν ίσχυ του; Ποιά είναι ή μονάδα μετρήσεως τής ένέργειας;
- Ποιές μονάδες χρησιμοποιοῦνται στήν πράξη γιά τή μέτρηση τής ήλεκτρικής ένέργειας;
- Μέ ποιά δργανα μετροῦμε τήν ήλεκτρική ίσχυ καί μέ ποιά τήν ήλεκτρική ένέργεια, πού καταναλώνει ένας καταναλωτής;
- Σέ τί δύναται τό φαινόμενο τής θερμάνσεως τῶν άγωγῶν, όταν διαρρέονται άπό ήλεκτρικό ρεύμα;

11. Άνεφερε καί έξηγησε δύο περιπτώσεις στίς όποιες τό φαινόμενο Τζούλ είναι έπιζημιο.
12. Άνεφερε πέντε συσκευές, πού νά άποτελοῦν ώφελιμες γιά τόν άνθρωπο πρακτικές έφαρμογές τού φαινομένου Τζούλ.
13. Ποιά σχέση έκφραζει τό νόμο τού Τζούλ;
14. Ποιά σχέση δίνει τήν ίσχυ πού μετατρέπεται σέ θερμότητα μέσα σέ μιά άντισταση R;
15. Ποιές σχέσεις συνδέουν τίς μονάδες Wh, kWh, kcal; Ποιά σχέση συνδέει τίς μονάδες Ws καί cal;
16. Έξηγησε ποιά έννοια έχει δι βαθμός άποδόσεως μιᾶς συσκευής θερμάνσεως νερού μέ τό ήλεκτρικό ρεύμα;
17. Έκτός από τήν άπωλεια ήλεκτρικής ένέργειας, τό φαινόμενο Τζούλ ποιά άλλη συνέπεια έχει στούς άγωγούς πού διαρρέονται από ήλεκτρικό ρεύμα; Γιατί είναι έπιζημια ή συνέπεια αυτή;
18. Πώς έπιδρα ή διατομή τού άγωγού στήν αύξηση τής θερμοκρασίας τού άγωγού;
19. Μεταξύ τών δύο διατομών πού θά προκύψουν διέξετάσσομε τήν πτώση τάσεως στή γραμμή από τή μιά μεριά καί τή θέρμανση τών άγωγών από τήν άλλη, ποιά πρέπει νά έκλεξομε καί γιατί;
20. Τί όνομάζομε ύπερεντάσεις στούς άγωγούς καί ποιοί είναι οι λόγοι πού τίς προκαλοῦν;
21. Ή άσφαλεια τήξεως τί προστασία δίνει σέ μιά γραμμή καί πώς λειτουργεῖ;
22. Ποιά είναι ή σωστή θέση κατά μήκος τής γραμμής γιά τή σύνδεση τής άσφαλειας καί γιατί;
23. Τί όνομάζομε όνομαστική ένταση τής άσφαλειας; Ποιά πρέπει νά είναι ή σχέση της μέ τήν έπιπρεπόμενη ένταση τού άγωγού πού προστατεύει;

4.9 Προβλήματα.

1. Ποιά ένταση ρεύματος άπορροφοῦν οι λαμπτήρες ίσχυος 25 W, 40 W, 60 W, 100 W δταν λειτουργοῦν μέ τάση 220 V;

Απάντ. 0,114 A, 0,182 A, 0,273 A, 0,455 A

2. Ποιά είναι ή άντισταση τών παραπάνω λαμπτήρων δταν λειτουργοῦν (μέ τό νήμα πυρακτωμένο);

Απάντ. 1930 Ω, 1210 Ω, 806 Ω, 484 Ω

3. Ποιά ίσχυ καταναλώνει ένας κινητήρας, δι όποιος λειτουργεῖ σέ δίκτυο 220 V καί άπορροφά ένταση ρεύματος 8 A;

Απάντ. 1760 W ή 1,76 kW

4. Άπο δίκτυο τάσεως 220 V τροφοδοτεῖται ήλεκτροκινητήρας μέ ένταση 5 A. "Αν ή δλική άντισταση τών άγωγών τής γραμμής πού τροφοδοτεῖ τόν κινητήρα είναι $R = 2,4 \Omega$, νά βρεθοῦν:
 α) Ή ίσχυς πού καταναλώνεται στούς άγωγούς τής γραμμής.
 β) Ή συνολική ίσχυς, πού δίνει τό δίκτυο.
 γ) Ή παραλαμβανόμενη από τόν κινητήρα ίσχυς.

Απάντ. α) 60 W, β) 1100 W, γ) 1040 W

5. Τό κύκλωμα τῶν τριῶν καταναλωτῶν τοῦ σχήματος 3.14 τροφοδοτεῖται μέ τάση $U = 200$ V. Ζητοῦνται:

- α) Ἡ Ισχύς πού καταναλώνεται σέ κάθε ἀντίσταση καί
- β) ἡ συνολική Ισχύς πού παίρνει τό κύκλωμα ἀπό τήν πηγή.

Απάντ. α) $P_1 = 1152$ W, $P_2 = 768$ W, $P_3 = 6080$ W
 β) $P = 8000$ W

6. Πόση ἐνέργεια καταναλώνει τό μήνα (25 μέρες) ἔνας κινητήρας Ισχύος 3 kW καί βαθμοῦ ἀποδόσεως 0,88, ἀν λειτουργεῖ 5 ὥρες κάθε μέρα μέ τό κανονικό του φορτίο;

Απάντ. 426 kWh

7. Κινητήρας Ισχύος 10 PS λειτουργεῖ μέ τάση 220 V. Ὁ βαθμός ἀποδόσεως τοῦ κινητήρα εἶναι 0,9. Ζητοῦνται, ὅταν δικτυούνται μέ τό κανονικό του φορτίο:

- α) Ἡ ἑνταση πού ἀπορροφᾶ ἀπό τό δίκτυο καί
- β) τό κόστος τῆς ἡλεκτρικῆς ἐνέργειας πού καταναλώνει δικτυούνται τήν ἡμέρα (7 ὥρες) ἀν ἡ τιμή τῆς κιλοβαττώρας εἶναι 2,5 δρχ.

Απάντ. α) 37,2 A, β) 143 δρχ.

8. Ποιό ποσό θερμότητας ἀναπτύσσεται, ὅταν ρεύμα ἐντάσεως 50 A κυκλοφορεῖ γιά 30 λεπτά μέσα ἀπό ἀγωγό, πού ἔχει ἀντίσταση 4 Ω ;

Απάντ. 4320 kcal

9. Σέ πόσο χρόνο μικρός ἡλεκτρικός θερμοσίφωνας χωρητικότητας 15 λίτρων, Ισχύος 1,2 kW ἀνυψώνει κατά 60°C τή θερμοκρασία τοῦ νεροῦ πού περιέχει; Ὁ βαθμός ἀποδόσεως τοῦ θερμοσίφωνα εἶναι 0,87.

Απάντ. 1 h

10. Ἐν ἡ τιμή τῆς κιλοβαττώρας εἶναι 3,2 δρχ. πόσο στοιχίζει ἡ ἡλεκτρική θέρμανση ἐνός λίτρου νεροῦ ἀπό θερμοκρασία 20°C στή θερμοκρασία βρασμοῦ (100°C), μέσα σ' ἕνα δοχεῖο, πού ἔχει βαθμό ἀποδόσεως 0,80;

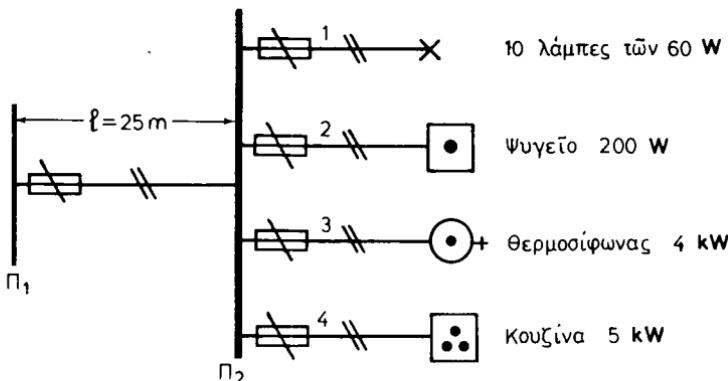
Απάντ. 0,37 δρχ.

11. Ἐνας ἡλεκτρικός βραστήρας, μέ βαθμό ἀποδόσεως 0,85, θερμαίνει μέσα σέ μιά ὥρα 5 λίτρα νερό ἀπό θερμοκρασία 15°C σέ θερμοκρασία 60°C . Ἐν ἡ ἑνταση πού ἀπορροφᾶ δικτυούνται τήν βραστήρας ἀπό τό δίκτυο εἶναι 9 A, ποιά εἶναι ἡ ἀντίσταση τοῦ θερμαντικοῦ του στοιχείου;

Απάντ. 3,8 Ω

12. Ἡ ἐσωτερική ἡλεκτρική ἐγκατάσταση ἐνός μικροῦ σπιτιοῦ καί ο'





Σχ. 4.9.

συσκευές πού τροφοδοτούνται άπο αύτη φαίνονται στό σχήμα 4.9. Ή πώση τάσεως στή γραμμή γενικής τροφοδοτήσεως ($\Pi_1 - \Pi_2$) δέν πρέπει νά υπερβαίνει τό 1% τής τάσεως τροφοδοτήσεως (220 V). "Αν δ συντελεστής μεταχρονισμού είναι $\eta_p = 0,55$, νά βρεθοῦν:

- α) Ή έγκαταστημένη Ισχύς τῶν συσκευῶν.
- β) Η μέγιστη Ισχύς πού άπορροφᾶ ή έγκατάσταση.
- γ) Η διατομή τῶν άγωγῶν τῆς γραμμῆς γενικῆς τροφοδοτήσεως, ή όποια πρέπει νά ύπολογισθεῖ καί σέ πτώση τάσεως καί
- δ) οι διατομές τῶν ύπολοίπων άγωγῶν τῆς έσωτερικῆς έγκαταστάσεως, μέ τήν παράδοχή ότι θά είναι χάλκινοι καί ή έγκατάσταση χωνευτή μέσα σέ σωλήνες. Κατά τούς Κανονισμούς ή έλαχιστη έπιτρεπόμενη διατομή χαλκίνων μονωμένων άγωγῶν στίς έσωτερικές έγκαταστάσεις είναι $1,5 \text{ mm}^2$.

Απάντ. α) 9800 W, β) 5390 W, γ) 10 mm^2 , δ) $S_1 = 1,5 \text{ mm}^2$, $S_2 = 1,5 \text{ mm}^2$, $S_3 = 2,5 \text{ mm}^2$, $S_4 = 4 \text{ mm}^2$

13. Ποιές είναι οι όνομαστικές τιμές τῶν άσφαλειῶν πού θά χρησιμοποιηθοῦν γιά τήν προστασία τῶν γραμμῶν τῆς έσωτερικῆς έγκαταστάσεως τοῦ προηγούμενου προβλήματος;

Απάντ. Γραμμή 1: 6 A, Γραμμή 2: 6 A,
Γραμμή 3: 20 A, Γραμμή 4: 25 A,
Γραμμή γενικῆς τροφοδοτήσεως: 35 A

ΜΕΡΟΣ ΔΕΥΤΕΡΟ

ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΣΜΟΣ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΠΕΜΠΤΟ

ΜΑΓΝΗΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΤΟΥ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟΥ ΡΕΥΜΑΤΟΣ

5.1 Μαγνήτες.

Στή φύση ύπαρχει ένα δρυκτό, δο μαγνητίτης, πού είναι όξειδιο του σιδήρου, τό όποιο έχει τήν ιδιότητα νά έλκει τεμάχια από σίδηρο. Τό δρυκτό αύτό είχε όνομασθεί από τούς άρχαίους "Έλληνες μαγνήτης (μαγνήτης λίθος) και ή ιδιότητά του μαγνητική ιδιότητα ή άπλα μαγνητισμός.

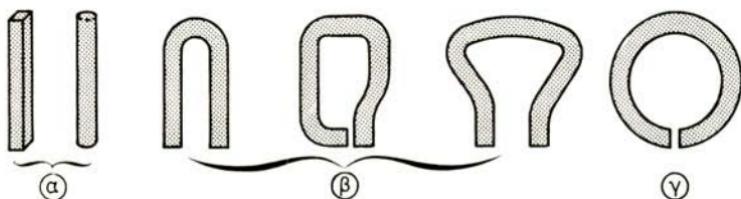
Έκτος από τούς φυσικούς μαγνήτες πού άναφέραμε παραπάνω και οι όποιοι σήμερα δέν παρουσιάζουν ένδιαφέρον γιά τήν Ήλεκτροτεχνία, ύπαρχουν και οι τεχνητοί μαγνήτες μέ πολύ καλύτερες μαγνητικές ιδιότητες. Οι τεχνητοί μαγνήτες είναι τεμάχια από χάλυβα (άτσαλι), τά όποια άπόκτησαν τή μαγνητική ιδιότητα μέ κατάλληλη τεχνική έπεξεργασία. Στούς τεχνητούς μαγνήτες – μέ αύτούς μόνο θά άσχοληθούμε στά έπόμενα – δίνουν διάφορα σχήματα (σχ. 5.1α), άναλογα μέ τή χρήση πού προορίζονται.

Οι μαγνήτες μποροῦν νά έλκουν, έκτος από τό σίδηρο και άλλα σώματα, δπως τό νικέλιο και τό κοβάλτιο. Άντιθετα δέν άσκοῦν καμιά έλξη στό χαλκό, τόν δρείχαλκο, τό άλουμινο και σέ πολλά άλλα σώματα.

Ή έλκτική δύναμη δέν είναι δομοίδομορφα μοιρασμένη σέ δλα τά σημεία ένός μαγνήτη. Αύτό τό διαπιστώνομε ἀν βυθίσομε ένα μαγνήτη σ' ένα σωρό από ρινίσματα σιδήρου. "Οταν σηκώσομε τό μαγνήτη, θά δούμε δητι στίς ακρες του έχουν προσκολληθεί πάρα πολλά ρινίσματα ένω σχεδόν κανένα δέν έχει προσκολληθεί στή μέση του. Αύτό φαίνεται στό σχήμα 5.1β, όπου ο μαγνήτης έχει τό σχήμα πρισματικής ράβδου.

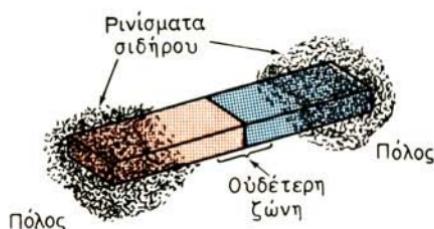
Τά μέρη, όπου η μαγνητική ιδιότητα είναι μεγαλύτερη, δίνομάζονται





Σχ. 5.1α.

Μαγνήτες σε διάφορα σχήματα. α) Ράβδου. β) Πετάλου. γ) Δακτύλιου.

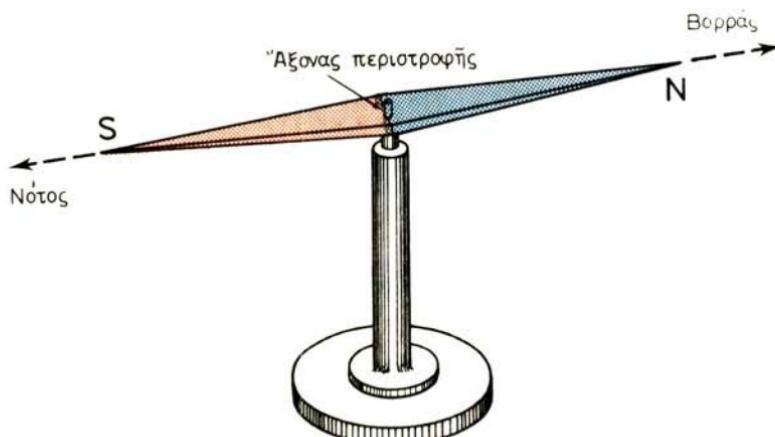


Σχ. 5.1β.

Πόλοι και ούδέτερη ζώνη μαγνήτη.

πόλοι τοῦ μαγνήτη. Τό μέρος, όπου δέν έμφανίζεται σχεδόν καθόλου μαγνητική έλξη, όνομάζεται **ούδέτερη ζώνη τοῦ μαγνήτη.** Κάθε μαγνήτης έχει δύο πόλους και μιά ούδέτερη ζώνη (σχ. 5.1β).

Μαγνητική βελόνα όνομάζεται ένας πολύ λεπτός και έλαφρός μαγνήτης σε σχήμα ρόμβου τόν όποιο στηρίζομε στό κέντρο βάρους του, όπως φαίνεται στό σχήμα 5.1γ, ώστε νά μπορεῖ νά περιστρέφεται έλευθερα.



Σχ. 5.1γ.

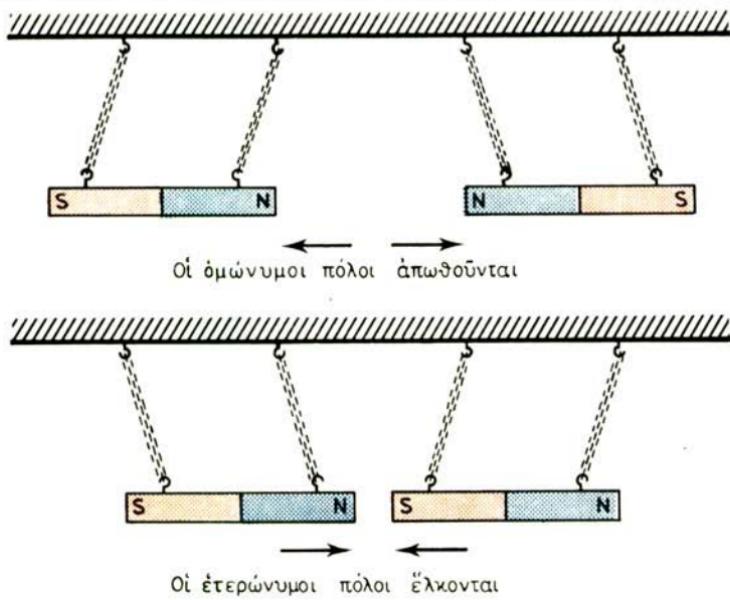
Μαγνητική βελόνα.

"Οπως γνωρίζομε καί από τή Φυσική, μιά μαγνητική βελόνα προσανατολίζεται πάντοτε στήν κατεύθυνση βορρά - νότου. Πρός τό βορρά στρέφεται πάντοτε ο ίδιος πόλος τής μαγνητικής βελόνας, τόν όποιο γιαυτό τόν όνομάζομε **βόρειο πόλο** καί τόν συμβολίζομε μέ τό γράμμα N. Ό αλλος πόλος πού προσανατολίζεται πρός τό νότο όνομάζεται **νότιος πόλος** καί τόν συμβολίζομε μέ τό γράμμα S.

Τήν ιδιότητα αυτή τής μαγνητικής βελόνας τή χρησιμοποιούμε γιά νά κατασκευάζομε τά ειδικά όργανα πού όνομάζονται **μαγνητικές πυξίδες**. Τά όργανα αυτά, όπως είναι γνωστό, μᾶς βοηθοῦν στό νά προσανατολίζόμασθε.

'Από τούς δύο πόλους, πού έχει όπως άναφέραμε κάθε μαγνήτης, δένας είναι βόρειος καί ο αλλος νότιος. Στίς περισσότερες περιπτώσεις μπορούμε εύκολα νά διαπιστώσομε ποιός είναι βόρειος καί ποιός νότιος, άν άναρπτσομε τό μαγνήτη άπό τό κέντρο βάρος του. "Οπως δηλαδή καί ή μαγνητική βελόνα. 'Ο μαγνήτης θά προσανατολισθεῖ έτσι, ώστε νά στρέφει πρός τό βορρά τό βόρειο πόλο καί πρός τό νότο τό νότιο πόλο.

"Όταν πλησιάσομε τούς πόλους δύο μαγνητῶν, παρατηρούμε, δτι **άπωθοῦνται** άν οι πόλοι είναι **δμώνυμοι**, δηλαδή καί οι δύο βόρειοι ή καί οι δύο νότιοι. "Άν οι πόλοι είναι **έτερώνυμοι**, δηλαδή δένας βόρειος καί ο αλλος νότιος, παρατηρούμε δτι **έλκονται**. Αύτά φαίνονται παραστατικά στό σχήμα 5.1δ, πού δείχνει δύο μαγνήτες σέ σχήμα ράβδου τή μιά

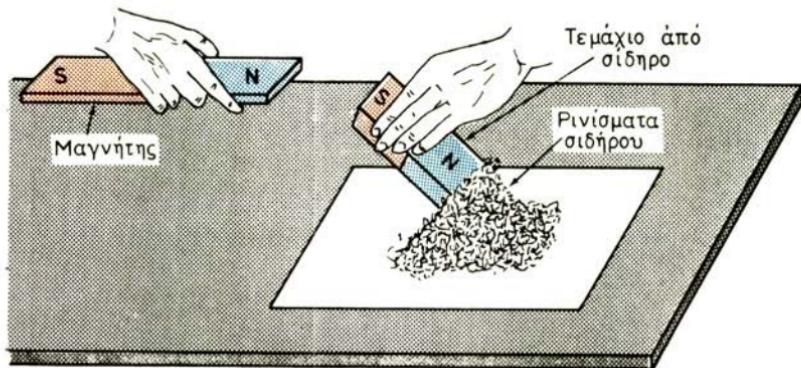


Σχ. 5.1δ.

Δυνάμεις μεταξύ μαγνητῶν.

φορά ό ἔνας νά **ἀπωθεῖ** τόν ἄλλο (δμώνυμοι πόλοι) καί τήν ἄλλη φορά ό ἔνας νά **ἔλκει** τόν ἄλλον (έτερώνυμοι πόλοι).

"Αν κοντά στόν πόλο ένός μαγνήτη πλησιάσομε ἔνα τεμάχιο ἀπό σίδηρο, ὅπως φαίνεται στό σχῆμα 5.1ε, θά παρατηρήσομε ὅτι καί αὐτό γίνεται μαγνήτης. Ἀποκτᾶ δηλαδή δύο πόλους πού ἔχουν τήν ικανότητα νά ἐλκουν ἄλλα σιδερένια σώματα, ὅπως τά ρινίσματα σιδήρου πού φαίνονται στό σχῆμα. Τή μαγνήτιση αὐτή τήν ὀνομάζομε **μαγνήτιση ἀπό ἐπίδραση**.



Σχ. 5.1ε.
Μαγνήτιση ἀπό ἐπίδραση.

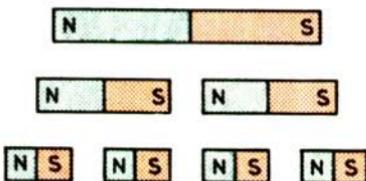
Τό τεμάχιο ἀπό σίδηρο μαγνητίζεται τόσο ισχυρότερα ὅσο περισσότερο πλησιάζει στό μαγνήτη. "Οταν ὅμως ἀπομακρύνομε τό μαγνήτη, τό τεμάχιο τοῦ σιδήρου ἀπομαγνητίζεται, δηλαδή χάνει τό μαγνητισμό του.

"Αν ἀντί γιά τεμάχιο ἀπό σίδηρο πλησιάσομε στό μαγνήτη ἔνα τεμάχιο ἀπό σκληρό χάλυβα (βαμμένο μέ Θερμική κατεργασία), θά παρατηρήσομε ὅτι ὅσο βρίσκεται κοντά στό μαγνήτη μαγνητίζεται, ὅμως μετά τήν ἀπομάκρυνση τοῦ μαγνήτη δέν ἀπομαγνητίζεται. Γίνεται, ὅπως λέμε, **μόνιμος μαγνήτης**, δηλαδή διατηρεῖ τό μαγνητισμό του. "Ολοι οι τεχνητοί μαγνήτες κατασκευάζονται ἀπό σκληρό χάλυβα.

"Εκτός ἀπό τό σίδηρο καί τό χάλυβα ὑπάρχουν καί ὄρισμένα κράματά τους μέ πυρίτιο, κοβάλτιο, νικέλιο, χρώμιο, βολφράμιο κλπ. πού μποροῦν νά ἀποκτήσουν τή μαγνητική ιδιότητα, δηλαδή νά μαγνητισθοῦν ἀπό ἐπίδραση. "Ολα αὐτά τά ύλικά, τά ὅποια συμπεριφέρονται ὅπως δ σίδηρος, ὀνομάζονται **σιδηρομαγνητικά ύλικά ἢ μαγνητικά ύλικά** καί χρησιμοποιοῦνται ἀπό τήν τεχνολογία στήν κατασκευή ἡλεκτρικῶν μηχανῶν καί συσκευῶν.

"Αν ἔνα μαγνήτη τόν κόψωμε σέ δύο μέρη, ὅπως φαίνεται στό σχῆμα 5.1στ, θά παρατηρήσομε πώς τό καθένα ἀπό τά μέρη αὐτά εἶναι ἔνας

τέλειος μαγνήτης μέ δύο πόλους στά ακρα του και ούδέτερη ζώνη στή μέση. "Αν τά μέρη αύτά τά κόψομε σέ μικρότερα κομμάτια, θά παρατηρήσομε ότι πάλι τό κάθε κομμάτι, δυσδήποτε μικρό κι αν είναι, είναι ένας τέλειος μαγνήτης. Αύτό μᾶς δύναγει στό συμπέρασμα ότι και κάθε μόριο τοῦ μαγνήτη είναι και αύτό ένας **στοιχειώδης ή μοριακός μαγνήτης** μέ βόρειο και νότιο πόλο.



Σχ. 5.1στ.

Τεμαχισμός μαγνήτη.

Γιά νά έξηγηθεῖ ή συμπεριφορά αύτή τῶν μαγνητικῶν ύλικῶν, διατύπωθηκε ή θεωρία ότι τά ύλικά αύτά άποτελούνται από μοριακούς μαγνήτες, οί όποιοι, όταν τό ύλικό δέν είναι μαγνητισμένο, βρίσκονται σέ άταξία, δημοσιεύονται στό σχήμα 5.1ζ(α). Τότε τό ύλικό δέν άσκει καμία μαγνητική έπιδραση πρός τά έξω.

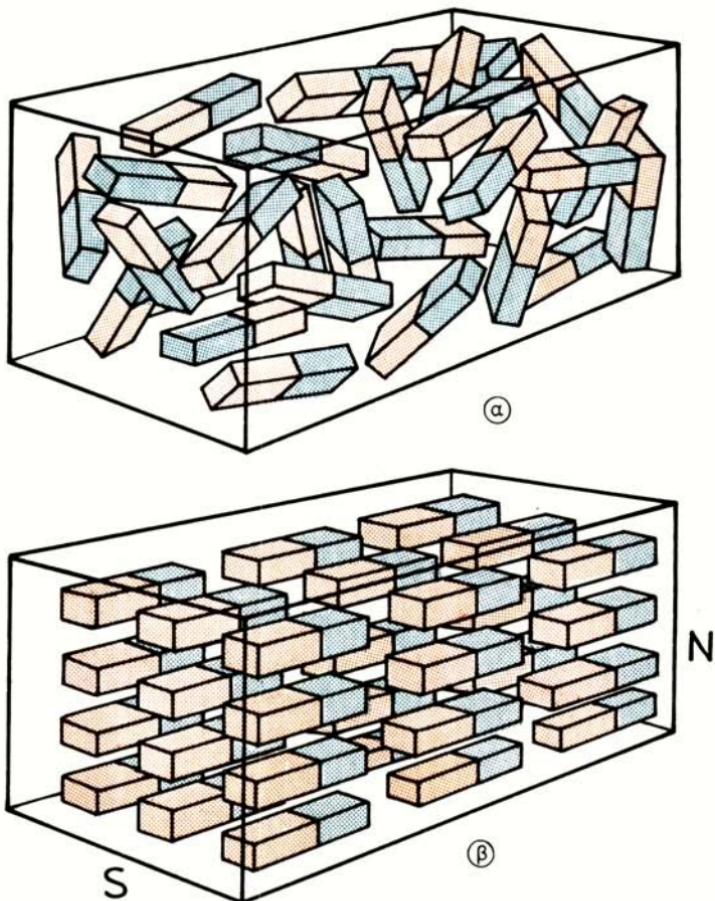
"Όταν τό μαγνητικό ύλικό τό πλησιάσομε σ' ένα μαγνήτη, τότε οι μοριακοί μαγνήτες του, άρχιζουν νά προσανατολίζονται. Αύτό συμβαίνει έξαιτίας τῆς ἔλεως πού άσκει δύναμη πόλος τοῦ μαγνήτη πού πλησιάζει τό ύλικό στούς έτερων μοριακούς πρός αύτόν πόλους τῶν μοριακῶν μαγνητῶν. "Οσο ή μαγνητιση είναι ισχυρότερη, τόσο περισσότεροι τέτοιοι πόλοι προσανατολίζονται πρός τόν πόλο τοῦ μαγνήτη. Τό ύλικό άποκτά έτσι μαγνητικές ιδιότητες πρός τά έξω, δηλαδή ιδιότητες μαγνήτη πού είναι τόσο πιο ισχυρός όσο περισσότεροι μοριακοί μαγνήτες του έχουν προσανατολισθεῖ.

"Όταν δύο οι μοριακοί μαγνήτες έχουν προσανατολισθεῖ, δημοσιεύεται στό σχήμα 5.1ζ(β), τό ύλικό έχει φθάσει στό **μαγνητικό κορεσμό** και δέν είναι δυνατή παραπέρα αύξηση τῆς μαγνητισεώς του.

'Η είκονα αύτή τοῦ μαγνήτη, πού άποτελείται από προσανατολισμένους μοριακούς μαγνήτες, έξηγει γιατί στήν ούδέτερη ζώνη τοῦ μαγνήτη δέν άσκούνται μαγνητικές δυνάμεις. Στή ζώνη αύτή ή δράση τῶν βορείων πόλων τῶν μοριακῶν μαγνητῶν έξουδετερώνεται από τή δράση τῶν νοτίων πόλων ἄλλων μορίων πού βρίσκονται κοντά τους.

Οι μοριακοί μαγνήτες στό σίδηρο και τά ύλικά πού συμπεριφέρονται δημοσιεύονται αύτός, όταν άπομακρυνθεῖ ή έξωτερη αίτια πού προκάλεσε τή μαγνητιση, έπανέρχονται μόνοι τους στήν κατάσταση τῆς άταξίας. Τό ύλικό παύει έτσι νά παρουσιάζει μαγνητικές ιδιότητες. Αύτά είναι τά όνομαζόμενα **μαλακά μαγνητικά ύλικα**.

Στό χάλυβα δύμως και στά ἄλλα ύλικά, πού δονομάζονται **σκληρά μα-**



Σχ. 5.1ζ.

Δομή μαγνητικού ύλικου. α) Μή μαγνητισμένο. β) Μαγνητισμένο.

γνητικά ύλικά, οι μοριακοί μαγνήτες λόγω έσωτερικής τριβῆς, διατηροῦν σε μεγάλο ποσοστό τόν προσανατολισμό τους και μετά τήν άπομάκρυνση τής έξωτερικής αιτίας πού προκάλεσε τή μαγνήτιση. Γιά τό λόγο αυτό, δι παραμένων μαγνητισμός, όπως ονομάζεται η μαγνήτιση πού μένει στό ύλικό μετά τήν άπομάκρυνση τής έξωτερικής αιτίας, στά ύλικά αυτά είναι σημαντικός.

Σημειώνομε τέλος ότι μιά δυνατή δόνηση ή μεγάλη θερμοκρασία είναι δυνατό νά διαταράξουν τή μαγνητική συμπεριφορά τών ύλικων πού περιγράψαμε παραπάνω. Δηλαδή μπορεΐ ένα τεμάχιο χάλυβα πού έγινε μόνιμος μαγνήτης, νά χάσει τόν παραμένοντα μαγνητισμό του και νά πάψει νά είναι μαγνήτης.

5.2 Μαγνητικό πεδίο.

"Οπως ειδαμε στήν προηγούμενη παράγραφο, κάθε μαγνήτης άσκει δυνάμεις σε άλλους μαγνήτες ή σε κομμάτια άπο σίδηρο πού βρίσκονται κοντά του. Ο χώρος γύρω άπο ένα μαγνήτη στόν όποιο άσκούνται οι μαγνητικές δυνάμεις ονομάζονται **μαγνητικό πεδίο** του μαγνήτη.

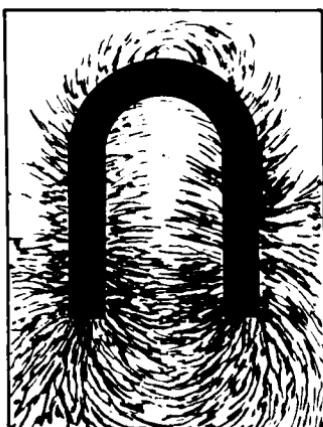
Τό πεδίο αύτό Θεωρητικά έκτείνεται στο άπειρο, πρακτικά όμως περιορίζεται σε ένα σχετικά μικρό χώρο γύρω άπο τό μαγνήτη, πέρα άπο τόν όποιο οι δυνάμεις έξασθενίζουν τόσο, ώστε νά μή γίνονται άντιληπτές.

Μιά εικόνα τού μαγνητικού πεδίου ένός μαγνήτη άποκτούμε μέ τό δινομαζόμενο **μαγνητικό φάσμα**. Σ' ένα φύλλο χαρτονιού, πού έχομε τοποθετήσει δριζόντια έπάνω άπο ένα έπισης δριζόντιο μαγνήτη, κοσκινίζομε λεπτά ρινίσματα σιδήρου. Παρατηρούμε δτι τά ρινίσματα τοποθετούνται άπο μόνα τους σε δρισμένες καμπύλες, οι δποιες δίνουν τήν έντυπωση δτι βγαίνουν άπο τόν ένα πόλο τού μαγνήτη και μπαίνουν στόν άλλο. Άξιοσημείωτο μάλιστα είναι δτι οι καμπύλες αύτές, πού δνομάζονται **μαγνητικές γραμμές** τού πεδίου, βγαίνουν και μπαίνουν κάθετα πρός τήν έπιφάνεια τών μαγνητών.

Στό σχήμα 5.2α(α)φαίνεται τό μαγνητικό φάσμα ένός μαγνήτη σχήματος πρισματικής ράβδου και στό σχήμα 5.2α(β) ένός μαγνήτη σχήματος πετάλου. Βέβαια τό μαγνητικό πεδίο κάθε μαγνήτη δέν περιορίζεται μόνο στό έπιπεδο στό δποιο έχομε τό μαγνητικό φάσμα. Πρέπει νά τό φαντασθούμε δτι καλύπτει μέ τίς μαγνητικές του γραμμές τό χώρο γύρω άπο τό μαγνήτη και δτι τό μαγνητικό φάσμα είναι ή μορφή του σε ένα μόνο έπιπεδο.



(a)



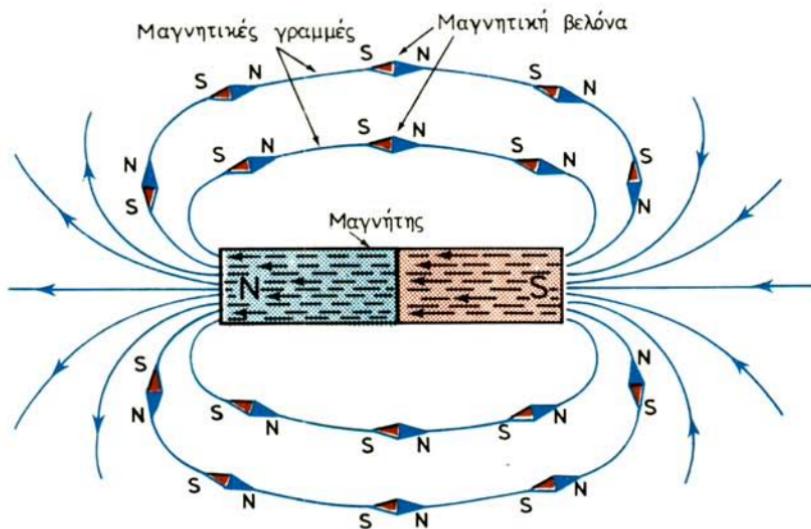
(b)

Σχ. 5.2α.
Μαγνητικά φάσματα.

Καί στά δύο μαγνητικά φάσματα τοῦ σχήματος 5.2α παρατηροῦμε ὅτι οἱ μαγνητικές γραμμές εἶναι πυκνότερες κοντά στούς πόλους τῶν μαγνητῶν, ὅπου, ὅπως λέμε, τὸ μαγνητικό πεδίο εἶναι ισχυρό, γιατὶ οἱ δυνάμεις πού ἀσκοῦνται ἐκεῖ εἶναι μεγαλύτερες. Μακριά ἀπό τοὺς πόλους οἱ μαγνητικές γραμμές εἶναι ἀραιές. Ἐκεῖ λέμε ὅτι τὸ μαγνητικό πεδίο εἶναι ἀσθενές, γιατὶ οἱ δυνάμεις πού ἀσκοῦνται εἶναι μικρότερες.

Ἀπό τὰ παραπάνω συμπεραίνομε ὅτι ἡ **πυκνότητα τῶν μαγνητικῶν γραμμῶν** τοῦ πεδίου, πού ὀνομάζεται καὶ **πυκνότητα τῆς μαγνητικῆς ροής**, εἶναι **ἔνα μέτρο τῶν δυνάμεων πού ἀσκεῖ στά διάφορα σημεῖα του τὸ μαγνητικό πεδίο**.

Γιά νά μελετήσομε τὸ μαγνητικό πεδίο ἐνός μαγνήτη, χρησιμοποιοῦμε μία μικρή μαγνητική βελόνα τὴν ὥποια περιφέρομε στά διάφορα σημεῖα τοῦ πεδίου. Στούς πόλους τῆς μαγνητικῆς βελόνας ἀσκοῦνται τότε δυνάμεις ἀπό τοὺς πόλους τοῦ μαγνήτη. Παρατηροῦμε ὅτι κάτω ἀπό τὴν ἐπίδραση τῶν δυνάμεων αὐτῶν ἡ βελόνα σέ κάθε σημεῖο παίρνει τέτοια θέση, ὡστε νά ἔφαπτεται πρός τὴν μαγνητική γραμμή τοῦ φάσματος πού περνᾶ ἀπό τό σημεῖο (σχ. 5.2β). Ὁ ἄξονας τῆς μαγνητικῆς βελόνας δίνει τὴν **διεύθυνση τῆς μαγνητικῆς γραμμῆς ἢ τοῦ μαγνητικοῦ πεδίου** σέ κάθε σημεῖο του.



Σχ. 5.2β.
Μαγνητικό πεδίο εύθυγραμμου μαγνήτη.

Χωρίς νά τό άναλύσουμε περισσότερο, άναφέρομε μόνο ότι ή διεύθυνση τοῦ ἄξονα τῆς μαγνητικῆς βελόνας εἶναι καί ή διεύθυνση τῆς συνισταμένης δυνάμεως πού ἀσκεῖται ἀπό τό μαγνητικό πεδίο σέ κάθε πόλο τῆς μαγνητικῆς βελόνας. Δηλαδή μέ αλλα λόγια **οἱ μαγνητικές γραμμές μᾶς δίνουν τή διεύθυνση τῆς δυνάμεως πού ἀσκεῖται σέ κάθε σημεῖο τοῦ μαγνητικοῦ πεδίου.**

Ἐπίσης παρατηροῦμε ότι σέ κάθε σημεῖο τοῦ μαγνητικοῦ φάσματος, δύ βόρειος πόλος (N) τῆς μαγνητικῆς βελόνας στρέφεται πρός τό νότιο πόλο (S) τοῦ μαγνήτη πού δημιουργεῖ τό φάσμα. Φυσικά καί δύ νότιος πόλος τῆς βελόνας στρέφεται πρός τό βόρειο πόλο τοῦ μαγνήτη.

Οἱ μαγνητικές γραμμές δέν ύπάρχουν μόνο ἔξω ἀπό τούς μαγνήτες. Μαγνητικές γραμμές ύπάρχουν καί στό ἐσωτερικό τους ὅπως φαίνεται καί στό σχῆμα 5.2β μέ διακοπόμενες γραμμές. Δηλαδή οἱ μαγνητικές γραμμές τοῦ πεδίου εἶναι **κλειστές καρπύλες.**

Συμβατικά ἔχει δρισθεῖ καί **φορά τῶν μαγνητικῶν γραμμῶν ἡ τοῦ μαγνητικοῦ πεδίου.** Τή φορά αὐτή σέ ἔνα σημεῖο τῆς μαγνητικῆς γραμμῆς τή δείχνει δύ βόρειος πόλος τῆς μαγνητικῆς βελόνας πού ἔχει τοποθετηθεῖ στό σημεῖο αὐτό.

Μετά τά ὅσα εἴπαμε παραπάνω γιά τόν προσανατολισμό τῶν πόλων τῆς βελόνας σχετικά μέ τούς πόλους τοῦ μαγνήτη, συμπεραίνομε ότι δύ συμβατική φορά τῶν μαγνητικῶν γραμμῶν, γιά τό χῶρο ἔξω ἀπό τό μαγνήτη, εἶναι **ἀπό τό βόρειο πόλο τοῦ μαγνήτη πρός τό νότιο πόλο του.**

Σύμφωνα μέ τή συμβατική αὐτή φορά, οἱ μαγνητικές γραμμές φαίνεται σάν νά **βγαίνουν ἀπό τό βόρειο πόλο** τοῦ μαγνήτη καί νά **μπαίνουν ἀπό τό νότιο πόλο.** Στό ἐσωτερικό τοῦ μαγνήτη δύ συμβατική φορά εἶναι ἀπό τό νότιο πόλο πρός τό βόρειο (σχ. 5.2β).

5.3 Μαγνητικό πεδίο εύθυγραμμου ρευματοφόρου ἀγωγοῦ.

Μαγνητικά πεδία γύρω τους δέ δημιουργοῦν μόνο οἱ μαγνήτες. Καί τό ἡλεκτρικό ρεῦμα ὅταν περνᾶ ἀπό ἔναν ἀγωγό, δημιουργεῖ γύρω ἀπό τόν ἀγωγό ἔνα μαγνητικό πεδίο.

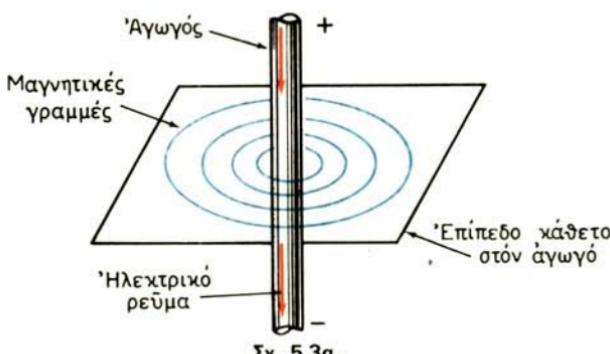
Αύτό τό διαπιστώνομε εύκολα μέ τό γνωστό καί ἀπό τή Φυσική πείραμα μέ τή μαγνητική βελόνα πού τήν τοποθετοῦμε κοντά στόν ἀγωγό. "Οταν μέσα ἀπό τόν ἀγωγό περάσομε συνεχές ρεῦμα, ἡ βελόνα ἀποκλίνει ἀπό τήν ἀρχική τῆς θέση καί ἰσορροπεῖ σέ μιά νέα θέση. Στή θέση αὐτή μένει ὅσο μέσα ἀπό τόν ἀγωγό περνᾶ τό ἡλεκτρικό ρεῦμα. "Οταν διακόψωμε τό ρεῦμα, ἡ βελόνα ἐπανέρχεται στήν ἀρχική τῆς θέση. Αύτό μᾶς δόηγει στό συμπέρασμα ότι δύ ροή τοῦ ἡλεκτρικοῦ ρεύματος στόν ἀγωγό, δημιουργεῖ γύρω του ἔνα μαγνητικό πεδίο, πού ἀσκεῖ δυνάμεις στή μαγνητική βελόνα.

Στή συνέχεια αὐτῆς τῆς παραγράφου θά ἔξετάσομε ἀναλυτικά τή μορφή τοῦ μαγνητικοῦ πεδίου, πού δημιουργεῖ ἔνας εύθυγραμμος



γιαγός πολύ μεγάλου μήκους ό όποιος διαρρέεται από συνεχές ρεῦμα έντάσεως I.

Οι μαγνητικές γραμμές τοῦ πεδίου ένός τέτοιου άγωγού σχηματίζουν διμόκεντρους κύκλους γύρω από τὸν άγωγό πού ἔχουν τὸ κέντρο τους στὸν ἄξονα τοῦ άγωγοῦ καὶ νὰ εἶναι κάθετοι σ' αὐτὸν. Στὸ σχῆμα 5.3α φαίνονται οἱ μαγνητικές γραμμές ρευματοφόρου άγωγοῦ σ' ἕπιπεδο κάθετο πρὸς τὸν άγωγό.

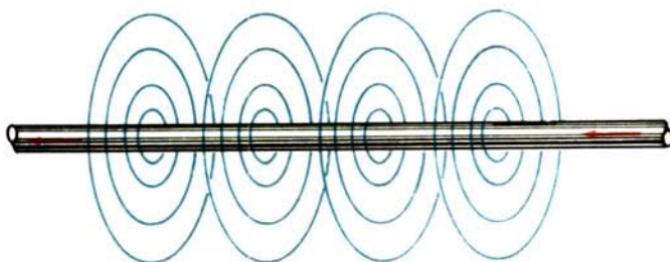


Σχ. 5.3α.

Μαγνητικές γραμμές ρευματοφόρου άγωγοῦ.

Τό μαγνητικό φάσμα τοῦ πεδίου αὐτοῦ μποροῦμε νά τό ἐπιτύχομε μέρινίσματα σιδήρου ἐπάνω σὲ χαρτόνι, πού διαπερνᾶ τὸν άγωγό καὶ ἔχει τοποθετηθεῖ δριζόντια, ἐνῶ ό άγωγός εἶναι κατακόρυφος. Σημειώνομε ὅμως ὅτι γιά νά μπορέσει νά πραγματοποιηθεῖ τό φάσμα αὐτό, πρέπει ἡ ἔνταση τοῦ συνεχοῦς ρεύματος τοῦ άγωγοῦ νά εἶναι τουλάχιτον 20 ὥς 30 A.

Τό μαγνητικό πεδίο πιάνει βέβαια όλο τό γύρω χῶρο σὲ όλο τό μῆκος τοῦ άγωγοῦ. Θά πρέπει συνεπῶς νά φαντασθοῦμε ὅτι μαγνητικές γραμμές ὥπως αὐτές τοῦ σχήματος 5.3α, ἐπαναλαμβάνονται σὲ όλο τό μῆκος τοῦ άγωγοῦ ἢ ἀκόμη ὅτι σχηματίζουν ἔνα εἴδος σωλήνων γύρω από τὸν άγωγό. Στὸ σχῆμα 5.3β φαίνονται μερικές ἀπό τίς μαγνητικές γραμμές ἐνός δριζόντιου άγωγοῦ πού διαρρέεται από συνεχές ρεῦμα.



Σχ. 5.3β.

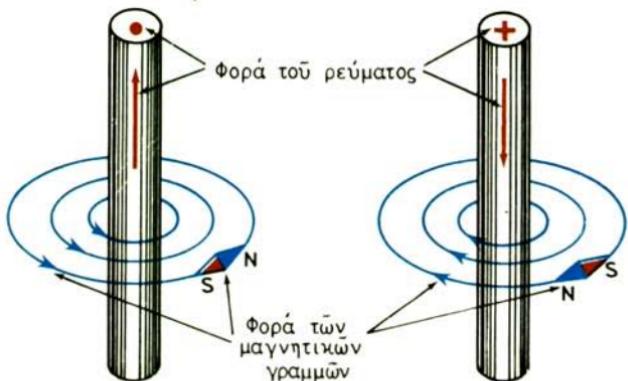
Μαγνητικές γραμμές δριζόντιου ρευματοφόρου άγωγοῦ.

Οι μαγνητικές γραμμές είναι πυκνότερες κοντά στήν έπιφάνεια του άγωγού, όπου τό μαγνητικό πεδίο είναι ισχυρότερο, και άραιώνουν δυσαπομακρύνομασθε άπο τόν άγωγό, γιατί τό πεδίο έξασθενίζει.

Καμιά έπιδραση δέν έχει στό μαγνητικό πεδίο αν δύναται άγωγός είναι καλυμμένος μέ μονωτικό ύλικό ή όχι. Μέσα στά ύλικά τών μονώσεων, πού βέβαια δέν περιλαμβάνουν μαγνητικά ύλικά, τό μαγνητικό πεδίο έχει σχεδόν τήν ίδια μορφή πού έχει και στόν άερα.

Σημειώνομε έπισης ότι μαγνητικό πεδίο δημιουργείται πάντοτε γύρω από τούς ρευματοφόρους άγωγούς, άνεξάρτητα από τό αν αύτοί άποτελούνται από μέταλλα, από άερια ή από υγρά.

Άν τοποθετήσουμε μιά μαγνητική βελόνα σέ ένα σημείο κοντά σέ ρευματοφόρο άγωγό, θά προσανατολισθεῖ έτσι, ώστε δύο διανομές της νά έφαπτεται στή μαγνητική γραμμή, πού περνά από τό σημείο αύτό, δύπας φαίνεται και στό σχήμα 5.3γ.



Σχ. 5.3γ.
Φορά τοῦ μαγνητικοῦ πεδίου.

"Όπως άναφέραμε στήν προηγούμενη παράγραφο, δύναται ο βόρειος πόλος τῆς μαγνητικῆς βελόνας δείχνει τή φορά τῶν μαγνητικῶν γραμμῶν τοῦ πεδίου. Παρατηροῦμε δύμας στό άριστερό μέρος τοῦ σχήματος 5.3γ ότι η φορά τοῦ μαγνητικοῦ πεδίου είναι άντιθετη από τή φορά πού έχει τό πεδίο στό δεξιό μέρος τοῦ σχήματος δύμας και η φορά τοῦ ρεύματος είναι άντιθετη. Άπο αύτό βγάζομε τό συμπέρασμα ότι η φορά τοῦ μαγνητικοῦ πεδίου έξαρτάται από τή φορά τοῦ ρεύματος πού διαρρέει τόν άγωγό.

"Ένας πρακτικός κανόνας γιά νά βρίσκομε τή φορά τῶν μαγνητικῶν γραμμῶν τοῦ πεδίου από τή φορά τοῦ ρεύματος, είναι δύ κανόνας τοῦ δεξιόστροφου κοχλία δύ όποιος λέει:



Σχ. 5.3δ.

Σχηματική παράσταση του κανόνα του δεξιόστροφου κοχλία.

Άν φαντασθούμε ότι ένας δεξιόστροφος κοχλίας περιστρέφεται, ώστε νά προχωρεῖ κατά τή φορά τοῦ ρεύματος τοῦ άγωγοῦ, τότε ή φορά περιστροφῆς του δίνει τή φορά τῶν μαγνητικῶν γραμμῶν (σχ. 5.3δ).

Πολλές φορές χρειάζεται νά σημειώσομε έπάνω στή διατομή ένός άγωγού σέ σχέδιο τή φορά πού έχει τό ρεῦμα μέσα σ' αύτόν. Τή φορά τή σημειώνομε μέ μιά τελεία (.) ή μέ ένα σταυρό (+), δηπως φαίνεται άντιστοιχα στά δύο μέρη τοῦ σχήματος 5.3γ. "Όταν ή διατομή τοῦ άγωγοῦ έχει σχεδιασθεῖ έπάνω στό έπίπεδο τοῦ φύλλου σχεδιάσεως (σχ. 5.3ε), τότε ή τελεία σημαίνει ότι τό ρεῦμα κατευθύνεται άπό τό πίσω μέρος τοῦ χαρτιοῦ πρός τά έμπρος καί ό σταυρός τήν άντιθετη κατεύθυνση.



Άπό πίσω πρός
τά έμπρος



Άπό έμπρος πρός
τά πίσω

Σχ. 5.3ε.
Φορά τοῦ ρεύματος.

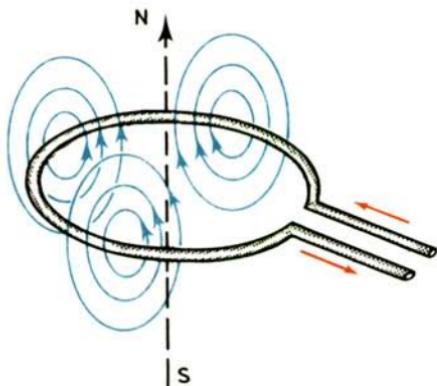
5.4 Μαγνητικό πεδίο πηνίου.

Τό μαγνητικό πεδίο πού δημιουργεῖ γύρω του ένας εύθυγραμμος άγωγός, δέν είναι άρκετά ισχυρό, γιά νά άξιοποιηθεῖ στήν πράξη σέ τεχνικές έφαρμογές. Γιά νά γίνει άρκετά ισχυρό ένα τέτοιο μαγνητικό πεδίο, θά πρέπει ή ένταση τοῦ ρεύματος πού διαρρέει τόν άγωγό, νά αύ-

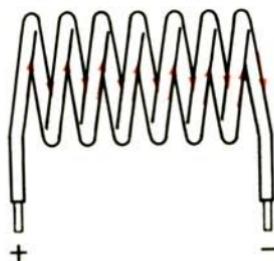
ξηθεῖ πάρα πολύ. Γιατί, όπως θά δοῦμε στά έπόμενα, δσο μεγαλύτερη είναι ή ένταση τού ρεύματος τόσο ίσχυρότερο είναι καί τό μαγνητικό πεδίο.

Ίσχυρότερο μαγνητικό πεδίο δημιουργεῖται μέ τή συγκέντρωση τών μαγνητικών γραμμών πού γίνεται όταν κάμψομε τόν εύθυγραμμο άγωγό, ώστε νά σχηματίσει μιά **σπείρα**. Τότε, όπως φαίνεται καί στό σχήμα 5.4α, στό έσωτερικό τής σπείρας έχομε συγκέντρωση μαγνητικών γραμμών πού διαπερνοῦν τήν έπιφάνεια τής σπείρας κάθετα.

Ή σπείρα έμφανίζεται έτσι σάν ένας μικρός μαγνήτης μέ βόρειο καί νότιο πόλο (σχ. 5.4α). Ή φορά τών μαγνητικών γραμμών τοῦ πεδίου καί συνεπώς καί ή πολικότητά tou, καθορίζεται μέ τό γνωστό κανόνα τοῦ δεξιόστροφου κοχλία.



Σχ. 5.4α.
Μαγνητικό πεδίο σπείρας.

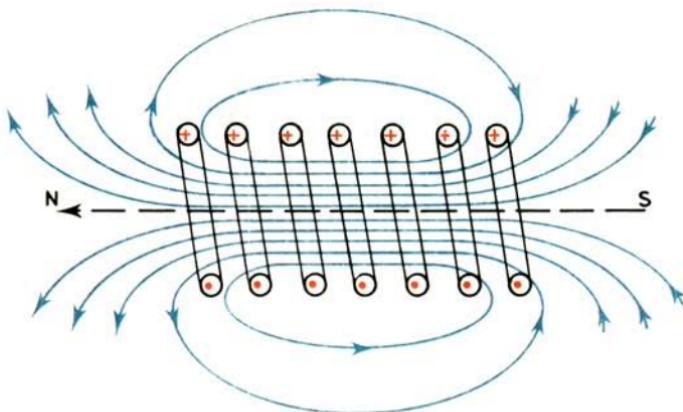


Σχ. 5.4β.
Πηνίο.

Άκομα ίσχυρότερα μαγνητικά πεδία δημιουργοῦμε μέ τή χρησιμοποίηση τών **πηνίων**, τά δοποία άποτελοῦνται άπό πολλές συνεχόμενες σπείρες μονωμένου άγωγού. Ο άγωγός τυλίγεται συνήθως γύρω άπό έναν κοῖλο κύλινδρο ή πρίσμα άπό μονωτικό ύλικό καί σχηματίζει σπείρες σέ μιά ή σέ περισσότερες **στρώσεις**. Τό σύνολο τών σπειρών όνομάζεται **τύλιγμα** ή **περιέλιξη** τοῦ πηνίου.

Τό πηνίο πού φαίνεται στό σχήμα 5.4β άποτελεῖται άπό μία στρώση κυκλικών σπειρών. Ο μονωτικός κύλινδρος δέν έχει σχεδιασθεί γιά νά είναι τό σχήμα πιό κατανοητό.

Τά μαγνητικά πεδία πού δημιουργοῦν τά πηνία είναι άπό τά βασικά θέματα πού ένδιαφέρουν τήν Ήλεκτροτεχνία, γιατί τά πηνία χρησιμοποιοῦνται σέ ένα μεγάλο πλῆθος πρακτικών έφαρμογών τοῦ ήλεκτρισμοῦ, όπως θά μᾶς διοθεῖ ή εύκαιριά νά διαπιστώσομε στά έπόμενα.



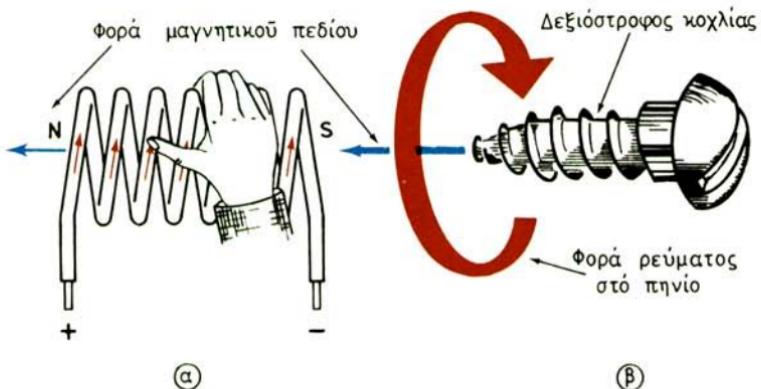
Σχ. 5.4γ.
Μαγνητικό πεδίο σωληνοειδούς πηνίου.

Τό μαγνητικό πεδίο πού δημιουργεῖ ἔνα **σωληνοειδές πηνίο**, δηλαδή ἔνα πηνίο πού ὁ ἄξονάς του ἔχει σημαντικά μεγαλύτερο μῆκος ἀπό τή διάμετρο τῶν σπειρῶν του, ὅταν διαρρέεται ἀπό ήλεκτρικό ρεῦμα, φαίνεται στό σχῆμα 5.4γ. Στό σχῆμα τό πηνίο παριστάνεται στήν τομή του μέ ἔνα ἐπίπεδο πού περνᾶ ἀπό τόν ἄξονα του N - S. Στό ἐπίπεδο αὐτό φαίνονται σχεδιασμένες οἱ μαγνητικές γραμμές. Γιά νά ἔχομε τήν πλήρη εἰκόνα τοῦ πηνίου καί τοῦ μαγνητικοῦ του πεδίου, πρέπει νά τά φαντασθοῦμε στό χώρῳ μέ περιστροφή τοῦ ἐπίπεδου σχεδιάσεως γύρω ἀπό τόν ἄξονα N - S.

Παρατηροῦμε ὅτι στό ἑσωτερικό τοῦ πηνίου, ἐκτός ἀπό τίς περιοχές κοντά στά ἄκρα, οἱ μαγνητικές γραμμές ἔιναι εύθειες, παράλληλες πρός τόν ἄξονα. Στά ἄκρα τοῦ πηνίου καί ἔξω ἀπό αὐτό, οἱ μαγνητικές γραμμές σχηματίζουν ἔνα μαγνητικό πεδίο ὅμοιο μέ αὐτό πού δημιουργεῖ ἔνας εύθύγραμμος μαγνήτης μέ μορφή κυλινδρικῆς ράβδου.

Πραγματικά ἔνα σωληνοειδές πηνίο πού διαρρέεται ἀπό ρεῦμα συμπεριφέρεται ὅπως ἔνας εύθύγραμμος μαγνήτης. "Ἔχει δύο πόλους, ἔνα βόρειο καί ἔνα νότιο στά δύο ἄκρα του. Κάθε πόλος ἀσκεῖ δυνάμεις ἔλξεως σέ ἑτερώνυμους πόλους καί δυνάμεις ὡθήσεως σέ δύμώνυμους πόλους ἄλλων πηνίων πού διαρρέονται ἀπό ρεῦμα ἢ σέ πόλους μαγνητῶν.

Γιά νά προσδιορίσομε ποιός ἔιναι ὁ νότιος καί ποιός ὁ βόρειος πόλος τοῦ πηνίου ἢ, πράγμα πού ἔιναι τό ἴδιο, ἀπό ποιό ἄκρο μπαίνουν οἱ μαγνητικές γραμμές στό πηνίο καί ἀπό πού βγαίνουν, ὑπάρχουν διάφοροι πρακτικοί κανόνες. Στό σχῆμα 5.4δ φαίνονται παραστατικά ὁ κανόνας



Σχ. 5.4δ.

Φορά μαγνητικών γραμμών πηνίου. α) Κανόνας δεξιού χεριού. β) Κανόνας δεξιόστροφου κοχλίας.

τοῦ δεξιοῦ χεριοῦ καί ὁ κανόνας τοῦ δεξιόστροφου κοχλία.

'Ο κανόνας τοῦ δεξιοῦ χεριοῦ λέει:

"Αν τοποθετήσομε τό δεξί χέρι ἐπάνω στό πηνίο ἔτσι, ὥστε τά τέσσερα δάκτυλα νά δείχνουν τή φορά τοῦ ρεύματος μέσα στίς σπεῖρες, τότε ὁ ἀντίχειρας δείχνει τό ἄκρο τοῦ πηνίου πού εἰναι βόρειος πόλος.

'Ο κανόνας τοῦ δεξιόστροφου κοχλία λέει:

Οι μαγνητικές γραμμές στόν ἄξονα τοῦ πηνίου ἔχουν τή φορά κατά τήν ὁποία προχωρεῖ ἔνας δεξιόστροφος κοχλίας, ὅταν ἡ φορά περιστροφῆς του συμπίπτει μέ τή φορά τοῦ ρεύματος μέσα στίς σπεῖρες τοῦ πηνίου.

5.5 Μαγνητική ἐπαγωγή καί μαγνητική ροή.

5.5.1 Μαγνητική ἐπαγωγή.

"Οπως ἀναφέραμε στήν παράγραφο 5.2, ἡ πυκνότητα τῶν μαγνητικῶν γραμμῶν ή, ὅπως ἐπίσης λέγεται, ἡ πυκνότητα τῆς μαγνητικῆς ροής σ' ἔνα σημεῖο τοῦ μαγνητικοῦ πεδίου, εἶναι ἔνα μέτρο τῆς δυνάμεως πού ἀσκεῖ τό πεδίο στό σημεῖο αὐτό. Τά ἴδια ισχύουν καὶ γιά τά μαγνητικά πεδία πού δημιουργοῦνται ἀπό ρευματοφόρους ἀγωγούς ἡ πηνία.

'Η πυκνότητα αὐτή τῆς μαγνητικῆς ροῆς, πού, ὅπως εἴπαμε, χαρακτηρίζει κάθε σημεῖο τοῦ μαγνητικοῦ πεδίου, ὀνομάζεται καί **μαγνητική ἐπαγωγή**. Ή μαγνητική ἐπαγωγή συμβολίζεται μέ τό γράμμα B καί μετριέται στό διεθνές σύστημα (S.I.) μέ μιά μονάδα πού ὀνομάζεται **τέσλα** (tesla) καί ἔχει σύμβολο τό T .

‘Η μονάδα τέσλα συνδέεται μέ τίς άλλες μονάδες τοῦ διεθνοῦς συστήματος μέ τή σχέση:

$$1\text{ T} = 1 \frac{\text{Vs}}{\text{m}^2}$$

Παλαιότερα γιά τή μέτρηση τῆς μαγνητικῆς έπαγωγῆς χρησιμοποιούσαν τή μονάδα **γκάους** (gauss) μέ σύμβολο τό Gs.

‘Η μονάδα αύτή, πού χρησιμοποιεῖται άρκετά άκομα καί σήμερα, συνδέεται μέ τήν τέσλα μέ τή σχέση:

$$1\text{ Gs} = \frac{1}{10.000}\text{ T} = 10^{-4}\text{ T} \quad \text{ή}$$

$$1\text{ T} = 10.000\text{ Gs} = 10^4\text{ Gs}$$

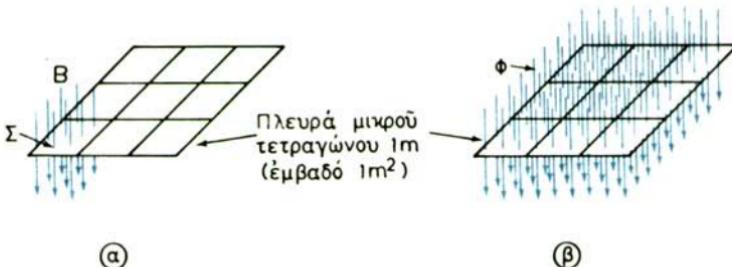
“Οταν τό μέγεθος τῆς μαγνητικῆς έπαγωγῆς στά διάφορα σημεῖα τοῦ πεδίου δέ μεταβάλλεται μέ τό χρόνο, τότε λέμε ὅτι τό μαγνητικό πεδίο είναι **μόνιμο** ή **στατικό**. Στήν αντίθετη περίπτωση όνομάζεται **μεταβαλλόμενο** μαγνητικό πεδίο. Π.χ. τό μαγνητικό πεδίο πού παράγει ἔνα πηνίο πού διαρρέεται ἀπό συνεχές ρεῦμα σταθερῆς ἐντάσεως είναι μόνιμο, ἐνώ ἂν διαρρέεται ἀπό ἑναλλασσόμενο ρεῦμα, είναι μεταβαλλόμενο.

“Οταν ἔνα μαγνητικό πεδίο, μέ μαγνητικές γραμμές παράλληλες καί τῆς ἴδιας φορᾶς, ἔχει παντοῦ τήν ἴδια τιμή τῆς μαγνητικῆς έπαγωγῆς, τότε τό πεδίο όνομάζεται **δμοιόδμορφο** ή **δμοιογενές**. Στήν αντίθετη περίπτωση όνομάζεται **ἀνομοιόδμορφο**. Π.χ. δμοιόδμορφο είναι τό μαγνητικό πεδίο στό ἑσωτερικό ἐνός σωληνοειδοῦς πηνίου ὅχι κοντά στά δύο ἄκρα του, καί ἀνομοιόδμορφο στόν ἑξωτερικό χῶρο τοῦ πηνίου (σχ. 5.4γ).

5.5.2 Μαγνητική ροή.

Τή μαγνητική έπαγωγή σέ όποιοδήποτε σημεῖο τοῦ πεδίου, μποροῦμε νά τήν παραστήσομε μέ τή βοήθεια τῶν μαγνητικῶν γραμμῶν, ἀν τίς σχεδιάσσομε ἔτσι, ώστε διάριθμός τῶν γραμμῶν πού περνοῦν κάθετα ἀπό μιά ἐπιφάνεια ἐνός m^2 (τοποθετημένη στό θεωρούμενο σημεῖο) νά είναι ἀνάλογος μέ τήν τιμή τῆς έπαγωγῆς στό σημεῖο αύτό. Π.χ. ἀν δεχθοῦμε γιά κάθε ἔνα τέσλα νά σχεδιάζομε 10 μαγνητικές γραμμές, τότε τό σχῆμα 5.5(a) παριστάνει ἔνα μαγνητικό πεδίο μέ μαγνητική έπαγωγή $B = 0,9\text{ T}$ στό σημεῖο Σ , ὅπου ἀπό ἐπιφάνεια ἐνός m^2 περνοῦν 9 μαγνητικές γραμμές.

Τό σύνολο τῶν μαγνητικῶν γραμμῶν πού περνοῦν ἀπό μιά ἐπιφά-



Σχ. 5.5.

Μαγνητική έπαγωγή και μαγνητική ροή. α) Μαγνητική έπαγωγή $B = 0,9 \text{ T}$. β) Μαγνητική ροή $\Phi = 8,1 \text{ Wb}$.

νεια, όνομάζεται **μαγνητική ροή** και συμβολίζεται μέ τό γράμμα Φ .

"Άν ή έπιφανεια είναι **κάθετη** πρός τίς μαγνητικές γραμμές και τό πεδίο είναι διμοιογενές σέ όλα τά σημεία της έπιφανειας, τότε σύμφωνα μέ οσα είπαμε και παραπάνω για τή μαγνητική έπαγωγή ή μαγνητική ροή θά είναι:

$$\Phi = B \cdot S \quad \text{σέ Vs}$$

όπου: B ή σταθερή μαγνητική έπαγωγή σέ T,

S τό έμβασθον της κάθετης έπιφανειας σέ m².

Η μονάδα Vs όνομάζεται **βέμπερ** (weber) και έχει σύμβολο τό Wb.

Είναι συνεπώς:

$$1 \text{ Vs} = 1 \text{ Wb}$$

Παράδειγμα 1.

Ποιά είναι ή μαγνητική ροή, σ' ένα διμοιογενές μαγνητικό πεδίο μαγνητικής έπαγωγής $B = 0,9 \text{ T}$ πού περνά κάθετα άπό έπιφανεια έμβασθον 9 m^2 ;

Λύση:

$$\Phi = B \cdot S = 0,9 \times 9 = 8,1 \text{ Vs} = 8,1 \text{ Wb}$$

Στό σχήμα 5.5(β) φαίνεται σχεδιασμένη σύμφωνα μέ τήν παραδοχή πού κάναμε γιά τήν άντιστοιχία της μαγνητικής έπαγωγής μέ μαγνητικές γραμμές, ή μαγνητική ροή $\Phi = 8,1 \text{ Wb}$ πού περνά κάθετα άπό έπιφανεια 9 m^2 .

Παλαιότερα γιά τή μαγνητική ροή χρησιμοποιούσαν τή μονάδα **μά-**

ξουελ (maxwell), μέ σύμβολο τό γράμμα Mx. Ή μονάδα αυτή χρησιμοποιείται άκομα σέ περίπτωση πού χρησιμοποιείται γιά τή μαγνητική έπαγωγή ή μονάδα γκάους. Είναι:

$$\Phi = B \cdot S \quad \text{σέ Mx}$$

όπου: B ή μαγνητική έπαγωγή σέ Gs,

S τό έμβαδόν τής κάθετης έπιφάνειας σέ cm².

Η σχέση πού συνδέει τή μονάδα Mx μέ τή μονάδα Wb είναι ή έξης:

$$1 \text{ Mx} = 10^{-8} \text{ Wb} \quad \text{καί}$$

$$1 \text{ Wb} = 10^8 \text{ Mx}$$

Παράδειγμα 2.

“Ενα σωληνοειδές πηνίο, πού έχει διάμετρο d = 2 cm, διαρρέεται άπο συνεχές ρεύμα καί δημιουργεῖ στό έσωτερικό του μαγνητική έπαγωγή 2000 Gs. Πόση είναι ή μαγνητική ροή στό έσωτερικό τοῦ πηνίου; Νά ύπολογισθεῖ σέ Mx καί σέ Wb.

Λύση:

Η έπιφάνεια S τοῦ πηνίου πού είναι κάθετη στίς μαγνητικές γραμμές, είναι ή διατομή τοῦ πηνίου πού έχει έμβαδόν:

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

Άρα: $\Phi = B \cdot S = 2000 \times 3,14 = 6280 \text{ Mx}$

‘Υπολογιζόμενη σέ Wb, ή ροή είναι:

$$\Phi = 6280 \times 10^{-8} = 6,28 \times 10^{-5} \text{ Wb}$$

5.6 Πηνίο σέ σχήμα δακτύλιου.

“Οταν κάμψομε ένα πηνίο, πού έχει μεγάλο μήκος σέ σχέση μέ τή διάμετρο τῶν σπειρῶν του, έχομε ένα **πηνίο σέ σχήμα δακτυλίου** (σχ. 5.6a).

“Οταν τό πηνίο αύτό διαρρέεται άπό ρεύμα, σχηματίζεται μαγνητικό πεδίο μόνο στό έσωτερικό του. Στό έξωτερικό τοῦ πηνίου ἀν οι σπειρές είναι άρκετά πυκνές, πρακτικά, δέν ύπάρχει μαγνητικό πεδίο. Αύτό μπορούμε εύκολα νά τό διαπιστώσομε μέ τή βοήθεια μιᾶς μαγνητικῆς βελόνας.

Έπισης μέ τή βοήθεια μιᾶς μαγνητικῆς βελόνας, διαπιστώνομε ότι οι μαγνητικές γραμμές στό έσωτερικό τοῦ πηνίου εἶναι όμοκεντροι κύκλοι (σχ. 5.6α).

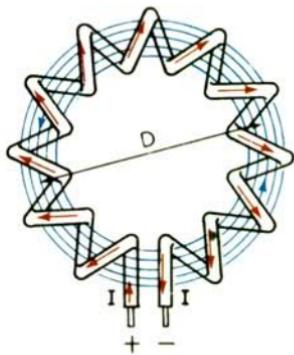
Ή φορά τῶν μαγνητικῶν γραμμῶν προσδιορίζεται, ὅπως ἀναφέραμε στήν παράγραφο 5.4, μέ τόν κανόνα τοῦ δεξιόστροφου κοχλία. Ἀς σημειωθεῖ ὅμως ότι στήν περίπτωση αὐτή ἔχομε ἔνα μαγνητικό πεδίο χωρίς πόλους.

Τό μαγνητικό πεδίο πού δημιουργεῖται στό έσωτερικό τῶν πηνίων αὐτῶν εἶναι μέ άρκετή προσέγγιση όμοιόμορφο, ὅταν ἡ διάμετρος D εἶναι άρκετά μεγάλη σέ σχέση μέ τήν ἀκτίνα τῆς διατομῆς S τοῦ πηνίου. Ἐτοι ἡ μαγνητική ροή Φ πού περνᾶ ἀπό τό έσωτερικό τοῦ πηνίου δίνεται ἀπό τή γνωστή σχέση:

$$\Phi = B \cdot S \quad \text{σέ Wb}$$

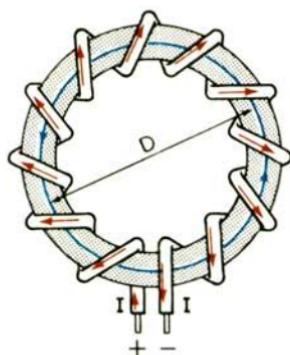
ὅπου: B ἡ μαγνητική ἐπαγωγή σέ ἔνα σημεῖο τοῦ έσωτερικοῦ τοῦ πηνίου σέ T ,

S τό έμβαδόν τῆς διατομῆς του σέ m^2 .



Σχ. 5.6α.

Πηνίο σέ σχῆμα δακτυλίου.



Σχ. 5.6β.

Πηνίο σέ σχῆμα δακτυλίου
μέ πυρήνα ἀπό σίδηρο.

Γιά ὄρισμένη ἔνταση ρεύματος I μέσα ἀπό τό τύλιγμα τοῦ πηνίου, ἡ μαγνητική ροή Φ , πού θά περάσει στό έσωτερικό τοῦ πηνίου, ἔχαρταται ἀπό τό ύλικό πού ύπάρχει ἐκεῖ, ἀπό τόν **πυρήνα** ὅπως λέμε, τοῦ πηνίου. Τό ᾧδιο βέβαια ισχύει καί γιά τή μαγνητική ἐπαγωγή B στόν πυρήνα πού συνδέεται πάντοτε μέ τή Φ , μέ τή σχέση:

$$B = \frac{\Phi}{S} \quad \text{σέ T}$$

Π.χ. αν ό πυρήνας τοῦ πηνίου είναι ένας δακτύλιος άπό σίδηρο (σχ. 5.6β), τότε ή μαγνητική ροή καὶ ή μαγνητική έπαγωγή στό έσωτερικό τοῦ πηνίου θά είναι πολύ μεγαλύτερες, άπ' ό,τι είναι γιά τήν ίδια ένταση Ι στόν άέρα γιά τό πηνίο τοῦ σχήματος 5.6α. "Ετσι μπορούμε νά πούμε ότι **ό σίδηρος παρουσιάζει πολύ μικρότερη μαγνητική άντίσταση άπό αύτή πού παρουσιάζει ο άέρας καί τά άλλα μή σιδηρομαγνητικά ύλικα.**

Τά πηνία σέ σχήμα δακτυλίου μᾶς βοηθοῦν στή μελέτη τῶν παραγόντων πού έπιδρούν στή δημιουργία τῆς μαγνητικῆς ροής, όπως θά δούμε καί στίς παραγράφους πού άκολουθοῦν.

5.7 Διάρρευμα καί ένταση μαγνητικοῦ πεδίου.

5.7.1 Διάρρευμα.

'Η μαγνητική ροή Φ πού περνᾶ μέσα άπό ένα δρισμένο πηνίο πού διαρρέεται άπό ήλεκτρικό ρεῦμα, είναι τόσο μεγαλύτερη όσο ή ένταση Ι τοῦ ρεύματος τοῦ πηνίου είναι μεγαλύτερη καί όσο μεγαλύτερος είναι ό άριθμός τῶν σπειρῶν N τοῦ πηνίου.

Δηλαδή ή μαγνητική ροή ένός πηνίου έξαρταται άπό τό γινόμενο τῆς έντασεως I καί τοῦ άριθμοῦ τῶν σπειρῶν N . Τό γινόμενο αὐτό $I.N$ όνομαζεται **διάρρευμα ή μαγνητεγερτική δύναμη** τοῦ πηνίου καί συμβολίζεται μέ τό γράμμα Θ . Τό διάρρευμα μετριέται σέ **άμπερελίγματα** (At). 'Η λέξη άμπερέλιγμα είναι σύνθετη καί άποτελεῖται άπό τό άμπέρ καί τό έλιγμα πού είναι μιά άλλη όνομασία τῆς σπείρας.

Τό άμπερέλιγμα σάν μονάδα έχει διαστάσεις τίς ίδιες μέ τή μονάδα άμπέρ, άφου δ άριθμός τῶν έλιγμάτων μέ τόν όποιο πολλαπλασιάζεται ώς καθαρός άριθμός πού είναι, δέν έχει διαστάσεις καριδάς μονάδας. Είναι λοιπόν:

$$\Theta = I \cdot N \quad \text{σέ At ή A}$$

ὅπου: I ή ένταση τοῦ ρεύματος τοῦ πηνίου σέ A ,
 N ο άριθμός τῶν σπειρῶν του.

Γιά τή δημιουργία μιᾶς δρισμένης μαγνητικῆς ροής Φ σέ ένα πηνίο, π.χ. σ' ένα πηνίο σέ σχήμα δακτυλίου, σημασία έχει μόνο ο άριθμός τῶν άμπερελιγμάτων τοῦ πηνίου, δηλαδή τό γινόμενο $I.N$. Δέν έχει σημασία αν τόν άριθμό αὐτό τόν έπιτύχουμε μέ μικρή ένταση ρεύματος καί μεγάλο άριθμό σπειρῶν ή μέ μεγάλη ένταση ρεύματος καί μικρό άριθμό σπειρῶν. 'Επίσης δέν έχει σημασία αν τό τύλιγμα τοῦ πηνίου είναι σέ μία ή σέ πολλές στρώσεις. 'Ακόμη δέν έχει σημασία τό σχήμα τῶν σπειρῶν τοῦ πηνίου, αν π.χ. οι σπείρες έχουν σχήμα κύκλου, τετραγώνου ή δρθογωνίου. Σημασία έχει μόνο τό διάρρευμα $\Theta = I \cdot N$.

Παράδειγμα.

Γιά νά έπιτύχομε μιά δρισμένη μαγνητική ροή σέ ἓνα πηνίο, χρειάζεται διάρρευμα 1000 άμπερελιγμάτων. Μέ ἑνταση ρεύματος 2 Α πόσες σπεῖρες πρέπει νά ἔχει τό πηνίο; Ποιός πρέπει νά είναι ὁ ἀριθμός τῶν σπειρῶν ἂν ή ἑνταση τοῦ ρεύματος είναι 5 Α;

Λύση:

Από τή σχέση $\Theta = I \cdot N$ προκύπτει ότι:

$$N = \frac{\Theta}{I} = \frac{1000}{2} = 500 \text{ σπεῖρες}$$

Όταν ή ἑνταση ρεύματος είναι 5 Α ἔχομε:

$$N = \frac{\Theta}{I} = \frac{1000}{5} = 200 \text{ σπεῖρες}$$

5.7.2 Ένταση μαγνητικοῦ πεδίου.

Στό πηνίο τοῦ σχήματος 5.6α ή **μέση μαγνητική γραμμή** ἔχει διάμετρο D. Συνεπῶς τό μῆκος τῆς μέσης μαγνητικῆς γραμμῆς τοῦ πηνίου αὐτοῦ είναι $l = \pi \cdot D$. Άρα τά άμπερελιγμάτα πού ἀντιστοιχοῦν σέ κάθε μονάδα μήκους τῆς μέσης μαγνητικῆς γραμμῆς είναι $\frac{l \cdot N}{l}$. Τό μέγεθος αὐτό τό όνομάζομε **ένταση τοῦ μαγνητικοῦ πεδίου** καί τό συμβολίζομε μέ τό γράμμα H. Μονάδα μετρήσεως τῆς έντάσεως μαγνητικοῦ πεδίου είναι τό At/m ή A/m. Είναι συνεπῶς:

$$H = \frac{l \cdot N}{l} = \frac{\Theta}{l} \quad \text{σέ } \frac{\text{At}}{\text{m}} \text{ ή } \frac{\text{A}}{\text{m}}$$

ὅπου: l ή ἑνταση τοῦ ρεύματος πού διαρρέει τό πηνίο σέ A,

N ὁ ἀριθμός τῶν σπειρῶν τοῦ πηνίου,

l τό μῆκος τῆς μέσης μαγνητικῆς γραμμῆς σέ m.

Παλαιότερα γιά τή μέτρηση τῆς έντάσεως τοῦ μαγνητικοῦ πεδίου χρησιμοποιοῦσαν τή μονάδα **έρστέντ** (oersted) μέ σύμβολο τό Oe. Καί είναι:

$$1 \text{ Oe} = 80 \frac{\text{At}}{\text{m}} \quad \text{ή}$$

$$1 \frac{\text{At}}{\text{m}} = 0,0125 \text{ Oe}$$

Τή ένταση τοῦ μαγνητικοῦ πεδίου H είναι ἔνα μέγεθος πού δείχνει



πόσο ισχυρή είναι ή αιτία πού δημιουργεῖ τό μαγνητικό πεδίο. Γενικά έχει διαφορετική τιμή άπό σημείο σε σημείο τού μαγνητικού πεδίου. Ό ύπολογισμός τής τιμῆς αύτῆς δέν είναι πάντα τόσο εύκολος, όπως ήταν γιά τό έσωτερικό τού πηνίου σε σχῆμα δακτυλίου, όπου τό μαγνητικό πεδίο μπορεῖ νά θεωρηθεῖ όμοιογενές.

Ό ίδιος τύπος έφαρμόζεται γιά νά βροῦμε καί τήν ένταση τού μαγνητικού πεδίου στό έσωτερικό ένός σωληνοειδούς πηνίου σε περιοχές πού δέν είναι κοντά στά ἄκρα του. Στήν περίπτωση αύτή I είναι τό κατά τόν ἄξονα μῆκος τού πηνίου.

Παραθέτομε τέλος τή σχέση πού δίνει τήν ένταση τού μαγνητικού πεδίου, πού δημιουργεῖ ένας εύθυγραμμος άγωγός, όταν διαρρέεται άπό ρεῦμα (παράγρ. 5.3), σε ένα σημείο έκτος τού άγωγού:

$$H = \frac{I}{2 \cdot \pi \cdot r} \quad \text{σε} \quad \frac{A}{m}$$

ὅπου: I ή ένταση τού ρεύματος μέσα στόν άγωγό σε A ,
 r ή άπόσταση τού σημείου άπό τόν άγωγό σε m .

Παράδειγμα 1.

Μέσα άπό ένα εύθυγραμμο πηνίο μέ 5000 σπεῖρες, περνᾶ ρεῦμα έντάσεως 0,5 A. Τό μῆκος τού πηνίου είναι 150 mm. Πόσο είναι τό διάρρευμα τού πηνίου καί πόση είναι ή ένταση τού μαγνητικού πεδίου στό έσωτερικό του, μακριά άπό τά ἄκρα τού πηνίου;

Λύση:

Γιά τό διάρρευμα έχομε:

$$\Theta = I \cdot N = 0,5 \times 5000 = 2500 \text{ At}$$

Γιά τήν ένταση τού μαγνητικού πεδίου έχομε:

$$H = \frac{I \cdot N}{l} = \frac{2500}{0,15} = 16.670 \frac{\text{At}}{\text{m}}$$

Παράδειγμα 2.

Ένας εύθυγραμμος άγωγός διαρρέεται άπό ρεῦμα έντάσεως 0,5 A. Ποιά είναι ή ένταση τού μαγνητικού πεδίου σε ένα σημείο πού άπέχει 2 mm άπό τόν άγωγό;

Λύση:

$$H = \frac{I}{2 \cdot \pi \cdot r} = \frac{0,5}{2 \times 3,14 \times 0,002} = 39,8 \frac{\text{A}}{\text{m}}$$

Από τή σύγκριση τῶν ἀποτελεσμάτων τῶν παραπάνω δύο παραδειγμάτων ἐπαληθεύεται αὐτό πού ἀναφέραμε στήν ἀρχή τῆς παραγράφου 5.4, ὅτι δηλαδή τά πηνία δημιουργοῦν πολύ ισχυρότερα μαγνητικά πεδία ἀπό τούς εὐθύγραμμους ἀγωγούς.

5.8 Ή μαγνητική διαπερατότητα τῶν ύλικῶν.

5.8.1 Μαγνητική διαπερατότητα.

“Οπως ἀναφέραμε καὶ στήν παράγραφο 5.6, ὅταν στόν πυρήνα τοῦ πηνίου πού ἔχει σχῆμα δακτυλίου, βάλομε διάφορα ύλικά, ἡ μαγνητική ἐπαγωγή B (καὶ ἡ μαγνητική ροή Φ) πού παράγεται στό ἑσωτερικό τοῦ πηνίου εἶναι διαφορετική, παρόλο πού ἡ ἔνταση τοῦ ρεύματος I πού περνᾶ μέσα ἀπό τό πηνίο μένει σταθερή. “Ομως σταθερή ἔνταση ρεύματος I σέ ἔνα πηνίο μέ δρισμένο ἀριθμό σπειρῶν, σημαίνει ὅτι καὶ τό διάρρευμα τοῦ πηνίου παραμένει σταθερό, συνεπῶς καὶ ἡ ἔνταση τοῦ μαγνητικοῦ πεδίου του εἶναι σταθερή.

‘Από τά παραπάνω βγάζομε τό συμπέρασμα, πού ισχύει γενικά καί ὅχι μόνο στά πηνία σέ σχῆμα δακτυλίου, ὅτι: **δρισμένη ἔνταση μαγνητικοῦ πεδίου H δημιουργεῖ σέ κάθε ύλικό διαφορετική μαγνητική ἐπαγωγή B .**

Γιά κάθε ύλικό υπάρχει ἔνας συντελεστής μ , τόν ὃποιο ὀνομάζομε **μαγνητική διαπερατότητα** τοῦ ύλικοῦ. Μέ αὐτὸν πολλαπλασιάζομε τήν ἔνταση τοῦ μαγνητικοῦ πεδίου ὅταν θέλομε νά βροῦμε τή μαγνητική ἐπαγωγή πού δημιουργεῖται στό ύλικό:

$$B = \mu \cdot H$$

‘Η μαγνητική διαπερατότητα τοῦ ἀέρα συμβολίζεται μέ μ_0 , καί στό διεθνές σύστημα μονάδων, πού χρησιμοποιοῦμε στό βιβλίο αὐτό, ἔχει τιμή:

$$\mu_0 = 1,26 \times 10^{-6} \frac{Vs}{Am}$$

Δηλαδή γιά τόν ἀέρα εἶναι:

$$B = \mu_0 \cdot H = 1,26 \times 10^{-6} \times H \text{ σέ } T$$

ὅπου: H ἡ ἔνταση τοῦ μαγνητικοῦ πεδίου σέ At/m.

‘Από τή σχέση αὐτή προκύπτει ὅτι γιά τόν ἀέρα εἶναι ἐπίσης:

$$H = 0,8 \times 10^6 \times B \quad \text{σέ } \frac{At}{m} \quad \text{ἢ } \frac{A}{m}$$

ὅπου: B ἡ μαγνητική ἐπαγωγή σέ T.

Συνεπῶς γιά κάθε μέτρο μήκους μαγνητικῆς γραμμῆς στόν άέρα χρειάζονται τόσα άμπερελίγματα, δση εἶναι σέ τέσλα (T) ή μαγνητική έπαγωγή στό μέρος αύτό πολλαπλασιασμένη ἐπί $0,8 \times 10^6$. "Αν π.χ. ή μαγνητική έπαγωγή εἶναι $B = 1$ T, χρειαζόμασθε γιά τή δημιουργία της ἔνταση μαγνητικοῦ πεδίου:

$$0,8 \times 10^6 = 800.000 \frac{\text{At}}{\text{m}},$$

δηλαδή χρειαζόμασθε γιά κάθε μέτρο μαγνητικῆς γραμμῆς 800.000 άμπερελίγματα. Αύτό μᾶς δείχνει πόσο μεγάλη εἶναι ή μαγνητική ἀντίσταση τοῦ άέρα (παράγρ. 5.6).

Γιά τά ἄλλα ύλικά ἐκτός ἀπό τόν άέρα χρησιμοποιοῦμε τή **σχετική μαγνητική διαπερατότητα** μ_r , ή δοπία εἶναι δ ἀριθμός πού δίνει πόσες φορές ή μαγνητική διαπερατότητα μ τοῦ ύλικοῦ εἶναι μεγαλύτερη ἀπό τή διαπερατότητα μ_0 τοῦ άέρα.

Εἶναι δηλαδή:

$$\boxed{\mu_r = \frac{\mu}{\mu_0} \quad \text{ή} \quad \mu = \mu_r \cdot \mu_0}$$

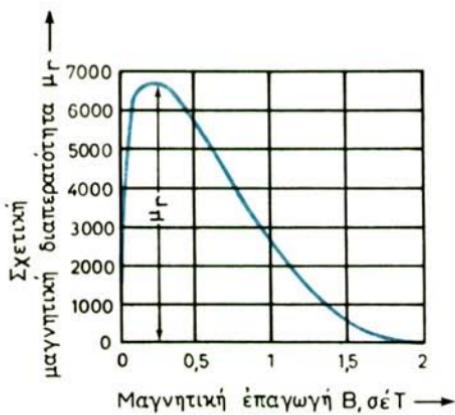
Η σχετική μαγνητική διαπερατότητα τῶν διαφόρων ύλικῶν προσδιορίζεται βέβαια πειραματικά. Τά περισσότερα ύλικά, δοπάς δ χαλκός, δ ἄργυρος, δ ψευδάργυρος, τό ξύλο κλπ. ἔχουν σχετική μαγνητική διαπερατότητα περίπου ἵση με 1. Δηλαδή στήν πράξη ἀπό ἀπόψεως μαγνητίσεως συμπεριφέρονται περίπου ὅπως δ ἀέρας.

Ο σίδηρος, τό νικέλιο, τό κοβάλτιο καί δρισμένα κράματά τους ἔχουν μ_r πολύ μεγαλύτερο ἀπό τή μονάδα. Τά ύλικά αύτά παρουσιάζουν πολύ μικρότερη μαγνητική ἀντίσταση ἀπό τόν άέρα στή διέλευση τῶν μαγνητικῶν πεδίων ἀπό μέσα τους.

Γιά τό σίδηρο καί τά κράματά του τό μ καί συνεπῶς καί τό μ_r , δέν εἶναι σταθερό μέγεθος. Στίς μικρές τιμές τῆς μαγνητικῆς έπαγωγῆς, τό μ_r εἶναι μικρό. Αὔξανεται δμως γρήγορα ὅταν μεγαλώνει ή τιμή τῆς μαγνητικῆς έπαγωγῆς, καί φθάνει σέ μιά μέγιστη τιμή μετά τήν δοπία ἀρχίζει πάλι νά ἐλαπτώνεται (σχ. 5.8a).

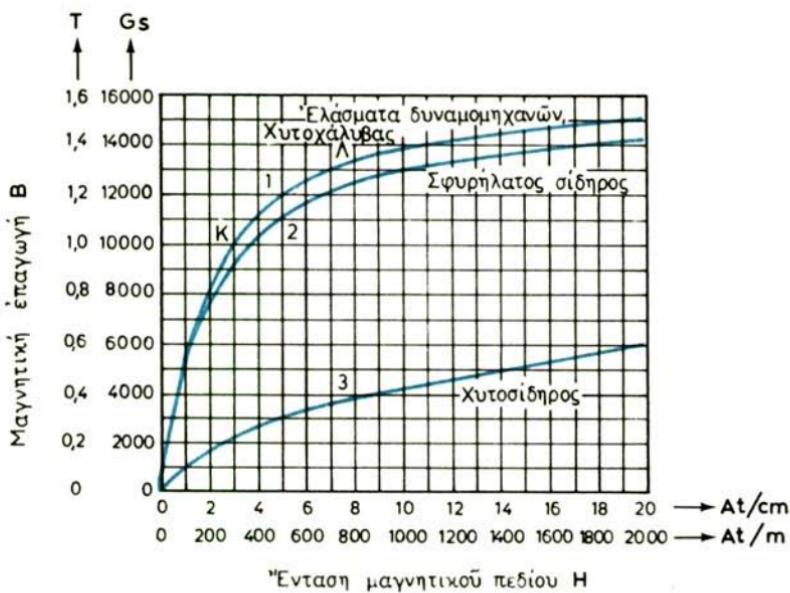
5.8.2 Καμπύλες μαγνητίσεως ύλικῶν.

Στήν πράξη τό πρόβλημα πού παρουσιάζεται συχνά εἶναι νά βροῦμε μέ κάποιον ἀπλό τρόπο τήν ἔνταση τοῦ μαγνητικοῦ πεδίου H , πού χρειάζεται γιά νά ἔχομε μιάν δρισμένη μαγνητική έπαγωγή B σέ ἔνα μέρος τοῦ μαγνητικοῦ πεδίου. Ἐπειδή, ὅπως εἴπαμε, ή μαγνητική διαπερατότητα τοῦ σιδήρου καί τῶν κραμάτων του πού χρησιμοποιοῦνται στίς κατασκευές τῶν ἡλεκτρικῶν μηχανῶν, δέν εἶναι σταθερή, τόν πα-



Σχ. 5.8α.

Μεταβολή τῆς μ_r μὲ τὴν B
σε ἐλάσματα δυναμομηχανῶν.

'Ἐνταση μαγνητικοῦ πεδίου H

Σχ. 5.8β.

Καμπύλες μαγνητίσεως.

ραπάνω σκοτιό εκπληρώνουν οἱ όνομαζόμενες **καμπύλες μαγνητίσεως** τῶν ὑλικῶν.

Στὸ σχῆμα 5.8β φαίνονται οἱ καμπύλες μαγνητίσεως γιά διάφορα σιδηρομαγνητικά ὑλικά πού χρησιμοποιοῦνται στὴν πράξη.

Φυσικά γιά κάθε συγκεκριμένο ὑλικό τὴν ἀκριβή καμπύλη μαγνητίσεώς του τῇ δίνει ὁ κατασκευαστής τοῦ ὑλικοῦ πού τὴν ἔχει χαράξει·

πειραματικά. Στό διάγραμμα τοῦ σχήματος 5.8β ή μαγνητική έπαγωγή μετριέται στόν κατακόρυφο άξονα καί δίνεται σέ τέσλα (T) καί σέ γκάους (Gs). Στό δριζόντιο άξονα μετριέται ή ένταση τοῦ μαγνητικοῦ πεδίου σέ At/m καί σέ At/cm.

“Όπως παρατηροῦμε στήν καμπύλη μαγνητίσεως κάθε ύλικοῦ στό σχήμα 5.8β, στίς μικρές τιμές τῆς έντασεως μαγνητικοῦ πεδίου, μιά αὔξηση τῆς έντασεως H συνεπάγεται σημαντική αὔξηση τῆς μαγνητικῆς έπαγωγῆς B (περιοχή Ο - K στήν καμπύλη 1).

‘Από κάποια τιμή τοῦ H καί ἔπειτα ή αὔξηση τοῦ B άρχιζει νά γίνεται άρκετά μικρότερη ὅταν αὔξανεται ή ένταση H. Είναι ή περιοχή τοῦ **γρανάτου τῆς καμπύλης** (περιοχή K - L). Σ’ αὐτή συνήθως τήν περιοχή ἔχουν ύπολογισθεῖ γιά νά έργαζονται τά σιδηρομαγνητικά ύλικά στίς διάφορες ήλεκτρικές μηχανές.

Μετά τό γόνατο, αὔξηση τοῦ H ἔχει σάν άποτέλεσμα πολύ μικρή αὔξηση τοῦ B. Είναι ή περιοχή **τοῦ μαγνητικοῦ κορεσμοῦ**, τοῦ όποίου τήν έξιγηση εἰδαμε στήν παράγραφο 5.1, ὅταν μιλήσαμε γιά τά σιδηρομαγνητικά ύλικά καί τή μαγνητισή τους. Στήν περιοχή αύτή γιά νά έπιτυχομε μικρή αὔξηση τοῦ B, χρειαζόμασθε πολύ μεγάλη αὔξηση τοῦ H καί συνεπώς καί τῆς έντασεως τοῦ ρεύματος τοῦ πηνίου.

Παράδειγμα.

Πόση ένταση μαγνητικοῦ πεδίου χρειάζεται γιά νά δημιουργηθεῖ μαγνητική έπαγωγή $B = 1\text{ T}$ σέ ύλικό άπό τό όποιο κατασκευάζονται τά έλάσματα τῶν ήλεκτρικῶν μηχανῶν;

Λύση:

‘Από τήν τιμή τῆς μαγνητικῆς έπαγωγῆς $B = 1\text{ T}$ στόν κατακόρυφο άξονα τοῦ σχήματος 5.8β φέρομε μιά δριζόντια εύθεια, πού συναντᾶ τήν καμπύλη μαγνητίσεως γιά τά έλάσματα δυναμομηχανῶν (καμπύλη 1) σέ ένα σημεῖο. ‘Από τό σημεῖο αύτό τῆς τομῆς φέρομε μία κατακόρυφη εύθεια, πού συναντᾶ τόν δριζόντιο άξονα στό σημεῖο πού ἀντιστοιχεῖ σέ ένταση μαγνητικοῦ πεδίου $H = 320\text{ At/m}$. Αύτή είναι καί ή ζητούμενη ένταση μαγνητικοῦ πεδίου.

5.9 Μαγνητική ύστερηση.

Γιά νά έξηγήσομε τό φαινόμενο τῆς μαγνητικῆς ύστερησεως, πού παρουσιάζεται στά σιδηρο-μαγνητικά ύλικά, θά χρησιμοποιήσομε πάλι τό πηνίο σέ σχήμα δακτυλίου μέ πυρήνα άπό σίδηρο, πού δείχνει τό σχήμα 5.6β. “Αν στό πηνίο αύτό αὔξησομε σιγά-σιγά τήν ένταση τοῦ ρεύματος I, ὅπως ξέρομε, θά αύξηθει ἀντίστοιχα καί ή ένταση τοῦ μαγνητικοῦ πεδίου H στό έσωτερικό τοῦ πηνίου (παράγραφος 5.7.2).

"Οταν ή I φθάσει κάποια μέγιστη τιμή I_μ αντίστοιχα ή ένταση θά φθάσει καί αύτή σέ μια μέγιστη τιμή H_μ .

Παραδεχόμασθε ότι διάδορος τοῦ πυρήνα τοῦ πηνίου δέν ᔁχει μαγνητισθεῖ ἄλλη φορά. "Ετσι ή μαγνητική ἐπαγωγή B πού θά δημιουργηθεῖ σ' αὐτὸν γιά τά διάφορα H, θά δίνεται ἀπό τήν καμπύλη μαγνητίσεως τοῦ ύλικοῦ. Ή καμπύλη αύτή ᔁχει χαραχθεῖ στό σχῆμα 5.9 (τμῆμα μέ διακοπτόμενη γραμμή ἀπό O ώς A) καί εἶναι ὅμοια μέ μια ἀπό τίς καμπύλες τοῦ σχήματος 5.8β. Ή μέγιστη τιμή τῆς μαγνητικῆς ἐπαγωγῆς εἶναι ή B_μ καί αντίστοιχεῖ στήν H_μ , πού ᔁθασε ή ένταση τοῦ μαγνητικοῦ πεδίου, ἀφοῦ πέρασε ἀπό ὅλες τίς ἐνδιάμεσες τιμές καθώς ή I αὔξανόταν ἀπό O σέ I_μ .

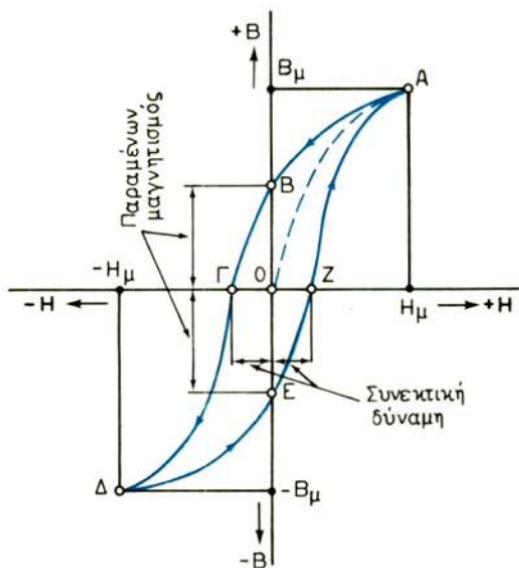
"Αν τώρα ύποθέσομε ότι ἀρχίζομε νά ἐλαττώνομε τήν ένταση τοῦ ρεύματος I μέχρι μηδενισμοῦ, εἶναι ἐπόμενο ότι αντίστοιχα θά ἐλαττωθεῖ καί τελικά θά μηδενισθεῖ καί ή ένταση μαγνητικοῦ πεδίου H. Ή μαγνητική ἐπαγωγή B ἐλαττώνεται καί αύτή, δηλαδή διάδορος **ἀπομαγνητίζεται**. Ἀλλά ὅταν ή ένταση H γίνει μηδέν, ή ἐπαγωγή B δέ μηδενίζεται ἀλλά διατηρεῖ μια τιμή ἵση μέ OB (σχ. 5.9), πού όνομάζεται **παραμένων μαγνητισμός**. Ή ἀπομαγνήτιση τοῦ σιδήρου γίνεται ὅχι ἐπάνω στήν ἀρχική καμπύλη AO, ἀλλά σέ μια νέα καμπύλη AB.

Δηλαδή παρατηροῦμε ότι ή μαγνητική ἐπαγωγή δέν ἀκολουθεῖ κατά τήν ἀπομαγνήτιση ἀκριβῶς τίς μεταβολές τῆς ἐντάσεως τοῦ μαγνητικοῦ πεδίου ἀλλά καθυστερεῖ ώς πρός αὐτές. Ἀποτέλεσμα αὐτοῦ εἶναι ότι διπυρήνας παραμένει μαγνητισμένος, παρόλο πού μηδενίσθηκε ή ένταση τοῦ ρεύματος I καί ή ένταση τοῦ μαγνητικοῦ πεδίου H.

"Αν Θελήσομε νά ἀπομαγνητίσομε τελείως τό σιδερένιο πυρήνα, θά πρέπει νά ἀναστρέψομε τή φορά τοῦ ρεύματος μέσα στό τύλιγμα τοῦ πηνίου, ὅποτε ἀναστρέφεται καί ή φορά τοῦ μαγνητικοῦ πεδίου. Τίς τιμές τῆς έντάσεως τοῦ μαγνητικοῦ πεδίου τώρα μποροῦμε νά τίς θεωρήσομε ἀρνητικές. "Οταν, αὔξανοντας τήν ένταση τοῦ ρεύματος, ή τιμή τῆς H φθάσει νά γίνει ἵση μέ OG (σχ. 5.9), ή τιμή τῆς μαγνητικῆς ἐπαγωγῆς θά ᔁχει μηδενισθεῖ. Ή ἀπομαγνήτιση τοῦ ύλικοῦ συντελέσθηκε ἔτσι ἐπάνω στήν καμπύλη BG.

'Η ένταση τοῦ μαγνητικοῦ πεδίου OG πού χρειάζεται γιά νά μηδενισθεῖ ή μαγνητική ἐπαγωγή, όνομάζεται **συνεκτική δύναμη** τοῦ σιδήρου ή τοῦ σιδηρομαγνητικοῦ ύλικοῦ, γιατί ἀποτελεῖ ἔνα μέτρο τῆς ίκανότητας τοῦ ύλικοῦ νά διατηρεῖ τό μαγνητισμό του.

Αὔξανομε τώρα ἀκόμη περισσότερο τήν ένταση τοῦ πεδίου, μέχρι νά πάρει μια τιμή $-H_\mu$ (σχ. 5.9) ἵση καί αντίθετη τῆς $+H_\mu$. Ή μαγνητική ἐπαγωγή θά γίνει ἵση μέ $-B_\mu$, πού εἶναι καί αύτή ἵση καί αντίθετη τῆς $+B_\mu$. Τό τμῆμα ΓΔ τῆς καμπύλης δείχνει τή μεταβολή αύτή.



Σχ. 5.9.

Τέλος, αν μεταβάλλομε πάλι τήν ένταση του πεδίου από $-H_\mu$ μέχρι $+H_\mu$, ή άντιστοιχη μεταβολή τῆς μαγνητικῆς έπαγωγῆς B παριστάνεται από τήν καμπύλη ΔΕΖΑ. Παρατηρούμε καὶ στήν περίπτωση αυτή τήν καθυστέρηση στίς τιμές τῆς μαγνητικῆς έπαγωγῆς B, σὲ σχέση μέτριας τιμές πού παίρνει ή ένταση του πεδίου H. "Οταν δηλαδή ή ένταση του πεδίου γίνει πάλι μηδέν, δημητρίας Θά διατηρήσει έναν παραμένοντα μαγνητισμό ΟΕ ιστον ἀλλά μέ φορά άντιθετη του OB. Γιά νά μηδενισθεῖ ο παραμένων μαγνητισμός πρέπει ή ένταση του πεδίου νά πάρει τιμή ίση μέ τή συνεκτική δύναμη OZ.

Τό φαινόμενο πού έχετάσαμε, δηλαδή τό ότι καθυστεροῦν οι μεταβολές της μαγνητικής έπαγωγής σχετικά μέ τις μεταβολές της έντασεως του μαγνητικού πεδίου, ονομάζεται **μαγνητική ύστερηση**. Ή δική καμπύλη ΑΒΓΔΕΖΑ ονομάζεται **βρόχος ύστερησεως**.

"Αν από τό σημείο Α πού φθάσαμε προηγουμένως, έπαναλάβομε τή διαδικασία πού περιγράφαμε, θά σχηματίσομε πάλι τό βρόχο ύστερησεως, χωρίς νά περάσομε άπο τήν καμπύλη ΟΑ. Ή καμπύλη ΟΑ όνομάζεται **παρθενική καμπύλη μαγνητίσεως**. Τήν καμπύλη αύτή μποροῦμε νά ξαναπάρομε ἄν σταματήσομε τή διαδικασία τής μαγνητίσεως και ἀπομαγνητίσεως σέ ἔνα άπο τά σημεία Γ και Ζ, και διακόψωμε τό ρεύμα. Τότε και τό ύλικό θά ἔχει ἀπομαγνητισθεῖ τελείως και ή ἔνταση Η θά

είναι μηδενική. "Αν τώρα ξαναρχίσομε τή μαγνήτιση θά κινηθοῦμε πάλι έπάνω στήν παρθενική καμπύλη μαγνητίσεως.

"Η μορφή τοῦ βρόχου ύστερήσεως έξαρταί από τό είδος τοῦ σιδηρομαγνητικοῦ ύλικοῦ τό διόποιο ύλικό καί χαρακτηρίζει όπως θά δοῦμε άμεσως παρακάτω.

'Ο σκληρός χάλυβας καί γενικά τά σκληρά μαγνητικά ύλικά (παράγρ. 5.1) παρουσιάζουν **πλατύ βρόχο** μέ μεγάλο παραμένοντα μαγνητισμό καί μεγάλη συνεκτική δύναμη. 'Αντίθετα διαλακός σίδηρος καί τά μαλακά μαγνητικά ύλικά παρουσιάζουν **στενό βρόχο**, μέ μικρό παραμένοντα μαγνητισμό καί μικρή συνεκτική δύναμη. 'Από αύτά γίνεται φανερό διότι τά σκληρά μαγνητικά ύλικά, είναι κατάλληλα γιά κατασκευή μονίμων μαγνητῶν. 'Αντίθετα τά μαλακά μαγνητικά ύλικά είναι άκατάλληλα, γιατί καί διαλακός παραμένων μαγνητισμός τους είναι μικρός καί εύκολα μποροῦν νά τόν χάσουν, αφοῦ διαλακός συνεκτική τους δύναμη είναι μικρή.

Τά μαλακά μαγνητικά ύλικά είναι δύμας χρήσιμα σέ ήλεκτροτεχνικές έφαρμογές, πού έργαζονται μέ έναλλασσόμενο ρεῦμα, όπως π.χ. στούς μετασχηματιστές. 'Επίσης χρησιμοποιούνται σέ περιπτώσεις πού έχουμε περιστροφή σιδερένιων μαζῶν μέσα σέ μόνιμα μαγνητικά πεδία, όπως στίς δυναμομηχανές.

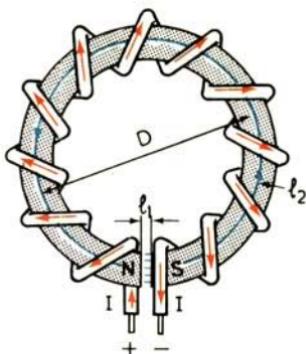
Καί στίς δύο παραπάνω περιπτώσεις έχουμε έναλλασσόμενες μαγνητίσεις, δηλαδή μαγνητίσεις, άπομαγνητίσεις καί στή συνέχεια μαγνητίσεις κατά τήν άντιθετη φορά τῶν ύλικῶν, διότε έμφανίζεται συνεχῶς τό φαινόμενο τῆς μαγνητικῆς ύστερήσεως. Τό φαινόμενο αύτό δημιουργεῖ άπώλειες ένέργειας, τίς **άπώλειες ύστερήσεως**. Οι άπώλειες ύστερήσεως, πού στήν πραγματικότητα είναι άπώλειες από έσωτερική τριβή τῶν μορίων τῶν σιδηρομαγνητικῶν ύλικῶν, προκαλοῦν θέρμανση τοῦ ύλικοῦ.

'Αποδεικνύεται διότι οι άπώλειες ύστερήσεως είναι άνάλογες μέ τό έμβαδόν τοῦ βρόχου ύστερήσεως τοῦ ύλικοῦ. "Αρα τά μαλακά μαγνητικά ύλικά, πού όπως εἰπαμε έχουν στενό βρόχο ύστερήσεως έχουν καί μικρές άπώλειες ύστερήσεως καί γι' αύτό χρησιμοποιούνται στίς έφαρμογές πού άναφέραμε. Γιά τά ύλικά αύτά μποροῦμε στήν πράξη νά θεωρήσομε διότι διαλακός ύστερήσεως ταυτίζεται μέ τήν παρθενική καμπύλη μαγνητίσεως τοῦ ύλικοῦ. Τέτοιες καμπύλες είναι καί αύτές πού δίνονται στό σχήμα 5.8β.

5.10 Τά μαγνητικά κυκλώματα.

'Όνομάζομε **μαγνητικό κύκλωμα** κάθε κλειστή διαδρομή μιᾶς δέσμης μαγνητικῶν γραμμῶν. δηλαδή κάθε κλειστή διαδρομή μαγνητικῆς ροής. Π.χ. τό μαγνητικό κύκλωμα τοῦ πηνίου τοῦ σχήματος 5.6β περνά μόνο μέσα από τό σιδερένιο πυρήνα





Σχ. 5.10α.

Πηνίο μέ σιδερένιο πυρήνα
καί διάκενο άέρα.

"Αν από τόν πυρήνα αὐτόν άποκόψωμε ένα κομμάτι του, όπως φαίνεται στό σχήμα 5.10α, τότε δημιουργούμε ένα διάκενο άέρα. Τώρα τό μαγνητικό κύκλωμα άποτελεῖται από δύο μέρη διαφορετικού ύλικού καί διαφορετικού μήκους τό καθένα.

Στή γενική περίπτωση τό μαγνητικό κύκλωμα περιλαμβάνει μέρη μέ διαφορετικά ύλικά, μέ διαφορετικά μήκη καί μέ διαφορετικές διατομές.

Στήν πράξη, συνήθως, γνωρίζομε τή μαγνητική ροή πού πρέπει νά περνᾶ από τά διάφορα μέρη ένός μαγνητικού κυκλώματος καί θέλομε νά ύπολογίσομε τά άμπερελίγματα τοῦ πηνίου πού θά δημιουργήσουν τή ροή αύτή. Ή μαγνητική ροή είναι γνωστή ή ύπολογίζεται έτσι, ώστε νά άνταποκρίνεται στή λειτουργία τής ήλεκτρικής μηχανής, τοῦ ήλεκτρομαγνήτη, τοῦ μετασχηματιστή κλπ.

Η γενική μέθοδος πού άκολουθούμε στής περιπτώσεις αύτές είναι ή άκολουθη: Γιά κάθε τμήμα τοῦ μαγνητικού κυκλώματος ύπολογίζομε τή μαγνητική έπαγωγή B από τή γνωστή, όπως άναφέραμε, μαγνητική ροή Φ καί τό έμβαδόν τής διατομῆς του S , από τή σχέση:

$$B = \frac{\Phi}{S} \quad \text{σέ } T$$

Κατόπιν μέ τή βοήθεια τής καμπύλης μαγνητίσεως τοῦ ύλικοῦ κάθε τμήματος βρίσκομε τήν άπαιτούμενη ένταση μαγνητικού πεδίου H , γιά νά έχομε αύτή τή μαγνητική έπαγωγή B . Η ένταση τοῦ πεδίου στά διάκενα άέρα βρίσκεται από τή γνωστή σχέση:

$$H = 0,8 \times 10^6 \times B \quad \text{σέ } \frac{At}{m}$$

Στή συνέχεια πολλαπλασιάζομε τίς έντάσεις μαγνητικοῦ πεδίου H_1, H_2, H_3 κλπ. τῶν διαφόρων τμημάτων μέ τά άντιστοιχα μήκη τους l_1, l_2, l_3 κλπ. Τά μήκη τά μετρούμε έπάνω στή μέση μαγνητική γραμμή τοῦ κυκλώματος. Χωρίς νά έπεκταθούμε περισσότερο

άναφέρομε μόνο ότι τά γινόμενα:

$$H_1 \cdot l_1, H_2 \cdot l_2, H_3 \cdot l_3 \text{ κλπ.}$$

μᾶς δίνουν τό καθένα τά άμπερελίγματα πού χρειάζονται γιά νά περάσει ή ροή άπο τά άντιστοιχα τηήματα τού κυκλώματος. Έπίσης ότι τό άθροισμά τους μᾶς δίνει τό άπαιτούμενο διάρρευμα Θ τού πηνίου:

$$\Theta = H_1 \cdot l_1 + H_2 \cdot l_2 + H_3 \cdot l_3 + \dots \quad \text{σέ At}$$

Τό πηνίο πού θά δώσει τό διάρρευμα αύτό δέν είναι άπαραίτητο νά περιβάλλει σέ όλο του τό μῆκος τόν πυρήνα, δπως γίνεται στό σχήμα 5.10a. Μπορεΐ νά περιβάλλει και ένα τηήμα μόνο τού πυρήνα, δπως δείχνει γιά μιά άλλη περίπτωση τό σχήμα 5.11, φθάνει βέβαια νά έχει τά άμπερελίγματα πού θά προκύψουν άπο τόν ύπολογισμό. Ή μαγνητική ροή θά περάσει πάλι μέσα άπο τόν πυρήνα, δ οποίος παρουσιάζει πολύ μικρότερη μαγνητική άντισταση άπο τόν άέρα πού περιβάλλει τό κύκλωμα.

Έπισης τό διάρρευμα Θ μπορούμε νά τό έχομε μέ δύο πηνία πού συνδέονται σέ σειρά, δπως φαίνεται στό σχήμα 5.10β ή άκόμα καί παράλληλα. Πρέπει ίμως τά πηνία αύτά νά έχουν τέτοια φορά περιελίξεως, ώστε τά μαγνητικά πεδία πού δημιουργούν νά είναι τής ίδιας φοράς. Τότε τό άθροισμα τών άμπερελιγμάτων τών δύο πηνίων δίνει τό συνολικό διάρρευμα Θ.

Παράδειγμα 1.

Σέ ένα δακτύλιο άπο χυτοχάλυβα (σχ. 5.6β) πού έχει έμβαδόν διατομῆς 25 cm^2 καί μέσο μῆκος $l = 50 \text{ cm}$ πρέπει νά περάσει μαγνητική ροή $\Phi = 25 \times 10^{-4} \text{ Wb}$. Πόσο είναι τό άπαιτούμενο διάρρευμα Θ;

Λύση:

$$\text{Είναι: } S = 25 \text{ cm}^2 = \frac{25}{10.000} \text{ m}^2 = 25 \times 10^{-4} \text{ m}^2 \text{ καί}$$

$$l = 50 \text{ cm} = 0.5 \text{ m}$$

Άρα:

$$B = \frac{\Phi}{S} = \frac{25 \times 10^{-4}}{25 \times 10^{-4}} = 1 \text{ T}$$

Από τίς καμπύλες μαγνητίσεως τού σχήματος 5.8β βρίσκομε ότι γιά νά έχομε $B = 1 \text{ T}$ στό χυτοχάλυβα (καμπύλη 1), χρειαζόμαστε $H = 320 \text{ At/m}$.
Συνεπώς:

$$\Theta = H \cdot l = 320 \times 0.5 = 160 \text{ άμπερελίγματα}$$

Τά άμπερελίγματα αύτά μπορούμε νά τά έπιτύχομε π.χ. μέ 1 A καί 160 σπείρες ή 2 A καί 80 σπείρες ή 4 A καί 40 σπείρες κλπ.



Παράδειγμα 2.

Ο δακτύλιος του προηγούμενου παραδείγματος έχει ένα διάκενο άέρα μήκους 5 mm. Πόσο είναι τώρα τό απαιτούμενο διάρρευμα;

Λύση:

Για ένα διάκενο άέρα μήκους $l_1 = 5 \text{ mm} = 0,005 \text{ m}$ (σχ. 5.10a) τό μέσο μῆκος του δακτυλίου από χυτοχάλυβα γίνεται $l_2 = 0,5 - 0,005 = 0,495 \text{ m}$.

Άρα τά άμπερελίγματα πού άπαιτούνται γιά τό χυτοχάλυβα θά είναι τώρα:

$$H_2 \cdot l_2 = 320 \times 0,495 = 158,8 \text{ At}$$

Δεχόμασθε ότι ή μαγνητική έπαγωγή B_1 , στό διάκενο άέρα είναι όση καί στό χυτοχάλυβα, δηλαδή ότι ή διατομή του διακένου άέρα είναι όση καί του δακτυλίου. Θά είναι τότε γιά τόν άέρα:

$$H_1 = 0,8 \times 10^6 \times B_1 = 0,8 \times 10^6 \times 1 = 800.000 \text{ At/m}$$

Άρα τά άπαιτούμενα άμπερελίγματα γιά τόν άέρα θά είναι:

$$H_1 \cdot l_1 = 800.000 \times 0,005 = 4000 \text{ At}$$

Τό άπαιτούμενο διάρρευμα θά είναι συνεπώς:

$$\Theta = H_1 \cdot l_1 + H_2 \cdot l_2 = 4000 + 148,5 = 4148,5 \text{ At}$$

Από τό παράδειγμα αύτό βλέπομε πόσο σημαντικά μεγαλύτερα είναι τά άμπερελίγματα πού χρειάζονται γιά νά περάσει ή μαγνητική ροή τό διάκενο άέρα, άν καί τό μῆκος αύτού του διακένου είναι πολύ μικρό σέ σχέση μέ τό μῆκος του σιδερένιου δακτυλίου.

Ο σίδηρος χρειάζεται μόνο τό 3,6% του όλου άριθμού τών άμπερελιγμάτων. Διαπιστώνομε δηλαδή πάλι τό πόσο μεγάλη είναι ή μαγνητικά άντισταση του άέρα καί πόση σημασία έχουν τά σιδηρομαγνητικά ύλικα γιά τά μαγνητικά κυκλώματα.

Παράδειγμα 3.

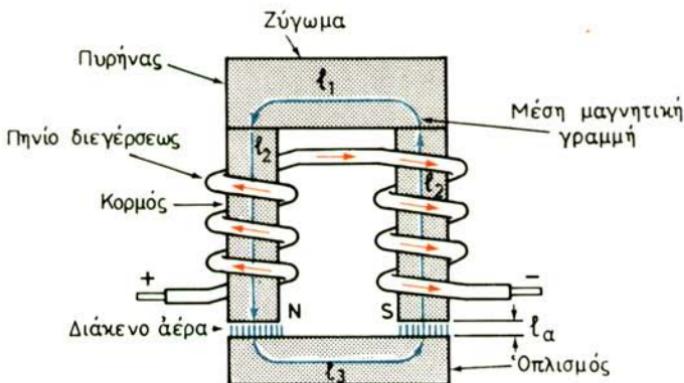
Πόσο είναι τό διάρρευμα στόν ήλεκτρομαγνήτη του σχήματος 5.10β πού πρέπει νά δώσει τό πηνίο γιά νά δημιουργηθεῖ μαγνητική ροή 0,0024 Wb; Τά στοιχεῖα του ήλεκτρομαγνήτη είναι τά άκολουθα, πού άντιστοιχούν στό σχήμα 5.10β.

Τμήμα	Έγχιστο	Μῆκος	Διατομή
Ζύγωμα	Χυτοχάλυβας	$l_1 = 0,15 \text{ m}$	$S_1 = 0,0025 \text{ m}^2$
Κορμός	Χυτοχάλυβας	$l_2 = 0,10 \text{ m}$	$S_2 = 0,0020 \text{ m}^2$
Όπλισμός	Χυτοχάλυβας	$l_3 = 0,15 \text{ m}$	$S_3 = 0,0018 \text{ m}^2$
Διάκενο	Άέρας	$l_a = 0,003 \text{ m}$	$S_a = 0,0020 \text{ m}^2$

Λύση:

Υπολογίζομε πρώτα τή μαγνητική έπαγωγή B στά διάφορα τμήματα του μαγνητικού κυκλώματος.

$$\text{Ζύγωμα: } B_1 = \frac{\Phi}{S_1} = \frac{0,0024}{0,0025} = 0,96 \text{ T}$$



Σχ. 5.10β.
Ηλεκτρομαγνήτης σε σχήμα πετάλου.

Κορμός: $B_2 = \frac{\Phi}{S_2} = \frac{0.0024}{0.0020} = 1.2 \text{ T}$

Όπλισμός: $B_3 = \frac{\Phi}{S_3} = \frac{0.0024}{0.0018} = 1.333 \text{ T}$

Διάκενο: $B_a = \frac{\Phi}{S_a} = \frac{0.0024}{0.0020} = 1.2 \text{ T}$

Οι άντιστοιχεις έντάσεις μαγνητικού πεδίου που βρίσκομε γιά τά μέρη άπο χυτοχάλυβα άπο τήν καμπύλη 1 τοῦ σχήματος 5.8β και γιά τόν άέρα μέ ύπολογισμό, είναι:

$$H_1 = 270 \frac{\text{At}}{\text{m}}, H_2 = 500 \frac{\text{At}}{\text{m}}, H_3 = 800 \frac{\text{At}}{\text{m}}$$

$$H_a = 0.8 \times 10^6 \times B_a = 0.8 \times 10^6 \times 1.2 = 960.000 \text{ At/m}$$

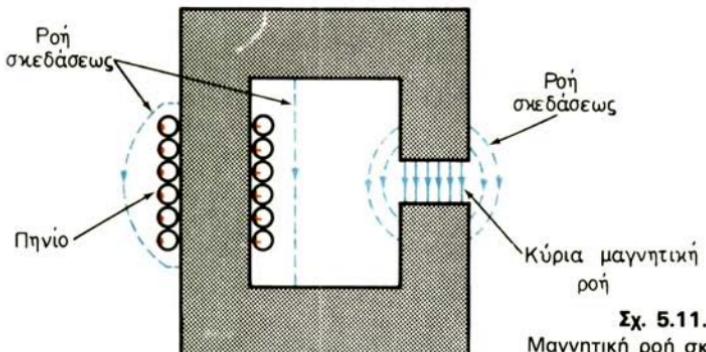
Τά άντιστοιχα άπαιτούμενα άμπερελίγματα, ἀν λάβομε ύπόψη δτι έχομε δύο κορμούς και δύο διάκενα άέρα, είναι:

$$\begin{aligned} H_1 \cdot l_1 &= 270 \times 0.15 & = 40 \\ 2 \cdot H_2 \cdot l_2 &= 2 \times 500 \times 0.10 & = 100 \\ H_3 \cdot l_3 &= 800 \times 0.15 & = 120 \\ 2 \cdot H_a \cdot l_a &= 2 \times 960.000 \times 0.003 & = 5760 \\ \Theta &= H_1 \cdot l_1 + 2 \cdot H_2 \cdot l_2 + H_3 \cdot l_3 + 2 \cdot H_a \cdot l_a & \simeq 6000 \text{ At} \end{aligned}$$

Σέ περιπτώσεις δπως αύτή τοῦ σχήματος 5.10β τά άπαιτούμενα άμπερελίγματα μοιράζονται σέ δύο ίσα μέρη στούς δύο κορμούς. Ἀν π.χ. ή ένταση τοῦ ρεύματος είναι 2 A, οι άπαιτούμενες 3000 σπείρες θά μοιρασθοῦν άπο 1500 σέ κάθε κορμό τοῦ ήλεκτρομαγνήτη.

5.11 Μαγνητική σκέδαση.

Στά παραπάνω παραδείγματα παραδεχθήκαμε ότι δλη ή μαγνητική ροή πού δημιουργεῖ τό πηνίο περνά μέσα από τό σιδηρομαγνητικό πυρήνα τού πηνίου και μέσα από τό διάκενο τού άερα. Στήν πραγματικότητα αύτό δέ συμβαίνει άπόλυτα. Ένα σχετικά μικρό μέρος από τίς μαγνητικές γραμμές κλείνει κύκλωμα κατά διαφόρους δλλους τρόπους, όπως φαίνεται και στό σχήμα 5.11. Τίς μαγνητικές αύτές γραμμές, πού ονομά-



Σχ. 5.11.
Μαγνητική ροή σκεδάσεως.

ζονται **μαγνητικές γραμμές σκεδάσεως**, πρέπει νά τίς θεωρήσουμε ότι χάνονται γιά τή χρήσιμη μαγνητική ροή. Αύτή ή μαγνητική ροή πού ονομάζεται και **κύρια μαγνητική ροή**, περνά μέσα από τόν πυρήνα και τό διάκενο ή τά διάκενα, τά όποια έπιτηδες έχομε άφήσει γιά νά τήν άξιοποιήσουμε.

Τό σύνολο τών μαγνητικών γραμμών σκεδάσεως άποτελεί τή **μαγνητική ροή σκεδάσεως**. Ή ροή αύτή μαζί μέ τήν κύρια μαγνητική ροή άποτελούν τήν **δλική μαγνητική ροή Φ**, τήν όποια δημιουργούν τά άμπερελίγματα τού πηνίου.

Γιά τόν ύπολογισμό τών άμπερελίγμάτων αύτών, ή ροή σκεδάσεως λαμβάνεται ύπόψη μέ ένα συντελεστή κ, πού ονομάζεται συντελεστής σκεδάσεως. Πολλαπλασιάζομε δηλαδή τήν κύρια μαγνητική ροή, πού θέλομε νά έχομε, π.χ. στό διάκενο, έπι 1 + κ γιά νά βρούμε τήν δλική ροή. "Αν π.χ. ή κύρια μαγνητική ροή πρέπει νά είναι 0,003 Wb και άν ο συντελεστής σκεδάσεως είναι 0,1, τότε ή δλική μαγνητική ροή θά είναι $\Phi = 0,003 \times 1,1 = 0,0033$ Wb. Μέ αύτήν ύπολογίζομε τά ύπόλοιπα τμήματα τού κυκλώματος.

Αν μάς δίνουν τή μαγνητική έπαγωγή B πού πρέπει νά έχομε στό διάκενο, τότε ή μαγνητική έπαγωγή B, πού θά ληφθεΐ ύπόψη στό σιδερένιο πυρήνα θά είναι:

$$B_1 = B(1 + \kappa)$$

Τό μέγεθος τού συντελεστή σκεδάσεως κ έξαρτάται από τή διαμόρφωση τού συγκεκριμένου κάθε φορά κυκλώματος και κυρίως από τό μήκος τών διακένων τού άερα.

Παράδειγμα.

"Ένας ήλεκτρομαγνήτης σχήματος πετάλου έχει τό ίδιο έμβαδόν στούς κορμούς, στό ζύγωμα και στόν όπλισμό. Τό μήκος τής μέσης μαγνητικής γραμμής στούς κορμούς, μαζί μέ τό ζύγωμα είναι $I_1 = 0,65$ m και τό μήκος τής μέσης μαγνητικής γραμμής στόν όπλισμό είναι $I_2 = 0,25$ m. Στά διάκενα μεταξύ τών κορμών και τού όπλισμού, πού τό καθένα έχει μήκος $I_a = 0,001$ m πρέπει νά ύπάρχει μαγνητική έπαγωγή B = 1 T. "Αν ο συντελεστής σκεδάσεως είναι κ = 0,2, πόσο είναι τό άπαιτούμενο διάρρευμα; Γιά καμπύλη μαγνητίσεως τού ύλικού τού πυρήνα και τού όπλισμού νά ληφθεΐ ή καμπύλη 1 τού σχήματος 5.8β.

Λύση:

Άφού διατίθεται σκεδάσεως $\kappa = 0,2$, ή μαγνητική έπαγωγή στούς κορμούς και τό ζύγωμα θά είναι:

$$B_1 = B_a (1 + \kappa) = 1 \times (1 + 0,2) = 1,2 \text{ T}$$

Από τήν καμπύλη μαγνητίσεως τού ύλικου βρίσκομε διτι για $B_1 = 1,2 \text{ T}$ είναι $H_1 = 500 \text{ At/m}$.

Στόν όπλισμό δεχόμασθε τήν ίδια μαγνητική έπαγωγή μέ τό διάκενο, δηλαδή διτι ή ροή σκεδάσεως δέν περνά καθόλου μέσα από αύτόν, πράγμα πού είναι προφανές.

Γιά $B_2 = 1 \text{ T}$, έχομε: $H_2 = 320 \text{ At/m}$

Γιά τό διάκενο είναι:

$$H_a = 0,8 \times 10^6 \times B_a = 0,8 \times 10^6 \times 1 = 800.000 \text{ At/m}$$

Τά άπαιτούμενα άμπερελίγματα γιά κάθε τμῆμα είναι:

Γιά τούς κορμούς και τό ζύγωμα:

$$H_1 \cdot l_1 = 500 \times 0,65 = 325 \text{ At}$$

Γιά τόν όπλισμό:

$$H_2 \cdot l_2 = 320 \times 0,25 = 80 \text{ At}$$

Γιά τά δύο διάκενα άέρα:

$$2 \cdot H_a \cdot l_a = 2 \times 800.000 \times 0,001 = 1600 \text{ At}$$

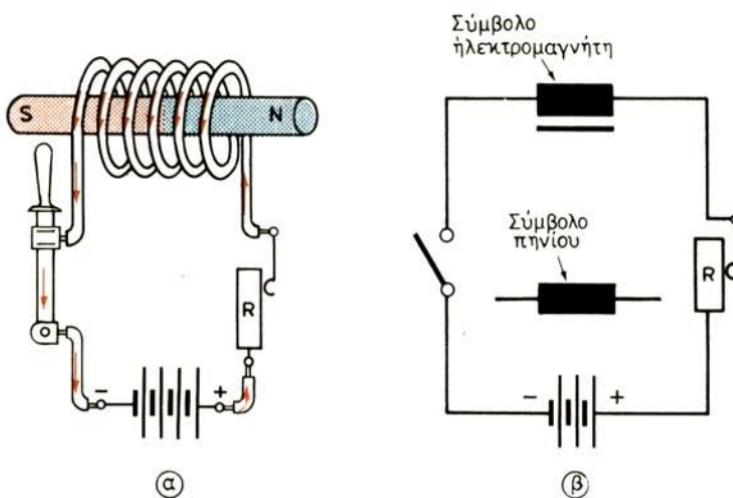
Τό άπαιτούμενο διάρρευμα θά είναι:

$$\Theta : H_1 \cdot l_1 + H_2 \cdot l_2 + 2H_a \cdot l_a = 325 + 80 + 1600 = 4025 \text{ At}$$

5.12 Ήλεκτρομαγνήτες.

Όνομάζομε **ήλεκτρομαγνήτες** τίς διατάξεις έκεινες, πού άποτελούνται από ένα πηνίο στό έσωτερικό τού διόποιου ύπαρχει ένας **πυρήνας** από σιδηρομαγνητικό ύλικό. Τό πηνό διονομάζεται και **πηνίο διεγέρσεως** τού ήλεκτρομαγνήτη.

Στό σχήμα 5.12(a) φαίνεται ένας τέτοιος ήλεκτρομαγνήτης μέ τό κύκλωμα τροφοδοτήσεώς του, ένω στό σχήμα 5.12(aβ) φαίνεται ή συμβολική παράσταση τού ήλεκτρομαγνήτη και τού πηνίου χωρίς πυρήνα. "Όταν από τίς σπείρες τού πηνίου περνά ήλεκτρικό ρεῦμα, ο πυρήνας μαγνητίζεται και συμπεριφέρεται σάν τέλειος μαγνήτης. Μόλις διακοπεῖ τό ρεῦμα, ο πυρήνας άπομαγνητίζεται άν είναι από μαλακό μαγνητικό ύλικό. "Αν είναι όμως από σκληρό μαγνητικό ύλικό διατηρεῖ τό μαγνητισμό του.



Σχ. 5.12α.
Ηλεκτρομαγνήτης με τό κύκλωμα τροφοδοτήσεως.

Η μαγνητική άντίσταση τῶν σιδηρομαγνητικῶν ύλικῶν, εἶναι ὅπως άναφέραμε (παράγρ. 5.8.1), πολύ μικρότερη ἀπό τή μαγνητική άντίσταση τοῦ ἄερα ἡ, πράγμα πού εἶναι τό ἕδιο, ἡ μαγνητική διαπερατότητά τους εἶναι πολύ μεγαλύτερη ἀπό αὐτήν τοῦ ἄερα. "Ετσι ὅταν ὑπάρχει πυρήνας ἀπό μαγνητικό ύλικό, τό μαγνητικό πεδίο εἶναι ισχυρότερο, μέ αποτέλεσμα οἱ δυνάμεις πού ἀσκεῖ ὁ ηλεκτρομαγνήτης νά εἶναι πολύ μεγαλύτερες ἀπό τίς δυνάμεις πού ἀσκεῖ μόνο του τό πηνίο ὅταν δέν ἔχει πυρήνα.

Οἱ ηλεκτρομαγνῆτες χρησιμοποιοῦνται πολύ στίς διάφορες ηλεκτροτεχνικές ἐφαρμογές καὶ κατασκευάζονται σέ μεγάλη ποικιλία μεγεθῶν καὶ σχημάτων. Παρακάτω θά περιγράψομε πολύ σύντομα μερικές ἀπό τίς ἐφαρμογές αὐτές.

5.12.1 Ηλεκτρομαγνῆτες σέ σχῆμα πετάλου.

Στούς ηλεκτρομαγνῆτες σέ σχῆμα πετάλου (σχ. 5.10β) οἱ ἐλκτικές δυνάμεις πού ἀσκοῦνται ἀπό τόν ηλεκτρομαγνήτη στόν **όπλισμό** του, πού εἶναι συνήθως ἔνα κομμάτι ἀπό μαλακό σίδηρο, εἶναι σημαντικές. Ἐδῶ τά διάκενα τοῦ ἄερα εἶναι κατά κανόνα πολύ μικρά καὶ ἡ διαδρομή τῆς μαγνητικῆς ροῆς γίνεται σχεδόν μόνο μέσα ἀπό μαγνητικά ύλικά.

Σημειώνομε ὅτι στούς ηλεκτρομαγνῆτες αὐτούς τό τύλιγμα διεγέρσεως ἀποτελεῖται ἀπό δύο πηνία μοιρασμένα στούς δύο **κορμούς** τοῦ πυρήνα. Ἡ φορά περιελίξεως τῶν πηνίων αὐτῶν καὶ ἡ μεταξύ τους σύνδεση εἶναι τέτοια, ὅπως φαίνεται καὶ στό σχῆμα 5.10β, ὥστε τό

ρεύμα πού περνά άπό τό τύλιγμα νά δημιουργεῖ καί στούς δύο κορμούς τοῦ πυρήνα μαγνητική ροή κατά τήν ίδια φορά. Ό κανόνας τοῦ δεξιόστροφου κοχλία (παράγρ. 5.4) μᾶς βοηθᾶ νά τηρήσομε τήν άρχη αύτή.

Σέ έναν ήλεκτρομαγνήτη, όπως αύτός τοῦ σχήματος 5.10β, μποροῦμε νά ύπολογίσομε τή δύναμη μέ τήν όποια ἔλκει τόν όπλισμό του ἀν γνωρίζομε τή μαγνητική ἐπαγωγή B_a πού ύπάρχει στό διάκενο. Ή δύναμη αύτή γιά **κάθε πόλο** τοῦ ήλεκτρομαγνήτη δίνεται σέ νιοῦτον (newton) ἀπό τή σχέση:

$$F = 4 \times 10^5 \times B^2 \times S \quad \text{σέ N}$$

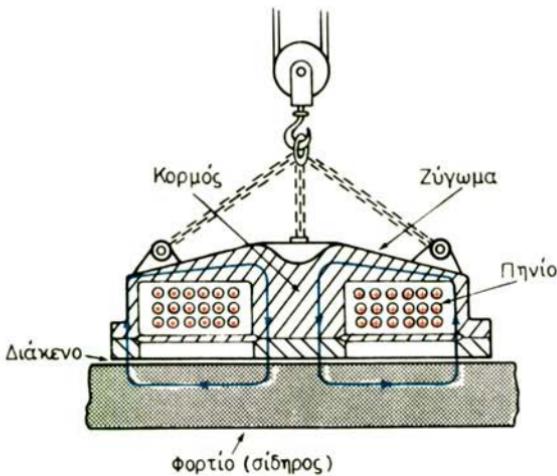
ὅπου: B ή μαγνητική ἐπαγωγή στό διάκενο σέ T,

S ή διατομή τοῦ διακένου (ΐση μέ τή διατομή τοῦ πυρήνα) σέ m^2 .

Ή δύναμη μέ τήν όποια οι δύο πόλοι μαζί ἔλκουν τόν όπλισμό εἶναι διπλάσια ἀπό αύτή πού θά ύπολογισθεῖ ἀπό τήν παραπάνω σχέση.

Παράδειγμα.

"Ένας ήλεκτρομαγνήτης σέ σχῆμα πετάλου (σχ. 5.10β) ἔχει μαγνητική ἐπαγωγή στό διάκενο 1,2 T. Ή διατομή τοῦ κορμοῦ ἔχει ἐμβαδόν 25 cm^2 . Πόση εἶναι ή ἐλκτική δύναμη αύτοῦ τοῦ ήλεκτρομαγνήτη;



Σχ. 5.12β.

Ήλεκτρομαγνήτης γιά άνυψωση βαρῶν.

Λύση:

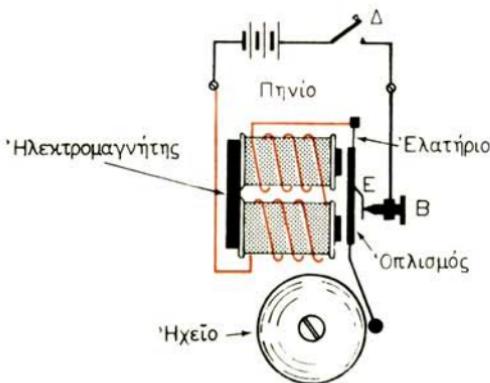
Ἐπειδή ο ήλεκτρομαγνήτης ἔλκει μέ τούς δύο πόλους θά εἶναι:

$$F = 2 \times 4 \times 10^5 \times B^2 \times S = 8 \times 10^5 \times 1,2^2 \times 25 \times 10^{-4} = 2880N$$

Γιά τήν άνύψωση σιδερένιων βαρών χρησιμοποιούνται σέ δρισμένες περιπτώσεις ήλεκτρομαγνήτες όπως αυτός του σχήματος 5.12β. Οι ήλεκτρομαγνήτες αυτοί έχουν σχήμα τροποποιημένου πετάλου μέ έναν κορμό στο μέσον, γύρω από τόν όποιο είναι τοποθετημένο τό πηνίο. Τέτοιοι ήλεκτρομαγνήτες χρησιμοποιούνται κυρίως στή βαριά σιδηροβιομηχανία καί μποροῦν νά σηκώσουν βάρη δεκάδων τόννων.

5.12.2 Ήλεκτρικά κουδούνια.

Μιά πολύ γνωστή έφαρμογή τῶν ήλεκτρομαγνητῶν είναι τά **ήλεκτρικά κουδούνια**. Αύτά άποτελοῦνται άπό έναν ήλεκτρομαγνήτη σέ σχήμα πετάλου (σχ. 5.12γ), ό όπλισμός του όποιου κρατιέται σέ κάποια άποσταση άπό τούς πόλους του μέ ένα έλατήριο. Στόν όπλισμό στερεώνεται ένα μεταλλικό έλασμα Ε, πού άκουμπτα στήν άκρη τῆς βίδας Β, όταν ό όπλισμός βρίσκεται στή θέση ήρεμίας (δηλαδή στή θέση πού έχει οταν δέν περνᾶ ρεῦμα άπό τό κύκλωμα).



Σχ. 5.12γ.
Ήλεκτρικό κουδούνι.

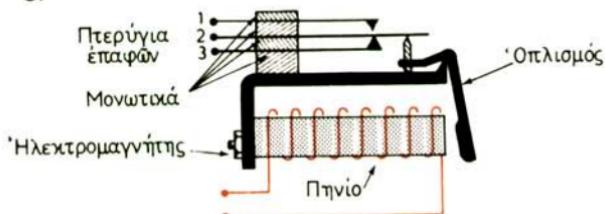
"Οταν κλείσομε τό διακόπτη Δ, τό ρεῦμα περνᾶ άπό τή βίδα Β, τό έλασμα Ε, τόν όπλισμό, τό έλατήριο καί μέσα άπό τό τύλιγμα του ήλεκτρομαγνήτη. Ό πυρήνας του μαγνητίζεται καί έλκει τόν όπλισμό. Τό έλασμα Ε τότε άπομακρύνεται άπό τή βίδα Β καί τό κύκλωμα διακόπτεται. "Έτσι παύει νά κυκλοφορεῖ ρεῦμα, ό πυρήνας άπομαγνητίζεται καί τό έλατήριο ξαναφέρνει τόν όπλισμό στή θέση ήρεμίας. Μέ αύτόν τόν τρόπο ζωμάς κλείνει πάλι τό κύκλωμα καί έπαναλαμβάνεται συνεχῶς ή ίδια διαδοχή έπαφών καί κινήσεων.

Στήν προέκταση τού όπλισμού βρίσκεται ένα μικρό σφυράκι πού σέ κάθε έλξη τού όπλισμού κτυπά στό μεταλλικό ήχειο, όπότε άκουγεται τό κουδούνισμα.

5.12.3 Ήλεκτρονόμοι.

Μιά άλλη έφαρμογή με μικρούς ήλεκτρομαγνήτες είναι τά **ρελαϊ ή ήλεκτρονόμοι**, πού χρησιμοποιούνται πάρα πολύ στίς έγκαταστάσεις τών τηλεπικοινωνιών, τών αυτοματισμών, τών σημάτων κλπ.

Στό σχήμα 5.12δ φαίνεται ένας τύπος ήλεκτρονόμου ό δοποις, έκτος από τόν ήλεκτρομαγνήτη καί τόν όπλισμό του έχει και μερικά μεταλλικά πτερύγια (έλασματα) έπαφων. "Όταν ό πυρήνας τοῦ ήλεκτρομαγνήτη έλκει τόν όπλισμό, μετακινεῖ ένα ή περισσότερα πτερύγια, τά δοποιά έτσι διακόπτουν ή αποκαθιστούν έπαφές. Οι έπαφές αύτές αποτελούν μέρος κυκλωμάτων τών όποιων τό κλείσιμο καί άνοιγμα ρυθμίζομε μέ τόν ήλεκτρονόμο. Π.χ. στόν ήλεκτρονόμο τοῦ σχήματος 5.12δ, όταν έλκεται ό όπλισμός αποκαθίσταται ή έπαφή 1 - 2, ένω διακόπτεται ή έπαφή 2 - 3.



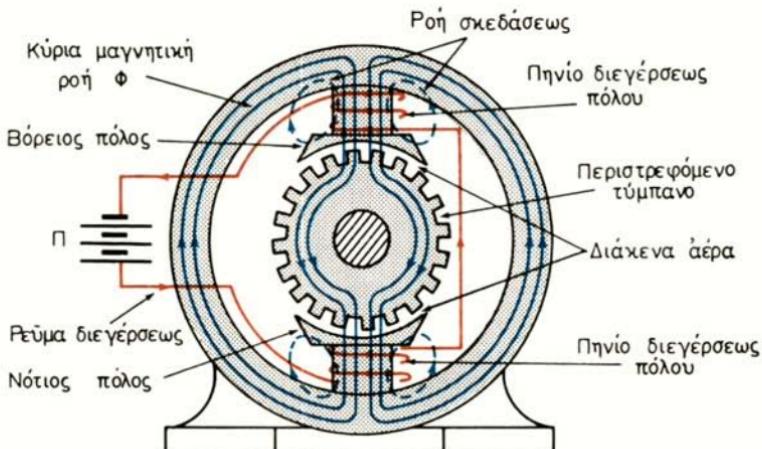
Σχ. 5.12δ.
Ήλεκτρονόμος.

Στούς ήλεκτρομαγνήτες γενικά πρέπει όσο είναι δυνατόν νά έξαφανζεται ή μαγνήτιση τοῦ πυρήνα, όταν διακόπτεται τό ρεύμα στό πηνίο διεγέρσεως. Πρέπει δηλαδή ό πυρήνας νά είναι κατασκευασμένος από μαλακό μαγνητικό ύλικό γιά νά έχει μικρό παραμένοντα μαγνητισμό. Μάλιστα, στούς ήλεκτρονόμους, πού ό όπλισμός πρέπει νά έλευθερώνεται μόλις διακοπεῖ τό ρεύμα, χρησιμοποιούν στόν πυρήνα τό κράμα περμαλόου (κράμα νικελίου καί σιδήρου), τό δοποιό έχει πολύ μικρό παραμένοντα μαγνητισμό.

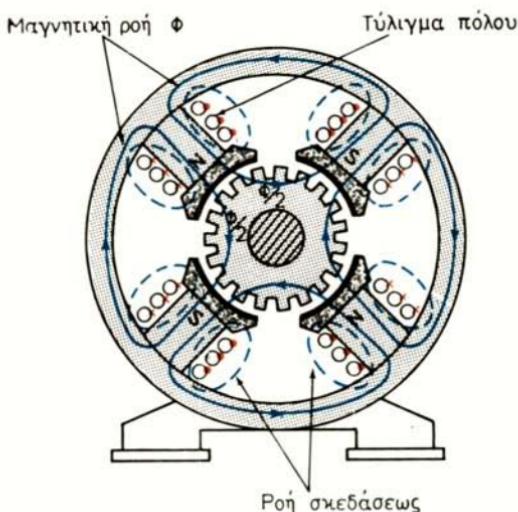
5.12.4 Διέγερση δυναμομηχανῶν.

"Ένα άλλο σημαντικό πεδίο έφαρμογῆς τών ήλεκτρομαγνητών είναι στίς δυναμομηχανές γιά τή δημιουργία τοῦ μαγνητικοῦ τους πεδίου, γιά τή **διέγερση** τών μηχανῶν αύτῶν όπως λέγεται.

"Όπως θά δοῦμε στό έπόμενο κεφάλαιο πού θά περιγράψομε τήν άρχή λειτουργίας τών ήλεκτρικῶν γεννητριῶν καί τών ήλεκτρικῶν κινητήρων, οι μηχανές αύτές γιά τή λειτουργία τους έχουν άνάγκη από ένα κατάλληλο μαγνητικό πεδίο. Αύτό τό μαγνητικό πεδίο τό δημιουργούμε μέ τή βοήθεια ήλεκτρομαγνητών τά πηνία τών όποιων τροφοδοτούνται από κάποια ήλεκτρική πηγή.



Σχ. 5.12ε.
Μαγνητικό πεδίο διπολικής δυναμομηχανής.



Σχ. 5.12στ.
Μαγνητικό πεδίο τετραπολικής δυναμομηχανής.

Στό σχήμα 5.12ε φαίνεται τό μαγνητικό πεδίο μιᾶς **διπολικής δυναμομηχανής**, ένώ στό σχήμα 5.12στ φαίνεται τό μαγνητικό πεδίο μιᾶς **τετραπολικής δυναμομηχανής**. Στή δεύτερη περίπτωση δέν παριστάνεται στό σχήμα τό κύκλωμα τροφοδοτήσεως άλλα μόνο τά πηνία διεγέρσεως μέ τή φορά τοῦ ρεύματος μέσα σ' αύτά.

Καί στά δύο σχήματα ἔχουν χαραχθεῖ οἱ μέσεις μαγνητικές γραμμές πού δείχνουν τή διαδρομή πού ἀκολουθεῖ ἡ μαγνητική ροή στήν καθεμιά μηχανή. Ἐπίσης ἔχει σημειωθεῖ ἡ φορά τῶν μαγνητικῶν γραμμῶν πού προκύπτει ἀπό τή φορά τοῦ ρεύματος κατά τά γνωστά. Γιά τή μαγνητική ροή σκεδάσεως πού σημειώνεται καί στά δύο σχήματα, ἔχομε μιλήσει στήν προηγούμενη παράγραφο.

5.13 Ἐρωτήσεις.

1. Τί εἶναι οἱ τεχνήτοι μαγνήτες;
2. Τί εἶναι πόλοι ἐνός μαγνήτη καί τί οὐδέτερη ζώνη;
3. Τί δυνάμεις ἀσκοῦνται μεταξύ δύμανύμων καί τί μεταξύ ἑτερωνύμων πόλων τῶν μαγνητῶν;
4. Ἄναφερε δύο τρόπους μέ τούς δόποίους μποροῦμε νά διαπιστώσομε ἂν ἔνας πόλος μαγνήτη είναι βόρειος ἢ νότιος.
5. Νά περιγράψεις τό φαινόμενο τῆς μαγνητισεως ἀπό ἐπίδραση.
6. Πότε στή μαγνητιση ἀπό ἐπίδραση δημιουργεῖται ἔνας νέος μόνιμος μαγνήτης καί πότε ὅχι;
7. Ποιά θεωρία ἔχει διατυπωθεῖ γιά νά ἔξηγηθεῖ ἡ μαγνητιση ἀπό ἐπίδραση τῶν μαγνητικῶν ύλικῶν;
8. Ποιά μαγνητικά ύλικά δνομάζομε μαλακά καί ποιά σκληρά;
9. Τί εἶναι τό μαγνητικό φάσμα;
10. Ποῦ παρουσιάζεται μεγάλη πυκνότητα μαγνητικῶν γραμμῶν σέ ἔνα μαγνητικό πεδίο καί ποῦ μικρή; Τί σχέση ἔχει ἡ πυκνότητα αύτή μέ τίς δυνάμεις πού ἀσκεῖ τό μαγνητικό πεδίο;
11. Σέ ἔνα σημεῖο τοῦ μαγνητικοῦ πεδίου πῶς μποροῦμε νά ἔχομε τή διεύθυνση καί τή φορά τῆς μαγνητικῆς γραμμῆς πού περνᾶ ἀπό τό σημεῖο αὐτό;
12. Σύμφωνα μέ τή συμβατική φορά τους οἱ μαγνητικές γραμμές στό ἔξωτερικό τῶν μαγνητῶν ἀπό ποιὸν πόλο ἀναχωροῦν καί σέ ποιόν ἐπιστρέφουν;
13. Τί καμπύλες εἶναι οἱ μαγνητικές γραμμές τοῦ πεδίου πού δημιουργεῖ ἔνας εύθυγραμμος ρευματοφόρος ἀγωγός; Ποῦ εἶναι οἱ μαγνητικές γραμμές πυκνότερες καί ποῦ ἀραιότερες;
14. Διατύπωσε τόν κανόνα πού δίνει τή φορά τῶν μαγνητικῶν γραμμῶν ἐνός εύθυγραμμου ἀγωγοῦ, πού διαρρέεται ἀπό ρεύμα ἐντάσεως I.
15. Σχεδίασε τό μαγνητικό πεδίο πού δημιουργεῖ ἔνα πηνίο μέ μῆκος σημαντικά μεγαλύτερο ἀπό τή διάμετρο τῶν σπειρῶν του.
16. Διατύπωσε ἔναν ἀπό τούς κανόνες πού δίνουν τή φορά τῶν μαγνητικῶν γραμμῶν στό ἐσωτερικό ἐνός εύθυγραμμου πηνίου.
17. Τί χαρακτηρίζει σέ κάθε σημεῖο τοῦ μαγνητικοῦ πεδίου ἡ μαγνητική ἐπαγωγή καί σέ τί μονάδες μετριέται;
18. Πότε ἔνα μαγνητικό πεδίο εἶναι μόνιμο καί πότε εἶναι μεταβαλλόμενο; Πότε εἶναι δύμοιόμορφο καί πότε εἶναι ἀνομοιόμορφο;
19. Σέ ποιές μονάδες μετριέται ἡ μαγνητική ροή; Ποιά εἶναι ἡ μεταξύ τους σχέση;
20. Νά περιγράψεις τό μαγνητικό πεδίο πού δημιουργεῖ ἔνα πηνίο σέ σχήμα δακτυλίου.
21. Μέ τί ισοῦται τό διάρρευμα ἐνός πηνίου καί σέ τί μονάδες μετριέται;
22. Ποιά σχέση συνδέει τό διάρρευμα μέ τήν ἐνταση τοῦ μαγνητικοῦ πεδίου στό ἐσωτερικό: α) Ἐνός πηνίου σέ σχήμα δακτυλίου; β) Ἐνός σωληνοειδοῦς πηνίου;
23. Σέ τί μονάδες μετριέται ἡ ἐνταση τοῦ μαγνητικοῦ πεδίου H;



24. "Αν γνωρίζουμε τήν τιμή τῆς έντασεως τοῦ μαγνητικοῦ πεδίου H καὶ τήν τιμή τῆς μαγνητικῆς έπαγωγῆς B πού δημιουργεῖ σέ ἔνα ύλικό, ποιά σχέση θά μᾶς δώσει τήν τιμή τῆς μαγνητικῆς διαπερατότητας μ τοῦ ύλικοῦ αὐτοῦ;
25. Ποιά σχέση συνδέει τά H καὶ B στὸν ἀέρα, στὸ χαλκό, ἢ σέ ἔνα ύλικό μέ σχετική μαγνητική διαπερατότητα μ_r ;
26. Τί χρησιμότητα ἔξυπηρετοῦν οἱ καμπύλες μαγνητίσεως τῶν σιδηρομαγνητικῶν ύλικῶν;
27. Τί δύνομάζομε μαγνητική ὑστέρηση;
28. Πώς ἔξηγεῖται μέ τό βρόχο ύστερήσεως ὅτι στά μαλακά μαγνητικά ύλικά οἱ ἀπώλειες ύστερήσεως εἶναι μικρές καὶ ὅτι στά σκληρά εἶναι μεγάλες;
29. 'Ανάφερε μερικές περιπτώσεις στίς διόπεις ἐμφανίζεται τό φαινόμενο τῆς μαγνητικῆς ύστερήσεως στήν πράξη.
30. Σχεδίασε ἔνα μαγνητικό κύκλωμα πού νά ἔχει δύο διάκενα ἀέρα.
31. Πώς ύπολογίζεται τό διάρρευμα τοῦ πηνίου σέ ἔνα μαγνητικό κύκλωμα, πού ἀποτελεῖται ἀπό περισσότερα ἀπό ἔνα τρήματα μέ διαφορετικά μήκη, διαφορετικές διατομές καὶ διαφορετικά ύλικά;
32. Σχεδίασε ἔνα μαγνητικό κύκλωμα στό διόποιο νά σημειώσεις τίς διαδρομές μερικῶν μαγνητικῶν γραμμῶν σκεδάσεως.
33. Ποὺ χρησιμοποιοῦνται οἱ ἡλεκτρομαγνήτες;
34. Γιατί δ πυρήνας τῶν ἡλεκτρομαγνητῶν κατασκευάζεται ἀπό μαλακά μαγνητικά ύλικά;
35. Ποιός τύπος δίνει τή δύναμη ἔλξεως ἐνός ἡλεκτρομαγνήτη;

5.14 Προβλήματα.

1. Πόση εἶναι ἡ μαγνητική ροή πού περνᾶ κάθετα μία ἐπιφάνεια $0,25 \text{ m}^2$ σέ ἔνα δμοιόμορφο μαγνητικό πεδίο πού ἔχει μαγνητική έπαγωγή $0,1 \text{ T}$;

Απάντ. $0,025 \text{ Wb}$

2. "Ενας σιδερένιος πυρήνας μέ κυκλική διατομή ἔχει διάμετρο 10 cm . Ἡ μαγνητική έπαγωγή στόν πυρήνα αὐτόν εἶναι $0,4 \text{ T}$. Πόση εἶναι ἡ μαγνητική ροή πού περνᾶ μέσα ἀπό αὐτόν τό σιδερένιο πυρήνα;

Απάντ. $0,00314 \text{ Wb}$

3. Μέσα ἀπό ἔνα σιδερένιο πυρήνα μέ ἐμβαδόν διατομῆς 20 cm^2 , περνᾶ μαγνητική ροή $\Phi = 200.000 \text{ Mx}$. Ποιά εἶναι ἡ μαγνητική έπαγωγή στόν πυρήνα αὐτόν σέ Gs καὶ σέ T ;

Απάντ. $10.000 \text{ Gs}, 1 \text{ T}$

4. "Ένα πηνίο σέ σχῆμα δακτυλίου ἔχει 1000 σπεῖρες καὶ διάμετρο τῆς μέσης μαγνητικῆς γραμμῆς $0,2 \text{ m}$. Μέσα ἀπό τό πηνίο περνᾶ ἔνταση ρεύματος $1,5 \text{ A}$. Πόσο εἶναι τό διάρρευμα τοῦ πηνίου καὶ πόση ἡ ἔνταση τοῦ μαγνητικοῦ πεδίου στό ἐσωτερικό του;

Απάντ. $1500 \text{ At}, 9554 \frac{\text{A}}{\text{m}}$

5. "Ενα εύθυγραμμο πηνίο έχει 20.000 σπεῖρες και μήκος κατά τόν
άξονα 125 mm. Μέσα από τό πηνίο περνά ένταση ρεύματος 25
mA. Πόσο είναι τό διάρρευμα τού πηνίου και πόση ή ένταση τού
μαγνητικού πεδίου;

Απάντ. 500 At, 4000 At/m

6. Στό διάκενο άέρα ένός πηνίου σέ σχήμα δακτυλίου έχομε μαγνητική έπαγωγή $B = 0,9 \text{ T}$. Τό μήκος τού διακένου είναι 2,5 mm. Πόση είναι ή ένταση τού μαγνητικού πεδίου στό διάκενο; Πόσα άμπερελίγματα χρειάζονται γιά νά περάσει ή μαγνητική ροή τό διάκενο;

$$\text{Απάντ. } 720.000 \frac{\text{At}}{\text{m}}, 1800 \text{ At}$$

7. Γιά ένα σιδηρομαγνητικό ύλικό πού έχει καμπύλη μαγνητίσεως τήν
καμπύλη 1 τού σχήματος 5.8β , νά βρεθεΐ σέ πιό ποσοστό περίπου
αύξανεται ή μαγνητική έπαγωγή, δταν ή ένταση τού μαγνητικού
πεδίου αύξανεται κατά 50%. Τό ζητούμενο ποσοστό νά βρεθεΐ γιά
τίς άκόλουθες τιμές τής έντασεως μαγνητικού πεδίου:

$$H_1 = 100 \frac{\text{At}}{\text{m}}, H_2 = 400 \frac{\text{At}}{\text{m}}, H_3 = 1200 \frac{\text{At}}{\text{m}}$$

Απάντ. 38%, 14%, 6%

8. Πόση είναι ή τιμή τής μαγνητικῆς διαπερατότητας ένός ύλικου πού
έχει σχετική μαγνητική διαπερατότητα 5000;

$$\text{Απάντ. } 0,0063 \frac{\text{Vs}}{\text{Am}}$$

9. Στό σιδερένιο πυρήνα τού πηνίου τού σχήματος 5.10a, θέλομε νά
έχομε μαγνητική ροή 0,0017 Wb. Ή διάμετρος τής μέσης μα-
γνητικῆς γραμμῆς είναι 0,25 m, ή διάμετρος τής κυκλικῆς διατομῆς
τού πυρήνα είναι 40 mm και τό μήκος τού διακένου 5 mm. "Αν πα-
ραδεχθούμε ότι δέν ύπάρχει σκέδαση, νά ύπολογισθοῦν:
 α) Ή μαγνητική έπαγωγή στό κύκλωμα.
 β) Τό άπαιτούμενο διάρρευμα τού πηνίου πού θά δημιουργήσει τή
μαγνητική ροή πού θέλομε και
 γ) ή ένταση τού ρεύματος τού πηνίου, ἀν αύτό έχει 2000 σπεῖρες.
 Τό ύλικό τού πυρήνα έχει καμπύλη μαγνητίσεως και καμπύλη 2
τού σχήματος 5.8β.

Απάντ. α) 1,35 T, β) 5014 At, γ) 2,5 A

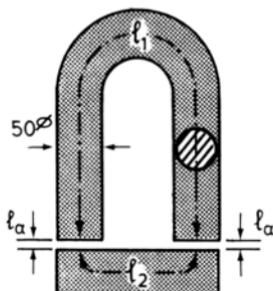
10. "Ένας ήλεκτρομαγνήτης σέ σχήμα πετάλου άπό χυτοχάλυβα έχει



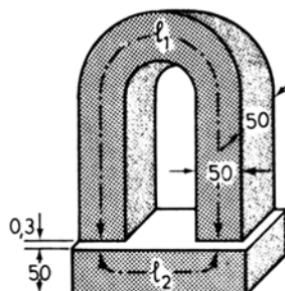
διάμετρο τῆς κυκλικῆς διατομῆς τῶν κορμῶν του 50 mm (σχ. 5.14a). Τό μήκος τῆς μέσης μαγνητικῆς γραμμῆς στούς κορμούς εἶναι $l_1 = 470$ mm καί τό μήκος τῆς μέσης μαγνητικῆς γραμμῆς στόν όπλισμό εἶναι $l_2 = 180$ mm. Τό μήκος κάθε διακένου εἶναι $l_a = 1$ mm. Ὁ συντελεστής σκεδάσεως εἶναι $\kappa = 0,25$. Ἡ μαγνητική ἐπαγωγή στό διάκενο ἀέρα εἶναι $B_a = 0,6$ T. Νά βρεθεῖ:

- Πόση εἶναι ἡ δύναμη μέ τήν όποια ὁ ἡλεκτρομαγνήτης ἔλκει τόν όπλισμό του καί
- πόσο εἶναι τό ἀπαιτούμενο διάρρευμα τοῦ πηνίου του.

Απάντ. a) 565 N, β) 1068 At



Σχ. 5.14a.



Σχ. 5.14β.

11. Ὁ ἡλεκτρομαγνήτης τοῦ σχήματος 5.14β κατασκευασμένος ἀπό σφυρήλατο σίδηρο, μέ τετραγωνική διατομή κορμῶν πλευρᾶς 50 mm, ἔχει μήκος μέσης μαγνητικῆς γραμμῆς $l_1 = 700$ mm. Τό μήκος τῆς μέσης μαγνητικῆς γραμμῆς στόν όπλισμό εἶναι $l_2 = 185$ mm. Τό μήκος κάθε διακένου ἀέρα εἶναι $l_a = 0,3$ mm. Ἡ μαγνητική ἐπαγωγή στό διάκενο εἶναι $B = 0,75$ T καί ὁ συντελεστής σκεδάσεως $\kappa = 0,3$. Νά ὑπολογισθοῦν:

- Ἡ δύναμη ἔλξεως τοῦ ἡλεκτρομαγνήτη.
- Τό ἀπαιτούμενο διάρρευμα τοῦ πηνίου καί
- ἡ ἔνταση τοῦ ρεύματος τοῦ πηνίου ἂν αὐτό ἔχει 1200 σπεῖρες.

Απάντ. a) 1125 N, β) 607 At, γ) 0,5 A

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΕΚΤΟ

ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΩΝ ΜΑΓΝΗΤΙΚΩΝ ΠΕΔΙΩΝ ΣΤΑ ΗΛΕΚΤΡΙΚΑ ΚΥΚΛΩΜΑΤΑ

6.1 Γενικά.

"Όπως είδαμε στό προηγούμενο κεφάλαιο, τό ηλεκτρικό ρεῦμα πού διαρρέει τους άγωγούς των κυκλωμάτων, δημιουργεῖ γύρω από αύτούς μαγνητικά πεδία. Δηλαδή είδαμε, όπως λέμε, τά μαγνητικά άποτελέσματα τού ηλεκτρικού ρεύματος καί τίς έφαρμογές τους.

Στό κεφάλαιο αύτό θά έξετάσομε τά αντίστροφα φαινόμενα μέ τίς έφαρμογές τους, δηλαδή θά έξετάσομε τί έπιδράσεις άσκουν τά μαγνητικά πεδία, κάτω από δρισμένες συνθήκες, στούς άγωγούς καί γενικότερα στά ηλεκτρικά κυκλώματα.

Θά δοῦμε ότι τό μαγνητικό πεδίο μπορεῖ νά δημιουργήσει ήλεκτρεγερτική δύναμη καί συνεπῶς καί ηλεκτρικό ρεῦμα μέσα σέ ἔνα κύκλωμα, όταν μεταβάλλεται ή μαγνητική ροή πού περνά μέσα από τό κύκλωμα ἢ από ἔνα τμῆμα του. Τό φαινόμενο αύτό όνομάζεται **ήλεκτρομαγνητική έπαγωγή**. Ή μεταβολή τῆς μαγνητικῆς ροῆς μπορεῖ νά γίνει μέ κίνηση τού κυκλώματος σχετικά μέ τό μαγνητικό πεδίο ἢ, άντιθετα, τού μαγνητικού πεδίου σχετικά μέ τό κύκλωμα. Μπορεῖ ομως νά γίνεται καί χωρίς κίνηση, όταν μεταβάλλεται ή μαγνητική ροή γιατί μεταβάλλεται ή ἔνταση τού ρεύματος πού τή δημιουργεῖ.

Τό φαινόμενο αύτό ἔχει ἔνα πλήθος σοβαρές έφαρμογές, όπως οι γεννήτριες ήλεκτρικού ρεύματος, οι μετασχηματιστές κλπ. "Έχει ομως καί δρισμένες έπιζημιες συνέπειες, όπως είναι τά **δινορρεύματα**.

Θά δοῦμε τό φαινόμενο τῆς **αύτεπαγωγής**, πού είναι μιά ειδική περίπτωση τῆς ήλεκτρομαγνητικῆς έπαγωγῆς, όπου ή ήλεκτρεγερτική δύναμη δημιουργεῖται στό ίδιο τό κύκλωμα πού προκαλεῖ τή μεταβολή τού μαγνητικού πεδίου.

Θά δοῦμε ἐπίσης ότι τό μαγνητικό πεδίο ἀσκεῖ στούς ρευματοφόρους άγωγούς **ήλεκτρομαγνητικές δυνάμεις**. Τό φαινόμενο αύτό ἔχει ἐπίσης δδηγήσει σέ σοβαρές έφαρμογές, όπως είναι οι ηλεκτρικοί κινητήρες, διάφορα ὄργανα μετρήσεως κλπ.

Τά φαινόμενα τῆς ήλεκτρομαγνητικῆς έπαγωγῆς καί τῶν ήλεκτρομα-

γινητικών δυνάμεων θά δοῦμε ότι έκδηλώνονται ταυτόχρονα στούς κινούμενους μέσα σέ μαγνητικά πεδία ρευματοφόρους άγωγούς. Έτσι έξινείται ή δημιουργία της άντιηλεκτρεγερτικής δυνάμεως στούς κινητήρες καί τών δυνάμεων πεδήσεως στίς γεννήτριες.

Τέλος θά δοῦμε ότι μεταξύ ρευματοφόρων άγωγών, μέσω τών μαγνητικών πεδίων πού δημιουργούν, άσκοῦνται δυνάμεις, φαινόμενο πού έπίσης όδηγει σέ χρήσιμες έφαρμογές άλλα πού έχει μερικές φορές καί δυσάρεστες συνέπειες.

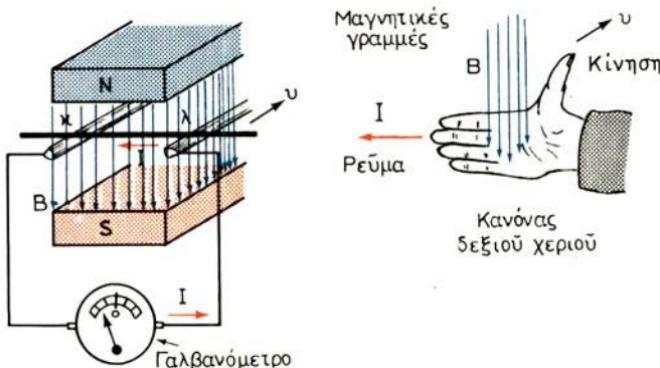
6.2 Ήλεκτρομαγνητική έπαγωγή σέ κινούμενο άγωγό.

Η άπλούστερη περίπτωση έμφανίσεως τοῦ φαινομένου της ήλεκτρομαγνητικής έπαγωγῆς, είναι ή περίπτωση ένός άγωγού, ό δοποῖς κινούμενος μέσα σέ ένα μαγνητικό πεδίο, κόβει τίς μαγνητικές γραμμές τοῦ πεδίου. Πειραματικά άποδεικνύεται ότι στόν άγωγό αύτόν έμφανίζεται ηλεκτρεγερτική δύναμη άπό έπαγωγή, πού διαρκεῖ όσο χρόνο διαρκεῖ καί ή κίνηση τοῦ άγωγού μέσα στό μαγνητικό πεδίο.

Στό σχήμα 6.2α φαίνεται ένας εύθυγραμμος άγωγός κ - λ κινούμενος μέσα στό όμοιόμορφο μαγνητικό πεδίο πού δημιουργείται μεταξύ τών πόλων ένός μόνιμου μαγνήτη. Ο άγωγός κινεῖται κάθετα πρός τίς μαγνητικές γραμμές, μέ μία ταχύτητα υ. Μέ τίς παραδοχές αύτές ή ήλεκτρεγερτική δύναμη πού έπαγεται στόν άγωγό δίνεται άπό τή σχέση:

$$E = B \cdot l \cdot u \quad \text{σέ } V$$

όπου:
 B ή μαγνητική έπαγωγή τοῦ όμοιόμορφου πεδίου σέ T,
 l τό μήκος τοῦ άγωγού πού είναι μέσα στό μαγνητικό πεδίο
 σέ m,
 u ή ταχύτητα μέ τήν διποία κινεῖται ο άγωγός σέ m/s.



Σχ. 6.2α.

Ήλεκτρεγερτική δύναμη άπό έπαγωγή σέ κινούμενο άγωγό.

Ήλεκτρεγερτική δύναμη δημιουργείται στόν άγωγό καί όταν αύτός κόβει τίς μαγνητικές γραμμές μέρια μικρότερη από 90°, δηλαδή όταν δέν κινεῖται κάθετα πρός αύτές. Τότε θυμως ή ήλεκτρεγερτική δύναμη είναι μικρότερη από αύτή πού δίνει ο παραπάνω τύπος. "Όταν ο άγωγός κινεῖται παράλληλα πρός τίς μαγνητικές γραμμές, καμιά ήλεκτρεγερτική δύναμη από έπαγωγή δέν άναπτυσσεται σ' αύτόν.

Παράδειγμα.

Μέσα σ' ένα διοιόμορφο μαγνητικό πεδίο πού έχει μαγνητική έπαγωγή 1 T, κινεῖται ένας εύθυγραμμος άγωγός μέτα ταχύτητα 8 m/s κάθετα πρός τίς μαγνητικές γραμμές. "Αν τό μήκος τοῦ άγωγοῦ πού βρίσκεται μέσα στό μαγνητικό πεδίο είναι 50 cm πόση είναι η ήλεκτρεγερτική δύναμη πού δημιουργείται σ' αύτόν από έπαγωγή;

Λύση:

$$\text{Είναι: } E = B \cdot l \cdot u = 1 \times 0,5 \times 8 = 4 \text{ V}$$

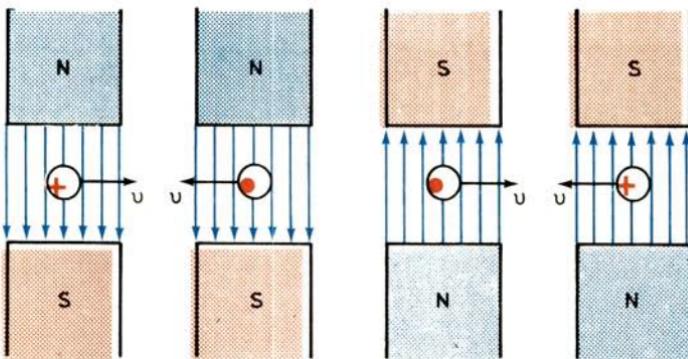
"Αν ο άγωγός κ - λ κατά τήν κίνησή του έφαπτεται συνεχώς σε δύο μεταλλικές ράβδους πού συνδέονται άγωγίμα μεταξύ τους, όπως στό σχήμα 6.2a, άν δηλαδή ο άγωγός κ - λ άποτελεί μέρος κλειστού κυκλώματος, τότε μέσα από τό κύκλωμα αύτό θά περάσει ένα ήλεκτρικό ρεύμα. Αύτό μπορούμε νά τό διαπιστώσουμε πειραματικά μέτη βοήθεια ένος γαλβανομέτρου, πού είναι ένα πολύ εύασθητο άμπερόμετρο. Τό γαλβανόμετρο μετρά έντάσεις τοῦ κυκλώματος καί πρός τή μία φορά καί πρός τήν άλλη.

Τό **ρεύμα από έπαγωγή** πού δημιουργείται μέσα στό κύκλωμα, έχει τήν ίδια φορά μέ τήν ήλεκτρεγερτική δύναμη πού τό δημιούργησε. Δηλαδή ο άγωγός κ - λ είναι μιά ήλεκτρική πηγή γιά τό κλειστό κύκλωμα καί ισχύουν γι' αύτό όσα άναφέραμε στήν παράγραφο 3.8.

"Η ένταση τοῦ ρεύματος από έπαγωγή έξαρτάται από τό μέγεθος τής ήλεκτρεγερτικής δυνάμεως καί τό μέγεθος τής άντιστάσεως τοῦ κυκλώματος.

"Οπως μπορούμε νά διαπιστώσουμε μέ τή βοήθεια καί τοῦ γαλβανομέτρου, ή φορά τοῦ ρεύματος μέσα στόν άγωγό καί συνεπώς καί τής ήλεκτρεγερτικής δυνάμεως έξαρτάται τόσο από τήν κατεύθυνση τής κίνησεως τοῦ άγωγοῦ όσο καί από τήν κατεύθυνση τῶν μαγνητικῶν γραμμῶν.

"Ένας πρακτικός τρόπος γιά νά βρίσκομε τή φορά τής ήλεκτρεγερτικής δυνάμεως ή τοῦ ρεύματος πού δημιουργείται από έπαγωγή μέσα στόν άγωγό, είναι ο **κανόνας τοῦ δεξιού χεριού**, ο δποίος λέει: "Αν τοποθετήσουμε τό δεξιό χέρι έστι, ώστε οι μαγνητικές γραμμές νά κατευθύνονται πρός τήν παλάμη καί ο τεντωμένος άντιχειρας νά δείχνει πρός τήν κατεύθυνση τής κινήσεως, τότε τά ύπόλοιπα τέσσερα δάκτυλα δέχνουν τή φορά τής ήλεκτρεγερτικής δυνάμεως ή τοῦ ρεύματος.



Σχ. 6.2β.

Φορά ρεύματος άπό έπαγωγή σε κινούμενο άγωγό.

Στό σχήμα 6.2α, φαίνεται παραστατικά ή έφαρμογή τοῦ κανόνα.

Μέ τή βοήθεια τοῦ κανόνα τοῦ δεξιοῦ χεριοῦ είναι εύκολο νά διαπιστώσουμε ότι ή φορά τῆς ήλεκτρεγερτικῆς δυνάμεως (καὶ τοῦ ρεύματος) ἀλλάζει, ὅταν ἀλλάζει ή κατεύθυνση τῆς κινήσεως τοῦ άγωγοῦ. Τό ἴδιο ἀποτέλεσμα ἔχει καὶ ἀλλαγὴ στήν κατεύθυνση τῶν μαγνητικῶν γραμμῶν, χωρίς ὅμως νά ἀλλάζει ή κατεύθυνση τῆς κινήσεως. "Αν ἀλλάξουν καὶ τά δύο, ή φορά τῆς ήλεκτρεγερτικῆς δυνάμεως δέν ἀλλάζει.

"Ολες αὐτές οἱ περιπτώσεις φαίνονται παραστατικά στό σχήμα 6.2β.

Ήλεκτρεγερτική δύναμη ἀπό έπαγωγή ἀναπτύσσεται καὶ σ' ἔναν άγωγό πού μένει ἀκίνητος, κινεῖται ὅμως τό μαγνητικό πεδίο ὡς πρός αὐτόν κατά τέτοιο τρόπο, ὥστε ὁ άγωγός νά κόβει πάλι τίς μαγνητικές γραμμές τοῦ πεδίου. Π.χ. στό παράδειγμα τοῦ σχήματος 6.2α ὁ άγωγός νά μένει ἀκίνητος καὶ νά κινεῖται ὁ μαγνήτης πού παράγει τό μαγνητικό πεδίο. Καὶ στήν περίπτωση αὐτή ή τιμή τῆς ήλεκτρεγερτικῆς δυνάμεως δίνεται ἀπό τόν παραπάνω τύπο, μέ μόνη διαφορά ότι υ είναι τώρα ή ταχύτητα μέ τήν ὁποία κινεῖται τό μαγνητικό πεδίο. Γιά τήν έφαρμογή τοῦ κανόνα τοῦ δεξιοῦ χεριοῦ στήν περίπτωση αὐτή, θά πρέπει ὁ ἀντίχειρας νά δείχνει σέ κατεύθυνση ἀντίθετη ἀπό αὐτήν τῆς κινήσεως τοῦ μαγνητικοῦ πεδίου.

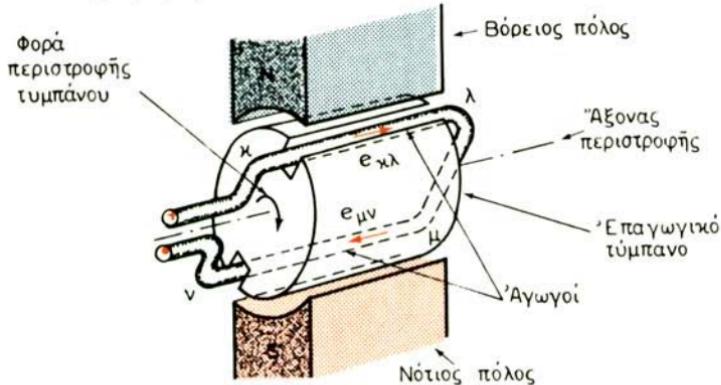
6.3 Ή ἀρχή λειτουργίας τῶν γεννητριῶν.

Ἡ ἀρχή λειτουργίας τῶν γεννητριῶν ἡλεκτρικοῦ ρεύματος, γιά τίς ὁποῖες μιλήσαμε καὶ στήν παράγραφο 1.10.2, βασίζεται στό φαινόμενο πού περιγράψαμε στήν προηγούμενη παράγραφο. Γί' αὐτό τό λόγο καὶ τό φαινόμενο τῆς ἀναπτύξεως ήλεκτρεγερτικῆς δυνάμεως ἀπό έπαγωγή σέ άγωγό πού κινεῖται μέσα σέ μαγνητικό πεδίο ὄνομάζεται καὶ **φαινόμενο γεννήτριας**.

Στίς ήλεκτρικές γεννήτριες γιά τή δημιουργία τοῦ μαγνητικοῦ πεδίου, δηλαδή **τῆς διεγέρσεως τῆς μηχανῆς**, τά πηνία τῶν πόλων τροφοδοτοῦνται ἀπό μιά ήλεκτρική πηγή, ὥπως φαίνεται στό σχῆμα 5.12ε. Οι μηχανές αύτές ὀνομάζονται **δυναμομηχανές** γιά διάκριση ἀπό τίς **μαγνητομηχανές** στίς δύοις τό μαγνητικό πεδίο δημιουργεῖται ἀπό μόνιμους μαγνήτες. Οι μαγνητομηχανές σπάνια χρησιμοποιοῦνται καί μόνο γιατί εἰδικές ἐφαρμογές.

Ἐπάνω στό περιστρεφόμενο τύμπανο τῆς γεννήτριας (σχ. 5.12ε) καί μέσα στά αὐλάκια τῶν ὁδοντώσεων του, εἶναι τοποθετημένοι ἀγωγοί πού ἔνούμενοι μεταξύ τους ἀνά δύο σχηματίζουν σπείρες. "Ολες μαζί οι σπείρες ἀποτελοῦν **τὸ τύλιγμα τοῦ ἑπαγωγικοῦ τυμπάνου** τῆς μηχανῆς.

Στό σχῆμα 6.3α φαίνεται μία τέτοια σπείρα δύο ἀγωγῶν κ - λ καί μ - ν πού εἶναι τοποθετημένοι σέ δύο διαμετρικά ἀντίθετα αὐλάκια τοῦ τυμπάνου. Ἡ σπείρα περιστρέφεται μαζί με τό τύμπανο, πού τό κινεῖ μιά κινητήρια μηχανή, ὥπως ἔξηγήσαμε καί στήν παράγραφο 4.1. Συνεπῶς ἔχομε τούς δύο ἀγωγούς τῆς σπείρας νά κόβουν τίς μαγνητικές γραμμές τοῦ πεδίου πού ύπάρχει στά διάκενα μεταξύ πόλων καί τυμπάνου. Μάλιστα τίς κόβουν κάθετα, γιατί οι μαγνητικές γραμμές διευθύνονται (παράγρ. 5.2) κάθετα πρός τήν ἑπιφάνεια τοῦ τυμπάνου πού εἶναι ἀπό σιδηρομαγνητικό ύλικό.



Σχ. 6.3α.

Ήλεκτρεγερτική δύναμη σέ σπείρα.

Στούς ἀγωγούς αύτούς, ὥπως ἔξηγήσαμε, θά ἀναπτυχθοῦν ήλεκτρεγερτικές δυνάμεις, οἱ δύοις σύμφωνα μέ τόν κανόνα τοῦ δεξιοῦ χεριοῦ γιά τή χρονική στιγμή πού παριστάνει τό σχῆμα 6.3α, θά ἔχουν φορά ὥπως τή δείχνουν τά βέλη δίπλα στούς ἀντίστοιχους ἀγωγούς. Οι ήλεκτρεγερτικές αύτές δυνάμεις e_{kl} καί e_{mn} σέ κάθε στιγμή, ὅπου καί νά βρίσκεται ἡ σπείρα στήν περιστροφή τῆς μαζί με τό τύμπανο, εἶναι ἵσες

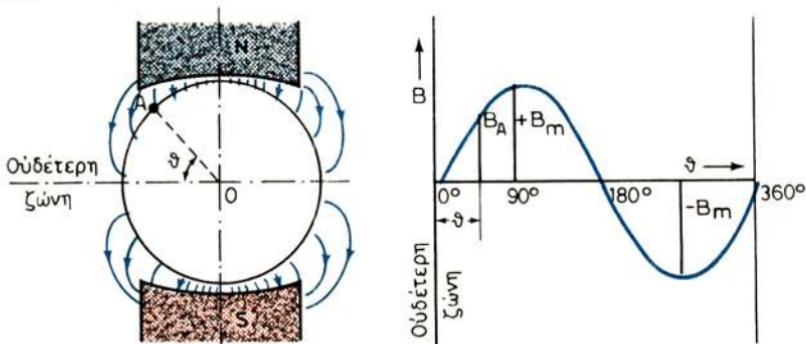
μεταξύ τους και άθροιζονται. Συνεπώς ή τιμή της ήλεκτρεγερτικής δυνάμεως öλης της σπείρας θά είναι:

$$e = e_{\kappa l} + e_{\mu v} = 2 \cdot B \cdot l \cdot u \quad \text{σέ } V$$

όπου: B είναι ή μαγνητική έπαγωγή στό σημείο τοῦ διακένου όπου βρίσκεται ö νας άγωγός της σπείρας (λόγω συμμετρίας και ö άλλος άγωγός θά βρίσκεται σέ σημείο μέ τό ίδιο B),
 l είναι τό μήκος τοῦ άγωγοῦ πού βρίσκεται μέσα στό αύλακι τοῦ τυμπάνου και
 u ή περιφερειακή ταχύτητα τῶν άγωγῶν.

Έπειδή τά l και u είναι σταθερά (οι γεννήτριες στρέφονται μέ σταθερή ταχύτητα) συμπεραίνομε öti ή ήλεκτρεγερτική δύναμη στή σπείρα γιά τίς διάφορες θέσεις άπό τίς οποίες περνοῦν οι άγωγοί της κατά τήν περιστροφή τοῦ τυμπάνου, μεταβάλλεται öπως μεταβάλλεται και ή μαγνητική έπαγωγή B στό διάκενο.

Η μεταβολή της μαγνητικής έπαγωγῆς στό διάκενο φαίνεται στό σχήμα 6.3β.



Σχ. 6.3β.
Μαγνητική έπαγωγή στό διάκενο.

Η μεταβολή άπό θέση σέ θέση της μαγνητικής έπαγωγῆς έξαρτᾶται άπό τή διαμόρφωση της μηχανῆς και κυρίως τῶν μαγνητικῶν πόλων. Η μαγνητική έπαγωγή είναι μέγιστη (B_m) στό μέσο τῶν πόλων και μικράνε öσο πλησιάζομε στήν **ούδετερη ζώνη**, öπου γίνεται μηδενική.

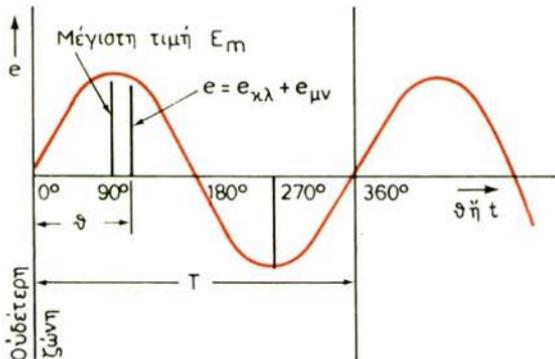
Η καμπύλη στό σχήμα 6.3β παριστάνει πῶς μεταβάλλεται ή μαγνητική έπαγωγή στό διάκενο σέ συνάρτηση μέ τή γωνία θ . Δηλαδή μᾶς δίνει τή μαγνητική έπαγωγή B_A στά διάφορα σημεῖα A στήν έπιφάνεια τοῦ έπαγωγικοῦ τυμπάνου, öταν ή γωνία θ , πού σχηματίζει ή άκτινα OA μέ τήν ούδετερη ζώνη, μεταβάλλεται άπό 0° μέχρι 360° . Στό διάγραμ-

μα αύτό έχουν θεωρηθεῖ θετικές οι τιμές τῆς μαγνητικής έπαγωγῆς, όταν οι μαγνητικές γραμμές έχουν φορά πρός τὸ τύμπανο, καί άρνητικές όταν άπομακρύνονται από αύτό.

Τό διάγραμμα τοῦ σχήματος 6.3γ δείχνει τή μεταβολή τῆς ε γιά διάφορες τιμές τῆς γωνίας στροφῆς θ τοῦ τυμπάνου, μέ άρχη ($\theta = 0^\circ$) τή στιγμή πού δ ἀγωγός κ - λ βρίσκεται στήν ούδέτερη ζώνη.

Στό διάγραμμα αύτό θετική είναι ή ήλεκτρεγερτική δύναμη τῆς σπείρας, όταν έχει φορά από τὸ κ πρός τὸ λ καί από τὸ μ πρός τὸ ν. "Όταν ή ήλεκτρεγερτική δύναμη έχει ἀντίθετη φορά, είναι άρνητική.

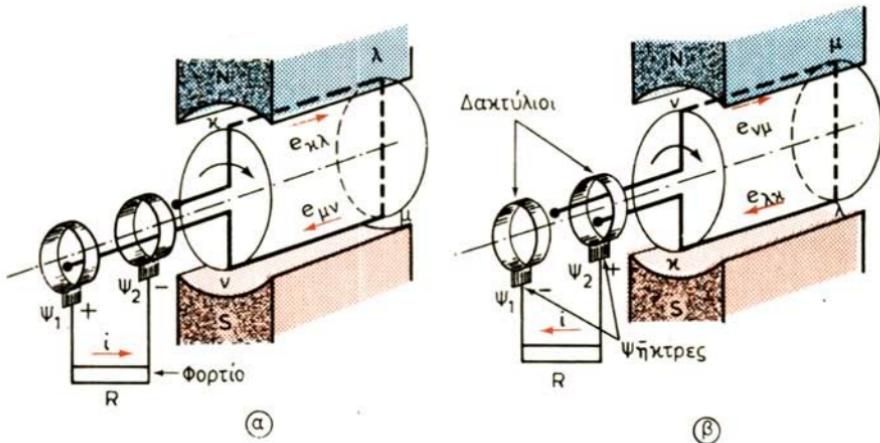
Στό δριζόντιο δξόνα ἀντί γιά τή γωνία θ, μποροῦμε νά βάλομε τό χρόνο t πού χρειάσθηκε ή σπείρα (δ ἀγωγός κ - λ τῆς σπείρας) γιά νά ἔλθει από τήν ούδέτερη ζώνη στήν ἀντίστοιχη θέση. "Όταν ή σπείρα συμπληρώσει μιά στροφή ἀπό 360° , ή ήλεκτρεγερτική δύναμη θά έχει συμπληρώσει μιά πλήρη μεταβολή, πού όνομάζεται **κύκλος**. 'Ο χρόνος πού χρειάζεται γιά νά συμπληρωθεῖ ἔνας κύκλος όνομάζεται **περίοδος** καί παριστάνεται μέ τό T. Μετά τόν πρῶτο κύκλο ή ήλεκτρεγερτική δύναμη στήν περιστρέφομενη σπείρα, θά ἐπαναλάβει μιά δμοια μεταβολή, δηλαδή ἔνα δεύτερο κύκλο, ἐπειτα ἔναν τρίτο κ.ο.κ. 'Η ήλεκτρεγερτική δύναμη πού μεταβάλλεται σέ συνάρτηση μέ τό χρόνο μέ τόν τρόπο αύτό (σχ. 6.3γ) όνομάζεται **ἐναλλασσόμενη ήλεκτρεγερτική δύναμη**.



Σχ. 6.3γ.
Ἐναλλασσόμενη ήλεκτρεγερτική δύναμη.

Γιά νά χρησιμοποιήσομε τήν ήλεκτρεγερτική δύναμη, ή όποια παράγεται μέσα στή σπείρα, συνδέομε τά δύο ἄκρα τῆς σέ δύο μεταλλικούς **δακτύλιους**, οι όποιοι είναι στερεωμένοι ἐπάνω στόν δξόνα τοῦ τυμπάνου καί περιστρέφονται μαζί του (σχ. 6.3δ). Οι δακτύλιοι αύτοί είναι ήλεκτρικά μονωμένοι πρός τόν δξόνα.

Δύο ψήκτρες ψ_1 καί ψ_2 από ἄνθρακα, πού είναι στερεωμένες στό ἄ-



Σχ. 6.3δ.

Παραγωγή έναλλασσόμενου ρεύματος. α) Τό ρεῦμα στό φορτίο R κατευθύνεται άπο τήν ψήκτρα ψ_1 , πρός τήν ψήκτρα ψ_2 . β) Τό ρεῦμα στό φορτίο R κατευθύνεται άπο τήν ψήκτρα ψ_2 , πρός τήν ψήκτρα ψ_1 .

κίνητο μέρος τής μηχανής, έφαπτονται στούς δακτύλιους. Οι ψήκτρες συνδέονται μεταξύ τους μέ τήν έξωτερική άντίσταση R, πού είναι ή συσκευή στήν διοίσημα θέλομε νά χρησιμοποιήσομε τό ρεῦμα πού θά παραχθεῖ άπο τήν άπλη αύτή μηχανή. Ή R είναι δηλαδή τό **φορτίο** τής μηχανής.

Γιά άπλούστευση στό σχήμα 6.3δ δέν έχουν σχεδιασθεί οί όδοντώσεις τοῦ τυμπάνου. Είναι εύκολο νά διαπιστώσομε ότι τή χρονική στιγμή πού παριστάνει τό σχήμα 6.3δ(α), τό ρεῦμα μέσα στό φορτίο R κατευθύνεται άπο τήν ψήκτρα ψ_1 , πρός τήν ψήκτρα ψ_2 . Αντίθετα, τή χρονική στιγμή πού παριστάνει τό σχήμα 6.3δ(β), δηλαδή όταν τό τύμπανο θά έχει στραφεῖ κατά 180° σέ σχέση μέ τήν προηγούμενη θέση, τό ρεῦμα μέσα στό φορτίο θά κατευθύνεται άντίθετα, δηλαδή άπο τήν ψήκτρα ψ_2 πρός τήν ψ_1 .

Γενικά ή έναλλασσόμενη ήλεκτρεγερτική δύναμη τής σπείρας θά δώσει στό φορτίο ένα ρεῦμα πού θά είναι καί αύτό έναλλασσόμενο καί μάλιστα ίδιας μορφής μέ τήν καμπύλη τοῦ σχήματος 6.3γ, όταν τό φορτίο R είναι καθαρή άντίσταση. Δηλαδή ή μηχανή αύτή είναι μιά **άπλη γεννήτρια έναλλασσόμενου ρεύματος**.

Στίς πραγματικές γεννήτριες τό τύλιγμα τοῦ έπαγωγικοῦ τυμπάνου έχει πολλές σπείρες, όπως άναφέραμε. "Ένας άριθμός άπο τίς σπείρες αύτές, πού άποτελούν έναν κλάδο τοῦ τυλίγματος, συνδέονται σέ σειρά μεταξύ τους, ώστε νά άθροιζονται οι ήλεκτρεγερτικές τους δυνάμεις, γιά νά μπορεῖ νά έχει ή γεννήτρια σημαντική ήλεκτρεγερτική δύναμη.

Δύο ἡ περισσότεροι τέτοιοι κλάδοι συνδέονται παράλληλα, γιά νά μπορεῖ ἡ γεννήτρια νά δώσει σημαντικές ἐντάσεις ρεύματος.

Ἔδια είναι ἡ ἀρχή λειτουργίας καί τῶν **γεννητριῶν συνεχοῦς ρεύματος**. Στίς σπεῖρες τοῦ τυλίγματος τοῦ ἐπαγωγικοῦ τυμπάνου καί στίς γεννήτριες αὐτές παράγεται ἐναλλασσόμενη ἡλεκτρεγερτική δύναμη ἀπό ἐπαγωγή. Τό ἔξωτερικό δύμας φορτίο (κύκλωμα) τροφοδοτεῖται ἀπό τή γεννήτρια μέ συνεχές ρεῦμα. Αύτό γίνεται μέ τή βοήθεια τοῦ **συλλέκτη** τῆς μηχανῆς γιά τόν ὅποιο λίγα στοιχεῖα δίνονται στήν παράγραφο 6.12. Ἡ λεπτομερής περιγραφή τῆς κατασκευῆς του καί τοῦ τρόπου λειτουργίας του θά γίνουν στό ειδικό μάθημα τῶν Ἡλεκτρικῶν Μηχανῶν.

6.4 Ἡλεκτρομαγνητική ἐπαγωγή σέ κύκλωμα.

Ἡλεκτρεγερτική δύναμη ἀπό ἐπαγωγή ἀναπτύσσεται καί σέ κάθε ἡλεκτρικό κύκλωμα ὅταν μεταβάλλεται ἡ μαγνητική ροή πού περνᾶ μέσα ἀπό αὐτό, ὅπως θά διαπιστώσομε μέ τό ἀκόλουθο πείραμα.

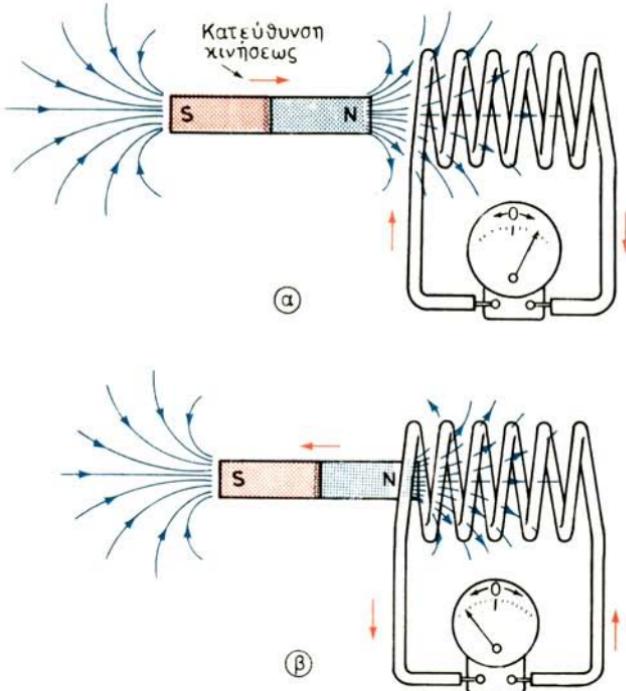
Κινοῦμε ἔνα μόνιμο μαγνήτη, ὥστε νά πλησιάζει πρός τό ἔνα ἄκρο ἐνός πηνίου ὅπως φαίνεται στό σχῆμα 6.4a(α). Τά ἄκρα τοῦ ἀγωγοῦ τοῦ πηνίου ἔχουν συνδεθεῖ σέ ἔνα γαλβανόμετρο. Παρατηροῦμε ὅτι ὅσο διαρκεῖ ἡ κίνηση τοῦ μαγνήτη, ὁ δείκτης τοῦ γαλβανομέτρου ἀποκλίνει πρός μία δρισμένη φορά. Μόλις σταματήσει ἡ κίνηση τοῦ μαγνήτη, ὁ δείκτης τοῦ ὄργανου ἐπιστρέφει στό μηδέν.

Ἐάν κινήσομε πάλι τό μαγνήτη, γιά νά τόν ἀπομακρύνομε ἀπό τό πηνίο, ὅπως φαίνεται στό σχῆμα 6.4a(β), ὁ δείκτης τοῦ γαλβανομέτρου ἀποκλίνει πρός τήν ἀντίθετη φορά ἀπό ἐκείνη πού εἶχε στήν προηγούμενη κίνηση.

Ἀπό τό παραπάνω πείραμα συμπεραίνομε ὅτι: **σέ ἔνα πηνίο καί γεννήτερα σέ ἔνα κύκλωμα, ὅταν μεταβάλλεται ἡ μαγνητική ροή πού περνᾶ μέσα ἀπό τό κύκλωμα δημιουργεῖται σ' αὐτό ἡλεκτρεγερτική δύναμη ἀπό ἐπαγωγή.**

Ἡ φορά τῆς ἡλεκτρεγερτικῆς δυνάμεως ἀπό ἐπαγωγή καθώς καί τοῦ ρεύματος πού δημιουργεῖται ἀπό αὐτή βρίσκονται μέ τόν **κανόνα τοῦ Λέντς** (Lenz), ἀπό τό ὄνομα αὐτοῦ πού τόν διατύπωσε πρῶτος. Ὁ κανόνας αὐτός λέει: **Ἡ φορά τοῦ ρεύματος πού δημιουργεῖται ἀπό ἐπαγωγή μέσα σέ ἔνα κύκλωμα, είναι τέτοια, ὥστε τό μαγνητικό πεδίο πού παράγεται ἀπό τό ρεύμα νά τείνει νά ἀναιρέσει τή μεταβολή τῆς μαγνητικῆς ροής πού τό προκάλεσε.** Δηλαδή, ἂν ἡ μεταβολή είναι αὔξηση τῆς μαγνητικῆς ροής, τότε ἡ φορά τοῦ ρεύματος είναι τέτοια, ὥστε ἡ μαγνητική του ροή νά είναι ἀντίθετη μέ τή ροή πού αὔξηθηκε, καί ἀντιστρόφως.

Γιά τήν ἔξήγηση τοῦ κανόνα, στό σχῆμα 6.4β παριστάνονται οἱ τέσσερις δυνατές περιπτώσεις κινήσεως μαγνήτη πρός κύκλωμα ἡ πηνίο

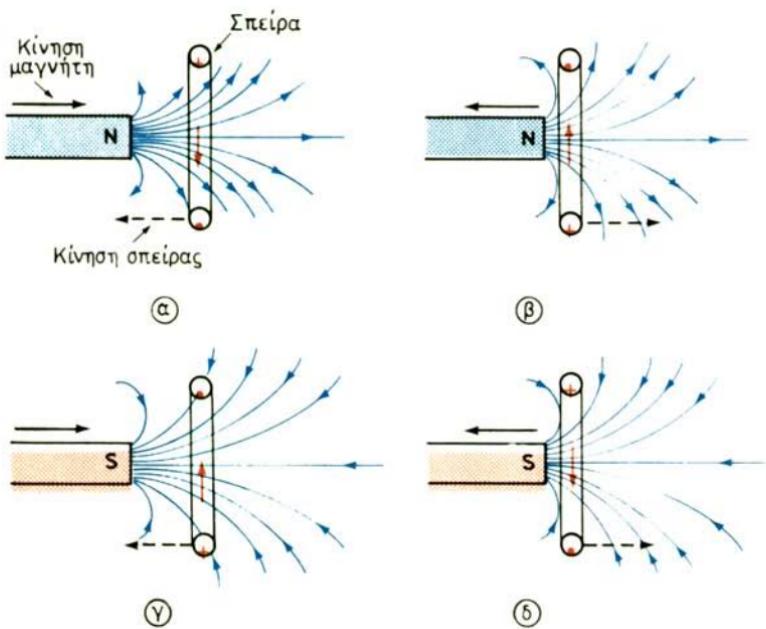


Σχ. 6.4α.

Ηλεκτρομαγνητική έπαγωγή σέ πηνιό. α) Ό μόνιμος μαγνήτης κινεῖται πρός τό πηνίο.
β) Ό μόνιμος μαγνήτης άπομακρύνεται από τό πηνίο.

πού ἔχουν χάρη ἀπλότητας ἀντικατασταθεῖ μέ μιά ἀπλή σπείρα (παριστάνεται στό σχῆμα σέ τομή). Σημειώνομε ἐπίσης ὅτι γιά τήν ἀναπτυσσόμενη ἡλεκτρεγερτική δύναμη καί τό ρεῦμα από ἔπαγωγή, δέν ἔχει σημασία ἂν κινεῖται ὁ μαγνήτης κατά τή φορά πού δείχνουν τά βέλη μέ συνεχή γραμμή στό σχῆμα ἢ ἂν κινεῖται ἡ σπείρα κατά τήν ἀντίθετη φορά (βέλη μέ διακοπόμενη γραμμή).

Γιά παράδειγμα πάιρνομε τήν περίπτωση (α) στό σχῆμα 6.4β, ὅπου ἡ σπείρα πλησιάζει πρός τό βόρειο πόλο τοῦ μαγνήτη ὅπου οἱ μαγνητικές γραμμές διευθύνονται πρός τά δεξιά. Ἐδῶ δημιουργεῖται ἔπαγωγικό ρεῦμα ἐπειδή αὐξάνει ἡ μαγνητική ροή πού περνᾶ μέσα ἀπό τό κύκλωμα, δηλαδή τή σπείρα. Τό ρεῦμα αὐτό παράγει μαγνητικό πεδίο, τό δόποιο στό ἑσωτερικό τῆς σπείρας πρέπει, σύμφωνα μέ τόν κανόνα τοῦ Λέντζ, νά ἀντιτίθεται στήν αὔξηση τοῦ μαγνητικοῦ πεδίου. Δηλαδή πρέπει οἱ μαγνητικές του γραμμές μέσα ἀπό τή σπείρα νά διευθύνονται πρός τά ἀριστερά. Σύμφωνα μέ τόν κανόνα τοῦ δεξιόστροφου κοχλία (σχ. 5.4δ) προκύπτει ἡ φορά τοῦ ρεύματος αὐτοῦ, ὅπως ἔχει σημειωθεῖ ἐπάνω στή σπείρα στό σχῆμα 6.4β(α).



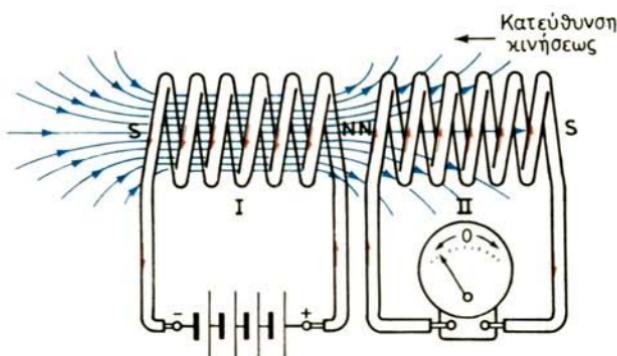
Σχ. 6.4β.

Φορά του ἑπαγωγικοῦ ρεύματος σέ σπείρα. α) Ὁ βόρειος πόλος τοῦ μαγνήτη πλησιάζει τή σπείρα. β) Ὁ βόρειος πόλος τοῦ μαγνήτη ἀπομακρύνεται ἀπό τή σπείρα. γ) Ὁ νότιος πόλος τοῦ μαγνήτη πλησιάζει τή σπείρα. δ) Ὁ νότιος πόλος ἀπομακρύνεται ἀπό τή σπείρα.

Τό μαγνητικό πεδίο τό δρόμο περνά μέσα από ένα κύκλωμα ή ένα πηνίο, μπορεῖ νά τό δημιουργεῖ ένα άλλο πηνίο πού διαρρέεται από ήλεκτρικό ρεύμα. Τό άποτέλεσμα είναι τό ίδιο μέ αυτό πού είχαμε μέ τό μόνιμο μαγνήτη.

Σάν παράδειγμα τό σχήμα 6.4γ δείχνει δύο πηνία. Τό πηνίο I τροφοδοτείται από μία ήλεκτρική πηγή και δημιουργεῖ ένα μαγνητικό πεδίο. Τό πηνίο II κινεῖται καί πλησιάζει πρός τό βόρειο πόλο τοῦ πηνίου I. "Αρα δημιουργεῖται σ' αύτό άπό έπαγωγή ένα ήλεκτρικό ρεῦμα, που ἔχει φορά άντιθετή άπό τή φορά τοῦ ρεύματος τοῦ πηνίου I, öπως μπορεῖ εύκολα νά άποδείξει κανείς ἀν ἐφαρμόσει τόν κανόνα τοῦ Λέντς. Τό ρεῦμα αύτό δημιουργεῖ μαγνητικό πεδίο στό πηνίο II, που ἔχει τό βόρειο πόλο άπεναντι από τό βόρειο πόλο τοῦ πηνίου I.

"Αν τό πηνίο II ἀπομακρύνεται ἀπό τό βόρειο πόλο τοῦ πηνίου I, εἶναι εὔκολο νά δειχθεῖ ὅτι ἀπέναντι ἀπό αὐτὸν θά δημιουργηθεῖ νότιος πόλος τοῦ πηνίου II, ἀπό τό ρεῦμα πού θά παραχθεῖ σ' αὐτό ἀπό τό φαινόμενο τῆς ἐπαγωγῆς. Τό ρεῦμα τώρα θά ἔχει τήν ίδια φορά μέ τό ρεῦμα στό πηνίο I.



Σχ. 6.4γ.
Έπαγωγή από πηνίο σέ πηνίο.

Παρατηροῦμε ότι μέ τή δημιουργία τῶν μαγνητικῶν πόλων τοῦ πηνίου II άπό τό ρεῦμα πού δημιουργεῖται σ' αὐτό άπό έπαγωγή, **στήν κίνηση τοῦ πηνίου II άντιτίθενται οἱ δυνάμεις πού ἀσκοῦνται μεταξύ τῶν μαγνητικῶν πεδίων**. Δηλαδή τοῦ μαγνητικοῦ πεδίου τοῦ πηνίου I ἡ τοῦ μόνιμου μαγνήτη, καί τοῦ μαγνητικοῦ πεδίου τοῦ πηνίου II.

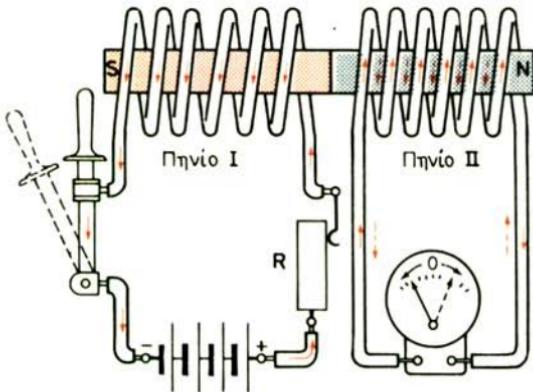
6.5 Ήλεκτρομαγνητική έπαγωγή, χωρίς κίνηση.

Οι περιπτώσεις τῆς ήλεκτρομαγνητικῆς έπαγωγῆς πού έξετάσαμε στίς παραγράφους 6.2 καὶ 6.4 είχαν σάν προϋπόθεση τήν κίνηση άγωγοῦ, κυκλώματος ἢ μαγνητικοῦ πεδίου. Τό φαινόμενο τῆς έπαγωγῆς παρουσιάζεται ὅμως καὶ σέ περιπτώσεις πού κανένα στοιχεῖο δέν κινεῖται. Εἶναι οἱ περιπτώσεις ὅπου ἡ μεταβολή τῆς μαγνητικῆς ροῆς πού περνᾶ μέσα ἀπό ἓνα κύκλωμα ὀφείλεται στή μεταβολή τῆς έντασεως τοῦ ρεύματος πού προκαλεῖ τό μαγνητικό πεδίο.

Στό σχῆμα 6.5α φαίνονται δύο πηνία περιτυλιγμένα γύρω ἀπό ἓνα κοινό σιδερένιο πυρήνα. Τό πηνίο I συνδέεται μέ μία πηγή μέσω μιᾶς ρυθμιστικῆς άντιστάσεως καί ἐνός διακόπτη. Στό πηνίο II ἔχει συνδεθεῖ ἓνα γαλβανόμετρο.

Μόλις κλείσομε τό διακόπτη καί τροφοδοτηθεῖ μέ ρεῦμα τό πηνίο I, θά δημιουργηθεῖ μία μαγνητική ροή μέσα στόν πυρήνα. Δηλαδή ἔχομε μεταβολή τῆς μαγνητικῆς ροῆς τοῦ κοινοῦ πυρήνα τῶν δύο πηνίων ἀπό μηδέν πού ἦταν προηγουμένως σέ μιά δρισμένη τιμή. Ἡ μεταβολή αύτή τῆς μαγνητικῆς ροῆς προκαλεῖ στό πηνίο II τήν ἀνάπτυξη ήλεκτρεγερτικῆς δυνάμεως ἀπό έπαγωγή.

Ἡ ἀνάπτυξη τῆς ήλεκτρεγερτικῆς δυνάμεως ἀπό έπαγωγή καί ἡ κυκλοφορία τοῦ ρεύματος πού αύτή προκαλεῖ, διαρκοῦν πολύ μικρό χρονικό διάστημα, ὅπως μποροῦμε νά διαπιστώσομε ἀπό τή μετακίνηση



Σχ. 6.5α.

'Ηλεκτρομαγνητική έπαγωγή χωρίς κίνηση.'

τοῦ δείκτη τοῦ γαλβανομέτρου. Μόλις άποκατασταθεῖ ἡ μαγνητική ροή στήν τελική της τιμή καὶ δέ γίνει ἄλλη μεταβολή τοῦ ρεύματος τοῦ πηνίου I, ὁ δείκτης ἐπανέρχεται στή μηδενική θέση. Τό ρεύμα πού δημιουργήθηκε στό πηνίο II (βέλη μέ συνεχή γραμμή στό σχῆμα 6.5α) εἴ^{τη} τήν ἀντίθετη φορά ἀπό τό ρεύμα στό πηνίο I.

"Αν τώρα μέ τή ρυθμιστική ἀντίσταση R ἐλαττώσομε τήν ἔνταση τοῦ ρεύματος στό πηνίο I, ἡ μαγνητική ροή πού περνᾶ μέσα ἀπό τόν πυρήνα θά ἐλαττωθεῖ. Μέ τή μεταβολή αὐτή τῆς μαγνητικῆς ροῆς δημιουργεῖται πάλι ρεῦμα ἀπό ἐπαγωγή στό πηνίο II. Ή φορά τοῦ ρεύματος (βέλη στό πηνίο II μέ διακοπόμενη γραμμή) είναι τώρα ἡ ἴδια μέ τή φορά τοῦ ρεύματος στό πηνίο I.

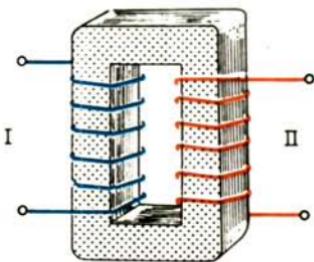
"Αν πάλι μέ τή βοήθεια τῆς ρυθμιστικῆς ἀντίστασεως αὐξήσομε τήν τιμή τῆς ἔντασεως τοῦ ρεύματος στό πηνίο I, ἡ μαγνητική ροή στόν πυρήνα πάλι θά αὐξηθεῖ. Μέ τή μεταβολή αὐτή τῆς μαγνητικῆς ροῆς στό πηνίο II δημιουργεῖται ἀπό ἐπαγωγή ρεῦμα μέ ἀντίθετη διεύθυνση ἀπό τό ρεῦμα τοῦ πηνίου I.

"Αν διακόψομε τό ρεῦμα στό πηνίο I, ἔξαφανίζεται καὶ ἡ μαγνητική ροή. Δηλαδή ἀπό κάποια τιμή πού εἴχε γίνεται μηδέν. Στό πηνίο II δημιουργεῖται πάλι ἔνα ρεῦμα ἀπό ἐπαγωγή τό διοποίει τήν ἴδια φορά μέ αὐτήν πού εἴχε τό ρεῦμα στό πηνίο I.

'Από τά παραπάνω συμπεραίνομε ὅτι, παρόλο πού ἀνάμεσα στά κυκλώματα τῶν πηνίων I καὶ II δέν ὑπάρχει καμιά ἀγώγιμη σύνδεση, δηλαδή τό ἔνα κύκλωμα είναι ήλεκτρικά μονωμένο ἀπό τό ἄλλο, δημοσ τά δύο αὐτά κυκλώματα **δέν είναι ἀνεξάρτητα**. Τό ἔνα ἐπιδρά στό ἄλλο. Ή ἐπίδραση αὐτή πού γίνεται μέσω τοῦ μαγνητικοῦ πεδίου ὀνομάζεται **μαγνητική σύζευξη**.

Μαγνητική σύζευξη μεταξύ των δύο πηνίων έχουμε καί ἄν δέν ύπάρχει ὁ σιδερένιος πυρήνας. Τότε ἡ ἐπίδραση τοῦ ἐνός πηνίου στὸ ἄλλο εἶναι μικρή, δηλαδή ἡ ἡλεκτρεγερτική δύναμη πού μπορεῖ νά δημιουργηθεῖ ἀπό ἐπαγωγή στὸ πηνίο II εἶναι μικρή. Λέμε τότε ὅτι ἡ **σύζευξη** τῶν δύο πηνίων εἶναι **χαλαρή**.

Ἡ σύζευξη πού ἐπιτυγχάνομε μέ τῇ διάταξη τοῦ σχήματος 6.5a εἶναι **ἰσχυρή**, γιατί οἱ περισσότερες μαγνητικές γραμμές πού δημιουργεῖ τὸ πηνίο I περνοῦν καὶ μέσα ἀπό τὸ πηνίο II. **Πολύ ἰσχυρή** μαγνητική σύζευξη ἔχουμε ὅταν καὶ τὰ δύο πηνία τυλιχθοῦν ἐπάνω σέ ἑναν κλειστό σιδερένιο πυρήνα, ὅπως φαίνεται στὸ σχῆμα 6.5b. Τότε ὅλες σχεδόν οἱ μαγνητικές γραμμές τοῦ πεδίου πού δημιουργεῖ τὸ πηνίο I περνοῦν μέσα ἀπό τὸ σιδερένιο πυρήνα καὶ συνεπῶς καὶ ἀπό τὸ πηνίο II.



Σχ. 6.5β.

Πηνία σέ ισχυρή μαγνητική σύζευξη.

Ἡ ἡλεκτρεγερτική δύναμη πού ἀναπτύσσεται ἀπό ἐπαγωγή στὸ πηνίο II, εἶναι ἀθροισμα τῶν ἡλεκτρεγερτικῶν δυνάμεων πού ἀναπτύσσονται σέ κάθε σπείρα του. "Ἄν συνεπῶς τό πηνίο II ἔχει πολλές σπείρες, θά ἀναπτυχθεῖ σ' αὐτό μεγάλη ἡλεκτρεγερτική δύναμη. "Ἄν θέλομε, ἡ ἡλεκτρεγερτική δύναμη αὐτή μπορεῖ νά εἶναι μεγαλύτερη καὶ ἀπό τήν τάση μέ τήν ὥποια τροφοδοτεῖται τό πηνίο I.

Ἡ παραπάνω ἴδιότητα ἐφαρμόζεται σέ περιπτώσεις πού χρειάζεται νά παραχθοῦν μεγάλες τάσεις, ἐνῶ διαθέτομε μιά πηγή συνεχοῦς ρεύματος μικρῆς τάσεως. Τέτοια εἶναι π.χ. ἡ περίπτωση τοῦ **πολλαπλασιαστὴν** τῶν αὐτοκινήτων πού τροφοδοτεῖ μέ τάση μερικῶν χιλιάδων βόλτα μπουζί, γιά τήν ἀνάφλεξη τοῦ μίγματος ἀέρα καὶ βενζίνης.

"Ἐνας πολλαπλασιαστής ἀποτελεῖται ἀπό μία διάταξη ὥπως αὐτή τοῦ σχήματος 6.5β. Τό πηνίο I τροφοδοτεῖται μέ συνεχές ρεῦμα ἀπό τό συσωρευτή τοῦ αὐτοκινήτου. Τό ρεῦμα αὐτό διακόπτεται περιοδικά ἀπό ἕνα διακόπτη, πού κινεῖται ἀπό τόν ἐκκεντροφόρο ἄξονα τῆς μηχανῆς τοῦ αὐτοκινήτου. Κάθε φορά πού τό ρεῦμα διακόπτεται, δημιουργεῖται ἀπό ἐπαγωγή ύψηλή τάση στὸ πηνίο II, πού ἔχει κατασκευασθεῖ μέ πολλές σπείρες. Μέ τήν τάση αὐτή τροφοδοτοῦνται τά μπουζί.

6.6 Η τιμή τῆς ἡλεκτρεγερτικῆς δυνάμεως ἀπό ἐπαγωγή.

Η τιμή τῆς ἡλεκτρεγερτικῆς δυνάμεως πού δημιουργεῖται ἀπό ἐπαγωγή σέ ἔνα κλειστό κύκλωμα, π.χ. σέ μιά σπείρα (σχ. 6.4β), δέν ἔξαρται ἀπό τό μέγεθος τῆς μαγνητικῆς ροῆς πού περνᾶ μέσα ἀπό αὐτό, ἀλλά ἀπό τήν ταχύτητα μέ τήν δόπια αὐτή μεταβάλλεται. Μέ ἄλλα λόγια ἔξαρται ἀπό τό πόσο μεταβάλλεται ἡ μαγνητική ροή στή μονάδα τοῦ χρόνου (στό δευτερόλεπτο).

·Αν ἡ μαγνητική ροή πού περνᾶ μέσα ἀπό μιά σπείρα, μεταβάλλεται μέσα σέ χρόνο t ἀπό τήν τιμή Φ_1 , στήν τιμή Φ_2 , τότε ἡ ἡλεκτρεγερτική δύναμη πού ἀναπτύσσεται στή σπείρα ἔχει μέση τιμή:

$$E = \frac{\Phi_2 - \Phi_1}{t} \quad \text{σέ V}$$

ὅπου τά Φ_1 , καί Φ_2 μετριούνται σέ Vs ή Wb καί ὁ χρόνος t σέ s.

Σέ ἔνα πηνίο πού ἀποτελεῖται ἀπό N σπείρες, οἱ ἡλεκτρεγερτικές δυνάμεις πού ἀναπτύσσονται μέσα στίς σπείρες ἀθροίζονται. Ἀρα ἡ ὀλική ἡλεκτρεγερτική δύναμη ἀπό ἐπαγωγή στό πηνίο ἔχει μέση τιμή πού δίνεται ἀπό τή σχέση:

$$E = \frac{(\Phi_2 - \Phi_1) \cdot N}{t} \quad \text{σέ V}$$

ὅπου: $(\Phi_2 - \Phi_1)$ είναι ἡ μεταβολή τῆς μαγνητικῆς ροῆς πού περνᾶ μέσα ἀπό κάθε σπείρα τοῦ πηνίου σέ Vs ή Wb,

N ὁ ἀριθμός τῶν σπειρῶν τοῦ πηνίου,

t ὁ χρόνος τῆς μεταβολῆς τῆς μαγνητικῆς ροῆς σέ s.

Σημειώνομε ὅτι ὁ τύπος αὐτός ίσχυει γιά κάθε περίπτωση πού ἔχομε μεταβολή τῆς μαγνητικῆς ροῆς, εἴτε αὐτή προέρχεται ἀπό κίνηση κάποιου μαγνήτη, εἴτε ἀπό μεταβολή τῆς ἐντάσεως τοῦ ρεύματος τοῦ πηνίου πού δημιουργεῖ τό μαγνητικό πεδίο. Ο τύπος ίσχυει ἀκόμη καὶ στήν περίπτωση πού ἔχομε ἐπαγωγή ἡλεκτρεγερτικῆς δυνάμεως σέ ἔναν ἀγωγό κινούμενο μέσα σέ μαγνητικό πεδίο. Π.χ. μπορεῖ νά ἐφαρμοσθεῖ στό κλειστό κύκλωμα τοῦ σχήματος 6.2a. Δίνει τότε τά ἴδια ἀποτελέσματα πού δίνει καὶ ἡ σχέση τῆς παραγράφου 6.2 γιά τήν ἡλεκτρεγερτική δύναμη ἀπό ἐπαγωγή σέ κινούμενο ἀγωγό. ὅπως θά δοῦμε στό παράδειγμα 2.

Παράδειγμα 1.

Νά βρεθεῖ ἡ μέση τιμή τῆς ἡλεκτρεγερτικῆς δυνάμεως πού δημιουργεῖται ἀπό ἐπαγωγή σέ ἔνα πηνίο, τό δοποῦ ἔχει 1000 σπείρες, ὅταν ἡ μαγνητική ροή πού περνᾶ μέσα ἀπό κάθε σπείρα του μεταβάλλεται κατά 0,0008 Vs σέ ἔνα ἑκατοστό τοῦ δευτερολέπτου.

Λύση:

Έχομε:

$$E = \frac{(\Phi_2 - \Phi_1) \cdot N}{t} = \frac{0,0008 \times 1000}{\frac{1}{100}} = 80 \text{ V}$$

Παράδειγμα 2.

Νά ύπολογισθεί ή ήλεκτρεγερτική δύναμη πού άναπτύσσεται άπό έπαγωγή σέ ένα κλειστό κύκλωμα όπως τό κύκλωμα τοῦ σχήματος 6.2a, τοῦ όποιου δ' άγωγός κ-λ μετακινεῖται όπως περιγράφεται στήν παράγραφο 6.2.

Λύση:

Η μεταβολή τῆς μαγνητικῆς ροής ($\Phi_2 - \Phi_1$) έδω εἶναι ή μαγνητική ροή πού κόβει σέ χρόνο t διαφορά κινούμενος μέτρησης ταχύτητα u άγωγός. Στό χρόνο αυτό δ' άγωγός θά έχει μετακινηθεί κατά u . t. Άρα ή έπιφάνεια S πού θά έχει διαγράψει μέσα στό μαγνητικό πεδίο θά εἶναι:

$$S = u \cdot t \cdot l$$

Η ροή πού περνᾶ άπό τήν έπιφάνεια αυτή εἶναι ίση μέτρη B . S και ισούται όπως άναφέραμε παραπάνω μέτρη ($\Phi_2 - \Phi_1$). Επειδή έδω εἶναι N = 1, έχομε:

$$E = \frac{(\Phi_2 - \Phi_1) \cdot N}{t} = \frac{B \cdot S \cdot 1}{t} = \frac{B \cdot u \cdot t \cdot l}{t} = B \cdot u \cdot l$$

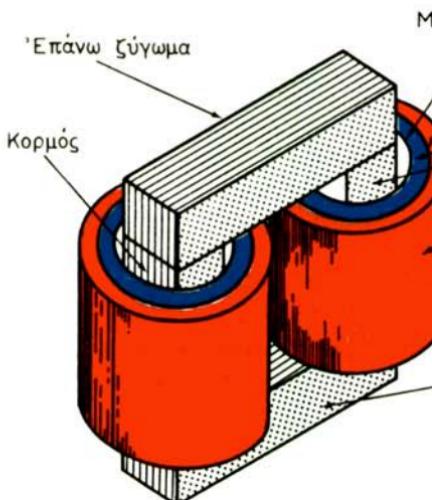
Δηλαδή, όπως έπρεπε νά τό περιμένομε, καταλήγομε στήν ίδια σχέση πού δίνει τήν ήλεκτρεγερτική δύναμη άπό έπαγωγή σέ άγωγό κινούμενο μέσα σέ μαγνητικό πεδίο (παράγραφος 6.2).

6.7 Η άρχη λειτουργίας τῶν μετασχηματιστῶν.

Στήν ίσχυρή μαγνητική σύζευξη πηνίων βασίζεται καί ή άρχη λειτουργίας μιᾶς άπό τίς πιό διαδομένες ήλεκτρικές μηχανές, τοῦ **μετασχηματιστῆ**.

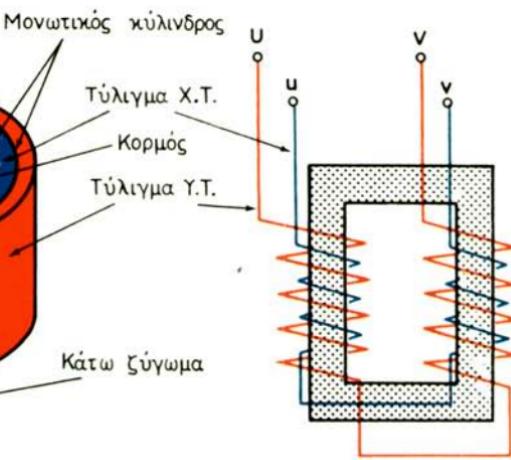
Στήν άπλούστερή του μορφή ένας μετασχηματιστής άποτελεῖται, όπως φαίνεται στό σχήμα 6.7a, άπό έναν **πυρήνα** καί τά πηνία ή **τυλίγματα χαμηλῆς τάσεως** (X.T.) καί **ύψηλῆς τάσεως** (Y.T.).

Ο πυρήνας άποτελεῖται άπό πολλά σιδερένια έλάσματα γιά λόγους πού θά έξηγήσομε στήν έπόμενη παράγραφο. Τά κατακόρυφα μέρη τοῦ



Σχ. 6.7α.

Μονοφασικός μετασχηματιστής.



Σχ. 6.7β.

Συνδεσμολόγια τῶν πηνίων μονοφασικοῦ μετασχηματιστῆ.

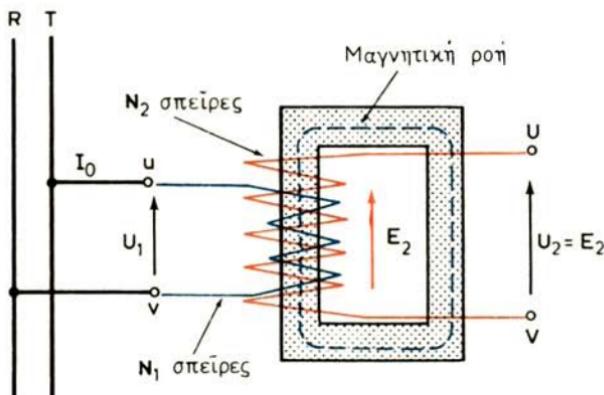
πυρήνα, ὅπου εἶναι τοποθετημένα τά πηνία, όνομάζονται **κορμοί** καὶ τά δοριζόντια όνομάζονται **ζυγάματα**. Σέ κάθε κορμό ὑπάρχει ἔνα πηνίο X.T. καὶ ἔνα πηνίο Y.T. πού χωρίζονται μεταξύ τους μὲ μονωτικά ὄλικά. Τά πηνία αὐτά συνδεσμολογοῦνται ὅπως φαίνεται στό σχῆμα 6.7β. Τελικά ὑπάρχουν ἐλεύθερα δύο ἄκρα, τά U καὶ V ἀπό τό τύλιγμα Y.T. καὶ δύο ἄκρα, τά u καὶ v ἀπό τό τύλιγμα X.T.

Ἡ φορά περιελίξεως τῶν πηνίων καὶ ἡ μεταξύ τους σύνδεση εἶναι τέτοια, ὥστε ὅταν ἔνα ρεῦμα περάσει π.χ. ἀπό τό τύλιγμα X.T. καὶ τά δύο πηνία του πού εἶναι στούς δύο κορμούς τοῦ πυρήνα, νά δημιουργοῦν μαγνητική ροή σ' αὐτὸν κατά τήν ἴδια φορά. Αὐτό μποροῦμε νά τό διαπιστώσομε ἂν ἐφαρμόσομε τόν κανόνα τοῦ δεξιόστροφου κοχλία (παράγρ. 5.4) στά πηνία τοῦ σχήματος 6.7β.

Ἄπο τά παραπάνω συμπεραίνομε ὅτι, γιά νά ἔξετάσομε τήν ἀρχή λειτουργίας τοῦ μετασχηματιστῆ, μποροῦμε νά θεωρήσομε γιά ἀπλότητα ὅτι ὑπάρχουν μόνο τά δύο πηνία, ἔνα X.T. καὶ ἔνα Y.T. στόν ἔνα μόνο κορμό τοῦ πυρήνα, ὅπως φαίνεται στό σχῆμα 6.7γ.

Ἄν μεταξύ τῶν ἄκρων τοῦ ἐνός πηνίου, π.χ. μεταξύ τῶν ἄκρων u καὶ v τοῦ πηνίου X.T., ἐφαρμόσομε μιά ἐναλλασσόμενη τάση, θά περάσει μέσα ἀπό τό πηνίο ἔνα ρεῦμα πού θά εἶναι καὶ αὐτό ἐναλλασσόμενο. Δηλαδή θά μεταβάλλεται μέ τό χρόνο ὅπως δείχνει ἡ καμπύλη στό σχῆμα 6.3γ.

Ἡ ἔνταση αὐτή δημιουργεῖ μιά μαγνητική ροή στόν πυρήνα τοῦ με-



Σχ. 6.7γ.

Λειτουργία μετασχηματιστή χωρίς φορτίο.

τασχηματιστή. Σέ κάθε μεταβολή τής έντασεως θά έχομε αντίστοιχη μεταβολή τής μαγνητικής ροής. Δηλαδή θά είναι και αύτή μάτια **έναλλασσόμενη μαγνητική ροή**. Έπακόλουθο αυτής τής συνεχούς μεταβολής τής μαγνητικής ροής είναι ή δημιουργία άπό έπαγωγή στό άλλο πηνίο, τό πηνίο Y.T., μιᾶς ήλεκτρεγερτικής δυνάμεως.

Η στιγμαία τιμή αυτής τής ήλεκτρεγερτικής δυνάμεως θά μεταβάλλεται κατά μία καμπύλη όμοια μέ αύτή τοῦ σχήματος 6.3γ. Δηλαδή δημιουργεῖται στό πηνίο Y.T. μάτια έναλλασσόμενη ήλεκτρεγερτική δύναμη.

Αποδεικνύεται ότι: **ο λόγος τής τάσεως U_1 , (μέγιστη τιμή) πού έφαρμόζομε στό ένα πηνίο μετασχηματιστή πρός τήν τάση U_2 (μέγιστη τιμή) πού παίρνομε μεταξύ τῶν ἄκρων τοῦ άλλου πηνίου, ίσοῦται μέ τό λόγο τοῦ άριθμοῦ τῶν σπειρῶν τῶν δύο πηνίων τοῦ μετασχηματιστῆς.**

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{N_1}{N_2} = K$$

Ο λόγος N_1/N_2 όνομάζεται **σχέση μεταφορᾶς** τοῦ μετασχηματιστῆς και συμβολίζεται μέ τό γράμμα K .

Είναι φανερό άπό τήν παραπάνω σχέση ότι, αν έκλεξομε κατάλληλα τούς άριθμούς τῶν σπειρῶν τῶν δύο πηνίων τοῦ μετασχηματιστῆς, μποροῦμε νά έπιτύχομε γιά δρισμένη τάση τροφοδοτήσεως δοποιαδήποτε τάση στό άλλο πηνίο, μικρότερη ή μεγαλύτερη άπό τήν τάση τροφοδοτήσεως. Μποροῦμε δηλαδή, όπως λέμε, νά **ύποβιβάσομε** ή νά **άνυψωσμε** τήν τάση τοῦ έναλλασσόμενου ρεύματος.

Τό πηνίο μέ τό μικρότερο άριθμό σπειρῶν είναι τό πηνίο ή τύλιγμα X.T. και τό πηνίο μέ τό μεγαλύτερο άριθμό σπειρῶν είναι τό πηνίο ή τύ-

λιγμα Υ.Τ. Τό πηνίο άπό τό όποιο γίνεται ή τροφοδότηση τοῦ μετασχηματιστῆ δύναμης ονομάζεται **πρωτεύον πηνίο** ή **πρωτεύον τύλιγμα**. Τό άλλο δύναμης ονομάζεται **δευτερεύον πηνίο** ή **δευτερεύον τύλιγμα**. Στούς μετασχηματιστές υπόβιβασμού τῆς τάσεως, πρωτεύον τύλιγμα είναι τό τύλιγμα Υ.Τ. Αντίθετα στούς μετασχηματιστές άνυψωσεως τῆς τάσεως, πρωτεύον τύλιγμα είναι τό τύλιγμα Χ.Τ.

Τό πεδίο έφαρμογῶν τοῦ μετασχηματιστῆ είναι πολύ μεγάλο. Μικροί μετασχηματιστές χρησιμοποιοῦνται σέ οικιακές συσκευές, σέ βιομηχανικές συσκευές, σέ ήλεκτρονικές συσκευές κλπ. Μεγάλοι μετασχηματιστές χρησιμοποιοῦνται στά έργοστάσια παραγωγῆς καί στά δίκτυα μεταφορᾶς καί διανομῆς τῆς ήλεκτρικῆς ένέργειας.

Παράδειγμα.

Ένας μετασχηματιστής χρησιμοποιεῖται γιά τήν άνυψωση τῆς τάσεως έναλλασσόμενου ρεύματος άπό 12 V σέ 120 V (μέγιστες τιμές). Άν τό τύλιγμα χαμηλῆς τάσεως τοῦ μετασχηματιστῆ έχει 200 σπείρες πόσες έχει τό τύλιγμα ύψηλῆς τάσεως; Ποιά είναι ή σχέση μεταφορᾶς τοῦ μετασχηματιστῆ αύτοῦ;

Λύση:

$$\text{Είναι: } \frac{U_1}{U_2} = \frac{N_1}{N_2}$$

Άρα:

$$N_2 = N_1 \cdot \frac{U_2}{U_1} = 200 \times \frac{120}{12} = 2000 \quad \text{σπείρες}$$

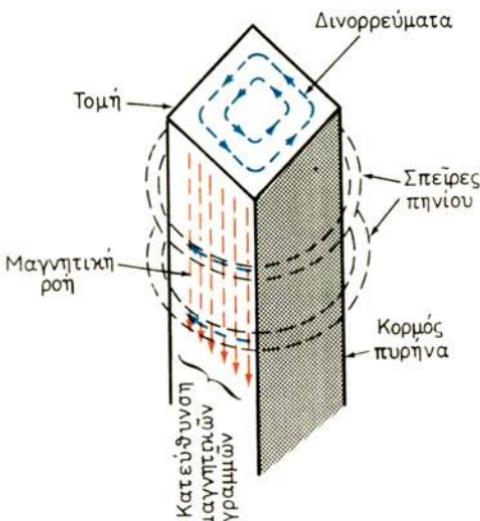
Η σχέση μεταφορᾶς είναι:

$$K = \frac{N_1}{N_2} = \frac{200}{2000} = 0,1 \quad \text{ή} \quad \frac{1}{10}$$

6.8 Δινορρεύματα.

Τό φαινόμενο τῆς δημιουργίας ήλεκτρεγερτικῆς δυνάμεως άπό έπαγωγή δέν έμφανίζεται μόνο μέσα στούς άγωγούς ή τά πηνία, όπου μᾶς έπιτρέπει τή χρησιμοποίησή του σέ ώφελιμες έφαρμογές. Έμφανίζεται καί μέσα στούς πυρήνες τῶν πηνίων, στούς πυρήνες τῶν έπαγωγικῶν τυμπάνων τῶν δυναμομηχανῶν, στούς πυρήνες τῶν μετασχηματιστῶν κλπ. όπου έχει έπιζημια άποτελέσματα.

Σάν παράδειγμα παίρνομε έναν κορμό άπό τόν πυρήνα ένός μετασχηματιστῆ δύο διπολίος σέ τομή φαίνεται στό σχήμα 6.8α. Έπειδή δύο πυ-



Σχ. 6.8α.
Δινορρεύματα σέ πυρήνα μετασχηματιστή.

ρήνας είναι άγωγιμος, όταν μεταβάλλεται ή μαγνητική ροή πού δημιουργείται άπό τό ρεύμα τοῦ πηνίου τοῦ μετασχηματιστή, άναπτύσσονται σ' αὐτόν ήλεκτρεγερτικές δυνάμεις άπό έπαγωγή. Αύτές έχουν σάν έπακόλουθο νά δημιουργοῦν ήλεκτρικά ρεύματα, τά δποια ονομάζονται **δινορρεύματα** (σχ. 6.8α).

'Η ἔνταση καὶ ή φορά τῶν δινορρευμάτων μεταβάλλονται, σύμφωνα μέ δσα εἴπαμε στήν παράγραφο 6.5, ἀντίστοιχα μέ τίς μεταβολές τῆς μαγνητικῆς ροῆς στόν πυρήνα. Π.χ. ἂν ή μαγνητική ροή στό σχῆμα 6.8α αὔξηθε, τά δινορρεύματα, πού σύμφωνα μέ τόν κανόνα τοῦ Λέντς ἀντιτίθενται στή μεταβόλη, θά έχουν τή φορά πού δείχνει τό σχῆμα.

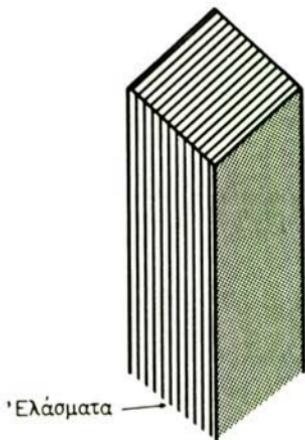
"Αν ή μαγνητική ροή είναι σταθερή, δηλαδή ἂν τό ρεύμα πού διαρρέει τίς σπεῖρες τοῦ πηνίου είναι συνεχές ρεύμα, δέν έχομε δημιουργία δινορρευμάτων.

Tά ἐπίζημα ἀποτελέσματα τῶν δινορρευμάτων ἀναφέρονται στό ὅτι ὡς ρεύματα παράγουν θερμότητα λόγω τοῦ φαινομένου Τζούλ πού ἀνυψώνει τή θερμοκρασία τῶν πυρήνων. Ἀποτέλεσμα αὐτοῦ είναι νά ξοδεύεται ἄσκοπα ἕνα μέρος ἀπό τήν ήλεκτρική ἐνέργεια μέ τήν δποια τροφοδοτεῖται ὁ μετασχηματιστής ἢ τό μηχάνημα στό δποιο ἀνήκει ὁ πυρήνας. Ἐπίσης, ἂν ή θερμοκρασία τοῦ πυρήνα ἀνέβει πολύ, ὑπάρχει κίνδυνος καταστροφῆς τῶν μονάσεων τῶν πηνίων ἢ τῶν τυλιγμάτων.

Γιά νά περιορισθοῦν οἱ ἀπώλειες ἐνέργειας καὶ ή ψωση τῆς θερ-

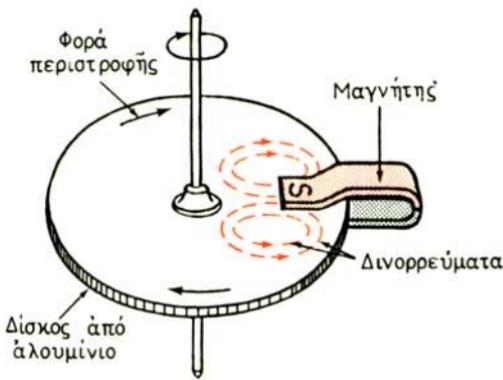
μοκρασίας τού πυρήνα, πρέπει ή ένταση τῶν δινορρευμάτων νά γίνει όσο τό δυνατόν μικρότερη. Γιά τό σκοπό αύτό λαμβάνονται τά άκόλουθα μέτρα:

α) Οι πυρήνες δέν κατασκευάζονται άπο ένα σιδερένιο κομμάτι άλλα άπο πολλά σιδερένια έλάσματα (σχ. 6.8β). Τό κάθε έλασμα έχει πάχος 0,3 ώς 0,5 mm.



Σχ. 6.8β.

Πυρήνας μετασχηματιστή μέ έλάσματα.



Σχ. 6.8γ.

Δίσκος πεδήσεως μετρητή ήλεκτρικής ένέργειας.

β) Τά σιδερένια έλάσματα, πού όνομάζονται καί **μαγνητικά έλάσματα**, κατασκευάζονται άπο ειδικά κράματα σιδήρου γιά νά έχουν μεγάλη ήλεκτρική άντισταση, άλλα δχι χειρότερες μαγνητικές ίδιοτητες.

γ) Τά μαγνητικά έλασματα χωρίζονται μεταξύ τους μέ πολύ λεπτά φύλλα μονωτικοῦ χαρτιοῦ ή μέ μιά στρώση μονωτικοῦ βερνικιοῦ στή μία πλευρά τους ή μέ μιά στρώση ειδικής διξειδώσεως.

Δινορρεύματα δημιουργοῦνται σέ κάθε άγυμιμο ύλικό καί δχι μόνο στούς σιδερένιους πυρήνες. Έτσι ύπάρχουν καί έφαρμογές όπου γίνεται ώφέλιμη χρησιμοποίηση τῶν δινορρευμάτων, όπως σέ δρισμένους κινητῆρες γιά τό γρήγορο σταμάτημά τους, στά δργανα μετρητήσεως γιά τή γρήγορη σταθεροποίηση τού δείκτη, στούς ήλεκτρικούς μετρητές κλπ.

Στό σχήμα 6.8γ φαίνεται ο δίσκος πού, όπως άναφέραμε στήν παράγραφο 4.5.2, έχουν οι μετρητές ήλεκτρικής ένέργειας. Ο δίσκος αύτός, πού είναι άπο ἀλουμίνιο, περιστρέφεται μεταξύ τῶν πόλων ένός μαγνήτη. Τά δινορρεύματα πού δημιουργοῦνται συντελοῦν στήν πέδηση τοῦ δίσκου, πού είναι άπαραίτητη γιά τή λειτουργία τοῦ μετρητή.

6.9 Αύτεπαγωγή.

"Οταν στή διάταξη τοῦ σχήματος 6.5α δώσομε ρεῦμα στό πηνίο I ἢ διακόψωμε τό ρεῦμα πού περνᾶ μέσα ἀπό αὐτό, δημοσιεύσαμε, ἐπειδή μεταβάλλεται ἡ μαγνητική ροή πού περνᾶ ἀπό τό πηνίο II, δημιουργεῖται ἀπό ἀυτό ἀπαγωγή σ' αὐτό ἡλεκτρεγερτική δύναμη. 'Η μαγνητική ροή ὅμως, πού δημιουργεῖ τό ρεῦμα τοῦ πηνίου I, δέν περνᾶ μόνο μέσα ἀπό τό πηνίο II ἀλλά καὶ μέσα ἀπό τό πηνίο I.

'Από τά παραπάνω συμπεραίνομε ὅτι κάθε μεταβολή τῆς μαγνητικῆς ροῆς πού προκαλεῖ τό ρεῦμα τοῦ πηνίου I, πρέπει νά δημιουργεῖ σ' αὐτό ὅμοια ἡλεκτρεγερτική δύναμη ἀπό ἀπαγωγή δημοσιεύσαμε στό πηνίο II. Τό φαινόμενο αὐτό ὄνομάζεται **αύτεπαγωγή** γιά νά τονισθεῖ τό ὅτι δημιουργεῖται μέσα στό ἴδιο κύκλωμα πού προκαλεῖ τή μεταβολή τῆς μαγνητικῆς ροῆς.

- **Η ἡλεκτρεγερτική δύναμη ἀπό αύτεπαγωγή** στό πηνίο I ἔχει τήν Ἱδια φορά μέ τήν ἡλεκτρεγερτική δύναμη ἀπό ἀπαγωγή τοῦ πηνίου II. "Οταν τροφοδοτούμε μέ ρεῦμα τό πηνίο, ἡ ἡλεκτρεγερτική δύναμη ἀπό αύτεπαγωγή ἔχει ἀντίθετη φορά πρός τό ρεῦμα. Προσπαθεῖ νά ἐμποδίσει τήν αὔξηση τοῦ ρεύματος. "Οταν διακόπτουμε τό ρεῦμα στό πηνίο I, ἡ ἡλεκτρεγερτική δύναμη ἀπό αύτεπαγωγή ἔχει τήν Ἱδια φορά μέ τό ρεῦμα αὐτό. Προσπαθεῖ τότε νά ἐμποδίσει τή διακοπή του. Μέ ἄλλα λόγια **ἡ ἡλεκτρεγερτική δύναμη ἀπό αύτεπαγωγή τείνει νά ἀναιρέσει κάθε μεταβολή τοῦ ρεύματος ἡ τῆς μαγνητικῆς ροῆς ἐνός κυκλώματος.**

'Η μέση τιμή τῆς ἡλεκτρεγερτικῆς δυνάμεως ἀπό αύτεπαγωγή ἐνός πηνίου δίνεται καὶ αὐτή ἀπό τόν τύπο τῆς παραγράφου 6.6, πού Ισχύει γενικά γιά τίς ἡλεκτρεγερτικές δυνάμεις ἀπό ἀπαγωγή.

"Ομως ἡ μαγνητική ροή πού δημιουργεῖ τό ρεῦμα ἐνός πηνίου, δημοσιεύσαμε στήν παράγραφο 5.7, ἔξαρτάται ἀπό τό γινόμενο τοῦ ρεύματος αὐτοῦ ἐπί τόν ἀριθμό τῶν σπειρῶν τοῦ πηνίου. Συνεπῶς καὶ ἡ μεταβολή τῆς μαγνητικῆς ροῆς ($\Phi_2 - \Phi_1$) θά ἔξαρτάται ἀπό τή μεταβολή τῆς ἐντάσεως τοῦ ρεύματος τοῦ πηνίου ($I_2 - I_1$) πού γίνεται στό χρόνο t. 'Αποτέλεσμα αὐτοῦ εἶναι ὅτι γιά τήν ἡλεκτρεγερτική δύναμη ἀπό αύτεπαγωγή E (μέση τιμή) Ισχύει ἡ σχέση:

$$E = L \cdot \frac{(I_2 - I_1)}{t} \quad \text{σε V}$$

ὅπου L εἶναι ἔνας συντελεστής πού ἔξαρτάται ἀπό τά κατασκευαστικά στοιχεῖα τοῦ πηνίου ἡ γενικότερα τοῦ κυκλώματος, καὶ ὄνομάζεται **συντελεστής αύτεπαγωγῆς**.

'Η μονάδα μετρήσεως τοῦ συντελεστή αύτεπαγωγῆς εἶναι τό **ἀνρύ** (henry) μέ σύμβολο τό H. "Ενα πηνίο ἡ κύκλωμα ἔχει συντελεστή αύτεπαγωγῆς ἐνός ἀνρύ, ὅταν ἀναπτύσσεται σ' αὐτό ἡλεκτρεγερτική δύνα-

μη άπό αύτεπαγωγή ένός βόλτ γιά μεταβολή τής έντασεως κατά ένα άμπερ σέ κάθε δευτερόλεπτο. "Άρα είναι:

$$1 \text{ H} = 1 \text{ V} \times \frac{1 \text{ s}}{1 \text{ A}} = 1 \frac{\text{Vs}}{\text{A}}$$

Χρησιμοποιοῦνται έπισης τά άκολουθα ύποπολλαπλάσια τοῦ άνρυ: Τό **μιλλιανρύ** μέ σύμβολο mH.

$$1 \text{ mH} = \frac{1}{1000} \text{ H} = 10^{-3} \text{ H}$$

Τό **μικροανρύ** μέ σύμβολο μH.

$$1 \text{ μH} = \frac{1}{1.000.000} \text{ H} = 10^{-6} \text{ H}$$

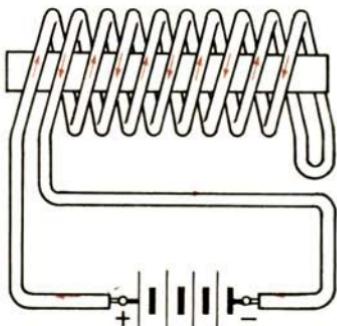
Γενικά τά πηνία χωρίς σιδερένιο πυρήνα έχουν μικρό συντελεστή αύτεπαγωγῆς (συνήθως πολύ μικρότερο άπό 1 H).

Μεγάλο συντελεστή αύτεπαγωγῆς (πολλῶν άνρυ) έχουν τά πηνία τῶν ήλεκτρομαγνητῶν πού άποτελοῦνται άπό πολλές σπεῖρες σύρματος τυλιγμένου σέ σιδερένιο πυρήνα μεγάλης διατομῆς.

'Ο συντελεστής αύτεπαγωγῆς πηνίου μέ σιδερένιο πυρήνα ίσοῦται μέ τό συντελεστή αύτεπαγωγῆς τοῦ ίδιου πηνίου χωρίς τό σιδερένιο πυρήνα πολλαπλασιασμένο έπι μ_r . Δηλαδή έπι τόν άριθμό τής σχετικῆς μαγνητικῆς διαπερατότητας τοῦ σιδηρομαγνητικοῦ ύλικοῦ, πού, δημο, έρομε, είναι άριθμός πολύ μεγαλύτερος άπό τή μονάδα (παράγρ. 5.8.1). Τό μ_r δημος δέν είναι σταθερό άλλα έξαρτάται άπό τήν ένταση τοῦ μαγνητικοῦ πεδίου στόν πυρήνα.

'Από τά παραπάνω συμπεραίνομε οτι δο συντελεστής αύτεπαγωγῆς πηνίου μέ σιδερένιο πυρήνα έχει τιμή πολύ μεγαλύτερη άπό τό συντελεστή αύτεπαγωγῆς τοῦ πηνίου χωρίς τόν πυρήνα καί οτι ή τιμή αύτή δέν είναι σταθερή. 'Η τιμή του έξαρτάται άπό τήν ένταση τοῦ ρεύματος πού διαρρέει τό πηνίο.

Γιά νά κατασκευάσομε ένα πηνίο καί γενικά ένα τύλιγμα, τό δοο θά έχει αύτεπαγωγή, χρησιμοποιοῦμε τό όνομαζόμενο **δίμιτο τύλιγμα** (σχ. 6.9). Δηλαδή χρησιμοποιοῦμε άγωγό διπλωμένο στό μέσο τοῦ μήκους του. "Έτσι δίπλα σέ κάθε τμῆμα τοῦ ένός μισοῦ τοῦ άγωγοῦ βρίσκεται ένα τμῆμα τοῦ άλλου μισοῦ πού διαρρέεται δημος άπό άντιθετο ρεύμα δημος φαίνεται καί στό σχήμα. Είναι φανερό οτι τό μαγνητικό πεδίο πού δημιουργεῖ τό ένα μισό έξουδετερώνεται άπό τό μαγνητικό πεδίο τοῦ άλλου μισοῦ τοῦ άγωγοῦ. "Όταν δημος δέν ύπάρχει μαγνητικό πεδίο, δέν μπορεῖ νά ύπάρχει ουτε καί φαινόμενο αύτεπαγωγῆς.

**Σχ. 6.9.**

Τύλιγμα χωρίς αύτεπαγωγή
(δίμιτο τύλιγμα).

Παράδειγμα 1.

Ένα πηνίο έχει συντελεστή αύτεπαγωγής $0,02 \text{ H}$. Τό ρεῦμα μέσα άπό τό πηνίο σέ διάστημα $0,015 \text{ s}$ μεταβάλλεται κατά $3,3 \text{ A}$. Ποιά είναι ή μέση τιμή τῆς ήλεκτρεγερτικής δυνάμεως άπό αύτεπαγωγή πού άναπτύσσεται στό πηνίο;

Λύση:

$$E = L \cdot \frac{(I_2 - I_1)}{t} = 0,02 \times \frac{3,3}{0,015} = 4,4 \text{ V}$$

Παράδειγμα 2.

Ποιός είναι ο συντελεστής αύτεπαγωγής πηνίου τό όποιο άναπτύσσει ήλεκτρεγερτική δύναμη άπό αύτεπαγωγή μέσης τιμής 16 V , όταν ή ένταση τού ρεύματος μέσα άπ' αύτό σέ χρόνο $0,012 \text{ s}$ μεταβάλλεται άπο 0 σέ 4 A ;

Λύση:

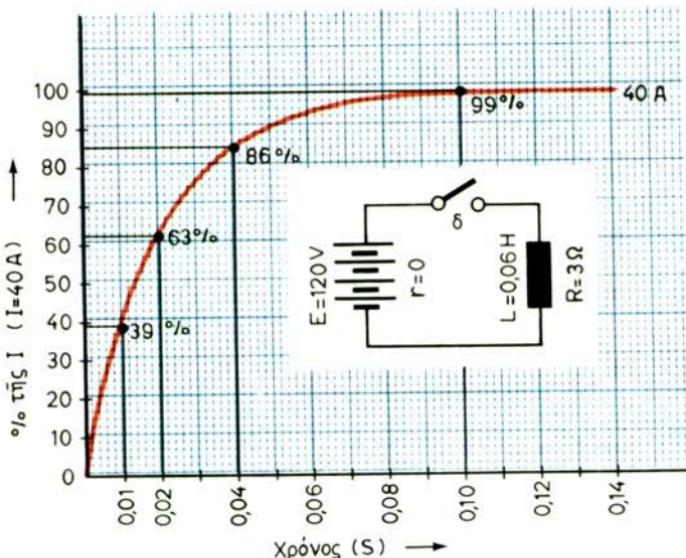
Από τή σχέση $E = L \cdot \frac{(I_2 - I_1)}{t}$ προκύπτει ότι:

$$L = \frac{E \cdot t}{(I_2 - I_1)} = \frac{16 \times 0,012}{4 - 0} = 0,048 \text{ H}$$

6.10 Αποτελέσματα τῆς αύτεπαγωγῆς.**6.10.1 Τροφοδότηση ήλεκτρικοῦ κυκλώματος.**

Θά έξετάσουμε πρῶτα τί συμβαίνει τή στιγμή πού κλείνομε τό διακό-

πη, γιά νά τροφοδοτήσουμε μέ συνεχές ρεύμα ѳνα κύκλωμα, πού έχει σημαντικό συντελεστή αύτεπαγωγῆς ή, ὅπως λέμε, πού έχει μεγάλη αύτεπαγωγή, π.χ. τό κύκλωμα τοῦ σχήματος 6.10α πού έχει ѳνα πηνίο μέ άντίσταση $R = 3 \Omega$ καὶ $L = 0,06 \text{ H}$.



Σχ. 6.10α.

Καμπύλη άποκαταστάσεως ρεύματος σέ κύκλωμα.

΄Η ένταση τοῦ ρεύματος τή στιγμή πού κλείνομε τό διακόπτη δ αύξάνεται άπο μηδέν πού ήταν, στήν κανονική της τιμή πού είναι:

$$I = \frac{E}{R} = \frac{120}{3} = 40 \text{ A}$$

΄Η αὔξηση τής έντάσεως τοῦ ρεύματος προκαλεῖ τή δημιουργία ή-λεκτρεγερτικῆς δυνάμεως άπο αύτεπαγωγή στό πηνίο πού έχει φορά άντιθετη άπο τήν E τής πηγῆς. “Ετσι, σύμφωνα μέ δσα εἴπαμε στήν προηγούμενη παράγραφο, ή ήλεκτρεγερτική αύτή δύναμη τείνει νά έμποδίσει τήν αὔξηση τής έντάσεως τοῦ ρεύματος. Δηλαδή δρᾶ στό κύκλωμα σάν άντιηλεκτρεγερτική δύναμη.

΄Σέ κάθε χρονική στιγμή, μετά τό κλείσιμο τοῦ διακόπτη, ή ένταση μέσα άπο τό κύκλωμα θά δίνεται (παράγρ. 3.11) άπο τή σχέση:

$$i = \frac{E - E_a}{R}$$

όπου E_a ή τιμή τῆς ήλεκτρεγερτικῆς δυνάμεως ἀπό αὐτεπαγγή τή θεωρούμενη στιγμή.

Άποτέλεσμα τῆς αὐτεπαγγῆς εἶναι τό ρεῦμα μέσα στό κύκλωμα νά μήνι ἀποκτᾶ ἀκαριαῖα τήν τιμή $I = 40$ A, ἀλλά μετά τήν παρέλευση δρι-σμένου χρόνου ἀπό τή στιγμή πού θά κλείσομε τό διακόπτη. Ή καμπύ-λη στό σχήμα 6.10a δείχνει τή μεταβολή αὐτή στήν περίπτωση τοῦ κυ-κλώματος τοῦ ἴδιου σχήματος.

Η μορφή πού ἔχει ή **καμπύλη τῆς ἀποκαταστάσεως τοῦ ρεύματος** σέ ἑνα κύκλωμα, δηλαδή τό πόσο γρήγορα ἀποκαθίσταται τό κανονικό ρεῦμα μέσα στό κύκλωμα, ἔξαρτᾶται ἀπό τό λόγο τοῦ συντελεστῆ αὐ-τεπαγγῆς L πρός τήν ἀντίσταση R τοῦ κυκλώματος. Ο λόγος L/R ὀνο-μάζεται **σταθερά χρόνου τοῦ κυκλώματος**, καί μετριέται σέ δευτερόλε-πτα (s). Π.χ. στό κύκλωμα τοῦ σχήματος 6.10a εἶναι:

$$\frac{L}{R} = \frac{0,06}{3} = 0,02 \text{ s}$$

Όσο ή σταθερά χρόνου L/R ἐνός κυκλώματος εἶναι μεγαλύτερη τό-σο ἀργεῖ τό ρεῦμα νά φθάσει στήν κανονική του τιμή. Σέ χρόνο ἵσο μέ τή σταθερά χρόνου τό ρεῦμα ἔχει περίπου τά 63% ἀπό τήν κανονική του τιμή. Σέ χρόνο 5.(L/R) τό ρεῦμα ἔχει ἀποκτήσει τό 99,3% ἀπό τήν κανονική του τιμή δόποτε στήν πράξη μποροῦμε νά λέμε δτι ἀπόκτησε τήν κανονική του τιμή. Π.χ. στό κύκλωμα τοῦ σχήματος 6.10a τό ρεῦμα θά ἔχει πάρει τήν κανονική του τιμή $I = 40$ A σέ χρόνο:

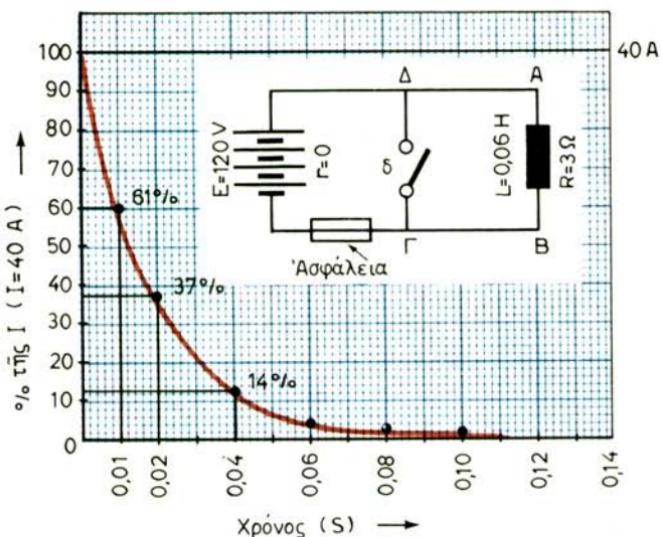
$$5 \cdot \frac{L}{R} = 5 \times 0,02 = 0,1 \text{ s}$$

6.10.2 Βραχυκύκλωση πηνίου.

Στό κύκλωμα τοῦ σχήματος 6.10β τό πηνίο τροφοδοτεῖται μέ τήν κανονική ἔνταση $I = 40$ A ἀπό τήν πηγή. Άν κλείσομε τό διακόπτη θά βραχυκύκλωθοῦν τά ἄκρα τοῦ πηνίου. Ταυτόχρονα ή ἀσφάλεια θά καεῖ καί θά διακοπεῖ ή παροχή ρεύματος ἀπό τήν πηγή.

Τό ρεῦμα πού κυκλοφορεῖ μέσα ἀπό τό πηνίο δέ θά διακοπεῖ ἀπότο-μα. Ή ήλεκτρεγερτική δύναμη τῆς αὐτεπαγγῆς τοῦ πηνίου, πού τώρα ἔχει φορά όμοια μέ τή φορά τοῦ ρεύματος, ἀντιτίθεται στήν ἐλάττωση τοῦ ρεύματος καί συντελεῖ στό νά συντηρηθεῖ μιά ἔνταση ρεύματος μέ-σα στό κλειστό κύκλωμα ΑΒΓΔΑ γιά κάποιο χρονικό διάστημα. Τή με-ταβολή τῆς ἔντάσεως αὐτῆς μέ τό χρόνο δίνει ή καμπύλη στό σχήμα 6.10β.

Η μορφή τῆς καμπύλης αὐτῆς ἔξαρτᾶται καί ἔδω ἀπό τή σταθερά χρόνου L/R τοῦ κυκλώματος. Σέ χρόνο ἵσο μέ τή σταθερά χρόνου ἀπό τή στιγμή τῆς βραχυκύκλωσεως, τό ρεῦμα φθάνει τά 37% περίπου τῆς



Σχ. 6.10β.

Καμπύλη ρεύματος βραχυκυκλώσεως πηνίου.

έντάσεως πού εἶχε. Γιά νά μηδενισθεῖ σχεδόν τό ρεῦμα πρέπει νά περάσει χρόνος περίπου ἵσος μέ 5 φορές τή σταθερά χρόνου.

6.10.3 Διακοπή τροφοδοτήσεως κυκλώματος.

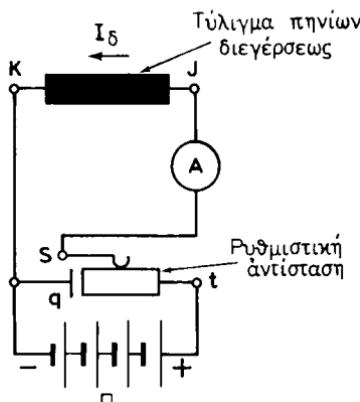
Όταν διακόπτομε ἔνα κύκλωμα πού τροφοδοτεῖται μέ συνεχές ρεῦμα ἐντάσεως I , τή στιγμή τοῦ ἀνοίγματος τοῦ διακόπτη τό ρεῦμα δέ μηδενίζεται καί πάλι ἀκαριαία. Ή ἐλάττωση τῆς ἐντάσεως τοῦ ρεύματος ἀπό τήν τιμή I στήν τελική τιμή μηδέν, προκαλεῖ τή δημιουργία μέσα στό κύκλωμα ἡλεκτρεγερτικῆς δυνάμεως ἀπό αὐτεπαγωγή πού ἐναντιώνεται στήν ἐλάττωση τῆς ἐντάσεως τοῦ ρεύματος.

Η ἡλεκτρεγερτική αὐτή δύναμη πού ἐμφανίζεται ως τάση μεταξύ τῶν ἀποχωριζομένων ἐπαφῶν τοῦ διακόπτη, μπορεῖ νά πάρει μεγάλες τιμές. Μάλιστα ὅταν ἡ αὐτεπαγωγή τοῦ κυκλώματος εἴναι σημαντική, μπορεῖ νά πάρει τιμές πολύ μεγαλύτερες ἀπό τήν τάση τῆς πηγῆς πού τό τροφοδοτεῖ. Ἀποτέλεσμα είναι νά δημιουργεῖται ἔνα ἡλεκτρικό τόξο μεταξύ τῶν ἐπαφῶν αὐτῶν. Ή ἐπαναλαμβανόμενη δημιουργία τοῦ τόξου ἔχει σάν ἐπακόλουθο τήν καταστροφή τῶν ἐπαφῶν τῶν διακοπῶν.

Μεγάλες ἡλεκτρεγερτικές δυνάμεις ἀπό αὐτεπαγωγή μπορεῖ νά προκαλέσουν ἐπίσης καταστροφή τῶν μονώσεων ἀγωγῶν τῶν κυκλωμάτων. Γι' αὐτό τό λόγο λαμβάνονται διάφορα μέτρα γιά νά ἐλαττωθοῦν αὐτά τά δυσάρεστα ἀποτελέσματα πού μπορεῖ νά προκαλέσει τό φαι-

νόμενο τῆς αύτεπαγωγῆς κατά τή διακοπή τροφοδοτήσεως τῶν κυκλωμάτων.

Σάν παράδειγμα άναφέρομε τό κύκλωμα πού τροφοδοτεῖ τά πηνία διεγέρσεως τῶν πόλων τῶν δυναμομηχανῶν (σχ. 5.12ε), τά δοποῖα ἔχουν σημαντική αύτεπαγωγή. Στό κύκλωμα αὐτῶν τῶν πηνίων παρεμβάλλεται όπως φαίνεται καί στό σχῆμα 6.10γ, καί μιά ρυθμιστική ἀντίσταση, πού ἐπιτρέπει τή ρύθμιση τῆς ἐντάσεως διεγέρσεως τῶν δυναμομηχανῶν.



Σχ. 6.10γ.
Κύκλωμα διεγέρσεως δυναμομηχανῶν.

Όταν θέλομε νά διακόψομε τήν τροφοδότηση μέ ήλεκτρικό ρεῦμα τῶν πηνίων διεγέρσεως, δέν άνοιγομε κάποιο διακόπτη, άλλα πρώτα ἐλαττώνομε τό ρεῦμα διεγέρσεως I_B μέ τή ρυθμιστική ἀντίσταση. Μετά διακόπτομε τό ρεῦμα ἀπό τά πηνία διεγέρσεως μεταφέροντας τό στρόφαλο τῆς ρυθμιστικῆς ἀντίστάσεως στήν έπαφή q (σχ. 6.10γ).

Η έπαφή αὐτή μέ ἔνα τρίτο ἀκροδέκτη πού φέρει ή ρυθμιστική ἀντίσταση, συνδέεται μέ τό ἄκρο K τῶν πηνίων διεγέρσεως. Ἐτσι, τή στιγμή τῆς διακοπῆς τοῦ ρεύματος, βραχυκυκλώνονται τά πηνία αύτά καί τό ρεῦμα πού δημιουργεῖ ή ήλεκτρεγερτική δύναμη ἀπό τήν αύτεπαγωγή τοῦ κυκλώματος βρίσκει διέξodo μέσα ἀπό τό κλειστό κύκλωμα $KqsJK$. Μέ αὐτόν τόν τρόπο ἀποφεύγεται σέ σημαντικό βαθμό στήν περίπτωση αύτή ή δημιουργία ήλεκτρικοῦ τόξου.

6.10.4 Ἐνέργεια μαγνητικοῦ πεδίου.

Τό φαινόμενο τῆς αύτεπαγωγῆς πού περιγράψαμε στίς προηγούμενες παραγράφους εἶναι γιά τά ήλεκτρικά κυκλώματα τό ἀντίστοιχο μέτό φαινόμενο τῆς **ἀδράνειας** γιά τά ύλικά σώματα, πού ξέρομε ἀπό τή Φυσική.

Σάν παράδειγμα άναφέρομε τή γνωστή περίπτωση τοῦ δχήματος. "Οταν έφαρμόσομε μιά δύναμη σέ ἔνα βαρύ δχημα, π.χ. μιά ὥθηση, τό δχημα δέν παίρνει άμεσως δλη τήν ταχύτητά του ἀλλά ἀντιδρᾶ στήν ὥθηση. Γί' αὐτό ἀρχίζει νά κινεῖται μέ μικρή ταχύτητα πού μεγαλώνει σιγά - σιγά.

'Αντίθετα, ὅταν τό δχημα κινεῖται, τείνει νά ἔξακολουθήσει τήν κίνησή του ἀν ἐπιδράσει ἐπάνω του μιά ἀντίθετη δύναμη. Τό δχημα δέν σταματᾶ ἀπότομα, ἀλλά ἐπιβραδύνεται σιγά - σιγά, μέχρι πού θά σταματήσει τελείως μετά ἀπό κάποιο χρόνο.

'Η συμπεριφορά αὐτή τοῦ δχήματος και γενικά κάθε σώματος, δφείλεται στήν ιδιότητα τῆς ἀδράνειας πού ἔχουν ὅλα τά ύλικά σώματα. Λόγω τῆς ἀδράνειας τά ύλικά σώματα ἀντιτίθενται σέ κάθε μεταβολή τῆς ταχύτητάς τους.

'Επίσης είναι γνωστό ὅτι ἔνα μέρος ἀπό τό ἔργο πού κάνει ή δύναμη πού θέτει τό δχημα σέ κίνηση, ἀποταμιεύεται σ' αὐτό ὡς **κινητική ἐνέργεια**. Χάρη σ' αὐτήν τό δχημα μπορεῖ νά ἔξακολουθήσει τήν κίνησή του γιά κάποιο διάστημα ὅταν ἐπιδράσει σ' αὐτό ἀντίθετη δύναμη.

Στά ήλεκτρικά κυκλώματα ή ήλεκτρεγερτική δύναμη, πού ἀναπτύσσεται ἀπό αὐτεπαγγή τή στιγμή πού κλείνομε τό κύκλωμα, ἔχει φορά ἀντίθετη ἀπό τή φορά τοῦ ρεύματος. 'Αποτέλεσμα αὐτοῦ είναι ή ἔνταση τοῦ ρεύματος νά αύξανεται σιγά - σιγά μέχρι νά φθάσει τήν κανονική της τιμή. Στό διάστημα αὐτό σχηματίζεται και τό μαγνητικό πεδίο γύρω ἀπό τό κύκλωμα.

Στό μαγνητικό πεδίο ἀποταμιεύεται ἔνα μέρος ἀπό τήν ἐνέργεια πού ἔδωσε ή πηγή. 'Αποδεικνύεται ὅτι ή **ἐνέργεια τοῦ μαγνητικοῦ πεδίου** δίνεται (σέ Τζούλ) ἀπό τή σχέση:

$$A = \frac{L \cdot I^2}{2} \quad \text{σέ J}$$

ὅπου: L ὁ συντελεστής αὐτεπαγγής τοῦ κυκλώματος σέ H,

I ἡ ἔνταση τοῦ ρεύματος πού διαρρέει τό κύκλωμα σέ A.

"Οταν ἀνοίξομε τό διακόπη τοῦ κυκλώματος και σταματήσει ή ἐπιδραση τῆς πηγῆς, ή ἔνταση τοῦ ρεύματος δέ διακόπεται ἀπότομα, ἀλλά ρέει γιά λίγο διάστημα, γιατί ή ἐνέργεια τοῦ μαγνητικοῦ πεδίου πού ἔξαφανίζεται, ἐπιστρέφει στό ήλεκτρικό κύκλωμα. 'Η ἐνέργεια αὐτή χάρη στήν ήλεκτρεγερτική δύναμη τῆς αὐτεπαγγής, πού τώρα ἔχει τήν ἴδια φορά μέ τό ρεύμα, συντηρεῖ γιά λίγο τό ήλεκτρικό ρεύμα και μετασχηματίζεται ἔτσι σέ ήλεκτρική ἐνέργεια πού τελικά γίνεται θερμότητα στήν ἀντίσταση τοῦ κυκλώματος και στό ήλεκτρικό τόξο πού μπορεῖ νά παραχθεῖ, ὅπως άναφέραμε.

Παράδειγμα.

Τά πηνία διεγέρσεως μιᾶς μικρῆς δυναμομηχανῆς ἔχουν συντελεστή αύτεπαγγῆς 11 Η καὶ ἀντίσταση 55 Ω. "Αν ύποθέσομε ὅτι ὁ συντελεστής αύτεπαγγῆς εἶναι σταθερός, πόσος χρόνος χρειάζεται, ἀφοῦ κλείσομε τό κύκλωμα, γιά νά πάρει τό ρεύμα τήν κανονική του τιμή; "Αν ἡ τάση τροφοδοτήσεως τῶν πηνίων εἶναι 220 V, πόση εἶναι ἡ ἐνέργεια πού ἀποταμιεύεται στό μαγνητικό πεδίο τῶν πόλων τῆς μηχανῆς;

Λύση:

"Η ἔνταση παίρνει τήν κανονική της τιμή σέ χρόνο:

$$5 \cdot \frac{L}{R} = 5 \times \frac{11}{55} = 1 \text{ s}$$

"Η τιμή τῆς ἐντάσεως εἶναι:

$$I = \frac{U}{R} = \frac{220}{55} = 4 \text{ A}$$

Συνεπῶς ἡ ἐνέργεια τοῦ μαγνητικοῦ πεδίου θά εἶναι:

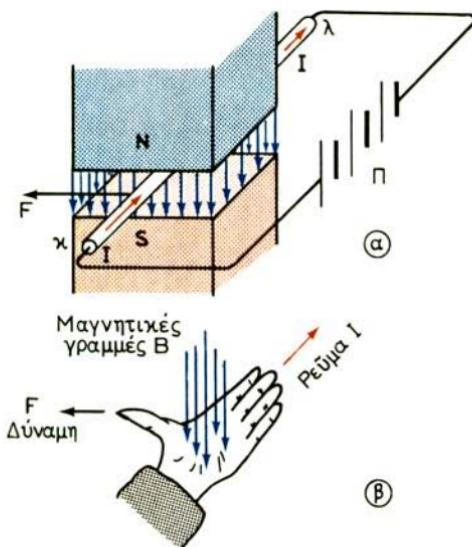
$$A = \frac{L \cdot I^2}{2} = \frac{11 \times 4^2}{2} = 88 \text{ J}$$

6.11 Δύναμη ἀσκούμενη σέ ρευματοφόρο ἀγωγό.

"Οταν ἔνας εὐθύγραμμος ἀγωγός βρίσκεται μέσα σέ ἔνα δμοιόμορφο μαγνητικό πεδίο, τοποθετημένος κάθετα πρός τίς μαγνητικές γραμμές καὶ διαρρέεται ἀπό συνεχές ρεῦμα, τότε στόν ἀγωγό ἀσκεῖται ἀπό τό μαγνητικό πεδίο μία δύναμη. "Η δύναμη αὐτή πού ὀνομάζεται **ἡλεκτρομαγνητική δύναμη**, ὀφείλεται στήν ἐπίδραση τοῦ μαγνητικοῦ πεδίου ἐπάνω στό μαγνητικό πεδίο πού δημιουργεῖ ὁ ρευματοφόρος ἀγωγός. "Η ἡλεκτρομαγνητική δύναμη τείνει νά μετακινήσει τό ρευματοφόρο ἀγωγό.

Στό σχῆμα 6.11a(a) τό δμοιόμορφο μαγνητικό πεδίο δημιουργεῖται μεταξύ τῶν πόλων ἐνός μαγνήτη. Τό εὐθύγραμμο τμῆμα κ - λ τοῦ ἀγωγοῦ πού εἶναι καὶ κάθετο στίς μαγνητικές γραμμές, διαρρέεται ἀπό ρεῦμα ἐντάσεως I πού δίνει μιά ἡλεκτρική πηγή Π.

"Η κατεύθυνση πού ἔχει ἡ ἡλεκτρομαγνητική δύναμη F ἔξαρτάται ἀπό τήν κατεύθυνση τῶν παραλλήλων μαγνητικῶν γραμμῶν τοῦ πεδίου καὶ ἀπό τή φορά τοῦ ρεύματος. "Η κατεύθυνση τῆς δυνάμεως F βρίσκεται μέ τόν κανόνα τοῦ **ἀριστεροῦ χεριοῦ**, πού λέει ὅτι: **"Αν τοποθετήσομε τό ἀριστερό χέρι ἔτσι, ὥστε οἱ μαγνητικές γραμμές νά κατευθύνον-**



Σχ. 6.11α.

α) Δύναμη άσκούμενη σε ρευματοφόρο άγωγό. β) Κανόνας του άριστερού χεριού.

ταὶ πρὸς τὴν παλάμη καὶ τὰ τέσσερα δάκτυλα νά δείχνουν τή φορά τοῦ ρεύματος, τότε ὁ τεντωμένος ἀντίχειρας δείχνει τήν κατεύθυνση τῆς δυνάμεως [σχ. 6.11α(β)].

"Αν άλλάξει ή φορά τοῦ ρεύματος πού διαρρέει τόν άγωγό, ή κατεύθυνση τῆς δυνάμεως άλλάζει. Ή κατεύθυνση άλλάζει έπισης ἂν άλλάξει ή πολικότητα τοῦ μαγνητικοῦ πεδίου, δηλαδή ή κατεύθυνση τῶν μαγνητικῶν γραμμῶν. "Αν άλλάξουν δῆμας καὶ τά δύο, δηλαδή καὶ ή φορά τοῦ ρεύματος καὶ ή πολικότητα τοῦ μαγνητικοῦ πεδίου, ή κατεύθυνση τῆς δυνάμεως δέν άλλάζει. Τήν ἀσθέτια δὲλων αὐτῶν εἶναι εὔκολο νά διαπιστώσομε μέ τή βοήθεια τοῦ κανόνα τοῦ άριστερού χεριού. Παραστατικά οἱ περιπτώσεις πού ἀναφέραμε φαίνονται στό σχῆμα 6.11β.

Τό μέγεθος τῆς δυνάμεως πού άσκεῖται στόν άγωγό δίνεται (σέ νιούτον) ἀπό τήν ἀκόλουθη σχέση:

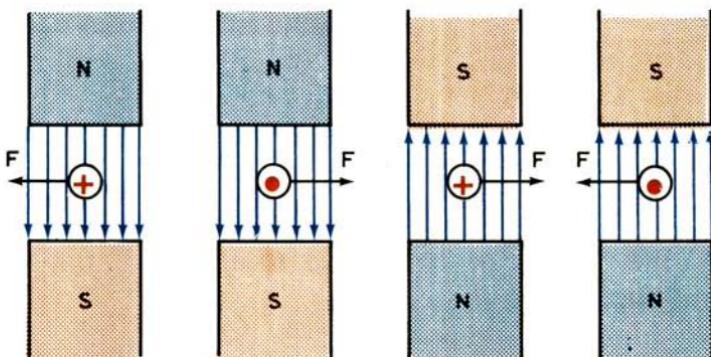
$$F = B \cdot I \cdot l \quad \text{σέ } N$$

ὅπου: B ή μαγνητική ἐπαγωγή τοῦ ὅμοιόμορφου πεδίου σέ T ,

I ή ἔνταση τοῦ ρεύματος μέσα ἀπό τόν άγωγό σέ A ,

l τό μῆκος τοῦ άγωγοῦ πού βρίσκεται μέσα στό μαγνητικό πεδίο σέ m .

Δύναμη άσκεῖται στόν άγωγό καὶ ὅταν αὐτός δέν εἶναι κάθετα τοποθετημένος πρός τίς μαγνητικές γραμμές τοῦ ὅμοιόμορφου μαγνητικοῦ



Σχ. 6.11β.

Κατεύθυνση τῆς δυνάμεως σέ ρευματοφόρο άγωγό.

πεδίου, όταν δηλαδή σχηματίζει μέ αυτές γωνία μικρότερη από 90° . Στήν περίπτωση ζημιάς αυτή τό μέγεθος τῆς δυνάμεως είναι μικρότερο από αυτό πού δίνει ο παραπάνω τύπος. "Όταν ο άγωγός είναι παράλληλος στίς μαγνητικές γραμμές, καμιά δύναμη δέν άσκειται σ' αύτόν από τό μαγνητικό πεδίο.

Τέλος ήλεκτρομαγνητικές δυνάμεις άσκοῦνται καί σέ μή εύθυγραμμους ρευματοφόρους άγωγούς όταν βρίσκονται μέσα σέ μαγνητικά πεδία. Στίς περιπτώσεις αυτές ο ύπολογισμός τῶν δυνάμεων δέν είναι τόσο άπλος όπως στούς εύθυγραμμους άγωγούς.

Παράδειγμα.

Νά βρεθεῖ ποιά δύναμη άσκειται σέ άγωγό μήκους 0,4 m πού βρίσκεται τοποθετημένος κάθετα πρός τίς μαγνητικές γραμμές μέσα σέ ένα δμοιόμορφο μαγνητικό πεδίο μαγνητικής έπαγωγῆς 0,9 T. Ο άγωγός διαρρέται άπό ένταση ρεύματος 20 A.

Λύση:

$$\text{Εἶναι: } F = B \cdot I \cdot l = 0,9 \times 20 \times 0,4 = 7,2 \text{ N}$$

6.12 Η άρχη λειτουργίας τῶν ήλεκτροκινητήρων.

Η λειτουργία τῶν ήλεκτροκινητήρων βασίζεται στό φαινόμενο πού περιγράψαμε στήν προηγούμενη παράγραφο, δηλαδή στήν άσκηση ή-λεκτρομαγνητικῶν δυνάμεων έπάνω στούς ρευματοφόρους άγωγούς πού βρίσκονται μέσα σέ μαγνητικά πεδία. Γι' αύτό τό φαινόμενο αύτό ονομάζεται καί **φαινόμενο κινητήρα**.

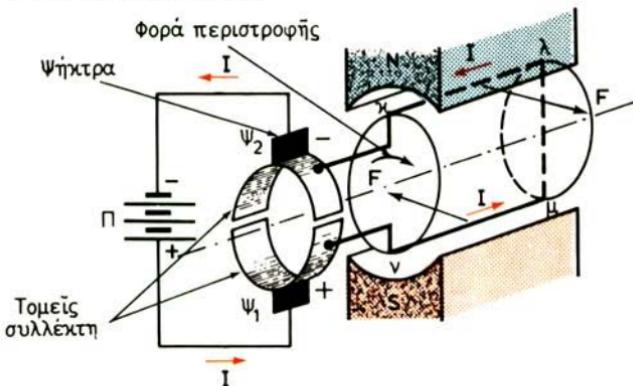
Έδω θά έξετάσομε σύντομα τήν άρχη λειτουργίας τῶν κινητήρων

συνεχούς ρεύματος (σχ. 6.12). Γιά τούς κινητήρες έναλλασσόμενου ρεύματος ή άρχη τῆς λειτουργίας τους θά έξηγηθεῖ στό μάθημα τῶν Ἡλεκτρικῶν Μηχανῶν.

"Οπως εἴπαμε καί γιά τίς γεννήτριες (παράγρ. 6.3), τό μαγνητικό πεδίο τῶν κινητήρων συνεχούς ρεύματος δημιουργεῖται άπό τά πηνία τῶν πόλων πού τροφοδοτοῦνται άπό μία ήλεκτρική πηγή, δημοσιεύεται στό σχήμα 5.12ε.

Μέσα στά αύλακια τῶν δόδοντώσεων πάνω στό τύμπανο τοῦ κινητήρα είναι τοποθετημένοι άγωγοί οι διόποι άνά δύο σχηματίζουν σπείρες, όπως τίς περιγράψαμε γιά τίς γεννήτριες στήν παράγραφο 6.3 (σχ. 6.3α). Στούς κινητήρες συνεχούς ρεύματος ζημιάς οι σπείρες αύτές τροφοδοτοῦνται μέ συνεχές ρεῦμα άπό μια πηγή, πού συνήθως είναι ή ίδια πού τροφοδοτεῖ καί τά πηνία διεγέρσεως τῆς μηχανῆς.

Αύτό γίνεται μέ τή βοήθεια τοῦ **συλλέκτη** καί τῶν ψηκτρῶν. Ό συλλέκτης πού είναι στερεωμένος στό δέκονα τοῦ τυμπάνου τῆς μηχανῆς, έπιτρέπει τήν τροφοδότηση τῶν σπειρών καί τήν έλευθερη περιστροφή τοῦ τυμπάνου. Στήν περίπτωση τῆς άπλης μηχανῆς τοῦ σχήματος 6.12 δ συλλέκτης άποτελείται άπό δύο μεταλλικούς **τομεῖς**, πού είναι μονωμένοι μεταξύ τους. Οι πραγματικοί συλλέκτες άποτελοῦνται άπό πολύ περισσότερους τομεῖς.



Σχ. 6.12.
'Απλός κινητήρας συνεχούς ρεύματος.

Συνεπώς στήν άπλη μηχανή τοῦ σχήματος 6.12 ξήρωμε τούς δύο άγωγούς τῆς σπείρας πού διαρρέονται άπό ήλεκτρικό ρεῦμα καί βρίσκονται μέσα στό μαγνητικό πεδίο τῆς μηχανῆς καί μάλιστα κάθετα πρός τίς μαγνητικές γραμμές του. Στούς άγωγούς αύτούς άσκοῦνται, δημοσιεύεται στήν προηγούμενη παράγραφο, ήλεκτρομαγνητικές δυνάμεις F δημοσιεύεται στό σχήμα. Οι δυνάμεις αύτές άσκοῦν μιά **ροπή** στό έπαγωγικό τύμπανο τοῦ κινητήρα πού τό θέτουν έτσι σέ περιστροφική κίνηση.

Είναι εύκολο νά διαπιστώσει κανείς ότι χάρη στό συλλέκτη καί όταν ό όγωγός κ - λ βρεθεί άπεναντι άπο τό νότιο πόλο, καί συνεπώς δ ν - μ άπεναντι άπο τό βόρειο πόλο, πάλι ή φορά τής άσκούμενης άπο τίς δυνάμεις ροπῆς θά είναι ή ίδια. Δηλαδή ό κινητήρας θά περιστρέφεται πάντα κατά τήν ίδια φορά.

Στούς πραγματικούς κινητήρες τό τύλιγμα τοῦ έπαγωγικοῦ τυμπάνου έχει πολλές σπείρες τῶν όποιων τά άκρα συνδέονται σέ τομεῖς τοῦ συλλέκτη. "Ετσι, έπιτυχάνεται, ώστε οἱ ροπές δλων τῶν σπειρῶν νά προστίθενται καί ό κινητήρας νά έχει τήν άπαιτούμενη ίσχύ, γιά νά κινεῖ τό φορτίο γιά τό όποιο προορίζεται.

Τό μέγεθος τῆς ροπῆς τ πού άσκει κάθε σπείρα στό τύμπανο δίνεται άπο τή σχέση:

$$\tau = 2 \cdot F \cdot r \quad \text{σέ N . m}$$

ὅπου: F ή δύναμη πού άσκείται σέ κάθε άγωγό τῆς σπείρας τή θεωρούμενη σπιγμή σέ N ,

r ή άκτινα τοῦ έπαγωγικοῦ τυμπάνου σέ m .

"Αν λάβομε ύπόψη όσα είπαμε στήν προηγούμενη παράγραφο, γιά τό μέγεθος τῆς δυνάμεως F , έχομε:

$$\tau = 2 \cdot B \cdot I \cdot l \cdot r \quad \text{σέ N . m}$$

ὅπου: B είναι ή μαγνητική έπαγωγή στό σημεῖο τοῦ διακένου πού βρίσκεται ή σπείρα τή θεωρούμενη σπιγμή σέ T ,

I ή ένταση τοῦ ρεύματος πού τή διαρρέει σέ A ,

l καί r τό μήκος καί ή άκτινα τοῦ τυμπάνου σέ m .

Παράδειγμα.

Πόση ροπή άσκείται στό έπαγωγικό τύμπανο τοῦ ήλεκτροκινητήρα τή σπιγμή πού δείχνει τό σχήμα 6.12 ἀν δεχθοῦμε ότι ή μαγνητική έπαγωγή στό διάκενο είναι $1 T$; Ή ένταση τοῦ ρεύματος μέσα άπο τούς άγωγούς τοῦ έπαγωγικοῦ τυμπάνου είναι $10 A$. Τό μήκος τοῦ τυμπάνου είναι $25 cm$ καί ή άκτινα του $15 cm$.

Λύση:

Η ροπή πού άσκει ή σπείρα είναι:

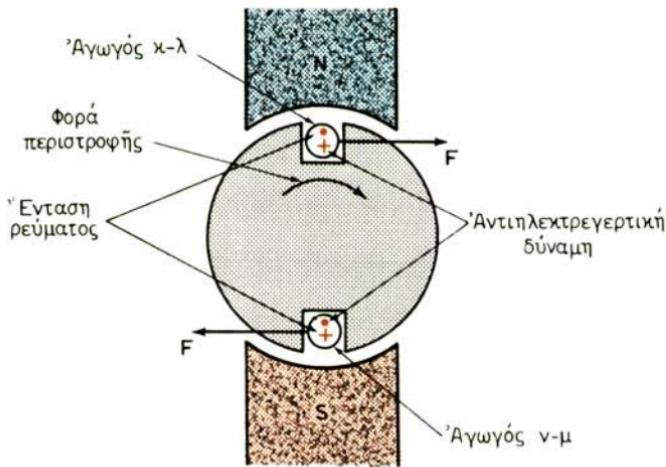
$$\tau = 2 \cdot B \cdot I \cdot l \cdot r = 2 \times 1 \times 10 \times 0,25 \times 0,15 = 0,75 N . m ,$$

6.13 Ήλεκτρομαγνητικές δυνάμεις και έπαγωγή.

6.13.1 Αντιηλεκτρεγερτική δύναμη κινητήρα.

"Οπως ειδαμε, όταν στούς άγωγούς τοῦ έπαγωγικοῦ τυμπάνου τοῦ κινητήρα περάσει συνεχές ήλεκτρικό ρεῦμα, τό τύμπανο θά άρχισει νά περιστρέφεται. Γνωρίζομε όμως, άπό όσα άναφέραμε στήν παράγραφο 6.2, ότι στούς κινούμενους μέσα στό μαγνητικό πεδίο άγωγούς δημιουργούνται ήλεκτρεγερτικές δυνάμεις άπό έπαγωγή. Αύτό συμβαίνει και στούς άγωγούς τοῦ περιστρεφόμενου έπαγωγικοῦ τυμπάνου τῶν κινητήρων.

Στό σχήμα 6.13α φαίνονται, σέ τομή κάθετη πρός τόν αξονα, οι δύο άγωγοί $\kappa - \lambda$, $v - \mu$ τῆς σπείρας τοῦ άπλού κινητήρα τοῦ σχήματος 6.12. "Έχει έπισης σημειωθεῖ μέ τά γνωστά σύμβολα ή φορά πού έχει ή ένταση τοῦ ήλεκτρικοῦ ρεύματος πού τούς διαρρέει. Γιά τή σημειούμενη φορά περιστροφῆς (πού δημιουργούν οι δυνάμεις F) έχομε άναπτυξη ήλεκτρεγερτικῶν δυνάμεων, τῶν όποιων ή φορά είναι αὐτή πού σημειώνεται στό σχήμα 6.13α.



Σχ. 6.13α.
Αντιηλεκτρεγερτική δύναμη κινητήρα.

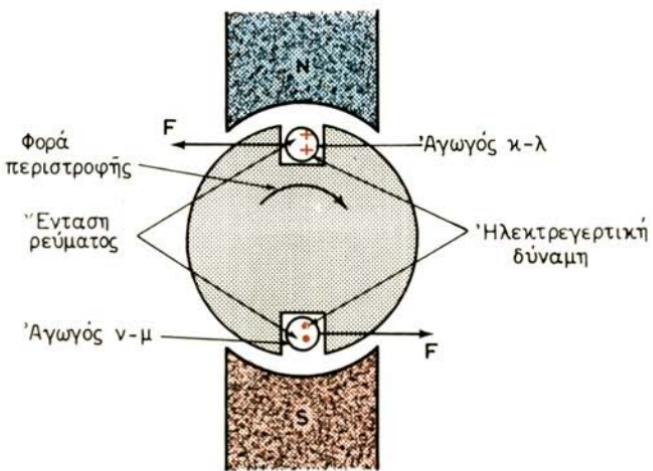
Παρατηροῦμε ότι η ήλεκτρεγερτική δύναμη πού άναπτύσσεται στήν περιστρεφόμενη σπείρα τοῦ κινητήρα, έχει φορά άντιθετη άπό τή φορά πού έχει ή ένταση τοῦ ρεύματος πού κυκλοφορεῖ μέσα σέ αύτή. Δηλαδή ή τάση τῆς πηγῆς πού τροφοδοτεῖ τόν κινητήρα πρέπει νά ύπερνικήσει αύτή τήν άντιθετη ήλεκτρεγερτική δύναμη γιά νά μπορέσει νά κυκλοφορήσει τό ρεῦμα στούς άγωγούς. Αύτός είναι ο λόγος πού τήν ο

νομάζομε **ἀντιλεκτρεγερτική δύναμη** τοῦ κινητήρα ὅπως ἀναφέραμε καὶ στήν παράγραφο 3.11.

Ἐπίσης σημειώνομε ὅτι τώρα μπορεῖ νά ἔξηγηθεῖ αὐτό πού ἐπίσης ἀναφέραμε στήν παράγραφο 3.11, ὅτι δηλαδή ἡ ἀντιλεκτρεγερτική δύναμη ἔξαρτᾶται ἀπό τήν ταχύτητα περιστροφῆς τοῦ κινητήρα, ἀφοῦ πρόκειται γιὰ ἡλεκτρεγερτική δύναμη πού δημιουργεῖται μέσα σὲ κινούμενους ἀγωγούς (παράγρ. 6.2).

6.13.2 Δυνάμεις πεδήσεως στίς γεννήτριες.

Στήν προηγούμενη παράγραφο διαπιστώσαμε ὅτι κατά τή λειτουργία τῶν ἡλεκτρικῶν κινητήρων ἀναπτύσσεται καὶ τό φαινόμενο γεννήτριας. Μέ τή βοήθεια τοῦ σχήματος 6.13β μποροῦμε νά διαπιστώσομε ὅτι ἀληθεύει καὶ τό ἀντίστροφο. Δηλαδή ὅτι καὶ στίς γεννήτριες, ὅταν λειτουργοῦν τροφοδοτώντας ἔνα φορτίο, ἐμφανίζεται τό φαινόμενο κινητήρα.



Σχ. 6.13β.
Δυνάμεις πεδήσεως σὲ γεννήτρια.

Τό σχῆμα 6.13β παριστάνει τήν ἀπλή γεννήτρια τοῦ σχήματος 6.3δ(α) σέ τομή κάθετη πρός τόν ἄξονα. Στούς ἀγωγούς $n - \lambda$ καὶ $v - \mu$ ἔχει σημειωθεῖ ἡ φορά τῆς ἡλεκτρεγερτικῆς δυνάμεως τῆς γεννήτριας τήν στιγμή πού παριστάνει τό σχῆμα. "Ἄν στή γεννήτρια εἶναι συνδεμένο ἔνα ἔξωτερικό φορτίο, μέσα ἀπό τούς ἀγωγούς θά περάσει μιά ἑνταση ρεύματος πού θά ἔχει τήν ἴδια φορά μέ τήν ἡλεκτρεγερτική δύναμη. Ἐχομε λοιπόν καὶ ἔδω ρευματοφόρους ἀγωγούς πού βρίσκονται μέσα

σέ μαγνητικό πεδίο καί συνεπώς θά έχομε άνάπτυξη ήλεκτρομαγνητικών δυνάμεων F , όπως έχουν σημειωθεί στό σχήμα.

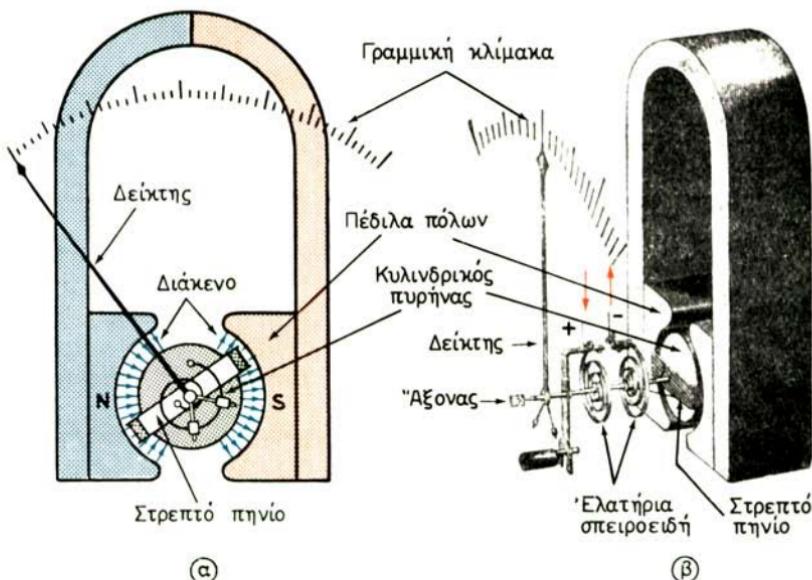
Παρατηροῦμε ότι οι δυνάμεις αύτές δημιουργοῦν μιά ροπή που έχει φορά άντιθετη από τή φορά περιστροφῆς τῆς γεννήτριας. Είναι δηλαδή **δυνάμεις πεδήσεως** τῆς γεννήτριας. Αύτή τήν άντιθετη ροπή θά πρέπει νά τήν υπερνικήσει ή κινητήρια μηχανή που κινεῖ τή γεννήτρια. "Οσο μεγαλύτερη είναι ή ένταση φορτίσεως τῆς γεννήτριας τόσο μεγαλύτερη είναι ή ροπή που θά πρέπει νά δίνει ή κινητήρια μηχανή, γιά νά ύπερνικά τήν άντιθετη ροπή.

'Από τά παραπάνω καταλαβαίνομε ότι τήν ένέργεια που μᾶς δίνει ή γεννήτρια μέ τό ήλεκτρικό ρεύμα που παράγει (ήλεκτρική ένέργεια) τήν παίρνει ώς κινητική ένέργεια άπο τήν κινητήρια μηχανή.

6.14 Τά δργανα μετρήσεως μέ στρεπτό πηνίο.

Μιά άλλη ένδιαφέρουσα έφαρμογή, που βασίζεται στίς δυνάμεις που άσκουνται από τό μαγνητικό πεδίο σέ ρευματοφόρους άγωγούς έχομε στά **δργανα μετρήσεως** (άμπερόμετρα, βολτόμετρα, γαλβανόμετρα) που όνομάζονται **μέ στρεπτό πηνίο ή μέ κινητό πλαίσιο**.

Τά δργανα αύτά άποτελούνται από έναν ίσχυρό μόνιμο μαγνήτη σέ σχήμα πετάλου, ό δοποιος έχει **πέδιλα πόλων** πού σχηματίζουν μιά κυλινδρική κοιλότητα (σχ. 6.14). Στήν κοιλότητα αύτή είναι στερεωμένος



Σχ. 6.14.

α) Σχηματική παράσταση τοῦ δργάνου. β) "Όργανο μετρήσεως μέ στρεπτό πηνίο.

ένας κυλινδρικός πυρήνας από μαλακό σίδηρο, ό διποιος είναι έτσι τοποθετημένος, ώστε νά μένει ένα διάκενο άέρα μεταξύ αυτοῦ καί τῶν πεδίλων τοῦ μαγνήτη.

“Ενα μικρό πηνίο, τοῦ διποίου οι σπεῖρες έχουν περιτυλιχθεῖ έπάνω σέ ένα έλαφρό πλαίσιο από άλουμινιο, βρίσκεται στό διάκενο τῶν πόλων καί τοῦ κυλινδρικοῦ σιδερένιου πυρήνα. Τό πηνίο αὐτό μπορεῖ νά στραφεῖ, καθώς τό πλαίσιο είναι στερεωμένο έπάνω σέ έναν ξένον, γι' αὐτό καί τά οργανα αύτά όνομάζονται οργανα μέ στρεπτό πηνίο.

Τά δύο σπειροειδή έλατηρια πού φαίνονται στό σχῆμα 6.14 χρησιμεύουν γιά δύο σκοπούς. Νά δόηγοῦν τό ήλεκτρικό ρεῦμα πού θέλομε νά μετρήσομε μέσα από τό πηνίο καί νά δίνουν τήν άπαιτούμενη **άντιτιθέμενη ροπή** οπως θά δοῦμε παρακάτω. Ό δείκτης τοῦ οργάνου είναι στερεωμένος στόν ίδιο ξένον μέ τό στρεπτό πηνίο.

Ο μόνιμος μαγνήτης δημιουργεῖ στό διάκενο ένα ίσχυρό μαγνητικό πεδίο τοῦ διποίου οι μαγνητικές γραμμές διευθύνονται άκτινωτά οπως φαίνεται στό σχῆμα 6.14(β). Έτσι τό μέγεθος τής μαγνητικῆς έπαγγηγῆς είναι τό ίδιο σέ δλα τά σημεία τοῦ διακένου.

“Οταν τό πηνίο διαρρέεται από ρεῦμα, από τίς δυνάμεις πού άσκεῖ τό μαγνητικό πεδίο έπάνω στούς άγωγούς τοῦ πηνίου πού βρίσκονται μέσα σ' αύτό, δημιουργεῖται μιά ροπή. Ή ροπή αύτή, έπειδή ή μαγνητική έπαγγηγή είναι σταθερή σέ δλα τά σημεία τοῦ διακένου, είναι άνάλογη πρός τήν ένταση I πού διαρρέει τό πηνίο καί πού είναι ή ένταση πού θέλομε νά μετρήσει τό οργανο. Σημειώνομε μάλιστα ότι καί δταν ένα τέτοιο οργανο χρησιμοποιεῖται σάν βολτόμετρο, πάλι μετρά κάποια ένταση πού περνᾶ μέσα από τό πηνίο του, ή διποία ζμως ένταση είναι στήν περίπτωση αύτή άνάλογη πρός τήν τάση πού θέλομε νά μετρήσομε.

‘Υπό τήν έπιδραση τής ροπής αύτῆς τό πηνίο στρέφεται κατά μιά γωνία α σχετικά μέ τή θέση πού είχε δταν δέν περνοῦσε ρεῦμα μέσα από αύτό. Στή στροφή αύτή τοῦ πηνίου άντιτίθεται ή ροπή τῶν έλατηριών, πού οπως είναι γνωστό είναι άνάλογη μέ τή γωνία α.

Μέ βάση τά στοιχεία πού άναφέραμε παραπάνω ή άναλυτική έξέταση τοῦ θέματος δόηγει στό συμπέρασμα ότι ή ένταση πού περνᾶ μέσα από τό πηνίο είναι άνάλογη μέ τή γωνία α στροφής τοῦ πλαισίου τοῦ οργάνου καί συνεπώς καί τοῦ δείκτη του. Έτσι ή κλίμακα τοῦ οργάνου είναι μοιρασμένη σέ ίσαπέχουσες ύποδιαιρέσεις, οπως φαίνεται καί στό σχῆμα 6.14, δηλαδή έχομε οπως λέμε, **κλίμακα γραμμική**.

Τά οργανα μέ στρεπτό πηνίο είναι δυνατό νά χρησιμοποιηθοῦν γιά μετρήσεις έντάσεων ή τάσεων μόνο στό συνεχές ρεῦμα καί μάλιστα μέ άρισμένη φορά τής έντάσεως τοῦ ρεύματος μέσα από αύτά. Γι' αύτό τό λόγο στούς άκροδέκτες τῶν οργάνων οι κατασκευαστές σημειώνουν τίς ένδείξεις (+) καί (-), οπως άναφέραμε καί στίς παραγράφους 1.7 καί 2.5. Άντιθετη φορά τοῦ ρεύματος δημιουργεῖ ροπή πού τείνει νά κινή-

σει άναποδά τό δείκτη τού όργανου (άριστερά τοῦ μηδέν τῆς κλίμακας).

Αύτός είναι ό λόγος πού τά όργανα μέ στρεπτό πηνίο δέν μπορούν νά χρησιμοποιηθούν στό έναλλασσόμενο ρεῦμα, στό δοποίο ή φορά τοῦ ρεύματος άναστρέφεται κάθε μισή περίοδο. Γιά νά χρησιμοποιηθούν σέ όρισμένες περιπτώσεις στό ρεῦμα αύτό, συνδυάζονται μέ άνορθωτικά στοιχεῖα, όπως θά δοῦμε όταν θά μιλήσομε γιά τή μέτρηση τῆς τάσεως και τῆς έντασεως στό έναλλασσόμενο ρεῦμα.

6.15 Δυνάμεις μεταξύ ρευματοφόρων άγωγῶν.

Ήλεκτρομαγνητικές δυνάμεις άσκοῦνται και μεταξύ δύο άγωγῶν πού διαρρέονται από ήλεκτρικό ρεῦμα. Οι δυνάμεις αύτές διφείλονται στήν έπιδραση τοῦ μαγνητικοῦ πεδίου πού δημιουργεῖ ό ένας άγωγός στό μαγνητικό πεδίο τοῦ άλλου.

Ίδιαίτερα θά έξετάσομε τήν περίπτωση δύο παραλλήλων άγωγῶν πού βρίσκονται σέ μία άπόσταση α μεταξύ τους και διαρρέονται από ήλεκτρικά ρεύματα έντασεως I_1 , ό ένας και I_2 ό άλλος. Τά ρεύματα μπορεῖ νά είναι άντιθετης φορᾶς [σχ. 6.15α (α)] ή τής ίδιας φορᾶς [σχ. 6.15β (α)]. Στά σχήματα 6.15α (β) και 6.15β (β) φαίνονται σέ τομή κάθετη πρός τούς άγωγούς, άντιστοιχα τά συνιστάμενα μαγνητικά πεδία πού δημιουργούνται από τούς δύο ρευματοφόρους άγωγούς.

Άποδεικνύεται εύκολα ότι, όταν τό ρεῦμα μέσα στούς δύο παραλλήλους άγωγούς είναι άντιθετης φορᾶς, οι άγωγοί άπωθοῦνται (σχ. 6.15α). "Όταν τό ρεῦμα είναι τής ίδιας φορᾶς, οι άγωγοί έλκονται (σχ. 6.15β). Ή δύναμη και στίς δύο περιπτώσεις έχει τό ίδιο μέγεθος και δίνεται γιά ένα μήκος l τῶν παραλλήλων άγωγῶν από τή σχέση:

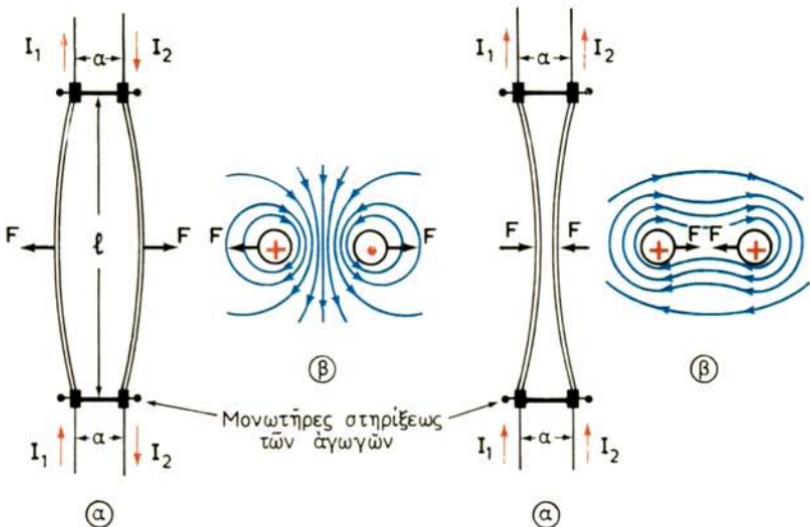
$$F = \frac{I_1 \cdot I_2 \cdot l}{5 \times 10^6 \times a} \quad \text{σέ N}$$

ὅπου: I_1 , και I_2 οι έντασεις τῶν δύο παραλλήλων άγωγῶν σέ A,

l τό μήκος τους σέ m,

a ή μεταξύ τους άπόσταση σέ m.

Ή δύναμη αύτή συνήθως είναι μικρή. Στίς περιπτώσεις δύμας πού μέσα από τούς άγωγούς περνούν έξαιρετικά μεγάλες έντασεις, όπως είναι στά βραχυκυκλώματα, τότε οι δυνάμεις είναι σημαντικές. Τέτοιες σημαντικές δυνάμεις σέ περιπτώσεις βραχυκυκλωμάτων έμφανίζονται μεταξύ ζυγῶν σέ μεγάλες έγκαταστάσεις, στίς κεφαλές (μετωπικές συνδέσεις) τῶν τυλιγμάτων μεγάλων ήλεκτρικῶν μηχανῶν και σέ πηνία μετασχηματιστῶν. Στίς περιπτώσεις αύτές οι δυνάμεις μπορεῖ νά προκαλέσουν ζημίες στά μηχανήματα ή τίς ήλεκτρικές έγκαταστάσεις.



Σχ. 6.15α.

α) Ρευματοφόροι άγωγοι μέρευματα αντίθετης φορᾶς. β) Τό μαγνητικό πεδίο τών δύο άγωγών.

Σχ. 6.15β.

α) Ρευματοφόροι άγωγοι μέρευματα ίδιας φορᾶς. β) Τό μαγνητικό πεδίο τών δύο άγωγών.

Παράδειγμα.

Ποιά δύναμη άσκείται μεταξύ δύο εύθυγράμμων ζυγών πού κατά τή διάρκεια βραχικυκλώματος διαρρέονται από ρεῦμα 20.000 A ;

Ο κάθε ζυγός έχει μῆκος $l = 3 \text{ m}$ και ή άπόσταση μεταξύ τους είναι 20 cm .

Λύση:

$$F = \frac{I_1 \cdot I_2 \cdot l}{5 \times 10^6 \times a} = \frac{20.000 \times 20.000 \times 3}{5 \times 10^6 \times 0,2} = 1200 \text{ N}$$

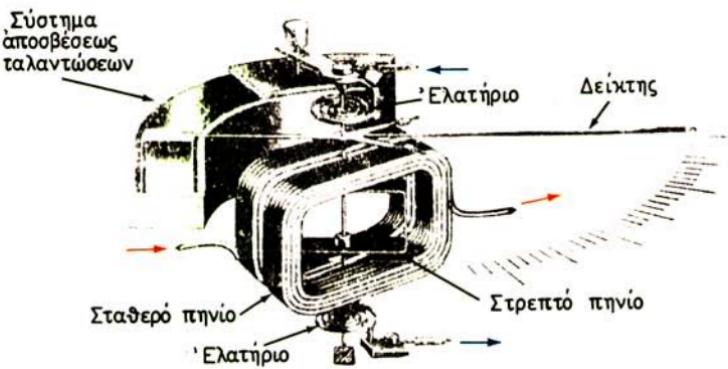
6.16 Ήλεκτροδυναμικά όργανα μετρήσεως.

Μιά ώφελιμη έφαρμογή τοῦ φαινομένου τῆς άναπτυξεως δυνάμεων μεταξύ ρευματοφόρων άγωγών άποτελοῦν τά όνομαζόμενα **ήλεκτροδυναμικά όργανα μετρήσεως**, τά όποια άναφέραμε καί στήν παράγραφο 4.5.1 όταν μιλήσαμε γιά τά βαττόμετρα.

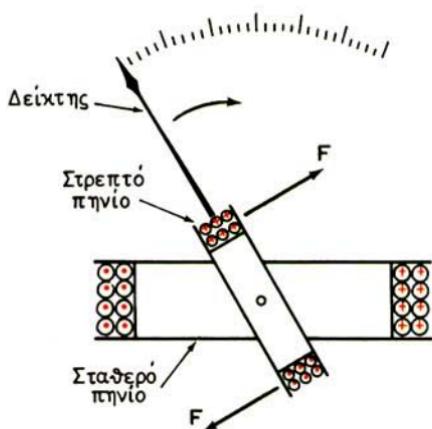
Όπως είδαμε τά όργανα αύτά έχουν δύο πηνία, ένα σταθερό πηνίο (έντάσεως) καί ένα κινητό πηνίο (τάσεως), στρεπτό γύρω άπο τόν ξε-

νά του, όπου είναι στερεωμένος καί ο δείκτης τοῦ όργανου (σχ. 6.16α). Τά πηνία, έχουν σχῆμα όρθιογωνικό, καί στήν κοιλότητα τοῦ σταθεροῦ πηνίου βρίσκεται τό κινητό πηνίο, ἔτσι, ώστε όταν αὐτό στρέφεται, οι κατακόρυφες πλευρές τους νά είναι πάντοτε παράλληλες.

Ρεύμα περνᾶ μέσα καί ἀπό τά δύο πηνία. Τό ρεύμα στό κινητό πηνίο διοχετεύεται μέ δύο σπειροειδή ἐλατήρια, ὅπως φαίνεται μέ τά μπλέ βέλη στό σχῆμα 6.16α. Τά ἐλατήρια αὐτά, ὅπως καί στά όργανα μέ στρεπτό πηνίο, δίνουν καί τήν ἀντιτιθέμενη ροπή.



Σχ. 6.16α.
Ήλεκτροδυναμικό όργανο μετρήσεων.



Σχ. 6.16β.
Σχηματική παράσταση ήλεκτροδυναμικού όργανου.

Σύμφωνα μέ δσα εἴπαμε στήν προηγούμενη παράγραφο, σέ κάθε κατακόρυφη πλευρά τοῦ στρεπτοῦ πηνίου ἀσκεῖται μιά δύναμη F μεταξύ τῶν ἀγωγῶν του καί τῶν ἀγωγῶν τοῦ σταθεροῦ πηνίου, πού ἔχει κατεύθυνση ὅπως φαίνεται στό σχῆμα 6.16β.

‘Η ροπή πού άσκοῦν στό κινητό πηνίο οι δυνάμεις αύτές, είναι άναλογη πρός τό γινόμενο τῶν ἐντάσεων τῶν δύο ρευμάτων πού περνοῦν μέσα από τά δύο πηνία.

‘Οταν μεταβάλλεται ή ἔνδειξη τοῦ ὅργανου, δείκτης του προτοῦ ισορροπήσει στή νέα του θέση κάνει μερικές ταλαντώσεις γύρω από τή θέση αύτή. Γιά νά άποφεύγονται οι ταλαντώσεις αύτές, τά ὅργανα ἔχουν κάποιο σύστημα **ἀποσθέσεως τῶν ταλαντώσεων** τοῦ δείκτη. Τό ὅργανο τοῦ σχήματος 6.16α ἔχει ἔνα τέτοιο σύστημα, τό διοποίηστε λείται από ἔνα θάλαμο μέσα στόν διοποίησται ἔνα πτερύγιο, πού είναι στερεωμένο σέ μιά προέκταση τοῦ δείκτη.

Τά ήλεκτροδυναμικά ὅργανα, πού είναι ὅργανα μετρήσεως χωρίς σιδερένιους πυρῆνες, χρησιμοποιούνται διπος αναφέραμε καί στήν παράγραφο 4.5 γιά τή μέτρηση τῆς Ισχύος. Μποροῦν νά χρησιμοποιηθοῦν τόσο στό συνεχές ὄσο καί στό ἐναλλασσόμενο ρεῦμα, γιατί ὅταν άναστρέψουμε ταυτόχρονα τή φορά τοῦ ρεύματος στά δύο πηνία, ή φορά τῆς ροπῆς τῶν δυνάμεων F δέν άλλάζει. Τά ὅργανα αύτά χρησιμοποιούνται ἐπίσης ως άμπερόμετρα καί βολτόμετρα ἐναλλασσόμενου καί συνεχοῦς ρεύματος, διπος θά δοῦμε στό ἐπόμενο κεφάλαιο πού θά μιλήσομε γιά τά ἐναλλασσόμενα ρεύματα.

6.17 Έρωτήσεις.

- Κάτω από ποιές συνθήκες ἀναπτύσσεται ήλεκτρεγερτική δύναμη από ἐπαγωγή σέ ἔναν εύθυγραμμό ἀγωγό; Ποιά σχέση δίνει τό μέγεθος αύτῆς τῆς ήλεκτρεγερτικῆς δυνάμεως;
- Τί λέει ὁ κανόνας τοῦ δεξιοῦ χεριοῦ γιά τή φορά τοῦ ρεύματος από ἐπαγωγή σέ ἔναν ἀγωγό πού κινεῖται μέσα σέ μαγνητικό πεδίο;
- Δικαιολόγησε μέ τόν κανόνα τοῦ δεξιοῦ χεριοῦ καί μέ ἔνα κατάλληλο σχῆμα, γιατί δέν άλλάζει ἡ φορά τοῦ ρεύματος μέσα στόν ἀγωγό, ὅταν άλλάζει καί ή κατεύθυνση κινήσεώς του καί ή κατεύθυνση τῶν μαγνητικῶν γραμμῶν.
- Ποῦ στηρίζεται ἡ ἀρχή λειτουργίας τῶν γεννητριῶν;
- Τί όνομάζομε δυναμομηχανές καί τίς μαγνητομηχανές;
- Δικαιολόγησε γιατί άθροιζονται οι ήλεκτρεγερτικές δυνάμεις πού δημιουργοῦνται από ἐπαγωγή μέσα στούς δύο ἀγωγούς μιᾶς σπείρας τοῦ ἐπαγωγικοῦ τυμπάνου μιᾶς γεννήτριας.
- Τί ήλεκτρεγερτική δύναμη ἀναπτύσσεται στίς περιστρεφόμενες σπείρες τοῦ ἐπαγωγικοῦ τυμπάνου τῶν γεννητριῶν; Δῶσε τή μορφή τῆς σχετικῆς καμπύλης.
- Πότε ἀναπτύσσεται ήλεκτρεγερτική δύναμη από ἐπαγωγή σέ ἔνα κύκλωμα;
- Ποιός κανόνας δίνει τή φορά τῆς ήλεκτρεγερτικῆς δυνάμεως από ἐπαγωγή καί τί λέει ὁ κανόνας αύτός;
- Νά δικαιολογήσεις ἐφαρμόζοντας τόν κανόνα τοῦ Λέντς, τή φορά τοῦ ἐπαγωγικοῦ ρεύματος σέ κάθε μία από τίς τέσσερις περιπτώσεις τοῦ σχήματος 6.4β.
- ‘Ενα πηνίο κινεῖται μέσα στό μαγνητικό πεδίο ἐνός μόνιμου μαγνήτη, ὥστε τό ἔνα ἄκρο του νά πλησιάζει πρός τόν ἔνα πόλο τοῦ μαγνήτη. Έξήγησε τί δυνάμεις θά ἀσκηθοῦν μεταξύ τοῦ μαγνητικοῦ πεδίου τοῦ μόνιμου μαγνήτη καί τοῦ μαγνητικοῦ πεδίου πού θά δημιουργήσει τό ρεῦμα από ἐπαγωγή στό πηνίο.
- Δῶσε ἔνα παράδειγμα ήλεκτρομαγνητικῆς ἐπαγωγῆς χωρίς κίνηση.

13. Έξήγησε μέ ενα παράδειγμα τί όνομάζομε μαγνητική σύζευξη. Πόσα είδη μαγνητικής συζεύξεως έχομε;
14. Νά περιγράψεις τή λειτουργία ένός πολλαπλασιαστή αύτοκινήτων.
15. Άπο τί έξαρτάται ή τιμή τής ήλεκτρεγερτικής δυνάμεως άπο έπαγωγή σε ενα κύκλωμα; Δώσε τό σχετικό τύπο.
16. Γιατί όταν έφαρμόσομε μιά έναλλασσόμενη τάση στά άκρα τού ένός πηνίου τού μετασχηματιστή, θά δημιουργηθεί έναλλασσόμενη ήλεκτρεγερτική δύναμη άπο έπαγωγή μέσα στό άλλο πηνίο του;
17. Τί όνομάζομε σχέση μεταφορᾶς ένός μετασχηματιστή; Μέ τί ισούται ό λόγος τών τάσεων τών δύο πηνίων τού μετασχηματιστή;
18. Ποιά είναι τά έπιζημια άποτελέσματα τών δινορρευμάτων;
19. Ποιά μέτρα παίρνομε γιά νά έλαττωσομε τά δινορρεύματα;
20. Έξήγησε πώς έμφανίζεται τό φαινόμενο τής αύτεπαγωγής σε ενα πηνίο πού διαρρέεται άπο ρεῦμα.
21. Σέ μια μεταβολή τής έντασεως τού ρεύματος πού περνά μέσα άπο ένα κύκλωμα πώς δρά ή ήλεκτρεγερτική δύναμη άπο αύτεπαγωγή;
22. Μέ τί ισούται ή ήλεκτρεγερτική δύναμη άπο αύτεπαγωγή;
23. Ποιά είναι ή μονάδα μετρήσεως τού συντελεστή αύτεπαγωγής και ποιά σχέση τή συνδέει μέ τίς άλλες μονάδες τού διεθνούς συστήματος;
24. Πόσο διαφέρουν οι συντελεστές αύτεπαγωγής ένός πηνίου χωρίς πυρήνα και οι της ίδιου πηνίου μέ πυρήνα άπο σιδηρομαγνητικό ύλικο; Στή δεύτερη περίπτωση ό συντελεστής αύτεπαγωγής έχει σταθερή τιμή;
25. Μπορούμε νά κατασκευάσσομε πηνίο χωρίς αύτεπαγωγή και πώς;
26. Ποιά είναι ή μορφή τής καμπύλης άποκαστάσεως τού ρεύματος σε ενα πηνίο πού τροφοδοτείται άπο μιά πηγή συνεχούς ρεύματος; Δικαιολόγησε σύντομα τή μορφή της.
27. Τί όνομάζομε σταθερά χρόνου ένός κυκλώματος και ποιά είναι ή σημασία της;
28. Ήδια έρωτηση μέ τήν 26 γιά τήν καμπύλη τού ρεύματος βραχυκυκλώσεως πηνίου.
29. Τί θά συμβεί και γιατί, άν σέ ένα κύκλωμα πού έχει μεγάλο συντελεστή αύτεπαγωγής άνοιξομε τό διακόπτη και διακόψωμε άπότομα τήν τροφοδότησή του άπο τήν πηγή συνεχούς ρεύματος;
30. Δώσε τό κύκλωμα τροφοδοτήσεως τής διεγέρσεως δυναμομηχανής και έξήγησε μέ ποιό τρόπο άποφεύγεται ή δημιουργία ήλεκτρικού τόξου κατά τή διακοπή τού κυκλώματος.
31. Έξήγησε γιατί ή αύτεπαγωγή τών κυκλωμάτων μπορεί νά θεωρηθεί άντιστοιχο φαινόμενο μέ τήν άδράνεια τών υλικών σωμάτων.
32. Πού πάει ή ένέργεια πού έχει τό μαγνητικό πεδίο ένός πηνίου πού διαρρέεται άπο συνεχές ρεῦμα, δταν διακόψωμε τήν τροφοδότησή του και έξαφανισθεί τό μαγνητικό πεδίο;
33. Πότε άσκείται ήλεκτρομαγνητική δύναμη σε ενα εύθυγραμμο άγωγό; Ποιά σχέση δίνει τό μέγεθος αύτης τής δυνάμεως;
34. Τί λέει ο κανόνας τού άριστερού χεριού γιά τήν κατεύθυνση τής ήλεκτρομαγνητικής δυνάμεως;
35. Δικαιολόγησε μέ τόν κανόνα τού άριστερού χεριού τίς τέσσερις περιπτώσεις τού σχήματος 6.11β.
36. Πού βασίζεται ή όρχή λειτουργίας τών ήλεκτροκινητήρων;
37. Ή ταυτόχρονη έκδήλωση τών φαινομένων τής ήλεκτρομαγνητικής έπαγωγής και τών ήλεκτρομαγνητικών δυνάμεων τί συνέπεια έχει στούς ήλεκτροκινητήρες και τί στίς ήλεκτρικές γεννήτριες;
38. Δικαιολόγησε έπάνω σε ενα σχήμα ένός άπλού κινητήρα μέ μιά σπέιρα στό τύμπανο.

- νο, γιατί ή ἀντιηλεκτρεγερτική δύναμη ἀντιτίθεται στήν τάση τροφοδοτήσεώς του.
39. Πού όφελονται οι ἡλεκτρομαγνητικές δυνάμεις πού ἀσκοῦνται μεταξύ ρευματοφόρων ἀγωγῶν; Ποιά εἶναι ή κατεύθυνση τῶν δυνάμεων αὐτῶν;
40. Νά δώσεις μερικά παραδείγματα όπου τά φαινόμενα τῶν ἡλεκτρομαγνητικῶν δυνάμεων βρίσκουν ὥφελιμες ἐφαρμογές καί μερικά όπου έχουν δυσάρεστες συνέπειες.

6.18 Προβλήματα.

1. "Ένας εύθυγραμμος ἀγωγός μήκους 30 cm (25 cm) κινεῖται μέσα σὲ ἔνα όμοιόμορφο μαγνητικό πεδίο μαγνητικῆς ἐπαγωγῆς 1 T (0,7 T) μέ ταχύτητα 10 m/s (8 m/s). "Αν ὁ ἀγωγός κόβει κάθετα τίς μαγνητικές γραμμές τοῦ πεδίου πόση εἶναι ή ἡλεκτρεγερτική δύναμη ἀπό ἐπαγωγή πού δημιουργεῖται σ' αὐτόν;

Απάντ. 3 V (1,4 V)

2. Πόση εἶναι ή μέγιστη τιμή τῆς ἡλεκτρεγερτικῆς δυνάμεως πού δημιουργεῖται ἀπό ἐπαγωγή μέσα σὲ μία σπείρα τοῦ τυλίγματος μᾶς γεννήτριας πού περιστρέφεται μέ ταχύτητα 25 στρ/s καί ἔχει μέγιστη τιμή τῆς μαγνητικῆς ἐπαγωγῆς στό διάκενο B = 1 T; Τό μῆκος τοῦ τυμπάνου εἶναι 0,5 m καί ἡ ἀκτίνα του 0,3 m.

Απάντ. 47,1 V

3. Νά βρεθεῖ ή μέση τιμή τῆς ἡλεκτρεγερτικῆς δυνάμεως πού ἀναπτύσσεται ἀπό ἐπαγωγή σὲ ἔνα πηνίο τό διάστημα 200 σπεῖρες, ὅταν ἡ μαγνητική ροή πού περνᾶ μέσα ἀπό κάθε σπείρα μεταβάλλεται κατά 0,001 Wb σέ χρόνο 1/50 s;

Απάντ. 10 V

4. "Ένα πηνίο ἔχει 100 τετράγωνες σπεῖρες διαστάσεων 0,2 m x 0,2 m. Τό πηνίο βρίσκεται μέσα σὲ όμοιόμορφο μαγνητικό πεδίο μέ τόν ἄξονά του παράλληλο πρός τίς μαγνητικές γραμμές τοῦ πεδίου. Ποιά εἶναι ή μέση τιμή τῆς ἡλεκτρεγερτικῆς δυνάμεως πού ἀναπτύσσεται ἀπό ἐπαγωγή στό πηνίο, ὅταν ἡ μαγνητική ἐπαγωγή τοῦ πεδίου μεταβάλλεται ἀπό 0,5 T σέ 0,9 T μέσα σέ χρόνο 1/25 s;

Απάντ. 40 V

5. Ποιός εἶναι ὁ ἀριθμός σπειρῶν N₁, ἐνός μετασχηματιστῆ, ὁ διάστημα στό οποίος στήνεται το πηνίο της λειτουργίας χωρίς φορτίο ὅταν τροφοδοτήθηκε μέ ἐναλλασσόμενο ρεύμα τάσεως U₁ = 20 V ἔδωσε U₂ = 100 V (μέγιστες τιμές); Ποιά εἶναι ή σχέση μεταφορᾶς τοῦ μετασχηματιστῆ αὐτοῦ;

Απάντ. N₁ = 200, K = 0,2 ή 1/5

6. Σέ ἔνα μονοφασικό μετασχηματιστή μετρήθηκαν οἱ ἀκόλουθες τά-

σεις $U_1 = 2800 \text{ V}$ και $U_2 = 220 \text{ V}$ (μέγιστες τιμές). "Αν είναι $N_2 = 52$ σπείρες πόσες σπείρες είναι τό N_1 ;

Απάντ. $N_1 = 662$

- 7.** Τό ρεύμα, πού περνᾶ μέσα από ένα πηνίο μέση συντελεστή αύτεπαγωγῆς $0,06 \text{ H}$, μεταβάλλεται από μηδέν σε $14,4 \text{ A}$ σε χρονικό διάστημα $0,02 \text{ s}$. Ποιά είναι ή μέση τιμή τής ήλεκτρεγερτικής δυνάμεως πού άναπτύσσεται από αύτεπαγωγή στό πηνίο;

Απάντ. $43,2 \text{ V}$

- 8.** Τό ρεύμα πού περνᾶ μέσα από ένα πηνίο μεταβάλλεται από 40 A σε 24 A σε χρονικό διάστημα $0,01 \text{ s}$. Στό πηνίο άναπτύσσεται τότε ήλεκτρεγερτική δύναμη από αύτεπαγωγή πού έχει μέση τιμή 48 V . Ποιός είναι δημόσια συντελεστής αύτεπαγωγῆς τοῦ πηνίου;

Απάντ. $0,03 \text{ H}$

- 9.** Ποιά είναι ή σταθερά χρόνου ένός πηνίου πού έχει συντελεστή αύτεπαγωγῆς $0,015 \text{ H}$ και άντίσταση 3Ω ;

Απάντ. $0,005 \text{ s}$

- 10.** Ό συντελεστής αύτεπαγωγῆς ένός πηνίου μέση σιδερένιο πυρήνα είναι $8,5 \text{ H}$ και ή άντίστασή του 17Ω . "Αν δημόσια συντελεστής αύτεπαγωγῆς είναι σταθερός πόσος χρόνος χρειάζεται γιά νά πάρει τό ρεύμα τροφοδοτήσεως τοῦ πηνίου: α) τά 63% , β) τά $99,3\%$ από τήν κανονική του τιμή;

Απάντ. α) $0,5 \text{ s}$, β) $2,5 \text{ s}$

- 11.** "Αν τό πηνίο τοῦ προβλήματος 10 τροφοδοτεῖται από μία συστοιχία συσσωρευτῶν τάσεως 34 V ποιές είναι οι άντίστοιχες τιμές τῶν έντασεων στούς χρόνους πού ύπολογίσθηκαν;

Απάντ. α) $1,26 \text{ A}$, β) $1,986 \text{ A}$

- 12.** Νά χαραχθεῖ ή καμπύλη τοῦ ρεύματος βραχυκυκλώσεως ένός πηνίου τό όποιο έχει σταθερό συντελεστή αύτεπαγωγῆς 10 H , άντίσταση 40Ω και τροφοδοτεῖται από πηγή συνεχοῦς ρεύματος 12 V .

Υπόδειξη: Νά χρησιμοποιηθοῦν τά ποσοστά τοῦ κανονικοῦ ρεύματος πού άναφέρονται στήν καμπύλη τοῦ σχήματος 6.10β . Οι χρόνοι στούς όποιους δίνονται τά ποσοστά αύτά νά μετατραποῦν και αύτοί σέ ποσοστά τής σταθερᾶς χρόνου τοῦ πηνίου τοῦ σχήματος 6.10β .

- 13.** Ποιά είναι ή ένέργεια πού έχει άποταμιευθεῖ στό μαγνητικό πεδίο



τῶν πόλων μιᾶς γεννήτριας συνεχοῦς ρεύματος, ἂν ὁ συντελεστής αὐτεπαγγῆς τους εἴναι 21 Η καί διαρρέονται ἀπό ρεῦμα πού ἔχει ἔνταση 0,8 A;

Απάντ. 6,72 J

- 14.** Μέσα σέ ἔνα μαγνητικό πεδίο μαγνητικῆς ἐπαγγαγῆς 0,5 T βρίσκεται ἔνας εὐθύγραμμος ἀγωγός μήκους 20 cm τοποθετημένος κάθετα πρός τίς μαγνητικές γραμμές. "Αν μέσα ἀπό τὸν ἀγωγό περνᾶ ἔνταση ρεύματος 10 A πόση εἴναι ἡ ἀσκούμενη σ' αὐτὸν δύναμη ἀπό τὸ μαγνητικό πεδίο;

Απάντ. 1 N

- 15.** Ἡ ἔνταση τοῦ ρεύματος πού περνᾶ μέσα ἀπό μιὰ σπείρα τοῦ τυλίγματος τοῦ ἐπαγγικοῦ τυμπάνου σέ ἔναν κινητήρα συνεχοῦς ρεύματος εἴναι 22 A. Πόση ροπή ἀσκεῖται ἀπό τή σπείρα αὐτή, ὅταν βρίσκεται σέ θέση δησού ἡ μαγνητική ἐπαγγαγή εἴναι 0,8 T; Τό μῆκος τοῦ τυμπάνου εἴναι 30 cm καί ἡ ἀκτίνα του 20 cm.

Απάντ. 2,112 N.m

- 16.** Νά βρεθεῖ τό μέγεθος τῆς δυνάμεως πού ἀσκεῖται σέ κάθε μέτρο μήκους μεταξύ δύο εὐθυγράμμων καί παραλλήλων ἀγωγῶν πού διαρρέονται ἀπό ρεῦμα ἐντάσεως 2000 A ὁ καθένας. Οἱ ἀγωγοί βρίσκονται σέ ἀπόσταση 2 cm μεταξύ τους.

Απάντ. 40 N/m

ΜΕΡΟΣ ΤΡΙΤΟ

ΕΝΑΛΛΑΣΣΟΜΕΝΑ ΡΕΥΜΑΤΑ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΕΒΔΟΜΟ

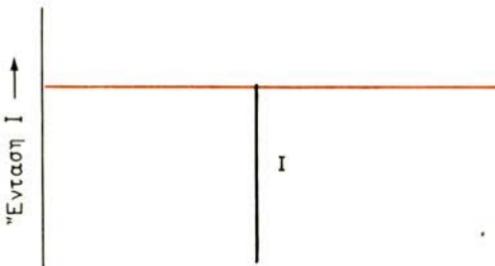
ΓΕΝΙΚΑ ΓΙΑ ΤΟ ΕΝΑΛΛΑΣΣΟΜΕΝΟ ΡΕΥΜΑ

7.1 Ήμιτονικό έναλλασσόμενο ρεύμα.

7.1.1 Η μορφή της καμπύλης.

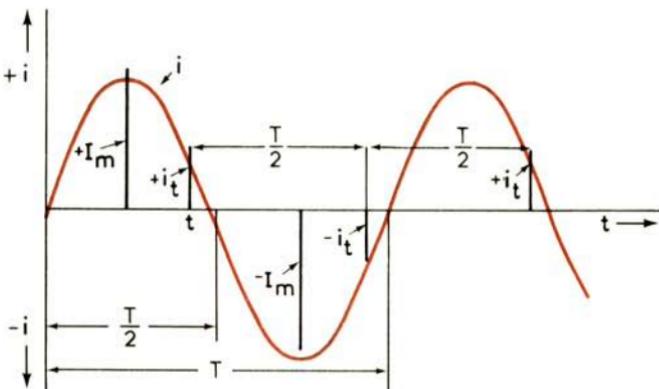
Στό πρώτο μέρος τοῦ βιβλίου αύτοῦ είχαμε μιλήσει γιά τό συνεχές ρεύμα. Είχαμε πεī (παράγρ. 2.2) ότι στό συνεχές ρεύμα τά ήλεκτρόνια κινοῦνται μέσα στόν άγωγό πρός τήν ίδια πάντοτε κατεύθυνση και μέσταθερή ταχύτητα ροῆς. Αύτό σημαίνει ότι ή ένταση I τοῦ ρεύματος πού περνᾶ μέσα άπό έναν καταναλωτή είναι σταθερή και δέ μεταβάλλεται άπό τή μιά στιγμή στήν άλλη.

"Ετσι σέ ένα διάγραμμα πού δείχνει τίς τιμές της έντασεως I σέ κάθε χρονική στιγμή t, τό συνεχές ρεύμα παριστάνεται μέ μιά εύθεια γραμμή παράλληλη πρός τόν ξόνα τῶν χρόνων (σχ. 7.1α). Μιά όμοια εύθεια παριστάνει και τήν τάση πού έπικρατεῖ στά άκρα τοῦ καταναλωτῆ.



Σχ. 7.1α.
Συνεχές ρεύμα.

Στό δεύτερο μέρος τοῦ βιβλίου καί στήν παράγραφο 6.3, έξηγήσαμε πώς παράγεται τό έναλλασσόμενο ρεῦμα. Εϊδαμε ἐκεῖ ὅτι στό έναλλασσόμενο ρεῦμα περιοδικά τό ρεῦμα, δηλαδή τά ήλεκτρόνια, διευθύνεται μέσα στούς ἀγωγούς πότε κατά τή μιά φορά καί πότε κατά τήν ἄλλη (σχ. 6.3δ). Ή **σπιγμαία τιμή** i, πού ἔχει κάθε **χρονική σπιγμή** t ή ἔνταση τοῦ ρεύματος δίνεται ἀπό μία καμπύλη σάν αὐτή τοῦ σχήματος 7.1β.



Σχ. 7.1β.

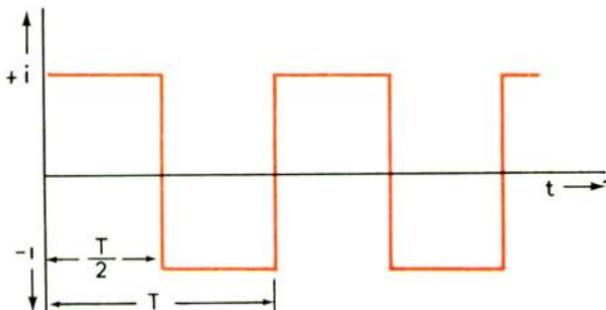
Μεταβολή τῆς ἔντασεως στό έναλλασσόμενο ρεῦμα.

Η μορφή τῆς καμπύλης αύτῆς εἶναι ὅμοια μέ τή μορφή τῆς καμπύλης τοῦ σχήματος 6.3γ, πού δείχνει τίς μεταβολές τῆς ήλεκτρεγερτικῆς δυνάμεως πού παράγει μιά γεννήτρια έναλλασσόμενου ρεύματος. "Οπως εἴχαμε ἐξηγήσει στήν παράγραφο 6.3 ή μορφή τῆς καμπύλης τῆς έναλλασσόμενης ήλεκτρεγερτικῆς δυνάμεως, δηλαδή τῆς τάσεως χωρίς φορτίο τῆς γεννήτριας, ἔχαρτάται ἀπό τό πῶς μεταβάλλεται ἡ τιμή τῆς μαγνητικῆς ἐπαγωγῆς στό διάκενο τῆς μηχανῆς (σχ. 6.3β).

Οι κατασκευαστές τῶν ήλεκτρικῶν μηχανῶν φροντίζουν νά κατασκευάζουν ἔται τό μαγνητικό κύκλωμα τῶν γεννητριῶν έναλλασσόμενου ρεύματος, ὥστε ἡ καμπύλη τοῦ ρεύματος πού δίνουν νά πλησιάζει ὅσο τό δυνατό περισσότερο αύτή πού δονομάζομε **ήμιτονική καμπύλη**. "Ετσι καί τό ἀντίστοιχο ρεῦμα δονομάζεται **ήμιτονικό έναλλασσόμενο ρεῦμα**.

Παρακάτω θά δοιμε πῶς μποροῦμε νά χαράξομε μέ ἀκρίβεια μιά ήμιτονική καμπύλη. Ἀναφέρομε ὅμως ὅτι έναλλασσόμενα ρεύματα ὑπάρχουν καί ἄλλα ἔκτος ἀπό τά ήμιτονικά, ὥστε π.χ. αὐτό πού παριστάνεται στό σχῆμα 7.1γ.

Μέ τά **μή ήμιτονικά έναλλασσόμενα ρεύματα** δέ θά ἀσχοληθοῦμε στό βιβλίο αὐτό. Στά συστήματα παραγωγῆς, μεταφορᾶς καί διανομῆς



Σχ. 7.1γ.

Μή ήμιτονικό έναλλασσόμενο ρεύμα.

τῆς ήλεκτρικῆς ένέργειας, πού μᾶς ένδιαφέρουν, χρησιμοποιούνται άποκλειστικά τά ήμιτονικά έναλλασσόμενα ρεύματα. "Ετσι όταν στά έπομενα θά μιλάμε γιά έναλλασσόμενα ρεύματα, θά έννοούμε τά ήμιτονικά.

7.1.2 Κύκλος, περίοδος, συχνότητα.

Παρατηροῦμε στήν καμπύλη τοῦ σχήματος 7.1β ότι ή στιγμιαία τιμή ί τῆς έντάσεως τοῦ έναλλασσόμενου ρεύματος ξεκινώντας από τήν τιμή μηδέν αύξανεται μέχρι μιά **θετική μέγιστη τιμή** $+I_m$. Κατόπιν έλαττώνεται ή ένταση μέχρις ότου μηδενισθεῖ. Στή συνέχεια άλλάζει ή φορά τοῦ ρεύματος καί ή ένταση αύξανεται στήν κατεύθυνση αύτή μέχρις ότου φθάσει τήν **άρνητική μέγιστη τιμή** $-I_m$. Από τήν τιμή αύτή μειώνεται πάλι γιά νά φθάσει τήν τιμή μηδέν. "Ετσι συμπληρώνεται μία **πλήρης έναλλαγή** τοῦ ρεύματος ή ένας **κύκλος** οπως λέμε.

Μετά από τόν πρώτο κύκλο έπαναλαμβάνεται ή ίδια ήμιτονική μεταβολή πού περιγράψαμε όπότε συμπληρώνεται δεύτερος κύκλος, ἔπειτα τρίτος κ.ο.κ.

'Ο χρόνος πού χρειάζεται γιά νά συμπληρωθεῖ ένας πλήρης κύκλος όνομάζεται **περίοδος** τοῦ έναλλασσόμενου ρεύματος. Ή περίοδος παριστάνεται μέ τό σύμβολο T καί μετριέται σέ δευτερόλεπτα. Τό μισό τῆς περιόδου ($T/2$) όνομάζεται **ήμιπερίοδος**. Παρατηροῦμε στό σχήμα 7.1β ότι σέ κάθε στιγμιαία τιμή $+i_t$ τῆς έντάσεως άντιστοιχεῖ μιά ίση άρνητική τιμή $-i_t$ πού έμφανίζεται μετά από μία ήμιπερίοδο. Ή ίδια τιμή $+i_t$ έμφανίζεται μετά από χρόνο ίσο μέ μία περίοδο.

Συχνότητα τοῦ έναλλασσόμενου ρεύματος όνομάζομε τόν άριθμό τῶν κύκλων πού γίνονται σέ κάθε δευτερόλεπτο. Ή συχνότητα πού παριστάνεται μέ τό σύμβολο f μετριέται σέ **χέρτς** (hertz) καί συμβολίζεται μέ τό σύμβολο Hz.

‘Η σχέση πού συνδέει τή συχνότητα μέ τήν περίοδο είναι:

$$f = \frac{1}{T} \quad \text{σέ Hz}$$

όπου T ή περίοδος σέ s.

Συνεπώς ή σχέση πού συνδέει τό δευτερόλεπτο μέ τό Χέρτζ είναι:

$$1 \text{ Hz} = \frac{1}{s}$$

Τά πολλαπλάσια τής μονάδας Hz πού χρησιμοποιούνται στήν πράξη είναι:

— Τό **κιλοχέρτζ** μέ σύμβολο kHz.

$$1 \text{ kHz} = 1000 \text{ Hz}$$

— Τό **μεγαχέρτ** μέ σύμβολο MHz.

$$1 \text{ MHz} = 1.000.000 \text{ Hz}$$

Παράδειγμα.

Πόσους κύκλους κάνει σέ κάθε δευτερόλεπτο έναλλασσόμενο ρεῦμα πού έχει συχνότητα 50 Hz; Πόση είναι ή περίοδος τοῦ ρεύματος;

Λύση:

Αύτό τό έναλλασσόμενο ρεῦμα κάνει 50 κύκλους σέ κάθε δευτερόλεπτο.

‘Από τή σχέση:

$$f = \frac{1}{T}$$

προκύπτει, γιά τήν περίοδο τοῦ ρεύματος:

$$T = \frac{1}{f} = \frac{1}{50} = 0,02 \text{ s}$$

Συχνότητα 50 Hz έχουν όλα τά δίκτυα διανομῆς ήλεκτρικῆς ένέργειας στήν Εύρωπη. Στήν Αμερική ή συχνότητα πού χρησιμοποιούν είναι 60 Hz.

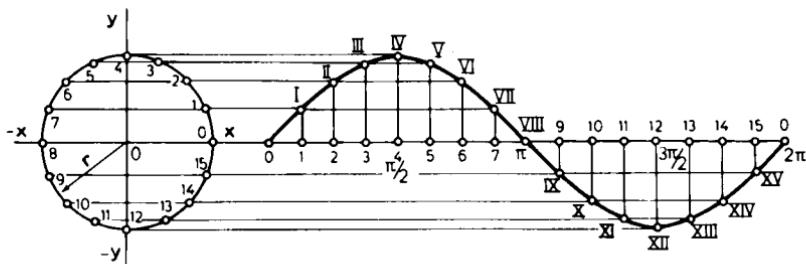
7.1.3 Χάραξη ήμιτονικής καμπύλης.

Στό σχήμα 7.1δ βλέπομε πῶς μποροῦμε νά χαράξομε μέ άκριβεια μιά ήμιτονική καμπύλη. ‘Ο κύκλος στό σχήμα έχει άκτίνα r ίση μέ τή μέ-

γιστη τιμή τοῦ μεγέθους πού θέλομε νά παριστάνει ἡ ἡμιτονική καμπύλη, π.χ. τῆς τάσεως ἡ τῆς ἐντάσεως. Βέβαια γιά τή σχεδίαση αὐτή πρέπει νά ἔχομε ἑκλέξει μία κλίμακα μέ τήν όποια θά παριστάνομε τά μεγέθη ἀυτά, ὅπως $1 \text{ mm} = 5 \text{ V}$ ἢ $1 \text{ mm} = 2 \text{ A}$ κ.ο.κ.

Τήν περιφέρεια τοῦ κύκλου τήν ύποδιαιροῦμε σέ ἔναν ἀριθμό ἵσων τόξων. Π.χ. στό σχῆμα ἔχει διαιρεθεῖ σέ 16 τόξα μέ τά σημεία 0, 1, 2... 15. Τό κάθε τόξο ἀντιστοιχεῖ σέ γωνία:

$$\frac{2\pi}{16} \text{ ἀκτινών} \quad \text{ἢ} \quad \frac{360}{16} = 22,5 \text{ μοιρῶν}$$



Σχ. 7.18.
Χάραξη ἡμιτονικῆς καμπύλης.

Στόν δριζόντιο ἄξονα τοῦ σχήματος μετροῦμε τίς γωνίες τοῦ κύκλου μέ ἀρχή μετρήσεως τό σημεῖο 0 τῆς περιφέρειάς του. Σημειώνομε ἔτσι στόν ἄξονα τά σημεῖα 0, 1, 2...15 ἀντίστοιχα πρός τά 16 σημεῖα τῆς περιφέρειας. Ἀπό τά σημεῖα αὐτά τοῦ ἄξονα ὑψώνομε κάθετες 1 - I, 2 - II, 3 - III κλπ. ἡ καθεμιά ἀπό τίς όποιες εἶναι ἵση μέ τήν ἀπόσταση τοῦ ἀντίστοιχου σημείου τῆς περιφέρειας ἀπό τόν ἄξονα τῶν x.

Ἡ καμπύλη πού προκύπτει, ὅπως φαίνεται στό σχῆμα, ἀν ἐνώσομε τά σημεῖα I, II, III, ... εἶναι μία ἡμιτονική καμπύλη μέ μέγιστη τιμή ἵση μέ τήν ἀκτίνα τοῦ κύκλου.

7.2 Διανυσματική παράσταση τῶν ἐναλλασσομένων ρευμάτων.

Στά προηγούμενα εῖδαμε ὅτι μποροῦμε νά παραστήσομε τήν τάση ἡ τήν ἔνταση τῶν ἐναλλασσομένων ρευμάτων μέ ἡμιτονικές καμπύλες. "Ἐνας ἀπλούστερος τρόπος γιά νά ἀπεικονίζομε τά μεγέθη αὐτά εἶναι ἡ **διανυσματική παράσταση**.

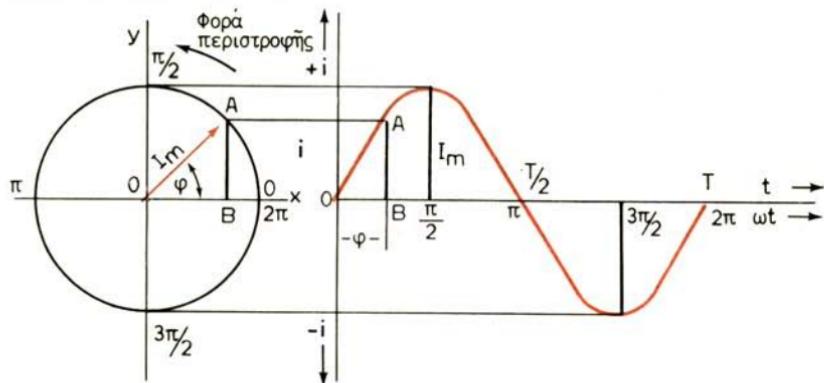
Γιά τό σκοπό αὐτό παριστάνομε τή μέγιστη τιμή I_m τῆς ἐντάσεως (ἢ τή μέγιστη τιμή U_m τῆς τάσεως) τοῦ ἐναλλασσόμενου ρεύματος μέ

ένα διάνυσμα OA (σχ. 7.2a). Τό διάνυσμα αύτό δεχόμαστε ότι περιστρέφεται γύρω από τό σημείο O μέ σταθερή ταχύτητα κατά τήν άντιθετη φορά από τή φορά περιστροφῆς τῶν δεικτῶν τοῦ ρολογιοῦ. Τό διάνυσμα κάνει τόσες στροφές στό δευτερόλεπτο όση εἶναι ή συχνότητα f τοῦ έναλλασσόμενου ρεύματος. Δηλαδή ή γωνιακή ταχύτητα ω τοῦ διανύσματος σέ άκτινια (rad) άνα δευτερόλεπτο εἶναι:

$$\omega = 2 \cdot \pi \cdot f \quad \text{σέ } \frac{\text{rad}}{\text{s}}$$

Ή ω όνομάζεται **κυκλική συχνότητα** τοῦ έναλλασσόμενου ρεύματος.

"Αν τό διάνυσμα τή χρονική στιγμή $t = 0$, δηλαδή όταν άρχιζομε νά μετροῦμε τό χρόνο, συμπίπτει μέ τόν ξόνα τῶν x , τότε σέ χρόνο t θά έχει κάνει μιά γωνία $\phi = \omega t$ και θά βρίσκεται στή θέση πού τό δείχνει τό σχήμα 7.2a. Ή γωνία ϕ όνομάζεται **γωνία φάσεως** ή **φάση** τοῦ έναλλασσόμενου ρεύματος.

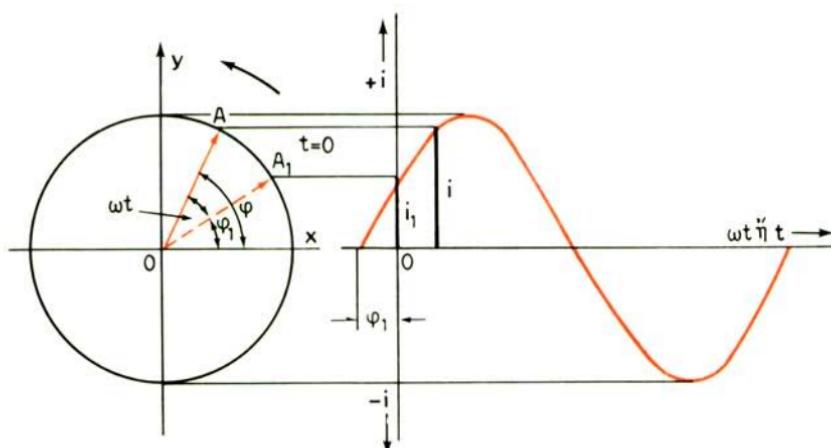


Σχ. 7.2a.

Διανυσματική παράσταση έναλλασσόμενου ρεύματος.

Είναι εύκολο μετά από οσα άναφέραμε σχετικά μέ τή χάραξη τής ήμιτονικής καμπύλης στήν παράγραφο 7.1.3 νά καταλάβομε ότι γιά κάθε γωνία ϕ , δηλαδή γιά κάθε χρονική στιγμή t , ή προβολή BA τοῦ διανύσματος OA σέ διεύθυνση παράλληλη πρός τόν ξόνα τῶν y μᾶς δίνει τή στιγμιαία τιμή i πού έχει ή ένταση τή χρονική στιγμή t . Δηλαδή τό περιστρεφόμενο διάνυσμα μπορεῖ νά παραστήσει τό ήμιτονικό έναλλασσόμενο μέγεθος πού θέλομε, γιατί μᾶς δίνει μέ τίς προβολές του αύτές τίς στιγμιαίες τιμές τοῦ μεγέθους σέ κάθε χρονική στιγμή.

"Αν όταν άρχιζομε τή μέτρηση τοῦ χρόνου, δηλαδή τή χρονική στιγμή $t = 0$, τό έναλλασσόμενο μέγεθος δέν έχει τήν τιμή μηδέν άλλα κά-



Σχ. 7.2β.

Έναλλασσόμενο μέγεθος μέ άρχικη φάση.

ποια τιμή i_1 , τότε τό διάνυσμα OA , πρέπει νά σχηματίζει τή στιγμή αύτή μιά γωνία ϕ , μέ τόν άξονα x (σχ. 7.2β). Η γωνία ϕ_1 ονομάζεται **άρχική φάση** του έναλλασσόμενου μεγέθους.

Στήν περίπτωση αύτή ή μέτρηση τοῦ χρόνου άρχιζει άπό τήν άρχική φάση. Μετά χρόνο t τό διάνυσμα OA θά έχει γωνία φάσεως $\phi = \omega t + \phi_1$. Στό σχήμα 7.2β παρατηρούμε ότι ή ήμιτονική καμπύλη είναι μετατοπισμένη ώς πρός τήν άρχη O κατά γωνία ϕ_1 .

Παράδειγμα.

Πόση είναι η κυκλική συχνότητα έναλλασσόμενου ρεύματος πού έχει συχνότητα 50 Hz ; "Αν τή χρονική στιγμή $t = 0$, ή άρχικη φάση είναι $\phi_1 = \pi/2 \text{ rad}$ πόση είναι η φάση τοῦ ρεύματος αύτοῦ μετά άπό χρόνο $t = 0,01 \text{ s}$;

Λύση:

Είναι:

$$\omega = 2 \cdot \pi \cdot f = 2 \times 3,14 \times 50 = 314 \text{ rad/s}$$

Γιά τή φάση έχομε:

$$\phi = \omega t + \phi_1 = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot t + \phi_1 = 2 \times 3,14 \times 50 \times 0,01 + \frac{\pi}{2} = \frac{3\pi}{2} \text{ rad}$$

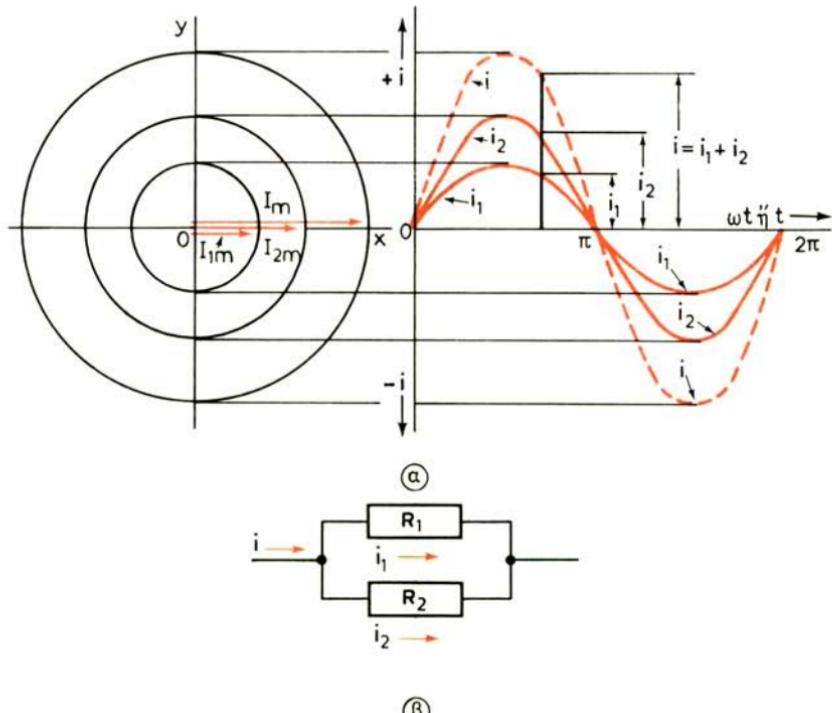
7.3 Αθροιση έναλλασσομένων μεγεθών.

Στό σχήμα 7.3(a) παριστάνονται μέ δύο διανύσματα I_{1m} καί I_{2m}

στό ίδιο σύστημα άξόνων x, y , δύο έναλλασσόμενα μεγέθη, π.χ. δύο έντάσεις έναλλασσόμενου ρεύματος πού έχουν τήν ίδια συχνότητα. Δεχόμαστε ότι τή χρονική στιγμή $t = 0$ και τά δύο έναλλασσόμενα μεγέθη έχουν άρχικη φάση $\phi = 0$, δηλαδή ότι γιά $t = 0$ τά διανύσματά τους συμπίπουν.

Από τά παραπάνω συμπεραίνομε ότι, άφοϋ τά δύο διανύσματα θά περιστρέφονται μέ τήν ίδια κυκλική συχνότητα ω , όποιαδήποτε χρονική στιγμή τά δύο έναλλασσόμενα μεγέθη έχουν τήν ίδια φάση ωt . Αύτό έχει ώς άποτέλεσμα τίς ίδιες χρονικές στιγμές νά μηδενίζονται και τίς ίδιες χρονικές στιγμές νά παίρνουν τίς μέγιστες τιμές τους [σχ. 7.3α(α)]. Λέμε ότι τά δύο έναλλασσόμενα μεγέθη είναι σέ **φάση**.

"Αν θέλομε νά άθροισομε δύο έναλλασσόμενα μεγέθη, π.χ. αν τά δύο ρεύματα i_1 , και i_2 τῶν παραλλήλων άντιστάσεων R_1 , και R_2 [σχ. 7.3α(β)] θέλομε νά τά άθροισομε γιά νά βροῦμε τό δλικό ρεύμα i , θά πρέπει νά προσθέσσομε τίς άντιστοιχες στιγμιαῖς τιμές τους, όπως φαίνεται στό δεξιό μέρος τοῦ σχήματος 7.3α(α).



Σχ. 7.3α.

"Αθροιση έναλλασσομένων μεγεθών σέ φάση.

Είναι εύκολο νά δειχθεῖ ότι στήν περίπτωση αὐτή πού τά δύο ρεύματα είναι σέ φάση, ή καμπύλη πού προκύπτει άπό τό άθροισμα τῶν στιγμαίων τιμῶν τῶν δύο έντασεων ἔχει παραστατικό διάνυσμα τό I_m πού προκύπτει άπό τό άθροισμα τῶν δύο διανυσμάτων I_{1m} καί I_{2m} καί είναι σέ φάση μέ αὐτά [σχ. 7.3α(α)]. "Αρα ἡ μέγιστη τιμή I_m ισοῦται μέ τό **άθροισμα τῶν μεγίστων τιμῶν I_{1m} καί I_{2m}** ".

Πιό γενική περίπτωση δύο έναλλασσομένων μεγεθῶν μέ τήν Ÿδια συχνότητα είναι αὐτή πού φαίνεται στό σχήμα 7.3β(α). Πρόκειται γιά δύο έναλλασσόμενα μεγέθη πού ἔχουν διαφορετικές άρχικες φάσεις Φ_1 καί Φ_2 , μέ άποτέλεσμα νά παίρνουν τίς μέγιστες καί ἐλάχιστες τιμές τους σέ διαφορετικές χρονικές στιγμές. Τά έναλλασσόμενα αὐτά μεγέθη λέμε ότι παρουσιάζουν **διαφορά φάσεως** τήν δποία παριστάνομε μέ τό Φ .

"Η διαφορά φάσεως Φ καθορίζει τή θέση τοῦ ἐνός μεγέθους ώς πρός τό ἄλλο καί βρίσκεται άπό τή σχέση:

$$\Phi = \Phi_1 - \Phi_2$$

"Αν ἡ Φ πού προκύπτει άπό τήν παραπάνω σχέση είναι θετική, δπως συμβαίνει στήν περίπτωση τοῦ σχήματος 7.3β(α), αὐτό σημαίνει ότι τό μέγεθος i_1 προηγεῖται άπό τό μέγεθος i_2 ἥ, δπως λέμε, **προπορεύεται**. Στήν ἀντίθετη περίπτωση, ἀν ἡ Φ είναι ἀρνητική, τό i_1 ἀκολουθεῖ τό i_2 ἥ, δπως λέμε, **βρίσκεται σέ ἐπιπορεία**.

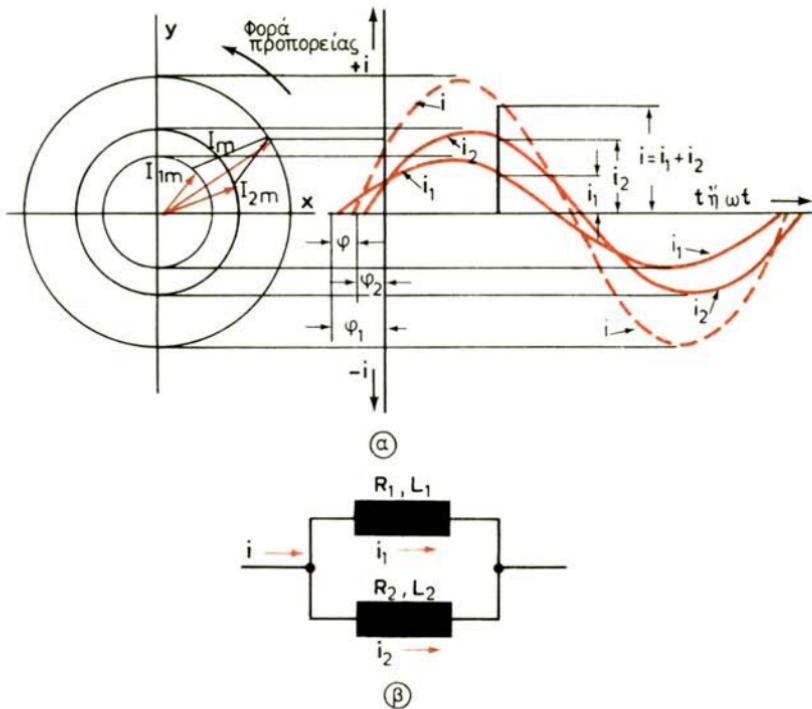
"Οπως θά δοῦμε σέ ἐπόμενο κεφάλαιο, στήν πράξη ἐμφανίζεται τακτικά ἡ περίπτωση νά θέλομε νά άθροισομε δύο έναλλασσόμενα μεγέθη πού παρουσιάζουν μεταξύ τους διαφορά φάσεως. Π.χ. δταν ἔχομε δύο πηνία μέ διαφορετικούς συντελεστές αύτεπαγγῆς L_1 καί L_2 συνδεμένα παράλληλα [σχ. 7.3β (β)] καί θέλομε νά βροῦμε τό δλικό ρεύμα i μέ άθροιση τῶν i_1 καί i_2 .

Γιά νά άθροισομε τά δύο έναλλασσόμενα μεγέθη i_1 καί i_2 , πρέπει νά προσθέσομε τίς στιγμαίες τιμές τους. Προκύπτει ἔτσι μιά νέα καμπύλη i δπως φαίνεται στό σχήμα 7.3β(α). "Η καμπύλη αὐτή είναι πάλι ἡμιτονική καί άποδεικνύεται ότι τό έναλλασσόμενο μέγεθος i παριστάνεται στήν περίπτωση αὐτή άπό τό διανυσματικό άθροισμα I_m τῶν δύο διανυσμάτων I_{1m} καί I_{2m} δπως φαίνεται στό σχήμα. Τό διάνυσμα I_m ἔχει τώρα διαφορά φάσεως καί πρός τό διάνυσμα I_{1m} καί πρός τό I_{2m} . **Η μέγιστη τιμή I_m είναι μικρότερη άπό τό άθροισμα τῶν μεγίστων τιμῶν I_{1m} καί I_{2m}** .

Οι στιγμαίες τιμές τῶν τάσεων καί ἐντάσεων στά έναλλασσόμενα ρεύματα συνήθως δέν μᾶς ἐνδιαφέρουν δπως θά δοῦμε καί στά ἐπόμενα. "Έτσι ἐκτός άπό τό ότι δέ σχεδιάζομε συνήθως τίς σχετικές καμπύλες, δέ σχεδιάζομε στίς διανυσματικές παραστάσεις τῶν μεγεθῶν οὔτε τό σύστημα τῶν ἀξόνων x καί y .

Γιά τίς πρακτικές ἐφαρμογές σχεδιάζομε μόνο τά διανύσματα μέ τίς





Σχ. 7.3β.

α) Αθροιση έναλλασσομένων μεγεθών μέδιαφορά φάσεως. β) Κύκλωμα μέδιο παράλληλη πηνία.

διαφορές φάσεως μεταξύ τους. Γιά τό σκοπό αύτό ξεκινοῦμε άπό ένα διάνυσμα και όσα είναι σέ έπιπορεία ως πρός αύτό τά σχεδιάζομε πρός τήν κατεύθυνση πού κινοῦνται οι δεικτές τοῦ ρολογιοῦ, όσα δέ είναι σέ προπορεία πρός τήν άντιθετή κατεύθυνση. Τή φορά τῆς προπορείας τή σημειώνομε καί μέ ένα τόξο, όπως φαίνεται στό σχήμα 7.3β(α).

"Οσα είπαμε παραπάνω γιά τά δύο έναλλασσόμενα μεγέθη είναι αύτονότο διτί ισχύουν και γιά περισσότερα, όπως θά δοῦμε στό παράδειγμα 2.

Παράδειγμα 1.

Δύο έναλλασσόμενα ρεύματα έχουν μέγιστες τιμές έντάσεως $I_{1m} = 3 \text{ A}$ καί $I_{2m} = 4 \text{ A}$ καί άρχικές φάσεις $\Phi_1 = \pi/2$ καί $\Phi_2 = 0$. Νά βρεθεΐ ή διαφορά φάσεως τῶν δύο ρευμάτων καί νά σχεδιασθεῖ τό διανυσματικό διάγραμμα. Ποιά είναι ή μέγιστη τιμή τῆς έντάσεως τοῦ άθροίσματος τῶν δύο ρευμάτων; Ποιά διαφορά φάσεως έχει άπό τήν I_{2m} ; Είναι σέ προπορεία ή σέ έπιπορεία σχετικά μέ τίς I_{1m} καί I_{2m} ;

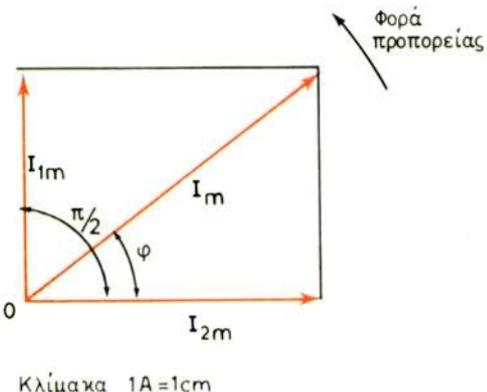
Λύση:

Η διαφορά φάσεως τῶν δύο ρευμάτων εἶναι:

$$\Phi_1 - \Phi_2 = \frac{\pi}{2} - 0 = \frac{\pi}{2} \text{ ή } 90^\circ$$

Η διαφορά φάσεως εἶναι θετική, ἐπομένως τό I_{1m} προπορεύεται τοῦ I_{2m} .

Τό διανυσματικό διάγραμμα τό κατασκευάζομε, ἀφοῦ ἔκλεξομε πρώτα κλίμακα τῶν ἑντάσεων (σχ. 7.3γ).



Σχ. 7.3γ.

Μέ μέτρηση τῆς I_m στό διάγραμμα, μέ τήν κλίμακα πού ἔχομε ἔκλεξι, βρίσκομε $I_m = 5 \text{ A}$. Η διαφορά φάσεως πρός τήν I_{2m} εἶναι $\phi = 37^\circ$.

"Οπως παρατηροῦμε στό σχῆμα τό διάνυσμα I_m εἶναι σέ προπορεία σχετικά μέ τό I_{2m} καί σέ ἐπιπορεία σχετικά μέ τό I_{1m} .

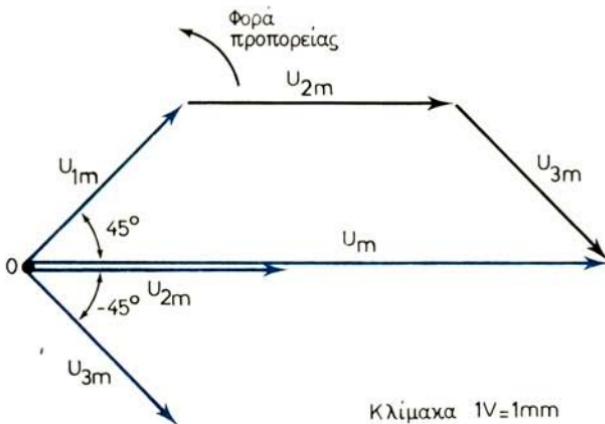
Παράδειγμα 2.

Τρεῖς ἐναλλασσόμενες τάσεις τῶν όποίων οἱ στιγμιαῖες τιμές ἀθροίζονται, ἔχον μέγιστες τιμές $U_{1m} = 30 \text{ V}$, $U_{2m} = 35 \text{ V}$ καὶ $U_{3m} = 30 \text{ V}$. Η διαφορά φάσεως τῆς U_{1m} ώς πρός τήν U_{2m} εἶναι 45° , ἐνῶ διαφορά φάσεως τῆς U_{3m} ώς πρός τήν U_{2m} εἶναι -45° . Νά βρεθεῖ ἡ μέγιστη τιμή τῆς δλικῆς τάσεως.

Λύση:

"Οσα ἀναφέραμε γιά τή διανυσματική ἄθροιση δύο ἐναλλασσομέ-

νων μεγεθών ισχύουν καί γιά περισσότερα, άφοῦ π.χ. ή ἄθροιση τριῶν έναλλασσομένων μεγεθών μπορεῖ νά θεωρηθεῖ ότι εἶναι ἄθροιση τῶν δύο πρώτων καί ἔπειτα ἄθροιση τοῦ ἄθροισμάτος τους μέ το τρίτο μέγεθος κ.ο.κ. ἂν εἶναι περισσότερα. "Ετσι στήν περίπτωση τοῦ παραδείγματος, ὅπως φαίνεται καί στό σχῆμα 7.3δ, σχεδιάζομε τά τρία διανύσματα U_{1m} , U_{2m} , U_{3m} , ώστε νά έχουν τήν ἴδια ἀρχή 0 καί τίς διαφορές φάσεων πού ἀναφέρει τό παράδειγμα.



Σχ. 7.3δ.

Κατά τά γνωστά ἀπό τά Μαθηματικά κάνομε τό ἄθροισμα τῶν τριῶν διανυσμάτων U_{1m} , U_{2m} , U_{3m} , ὅπως φαίνεται στό σχῆμα. Τό διάνυσμα $U_m = 78 \text{ V}$ εἶναι ή μέγιστη τιμή τῆς διαλικής τάσεως μέ διαφορά φάσεως $\phi = 0^\circ$ ως πρός τήν U_{2m} .

7.4 Ένεργός τιμή.

"Αν ἐναλλασσόμενο ρεῦμα περάσει μέσα ἀπό μία ἀντίσταση R , ὅπως π.χ. μέσα ἀπό τήν ἀντίσταση μιᾶς ἡλεκτρικῆς θερμάστρας, θά παραχθεῖ θερμότητα ἀπό τό φαινόμενο Τζούλ, ὅπως συμβαίνει καί μέ τό συνεχές ρεῦμα (παράγρ. 4.6.1).

Τό ποσό τῆς θερμότητας πού παράγεται σέ χρόνο t , ὅταν μέσα ἀπό τήν ἀντίσταση R περνᾶ ἔνταση συνεχοῦς ρεύματος I , εἴδαμε ότι δίνεται ἀπό τή σχέση:

$$Q = 0,24 \cdot R \cdot I^2 \cdot t \quad \text{σέ cal}$$

Γιά νά μποροῦμε νά ἐφαρμόζομε τόν τύπο αὐτό καί γιά τό ἐναλλασσόμενο ρεῦμα, πρέπει νά βάζομε, ὅπως ἀποδεικνύεται μαθηματικά, τό I

μέ το 0,707 τῆς μέγιστης τιμῆς τῆς ἐντάσεως τοῦ ἐναλλασσόμενου ρεύματος:

$$I = 0,707 I_m$$

Ἡ ἐνταση αὐτή I ὀνομάζεται **ἐνεργός τιμή** τῆς ἐντάσεως τοῦ ἐναλλασσόμενου ρεύματος.

Δηλαδή, μέ ἄλλα λόγια, ἐναλλασσόμενο ρεῦμα πού ἔχει μέγιστη τιμή ἐντάσεως I_m ἵσοδυναμεῖ ὡς πρός τὸ ποσόν τῆς θερμότητας πού παράγει σέ δρισμένο χρόνο μέσα σέ μιά ἀντίσταση, μέ ἕνα συνεχές ρεῦμα ἐντάσεως $I = 0,707 I_m$. Δηλαδή ἵσης μέ τὴν ἐνεργό τιμή τῆς ἐντάσεως τοῦ ἐναλλασσόμενου ρεύματος.

Ἐπειδή εἶναι $0,707 = \frac{1}{\sqrt{2}}$, ἔπειται ὅτι ἡ ἐνεργός τιμή δίνεται καὶ ἀπό τῆ σχέση:

$$I = \frac{I_m}{\sqrt{2}}$$

Τά ἀμπερόμετρα ἐναλλασσόμενου ρεύματος μετροῦν ἀπευθείας τὴν ἐνεργό τιμή τῆς ἐντάσεως. Ἔτσι γιά νά βροῦμε τό ποσό τῆς θερμότητας Q πού παράγεται σέ μιά ἀντίσταση σέ δρισμένο χρόνο, χρησιμοποιοῦμε τὸν παραπάνω τύπο τόσο στό συνεχές δσο καὶ στό ἐναλλασσόμενο ρεῦμα μέ τιμή τῆς I αὐτή πού δείχνει τό ἀντίστοιχο κάθε φορά ἀμπερόμετρο.

Ἀνάλογα δρίζεται ἡ **ἐνεργός τιμή τῆς τάσεως** καὶ ἡ **ἐνεργός τιμή τῆς ἡλεκτρεγερτικῆς δυνάμεως** τοῦ ἐναλλασσόμενου ρεύματος. Δηλαδή:

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

καὶ

$$E = \frac{E_m}{\sqrt{2}} = 0,707 E_m$$

Τὴν ἐνεργό τιμή τῆς τάσεως U (ἢ τῆς ἡλεκτρεγερτικῆς δυνάμεως E) δείχνουν τά βολτόμετρα ἐναλλασσόμενου ρεύματος.

“Οταν μιλοῦμε γιά τάση ἢ ἐνταση ἐναλλασσόμενου ρεύματος, ἐννοοῦμε κατά κανόνα τὴν ἐνεργό τιμή U ᢥ I . Π.χ. ὅταν λέμε ὅτι τὰ σπίτια τροφοδοτοῦνται ἀπό τὸ δίκτυο τῆς ΔΕΗ μέ τάση 220 V, ἐννοοῦμε ὅτι ἡ ἐνεργός τιμή τῆς τάσεως εἶναι 220 V. “Οταν λέμε ὅτι μιά ἡλεκτρική συσκευή ἀπορροφᾶ ἐνταση ρεύματος 4 A, ἐννοοῦμε ὅτι ἡ ἐνεργός τιμή τῆς ἐντάσεως εἶναι 4 A.

Γενικά, ὅπως θά δοῦμε καὶ στά ἐπόμενα, ὅλες οἱ πράξεις καὶ οἱ ὑπολογισμοί στά ἐναλλασσόμενα ρεύματα γίνονται μέ τὴν ἐνεργό τιμή τῶν

τάσεων καί τῶν ἐντάσεων. "Ετσι, ὅταν κάπου ὑπάρχει λόγος νά χρησιμοποιήσομε τίς μέγιστες τιμές τῶν μεγεθῶν, αὐτό εἰδικά πρέπει νά ἀναφέρεται.

Ἐπίσης στά διανυσματικά διαγράμματα τάσεων καί ἐντάσεων ἀντί γιά τή μέγιστη τιμή, χρησιμοποιοῦμε τήν ἐνεργό τιμή τῶν μεγεθῶν αὐτῶν. "Ετσι ὅταν γιά κάποιο εἰδικό λόγο χρειάζεται νά ἔχομε τή μέγιστη τιμή τοῦ μεγέθους, θά πρέπει νά πολλαπλασιάζομε τήν ἐνεργό τιμή πού θά προκύπτει ἀπό τό διάγραμμα μέ $\sqrt{2} = 1,414$.

Παράδειγμα 1.

Νά ύπολογισθεῖ ἡ μέγιστη τιμή τῆς τάσεως ἐναλλασσόμενου ρεύματος τάσεως 220 V.

Λύση:

Ἡ τάση 220 V εἶναι ἡ ἐνεργός τιμή. Ἀπό τή σχέση:

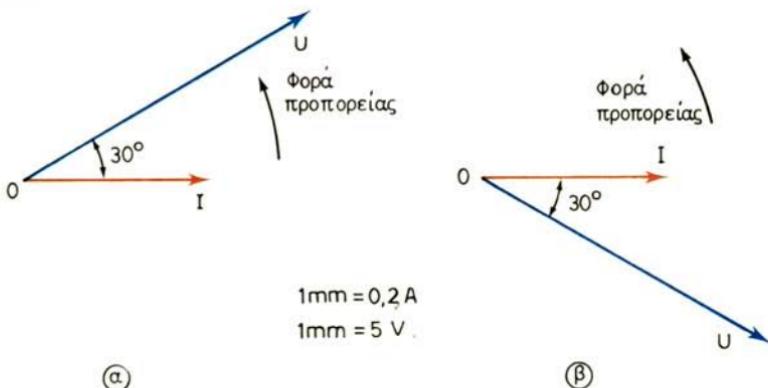
$$U = \frac{U_m}{\sqrt{2}}$$

προκύπτει ὅτι ἡ μέγιστη τιμή εἶναι:

$$U_m = \sqrt{2} \cdot U = 1,414 \times 220 = 311 \text{ V}$$

Παράδειγμα 2.

Καταναλωτής τροφοδοτεῖται μέ $\sqrt{2}$ ἐναλλασσόμενο ρεῦμα τάσεως 220 V καί ἐντάσεως 5 A. Νά σχεδιασθεῖ τό διανυσματικό διάγραμμα τῆς τάσεως καί ἐντάσεως τοῦ καταναλωτῆ, ὅταν ἡ διαφορά φάσεως μεταξύ τάσεως καί ἐντάσεως εἶναι 30° . a) Μέ τήν τάση νά προπορεύεται τῆς ἐντάσεως καί β) μέ τήν τάση νά εἶναι σέ ἐπιπορεία ως πρός τήν ἐνταση.



Σχ. 7.4.

Λύση:

Η λύση φαίνεται στό σχήμα 7.4.

Παράδειγμα 3.

Πόση θερμότητα παράγει σέ χρονικό διάστημα μιᾶς ώρας ένα ήλεκτρικό σίδηρο τροφοδοτούμενο μέσω έναλλασσόμενου ρεύμα που έχει μέγιστη τιμή έντασεως 7,1 Α; Η άντισταση του σιδήρου είναι 40 Ω.

Λύση:

Η ένεργος τιμή της έντασεως που άπορροφά τό ήλεκτρικό σίδηρο είναι:

$$I = 0,707 \cdot I_m = 0,707 \times 7,1 = 5 \text{ A}$$

Άρα:

$$Q = 0,24 \cdot R \cdot I^2 \cdot t = 0,24 \times 40 \times 25 \times 3600 = \\ = 864.000 \text{ cal} = 864 \text{ kcal}$$

7.5 Βολτόμετρα και άμπερόμετρα έναλλασσόμενου ρεύματος.

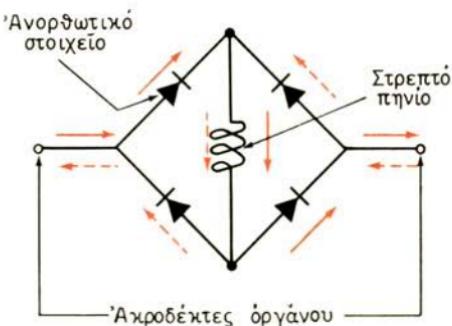
Η τάση και ή ένταση του έναλλασσόμενου ρεύματος μετριέται μέσω κατάλληλα βολτόμετρα και άμπερόμετρα, τά δοπια, όπως άναφέραμε στήν προηγούμενη παράγραφο, δείχνουν άπευθείας τήν ένεργο τιμή τῶν μεγεθῶν αὐτῶν.

7.5.1 Όργανα μέση στρεπτό πηνίο.

Τά όργανα μετρήσεως μέση στρεπτό πηνίο, πού περιγράψαμε στήν παράγραφο 6.14, δέν μποροῦν νά χρησιμοποιηθοῦν στό έναλλασσόμενο ρεύμα. Τό έναλλασσόμενο ρεύμα δημιουργεῖ στό στρεπτό πηνίο έναλλασσόμενες ροπές, μέση συνέπεια νά μήν άποκλίνει δείκτης του όργανου.

Γιά νά μποροῦν νά χρησιμοποιηθοῦν τά όργανα αύτά κατασκευάζονται σέ συνδυασμό μέση μιά **άνορθωτική γέφυρα** (σχ. 7.5a). Τά **άνορθωτικά στοιχεῖα** της γέφυρας είναι κατασκευασμένα άπό ήμιαγωγούς (όξειδιο του χαλκοῦ ή γερμάνιο) οι δοπια, όπως γνωρίζομε, άφήνουν τό ρεύμα νά περνά μόνο κατά τή μία κατεύθυνση (παράγρ. 1.5).

"Οπως παρατηροῦμε στό σχήμα, μέτη διάταξη της γέφυρας πετυχαίνομε ώστε τόσο κατά τή μία ήμιπερίοδο του έναλλασσόμενου ρεύματος (βέλη μέση συνεχή γραμμή) δσο και κατά τήν άλλη (βέλη μέδιακοπόμενη γραμμή), μέσα άπό τό στρεπτό πηνίο νά περνά πάντοτε ρεύμα κατά τήν ίδια φορά. "Ετσι δημιουργεῖται ροπή στό πηνίο τό δοπιο στρέφε-



Σχ. 7.5α.

Όργανο μέ στρεπτό πηνίο και άνορθωτική γέφυρα.

ται καί ο δείκτης τοῦ όργάνου δείχνει τήν ένεργο τιμή τοῦ μεγέθους πού μετρά.

7.5.2 Ήλεκτροδυναμικά όργανα.

Τά ήλεκτροδυναμικά όργανα μετρήσεως πού περιγράψαμε στήν παράγραφο 6.16, χρησιμοποιοῦνται κυρίως σάν βαττόμετρα γιά τή μέτρηση τῆς ίσχύος τόσο στό συνεχές όσο καί στό έναλλασσόμενο ρεύμα.

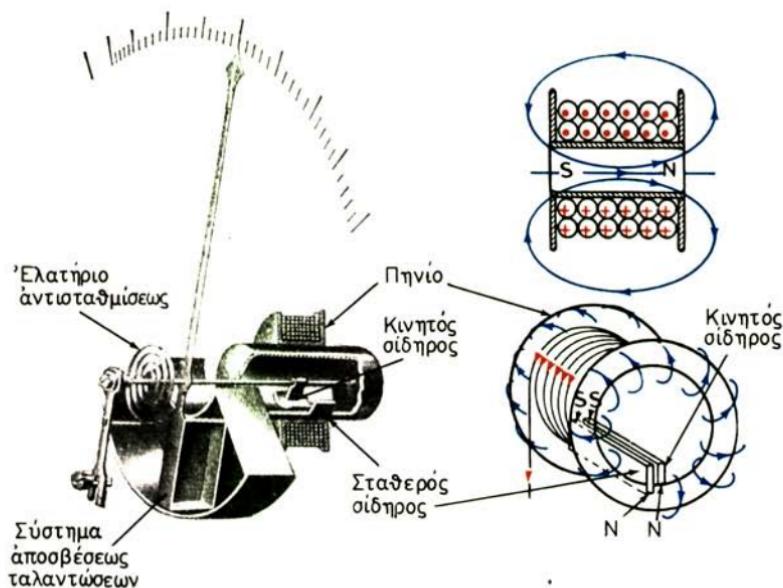
Γιά νά χρησιμοποιηθοῦν σάν άμπερόμετρα ή βολτόμετρα καί στά δύο εϊδη ρεύματος, κατασκευάζονται έτσι, ώστε τά δύο πηνία, πού έχουν τά όργανα αύτά, νά είναι συνδεμένα σέ σειρά.

"Έτσι, όταν σέ κάθε ήμιπερίοδο τοῦ έναλλασσόμενου ρεύματος, τό ρεύμα άλλάζει φορά μέσα στό ένα πηνίο, άλλάζει ταυτόχρονα φορά καί στό άλλο, μέ συνέπεια νά άσκεται ροπή πάντοτε κατά τήν ίδια φορά. Δηλαδή τό όργανο μπορεῖ νά λειτουργεῖ σάν άμπερόμετρο ή βολτόμετρο τόσο στό συνεχές όσο καί στό έναλλασσόμενο ρεύμα.

Στήν περίπτωση αύτή πού τά πηνία είναι συνδεμένα σέ σειρά, ή ροπή καί συνεπώς καί ή άποκλιση τοῦ δείκτη τοῦ όργάνου είναι άνάλογες πρός τό τετράγωνο τῆς έντάσεως τοῦ ρεύματος πού περνά μέσα άπό τό όργανο. "Έτσι ή κλίμακα τοῦ όργάνου δέν είναι πιά γραμμική, οπως σέ περίπτωση πού χρησιμοποιοῦνται σάν βαττόμετρα (παράγρ. 6.16), άλλα **τετραγωνική**, οπως θά δοῦμε ιτι έχουν καί τά όργανα πού θά περιγράψομε άμέσως παρακάτω.

7.5.3 Όργανα μέ κινητό σίδηρο.

Τά όργανα πού χρησιμοποιοῦνται πιό τακτικά σάν βολτόμετρα καί άμπερόμετρα πίνακα είναι τά **όργανα μέ κινητό σίδηρο** (σχ. 7.5β). Τά



Σχ. 7.5β.

"Οργανο μέ κινητό σίδηρο.

Σχ. 7.5γ.

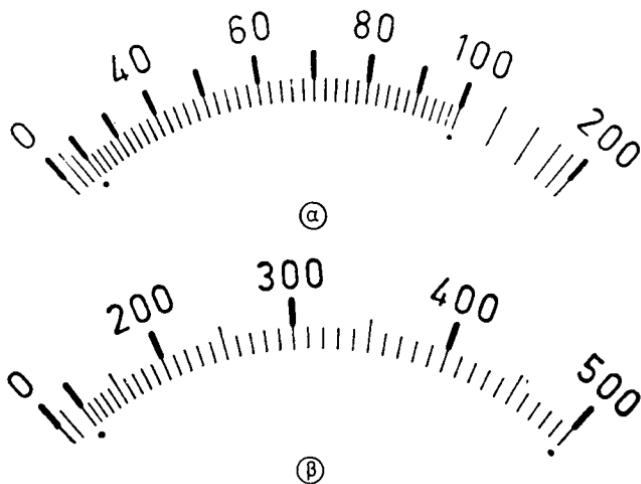
"Άρχη λειτουργίας τοῦ όργανου.

δργανα αύτα, πού έχουν μεγάλα περιθώρια ύπερφορτίσεως, είναι φθηνά, δημοσίευμα ούτε μεγάλης άκριβειας. Είναι κατάλληλα τόσο γιά τό συνεχές όσο καί γιά τό έναλλασσόμενο ρεῦμα.

Η άρχη λειτουργίας των όργανων μέ κινητό σίδηρο φαίνεται στό σχήμα 7.5γ. Στό έσωτερικό ένός πηνίου ύπαρχει ένα τεμάχιο άπο σίδηρο στερεωμένο στό πηνίο καί συνεπώς σταθερό. Δίπλα σ' αύτό ύπαρχει ένα άλλο τεμάχιο σιδήρου, πού μπορεῖ νά μετακινηθεί καθώς είναι στερεωμένο στό στρεφόμενο ξόνα πού φέρει καί τό δείκτη τοῦ όργανου. Αύτος είναι ο λόγος πού τά δργανα αύτα όνομάζονται μέ κινητό σίδηρο.

"Όταν μέσα άπο τό πηνίο περάσει τό ρεῦμα πού θέλομε νά μετρήσουμε, δημιουργεῖται στό έσωτερικό τοῦ πηνίου ένα μαγνητικό πεδίο κατά τά γνωστά (παράγρ. 5.4). Οι μαγνητικές γραμμές τοῦ πεδίου περνοῦν μέσα καί άπο τά δύο τεμάχια τοῦ σιδήρου πού έτσι μαγνητίζονται κατά τήν ίδια κατεύθυνση. Δηλαδή δημιουργούνται δύο μαγνήτες πού έχουν τούς διάφορους πόλους τους δίπλα - δίπλα, δηποιαδήποτε φορά καί αν έχει τό ρεῦμα μέσα στό πηνίο. Οι πόλοι αύτοί άπωθούνται, μέ αποτέλεσμα νά μετακινεῖται τό κινητό τεμάχιο τοῦ σιδήρου πού παρασύρει έτσι καί τό δείκτη τοῦ όργανου.

Η άποκλιση τοῦ δείκτη είναι άναλογη πρός τό τετράγωνο τῆς έντασεως τοῦ ρεύματος πού περνά μέσα άπο τό πηνίο. "Έτσι ή κλίμακα τῶν



Σχ. 7.5δ.

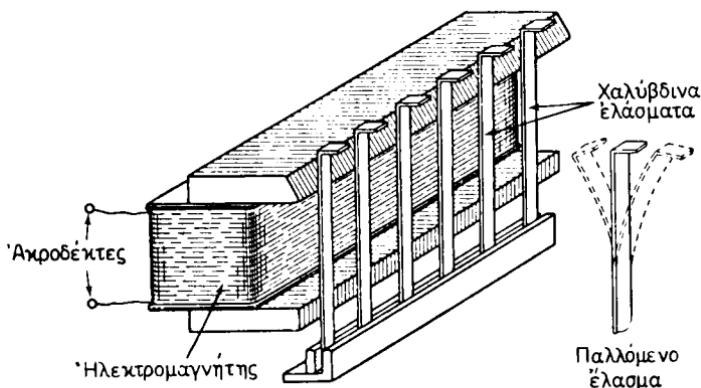
Κλίμακες όργάνων μέ κινητό σίδηρο. α) Άμπερομέτρου. β) Βολτομέτρου.

όργάνων αύτῶν εἶναι τετραγωνική, ὅπως φαίνεται στό σχῆμα 7.5δ. Ή κατασκευή τῶν όργάνων καί στίς δύο περιπτώσεις εἶναι ἡ ίδια. Διαφέρουν μόνο στόν ἀριθμό τῶν σπειρῶν τοῦ πηνίου καί τή διάμετρο τοῦ σύρματος. Τά βολτόμετρα ἔχουν πολλές σπεῖρες λεπτοῦ σύρματος καί τά άμπερόμετρα λίγες σπεῖρες χονδροῦ σύρματος.

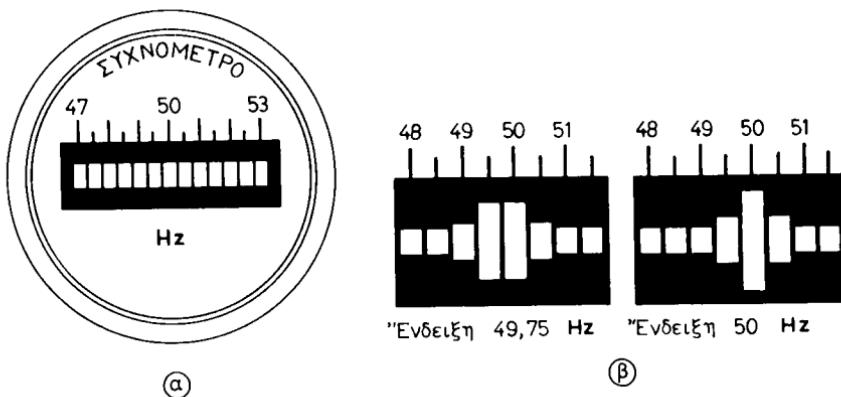
7.6 Συχνόμετρα.

Γιά τή μέτρηση τῆς συχνότητας τοῦ ἐναλλασσόμενου ρεύματος χρησιμοποιοῦμε εἰδικά όργανα πού δύναζονται **συχνόμετρα**. Τά όργανα αύτά συνδέονται, μεταξύ τῶν δύο ἀγώγῶν τοῦ κυκλώματος, παράλληλα πρός τήν κατανάλωση ὅπως γίνεται μέ τά βολτόμετρα.

΄Αποτελοῦνται ἀπό ἕνα εἰδικά διαμορφωμένο ἡλεκτρομαγνήτη (σχ. 7.6α), τό τύλιγμα τοῦ διοίου τροφοδοτεῖται μέ ἐναλλασσόμενο ρεῦμα, ὅταν τό όργανο συνδεθεῖ ὅπως ἀναφέραμε παραπάνω. Μπροστά ἀπό τούς πόλους τοῦ ἡλεκτρομαγνήτη ὑπάρχει μία σειρά ἀπό λεπτά χαλύβδινα ἐλάσματα στερεωμένα στό ἕνα τους ἄκρο, ὅπως φαίνεται στό σχῆμα 7.6α, ὥστε νά μποροῦν νά πάλλονται. Γιά νά παρουσιάζει τό καθένα ἀπό τά ἐλάσματα (πού εἶναι περίπου 10 ὡς 20) **τή δική του συχνότητα μηχανικῆς ταλαντώσεως**, φέρουν στό ἄλλο ἄκρο, τό ἐλεύθερο, μιά μικρή μάζα ἀπό βαρύ μέταλλο, διαφορετική τό καθένα. Έτσι ἔχουμε μιά κλιμάκωση τῆς **ἰδιοσυχνότητας** ἀπό ἐλασμα σέ ἐλασμα κατά 0,5 ἢ 1 Hz.



Σχ. 7.6α.
Μηχανισμός ένός συχνομέτρου μέ παλλόμενα έλασματα.



Σχ. 7.6β.
α) Συχνόμετρο. β) Ένδειξεις συχνομέτρου.

"Όταν τό πηνίο τοῦ ήλεκτρομαγνήτη διαρρέεται από τό έναλλασσόμενο ρεύμα τοῦ δροίου θέλομε νά μετρήσομε τή συχνότητα f , δημιουργεῖται μιά έναλλασσόμενη μαγνητική ροή πού άσκει στά έλασματα έναλλασσόμενες δυνάμεις μέ συχνότητα διπλάσια από αύτή τοῦ ρεύματος.

Τό έλασμα έκεινο τοῦ δροίου ή ίδιοσυχνότητα είναι $2f$, λόγω **μηχανικού συντονισμού** πάλλεται μέ μέγιστο πλάτος παλμού. Τά διπλανά έλασματα από αύτό πάλλονται μέ μικρότερο πλάτος, όπως φαίνεται καί στό σχήμα 7.6β(β). Τό οργανό είναι βαθμολογημένο ἔτσι, ώστε νά δείχνει άπευθείας σέ Hz τή συχνότητα τοῦ ρεύματος πού μετρᾶ.

7.7 Ή ισχύς στό έναλλασσόμενο ρεύμα.

7.7.1 Στιγμαία τιμή τῆς ισχύος.

“Οπως είχαμε έξηγήσει στήν παράγραφο 4.2, στό συνεχές ρεύμα ή ισχύς P σέ W πού άπορροφᾶ ένας καταναλωτής ύπολογίζεται αν πολλαπλασιάσομε τήν τάση U σέ V πού έφαρμόζεται στόν καταναλωτή μέτην ένταση I τού ρεύματος σέ A πού τόν διαρρέει. Είναι δηλαδή:

$$P = U \cdot I \quad \text{σέ } W$$

Στό συνεχές ρεύμα αύτή είναι τόσο ή στιγμαία τιμή τῆς ισχύος όσο και ή μέση τιμή τῆς ισχύος πού άπορροφᾶ ένας καταναλωτής (όταν ή τάση και ή ένταση δέν άλλάζουν). Τήν ισχύ αύτή, δηλαδή τή μέση τιμή τῆς ισχύος P , χρησιμοποιούμε όταν θέλομε νά ύπολογίσομε τήν ήλεκτρική ένέργεια A πού άπορροφᾶ διαφορά καταναλωτής σέ ένα χρονικό διάστημα t μικρό ή μεγάλο (παράγρ. 4.4):

$$A = P \cdot t \quad \text{σέ } Ws$$

Στό έναλλασσόμενο ρεύμα, όπου τόσο ή τάση όσο και ή ένταση μεταβάλλονται κάθε στιγμή, ή παραπάνω σχέση ισχύει μόνο γιά τίς άντιστοιχες στιγμαίες τιμές τῆς τάσεως u και τῆς έντασεως i . Τό γινόμενο αύτῶν τῶν δύο στιγμαίων τιμῶν μᾶς δίνει τήν άντιστοιχη **στιγμαία τιμή τῆς ισχύος** p .

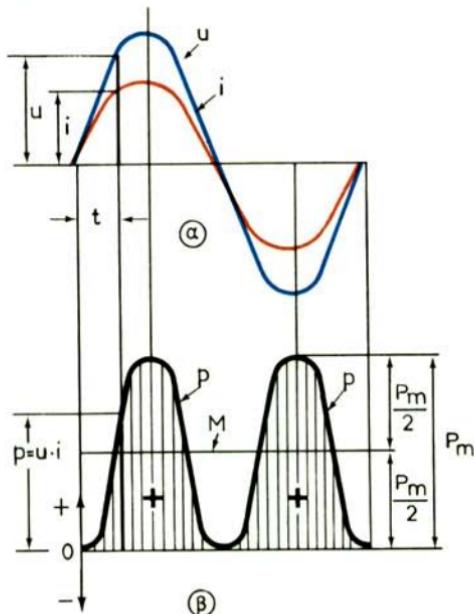
$$p = u \cdot i \quad \text{σέ } W$$

Γιά νά δοῦμε μέ τί ισοῦται ή **μέση τιμή τῆς ισχύος** P στό έναλλασσόμενο ρεύμα, θά έξετάσομε δύο περιπτώσεις. Στήν πρώτη ή τάση και ή ένταση είναι σέ φάση. Στή δεύτερη ύπάρχει διαφορά φάσεως μεταξύ τάσεως και έντασεως.

7.7.2 Ή ισχύς όταν τάση και ένταση είναι σέ φάση.

Η περίπτωση αύτή παρουσιάζεται στήν πράξη, όπως θά έξηγήσομε και σέ έπομενο κεφάλαιο, όταν άπο μία πηγή έναλλασσόμενου ρεύματος τάσεως u (σχ. 7.7a) τροφοδοτεῖται ένα κύκλωμα πού έχει μόνο άντισταση R . Τότε ή τάση είναι σέ φάση μέ τήν ένταση i .

Τό σχήμα 7.7β(a) δείχνει τίς καμπύλες τῆς τάσεως και τῆς έντασεως έναλλασσόμενου ρεύματος όταν είναι σέ φάση. Γιά κάθε χρονική στιγμή t πολλαπλασιάζομε τίς στιγμαίες τιμές τῶν u και i και μέ τό γινόμενο τους p σχηματίζομε τήν καμπύλη τού σχήματος 7.7β(β). “Έχομε έτσι τή μεταβολή τῶν στιγμαίων τιμῶν τῆς ισχύος p , πού όπως παρατηρούμε είναι πάντοτε θετικές.



Σχ. 7.7β.

Σχ. 7.7γ.

Φέρομε τήν εύθεια M στό μέσο τής μέγιστης τιμῆς P_m τῆς καμπύλης P . Παρατηροῦμε ότι ή $P_m/2$ είναι ή μέση τιμή τῆς ίσχύος μέσα σέ μια περίοδο. Αύτό γίνεται καλύτερα κατανοητό στό σχήμα 7.7γ στό διόποιο φαίνεται ότι τά τμήματα 1,2,3,4 έχουν τό ίδιο έμβαδον μέ τά 1', 2', 3', 4'.

Βλέπομε λοιπόν ότι, όταν ή τάση καί ή ένταση είναι σέ φάση, ή ίσχυς P στό έναλλασσόμενο ρεύμα, πού είναι ίση μέ τή μέση τιμή τῆς ίσχύος σέ κάθε περίοδο, είναι:

$$P = \frac{P_m}{2}$$

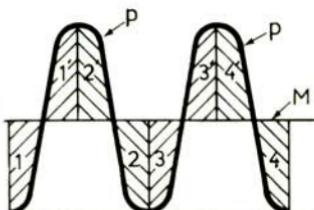
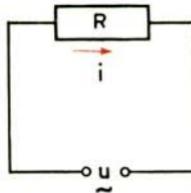
"Όταν ή τάση καί ή ένταση είναι σέ φάση, τότε είναι έπισης:

$$P_m = U_m \cdot I_m$$

"Αρα:

$$P = \frac{P_m}{2} = \frac{U_m \cdot I_m}{2} = \frac{U_m}{\sqrt{2}} \cdot \frac{I_m}{\sqrt{2}}$$

Έπειδή ομως: $\frac{U_m}{\sqrt{2}} = U$ (ένεργος τιμή) και $\frac{I_m}{\sqrt{2}} = I$ (ένεργος τιμή)



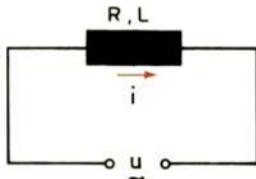
προκύπτει τελικά ότι:

$$P = U \cdot I \quad \text{σέ } W$$

Δηλαδή στό έναλλασσόμενο ρεύμα, όταν ή τάση και ή ένταση είναι σέ φάση, ή ισχύς (σέ W) είναι ίση μέ τό γινόμενο τῆς ένεργού τιμῆς τῆς τάσεως (σέ V) ἐπί τήν ένεργό τιμή τῆς έντασεως (σέ A).

7.7.3 Ή ισχύς όταν ύπάρχει διαφορά φάσεως μεταξύ τάσεως και έντασεως.

Στά έναλλασσόμενα ρεύματα ή περίπτωση νά είναι ή τάση και ή ένταση σέ φάση είναι ειδική περίπτωση γιατί παρουσιάζεται όταν στό κύκλωμα δέν ύπαρχουν παρά μόνο καταναλωτές πού έχουν καθαρή άντισταση. Στή γενική περίπτωση ή τάση και ή ένταση δέν είναι σέ φάση όπως θά δούμε στό κεφάλαιο 9. Π.χ. αύτό συμβαίνει στό κύκλωμα τοῦ σχήματος 7.7δ, όπου άπο μιά πηγή έναλλασσόμενης τάσεως u τροφοδοτεῖται ἔνα πηνίο πού έχει άντισταση R και συντελεστή αύτεπαγωγῆς L .



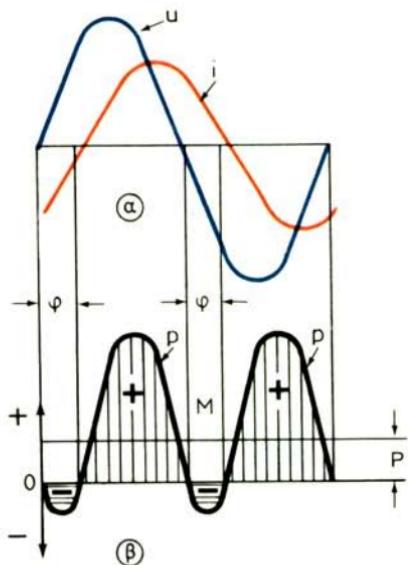
Σχ. 7.7δ.

"Όταν ύπάρχει διαφορά φάσεως φ μεταξύ τῆς τάσεως και τῆς έντασεως, όπως στό σχήμα 7.7ε(α), τότε ή καμπύλη τῆς ισχύος έχει και τιμήματα κάτω ἀπό τόν δριζόντιο ἄξονα, δηλαδή ή ρ παίρνει και άρνητικές τιμές, όπως φαίνεται στό σχήμα 7.7ε(β).

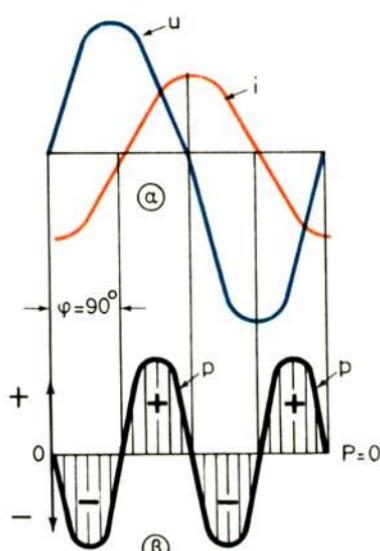
"Η μέση εύθεια M είναι τώρα πιό κοντά στόν δριζόντιο ἄξονα ἀπό όπι ήταν όταν ή τάση και ή ένταση ήταν σέ φάση. Αύτό σημαίνει ότι ή μέση ισχύς P είναι τώρα μικρότερη, ἀν καί ή ένεργος τιμή τῆς τάσεως και ή ένεργος τιμή τῆς έντασεως ἔμειναν οἱ ίδιες.

"Από τά παραπάνω είναι εύκολο νά συμπεράνει κανείς ότι, **όταν ύπάρχει διαφορά φάσεως μεταξύ τάσεως και έντασεως, γά νά βροῦμε τήν ισχύ τού έναλλασσόμενου ρεύματος (σέ W), πρέπει νά πολλαπλασιάσομε τό γινόμενο τῶν ένεργῶν τιμῶν τῆς τάσεως και έντασεως μέ ένα συντελεστή μικρότερο ἀπό τή μονάδα.** Ό συντελεστής αύτός όνομάζεται **συντελεστής ισχύος**. Ή μέγιστη τιμή πού μπορεῖ νά πάρει ό συντελεστής ισχύος είναι ή μονάδα, όταν τάση και ένταση είναι σέ φάση.

"Άν ή διαφορά φάσεως γίνει $\phi = 90^\circ$ [σχ. 7.7στ(α)], τότε ή μέση



Σχ. 7.7ε.



Σχ. 7.7στ.

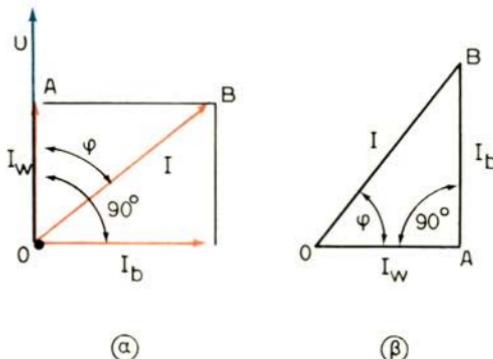
γραμμή M τῆς ισχύος συμπίπτει μέ τὸν διριζόντιο ἄξονα, ὅπως φαίνεται στὸ σχῆμα 7.7στ(β). Στήν περίπτωση αὐτή, τά ἐμβαδά πού βρίσκονται κάτω ἀπό τὸν ἄξονα εἶναι ἵσα μέ τὰ ἐμβαδά πού βρίσκονται πάνω ἀπό αὐτόν.

Αὐτό συμβαίνει στίς περιπτώσεις πού ἀπό τὴν πηγή τοῦ ἐναλλασσόμενου ρεύματος τροφοδοτεῖται ἔνα πηνίο μέ σημαντική αὐτεπαγωγή, ἀλλά χωρὶς σχεδόν ἀντίσταση. Τότε στό ἔνα τέταρτο τῆς περιόδου τοῦ ἐναλλασσόμενου ρεύματος, ἡ πηγή τροφοδοτεῖ μέ ἡλεκτρική ἐνέργεια (ισχύ) τὸ πηνίο καὶ στό ἐπόμενο τέταρτο τῆς περιόδου τὸ πηνίο ἐπιστρέφει στήν πηγή τὴν ἐνέργεια αὐτή πού εἶχε ἀποταμιεύσει στὸ μαγνητικό του πεδίο.

'Από τὰ παραπάνω συμπεραίνομε ὅτι, **ὅταν ἡ διαφορά φάσεως εἶναι 90° , ἡ ισχύς τοῦ ἐναλλασσόμενου ρεύματος εἶναι ἵση μὲ μηδέν,** δηλαδή ὁ συντελεστής ισχύος εἶναι στήν περίπτωση αὐτή ἵσος μέ μηδέν.

7.8 Τό συνφ ώς συντελεστής ισχύος.

Γιά νά βροῦμε τό μέγεθος τοῦ συντελεστῆ ισχύος, ὅταν ἡ διαφορά φάσεως φ μεταξύ τάσεως καὶ ἐντάσεως εἶναι μεταξύ 0° καὶ 90° , κάνομε τό διανυσματικό διάγραμμα τῆς τάσεως U καὶ τῆς ἐντάσεως I [σχ. 7.8 (a)]. "Οπως ἔξηγήσαμε καὶ στήν παράγραφο 7.4, στά διανυσματικά δια-



Σχ. 7.8.

α) Διανυσματικό διάγραμμα τάσεως U και έντασεως I . β) Τρίγωνο έντασεων.

γράμματα χρησιμοποιούμε τήν ένεργο τιμή τής τάσεως και τήν ένεργο τιμή τής έντασεως.

Τό διάνυσμα τής έντασεως I μπορούμε νά τό άναλύσομε σέ δύο συνιστώσες, τήν I_w στήν κατεύθυνση τής τάσεως και τήν I_b , κάθετη πρός τήν τάση. Άπο αύτές ή I_w , πού είναι σέ φάση μέ τήν τάση (παράγρ. 7.7.2) δίνει τήν ισχύ P και γι' αύτό όνομάζεται **βαττική συνιστώσα** τής I , ένω ή I_b πού έχει διαφορά φάσεως 90° , δημοσιεύεται **άεργος συνιστώσα** τής I .

Μέ πλευρές τίς τρεῖς έντασεις I , I_w και I_b κατασκευάζομε τό όρθογώνιο τρίγωνο OAB [σχ. 7.8(β)].

Η γωνία μεταξύ τής OB (I) και τής OA (I_w) είναι ίση μέ τή διαφορά φάσεως ϕ . Ο λόγος OA/OB όνομάζεται στά μαθηματικά **συνημίτονο τής γωνίας ϕ** και παριστάνεται μέ τό συνφ.

Τό συνφ είναι ένας άριθμός πού έξαρτάται μόνο άπό τή γωνία ϕ και είναι πάντοτε μικρότερος ή τό πολύ ίσος μέ 1.

Είναι λοιπόν:

$$\frac{I_w}{I} = \text{συνφ} \quad \text{ή} \quad I_w = I \cdot \text{συνφ}$$

"Όμοια όνομάζεται **ήμιτονο τής γωνίας ϕ** ό λόγος τής BA πρός τήν OA και παριστάνεται μέ τό ημφ.

"Όπως τό συνφ έτσι και τό ημφ είναι ένας άριθμός μικρότερος ή ίσος μέ 1 και έξαρτάται μόνο άπό τή γωνία ϕ .

Είναι: $I = \eta \mu \phi$ ή $I_b = I \cdot \eta \mu \phi$

Οι τιμές των συνφ και ημφ γιά τίς διάφορες γωνίες από 0° μέχρι 90° δίνονται στόν Πίνακα 7.8.1. Στόν ίδιο πίνακα δίνονται και οι τιμές των εφφ και σφφ γιά τίς δύοποιες ισχύουν οι σχέσεις:

$$\text{εφφ} = \frac{\text{ημφ}}{\text{συνφ}} \quad \text{και} \quad \text{σφφ} = \frac{\text{συνφ}}{\text{ημφ}}$$

"Όπως άναφέραμε, τήν ίσχύ τή δίνει ή βαττική συνιστώσα I_w . "Αρα είναι:

$$P = U \cdot I_w \quad \text{σέ } W$$

"Αν λάβομε ύποψη και τή σχέση πού συνδέει τήν I_w μέ τήν I , έχομε:

$$P = U \cdot I \cdot \text{συνφ} \quad \text{σέ } W$$

όπου: U ή ένεργος τιμή τάσεως σέ V ,

I ή ένεργος τιμή τής έντασεως σέ A ,

ϕ ή διαφορά φάσεως μεταξύ τάσεως και έντασεως.

'Από τήν τελευταία αύτή σχέση, και άπο δόσα είπαμε στήν προηγούμενη παράγραφο γιά τό συντελεστή ισχύος, συμπεραίνομε ότι **ό συντελεστής ισχύος είναι ίσος μέ τό συνημίτονο τής γωνίας φ**, δηλαδή τής διαφορᾶς φάσεως μεταξύ τάσεως και έντασεως.

"Οταν στό κύκλωμα ύπάρχουν μόνο καταναλωτές μέ καθαρές άντιστάσεις, π.χ. λαμπτήρες πυρακτώσεως ή άντιστάσεις θερμάνσεως, ήταν δηλαδή, οπως είδαμε στήν παράγραφο 7.7.2 ή τάση και ή ένταση είναι σέ φάση, τότε έχομε $\phi = 0^\circ$ και συνεπώς συνφ = 1. "Αρα θά είναι:

$$P = U \cdot I \cdot \text{συνφ} = U \times I \times 1 = U \cdot I \quad \text{σέ } W$$

"Οταν στό κύκλωμα ύπάρχουν μόνο καταναλωτές πού έχουν πηνία μέ σημαντική αύτεπαγγή χωρίς σχεδόν άντίσταση, τότε, οπως άναφέραμε και στήν παράγραφο 7.7.3, έχομε $\phi = 90^\circ$ και συνεπώς συνφ = 0. "Αρα θά είναι:

$$P = U \cdot I \cdot \text{συνφ} = U \times I \times 0 = 0$$

Οι λοιποί καταναλωτές, π.χ. οι ήλεκτρικοί κινητήρες, οι λαμπτήρες φθορισμού, οι μετασχηματιστές κλπ. έχουν συνφ πού έχει κάποια τιμή μεταξύ μηδέν και ένα. Σημειώνομε όμως ότι σέ πολλούς καταναλωτές ο συντελεστής ισχύς, δηλαδή τό συνφ, δέν είναι σταθερός άλλα έξαρταται άπο τό φορτίο τους. Αύτό συμβαίνει π.χ. στούς κινητήρες έναλλασσόμενου ρεύματος.

Παράδειγμα 1.

"Οταν ή διαφορά φάσεως μεταξύ τάσεως και έντασεως είναι

ΠΙΝΑΚΑΣ 7.8.1.
Τιμές τῶν ημφ., συνφ., ἐφφ καὶ σφφ.

Φ°	ημφ.	συνφ.	εφφ	σφφ	
0	0.000	1.000	0.000	...	90
1	0.017	1.000	0.017	57.29	89
2	0.035	0.999	0.035	28.64	88
3	0.052	0.999	0.052	19.08	87
4	0.070	0.998	0.070	14.30	86
5	0.087	0.996	0.087	11.33	85
6	0.104	0.995	0.105	9.514	84
7	0.122	0.993	0.123	8.144	83
8	0.139	0.990	0.141	7.115	82
9	0.156	0.988	0.156	6.314	81
10	0.174	0.985	0.176	5.671	80
11	0.190	0.982	0.194	5.145	79
12	0.208	0.978	0.213	4.705	78
13	0.225	0.974	0.231	4.331	77
14	0.242	0.970	0.249	4.011	76
15	0.259	0.966	0.208	3.732	75
16	0.276	0.961	0.287	3.487	74
17	0.292	0.956	0.306	3.271	73
18	0.309	0.951	0.325	3.078	72
19	0.326	0.946	0.344	2.904	71
20	0.342	0.940	0.364	2.747	70
21	0.358	0.934	0.381	2.605	69
22	0.375	0.927	0.404	2.475	68
23	0.391	0.921	0.424	2.356	67
24	0.407	0.914	0.445	2.246	66
25	0.423	0.906	0.466	2.145	65
26	0.438	0.899	0.488	2.050	64
27	0.454	0.891	0.510	1.963	63
28	0.459	0.893	0.532	1.891	62
29	0.485	0.875	0.554	1.804	61
30	0.500	0.866	0.577	1.732	60
31	0.515	0.857	0.601	1.664	59
32	0.530	0.848	0.625	1.600	58
33	0.545	0.839	0.649	1.540	57
34	0.559	0.829	0.675	1.483	56
35	0.574	0.819	0.700	1.428	55
36	0.588	0.809	0.727	1.376	54
37	0.602	0.799	0.754	1.327	53
38	0.616	0.783	0.781	1.280	52
39	0.629	0.777	0.810	1.235	51
40	0.643	0.768	0.839	1.192	50
41	0.656	0.755	0.869	1.150	49
42	0.669	0.743	0.900	1.111	48
43	0.682	0.731	0.933	1.072	47
44	0.695	0.719	0.966	1.036	46
45	0.707	0.707	1.000	1.000	45
	συνφ.	ημφ.	σφφ	εφφ	Φ°

$\phi = 30^\circ$, πόσες είναι οι τιμές των έντασεων I_w (βαπτική συνιστώσα) και I_b (ϊαργός συνιστώσα) στίς όποιες άναλύεται ένταση ρεύματος $I = 100 \text{ A}$;

Λύση:

Από τόν Πίνακα 7.8.1 βρίσκομε ότι γιά $\phi = 30^\circ$, έχομε:
 $\sigma_u = 30^\circ = 0,866$ και $\eta_m = 30^\circ = 0,5$. Ήρθα είναι:

$$I_w = I \cdot \sigma_u \phi = 100 \times 0,866 = 86,6 \text{ A}$$

$$I_b = I \cdot \eta_m \phi = 100 \times 0,5 = 50 \text{ A}$$

Παράδειγμα 2.

Μιά ήλεκτρική θερμάστρα τροφοδοτείται από δίκτυο έναλλασσόμενου ρεύματος τάσεως 220 V και άπορροφά ένταση 10 A. Πόση είναι ή iσχύς πού άπορροφά ή θερμάστρα;

Λύση:

Γιά τήν ήλεκτρική θερμάστρα είναι $\sigma_u \phi = 1$. Ήρθα έχομε:

$$P = U \cdot I \cdot \sigma_u \phi = 220 \times 10 \times 1 = 2200 \text{ W} = 2,2 \text{ kW}$$

Παράδειγμα 3.

Πόση είναι ή iσχύς πού άπορροφά από δίκτυο έναλλασσόμενου ρεύματος τάσεως 220 V ένα πηνίο πού τροφοδοτείται από αύτό μέ ένταση 10 A; Ό συντελεστής iσχύος τού πηνίου είναι 0,3.

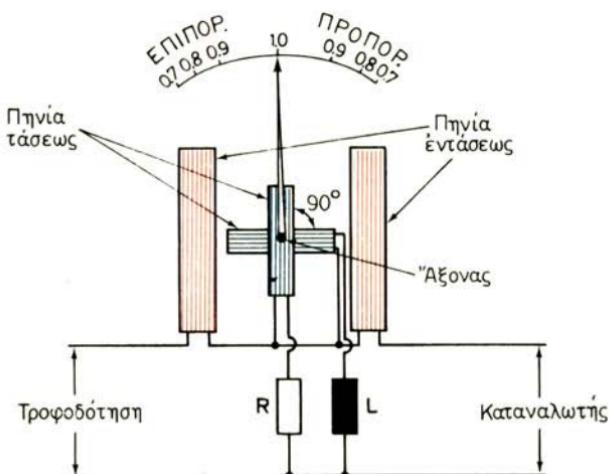
Λύση:

$$\text{Είναι: } P = U \cdot I \cdot \sigma_u \phi = 220 \times 10 \times 0,3 = 660 \text{ W} = 0,66 \text{ kW}$$

7.9 Μέτρηση τού συντελεστή iσχύος.

Γιά νά μετρήσουμε τό συντελεστή iσχύος μιᾶς καταναλώσεως, χρησιμοποιούμε τά ειδικά **օργανα μετρήσεως τού συντελεστή iσχύος**. Τά οργανα αύτά άνηκουν στήν κατηγορία των ήλεκτροδυναμικών οργάνων πού περιγράψαμε στήν παράγραφο 6.16. Διαφέρουν μόνο στό ότι έχουν δύο πηνία τάσεως (σχ. 7.9a). Τά πηνία αύτά πού είναι στερεωμένα στόν ξένονα περιστροφής, σχηματίζουν μεταξύ τούς γωνία 90° . Αύτός είναι ο λόγος πού τά οργανα αύτά άνομάζονται και **օργανα μέ σταυρωτά πηνία**. Τά πηνία συνδέονται στήν τάση τού καταναλωτῆ τό ένα μέσω μιᾶς άντιστάσεως R και τό άλλο μέσω μιᾶς αύτεπαγγής L .

Τό πηνίο έντασεως πού είναι και έδω σταθερό, άποτελείται από δύο μέρη οπως φαίνεται στό σχήμα 7.9a, συνδεμένα σέ σειρά. Μέσα από



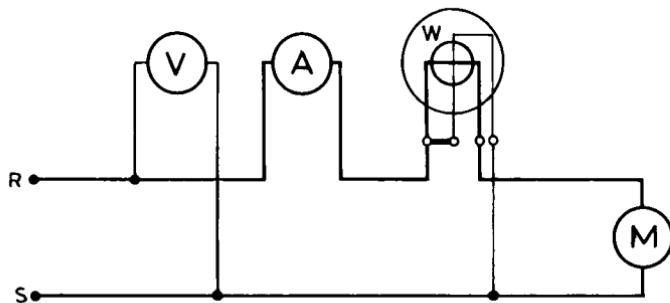
Σχ. 7.9α.
Όργανο μετρήσεως συντελεστή ισχύος.

αύτά περνά διάλοκληρη ή ένταση του καταναλωτή του όποιου θέλομε νά μετρήσομε τό συντελεστή ισχύος. Ή ένταση αύτή δημιουργεῖ τό μαγνητικό πεδίο στό διάστημα μεταξύ των δύο μερών του πηνίου έντάσεως μέσα στό όποιο βρίσκονται τά δύο πηνία τάσεως.

Δέ χρειάζεται νά περιγράψουμε μέ λεπτομέρεια τόν τρόπο λειτουργίας των όργανων αύτων. Άναφέρομε μόνο ότι όταν τό οργανό συνδεσμολογηθεῖ όπως στό σχήμα καί ή ένταση του καταναλωτή είναι σέ φάση μέ τήν τάση, τότε ό δείκτης του όργανου ίσορροπεί σέ μια μέση θέση πού έχει τήν ένδειξη 1. Δηλαδή ό συντελεστής ισχύος του καταναλωτή είναι ίσος μέ ένα. Όταν ή ένταση του καταναλωτή είναι σέ έπιπορεία ή σέ προπορεία ώς πρός τήν τάση, ό δείκτης του όργανου ίσορροπεί σέ κάποια θέση άριστερά ή δεξιά τής μέσης θέσεως καί δείχνει στήν κλίμακα του όργανου τό συντελεστή ισχύος πού έχει ό καταναλωτής.

Μεταβολές τής τάσεως του δικτύου στό όποιο είναι συνδεμένο ένα τέτοιο οργανό, δέν έπηρεάζουν τήν άκριβεια των ένδειξεών του. Αντίθετα μεταβολές στή συχνότητα του ρεύματος προκαλοῦν σφάλματα στίς ένδειξεις.

Ένας άλλος τρόπος γιά νά βροῦμε τό συνφ, όταν δέν διαθέτομε οργανό όπως αύτό πού περιγράψαμε παραπάνω, είναι νά ύπολογίσουμε τό συντελεστή ισχύος, άφού πρώτα μετρήσομε τά P, U καί I. Από τή σχέ-



Σχ. 7.9β.
Μέτρηση τάσεως, έντασεως και ισχύος.

ση $P = U \cdot I \cdot \text{συνφ}$, πού δίνει τήν ίσχυ στό έναλλασσόμενο ρεύμα, προκύπτει ότι:

$$\boxed{\text{συνφ} = \frac{P}{U \cdot I}}$$

όπου: P ή ισχύς πού άπορροφά ό καταναλωτής σε W ,
 U ή τάση τοῦ καταναλωτῆ σε V ,
 I ή ένταση τοῦ καταναλωτῆ σε A .

Τά P , U καὶ I τά μετράμε μέ ἔνα βαττόμετρο, ἔνα βολτόμετρο καὶ ἔνα ἀμπερόμετρο γιά έναλλασσόμενο ρεύμα, δημοσιεύεται στό σχῆμα 7.9β, ὅπου γιά καταναλωτή ἔχομε ἔναν ηλεκτρικό κινητήρα.

Παράδειγμα.

Ένας κινητήρας έναλλασσόμενου ρεύματος λειτουργεῖ μέ τάση 220 V . Στό κύκλωμα τροφοδοτήσεώς του είναι συνδεσμολογημένα ἔνα ἀμπερόμετρο, πού δείχνει ένταση 10 A , καὶ ἔνα βαττόμετρο, πού δείχνει ισχύ άπορροφούμενη ἀπό τόν κινητήρα 1540 W . Πόσος είναι ὁ συντελεστής ισχύος τοῦ κινητήρα;

Λύση:

Από τή σχέση:

$$P = U \cdot I \cdot \text{συνφ}$$

προκύπτει ότι:

$$\sigma_{\text{υνφ}} = \frac{P}{U \cdot I} = \frac{1540}{220 \times 10} = 0,7$$

Άρα ο συντελεστής ίσχύος του κινητήρα είναι 0,7.

7.10 Πραγματική, φαινομένη και αεργη ίσχυς.

Τήν ίσχυ πού δίνει ο τύπος:

$$P = U \cdot I \cdot \sigma_{\text{υνφ}}$$

τήν όνομάζομε και **πραγματική ίσχυ**, γιατί είναι αυτή άκριβως πού παράγει ήλεκτρικό έργο. Σημειώνομε ότι αυτή είναι ή ίσχύς πού μᾶς δείχνουν (σέ W) τά βαττόμετρα στό έναλλασσόμενο ρεῦμα.

Όνομάζομε **φαινομένη ίσχυ** και τήν παριστάνομε μέ τό S, τό γινόμενο της ένεργος τιμής της τάσεως έπι τήν ένεργο τιμή της έντασεως. Ή μονάδα μέ τήν όποια μετρούμε τή φαινομένη ίσχυ είναι τό **βολταμπέρ** τό όποιο συμβολίζεται μέ τό σύμβολο VA. Είναι δηλαδή:

$$S = U \cdot I \quad \text{σέ VA}$$

όπου: U ή ένεργος τιμή της τάσεως σέ V,

I ή ένεργος τιμή της έντασεως σέ A.

Τά πολλαπλάσια της μονάδας VA, τά όποια χρησιμοποιούνται στήν πράξη είναι:

— Τό **κιλοβολταμπέρ**, μέ σύμβολο kVA.

$$1 \text{ kVA} = 1000 \text{ VA}$$

— Τό **μεγαβολταμπέρ**, μέ σύμβολο MVA.

$$1 \text{ MVA} = 1.000.000 \text{ VA} = 10^6 \text{ VA}$$

Τέλος όνομάζομε **αεργη ίσχυ** και τήν παριστάνομε μέ τό Q, τό γινόμενο:

$$Q = U \cdot I \cdot \eta_{\text{μφ}} \quad \text{σέ var}$$

όπου: U ή ένεργος τιμή της τάσεως σέ V,

I ή ένεργος τιμή της έντασεως σέ A,

Φ ή διαφορά φάσεως μεταξύ τάσεως καί έντασεως.

Ή μονάδα μετρήσεως της αεργης ίσχύος είναι τό **βάρ**, μέ σύμβολο τό var.

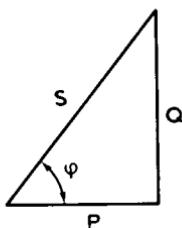
Σημειώνομε τίς άκολουθες σχέσεις πού είναι εύκολο νά άποδειχθεῖ ότι ύπαρχουν μεταξύ τῶν άριθμητικῶν τιμῶν τῶν P, Q καί S.

$$P = S \cdot \sigma_{\text{υνφ}}$$

$$Q = S \cdot \eta_{\text{μφ}}$$

$$S^2 = P^2 + Q^2$$

Έπίσης öti τά P, Q και S μποροῦμε νά τά παραστήσομε μέ τίς τρεῖς πλευρές ἐνός δρθιογωνίου τριγώνου, τοῦ δποίου ή μία γωνία είναι ἵση μέ φ, δηλαδή μέ τή διαφορά φάσεως μεταξύ τάσεως και ἐντάσεως, öπως φαίνεται στό σχῆμα 7.10.



Σχ. 7.10.

Παράδειγμα 1.

Μέσα ἀπό τό τύλιγμα ἐνός ἡλεκτρομαγνήτη περνᾶ ἔνταση ἐναλλασσόμενου ρεύματος 5 A, ὅταν τροφοδοτεῖται μέ τάση 220 V. Ὁ συντελεστής ισχύος είναι 0,65. Νά βρεθοῦν: ή φαινομένη ισχύς σέ kVA, ή πραγματική ισχύς σέ W και ή ἄεργος ισχύς σέ var.

Λύση:

- $S = U \cdot I = 220 \times 5 = 1100 \text{ VA} = 1,1 \text{ kVA}$
 - $P = U \cdot I \cdot \sin\phi = 220 \times 5 \times 0,65 = 715 \text{ W}$
 - $\eta P = S \cdot \sin\phi = 1100 \times 0,65 = 715 \text{ W}$
 - ‘Από τόν Πίνακα 7.8.1 βρίσκομε öti öταν συνφ = 0,65, τό ημφ = 0,86.
- “Αρα: $Q = S \cdot \eta\mu = 1100 \times 0,76 = 836 \text{ var}$

Παράδειγμα 2.

Ένας μικρός μετασχηματιστής ἔχει φαινομένη ισχύ 1000 VA. Πόση ἔνταση ρεύματος ἀπορροφᾷ στήν κανονική του λειτουργία μέ πλήρες φορτίο, ὅταν τροφοδοτεῖται ἀπό δίκτυο ἐναλλασσόμενου ρεύματος τάσεως 220 V;

Λύση:

‘Από τή σχέση $S = U \cdot I$ προκύπτει öti:

$$I = \frac{S}{U} = \frac{1000}{220} = 4,55 \text{ A}$$

7.11 Μετρητές ήλεκτρικής ένέργειας.

7.11.1 Βαττομετρικοί μετρητές.

Όπως στό συνεχές ρεύμα (παράγρ. 4.4) έτσι καί στό έναλλασσόμενο, ή ήλεκτρική ένέργεια πού άπορροφᾶται άπό έναν καταναλωτή σταθερής (μέσης) ίσχυος P σε χρόνο t δίνεται άπό τόν τύπο:

$$A = P \cdot t \quad \text{σε Ws}$$

όπου: P ή παραλαμβανόμενη άπό τόν καταναλωτή ίσχυς σε W ,
 t ο χρόνος λειτουργίας σε s .

"Αν στόν παραπάνω τύπο βάλομε τήν ίσχυ σε kW καί τό χρόνο σε h , τότε ή ένέργεια θά προκύψει σέ kWh , πού είναι καί στό έναλλασσόμενο ρεύμα ή μονάδα πού χρησιμοποιεῖται στήν πράξη.

Γιά νά μετρήσομε τήν ήλεκτρική ένέργεια πού καταναλώνει μία έγκατάσταση, χρησιμοποιούμε, όπως έξηγήσαμε καί στό συνεχές ρεύμα (παράγρ. 4.5.2), τούς μετρητές ήλεκτρικής ένέργειας (ή ήλεκτρικούς γνώμονες).

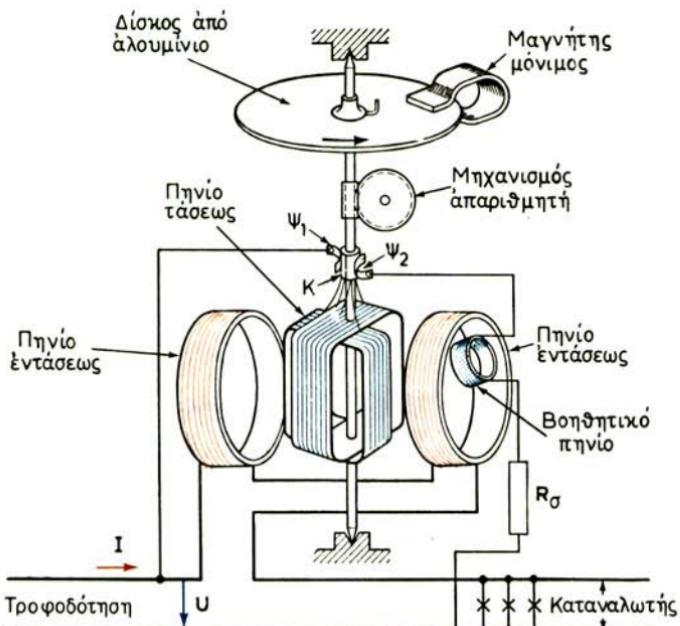
Οι μετρητές πού χρησιμοποιούνται στό συνεχές καί πού μποροῦν νά χρησιμοποιηθοῦν καί στό έναλλασσόμενο, είναι **οι βαττομετρικοί μετρητές**. Ή άρχη λειτουργίας τών μετρητών αύτών είναι ή ίδια μέ τήν άρχη λειτουργίας τού κινητήρα συνεχούς ρεύματος (παράγρ. 6.12). Κατασκευαστικά μοιάζουν μέ τά ήλεκτροδυναμικά όργανα.

Οι μετρητές αύτοί έχουν δύο πηνία έντάσεως (σχ. 7.11a) πού είναι συνδεμένα σέ σειρά καί άποτελούνται άπό λίγες σπείρες χονδρού σύρματος. Μέσα άπό αύτά περνά ή ένταση τού καταναλωτή καί δημιουργείται έτσι τό μαγνητικό πεδίο τού μετρητή.

Στό μαγνητικό πεδίο, μεταξύ τών δύο πηνίων έντάσεως βρίσκεται τό πηνίο τάσεως πού άποτελείται άπό πολλές σπείρες άπό λεπτό σύρμα. Τό πηνίο τάσεως είναι στερεωμένο σέ έναν άξονα καί μπορεῖ νά περιστρέφεται, όπως τό έπαγγεικό τύμπανο τών κινητήρων. Τό πηνίο αύτό τροφοδοτείται μέ ρεύμα μέσω δύο ψηκτρών ψ_1 καί ψ_2 καί τού συλλέκτη K . Ή τροφοδότηση γίνεται άπό τήν τάση τού καταναλωτή, όπως φαίνεται καί στό σχήμα, μέ τήν παρεμβολή καί μιᾶς άντιστάσεως σειράς R_σ .

'Από τήν παραπάνω σύνδεση τών πηνίων προκύπτει ζτι ή κινητήρια ροπή πού θέτει σέ περιστροφή τό πηνίο τάσεως, είναι άνάλογη μέ τήν ίσχυ τής καταναλώσεως. Τήν άπαιτούμενη γιά τή λειτουργία τού μετρητή άντιτιθέμενη ροπή (πέδηση) τή δίνει τό σύστημα τού μόνιμου μαγνήτη μέ τό δίσκο άπό άλουμινιο όπως έξηγήσαμε στήν παράγραφο 6.8, οταν μιλήσαμε γιά τά δινορρεύματα.

Μηχανισμός όδοντωτών τροχών μέ άτερμονα μεταφέρει τόν άριθμό



Σχ. 7.11α.
Βαττομετρικός μετρητής.

στροφών του δίσκου στόν άπαριθμητή, διόποιος δείχνει άπευθείας τήν κατανάλωση σέ kWh, όπως έξηγήθηκε στήν παράγραφο 4.5.2.

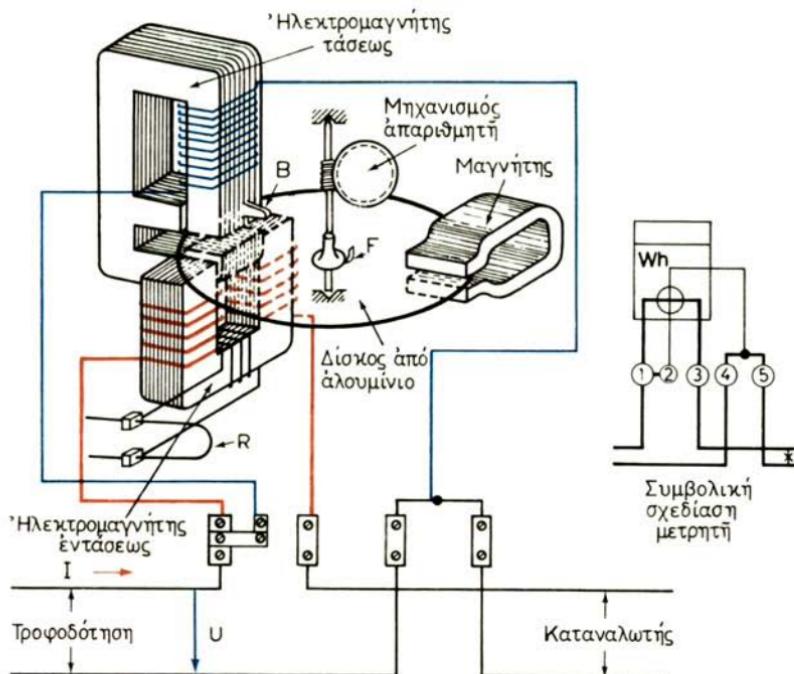
Σημειώνομε έπισης ότι σέ σειρά μέτο το πηνίο τάσεως είναι ένα μικρό βοηθητικό πηνίο πού δημιουργεί ένα πρόσθετο μαγνητικό πεδίο. "Ετσι δημιουργείται μία πρόσθετη σταθερή ροπή πού σκοπό έχει νά αντισταθμίζει τή ροπή τών τριβών στά έδρανα του ξένονα περιστροφῆς.

Τέλος, τό μικρό σιδερένιο έλασμα F (πού όνομάζεται σημαία) χρησιμεύει γιά νά μήν έχομε περιστροφή του δίσκου, όταν δέν υπάρχει φορτίο (ένταση) καταναλώσεως. Τό έλασμα έλκεται άπό τό μόνιμο μαγνήτη καί έτσι άκινητεΐ δίσκος.

7.11.2 Έπαγγελματικοί μετρητές.

Οι βαττομετρικοί μετρητές, όπως είπαμε, μποροῦν νά χρησιμοποιηθούν καί στό έναλλασσόμενο ρεύμα, άλλα γιά λόγους οίκονομίας στό έναλλασσόμενο ρεύμα χρησιμοποιούνται σχεδόν άποκλειστικά οι έπαγγελματικοί μετρητές, πού κοστίζουν πολύ λιγότερο άπό τούς βαττομετρικούς.

Στούς έπαγγελματικούς μετρητές έχομε έναν ήλεκτρομαγνήτη τάσεως



7.11β.

'Επαγωγικός μετρητής (μονοφασικός).

καί έναν **ήλεκτρομαγνήτη έντάσεως** τῶν δόπιων οι πυρήνες έχουν τή διαμόρφωση πού φαίνεται στό σχήμα 7.11β. Τά πηνία τῶν μαγνητῶν αύτῶν συνδέονται στό κύκλωμα τοῦ καταναλωτῆ, όπως έξηγήσαμε γιά τά άντιστοιχα πηνία στούς βαττομετρικούς μετρητές. Μεταξύ τῶν ήλεκτρομαγνητῶν βρίσκεται ο δίσκος άπό άλουμινιό.

Κάθε πηνίο διαρρέομενο άπό έναλλασσόμενο ρεύμα δημιουργεῖ μία έναλλασσόμενη μαγνητική ροή πού διαπερνᾶ τό δίσκο άπό άλουμινιό. Τά μαγνητικά αύτά πεδία δημιουργοῦν στό δίσκο δινορρεύματα. Άπο άλληλεπίδραση τῶν δινορρευμάτων αύτῶν καί τῶν μαγνητικῶν πεδίων άσκεται στό δίσκο ροπή. Ή ροπή αύτή έξαρταται άπο τήν πραγματική ισχύ $P = U \cdot I$. συνφ πού άπορροφᾶ ο καταναλωτής.

Γιά τούς σκοπούς τού βιβλίου αύτοῦ δέν είναι άπαραίτητη η έξήγηση μέ μεγαλύτερη λεπτομέρεια τῶν ειδικῶν σχημάτων πού έχουν οι πυρήνες τῶν ήλεκτρομαγνητῶν. Σημειώνομε μόνο ότι στό κάτω μέρος τοῦ πυρήνα τοῦ ήλεκτρομαγνήτη έντάσεως ύπάρχουν μερικές σπείρες χονδρού σύρματος, πού βραχυκυκλώνονται μέσω τῆς άντιστάσεως R . Γιά τή διόρθωση σφάλματος στίς ένδείξεις τοῦ μετρητῆ μεταβάλλομε τήν άντισταση R .

΄Η άντιτιθέμενη ροπή δημιουργεῖται καί έδω ἀπό τά δινορρεύματα πού δημιουργεῖ τό πεδίο τοῦ μόνιμου μαγνήτη ἐπάνω στό δίσκο. Έπι-σης υπάρχει καί έδω τό ᾥδιο σύστημα ἀπαριθμητῆ μέ δόδοντωτούς τρο-χούς καί ἀτέρμονα γιά τήν ἔνδειξη τῆς ἡλεκτρικῆς ἐνέργειας πού κατα-ναλώθηκε.

Γιά τήν ἀποφυγή περιστροφῆς τοῦ δίσκου χωρίς φορτίο ὑπάρχει τό σιδερένιο ἔλασμα F τό δόποιο κατά τή στροφή ἔλκεται ἀπό τήν ἐπίσης σιδερένια προεξοχή B (σημαῖες).

7.12 Ἐρωτήσεις.

1. Πῶς κινοῦνται τά ἡλεκτρόνια πού δημιουργοῦν τό ἡλεκτρικό ρεῦμα μέσα στούς ἀ-γωγούς στήν περίπτωση τοῦ συνεχοῦς ρεύματος καί πῶς στήν περίπτωση τοῦ ἐ-ναλλασσόμενου;
2. Τί ὄνομάζομε κύκλο, περίοδο καί συχνότητα σέ ἔνα ἐναλλασσόμενο ρεῦμα καί μέ ποιές μονάδες μετριοῦνται;
3. Ποιά σχέση συνδέει τή συχνότητα μέ τήν περίοδο καί ποιά τίς μονάδες τους;
4. Πόσο χρόνο ἀπέχουν μεταξύ τους δύο διαδοχικές μέγιστες τιμές στό ἐναλλασσό-μενο ρεῦμα;
5. Τί ὄνομάζομε κυκλική συχνότητα τοῦ ἐναλλασσόμενου ρεύματος;
6. Πόσο μῆκος ἔχει τό διάνυσμα πού παριστάνει περιστρεφόμενο ἔνα ἐναλλασσό-μενο μέγεθος;
7. "Οταν ἀθροίσομε δύο ἐναλλασσόμενες τάσεις πού εἶναι σέ φάση, μέ τί ισοῦται ἡ μέγιστη τιμή τῆς δλικῆς τάσεως; Ποιά διαφορά φάσεως ἔχει ἡ δλική τάση ώς πρός τίς μερικές;
8. "Οταν οι δύο τάσεις τῆς ἐρωτήσεως 7 δέν εἶναι σέ φάση, ἡ μέγιστη τιμή τῆς δλικῆς τάσεως θά εἶναι τώρα μεγαλύτερη, ἵση ἡ μικρότερη καί γιατί;
9. Ποῦ τοποθετεῖται τό παραστατικό διάνυσμα τῆς ἐντάσεως ἐναλλασσόμενου ρεύ-ματος σχετικά μέ τό διάνυσμα τῆς τάσεως, ὅταν ἡ ἐνταση προπορεύεται ἀπό τήν τάση καί ποῦ ὅταν εἶναι σέ ἐπιπορεία;
10. Ποιά σχέση συνδέει τήν ἐνεργό τιμή μέ τή μέγιστη τιμή σέ ἔνα ἐναλλασσόμενο μέ-γεθος;
11. Τά ἀμπερόμετρα καί τά βολτόμετρα ἐναλλασσόμενου ρεύματος ποιά τιμή τῆς ἐντά-σεως καί τάσεως μᾶς δίνουν;
12. Τί σημαίνουν τά μεγέθη 110 V, 2 A ὅταν εἶναι γραμμένα στήν πινακίδα μᾶς ἡλε-κτρικῆς συσκευῆς κατασκευασμένης γιά νά ἐργάζεται στό ἐναλλασσόμενο ρεῦμα;
13. Ποιά εἰδή ὄργάνων χρησιμοποιοῦνται γιά τή μέτρηση τῆς τάσεως ἡ τῆς ἐντάσεως στό ἐναλλασσόμενο ρεῦμα;
14. Σχεδίασε τήν ἐσωτερική συνδεσμολογία ἐνός ὄργάνου μέ στρεπτό πηνίο καί ἀνορ-θωτική γέφυρα, ώστε νά μπορεῖ νά μετρᾶ τάσεις ἡ ἐντάσεις στό ἐναλλασσόμενο ρεῦμα.
15. Ποιά εἶναι τά σημαντικότερα πλεονεκτήματα τῶν ὄργάνων μετρήσεως μέ κινητό σίδηρο; Σέ τί μειονεκτοῦν;
16. Γιατί τά ὄργανα μέ στρεπτό πηνίο δέν μποροῦν νά χρησιμοποιηθοῦν ώς βαττόμε-τρα;
17. Τά ἡλεκτροδυναμικά ὄργανα, πού ὅπως εἶναι γνωστό χρησιμοποιοῦνται ώς βαττό-μετρα συνεχοῦς ρεύματος, γιατί μποροῦν νά χρησιμοποιηθοῦν καί ώς βαττόμετρα ἐναλλασσόμενου ρεύματος;
18. Μέ τί ισοῦται ἡ στιγμιαία τιμή τῆς ισχύος καί μέ τί ἡ μέση τιμή τῆς ισχύος στό ἐντάσης

- λασσόμενο ρεύμα, όταν ή τάση και ή ένταση είναι σέ φάση; Σέ τί μονάδες μετριούνται οι ισχεῖς αύτές;
19. Μέ τί ισούται ή πραγματική ισχύς, στό έναλλασσόμενο ρεύμα και μέ ποιά μονάδα μετριέται, όταν μεταξύ τάσεως και έντάσεως υπάρχει διαφορά φάσεως ϕ ; Μέ τί ισούται ή συντελεστής ισχύος στήν περίπτωση αύτή;
 20. Πότε διαφορά φάσεως μεταξύ τάσεως και έντάσεως υπάρχει στήν πρώτη περίπτωση και ποιά στή δεύτερη;
 21. "Όταν $\phi = 90^\circ$, ή ισχύς είναι ίση μέ τή μονάδα και πότε ίσος μέ μηδέν; Ποιά διαφορά φάσεως μεταξύ τάσεως και έντάσεως υπάρχει στήν πρώτη περίπτωση και ποιά στή δεύτερη;
 22. Τί όνομάζομε φαινομένη ισχύ και τί άεργη ισχύ στό έναλλασσόμενο ρεύμα; Μέ ποιές μονάδες μετριούνται;
 23. Ποιά σχέση συνδέει τήν άριθμητική τιμή τής πραγματικής ισχύος μέ αύτή τής φαινομένης;
 24. Ποιά σχέση συνδέει τίς άριθμητικές τιμές τής πραγματικής, τής φαινομένης και τής άεργης ισχύος;
 25. Ποιά όργανα μετρήσεως χρειαζόμασθε, γιά νά μπορέσουμε όπό τίς ένδειξεις τους νά υπολογίσουμε τό συνφ μιάς καταναλώσεως;
 26. Γιά ποιά είδη ρεύματος είναι κατάλληλος διαφορά φάσης μετρητής και γιά ποιά διαφορά φάσης μετρητής; Γιατί στό έναλλασσόμενο ρεύμα προτιμάται διαφορά φάσης μετρητής;

7.13 Προβλήματα.

1. Ποιά είναι ή συχνότητα έναλλασσόμενου ρεύματος πού έχει περίοδο $T = 0,02 \text{ s}$; Πόσους κύκλους στό δευτερόλεπτο κάνει τό ρεύμα αύτό;

Απάντ. 50 Hz, 50 κύκλοι/s

2. "Ομοιες έρωτήσεις μέ τήν παραπάνω ασκηση γιά $T = 10^{-5} \text{ s}$.

Απάντ. 100 kHz, 100 χιλιόκυκλοί/s

3. Νά σχεδιασθεΐ μέ άκριβεια ή ήμιτονική καμπύλη τής έντάσεως έναλλασσόμενου ρεύματος πού έχει μέγιστη τιμή 5 A.

Υπόδειξη: βλέπε σχήμα 7.1δ

4. Ποιά είναι ή κυκλική συχνότητα έναλλασσόμενου ρεύματος πού έχει περίοδο 0,01 s;

Απάντ. 628 rad/s

5. Νά σχεδιασθεΐ ή καμπύλη μεταβολής έναλλασσόμενου ρεύματος πού έχει μέγιστη τιμή 2 A και άρχικη φάση $\phi = -30^\circ$.

Υπόδειξη: βλέπε σχήμα 7.2β

6. "Αν ή συχνότητα τοῦ έναλλασσόμενου ρεύματος τής προηγούμενης ασκήσεως είναι 50 Hz, πόση θά είναι ή φάση ϕ τοῦ ρεύματος αύτοῦ μετά άπο χρόνο $t = 1/600 \text{ s}$;

Απάντ. $\phi = 0$



7. Ποιά είναι ή μέγιστη τιμή τής τάσεως έναλλασσόμενου ρεύματος πού έχει τάση 380 V;

Απάντ. 537 V

8. Σέ έναλλασσόμενο ρεύμα ή τάση προπορεύεται τής έντασεως κατά 45°. Νά κατασκευασθεί τό διανυσματικό διάγραμμα όταν η τιμή τής τάσεως είναι 230 V καί τής έντασεως 10 A.

Υπόδειξη: βλέπε σχήμα 7.4

9. Νά γίνει τό διανυσματικό διάγραμμα τής άθροίσεως τριῶν έναλλασσόμενων ρευμάτων μέ $I_1 = 5 \text{ A}$, $I_2 = 10 \text{ A}$, $I_3 = 5 \text{ A}$ όταν τό I_1 προπορεύεται τοῦ I_2 κατά 90° καί τό I_2 προπορεύεται τοῦ I_3 κατά 90° . Ποιά είναι ή τιμή (ένεργος) τοῦ δλικοῦ ρεύματος I καί ποιά διαφορά φάσεως ϕ έχει άπό τήν I_1 ;

Απάντ. $I = 10 \text{ A}$, $\phi = -90^\circ$ (σέ έπιπορεία)

10. Τό τύλιγμα ένός ήλεκτρομαγνήτη διαρρέεται άπό έναλλασσόμενο ρεύμα έντασεως 25 A, όταν τροφοδοτεῖται μέ τάση 220 V. Ο συντελεστής ίσχυος είναι συνφ = 0,5.

- a) Πόση είναι ή φαινομένη ίσχυς τοῦ ήλεκτρομαγνήτη;
 β) Πόση είναι ή πραγματική ίσχυς πού άπορροφᾶ;
 γ) Πόση είναι ή τιμή τής έντασεως I_w ;

Απάντ. a) 550 VA, β) 275 W, γ) 1,25 A

11. Τό πρωτεύον τύλιγμα ένός μετασχηματιστή άπορροφᾶ φαινομένη ίσχυ 2 kVA όταν τροφοδοτεῖται άπό δίκτυο έναλλασσόμενου ρεύματος τάσεως 380 V. Πόση ένταση ρεύματος περνά μέσα άπό τό τύλιγμα αύτό τοῦ μετασχηματιστῆ:

Απάντ. 5,26 A

12. "Ενας ήλεκτρομαγνήτης γιά έναλλασσόμενο ρεύμα 220 V άπορροφᾶ πραγματική ίσχυ 1200 W μέ συντελεστή ίσχυος 0,6. Πόση είναι ή ένταση ρεύματος πού περνά άπό τό τύλιγμα τοῦ ήλεκτρομαγνήτη;

Απάντ. 9,09 A

13. Νά ύπολογισθεῖ ο συντελεστής ίσχυος σέ καθεμιά άπό τίς άκόλουθες 4 περιπτώσεις:

a/a	'Ισχύς P kW	Τάση U V	"Ενταση I A	συνφ
1	50	230	270	
2	146	450	380	
3	210	500	480	
4	446	6000	80	

Απάντ. 1) 0,805, 2) 0,854, 3) 0,875, 4) 0,929

14. Μιά λυχνία φθορισμοῦ 220 V, 40 W άπορροφᾶ ἔνταση ρεύματος 0,45 A. Πόσο εἶναι τό συνφ τῆς λυχνίας αὐτῆς;

Απάντ. 0,4

15. Πόση εἶναι ἡ φαινομένη καὶ πόση ἡ ἀεργη ισχύς τῆς λυχνίας φθορισμοῦ τῆς προηγούμενης ἀσκήσεως;

Απάντ. 99 VA, 90,55 var

16. Μέ ἔνα μετρητή ἡλεκτρικῆς ἐνέργειας μετρήσαμε ὅτι ἔνας κινητήρας πού ἐργάζεται μέ σταθερό φορτίο άπορροφᾶ 2 kWh σέ χρόνο 15 min.

- α) Πόση πραγματική ισχύ καταναλώνει ὁ κινητήρας;
 β) Πόση ἔνταση άπορροφᾶ ἀπό δίκτυο τάσεως 220 V ἄν ὁ συντελεστής ισχύος του εἶναι 0,7;

Απάντ. α) 8 kW, β) 52 A

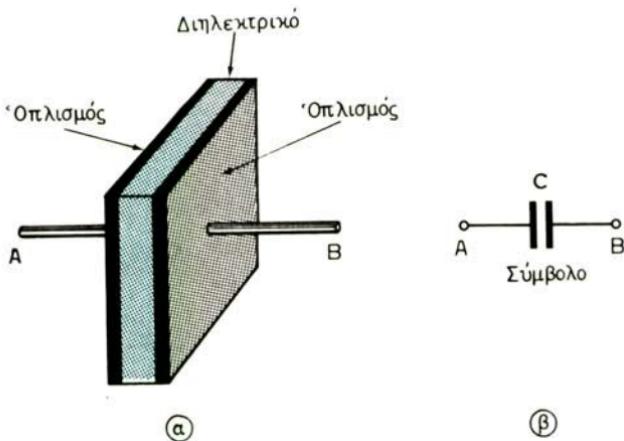
ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΟΓΔΟΟ

ΠΥΚΝΩΤΕΣ

8.1 Τί είναι ο πυκνωτής.

Έκτος από τίς άντιστάσεις, πού έξετάσαμε στό πρώτο μέρος τοῦ βιβλίου αύτοῦ όταν μιλήσαμε γιά τό συνεχές ρεῦμα καί τά πηνία, πού έξετάσαμε στό δεύτερο μέρος στό όποιο μιλήσαμε γιά τόν ήλεκτρομαγνητισμό, στά κυκλώματα τοῦ έναλλασσόμενου ρεύματος σημαντικό ρόλο παίζουν καί οι **πυκνωτές**. Έτσι πρίν έξετάσομε άναλυτικά τά κυκλώματα αύτά, θά δοῦμε τί είναι οι πυκνωτές καί ποιά είναι τά μεγέθη πού χαρακτηρίζουν τή συμπεριφορά τους μέσα στά κυκλώματα.

"Ενας πυκνωτής άποτελεῖται από δύο άγωγιμα σώματα άναμεσα στά όποια μεσολαβεῖ ἔνα στρῶμα από μονωτικό ύλικό. Τά άγωγιμα σώματα όνομάζονται **όπλισμόι τοῦ πυκνωτῆ**, ένω τό μονωτικό όνομάζεται **διηλεκτρικό τοῦ πυκνωτῆ**. Σάν διηλεκτρικό μπορεῖ νά είναι ο άέρας ή κάποιο στερεό μονωτικό (π.χ. χαρτί, μίκα, γυαλί) ή τέλος ἔνα μονωτικό ύγρο (π.χ. λάδι).



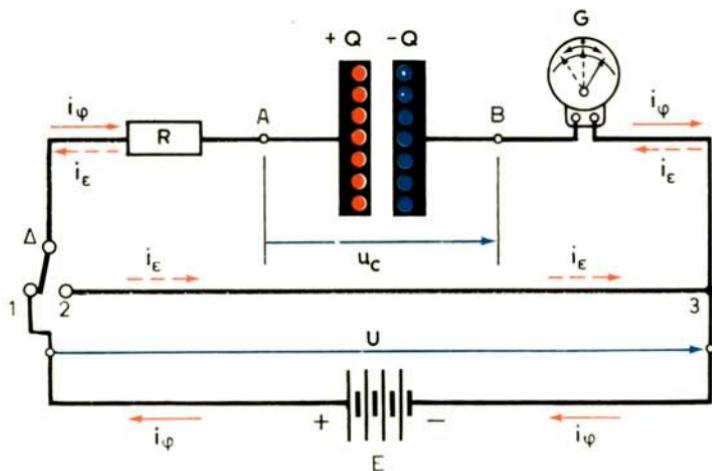
Σχ. 8.1.

α) Έπιπεδος πυκνωτής. β) Συμβολική παράσταση τοῦ πυκνωτῆ.

“Υπάρχουν πολλές μορφές πυκνωτῶν μερικές από τίς όποιες θά δοῦμε στό τέλος τοῦ κεφαλαίου, όταν θά μιλήσομε γιά τά εῖδη τῶν πυκνωτῶν. ‘Ο πιό άπλος εἶναι ό **έπιπεδος πυκνωτής**, ό όποιος άποτελεῖται από δύο έπιπεδες μεταλλικές πλάκες [σχ. 8.1(a)], τοποθετημένες παράλληλα καὶ σέ μικρή άπόσταση μεταξύ τους. ‘Ο πυκνωτής συνδέεται μὲ τό ύπόλοιπο κύκλωμα μέ τούς δύο άκροδέκτες του (Α καὶ Β στό σχῆμα), πού εἶναι συνδεμένοι ἀγώγιμα μέ τούς δύο οπλισμούς του. Στό σχῆμα 8.1(β) φαίνεται καὶ τό γραφικό σύμβολο πού χρησιμοποιοῦμε στά ήλεκτροτεχνικά σχέδια γιά νά παραστήσομε ἔναν πυκνωτή.

8.2 Φόρτιση καὶ ἑκφόρτιση πυκνωτῆς.

“Ἄν συνδέσομε τούς οπλισμούς ἐνός πυκνωτῆς μέ τούς πόλους μιᾶς πηγῆς συνεχοῦς ρεύματος μέσω ἐνός κυκλώματος, ὅπως αὐτό πού φαίνεται στό σχῆμα 8.2a, θά παρατηρήσομε ὅτι στόν οπλισμό πού συνδέεται μέ τό θετικό πόλο τῆς πηγῆς, ἐμφανίζονται θετικά ήλεκτρικά φορτία, ἐνῶ στόν ἄλλο οπλισμό ἐμφανίζονται ἀρνητικά φορτία. Λέμε τότε ὅτι ό πυκνωτής **φορτίσθηκε**.



Σχ. 8.2a.

Κύκλωμα φορτίσεως καὶ ἑκφορτίσεως πυκνωτῆς.

“Η φόρτιση τοῦ πυκνωτῆς ὀφείλεται στήν ήλεκτρεγερτική δύναμη τῆς πηγῆς (Ε), πού ἀναγκάζει τά ἐλεύθερα ήλεκτρόνια νά μετακινηθοῦν ἀπό τόν οπλισμό Α, πού συνδέεται μέ τό θετικό πόλο τῆς πηγῆς, μέσα ἀπό τήν πηγή πρός τόν οπλισμό Β, πού συνδέεται μέ τόν ἀρνητικό πόλο. ‘Ετσι ό οπλισμός Β ἀποκτᾶ περίσσευμα ήλεκτρονίων, δηλαδή ἀρνητικό

φορτίο ($-Q$) καί ό διπλισμός Α παρουσιάζει έλλειμμα ήλεκτρονίων, δηλαδή άποκτα θετικό φορτίο ($+Q$).

Η μετακίνηση τῶν ήλεκτρονίων μέσα από τούς άγωγούς τοῦ κυκλώματος άποτελεῖ, δημοσίευμα, ήλεκτρικό ρεῦμα, πού έχει συμβατική φορά άντιθετη από αύτή τῆς μετακίνησεως τῶν ήλεκτρονίων. Δηλαδή ή φορά τοῦ ρεύματος θά εἶναι αύτή πού δείχνουν τά βέλη μέσα συνεχή κόκκινη γραμμή στό σχήμα 8.2α.

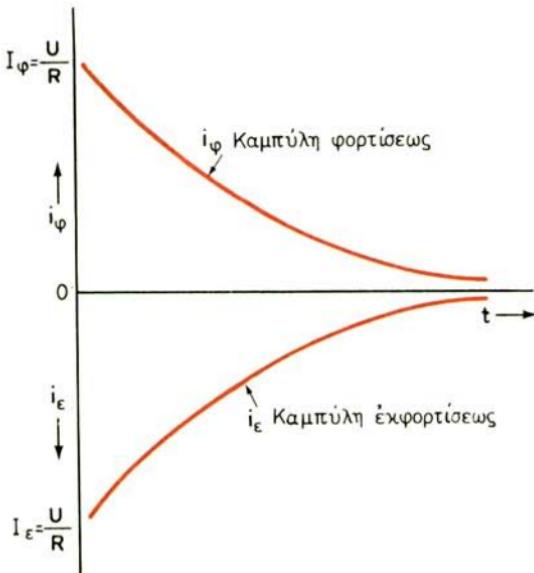
Η ένταση τοῦ ρεύματος αύτοῦ i_{ϕ} , πού μᾶς δείχνει τό γαλβανόμετρο G , δέν εἶναι σταθερή. Τή στιγμή πού κλείνομε τήν έπαφή 1 τοῦ διακόπτη Δ εἶναι:

$$I_{\phi} = \frac{U}{R}$$

ὅπου U ή τάση τῆς πηγῆς, πού δεχόμασθε ότι εἶναι ἵση μέ τήν ήλεκτρεγερτική δύναμη E , δηλαδή ότι ή έσωτερική άντισταση τῆς πηγῆς εἶναι άμελητέα,

R ή άντισταση τοῦ κυκλώματος.

Άμεσως μετά τήν άρχικη αύτή τιμή, ή ένταση άρχιζει νά λιγοστεύει καί σέ λίγο χρόνο μηδενίζεται, δημοσίευμα i_{ϕ} στό σχήμα 8.2β. Αύτό γίνεται γιατί όσο φορτίζεται ο πυκνωτής, δηλαδή όσο πε-



Σχ. 8.2β.

Καμπύλες φορτίσεως καί έκφορτίσεως πυκνωτῆ.

ρισσότερα ήλεκτρόνια άφαιρούνται από τόν όπλισμό Α καί μεταφέρονται στόν όπλισμό Β, τόσο περισσότερο αύξάνεται ή ήλεκτρική τάση u_c μεταξύ τών δύο όπλισμών (παράγρ. 1.6). Ή τάση αύτή άντιτίθεται στήν ήλεκτρεγερτική δύναμη τῆς πηγῆς καί ἔτσι έλαττώνεται προοδευτικά τό ρεῦμα.

“Οταν ή τάση τοῦ πυκνωτῆς u_c γίνει ἵση μὲ τήν τάση τῆς πηγῆς U, ή κίνηση τῶν ήλεκτρονίων στό κύκλωμα σταματᾶ. Ή φόρτιση τοῦ πυκνωτῆς ἔχει τελειώσει. Ο πυκνωτής δέν έπιτρέπει πιά τήν κίνηση τῶν ήλεκτρονίων, δηλαδή τήν κυκλοφορία ρεύματος στό κύκλωμα. Μέ αλλα λόγια ἐκτός ἀπό τό, συνήθως πολύ μικρό, χρονικό διάστημα τῆς φορτίσεως του, **δ πυκνωτής ἀποτελεῖ διακοπή τοῦ κυκλώματος γιά τό συνέχεις ρεῦμα**. Στά ἐπόμενα θά δοῦμε ὅτι αὐτό δέν εἶναι ἀλήθεια καί γιά τό ἐναλλασσόμενο ρεῦμα.

Ο πυκνωτής διατηρεῖ τά φορτία καί τήν τάση του καί ὅταν διακόψωμε τή σύνδεσή του μέ τήν πηγή.

‘Αν στό κύκλωμα τοῦ σχήματος 8.2a μεταθέσομε τό **διακόπτη διπλῆς ένέργειας Δ** ἀπό τήν ἐπαφή 1 πού ἦταν προηγουμένως στήν ἐπαφή 2, μποροῦμε νά **έκφορτίσομε τόν πυκνωτή** μέσα ἀπό τόν ἀγωγό 2 - 3. Τά ήλεκτρόνια πού εἶναι συσσωρευμένα στόν όπλισμό Β, ἐπιστρέφουν στόν όπλισμό Α καί δημιουργοῦν ἔνα (συμβατικό) ρεῦμα, δ- πως δείχνουν στό σχῆμα τά βέλη μέ διακοπόμενη κόκκινη γραμμή.

Ο δείκτης τοῦ γαλβανομέτρου ἀποκλίνει τώρα πρός τήν ἀντίθετη φορά καί μετά ἀπό ἔνα, συνήθως πολύ μικρό, χρονικό διάστημα, ἐπανέρχεται στό μηδέν. Ή **έκφορτιση τοῦ πυκνωτῆς** ἔχει συντελεσθεῖ. Ή τάση μεταξύ τῶν όπλισμών τοῦ πυκνωτῆς μηδενίζεται καί αὐτή.

Η μεταβολή τῆς ἐντάσεως τοῦ ρεύματος **έκφορτίσεως** i_e φαίνεται μέ μιά καμπύλη στό σχῆμα 8.2β. “Οπως παρατηροῦμε, ή **έκφορτιση ἀρχίζει** μέ τή μέγιστη τιμή τῆς ἐντάσεως, πού εἶναι καί ἔδω ἵση μέ U/R, γιατί ή τάση τοῦ πυκνωτῆς στό τέλος τῆς φορτίσεως εἶχε γίνει ἵση μέ τήν τάση τῆς πηγῆς U.

Η μορφή πού ἔχει καθεμιά ἀπό τίς καμπύλες τοῦ σχήματος 8.2β, ἔξαρτάται ἀπό τά στοιχεῖα τοῦ κυκλώματος, δηλαδή ἀπό τήν τιμή τῆς ἀντιστάσεως R καί ἀπό αὐτό πού, δπως θά **έξηγήσομε** στήν ἀμέσως ἐπόμενη παράγραφο, όνομάζομε χωρητικότητα τοῦ πυκνωτῆς.

8.3 Χωρητικότητα.

8.3.1 Χωρητικότητα πυκνωτῆς.

Τό πείραμα δείχνει ὅτι ὅταν σέ ἔναν πυκνωτή **έφαρμόσομε** διπλάσια τάση, δηλαδή τόν φορτίσομε ἀπό πηγή μέ διπλάσια ήλεκτρεγερτική δύναμη τότε διπλασιάζεται καί τό φορτίο Q πού παίρνει κάθε όπλισμός του. Γενικότερα, τό πείραμα δείχνει ὅτι: **δ λόγος τοῦ φορτίου πού παίρ-**

νουν οι όπλισμοί ενός πυκνωτή πρός τήν τάση πού έφαρμόζεται σ' αυτούς, είναι σταθερός για κάθε πυκνωτή. Ό λόγος αυτός δνομάζεται **χωρητικότητα** καί συμβολίζεται μέ τό γράμμα C.

Μονάδα μετρήσεως τῆς χωρητικότητας στό S.I είναι τό **φαράντ** (farad) μέ σύμβολο τό F.

Είναι συνεπῶς:

$$C = \frac{Q}{U} \quad \text{σέ } F$$

όπου: Q τό φορτίο κάθε όπλισμοῦ τοῦ πυκνωτῆ σέ As,

U ή τάση μεταξύ τῶν όπλισμῶν του σέ V.

Η σχέση πού συνδέει τό φαράντ μέ τίς ἄλλες μονάδες στό Διεθνές Σύστημα είναι:

$$1 F = 1 \frac{As}{V} = 1 \frac{s}{\Omega}$$

Παραπάνω, γιά μονάδα μετρήσεως τῶν φορτίων χρησιμοποίήσαμε τό As ή δύοια είναι ισοδύναμη μέ τό κουλόμπ, πού ἔχει σύμβολο τό C (παράγρ. 1.4). Αύτό τό κάναμε γιά νά μή γίνει σύγχυση μέ τή χωρητικότητα πού παριστάνεται καί αύτή μέ τό σύμβολο C.

Η μονάδα φαράντ ἀντιπροσωπεύει μιά πολύ μεγάλη χωρητικότητα, γι' αύτό στήν πράξη χρησιμοποιοῦνται τά ἀκόλουθα ὑποπολλαπλάσιά της:

— Τό **μικροφαράντ**, μέ σύμβολο μF.

$$1 \mu F = \frac{1}{1.000.000} F = 10^{-6} F$$

— Τό **νανοφαράντ**, μέ σύμβολο nF.

$$1 nF = \frac{1}{1000} \mu F = 10^{-9} F$$

— Τό **πικοφαράντ**, μέ σύμβολο pF.

$$1 pF = \frac{1}{1.000.000} \mu F = 10^{-12} F$$

Παράδειγμα 1.

Πόσα μικροφαράντ είναι ή χωρητικότητα ένός πυκνωτῆ, δ ὅποιος ὅταν φορτισθεῖ ἀπό μιά πηγή τάσεως 100 V, ἀποκτᾶ φορτίο 10^{-3} As;

Λύση:

$$C = \frac{Q}{U} = \frac{\frac{1}{1000}}{\frac{100}{100}} = \frac{1}{100.000} = 10 \mu F$$

Παράδειγμα 2.

Ποιά τάση έπικρατεί μεταξύ των όπλισμών ένός πυκνωτή πού έχει χωρητικότητα 2 nF και φέρει σέ κάθε όπλισμό φορτίο $0,5 \text{ } \mu\text{As}$;

Λύση:

Από τή σχέση $C = \frac{Q}{U}$ προκύπτει ότι:

$$U = \frac{Q}{C} = \frac{0,5 \times 10^{-6}}{2 \times 10^{-9}} = \frac{1000}{4} = 250 \text{ V}$$

8.3.2 Χωρητικότητα έπιπεδου πυκνωτή.

Η χωρητικότητα ένός πυκνωτή είναι τόσο μεγαλύτερη όσο μεγαλύτερη είναι ή έπιφάνεια των όπλισμών του και όσο πλησιέστερα είναι οι όπλισμοί μεταξύ τους. Δηλαδή όσο λεπτότερο είναι τό διηλεκτρικό. Έπισης, όπως θά έξηγήσομε και στήν παράγραφο 8.5, ή χωρητικότητα τού πυκνωτή έχαρταται και από τό ύλικό τού διηλεκτρικού.

Όταν τό διηλεκτρικό είναι άερας, ή χωρητικότητα ένός έπιπεδου πυκνωτή δίνεται από τήν άκολουθη σχέση:

$$C = \frac{8,85 \cdot S}{d} \quad \text{σέ } \mu F$$

ὅπου: S ή έπιφάνεια τής μιᾶς πλευρᾶς τού ένός από τούς όπλισμούς σέ m^2 ,

d ή άπόσταση μεταξύ των όπλισμών σέ m .

Παράδειγμα.

Ένας έπιπεδος πυκνωτής μέ διηλεκτρικό άερα, έχει ώς όπλισμούς δύο τετράγωνες πλάκες μέ διαστάσεις $20 \text{ cm} \times 20 \text{ cm}$ ή καθεμιά. Άν ή μεταξύ των όπλισμών άπόσταση είναι 4 mm , ποιά είναι ή χωρητικότητα τού πυκνωτή;

Λύση:

Έδω είναι: $S = 0,2 \times 0,2 = 0,04 \text{ m}^2$

Άρα:

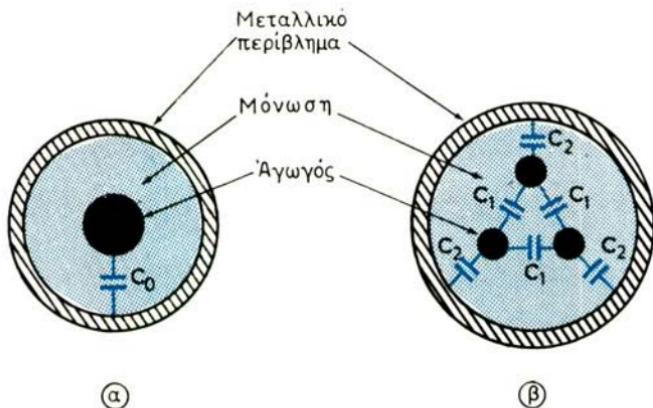
$$C = \frac{8,85 \cdot S}{d} = \frac{8,85 \times 0,04}{0,004} = 88,5 \mu F$$

8.3.3 Ή χωρητικότητα στίς ήλεκτροτεχνικές κατασκευές.

Χωρητικότητα δέν παρουσιάζουν μόνο οι πυκνωτές, χωρητικότητα παρουσιάζει καί κάθε σύστημα πού άποτελεῖται από δύο μονωμένα μεταξύ τους άγωγιμα σώματα στά δύο ίδια έφαρμόζεται μιά ήλεκτρική τάση. Ό λόγος τοῦ φορτίου πού άναλαμβάνει τό καθένα από τά σώματα αύτά πρός τήν τάση πού έφαρμόζεται, μᾶς δίνει τή χωρητικότητα τοῦ συστήματος.

Στήν πράξη ένδιαφέρει πάρα πολύ ή χωρητικότητα πού παρουσιάζουν οι διάφορες ήλεκτροτεχνικές κατασκευές, κυρίως στά έναλλασσόμενα ρεύματα. "Ετσι π.χ. ένδιαφέρει ή χωρητικότητα πού παρουσιάζει θάγωγός καί τό μεταλλικό περιβλήμα σέ ένα μονοπολικό καλώδιο [C_0 στό σχήμα 8.3α(α)], σάν αύτά πού χρησιμοποιούνται γιά τή μεταφορά τῆς ήλεκτρικῆς ένέργειας στά ύπόγεια δίκτυα.

Σέ τέτοια τριπολικά καλώδια, δηλαδή σέ καλώδια μέ τρεῖς άγωγούς – γιατί χρησιμοποιούμε τρεῖς άγωγούς θά τό δοῦμε όταν θά μιλήσομε γιά τά τριφασικά ρεύματα – ένδιαφέρει ή χωρητικότητα μεταξύ τῶν άγωγῶν [C_1 στό σχήμα 8.3α(β)] καί ή χωρητικότητα μεταξύ κάθε άγωγού καί τοῦ μεταλλικοῦ περιβλήματος [C_2 στό σχήμα 8.3α(β)].



Σχ. 8.3α.

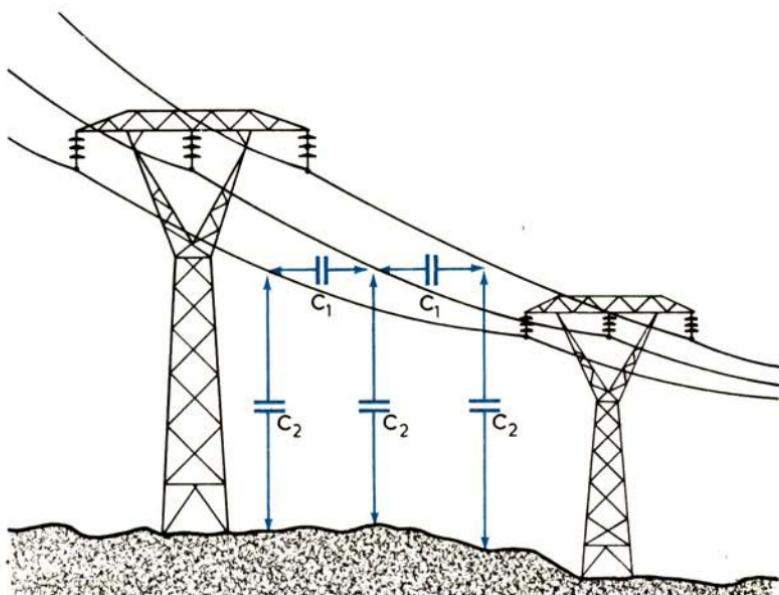
Χωρητικότητες καλωδίων. α) Μονοπολικού καλωδίου. β) Τριπολικού καλωδίου.

Οι χωρητικότητες αύτές δίνονται από τούς κατασκευαστές καλωδίων σέ μF άνα km μήκους καλωδίου καί λαμβάνονται ύπόψη στούς ύπολογισμούς πού γίνονται στά κυκλώματα έναλλασσόμενου ρεύματος σάν νά ήταν πυκνωτές μέ άντιστοιχες χωρητικότητες.

Οι χωρητικότητες πού παρουσιάζονται στίς διάφορες ήλεκτροτεχνικές κατασκευές, πρέπει έπισης νά λαμβάνονται ύπόψη γιά τήν άσφαλτεια τῶν έργαζομένων σ' αύτές. Π.χ. σέ έναέριες γραμμές ύψηλῆς τά-

σεως, οι άγωγοι παρουσιάζουν χωρητικότητα μεταξύ τους (C_1 , στό σχήμα 8.3β) και πρός τή γῆ (C_2).

Άποτέλεσμα τῶν χωρητικοτήτων αὐτῶν εἶναι ότι οι άγωγοι τῆς γραμμῆς μπορεῖ νά φέρουν ήλεκτρικά φορτία, καί συνεπώς νά ύπαρχει μεταξύ τους ή πρός τή γῆ μιά σημαντική τάση έπικίνδυνη γιά τούς άνθρωπους καί όταν άκομα έχει διακοπεῖ ή τροφοδότηση τῆς γραμμῆς άπό τήν πηγή. Αύτός εἶναι ό λόγος πού τίς γραμμές αύτές, πρίν άνεβει ή ποιοσδήποτε γιά νά έργασθει, τίς **γειώνομε**, δηλαδή συνδέομε άγωγιμα κάθε άγωγό τους μέ τή γῆ. "Αν δέ ληφθεῖ τό μέτρο αύτό, ύπαρχει σοβαρός κίνδυνος νά γίνει άτυχημα σ' οποιον τίς πλησιάσει.



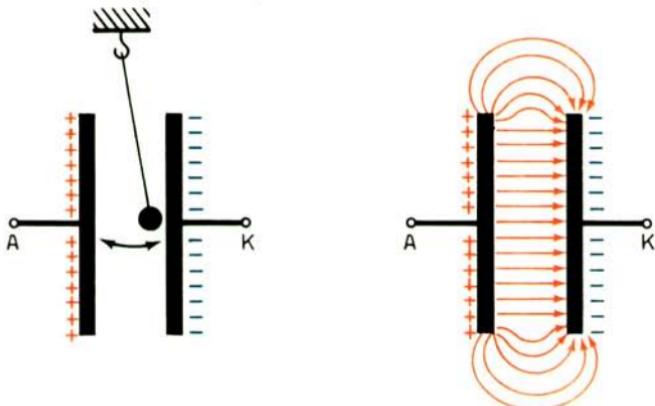
Σχ. 8.3β.
Χωρητικότητες έναέριας γραμμῆς.

8.4 Ήλεκτρικό πεδίο καί ήλεκτροστατική ένέργεια.

Σέ ένα φορτισμένο έπιπεδο πυκνωτή πού έχει γιά διηλεκτρικό άέρα, κάνομε τό άκολουθο πείραμα. Κρεμᾶμε άναμεσα στούς όπλισμούς του μέ ένα λεπτό μεταξωτό νήμα μιά μικρή σφαίρα άπό έλαφρό συνθετικό ύλικό (σχ. 8.4α). "Αν ή τάση μέ τήν δοπία φορτίσθηκε ό πυκνωτής εἶναι άρκετά ύψηλή καί φέρομε γιά λίγο σέ έπαφή τή σφαίρα μέ τόν άρνητη-

κό όπλισμό που ονομάζεται καί **κάθοδος** (Κ στό σχήμα 8.4α), θά παρατηρήσουμε ότι θά άρχισει νά ταλαντεύεται άνάμεσα στούς δύο όπλισμούς, όπως ένα **ήλεκτρικό έκκρεμές**.

Αύτό συμβαίνει γιατί κατά τήν έπαφή της μέ τήν κάθοδο, ή σφαίρα φορτίζεται άρνητικά, έπειδή στήν κάθοδο ύπαρχει πλεόνασμα ήλεκτρονίων. Συνεπώς, σύμφωνα μέ αύτά πού είπαμε στήν παράγραφο 1.1, ή σφαίρα άπωθείται από τήν κάθοδο και ταυτόχρονα έλκεται από τό θετικό όπλισμό, δηλαδή τήν άνοδο Α. "Ετσι άπομακρύνεται από τόν όπλισμό Κ καί πλησιάζει στόν Α. "Οταν έλθει σέ έπαφή μέ αύτόν, χάνει ήλεκτρόνια καί άποκτά θετική φόρτιση. Τότε πηγαίνει πάλι πρός τήν κάθοδο καί έπαναλαμβάνεται ή ίδια διαδικασία.



Σχ. 8.4α.
Ήλεκτρικό έκκρεμές.

Σχ. 8.4β.
Ήλεκτρικό πεδίο έπιπεδου πυκνωτή.

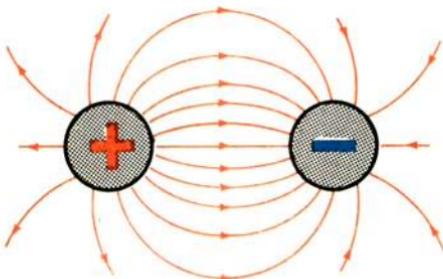
Από τό παραπάνω πείραμα διαπιστώνομε ότι ο χώρος μεταξύ τῶν δύο όπλισμῶν τοῦ πυκνωτῆ είναι **ένας χώρος στόν δύο οί άσκούνται δυνάμεις έπάνω στά ήλεκτρικά φορτία**. Ο χώρος αύτός ονομάζεται **ήλεκτρικό πεδίο**. Δυνάμεις έλκτικές άσκούνται καί μεταξύ τοῦ θετικοῦ καί άρνητικοῦ όπλισμοῦ τοῦ πυκνωτῆ.

Χωρίς νά χρειάζεται νά έπεκταθούμε σέ λεπτομερή άνάλυση, άναφέρομε μόνο ότι, όπως στά μαγνητικά πεδία έχομε τίς μαγνητικές γραμμές, έτσι καί στά ήλεκτρικά πεδία έχομε τίς **δυναμικές γραμμές**, πού έχουν σημασία άνάλογη μ' αύτήν πού έχουν οι μαγνητικές γραμμές (παράγρ. 5.2). Δηλαδή **οι δυναμικές γραμμές μᾶς δίνουν τή διεύθυνση τής δυνάμεως που άσκεται σέ κάθε σημείο τοῦ ήλεκτρικοῦ πεδίου**.

Οι δυναμικές γραμμές έκτείνονται από τόν ένα όπλισμό στόν άλλο, (σχ. 8.4β). Ή φορά τους συμβατικά έχει δρισθεῖ από τό θετικό όπλισμό πρός τόν άρνητικό. Οι δυναμικές γραμμές είναι πάντοτε κάθετες πρός τήν έπιφάνεια τῶν όπλισμῶν.

Στό σχήμα 8.4β παρατηροῦμε ότι τό ήλεκτρικό πεδίο μεταξύ τών διπλισμῶν τοῦ έπιπεδου πυκνωτῆς είναι **διμοιόμορφο (διμοιογενές)**. Οι δυναμικές γραμμές είναι εύθετες παράλληλες μεταξύ τους και ίσαπέχουσες. Στά άκρα τών διπλισμῶν τό πεδίο παύει νά είναι διμοιόμορφο. Σ' αυτά έχομε μεγάλη συγκέντρωση δυναμικῶν γραμμῶν. Ή μορφή αυτή τοῦ μαγνητικοῦ πεδίου δέν άλλάζει σαν μεταξύ τών διπλισμῶν ύπαρχει άντι γιά τόν άέρα ένα διποιοδήποτε διηλεκτρικό.

Ήλεκτρικά πεδία δέ δημιουργοῦνται μόνο στό διηλεκτρικό τών πυκνωτῶν. Ήλεκτρικά πεδία δημιουργοῦνται στό μονωτικό χώρο γύρω από δύο άγωγιμα σώματα, μεταξύ τών δοπίων ύπαρχει μιά ήλεκτρική τάση. Δηλαδή μεταξύ άγωγίμων σωμάτων πού φέρουν ήλεκτρικά φορτία. Τό ήλεκτρικό πεδίο πού σχηματίζεται μεταξύ δύο παραλλήλων άγωγών μεταξύ τών δοπίων έφαρμόζεται μία τάση φαίνεται στό σχήμα 8.4γ σέ ένα έπιπεδο κάθετο πρός τούς ξενονες τών δύο άγωγών.



Σχ. 8.4γ.

Ήλεκτρικό πεδίο παραλλήλων άγωγών.

Κατά τή φόρτιση ένός πυκνωτῆς προσφέρεται ένέργεια άπο τήν ήλεκτρική πηγή στόν πυκνωτή μέχρις ότου ή τάση στούς διπλισμούς του γίνει ίση μέ τήν τάση τῆς πηγῆς (παράγρ. 8.2). Ή ένέργεια αυτή μένει άποταμιευμένη στό ήλεκτρικό πεδίο τοῦ πυκνωτῆς και ίσωνάζεται **ήλεκτροστατική ένέργεια**.

Ή άποταμιευμένη ήλεκτροστατική ένέργεια άποδίδεται κατά τήν έκφόρτιση τοῦ πυκνωτῆς, όποτε μετατρέπεται σέ άλλες μορφές ένέργειας, π.χ. σέ θερμότητα μέσα στήν άντίσταση R (σχ. 8.2α).

Άποδεικνύεται ότι ή ήλεκτροστατική ένέργεια ένός πυκνωτῆς δίνεται από τή σχέση:

$$A = \frac{1}{2} \cdot C \cdot U^2 \quad \text{σέ J}$$

όπου: C ή χωρητικότητα τοῦ πυκνωτῆς σέ F ,

Ο ή τάση μεταξύ τών διπλισμῶν τοῦ πυκνωτῆς σέ V .

Παράδειγμα.

Ένας πυκνωτής πού έχει χωρητικότητα $4 \mu\text{F}$, φορτίζεται μέ τάση 1000 V . Ποιά είναι ή ήλεκτροστατική του ένέργεια;

Λύση:

$$A = \frac{1}{2} \cdot C \cdot U^2 = \frac{1}{2} \times 4 \times 10^{-6} \times 1000^2 = 2 \text{ J}$$

8.5 Τά διηλεκτρικά.

Πειραματικά άποδεικνύεται ότι ή χωρητικότητα ένός πυκνωτή άλλάζει όταν άλλάζει τό μονωτικό ύλικό πού βρίσκεται μεταξύ τῶν όπλισμῶν του, δηλαδή τό διηλεκτρικό του. Π.χ. στόν έπιπεδο πυκνωτή τοῦ σχήματος 8.1(a) άλλη είναι ή χωρητικότητά του, ἂν μεταξύ τῶν όπλισμῶν του είναι άερας, άλλη ἂν είναι γυαλί, άλλη ἂν είναι κάποιο κεραμικό μονωτικό ύλικό κλπ.

Η **σχετική διηλεκτρική σταθερά** ένός μονωτικοῦ ύλικοῦ πού παριστάνεται μέ τό σύμβολο ϵ_r , έκφραζει πόσες φορές είναι μεγαλύτερη ή χωρητικότητα ένός πυκνωτῆ μέ διηλεκτρικό τό ύλικό αύτό σέ σχέση μέ τή χωρητικότητά του όταν μεταξύ τῶν όπλισμῶν του υπάρχει μόνο δέρας.

Η σχετική διηλεκτρική σταθερά, πού είναι καθαρός άριθμός (χωρίς διαστάσεις), γιά δρισμένα ύλικά πού χρησιμοποιοῦνται στήν πράξη, φαίνεται στόν Πίνακα 8.5.1.

ΠΙΝΑΚΑΣ 8.5.1.
Σχετική διηλεκτρική σταθερά ύλικών

Διηλεκτρικό	ϵ_r	Διηλεκτρικό	ϵ_r	Διηλεκτρικό	ϵ_r
Άερας	1	Μίκα,	2,5 - 6,6	Πρεσπάν	3 - 5
Βακελίτης (φύλλα)	4,5 - 5,5	Ξύλο	2,5 - 7,7	Σελίνιο	6,1 - 7,4
Βερνίκι μονωτικό	2,9 - 3,7	Όρυκτέλαιο	2,2	Γυαλί	5,4 - 9,9
Έβονίτης	2,5 - 3,5	Παραφίνη	2,1 - 2,5	Φίμπερ	2,5 - 5
Έλαστικό	2 - 3,5	Παραφινέλαιο	2 - 2,5	Χαρτί	2,0 - 2,6
P.V.C.	5 - 8	Πορσελάνη	5,7 - 6,8	έμποτισμένο	3,4 - 4,3

Μετά τά όσα άναφέραμε παραπάνω, ή σχέση τής παραγράφου 8.3.2 πού δίνει τή χωρητικότητα ένός έπιπεδου πυκνωτῆ, παίρνει τήν άκολουθη μορφή, όταν τό διηλεκτρικό τοῦ πυκνωτῆ είναι ένα όποιοδήποτε μονωτικό ύλικό:

$$C = \frac{8,85 \cdot \epsilon_r \cdot S}{d} \quad \text{σε pF}$$

όπου: ϵ_r ή σχετική διηλεκτρική σταθερά του διηλεκτρικού,

S ή έπιφανεια της μιᾶς πλευρᾶς του ένός από τούς όπλισμούς σε m^2 ,

d ή άπόσταση μεταξύ τῶν όπλισμῶν σέ m.

"Όταν ή τάση τήν όποια έφαρμόζομε μεταξύ τῶν όπλισμῶν ένός πυκνωτή ξεπεράσει μιά όρισμένη τιμή, πού έξαρτάται από τό είδος του διηλεκτρικού καί από τό πάχος του, τότε μεταξύ τῶν όπλισμῶν δημιουργοῦνται ήλεκτρικοί σπινθήρες. Οι σπινθήρες αύτοί περνοῦν μέσα από τό διηλεκτρικό καί τό τρυποῦν. Τό φαινόμενο αύτό όνομάζεται **διάσπαση τοῦ διηλεκτρικοῦ**, τό όποιο διηλεκτρικό στό σημείο τῆς διαστάσεως καταστρέφεται. Έκτός από τίς περιπτώσεις πού διηλεκτρικό είναι ό άερας, ή διάσπαση τοῦ διηλεκτρικοῦ σημαίνει συνήθως καί καταστροφή τοῦ πυκνωτῆ.

"Η τάση πού προκαλεῖ τή διάσπαση ένός διηλεκτρικοῦ πάχους ένός χιλιοστομέτρου, όνομάζεται **διηλεκτρική άντοχή** τοῦ μονωτικοῦ ύλικοῦ. Ή διηλεκτρική άντοχή μετρίεται σέ kV/mm.

"Η πράξη δείχνει ότι ή **τάση διασπάσεως**, δηλαδή ή τάση στήν όποια προκαλεῖται ή διάσπαση ένός διηλεκτρικοῦ, δέν είναι άναλογος μέ τό πάχος του. "Έτσι ή τάση διασπάσεως μιᾶς πλάκας από βακελίτη πάχους 1 mm είναι περίπου 20 kV, ένω ή τάση διασπάσεως μιᾶς πλάκας από τό ίδιο ύλικό πάχους 5 mm είναι μόνο 50 kV.

"Ο Πίνακας 8.5.2 δίνει τίς τάσεις διασπάσεως διαφόρων μονωτικῶν ύλικῶν, γιά διάφορα πάχη.

ΠΙΝΑΚΑΣ 8.5.2.
Τάσεις διασπάσεως διηλεκτρικών

Διηλεκτρικό	Πάχος mm	Τάση διασπάσεως kV	Διηλεκτρικό	Πάχος mm	Τάση διασπάσεως kV
Άερας	0,4	2	Μίκα	0,2	8 - 12
Άερας	1,0	4	Μίκα	0,45	18 - 30
Άερας	10	30	Μίκα	1,0	60
Χαρτί πρεσπάν	0,5	2 - 6	Μικανίτης	0,13	4 - 6
Χαρτί πρεσπάν	0,6	4 - 8	Μικανίτης	0,18	8 - 11
Χαρτί πρεσπάν	1,0	12 - 13	Μικανίτης	0,23	9 - 12
Χαρτί πρεσπάν	2,0	20 - 21	Μικανίτης	0,28	12 - 15
Βακελίτης	0,1	8	Έβονίτης	0,025	0,5
Βακελίτης	1,0	20	Έβονίτης	0,42	16
Βακελίτης	5,0	50	Έβονίτης	2,0	54
Μάρμαρο ἄσπρο	10	14	Έλαστινό καθ.	10	200
Κρύσταλλο	10	28	Παραφινέλαιο	1,0	9 - 10
Πορσελάνη	1,00	25 - 30	Παραφίνη στερεή	1,0	14

"Όταν τό πάχος του διηλεκτρικού είναι 1 mm, ή τάση διασπάσεως είναι ή διηλεκτρική άντοχή, όπως έχομε άναφέρει.

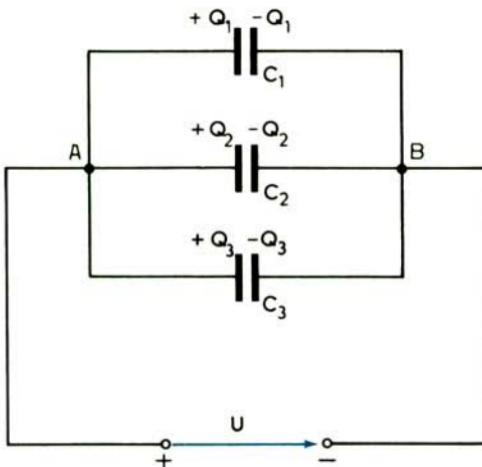
8.6 Σύνδεση πυκνωτών μεταξύ τους.

8.6.1 Παράλληλη σύνδεση πυκνωτών.

Τούς πυκνωτές μπορούμε νά τούς συνδέσομε μεταξύ τους σέ σειρά, παράλληλα ή σέ μικτή σύνδεση.

Στό σχήμα 8.6α φαίνονται τρεῖς πυκνωτές C_1 , C_2 , C_3 σέ παράλληλη σύνδεση. Είναι φανερό ότι όταν μεταξύ τῶν κόμβων A και B έφαρμόσομε τήν τάση U μιᾶς πηγῆς, ή τάση αύτή θά έπικρατεῖ και μεταξύ τῶν οπλισμῶν κάθε πυκνωτή. "Άρα κάθε πυκνωτής φορτίζεται μέ φορτίο:

$$Q_1 = C_1 \cdot U, \quad Q_2 = C_2 \cdot U, \quad Q_3 = C_3 \cdot U$$



Σχ. 8.6α.
Παράλληλη σύνδεση πυκνωτών.

Τό συνολικό φορτίο Q πού παίρνουν όλοι οι πυκνωτές είναι:

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3 = C_1 \cdot U + C_2 \cdot U + C_3 \cdot U = (C_1 + C_2 + C_3) \cdot U$$

"Αν θελήσομε νά άντικαταστήσομε τήν δμάδα τῶν παραλλήλων πυκνωτῶν μέ έναν πυκνωτή πού νά παίρνει τό ίδιο συνολικό φορτίο Q γιά τήν ίδια τάση U της πηγῆς, είναι φανερό ότι ο πυκνωτής αύτός θά πρέπει νά έχει χωρητικότητα C πού νά δίνεται άπό τή σχέση:

$$C = C_1 + C_2 + C_3$$

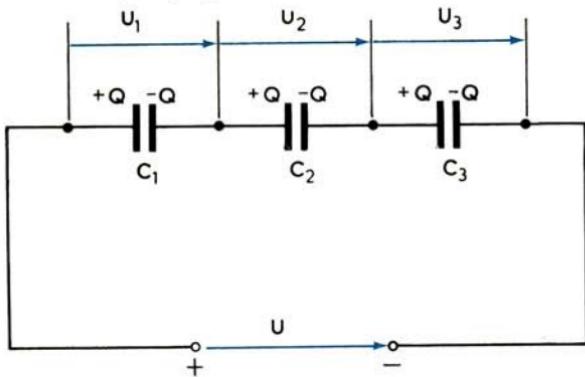
Δηλαδή, ή *ισοδύναμη χωρητικότητα πυκνωτῶν πού εἶναι συνδεμένοι παράλληλα ισούται μέ τό άθροισμα τῶν χωρητικοτήτων τῶν πυκνωτῶν αὐτῶν.*

"Αν έχομε ν πυκνωτές μέ τήν ίδια χωρητικότητα C_0 συνδεμένους παράλληλα, τότε ή ισοδύναμη χωρητικότητά τους θά δίνεται άπο τή σχέση:

$$C = v \cdot C_0$$

8.6.2 Σύνδεση πυκνωτῶν σέ σειρά.

Στή σύνδεση πυκνωτῶν σέ σειρά (σχ. 8.6β) ή ένταση ι τοῦ ρεύματος φορτίσεως εἶναι ή ίδια σέ δλους τούς πυκνωτές. Συνεπώς μποροῦμε νά συμπεράνομε ότι καί τά φορτία Q πού έμφανίζονται στούς πυκνωτές σέ σύνδεση σειρᾶς εἶναι τά ίδια.



Σχ. 8.6β.

Σύνθεση πυκνωτῶν σέ σειρά.

Μποροῦμε δηλαδή νά γράψομε τίς σχέσεις:

$$U_1 = \frac{Q}{C_1}, \quad U_2 = \frac{Q}{C_2}, \quad U_3 = \frac{Q}{C_3}$$

ὅπου U_1, U_2, U_3 εἶναι οι τάσεις μεταξύ τῶν διπλισμῶν τῶν πυκνωτῶν.
Γιά τίς τάσεις αὐτές εἶναι φανερό ότι ισχύει ή σχέση:

$$U = U_1 + U_2 + U_3$$

ὅπου U εἶναι ή τάση τῆς πηγῆς πού έφαρμόζεται στά άκρα τῆς διμάδας τῶν πυκνωτῶν πού εἶναι σέ σύνδεση σειρᾶς.

'Από τίς παραπάνω σχέσεις προκύπτει ότι:

$$U = \frac{Q}{C_1} + \frac{Q}{C_2} + \frac{Q}{C_3} = Q \left(\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} \right)$$

ή

$$Q = \frac{U}{\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3}}$$

"Αν θελήσομε νά άντικαστήσομε τήν δημάδα τῶν πυκνωτῶν σέ σειρά μέ έναν πυκνωτή πού νά παίρνει τό ίδιο φορτίο Q γιά τήν ίδια τάση τῆς πηγῆς U , θά πρέπει ό πυκνωτής αύτός νά έχει χωρητικότητα C πού νά δίνεται άπο τή σχέση:

$$C = \frac{1}{\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3}}$$

Αύτή είναι **ή ισοδύναμη χωρητικότητα** τῶν πυκνωτῶν πού είναι συνδεμένοι σέ σειρά.

"Αν έχομεν v ίδιους πυκνωτές μέ χωρητικότητα C_0 ό καθένας συνδεμένους σέ σειρά, τότε ή ισοδύναμη χωρητικότητά τους δίνεται άπο τή σχέση:

$$C = \frac{C_0}{v}$$

Στίς παραπάνω σχέσεις πού δίνουν τίς ισοδύναμες χωρητικότητες πυκνωτῶν συνδεμένων παράλληλα ή σέ σειρά, θεωρήσαμε σάν παράδειγμα ότι είχαμεν τρεῖς πυκνωτές κάθε φορά. Είναι φανερό πώς γενικεύονται οι σχέσεις αύτές γιά κάθε άριθμό πυκνωτῶν.

Μέ τή μικτή σύνδεση πυκνωτῶν δέ θά άσχοληθούμε άναλυτικά στό βιβλίο αύτό. Σημειώνομε μονάχα ότι γιά τήν έπιλυση ένός κυκλώματος πού έχει πυκνωτές σέ μικτή σύνδεση, μπορούμε νά έφαρμόσομε άναλογη μέθοδο μέ αύτή πού άναφέραμε στήν παράγραφο 3.7 γιά τή μικτή σύνδεση άντιστάσεων.

Παράδειγμα 1.

Ποιά είναι η ισοδύναμη χωρητικότητα πέντε πυκνωτῶν πού είναι συνδεμένοι παράλληλα καί έχουν χωρητικότητες $1 \mu F$, $3 \mu F$, $5 \mu F$, $6 \mu F$ καί $10 \mu F$;

Λύση:

Είναι:

$$C = C_1 + C_2 + C_3 + C_4 + C_5 = 1 + 3 + 5 + 6 + 10 = 25 \mu F$$

Παράδειγμα 2.

Η χωρητικότητα ένός μονοπολικού καλωδίου είναι $0,6 \mu F/km$. Πόσο

είναι ή χωρητικότητα 15 km άπό το καλώδιο αύτό;

Λύση:

Μπορούμε νά θεωρήσουμε ότι τά 15 km τοῦ καλωδίου άποτελούνται άπό 15 όμοιους πυκνωτές σέ παράλληλη σύνδεση πού διαθένας έχει χωρητικότητα 0,6 μF. Ή ισοδύναμη χωρητικότητά τους, πού είναι καί ή χωρητικότητα τοῦ καλωδίου, θά είναι:

$$C = v \cdot C_0 = 15 \times 0,6 = 9 \mu F$$

Παράδειγμα 3.

Δύο πυκνωτές χωρητικότητας 4 μF και 6 μF είναι συνδεμένοι σέ σειρά. Στά δάκρα τής διμάδας τῶν δύο πυκνωτῶν έφαρμόζεται τάση 250 V. Νά βρεθοῦν: α) Ή ισοδύναμη χωρητικότητά τους, β) τό ήλεκτρικό φορτίο κάθε πυκνωτῆς και γ) η τάση μεταξύ τῶν διπλισμῶν κάθε πυκνωτῆς.

Λύση:

α) Είναι:

$$C = \frac{1}{\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2}} = \frac{C_1 \cdot C_2}{C_1 + C_2} = \frac{4 \times 6}{4 + 6} = 2,4 \mu F$$

β) Τό φορτίο κάθε πυκνωτῆς είναι:

$$Q = C \cdot U = 2,4 \times 10^{-6} \times 250 = 600 \times 10^{-6} As = 600 \mu As$$

γ) Είναι:

$$U_1 = \frac{Q}{C_1} = \frac{600 \times 10^{-6}}{4 \times 10^{-6}} = 150 V$$

$$U_2 = \frac{Q}{C_2} = \frac{600 \times 10^{-6}}{6 \times 10^{-6}} = 100 V$$

Για έλεγχο άθροιζομε τίς δύο τάσεις. Πρέπει νά είναι:

$$U = U_1 + U_2 = 150 + 100 = 250 V$$

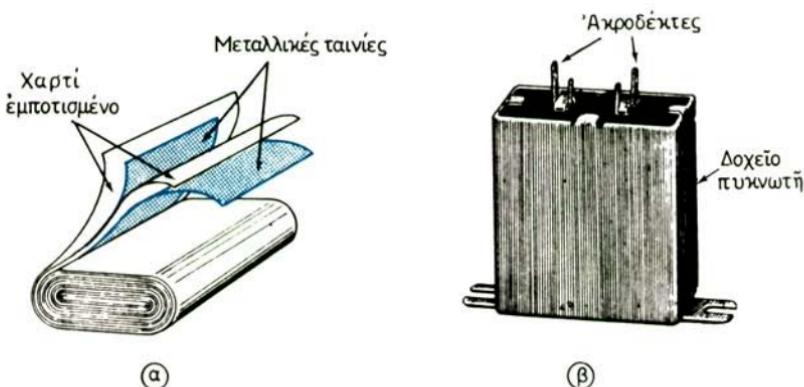
8.7 Είδη πυκνωτῶν.

Πυκνωτές χρησιμοποιούνται σέ πολλές ήλεκτροτεχνικές έφαρμογές

καθώς καί στήν τεχνική τῶν ἡλεκτρονικῶν κυκλωμάτων. Άναλογα μέ τή χρήση τους οἱ πυκνωτές πρέπει νά ἔχουν καί δρισμένες ιδιότητες. "Ετσι ἔχουν δημιουργηθεῖ πολλά εἴδη πυκνωτῶν. Θά ἀναφέρομε ἐδῶ μερικά ἀπό τά κυριότερα.

8.7.1 Πυκνωτές χαρτιοῦ.

Οἱ πυκνωτές χαρτιοῦ, ἔχουν ώς διηλεκτρικό ταινία ἀπό χαρτί ἐμποτι- σμένο μέ παραφίνη. Οἱ ὀπλισμοὶ ἀποτελοῦνται ἀπό δύο μεταλλικές ται- νίες, π.χ. ἀπό ἀλουμίνιο. Οἱ ταινίες αὐτές τυλίγονται ἔτσι, ὥστε νά σχη- ματισθεῖ ἔνας ρόλλος [σχ. 8.7α (α)].



Σχ. 8.7α.

Πυκνωτής χαρτιοῦ. α) Οἱ δύο μεταλλικές ταινίες σέ ρολό. β) Δοχεῖο πυκνωτῆ.

"Ετσι ἔχομε πυκνωτές μέ μεγάλη ἑπιφάνεια ὀπλισμῶν καί μικρό πά- χος διηλεκτρικοῦ, οἱ δποῖοι, σύμφωνα μέ ὅσα εἴπαμε καί στήν παρά- γραφο 8.3, ἔχουν μεγάλη χωρητικότητα καί μάλιστα σέ μικρό ὄγκο. Οἱ πυκνωτές χαρτιοῦ τοποθετοῦνται συνήθως μέσα σέ ἔνα μεταλλικό δο- χεῖο πού τό γεμίζουν μέ μονωτική μάζα γιά νά μήν ἀπορροφᾶ ὑγρασία [σχ. 8.7α (β)].

8.7.2 Πυκνωτές ἐπίπεδων φύλλων.

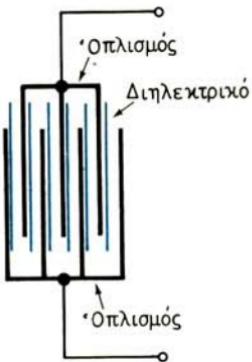
"Ἄλλοι πυκνωτές πού ἔχουν σχετικά μεγάλη χωρητικότητα καί μικρό ὄγκο εἰναιοἱ πυκνωτές ἐπίπεδων φύλλων (σχῆμα 8.7β). Κάθε ὀπλισμός τοῦ εἰδους αὐτοῦ τῶν πυκνωτῶν ἀποτελεῖται ἀπό πολλά ἐπίπεδα λεπτά μεταλλικά φύλλα πού ἐνώνονται ἀγώγιμα μεταξύ τους. Τά φύλλα τοῦ ἐ- νός ὀπλισμοῦ τοποθετοῦνται ἀνάμεσα στά φύλλα τοῦ ἄλλου ὀπλισμοῦ καί μεταξύ τους ὑπάρχει τό διηλεκτρικό, τό δποῖο μπορεῖ νά εἰναι καί ὁ ἀέρας.

"Αν ν είναι ό δολικός άριθμός των φύλλων των δύο όπλισμῶν, μέ τή διάταξη αὐτή δημιουργοῦνται $v - 1$ πυκνωτές συνδεμένοι παράλληλα. Δηλαδή ἂν C_0 είναι ή χωρητικότητα τοῦ πυκνωτῆ πού σχηματίζεται ἀπό δύο γειτονικά φύλλα, τότε ή χωρητικότητα ὅλου τοῦ πυκνωτῆ θά είναι:

$$C = (v - 1) \cdot C_0$$

Γιά τό παράδειγμα τοῦ σχήματος 8.7β ὅπου $v = 7$ ἔχομε:

$$C = 6 \cdot C_0$$



Σχ. 8.7β.

Πυκνωτῆς ἐπιπέδων φύλλων.

Παράδειγμα.

Ποιά είναι ή χωρητικότητα πυκνωτῆ πού ἀποτελεῖται ἀπό 601 φύλλα ἀπό κασσίτερο, ἀπό τά ὅποια τό καθένα ἔχει ἑπιφάνεια 50 cm^2 καὶ χωρίζονται ἀπό χαρτί πού ἔχει πάχος $0,1 \text{ mm}$ καὶ σχετική διηλεκτρική σταθερά $2,3$;

Λύση:

Ἀπό τόν τύπο πού δώσαμε στήν παράγραφο 8.5 ὑπολογίζομε πρῶτα τή μερική χωρητικότητα C_0 ή ὅποια είναι:

$$C_0 = \frac{8,85 \cdot e_r \cdot S}{d} = \frac{8,85 \times 2,3 \times 0,0050}{0,0001} = \\ = 1018 \text{ pF} = 0,001 \mu\text{F}$$

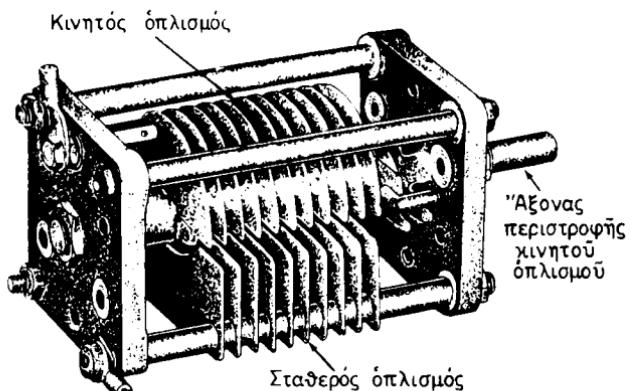
Ή δολική χωρητικότητα τοῦ πυκνωτῆ είναι:

$$C = (v - 1) \cdot C_0 = (601 - 1) \times 0,001 = 0,6 \mu\text{F}$$

"Αν τά φύλλα τοῦ ἐνός όπλισμοῦ τοῦ πυκνωτῆ πού περιγράψαμε παραπάνω, είναι μεταλλικές πλάκες στερεωμένες σέ ἕνα κινητό σύστημα,

ώστε νά μποροῦν νά μπαίνουν περισσότερο ή λιγότερο άνάμεσα στις σταθερές πλάκες τοῦ άλλου όπλισμοῦ, τότε έχομε ένα μεταβλητό πυκνωτή. Τό σχήμα 8.7γ δείχνει ένα μεταβλητό πυκνωτή πού γιά διηλεκτρικό έχει τόν άέρα.

Η χωρητικότητα τῶν πυκνωτῶν αύτῶν άλλάζει όταν περιστρέφομε τόν άξονα τοῦ κινητοῦ συστήματος. Όσο περισσότερο μέρος τῆς έπιφάνειας τῶν κινητῶν φύλλων μπαίνει άνάμεσα στά φύλλα τοῦ άκινητού όπλισμοῦ, τόσο μεγαλώνει ή χωρητικότητα τοῦ μεταβλητοῦ πυκνωτῆ.



Σχ. 8.7γ.
Μεταβλητός πυκνωτής άέρα.

8.7.3 Ήλεκτρολυτικοί πυκνωτές.

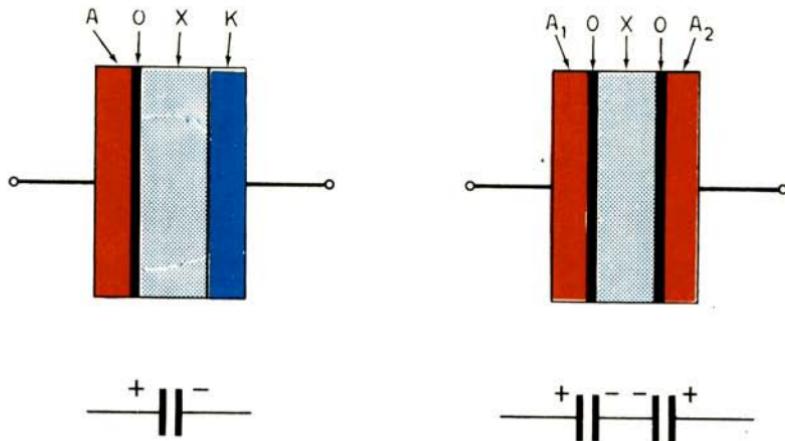
Άλλοι πυκνωτές μέ τούς όποιους έπιτυγχάνομε πολύ μεγάλες χωρητικότητες, είναι οι **ήλεκτρολυτικοί πυκνωτές**, πού χρησιμοποιούνται στό συνεχές ρεύμα. Ο ένας όπλισμός τοῦ είδους αύτοῦ τῶν πυκνωτῶν, δ θετικός, πού, όπως είπαμε, δνομάζεται καί άνοδος, άποτελείται άπό μιά ταινία άλουμινίου Α. Ο άρνητικός όπλισμός (ή κάθοδος) είναι ένας ήλεκτρολύτης (διάλυμα βόρακα ή ύπεροξειδίου τοῦ νατρίου) μέ τόν δποιο έχομε έμποτίσει ένα άπορροφητικό χαρτί X (σχ. 8.7δ). Τό χαρτί αύτό τοποθετείται άνάμεσα στήν ταινία άπό άλουμινίο καί σέ μιά άλλη μεταλλική ταινία Κ στήν δποία συνδέεται ά άρνητικός πόλος τῆς πηγῆς.

Οι τρεῖς ταινίες πού άναφέραμε τυλίγονται μαζί, όπως είχαμε έξηγήσει καί στούς πυκνωτές χαρτιού, σέ ένα ρόλλο πού τοποθετείται μέσα σέ ένα μεταλλικό δοχείο. Τό δοχείο συνδέεται άγωγιμα μέ τήν ταινία Κ. Δηλαδή τό περίβλημα τῶν πυκνωτῶν αύτῶν συνδέεται πάντοτε μέ τόν άρνητικό πόλο τῆς πηγῆς.

Όταν οι όπλισμοί τοῦ ήλεκτρολυτικοῦ πυκνωτῆ συνδεθοῦν, όπως

είπαμε παραπάνω, μέ τούς πόλους μιᾶς πηγῆς συνεχοῦς ρεύματος, σχηματίζεται άπό ήλεκτρόλυση ἐπάνω στό φύλλο τοῦ ἀλουμινίου ἔνα λεπτότατο στρῶμα (0 στό σχῆμα) δξειδίου τοῦ ἀλουμινίου. Τό δξειδίο αὐτό εἶναι μονωτικό καὶ ἀποτελεῖ τό διηλεκτρικό τοῦ πυκνωτῆ. Ἐπειδή ἀκριβῶς τό διηλεκτρικό ἔχει πολὺ μικρό πάχος (μερικά χιλιοστά τοῦ χιλιοστομέτρου) γι' αὐτό μέ τούς ήλεκτρολυτικούς πυκνωτές ἐπιτυγχάνομε εύκολα μεγάλες χωρητικότητες σέ μικρό δύκο.

Ο ήλεκτρολυτικός πυκνωτής πού περιγράψαμε εἶναι ὁ **πολωμένος πυκνωτής**. Στούς πυκνωτές αύτούς πρέπει νά προσέχομε οἱ ὀπλισμοί τους νά συνδέονται μέ τούς ἀντίστοιχους πόλους τῆς πηγῆς. "Αν συνδεθοῦν ἀντίθετα καταστρέφεται τό διηλεκτρικό καὶ ὁ πυκνωτής βραχυκυκλώνεται. Οι πολωμένοι πυκνωτές χρησιμοποιοῦνται μόνο στό συνέχες ρεῦμα ἢ σέ ρεῦμα πού ἔχει τήν ἴδια πάντοτε φορά.



Σχ. 8.7δ.

Σχ. 8.7ε.

Ηλεκτρολυτικοί πυκνωτές κατασκευάζονται καὶ **μή πολωμένοι**. Σ' αύτούς ἡ μεταλλική ταινία Κ ἔχει ἀντικατασταθεῖ ἀπό μιὰ ταινία πού εἶναι καὶ αὐτή ἀπό ἀλουμίνιο. Ἔτσι, ἀνάλογα μέ τήν πολικότητα τῆς πηγῆς, δημιουργεῖται τό μονωτικό στρῶμα τοῦ δξειδίου εἴτε στό φύλλο A_1 (σχ. 8.7ε) τοῦ ἀλουμινίου, εἴτε στό φύλλο A_2 πού εἶναι καὶ αὐτό ἀπό ἀλουμίνιο.

Τούς μή πολωμένους ήλεκτρολυτικούς πυκνωτές μποροῦμε νά τούς θεωρήσομε ὅτι ἀποτελοῦνται ἀπό δύο ἀντίθετα συνδεμένους πολωμένους πυκνωτές ὥπως φαίνεται στό κάτω μέρος τοῦ σχήματος 8.7ε. Ἔτσι οἱ μή πολωμένοι πυκνωτές χρησιμοποιοῦνται καὶ σέ κυκλώματα πού ἔχουν ἑναλλαγή τῆς πολικότητας, χωρίς νά καταστρέφονται.

8.8 Έρωτήσεις.

1. Άπο τί άποτελείται ένας έπιπεδος πυκνωτής;
2. Νά περιγράψετε τό φαινόμενο τῆς φορτίσεως ένός πυκνωτῆς. Γιατί στό τέλος τῆς φορτίσεως ή ένταση τοῦ ρεύματος μηδενίζεται;
3. Τί συμβαίνει στό συνεχές ρεύμα όταν σέ ένα κύκλωμα ύπάρχει πυκνωτής;
4. Τί θά συμβεῖ σέ έναν πυκνωτή όντος άποσυνδέσομε άπό τήν πηγή συνεχούς ρεύματος πού τόν φόρτισε;
5. Τί θά συμβεῖ σέ ένα φορτισμένο πυκνωτή όντος βραχικυκλώσομε τούς δύο άκροδεκτες του;
6. Μέ τί ισούται ή μέγιστη τιμή τῆς έντασεως έκφορτίσεως ένός πυκνωτῆς;
7. Τί όνομάζομε χωρητικότητα ένός πυκνωτῆς; Σέ ποιές μονάδες τή μετρούμε;
8. Γράψετε τή σχέση πού δίνει τό φορτίο ένός πυκνωτῆς, όταν γνωρίζομε τήν τάση στούς όπλισμούς του και τή χωρητικότητά του.
9. Άπο τί έξαρτάται ή χωρητικότητα ένός πυκνωτῆς; Νά δώσετε τόν τύπο γιά τή χωρητικότητα ένός έπιπεδου πυκνωτῆς.
10. Έκτός άπό τούς πυκνωτές, πού άλλοι έμφανίζονται χωρητικότητες και τί ένδιαφέρον παρουσιάζουν;
11. Τί όνομάζομε ήλεκτρικό πεδίο; Νά σχεδιάσετε τό ήλεκτρικό πεδίο ένός έπιπεδου πυκνωτῆς.
12. Πότε ένα ήλεκτρικό πεδίο όνομάζεται δύοιογενές;
13. Ποιός έχει δώσει και πότε τήν έδωσε τήν ένέργεια πού έμφανίζεται κατά τήν έκφόρτιση ένός πυκνωτῆς;
14. Μέ τί ισούται ή ήλεκτροστατική ένέργεια τοῦ ήλεκτρικοῦ πεδίου ένός πυκνωτῆς;
15. Τί όνομάζομε σχετική διηλεκτρική σταθερά ένός μονωτικοῦ ύλικοῦ;
16. Μπορούμε άπεριόριστα νά αύξανομε τά φορτία σέ έναν δρισμένο πυκνωτή, αύξανοντας τήν τάση πού έφαρμόζεται στούς όπλισμούς του; Τί θά συμβεῖ;
17. Τί όνομάζομε διηλεκτρική άντοχή ένός μονωτικοῦ ύλικοῦ;
18. Πώς βρίσκομε τήν ισοδύναμη χωρητικότητα τῶν πυκνωτῶν όταν αύτοί είναι συνδεμένοι σέ παράλληλη σύνδεση;
19. Πόση είναι ή ισοδύναμη χωρητικότητα δύο πυκνωτῶν σέ σύνδεση σειρᾶς, όταν οι χωρητικότητες C_1 και C_2 τῶν δύο πυκνωτῶν είναι: α) "Ανισες και β) ίσες μεταξύ τους";
20. Άναφέρετε μερικά είδη πυκνωτῶν. Δώσετε τήν περιγραφή τοῦ μεταβλητοῦ πυκνωτῆς δέρα.
21. Τί πρέπει νά προσέχομε κατά τή σύνδεση ένός πολωμένου ήλεκτρολυτικοῦ πυκνωτῆς;
22. Γιατί μέ τούς ήλεκτρολυτικούς πυκνωτές έπιτυγχάνομε μεγάλες χωρητικότητες μέ μικρό όγκο τοῦ πυκνωτῆς;

8.9 Προβλήματα.

1. Σέ ποιά τάση πρέπει νά φορτισθεῖ πυκνωτής χωρητικότητας $10 \mu F$, γιά νά άποκτήσει δέ κάθε όπλισμός του φορτίο $2500 \mu As$;

Άπαντ. $250 V$

2. "Ένας πυκνωτής πού έχει χωρητικότητα $2 pF$ φορτίζεται μέ τάση $220 V$. Ποιό είναι τό φορτίο κάθε όπλισμού του;

Άπαντ. $440 pAs$

3. Ποιά είναι ή χωρητικότητα πυκνωτῆς, δέ όποιος φορτίζεται μέ φορτίς



5.000 μAs , ὅταν ἡ τάση φορτίσεως του είναι 250 V;

Απάντ. 20 μF

- 4.** Ποιά είναι ἡ ἡλεκτροστατική ἐνέργεια τοῦ φορτισμένου πυκνωτῆ τοῦ προβλήματος 3;

Απάντ. 0,625 J

- 5.** "Ενας πυκνωτής μέ διηλεκτρικό ἀέρα ἔχει χωρητικότητα 0,6 μF . Ποιά θά είναι ἡ χωρητικότητα τοῦ ἴδιου πυκνωτῆ, ἂν χρησιμοποιήσομε ὡς διηλεκτρικό μίκα πού ἔχει σχετική διηλεκτρική σταθερά 6;

Απάντ. 3,6 μF

- 6.** "Ένας ἑπίπεδος πυκνωτής ἔχει ἐμβαδόν κάθε ὀπλισμοῦ 2000 cm^2 καὶ ἀπόσταση μεταξύ τῶν ὀπλισμῶν 0,05 mm. Τό διηλεκτρικό τοῦ πυκνωτῆ είναι ειδικό βερνίκι πού ἔχει σχετική διηλεκτρική σταθερά 4.3. Νά βρεθοῦν:

- a) Ἡ χωρητικότητα τοῦ πυκνωτῆ.
b) Τό φορτίο τῶν ὀπλισμῶν ὅταν ἐφαρμοσθεῖ τάση 220 V.

Απάντ. a) $0,15 \mu\text{F}$, b) $33 \mu\text{As}$

- 7.** Δύο πυκνωτές μέ $C_1 = 0,6 \mu\text{F}$ καὶ $C_2 = 1,2 \mu\text{F}$ είναι συνδεμένοι σέ σειρά. Νά βρεθοῦν:

- a) Ἡ ισοδύναμη χωρητικότητά τους.
b) Οι τάσεις U_1 καὶ U_2 ὅταν ἡ τάση τῆς πηγῆς είναι 300 V.

Απάντ. a) $0,4 \mu\text{F}$, b) $U_1 = 200 \text{ V}$, $U_2 = 100 \text{ V}$

- 8.** Τρεῖς πυκνωτές μέ χωρητικότητες $0,1 \text{ nF}$, $0,3 \text{ nF}$, $0,5 \text{ nF}$ είναι συνδεμένοι παράλληλα. Στά ἄκρα τῆς δμάδας τῶν τριῶν αὐτῶν πυκνωτῶν ἐφαρμόζεται τάση 200 V. Νά βρεθοῦν:

- a) Ἡ ισοδύναμη χωρητικότητά τους.
b) Τό φορτίο τοῦ κάθε ὀπλισμοῦ κάθε πυκνωτῆ.
γ) Τό συνολικό φορτίο τῆς δμάδας.

Απάντ. a) $0,9 \text{ nF}$, b) 20 nAs , 60 nAs , 100 nAs , γ) 180 nAs

- 9.** Τρεῖς πυκνωτές μέ χωρητικότητες $C_1 = 6 \text{ pF}$, $C_2 = 2 \text{ pF}$, $C_3 = 3 \text{ pF}$ είναι συνδεμένοι σέ σειρά. Ποιά είναι ἡ ισοδύναμη χωρητικότητά τους; Ποιές τιμές ἔχουν οἱ τάσεις U_1 , U_2 , U_3 , ἂν ἡ τάση τῆς πηγῆς πού τούς φόρτισε, είναι 60 V;

Απάντ. a) 1 pF , b) $U_1 = 10 \text{ V}$, $U_2 = 30 \text{ V}$, $U_3 = 20 \text{ V}$

- 10.** "Ένας πυκνωτής μέ ἑπίπεδα φύλλα ἀπό κασσίτερο πού τό καθένα ἔχει ἐπιφάνεια 200 cm^2 ἔχει χωρητικότητα $0,885 \mu\text{F}$. Ἀπό πόσα φύλλα κασσιτέρου ἀποτελεῖται ὁ πυκνωτής ἂν τό διηλεκτρικό τους είναι μίκα πάχους 0,1 mm καὶ διηλεκτρικής σταθερᾶς 5;

Απάντ. 101 φύλλα



ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΕΝΑΤΟ

ΚΥΚΛΩΜΑΤΑ ΕΝΑΛΛΑΣΣΟΜΕΝΟΥ ΡΕΥΜΑΤΟΣ

9.1 Άπλοι καταναλωτές.

Τά κύρια στοιχεῖα από τά όποια άποτελούνται τά κυκλώματα έναλλασσόμενου ρεύματος είναι τά άκόλουθα:

α) Οι άπλες άντιστάσεις (R) πού γνωρίσαμε καί στό συνεχές ρεύμα. Οι άντιστάσεις αύτές δταν δέν παρουσιάζουν ούτε αύτεπαγωγή ούτε χωρητικότητα, για διάκριση από άλλου είδους άντιστάσεις πού έχομε στό έναλλασσόμενο ρεύμα, τίς όνομάζομε **ώμικές άντιστάσεις**. Άντιστοιχα έχομε τούς **ώμικούς καταναλωτές**, όπως είναι οι λαμπτήρες πυρακτώσεως, τά ήλεκτρικά σίδερα, οι ήλεκτρικές κουζίνες, οι ήλεκτρικοί θερμοσίφωνες κλπ.

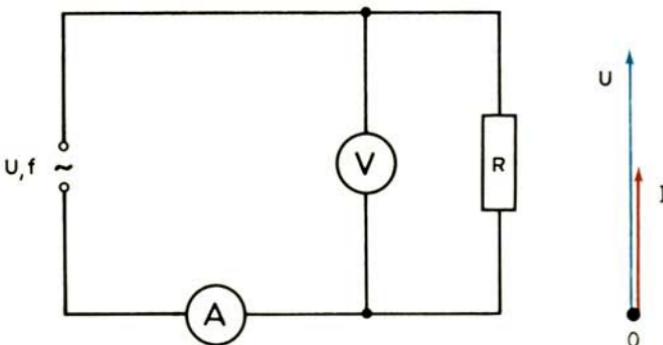
β) Τά πηνία πού παρουσιάζουν αύτεπαγωγή (L), όπως έξηγήσαμε στό δεύτερο μέρος τοῦ βιβλίου. Οι καταναλωτές πού έχουν μόνο αύτεπαγωγή μέ άμελητέα ώμική άντισταση καί καθόλου χωρητικότητα, δνομάζονται **έπαγγεικοί καταναλωτές**. "Ενας τέτοιος καταναλωτής π.χ. είναι ένα πηνίο κατασκευασμένο από χονδρό σύρμα, ώστε ή ώμική του άντισταση νά είναι πολύ μικρή.

γ) Οι πυκνωτές πού παρουσιάζουν μόνο χωρητικότητα (C). Οι πυκνωτές άλλα καί κάθε άλλη διάταξη πού παρουσιάζει χωρητικότητα (παράγρ. 8.3.3) μέ άμελητέα άντισταση καί αύτεπαγωγή δνομάζεται **χωρητικός καταναλωτής**.

Ό κάθε καταναλωτής πού άναφέραμε δνομάζεται **άπλος καταναλωτής**. "Ενας καταναλωτής πού άποτελείται από περισσότερα στοιχεία από τά παραπάνω δνομάζεται **σύνθετος καταναλωτής**.

9.2 Κύκλωμα μέ ώμικό καταναλωτή.

"Όταν σέ έναν ώμικό καταναλωτή έφαρμόσομε μιά έναλλασσόμενη τάση πού έχει ένεργο τιμή U καί συχνότητα f, θά περάσει μέσα από αύτόν ένα έναλλασσόμενο ρεύμα τής ίδιας συχνότητας. Είναι πολύ εύκολο νά διαπιστώσομε μέ τά δργανα μετρήσεως πού φαίνονται στό σχήμα 9.2α δτι ίσχυει καί στό έναλλασσόμενο ρεύμα δ νόμος τοῦ "Όμ πού είχαμε γνωρίσει στό συνεχές ρεύμα (παράγρ. 3.1).

**Σχ. 9.2α.**

Κύκλωμα με ώμικό καταναλωτή.

Υπενθυμίζομε μόνο ότι, δημοσιεύομε και στήν παράγραφο 7.4, στό έναλλασσόμενο ρεῦμα τά δργανα μετρήσεως δείχνουν τήν ένεργο τιμή τῆς τάσεως (τά βολτόμετρα) και τήν ένεργο τιμή τῆς έντάσεως (τά άμπερόμετρα).

Μποροῦμε συνεπώς νά γράψομε τή γνωστή σχέση τοῦ νόμου τοῦ Ωμ:

$$I = \frac{U}{R} \quad \text{σέ } A$$

οπου: I ή ένεργός τιμή τῆς έντάσεως σέ A ,

U ή ένεργός τιμή τῆς έφαρμοζόμενης τάσεως σέ V ,

R ή άντίσταση τοῦ ώμικοῦ καταναλωτῆ σέ Ω .

Άν π.χ. ή τάση πού μετρᾶ τό βολτόμετρο τοῦ σχήματος 9.2(a) είναι 220 V και ή άντίσταση τοῦ ώμικοῦ καταναλωτῆ είναι 20 Ω , τό άμπερόμετρο θά δείξει ένταση:

$$I = \frac{U}{R} = \frac{220}{20} = 11 A$$

Σημειώνομε άκόμα ότι ή ίδια ένταση 11 A θά περάσει μέσα άπό τόν ώμικό καταναλωτή τοῦ σχήματος 9.2a ἀν σ' αύτόν έφαρμόσομε μιά τάση συνεχοῦς ρεύματος 220 V.

Ο νόμος τοῦ "Ωμ ίσχυει στό έναλλασσόμενο ρεῦμα και γιά τίς στιγμιαίες τιμές τῆς τάσεως και έντάσεως.

$$i = \frac{u}{R}$$

Αύτό σημαίνει ότι τή στιγμή πού μηδενίζεται ή τάση, μηδενίζεται καί ή ένταση. "Οταν αύξανεται ή τάση, αύξανεται καί ή ένταση. "Οταν ή τάση παίρνει τή μέγιστη τιμή της, καί ή ένταση παίρνει τή μέγιστη τιμή της κ.ο.κ. Δηλαδή **ή τάση καί ή ένταση στήν περίπτωση ώμικου καταναλωτή είναι σέ φάση.**

Οι καμπύλες πού παριστάνουν τή μεταβολή τῶν έναλλασσομένων μεγεθών τῆς τάσεως καί τῆς έντασεως φαίνονται στό σχήμα 7.7β(α). Τό άντιστοιχο διανυσματικό διάγραμμα φαίνεται στό σχήμα 9.2β. Τό διάνυσμα τῆς τάσεως U συμπίπτει (είναι σέ φάση) μέ τό διάνυσμα τῆς έντασεως I . "Έχομε, δπως λέμε, **ώμική φόρτιση.** Σ' αύτήν ή διαφορά φάσεως μεταξύ τάσεως καί έντασεως είναι μηδενική καί συνεπώς τό συνφ = 1.

Σύμφωνα μέ δσα είπαμε στήν παράγραφο 7.7.2, ή πραγματική ίσχυς πού καταναλώνεται άπο έναν ώμικο καταναλωτή μέ άντισταση R καί πού μετατρέπεται άπο αύτόν δλόκληρη σέ θερμότητα είναι:

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

"Οσα άναφέραμε στίς παραγράφους 4.6, γιά τά θερμικά άποτελέσματα τού ήλεκτρικού ρεύματος καί 4.7, γιά τούς άγωγούς τῶν έσωτερικών έγκαταστάσεων ίσχυουν καί γιά τό έναλλασσόμενο ρεῦμα. Γιά νά χρησιμοποιήσομε δσες σχέσεις δίνονται έκει, δέν έχομε παρά νά βάζομε σέ κάθε περίπτωση τήν ένεργο τιμή τῆς τάσεως καί τήν ένεργο τιμή τῆς έντασεως.

'Η άεργη ίσχυς (παράγρ. 7.10) είναι ίση μέ μηδέν, άφοῦ:
 $\eta_{\text{μφ}} = \eta_{\text{μΟ}} = 0$.

$$Q = U \cdot I \cdot \eta_{\text{μφ}} = 0$$

Τέλος ή φαινομένη ίσχυς $S = U \cdot I$ είναι ίση μέ τήν πραγματική ίσχυ P .

9.3 Κύκλωμα μέ έπαγωγικό καταναλωτή.

"Άν σέ έναν έπαγωγικό καταναλωτή, π.χ. σέ ένα πηνίο πού έχει πολύ μικρή ώμική άντισταση, έφαρμοσθεῖ μιά δρισμένη τάση U συνεχοῦς ρεύματος, μέσα άπο αύτόν θά περάσει συνεχές ρεῦμα πολύ μεγάλης έντασεως. Αύτό συμβαίνει γιατί ή αύτεπαγωγή τοῦ πηνίου δέν έπηρεάζει τή ροή τοῦ συνεχοῦς ρεύματος, παρά μόνο τίς πρώτες στιγμές μετά τήν τροφοδότηση, δπως έξηγήσαμε στήν παράγραφο 6.10.1.

"Άν στό ίδιο πηνίο έφαρμοσθεῖ μιά τάση έναλλασσόμενου ρεύματος (σχ. 9.3a) πού ή ένεργος τιμή της U νά είναι ίση μέ τήν τάση τοῦ συνεχοῦς ρεύματος, θά παρατηρήσομε στό άμπερόμετρο δτι ή ένταση είναι τώρα πολύ μικρότερη. **Ό έπαγωγικός καταναλωτής παρουσιάζει με-**

γαλύτερη άντισταση στό έναλλασσόμενο ρεῦμα ἀπό αὐτήν πού παρουσίαζει στό συνεχές.

Στήν πραγματικότητα η άντισταση τοῦ πηνίου είναι ή ίδια. "Ομως στό έναλλασσόμενο ρεῦμα, ἐπειδή μεταβάλλεται συνεχῶς ή ἔντασή του ἀναπτύσσεται στό πηνίο ήλεκτρεγερτική δύναμη ἀπό αὐτεπαγωγή. "Οπως ἔξηγήσαμε στήν παράγραφο 6.9, η ήλεκτρεγερτική αὐτή δύναμη κάθε στιγμή ἀντιτίθεται στή μεταβολή τοῦ ρεύματος πού τή δημιούργησε. Δηλαδή είναι κάθε στιγμή ἀντιθετή πρός τήν τάση τῆς πηγῆς καί ἔτσι περιορίζει τήν ἔνταση τοῦ ρεύματος.

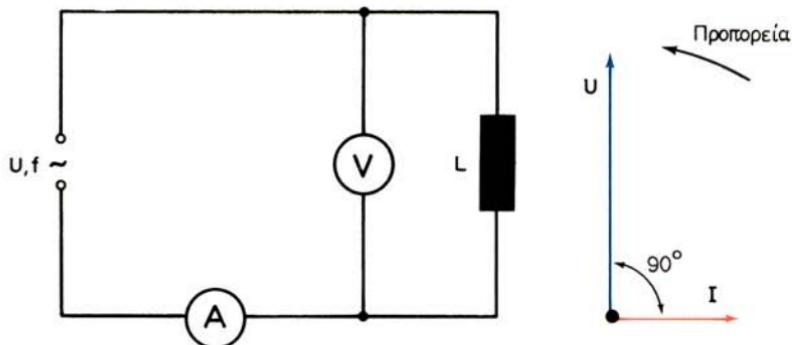
'Αποδεικνύεται ὅτι στήν περίπτωση ἐπαγωγικοῦ καταναλωτῆ πού ἔχει συντελεστή αὐτεπαγωγῆς L (καὶ ἀμελητέα ώμική ἀντίσταση), η ἔνταση τοῦ ρεύματος πού περνᾶ μέσα ἀπό αὐτόν ἔχει ἐνεργό τιμή πού δίνεται ἀπό τή σχέση:

$$I = \frac{U}{\omega \cdot L} \quad \text{σέ A}$$

ὅπου: U η ἐνεργός τιμή τῆς ἐφαρμοζόμενης τάσεως σέ V ,

L ὁ συντελεστής αὐτεπαγωγῆς τοῦ καταναλωτῆ σέ H ,

$\omega = 2 \cdot \pi \cdot f$ η κυκλική συχνότητα τῆς ἐφαρμοζόμενης τάσεως σέ rad/s.



Σχ. 9.3α.

Κύκλωμα μέ ψηφιακό καταναλωτή.

Σχ. 9.3β.

Τό γινόμενο $\omega \cdot L$ του παρονομαστῆ στήν παραπάνω σχέση όνομάζεται **ἐπαγωγική ἀντίσταση τοῦ καταναλωτῆ** καὶ συμβολίζεται μέ τό X_L . Ή ἐπαγωγική ἀντίσταση μετριέται σέ ώμ (Ω).

Εἶναι συνεπῶς:

$$X_L = \omega \cdot L = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot L \quad \text{σέ } \Omega$$

ὅπου: $\omega = 2 \cdot \pi \cdot f$ η κυκλική συχνότητα τοῦ έναλλασσόμενου ρεύματος σέ rad/s,

L ὁ συντελεστής αὐτεπαγωγῆς τοῦ καταναλωτῆ σέ H .

"Οπως παρατηρούμε άπο τήν παραπάνω σχέση, ή έπαγωγική άντισταση ένός δρισμένου καταναλωτή δέν έξαρτάται μόνο άπο τά χαρακτηριστικά του στοιχεία άλλα καί άπο τή συχνότητα f τοῦ ρεύματος. "Οσο μεγαλύτερη είναι ή συχνότητα τόσο μεγαλύτερη είναι; καί ή έπαγωγική άντισταση τοῦ καταναλωτῆ. Στό συνεχές ρεῦμα πού μπορεῖ νά θεωρηθεῖ δτι είναι $f = 0$, έχομε καί $X_L = 0$.

'Αποδεικνύεται έπίσης δτι **στήν περίπτωση έπαγωγικοῦ καταναλωτῆ, ή καμπύλη τῆς έφαρμοζόμενης τάσεως προπορεύεται ώς πρός τήν καμπύλη τῆς έντασεως τοῦ ρεύματος μέ διαφορά φάσεως μεταξύ τους 90° .** Ή σχετική θέση τῶν δύο καμπυλῶν μεταξύ τους είναι αύτή πού δείχνει τό σχῆμα 7.7στ(α).

Τό άντιστοιχο διανυσματικό διάγραμμα φαίνεται στό σχῆμα 9.3β. Σ' αύτό τό διάνυσμα τῆς τάσεως U προπορεύεται ώς πρός τό διάνυσμα τῆς έντασεως I κατά 90° . Έχομε δπως λέμε **έπαγωγική φόρτιση μέ διαφορά φάσεως 90°** . Συνεπώς σ' αύτήν είναι συνφ = 0.

Σύμφωνα μέ δσα εϊπαμε στήν παράγραφο 7.7.3, ή πραγματική ίσχυς πού καταναλώνεται άπο έναν καθαρά έπαγωγικό καταναλωτή ($R = 0$), είναι ίση μέ μηδέν:

$$P = U \cdot I \cdot \text{συνφ} = 0$$

Τό πῶς μπορεῖ νά συμβαίνει αύτό, δηλαδή νά περνᾶ ήλεκτρικό ρεῦμα άπο τόν καταναλωτή καί νά μή καταναλώνεται ίσχυς, έχει έξηγηθεῖ στό τέλος τῆς παραγράφου 7.7.3.

Στούς καθαρά έπαγωγικούς καταναλωτές ή άεργη ίσχυς (παράγρ. 7.10) είναι ίση μέ τή φαινομένη, άφού είναι $\eta\mu 90^\circ = 1$.

$$Q_L = U \cdot I \cdot \eta\mu\phi = U \cdot I = S$$

Παράδειγμα.

Στό κύκλωμα τοῦ σχήματος 9.3α έφαρμόζεται τάση 220 V, 50 H. Ό συντελεστής αύτεπαγγής τοῦ πηνίου είναι 0,2 H καί ή ώμική του άντισταση άμελητέα. Νά βρεθούν:

a) Ή έπαγωγική άντισταση τοῦ πηνίου, ή ένταση τοῦ ρεύματος πού περνᾶ μέσα άπο αύτό καί ή φαινομένη ίσχυς του. β) Νά γίνει τό διανυσματικό διάγραμμα τῆς τάσεως καί έντασεως.

Λύση:

a) Είναι:

$$X_L = \omega \cdot L = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot L = 2 \times 3,14 \times 50 \times 0,2 = 62,8 \Omega$$

$$I = \frac{U}{X_L} = \frac{220}{62,8} = 3,5 \text{ A}$$

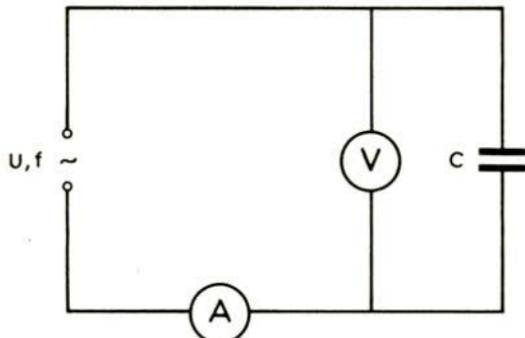
$$S = U \cdot I = 220 \times 3,5 = 770 \text{ VA}$$

β) Μέ κλίμακες $1 \text{ mm} = 6 \text{ V}$ γιά τις τάσεις και $1 \text{ mm} = 0,2 \text{ A}$ γιά τις έντασεις, τό διανυσματικό διάγραμμα είναι τό διάγραμμα τοῦ σχήματος 9.3β.

9.4 Κύκλωμα μέ χωρητικό καταναλωτή.

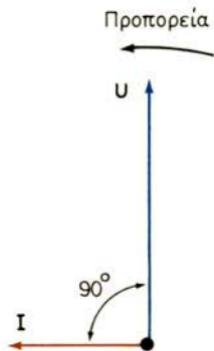
"Οπως είχαμε έξηγήσει καί στήν παράγραφο 8.2, όταν σέ έναν πυκνωτή έφαρμόσομε μία τάση συνεχούς ρεύματος, δέ θά περάσει ρεῦμα παρά μόνο στό, συνήθως πολύ μικρό, χρονικό διάστημα πού γίνεται ή φόρτιση τοῦ πυκνωτή. Ό πυκνωτής άποτελεῖ διακοπή τοῦ κυκλώματος γιά τό συνεχές ρεῦμα.

"Αν ομως στόν πυκνωτή έφαρμόσομε μιά τάση έναλλασσόμενου ρεύματος (σχ. 9.4α), θά παρατηρήσομε στό άμπερόμετρο ότι περνᾶ ρεῦμα άπο τό κύκλωμα, δηλαδή **ό πυκνωτής δέν άποτελεῖ διακοπή τοῦ κυκλώματος γιά τό έναλλασσόμενο ρεῦμα.**



Σχ. 9.4α.

Κύκλωμα μέ χωρητικό καταναλωτή.



Σχ. 9.4β.

Αύτό γίνεται γιατί στό έναλλασσόμενο ρεῦμα στό ένα τέταρτο τῆς περιόδου κατά τό όποιο αύξανεται ή τάση τῆς πηγῆς, ο πυκνωτής φορτίζεται καί συνεπῶς ήλεκτρόνια μετακινοῦνται μέσα άπο τό κύκλωμα (παράγρ. 8.2). Κατά τό έπομενο τέταρτο τῆς περιόδου πού ή τάση τῆς πηγῆς έλαττώνεται, ο πυκνωτής έκφορτίζεται καί έπομένως πάλι έχομε μετακίνηση ήλεκτρονίων στό κύκλωμα καί μάλιστα μέ φορά κινήσεως άντιθετη άπο αύτή πού είχαμε προηγουμένως.

Αποδεικνύεται ότι καί στήν περίπτωση χωρητικοῦ καταναλωτῆ τό παραγόμενο μέσα στό κύκλωμα ρεῦμα εἶναι έναλλασσόμενο καί ότι ή **καμπύλη τῆς ἐντάσεως προπορεύεται ως πρός τήν καμπύλη τῆς τάσεως μέ διαφορά φάσεως μεταξύ τους 90°.**

Τό άντίστοιχο διανυσματικό διάγραμμα φαίνεται στό σχῆμα 9.4β. Σ' αὐτό, τό διάνυσμα τῆς ἐντάσεως I εἶναι σέ προπορεία σχετικά μέ τό διάνυσμα τῆς τάσεως U κατά 90°. Λέμε τώρα ότι έχομε **χωρητική φόρτιση** μέ διαφορά φάσεως 90°. Συνεπῶς εἶναι καί έδω συνφ = 0.

Ή ένεργος τιμή τῆς ἐντάσεως τοῦ ρεύματος πού περνᾶ μέσα άπο χωρητικό καταναλωτῆ, δίνεται άπό τή σχέση:

$$I = \omega \cdot C \cdot U \quad \text{σέ } A$$

ὅπου: $\omega = 2 \cdot \pi \cdot f$ ή κυκλική συχνότητα τοῦ ρεύματος σέ rad/s,

C ή χωρητικότητα τοῦ καταναλωτῆ σέ F,

U ή ένεργος τιμή τῆς έφαρμοζόμενης τάσεως σέ V.

Ή παραπάνω σχέση μπορεῖ νά γραφεῖ καί ως έξης:

$$I = \frac{U}{\frac{1}{\omega \cdot C}}$$

Ό παρανομαστής $\frac{1}{\omega \cdot C}$ όνομάζεται **χωρητική άντισταση τοῦ καταναλωτῆ** καί συμβολίζεται μέ τό X_C . Ή χωρητική άντισταση μετριέται σέ οhm (Ω). Εἶναι συνεπῶς:

$$X_C = \frac{1}{\omega \cdot C} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot C} \quad \text{σέ } \Omega$$

ὅπου: $\omega = 2 \cdot \pi \cdot f$ ή κυκλική συχνότητα τοῦ έναλλασσόμενου ρεύματος σέ rad/s,

C ή χωρητικότητα τοῦ καταναλωτῆ σέ F.

Όπως παρατηροῦμε στήν παραπάνω σχέση, ή χωρητική άντισταση ένός δρισμένου καταναλωτῆ, π.χ. ένός πυκνωτῆ, δέν έξαρτᾶται μόνο άπό τά χαρακτηριστικά του στοιχεία άλλα καί άπό τή συχνότητα f τοῦ ρεύματος. "Οσο μεγαλύτερη εἶναι ή συχνότητα τόσο μικρότερη εἶναι ή χωρητική άντισταση. Στό συνεχές ρεῦμα ($f = 0$) ή χωρητική άντισταση εἶναι άπειρη.

Άφοῦ καί στούς χωρητικούς καταναλωτές εἶναι συνφ = 0, έπεται ότι ή πραγματική ίσχυς πού καταναλώνουν θά εἶναι καί αὐτή ίση μέ μηδέν:

$$P = U \cdot I \quad \text{συνφ} = 0$$

Τό πῶς συμβαίνει νά περνᾶ ήλεκτρικό ρεῦμα χωρίς νά καταναλώνεται πραγματική ίσχυς σέ ένα χωρητικό καταναλωτή, π.χ. σέ έναν π



κνωτή, έξηγείται μέ δσα άναφέραμε στούς έπαγγικούς καταναλωτές. Καί δ πυκνωτής στό ένα τέταρτο τῆς περιόδου τοῦ έναλλασσόμενου ρεύματος δταν φορτίζεται, άποταμιεύει στό ήλεκτρικό του πεδίο ένέργεια πού παίρνει άπό τήν πηγή. Τήν ένέργεια αύτή τήν άποδίδει πίσω στήν πηγή στό έπόμενο τέταρτο τῆς περιόδου, δταν έκφορτίζεται.

Η πραγματική ίσχυς πού καταναλώνεται σέ έναν πυκνωτή, είναι ίση μέ μηδέν, δταν ή ώμική άντίσταση τοῦ πυκνωτή είναι άπειρη. Αύτή ίσμως είναι ή περίπτωση τοῦ **ιδανικοῦ πυκνωτῆ**. Στήν πραγματικότητα ή άντίσταση δέν είναι άπειρη καί κάποιο μικρό ρεύμα περνά μέσα άπό τόν πυκνωτή μέ συνέπεια ήλεκτρική ένέργεια νά μετατρέπεται σέ θερμότητα. Τήν ένέργεια αύτή δνομάζομε **διηλεκτρική άπωλεια**.

Η άεργη ίσχυς Q_C τοῦ πυκνωτή είναι ίση μέ τή φαινομένη ίσχυ, άφού $\eta \mu 90^\circ = 1$:

$$Q_C = U \cdot I \cdot \eta \mu 90^\circ = U \cdot I = S$$

Είναι εύκολο νά άποδειχθεῖ δτι γιά έναν πυκνωτή ίσχύει ή σχέση:

$$Q_C = \omega \cdot C \cdot U^2 \quad \text{σέ var}$$

Ή

$$Q_C = \frac{\omega \cdot C \cdot U^2}{1000} \quad \text{σέ kvar}$$

Τό μέγεθος ένός πυκνωτή χαρακτηρίζεται άπό τή χωρητικότητά του καί τήν τάση λειτουργίας του. Στούς μεγάλους πυκνωτές, σάν αύτούς πού, όπως θά δοῦμε στά έπόμενα, χρησιμοποιούνται στίς ήλεκτρικές έγκαταστάσεις γιά τή βελτίωση τοῦ συντελεστή ίσχύος, τό μέγεθός τους χαρακτηρίζεται άπό τήν άεργη ίσχύ τους (σέ var ή kvar) καί βέβαια καί άπό τήν τάση λειτουργίας.

Γιά τούς πυκνωτές πού προορίζονται νά λειτουργήσουν σέ δίκτυο τῆς ΔΕΗ μέ τάση λειτουργίας 220 V, έπειδή είναι καί $\omega = 2 \cdot \pi \cdot f = 314$ ή τελευταία σχέση πού δώσαμε παραπάνω γίνεται:

$$Q_C = 0,015 \cdot C \quad \text{σέ kvar}$$

όπου C ή χωρητικότητα τοῦ πυκνωτή σέ μF.

Παράδειγμα.

Έναλλασσόμενη τάση 220 V, 50 Hz έφαρμόζεται σέ πυκνωτή χωρητικότητας 80 μF. Ζητούνται:

- α) Η χωρητική άντίσταση τοῦ πυκνωτή.
- β) Η ένταση τοῦ ρεύματος πού περνά μέσα άπό τό κύκλωμα.
- γ) Η ίσχυς τοῦ πυκνωτή καί
- δ) τό διανυσματικό διάγραμμα τής τάσεως καί τής έντάσεως.

Λύση:

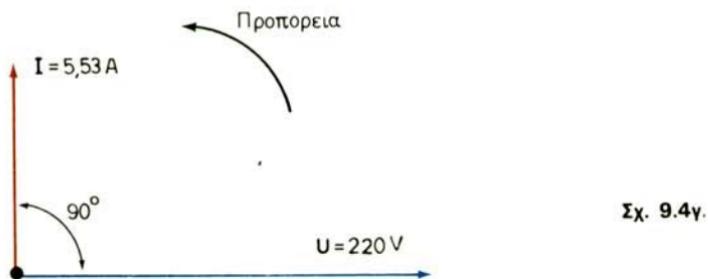
$$\text{a) Είναι: } X_C = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{2\pi f C} = \frac{1}{2 \times \pi \times 50 \times 80 \times 10^{-6}} = 39,8 \Omega$$

$$\text{β) } I = \frac{U}{X_C} = \frac{220}{39,8} = 5,53 \text{ A}$$

$$\text{γ) } Q_C = 0,015 \cdot C = 0,015 \times 80 = 1,2 \text{ kvar}$$

δ) Έκλεγομε για κλίμακες: 1 mm = 4 V και 1 mm = 0,2 A

Τό ζητούμενο διανυσματικό διάγραμμα φαίνεται στο σχήμα 9.4γ.

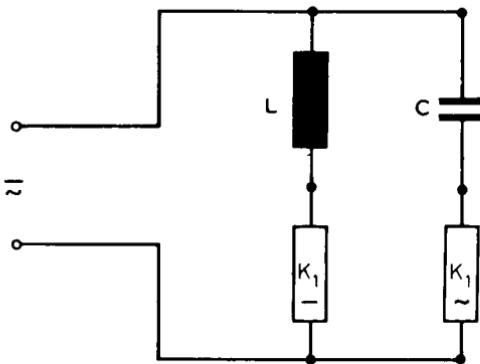


9.5 Διαχωρισμός συνεχούς άπο έναλλασσόμενο ρεῦμα.

Στήν πράξη έμφανίζονται τακτικά περιπτώσεις, κυρίως στά κυκλώματα της τηλεπικοινωνίας, όπου ένα έναλλασσόμενο καί ένα συνεχές ρεῦμα δόηγούνται ταυτόχρονα μέ μιά γραμμή πρός τούς καταναλωτές K_1 καί K_2 πού είναι συνδεμένοι παράλληλα (σχ. 9.5). Θέλομε δημοσίευση τόν καταναλωτή K_1 , νά περνά μόνο τό συνεχές ρεῦμα καί άπο τόν καταναλωτή K_2 μόνο τό έναλλασσόμενο ρεῦμα.

Γιά νά πραγματοποιηθεί θ παραπάνω διαχωρισμός, συνδέομε σέ σειρά μέ τόν καταναλωτή K_1 , ένα πηνίο μέ μικρή ώμική άντίσταση καί μέ κατάλληλα μεγάλη αύτεπαγγή καί σέ σειρά μέ τόν καταναλωτή K_2 έναν πυκνωτή μέ κατάλληλα μεγάλη χωρητικότητα C .

Τό πηνίο παρουσιάζει μεγάλη άντίσταση στό έναλλασσόμενο ρεῦμα καί καθόλου σχεδόν στό συνεχές. "Έτσι άφήνει πρακτικώς μόνο τό συνεχές ρεῦμα νά περνά άπο τόν καταναλωτή K_1 . Άντιθετα θ πυκνωτής παρουσιάζει άπειρη άντίσταση στό συνεχές ρεῦμα καί μικρή στό έναλλασσόμενο. "Έτσι άφήνει νά περνά άπο τόν K_2 μόνο τό έναλλασσόμενο ρεῦμα. Δηλαδή γίνεται πρακτική έφαρμογή θσων άναφέραμε στίς δύο προηγούμενες παραγράφους γιά τήν έξαρτηση τής έπαγωγής καί τής χωρητικής άντιστάσεως άπο τή συχνότητα τοῦ ρεύματος.



Σχ. 9.5.

Διαχωρισμός συνεχοῦς άπό έναλλασσόμενο ρεύμα.

9.6 Σύνθετοι καταναλωτές.

Τά διάφορα πραγματικά κυκλώματα έναλλασσόμενου ρεύματος δέν περιλαμβάνουν συνήθως ένα μόνο άπό τούς άπλούς καταναλωτές πού γνωρίσαμε στίς προηγούμενες παραγράφους. Σχέδόν πάντοτε περιλαμβάνουν καταναλωτές πού άποτελούνται άπό συνδυασμούς τών στοιχείων R, L, C , συνδεμένων σέ σειρά ή παράλληλα ή μέ μικτό τρόπο. Κάθε τέτοιος συνδυασμός άποτελεῖ ένα σύνθετο καταναλωτή, δημοσιεύοντας αναφέραμε και στήν παράγραφο 9.1.

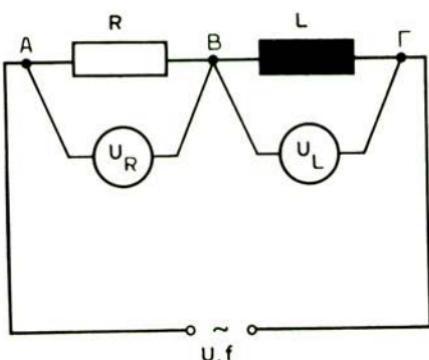
Δέν περιλαμβάνεται στούς σκοπούς τοῦ βιβλίου αύτοῦ νά δώσει τούς τρόπους έπιλύσεως κυκλωμάτων πού περιλαμβάνουν κάθε είδους σύνθετο καταναλωτή. Στίς έπόμενες παραγράφους αύτοῦ τοῦ κεφαλαίου θά έξετάσομε μερικές άπλετες περιπτώσεις συνθέτων καταναλωτῶν, πού δημοσιεύονται στήν παράγραφο 9.1.

Στήν άρχη θά έξετάσομε τρεῖς τέτοιες περιπτώσεις μέ καταναλωτές πού έχουν τά στοιχεία τους συνδεμένα σέ σειρά. Στή συνέχεια θά έξετάσομε μία περίπτωση σύνθετου καταναλωτῆ πού έχει στοιχεία συνδεμένα παράλληλα και μία ένδιαφέρουσα πρακτική έφαρμογή της.

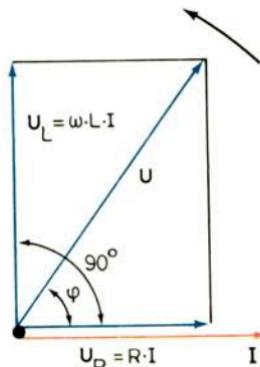
9.7 Καταναλωτής μέ R και L σέ σειρά.

Τό κύκλωμα τοῦ σχήματος 9.7α περιλαμβάνει ένα σύνθετο καταναλωτή πού άποτελεῖται άπό μιά ώμική άντίσταση R και ένα πηνίο μέ αύτεπαγγή L συνδεμένα σέ σειρά. Μέ τή διάταξη αύτή παριστάνομε και κάθε πηνίο τοῦ όποιου ή ώμική άντίσταση R δέν είναι άμελητέα.

"Αν έφαρμόσομε στό κύκλωμα μιά έναλλασσόμενη τάση πού έχει έ-



Σχ. 9.7α.



Σχ. 9.7β.

a) Κύκλωμα μέ σύνθετο καταναλωτή R και L σέ σειρά.

νεργό τιμή U και συχνότητα f, θά περάσει μέσα από αύτό ένα έναλλασσόμενο ρεῦμα μέ σενεργό τιμή έντασεως I και συχνότητα έπισης f.

Τό ίδιο ρεῦμα περνά τόσο μέσα από τήν άντισταση R όσο και μέσα από τό πηνίο L. "Αρα μποροῦμε μέ ένα διάνυσμα I, όπως τό κόκκινο διάνυσμα τού σχήματος 9.7β, νά παραστήσουμε τήν κοινή αύτή ένταση. Σημειώνομε ότι ή διεύθυνση στήν όποια άρχικά θά τοποθετήσουμε τό διάνυσμα I είναι αύθαίρετη.

"Η ένεργος τιμή τής τάσεως πού έπικρατεῖ μεταξύ τῶν ἄκρων A και B τής άντιστάσεως (τήν όποια μποροῦμε νά μετρήσουμε μέ ένα βολτόμετρο έναλλασσόμενου ρεύματος), δίνεται από τή σχέση $U_R = R \cdot I$. Στήν παράγραφο 9.2 έξηγήσαμε ότι τό διάνυσμα τής τάσεως αύτής είναι σέ φάση μέ τό διάνυσμα I, όπως παριστάνεται και στό σχήμα 9.7β.

"Η ένεργος τιμή τής τάσεως πού έπικρατεῖ μεταξύ τῶν ἄκρων B και Γ τού πηνίου (τήν όποια έπισης μποροῦμε νά μετρήσουμε μέ ένα βολτόμετρο), δίνεται από τή σχέση $U_L = \omega \cdot L \cdot I$. Η τάση αύτή (παράγρ. 9.3) προπορεύεται τής έντασεως I κατά 90° , όπως έχει σχεδιασθεῖ και τό άντιστοιχο διάνυσμα στό σχήμα 9.7β.

Τό γεωμετρικό άθροισμα τῶν U_R και U_L μᾶς δίνει τήν ένεργο τιμή τής τάσεως U πού έφαρμόζεται στό κύκλωμα. Έπισης τό διανυσματικό διάγραμμα (σχ. 9.7β) μᾶς δίνει τή διαφορά φάσεως μεταξύ τής τάσεως U και τού ρεύματος I και πού είναι ίση μέ τή γωνία φ. Παρατηροῦμε ότι ή τάση προπορεύεται ώς πρός τήν ένταση. "Έχομε δηλαδή, όπως λέμε, **έπαγγεική φόρτιση τού δικτύου**.

Είναι εύκολο νά άποδειχθεῖ από τά όρθιογώνια τρίγωνα πού σχηματίζονται στό διανυσματικό διάγραμμα, ότι ή σχέση πού συνδέει τά U και I είναι:

$$I = \frac{U}{\sqrt{R^2 + (\omega \cdot L)^2}} \quad \text{σέ } A$$

όπου: U ή ένεργος τιμή της έφαρμοζόμενης τάσεως σέ V,

R ή ώμική άντισταση τοῦ καταναλωτῆ σέ Ω,

L ο συντελεστής αύτεπαγωγῆς τοῦ καταναλωτῆ σέ H,

ω ή κυκλική συχνότητα τοῦ ρεύματος σέ rad/s.

Όνομάζομε **σύνθετη άντισταση** τοῦ καταναλωτῆ τόν παρονομαστή τοῦ παραπάνω κλάσματος. Τή σύνθετη άντισταση τήν παριστάνομε μέ τό Z καί τή μετροῦμε σέ ώμ (Ω).

$$Z = \sqrt{R^2 + (\omega \cdot L)^2} = \sqrt{R^2 + X_L^2} \quad \text{σέ } \Omega$$

Τή γωνία τῆ διαφορᾶς φάσεως φ είτε τή μετροῦμε μέ ἔνα μοιρογνωμόνιο άπευθείας ἀπό τό διανυσματικό διάγραμα είτε ύπολογίζομε τό συνημίτονό της ἀπό τήν άκολουθη σχέση καί τή βρίσκομε στόν πίνακα 7.8.1.

$$\sigma_{\text{υνφ}} = \frac{R}{Z} = \frac{R}{\sqrt{R^2 + (\omega \cdot L)^2}}$$

Άναλογα μέ τίς τιμές τῶν R καί ω.L ή γωνία φ μεταβάλλεται μεταξύ 0° καί 90°.

Γιά τήν πραγματική, τή φαινομένη καί τήν άεργη ίσχυ πού καταναλώνει ἔνας τέτοιος σύνθετος καταναλωτής, έφαρμόζονται οἱ γνωστές ἀπό τήν παράγραφο 7.10 σχέσεις, δπως θά δοῦμε καί στό παράδειγμα πού άκολουθεῖ.

Παράδειγμα.

Ένας σύνθετος καταναλωτής ἀποτελεῖται ἀπό μία άντισταση 13 Ω σέ σειρά μέ ἔνα πηνίο μέ συντελεστή αύτεπαγωγῆς 0,057 H. Στόν καταναλωτή έφαρμόζεται έναλλασσόμενη τάση 220 V, 50 Hz. Νά βρεθοῦν:

- α) Ή έπαγωγική του άντισταση.
- β) Ή σύνθετη άντιστασή του.
- γ) Ή ἔνταση τοῦ ρεύματος πού περνᾷ ἀπό τόν καταναλωτή.
- δ) Ή ένεργος τιμή τῶν τάσεων πού ἐπικρατοῦν στά ἄκρα τῆς άντιστάσεως καί τοῦ πηνίου.
- ε) Ή διαφορά φάσεως μεταξύ τάσεως καί ἔντάσεως.
- σ) Ή φαινομένη ίσχυς, ή άεργη ίσχυς καί ή πραγματική ίσχυς πού καταναλώνονται.
- ζ) Νά σχεδιασθεῖ τό διανυσματικό διάγραμμα.

Λύση:

a) Είναι: $X_L = \omega \cdot L = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot L = 2 \times 3,14 \times 50 \times 0,057 = 17,9 \Omega$

β) $Z = \sqrt{R^2 + X_L^2} = \sqrt{13^2 + 17,9^2} = 22 \Omega$

γ) $I = \frac{U}{Z} = \frac{220}{22} = 10 A$

δ) $U_R = R \cdot I = 13 \times 10 = 130 V$

$U_L = \omega \cdot L \cdot I = X_L \cdot I = 17,9 \times 10 = 179 V$

ε) $\sigma_{\text{υνφ}} = \frac{R}{Z} = \frac{13}{22} = 0,59$

Άπο τόν Πίνακα 7.8.1 βρίσκομε ότι $\phi = 54^\circ$ καί ημ $54^\circ = 0,809$

στ) $S = U \cdot I = 220 \times 10 = 2200 VA$

$Q = U \cdot I \cdot \eta_{\text{μφ}} = 220 \times 10 \times 0,809 = 1780 \text{ var}$

$P = U \cdot I \cdot \sigma_{\text{υνφ}} = 220 \times 10 \times 0,59 = 1298 W$

ζ) Μέ κλίμακες τάσεως 1 mm = 5 V καί έντασεως 1 mm = 0,3 A τό ζητούμενο διανυσματικό διάγραμμα φαίνεται στό σχήμα 9.7β.

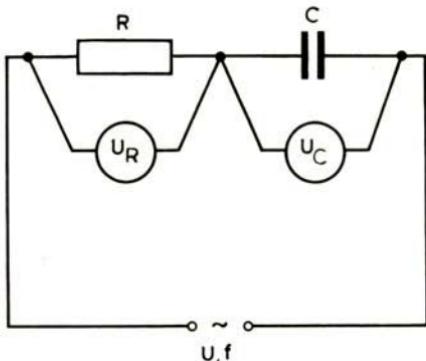
9.8 Καταναλωτής μέ R καί C σέ σειρά.

"Ενας σύνθετος καταναλωτής πού άποτελείται από μιά ώμική άντι-σταση R, συνδεμένη σέ σειρά μέ έναν πυκνωτή πού έχει χωρητικότητα C, φαίνεται στό σχήμα 9.8a. Ό καταναλωτής τροφοδοτείται μέ έναλ-λασσόμενο ρεύμα πού έχει ένεργο τιμή τάσεως U καί συχνότητα f.

Τό διάνυσμα I τής έντασεως τοῦ ρεύματος μπορεῖ νά ληφθεῖ καί στήν περίπτωση αύτή ως βάση γιά τή σχεδίαση τοῦ διανυσματικοῦ διαγράμματος, δπως έγινε καί στήν περίπτωση τοῦ σύνθετου καταναλωτή τής προηγούμενης παραγράφου. Τό διάγραμμα αύτό φαίνεται στό σχήμα 9.8β. Ή μόνη διαφορά είναι ότι έδω ή τάση U_C πού έπικρατεῖ στά άκρα τοῦ πυκνωτή είναι σέ έπιπορεία 90° ως πρός τήν ένταση I (πα-ράγρ. 9.4).

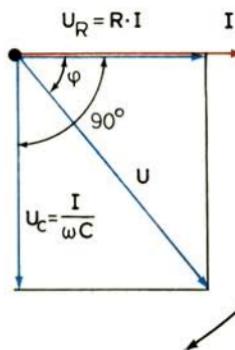
Τό γεωμετρικό ἄθροισμα τῶν U_R καί U_C δίνει τήν ένεργο τιμή τῆς τάσεως U πού έφαρμόζεται στό κύκλωμα. "Οπως παρατηροῦμε έδω, ή τάση U βρίσκεται σέ έπιπορεία ως πρός τήν ένταση. "Έχομε δηλαδή, δπως λέμε, **χωρητική φόρτιση τοῦ δικτύου**.

"Η σχέση πού δίνει τήν ένεργο τιμή τῆς έντασεως τοῦ ρεύματος πού διαρρέει τόν καταναλωτή αύτόν είναι:



Σχ. 9.8α.

Κύκλωμα μέσει σύνθετο καταναλωτή R και C σε σειρά.



Σχ. 9.8β.

$$I = \frac{U}{Z} \quad \text{σε } A$$

όπου: U ή ένεργος τιμή της έφαρμοζόμενης τάσεως σε V ,
 Z ή σύνθετη άντισταση τοῦ καταναλωτῆ σε Ω .

Η σύνθετη άντισταση τοῦ καταναλωτῆ στήν περίπτωση αὐτή δίνεται άπο τή σχέση:

$$Z = \sqrt{R^2 + \left(\frac{1}{\omega \cdot C}\right)^2} = \sqrt{R^2 + X_C^2} \quad \text{σε } \Omega$$

όπου: R ή ώμική άντισταση τοῦ καταναλωτῆ σε Ω ,
 C ή χωρητικότητα τοῦ καταναλωτῆ σε F ,
 ω ή κυκλική συχνότητα τοῦ ρεύματος σε rad/s.

Τή γωνία τῆς διαφορᾶς φάσεως ϕ είτε τή μετροῦμε στό διανυσματικό διάγραμμα είτε τή βρίσκομε άπο τόν Πίνακα 7.8.1 άφοῦ προηγουμένως ύπολογίσομε τό συνημίτονό της άπο τή σχέση:

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

Παράδειγμα.

Άν στό κύκλωμα τοῦ σχήματος 9.8α είναι $R = 11.000 \Omega$, $C = 0.5 \mu F$, $U = 220 V$ και $f = 50 Hz$ νά ύπολογιστοῦν:

- α) Ή χωρητική άντισταση τοῦ πυκνωτῆ.
- β) Η σύνθετη άντισταση τοῦ καταναλωτῆ.
- γ) Η ένεργος τιμή της έντασεως πού περνά μέσα άπο τό κύκλωμα.
- δ) Η διαφορά φάσεως μεταξύ τάσεως και έντασεως.
- ε) Η φαινομένη, ή πραγματική και ή άεργη ίσχυς τοῦ καταναλωτῆ.

Λύση:

$$\text{α) } X_C = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot C} = \frac{1}{2 \times 3,14 \times 50 \times 0,5 \times 10^{-6}} = 6370 \Omega$$

$$\beta) Z = \sqrt{R^2 + X_C^2} = \sqrt{11.000^2 + 6370^2} = 12.710 \Omega$$

$$\gamma) I = \frac{U}{Z} = \frac{220}{12.710} = 0,0173 \text{ A}$$

$$\delta) \sigma_{\text{υνφ}} = \frac{R}{Z} = \frac{11.000}{12.710} = 0,865 \quad \text{ή} \quad \phi = 30^\circ$$

Έπισης είναι ημφ = 0,5

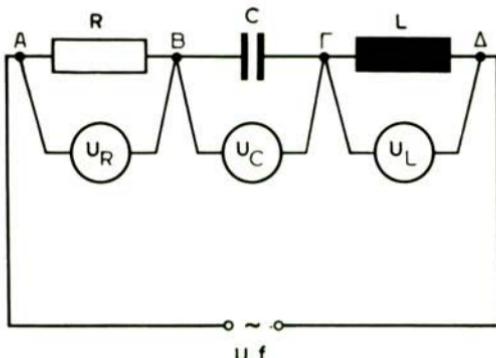
$$\epsilon) S = U \cdot I = 220 \times 0,0173 = 3,8 \text{ VA}$$

$$P = S \cdot \sigma_{\text{υνφ}} = 3,8 \times 0,865 = 3,29 \text{ W}$$

$$Q = S \cdot \eta_{\text{μφ}} = 3,8 \times 0,5 = 1,9 \text{ var}$$

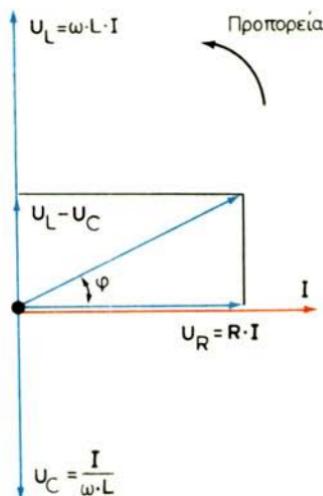
9.9 Καταναλωτής μέ R, C, L, σέ σειρά.

Ένας σύνθετος καταναλωτής μπορεί νά άποτελείται και από τά τρία στοιχεία R, C, L, συνδεμένα σέ σειρά. Δηλαδή από μιά ώμική άντισταση, έναν πυκνωτή και ένα πηνίο συνδεμένα μεταξύ τους δημοσιεύεται στό σχήμα 9.9a.



Σχ. 9.9a.

Κύκλωμα μέ σύνθετο καταναλωτή από R, L, C σέ σειρά.



Σχ. 9.9β.

"Αν στόν παραπάνω καταναλωτή έφαρμόσομε μία έναλλασσόμενη τάση U πού έχει συχνότητα f , θά περάσει μέσα και άπο τά τρία στοιχεία του ή ίδια έναλλασσόμενη ένταση μέ συχνότητα έπισης f και ένεργο τιμή I .

Μέ βάση τό διάνυσμα τής έντασεως I σχεδιάζομε και έδω τό διανυσματικό διάγραμμα (σχ. 9.9β), όπως έγινε στίς περιπτώσεις τῶν συνθέτων καταναλωτῶν πού έξετάσαμε στίς προηγούμενες παραγράφους. Δηλαδή θά έχομε και έδω ένα διάνυσμα U_R σέ φάση μέ τήν I , ένα διάνυσμα U_C πού βρίσκεται σέ έπιπορεία ώς πρός τήν I κατά 90° και τέλος ένα διάνυσμα U_L πού προπορεύεται τής I κατά 90° .

'Η τάση U πού έφαρμόσαμε στό κύκλωμα είναι τό διανυσματικό άθροισμα τῶν U_R , U_C , U_L . "Οπως παρατηροῦμε και στό σχήμα γιά νά βροῦμε τό άθροισμα αύτό, βρίσκομε πρώτα τή διανυσματική διαφορά $U_L - U_C$ τῶν δύο άντιθετων διανυσμάτων U_L και U_C και τήν προσθέτομε στήν U_R .

'Ανάλογα μέ τό πιό άπο τά δύο διανύσματα U_L και U_C είναι μεγαλύτερο ή U θά προπορεύεται ή θά άκολουθεί τήν I κατά γωνία ίση μέ τή διαφορά φάσεως ϕ . Δηλαδή δ σύνθετος καταναλωτής θά παρουσιάζει άντιστοιχα έπαγωγική φόρτιση (όπως στό σχήμα 9.9β) ή χωρητική φόρτιση τοῦ δικτύου.

Σημειώνομε άκόμα ότι στά έναλλασσόμενα ρεύματα στή σύνδεση τῶν στοιχείων R , L , C σέ σειρά μπορεῖ νά γίνουν οι τάσεις U_L και U_C μεγαλύτερες και άπο τήν τάση τροφοδοτήσεως U . Κάτι τέτοιο, όπως γνωρίζομε, δέν μπορεῖ νά γίνει στό συνεχές ρεῦμα άλλα ούτε και στό έναλλασσόμενο στή σύνδεση ώμικων άντιστάσεων σέ σειρά.

'Η ένεργος τιμή τής έντασεως I πού περνᾶ μέσα άπο τό σύνθετο καταναλωτή δίνεται άπο τήν άκολουθη σχέση, **πού άποτελεῖ τή γενική μορφή τοῦ νόμου τοῦ Όμ γιά τό έναλλασσόμενο ρεῦμα:**

$$I = \frac{U}{Z} \quad \text{σέ } A$$

όπου: U ή ένεργος τιμή τής έφαρμοζόμενης τάσεως σέ V ,

Z ή σύνθετη άντισταση τοῦ καταναλωτῆ σέ Ω .

Στήν περίπτωση καταναλωτῆ μέ R , C , L σέ σειρά, ή σύνθετη άντιστασή του δίνεται άπο τή σχέση:

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

όπου: R ή ώμική άντισταση τοῦ καταναλωτῆ σέ Ω ,

L ή συντελεστής αύτεπαγωγῆς τοῦ καταναλωτῆ σέ H ,

C ή χωρητικότητα τοῦ καταναλωτῆ σέ F ,

$\omega = 2\pi \cdot f$ ή κυκλική συχνότητα τοῦ ρεύματος σέ rad/s.

Τή γωνία φ τή μετροῦμε καί έδω μέ ξα μοιρογνωμόνιο άπευθείας από τό διανυσματικό διάγραμμα ή τή βρίσκομε άπο τόν Πίνακα 7.8.1 άφού προηγουμένως ύπολογίσομε τό συνημίτονό της άπο τή σχέση:

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

"Αν ή τιμή τῆς παραστάσεως $\omega \cdot L - \frac{1}{\omega \cdot C}$ προκύπτει άρνητική, σημαίνει, σύμφωνα μέ δσα είπαμε καί παραπάνω, θτι διανυσματικής παρουσιάζει χωρητική φόρτιση, θτι δηλαδή είναι $U_C > U_L$.

Ο καταναλωτής μέ R , L , C σέ σειρά είναι ή γενική περίπτωση τοῦ σύνθετου καταναλωτή μέ στοιχεία συνδεμένα σέ σειρά. Είναι εύκολο νά δει κανείς πώς άπο τίς σχέσεις πού δώσαμε παραπάνω προκύπτουν οι σχέσεις τῶν ειδικῶν περιπτώσεων τῶν παραγράφων 9.2 ὡς 9.8. Γιά τήν περίπτωση πού δέν ύπάρχει πυκνωτής, πρέπει στίς παραπάνω σχέσεις τῆς γενικῆς περιπτώσεως νά βάλομε $\frac{1}{\omega \cdot C} = 0$ (χωρητική άντίσταση ίση μέ μηδέν), ένω δταν δέν ύπάρχει πηνίο πρέπει νά βάλομε $\omega \cdot L = 0$ (έπαγωγική άντίσταση ίση μέ μηδέν).

Παράδειγμα.

Ένας σύνθετος καταναλωτής άποτελεῖται άπο μία ώμική άντίσταση 30Ω , ξα πηνίο μέ συντελεστή αύτεπαγωγῆς $0,4 \text{ H}$ καί ξαν πυκνωτή μέ χωρητικότητα $15 \mu\text{F}$ συνδεμένα σέ σειρά. Στόν καταναλωτή αύτόν έφαρμόζεται έναλλασσόμενη τάση $220 \text{ V}, 50 \text{ Hz}$. Νά βρεθοῦν:

- α) Ή σύνθετη άντίσταση τοῦ καταναλωτῆ.
- β) Ή διαφορά φάσεως μεταξύ τῆς έφαρμοζόμενης τάσεως καί τῆς έντασεως τοῦ ρεύματος.
- γ) Οι τάσεις U_R , U_C , U_L .
- δ) Η φαινομένη, ή πραγματική καί ή αεργη ίσχυς πού άπορροφᾶ διανυσματικής άπο τό δίκτυο.
- ε) Νά σχεδιασθεῖ τό διανυσματικό διάγραμμα.

Λύση:

Υπολογίζομε πρώτα τά άκόλουθα μεγέθη:

$$\omega = 2 \cdot \pi \cdot f = 2 \times 3,14 \times 50 = 314$$

$$\omega \cdot L = 314 \times 0,4 = 125,6 \Omega$$

$$\frac{1}{\omega \cdot C} = \frac{1}{314 \times 15 \times 10^{-6}} = 212,3 \Omega$$

$$\omega \cdot L - \frac{1}{\omega \cdot C} = 125,6 - 212,3 = -86,7$$

Τό αρνητικό σημεῖο σημαίνει ότι ή τάση είναι σέ έπιπορεία ώς πρός τήν ένταση. Δηλαδή έδω έχομε χωρητική φόρτιση.

$$\text{a) } Z = \sqrt{R^2 + \left(\omega \cdot L - \frac{1}{\omega \cdot C}\right)^2} = \sqrt{30^2 + (125,6 - 212,3)^2} = \\ = \sqrt{30^2 + 86,7^2} = 91,7 \Omega$$

$$\beta) \text{ συνφ} = \frac{R}{Z} = \frac{30}{91,7} = 0,327$$

γ) Για νά βροῦμε τίς τιμές τῶν ζητουμένων τάσεων, ύπολογίζομε πρώτα τήν τιμή τῆς έντάσεως I.

$$I = \frac{U}{Z} = \frac{220}{91,7} = 2,4 \text{ A}$$

"Αρα είναι:

$$U_R = R \cdot I = 30 \times 2,4 = 72 \text{ V}$$

$$U_C = \frac{1}{\omega \cdot C} \cdot I = 212,3 \times 2,4 = 509,5 \text{ V}$$

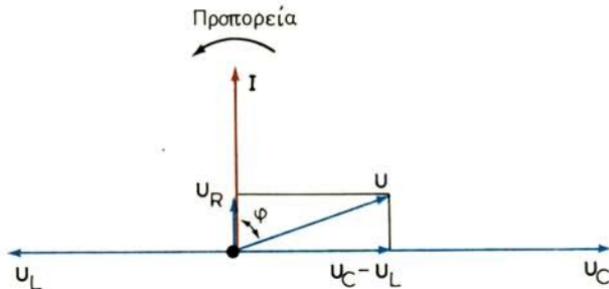
$$U_L = \omega \cdot L \cdot I = 125,6 \times 2,4 = 301,4 \text{ V}$$

δ) Είναι: $S = U \cdot I = 220 \times 2,4 = 528 \text{ VA}$

$$P = U \cdot I \cdot \text{συνφ} = 220 \times 2,4 \times 0,327 = 173 \text{ W}$$

$$Q = U \cdot I \cdot \eta\mu\phi = 220 \times 2,4 \times 0,946 = 499 \text{ var}$$

ε) Μέ κλιμακες τάσεως 1 mm = 10 V καί έντάσεως 1 mm = 0,1 A, τό ζητούμενο διανυσματικό διάγραμμα φαίνεται στό σχήμα 9.9γ.



Σχ. 9.9γ.

9.10 Συντονισμός σειρᾶς.

Μία ιδιαίτερα ένδιαιφέρουσα περίπτωση σύνθετου καταναλωτή μέντοι R, L, C σε σειρά έχομε όταν ή έπαγωγική του άντισταση $X_L = \omega \cdot L$ είναι ίση με τή χωρητική του άντισταση $X_C = \frac{1}{\omega \cdot C}$. Λέμε τότε ότι έχουμε **συντονισμό σειρᾶς**. Δηλαδή στό συντονισμό σειρᾶς είναι:

$$\omega \cdot L = \frac{1}{\omega \cdot C}$$

Από τή σχέση αύτή προκύπτει ότι, γιά νά έχομε συντονισμό, θά πρέπει ή συχνότητα τοῦ έναλλασσόμενου ρεύματος πού τροφοδοτεῖ τόν καταναλωτή νά συνδέεται μέ τά στοιχεῖα τοῦ καταναλωτή μέ τήν άκόλουθη σχέση:

$$f_0 = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \sqrt{L \cdot C}} \quad \text{σε } H_z$$

ὅπου: L δ συντελεστής αύτεπαγωγῆς τοῦ καταναλωτή σε H,

C ή χωρητικότητα τοῦ καταναλωτή σε F.

Η f_0 όνομάζεται **συχνότητα συντονισμοῦ τοῦ καταναλωτῆς**.

Είναι εύκολο νά διαπιστώσει κανείς ότι στό συντονισμό σειρᾶς ίσχυουν τά άκόλουθα:

— Η σύνθετη άντισταση τοῦ καταναλωτή παίρνει τήν πιό μικρή της τιμή και γίνεται ίση μέ τήν ώμική του άντισταση.

$$Z = R$$

— Τό ρεύμα μέσα άπο τόν καταναλωτή γίνεται μέγιστο. Η ένεργος τιμή του στό συντονισμό δίνεται άπο τή σχέση:

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

- Η τάση $U_R = R \cdot I$ γίνεται μέγιστη (άφού τό I γίνεται μέγιστο) και ίση μέ τήν τάση U πού έφαρμόζομε στόν καταναλωτή.
- Οι τάσεις U_L και U_C γίνονται ίσες (και άντιθετες).
- Η διαφορά φάσεως φ μεταξύ τάσεως U και έντάσεως I γίνεται ίση μέ μηδέν, δηλαδή δ σύνθετος καταναλωτής, άπο άπόψεως συντελεστή ίσχυος, συμπεριφέρεται στό συντονισμό σάν μία ώμική άντισταση R.

Σημειώνομε τέλος ότι οι τάσεις U_L και U_C , δηλαδή οι τάσεις πού έπικρατοῦν μεταξύ τῶν άκρων τοῦ πηγίου και τοῦ πυκνωτή, στήν περίπτωση τοῦ συντονισμοῦ μπορεῖ νά γίνουν πολύ μεγάλες, πολύ μεγαλύτερες από τήν τάση της πηγής.

τερες μάλιστα άπο τήν έφαρμοζόμενη τάση U. Δηλαδή μπορεῖ στό συντονισμό νά παρουσιασθούν τάσεις έπικινδυνες νά προκαλέσουν ζημιές στίς συσκευές ή άτυχήματα στούς άνθρωπους.

Τά παραπάνω δύναμεις στό πρακτικό συμπέρασμα οτι, όταν έχομε νά συνδέσουμε ένα πηνίο σέ σειρά μέ έναν πυκνωτή, πρέπει νά βεβαιωνόμαστε προηγουμένως μέ έναν ύπολογισμό οτι ή σύνδεση αύτή δέν παρουσιάζει κινδύνους γιά τίς συσκευές ή αύτούς πού θά τίς χειρίστοῦν.

Άπο ίσα άναφέραμε παραπάνω, δέν πρέπει νά νομισθεί οτι ο συντονισμός είναι πάντα ένα άνεπιθύμητο φαινόμενο. Πολλές φορές γίνεται χρήση τού συντονισμού ένός κυκλώματος σέ μιά συχνότητα γιά νά έπιπτε χρήσιμες πρακτικές έφαρμογές όπως π.χ. στά ήλεκτρονικά κυκλώματα.

Παράδειγμα.

Ένα πηνίο πού έχει ώμική άντισταση 20Ω καί συντελεστή αύτεπαγμής $0,5 \text{ H}$ συνδέεται σέ σειρά μέ έναν πυκνωτή πού έχει χωρητικότητα $20 \mu\text{F}$. Στά άκρα τού κυκλώματος αύτού έφαρμόζεται έναλλασσόμενη τάση 220 V , 50 Hz . Νά βρεθοῦν:

- Η έπαγγεική καί ή χωρητική άντισταση τού κυκλώματος.
- Η ένταση τού ρεύματος πού περνᾶ μέσα άπο αύτό.
- Η τάση πού έπικρατεί μεταξύ τών άκρων τού πηνίου.
- Η τάση πού έπικρατεί στούς διπλισμούς τού πυκνωτή.

Λύση:

a) Είναι:

$$\omega = 2 \cdot \pi \cdot f = 2 \times 3,14 \times 50 = 314$$

$$X_L = \omega \cdot L = 314 \times 0,5 = 157 \Omega$$

$$X_C = \frac{1}{\omega \cdot C} = \frac{1}{314 \times 20 \times 10^{-6}} = 159 \Omega$$

Παρατηροῦμε οτι οι δύο άντιστάσεις είναι σχεδόν ίσες. Δηλαδή εί-μαστε πολύ κοντά στό φαινόμενο συντονισμού σειρᾶς.

β) Η ένταση τού ρεύματος πού περνᾶ μέσα άπο τό κύκλωμα είναι:

$$I = \frac{U}{Z} = \frac{220}{\sqrt{20^2 + (157 - 159)^2}} = \frac{220}{20,1} = 10,94 \text{ A}$$

γ) Η σύνθετη άντισταση τού πηνίου είναι:

$$Z_{\Pi} = \sqrt{R^2 + X_L^2} = \sqrt{20^2 + 157^2} = 158,3 \Omega$$

"Αρα ή τάση πού έπικρατεί στά άκρα τού πηνίου, θά είναι:

$$U_{\Pi} = Z_{\Pi} \cdot I = 158,3 \times 10,94 = 1732 \text{ V}$$



δ) Ή τάση πού έπικρατεῖ στούς δόπλισμούς τοῦ πυκνωτή είναι:

$$U_C = X_C \cdot I = 159 \times 10,94 = 1739 \text{ V}$$

Παρατηροῦμε ότι μέ τόσο ύψηλές τάσεις στό πηνίο καί στόν πυκνωτή είναι δυνατό νά προκληθοῦν οι άνωμαλίες πού άναφέραμε παραπάνω.

9.11 Καταναλωτής μέ R καί L παράλληλα μέ C.

Όσυνθετος καταναλωτής τοῦ σχήματος 9.11α άποτελεῖται άπό δύο παράλληλους κλάδους. Στόν ένα είναι σέ σειρά μιά άντισταση R καί ένα πηνίο μέ αύτεπαγγή L. Μέ τόν τρόπο αύτό παριστάνομε έπισης, δημοσιεύομε καί στήν παράγραφο 9.7, ένα πηνίο πού έχει ώμικη άντισταση R καί αύτεπαγγή L. Στόν άλλο κλάδο είναι ένας πυκνωτής μέ χωρητικότητα C.

Ή έφαρμοζόμενη έναλλασσόμενη τάση U μέ συχνότητα f δημιουργεῖ στούς δύο παράλληλους κλάδους έναλλασσόμενα ρεύματα μέ τήν Ŧδια συχνότητα. Τίς έντασεις I καί I_C τῶν κλάδων αύτῶν μποροῦμε νά τίς μετρήσουμε μέ δύο άμπερόμετρα έναλλασσόμενου ρεύματος συνδεσμολογημένα δημοσιεύομε καί τήν ένταση I₀ τοῦ θλικοῦ ρεύματος πού δίνει ή πηγή έναλλασσόμενου ρεύματος.

Ή ένεργός τιμή τῆς I ύπολογίζεται (παράγρ. 9.7) άπό τή σχέση:

$$I = \frac{U}{\sqrt{R^2 + (\omega \cdot L)^2}}$$

Ή διαφορά φάσεως φ μεταξύ U καί I ύπολογίζεται άπό τή σχέση:

$$\sigma_{\text{υνφ}} = \frac{R}{\sqrt{R^2 + (\omega \cdot L)^2}}$$

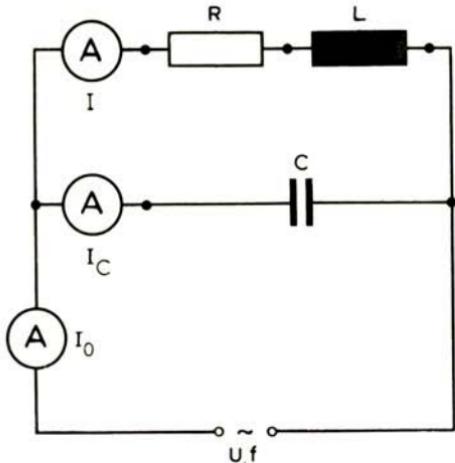
μέ τήν I νά είναι σέ έπιπορεία (έπαγγική φόρτιση) ώς πρός τήν U.

Ή ένεργός τιμή τῆς έντασεως I_C ύπολογίζεται (παράγρ. 9.4) άπό τή σχέση:

$$I_C = \omega \cdot C \cdot U$$

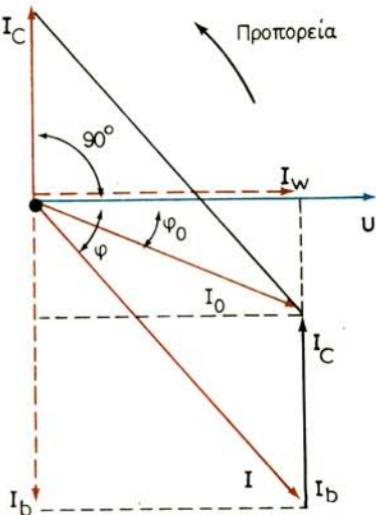
Ή διαφορά φάσεως μεταξύ U καί I_C είναι ίση μέ 90° μέ τή I_C νά προπορεύεται.

Γιά τή σχεδίαση τοῦ διανυσματικοῦ διαγράμματος (σχ. 9.11β) ώς βάση παίρνομε τό διάνυσμα τῆς τάσεως U, πού είναι κοινή καί γιά τούς δύο παράλληλους κλάδους. Τή διεύθυνση τοῦ διανύσματος αύτοῦ τήν έκλεγομε αύθαίρετα. Κατόπιν σχεδιάζομε τά δύο διανύσματα I καί I_C



Σχ. 9.11α.

Κύκλωμα με δύο παράλληλους κλάδους.



Σχ. 9.11β.

μέ τίς διαφορές φάσεως ϕ καὶ 90° ώς πρός τήν U . Ή δλική ἔνταση I_0 τοῦ κυκλώματος προκύπτει ἀπό τό διανυσματικό ἄθροισμα τῶν I , καὶ I_C .

Ἡ διαφορά φάσεως ϕ_0 τῆς I_0 ἀπό τήν U πού προκύπτει ἀπό τό διανυσματικό αὐτό ἄθροισμα, ἔχαρταται, ὅπως εἶναι εὔκολο νά τό διαπιστώσει κανείς στό σχῆμα 9.11β, ἀπό τό μέγεθος τῆς ἀεργῆς συνιστώσας I_b (παράγρ. 7.8) τῆς ἔντάσεως I σχετικά μέ τό μέγεθος τῆς ἔντάσεως I_C πού ἀπορροφᾶ ὁ πυκνωτής.

Ἄν ἡ I_b εἶναι μεγαλύτερη ἀπό τήν I_C , ἡ ἔνταση I_0 εἶναι σέ ἐπιπορεία ώς πρός τήν τάση, ὅπως συμβαίνει στήν περίπτωση τοῦ σχήματος 9.11β. Ο σύνθετος καταναλωτής μέ τούς δύο παράλληλους κλάδους φορτίζει τότε ἐπαγωγικά τό δίκτυο, δηλαδή ἔχομε ἐπαγωγική φόρτιση.

Ἄν $I_b = I_C$, ἡ δλική ἔνταση I_0 εἶναι σέ φάση μέ τήν τάση U . Στήν περίπτωση αὐτή ἡ I_0 γίνεται ἵση μέ τή βαπτική συνιστώσα I_W (παράγρ. 7.8) τῆς I καὶ δλος ὁ καταναλωτής συμπεριφέρεται πρός τό δίκτυο σάν μιά ώμική ἀντίσταση R . Αὐτή εἶναι ἡ περίπτωση **παράλληλου συντονισμοῦ**. Σ' αὐτόν ισχύει μέ προσέγγιση ἡ σχέση πού εἶχαμε συναντήσει καὶ στό συντονισμό σειρᾶς.

$$f_0 \approx \frac{1}{2 \cdot \pi \sqrt{L \cdot C}} \quad \text{σέ Hz}$$

Ἄν ἡ I_b εἶναι μικρότερη ἀπό τήν I_C , τότε ἡ I_0 πού προκύπτει ἀπό τό διανυσματικό ἄθροισμα τῶν I καὶ I_C προπορεύεται τῆς τάσεως U . Ο

καταναλωτής φορτίζει χωρητικά τό δίκτυο, δηλαδή έχομε χωρητική φόρτιση.

‘Η παραπάνω διαπίστωση ότι ή διαφορά φάσεως Φ_0 τοῦ δίκτυου ρεύματος I_0 έξαρτάται από τήν τιμή τῆς I_C σχετικά μέ τήν διεργή συνιστώσα I_b τῆς έντάσεως I έχει μεγάλη πρακτική σημασία. Από αύτην προκύπτει μιά σημαντική έφαρμογή μέ οίκονομικά άποτελέσματα. Είναι ή **διόρθωση τοῦ συνφ** ή όπως άλλιως λέγεται ή **βελτίωση τοῦ συντελεστῆ ισχύος μιᾶς έγκαταστάσεως**, πού θά έξετάσουμε στήν έπόμενη παράγραφο.

9.12 Βελτίωση τοῦ συντελεστῆ ισχύος.

Οι ήλεκτρικοί κινητήρες, οι λαμπτήρες φθορισμοῦ μέ τά πηνία άπο τά διοικητικά συνοδεύονται, οι μετασχηματιστές κλπ. είναι καταναλωτές πού φορτίζουν έπαγωγικά τό δίκτυο. Δηλαδή συμπεριφέρονται πρός τό δίκτυο πού τούς τροφοδοτεῖ όπως δ ένας κλάδος μέ τά R καί L τοῦ σχήματος 9.11a.

“Όπως παρατηροῦμε στό σχήμα 9.11β, γιά μιά δρισμένη τιμή τῆς I_w , δηλαδή γιά μιά δρισμένη τιμή τῆς πραγματικής ισχύος (παράγρ. 7.8), ή ένταση πού άπορροφᾶ ένας τέτοιος καταναλωτής από τό δίκτυο μεγαλώνει δσο μεγαλώνει ή διαφορά φάσεως Φ μεταξύ τῆς τάσεως U καί τῆς έντάσεως I . Μέ άλλα λόγια δσο μικράνει τό συνφ τοῦ καταναλωτῆ. Δηλαδή οι καταναλωτές μέ μικρό συντελεστή ισχύος έπιβαρύνουν τά δίκτυα πού τούς τροφοδοτοῦν μέ μεγάλες έντάσεις, χωρίς νά είναι άντιστοιχα μεγάλες καί ή ήλεκτρική ισχύς καί συνεπῶς καί ή ήλεκτρική ένέργεια πού καταναλώνουν.

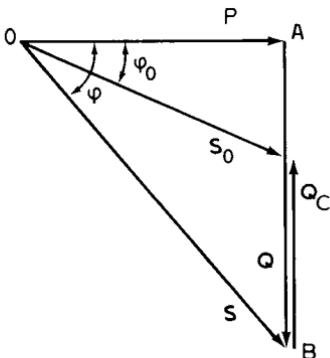
Τό σχήμα 9.12a παριστάνει τό γνωστό (παράγρ. 7.10) τρίγωνο OAB τῶν ισχύων τοῦ έπαγωγικοῦ καταναλωτῆ πού είναι δο κλάδος R καί L τοῦ σχήματος 9.11a. Τό τρίγωνο αύτό είναι δμοιο μέ τό τρίγωνο τῶν διανυσμάτων τῶν έντάσεων I , I_w I_b στό σχήμα 9.11β, από τό διοικητικό προκύπτει δταν κάθε ένταση τήν πολλαπλασιάσουμε μέ τήν κοινή τάση U . Είναι δηλαδή ή φαινομένη ισχύς $S = I \cdot U$, ή πραγματική ισχύς $P = I_w \cdot U$ καί ή διεργη ισχύς $Q = I_b \cdot U$.

Από τό παραπάνω τρίγωνο φαίνεται δτι γιά τήν ίδια πραγματική ισχύ P τοῦ έπαγωγικοῦ καταναλωτῆ δσο μεγαλύτερη είναι ή διαφορά φάσεως Φ , δηλαδή δσο μικρότερο είναι τό συνφ, τόσο δο καταναλωτής απόρροφᾶ μεγαλύτερη έπαγωγική διεργη ισχύ Q . Έπειδή αύτό, όπως άναφέραμε, άποτελεί έπιβάρυνση γιά τά δίκτυα διανομῆς τῆς ήλεκτρικῆς ένέργειας, οι ‘Επιχειρήσεις’ Ήλεκτρισμοῦ ύποχρεώνουν τούς καταναλωτές νά μήν έχουν συντελεστή ισχύος μικρότερο από κάποιο καθορισμένο δριο, πού είναι συνήθως τό 0,85. “Αν δο καταναλωτής έχει μικρότερο συνφ χρεώνεται καί μέ κατανάλωση διεργη ισχύος.

"Αν μιά έγκατάσταση έχει μικρό συνφ., ό εύκολότερος τρόπος γιά νά τό βελτιώσουμε, δηλαδή γιά νά περιορίσουμε τήν κατανάλωση έπαγγικής άεργης ίσχυος, είναι ή σύνδεση παράλληλα μέ τόν καταναλωτή ένός ή περισσότερων πυκνωτῶν. Σύμφωνα μέ σα εἴπαμε στήν προηγούμενη παράγραφο, προστίθεται τότε μία χωρητική άεργη ίσχυς Q_C , πού είναι άντιθετη άπό τήν αύτεπαγγική άεργη ίσχυ Q (σχ. 9.12α). Δηλαδή **άντισταθμίζεται** κατά ένα μέρος ή έπαγγική άεργη ίσχυς πού άπορροφούσε ό καταναλωτής άπό τό δίκτυο. Ή διαδικασία αύτή δομάζεται **άντιστάθμιση**.

Μέ τήν άντιστάθμιση καί τή βελτίωση τοῦ συντελεστῆ ίσχυος μειώνεται ή φαινομένη ίσχυς πού άπορροφά ό καταναλωτής άπό τό δίκτυο άπό S σέ S_0 (σχ. 9.12α) καί ή διαφορά φάσεως άπό Φ σέ Φ_0 . "Όταν γίνει $\Phi_0 = 0$ (συνφ₀ = 1), λέμε οτι **πλήρη άντιστάθμιση**. Είναι τότε:

$$S_0 = P$$



Σχ. 9.12α.

Τό μέγεθος (παράγρ. 9.4) τοῦ άπαιτούμενου πυκνωτή, γιά νά έχομε πλήρη άντιστάθμιση, δίνεται άπό τή σχέση:

$$Q_C = Q$$

Παράδειγμα.

Μιά γραμμή δικτύου έναλλασσόμενου ρεύματος τροφοδοτεῖ έγκατάσταση άπό δύο ήλεκτρικούς κινητήρες, πού άπορροφούν πραγματική ίσχυ 50 kW ό καθένας μέ συνφ = 0,7. Ζητούνται:

α) Πόση είναι ή φαινομένη καί πόση ή άεργη ίσχυς πού άπορροφά ή έγκατάσταση άπό τή γραμμή τροφοδοτήσεως.

β) Πόση πρέπει νά είναι ή ίσχυς σέ kvar τῶν πυκνωτῶν πού χρειάζονται γιά τή βελτίωση τοῦ συντελεστῆ ίσχυος τῆς έγκαταστάσεως σέ συνφ = 1; Πόση είναι τότε ή φαινομένη καί πόση ή άεργη ίσχυς πού δίνει ή γραμμή τροφοδοτήσεως.

γ) Πόσο μπορούμε νά αύξήσομε τήν πραγματική ίσχυ τῆς έγκαταστάσεως χρησιμοποιώντας πλήρη άντιστάθμιση, χωρίς ή γραμμή τροφοδοτήσεως νά φορτωθεί μέ ενταση ρεύματος μεγαλύτερη από αύτη πού είχε δταν τροφοδοτούσε τους δύο κινητήρες χωρίς άντιστάθμιση.

Λύση:

α) Ή δλική πραγματική ίσχυς τῶν δύο κινητήρων είναι:

$$P = 2 \times 50 = 100 \text{ kW} \text{ μέ συνφ} = 0,7$$

‘Από τὸν Πίνακα 7.8.1 βρίσκομε δτι γιά συνφ = 0,7 είναι ημφ = 0,7.

‘Αρα είναι (παράγρ. 7.10):

$$S = \frac{P}{\text{συνφ}} = \frac{100}{0,7} = 143 \text{ kVA}$$

$$Q = S \cdot \text{ημφ} = 143 \times 0,7 = 100 \text{ kvar}$$

β) Γιά νά γίνει συνφ = 1, θά πρέπει ή ίσχυς τῶν πυκνωτῶν νά είναι:

$$Q_C = Q = 100 \text{ kvar}$$

‘Οταν είναι συνφ = 1, είναι ημφ = 0. ‘Αρα έχομε:

$$S' = \frac{P}{\text{συνφ}} = \frac{100}{1} = 100 \text{ kVA}$$

$$Q = S' \cdot \text{ημφ} = 100 \times 0 = 0 \text{ kvar}$$

γ) Ή ενταση τοῦ ρεύματος πού περνᾶ από τή γραμμή τροφοδοτήσεως, καθορίζεται από τή φαινομένη ίσχυ καί τήν τάση. Άφού ή τάση δέν άλλάζει, γιά νά μείνει ή ίδια ενταση, θά πρέπει νά μείνει καί ή ίδια φαινομένη ίσχυς μέ αύτήν πού είχαμε στήν πρώτη περίπτωση. Δηλαδή θά πρέπει νά είναι πάλι $S = 143 \text{ kVA}$.

‘Η νέα πραγματική ίσχυς P' πού θά μεταφέρει τότε ή γραμμή, δταν έχομε άντιστάθμιση μέ συνφ = 1, θά είναι:

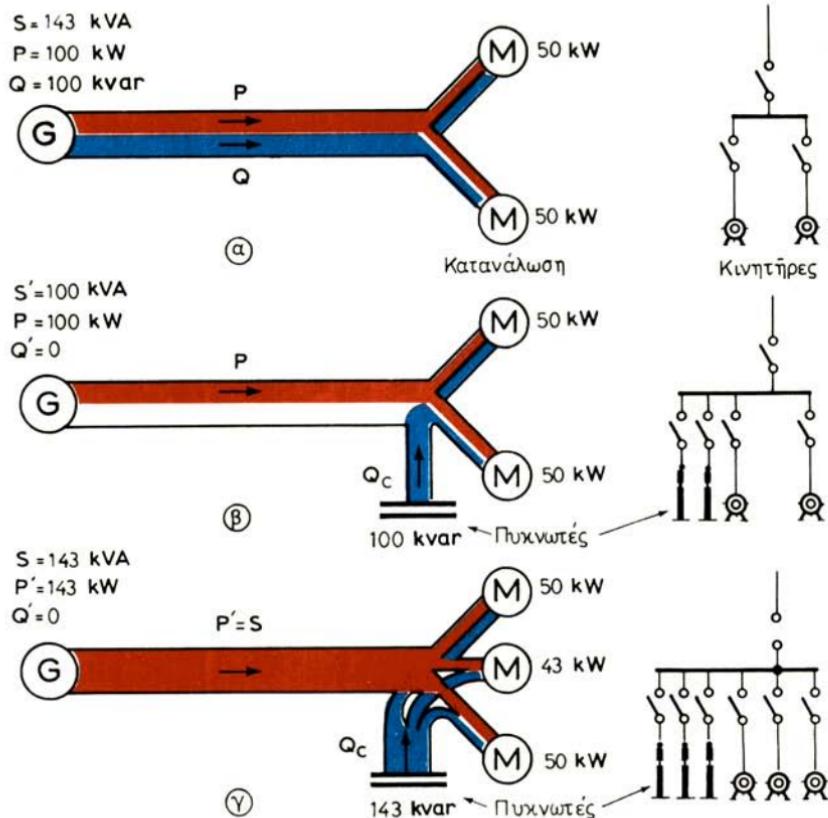
$$P' = \frac{S'}{\text{συνφ}} = \frac{143}{1} = 143 \text{ kW}$$

Δηλαδή έχομε μιά αύξηση τῆς πραγματικῆς ίσχύος πού μεταφέρει ή γραμμή κατά 43%.

‘Αν δεχθούμε δτι καί τό νέο φορτίο τῶν 43 kW είναι καί αύτό ένας τρίτος κινητήρας μέ συνφ = 0,7, δπως καί οι δύο προηγούμενοι, τότε άποδεικνύεται δτι ή ίσχυς τῶν πυκνωτῶν γιά πλήρη άντιστάθμιση θά πρέπει νά είναι:

$$Q'_C = 143 \text{ kvar}$$

Τό σχήμα 9.12β δείχνει μέ τρόπο παραστατικό τίς τρεῖς περιπτώσεις που έξετάσαμε παραπάνω. Μέ τή βοήθεια τού σχήματος αύτοῦ γίνεται πολύ καλά άντιληπτό ότι τήν έπαγωγική δέρηγα ίσχυ, πού έχουν άνάγκη γιά τή λειτουργία τους οι κινητήρες, τή δίνουν μέ τήν άντιστάθμιση οι πυκνωτές, καί έτσι ή γραμμή τροδοτήσεως μπορεῖ νά άναλάβει μεγαλύτερα φορτία.



Σχ. 9.12β.

Άντιστάθμιση έγκαταστάσεως κινητήρων. α) Τροφοδότηση δύο κινητήρων χωρίς άντιστάθμιση. β) Τροφοδότηση δύο κινητήρων μέ άντιστάθμιση. γ) Τροφοδότηση άπο τήν ίδια γραμμή τριών κινητήρων μέ άντιστάθμιση.

9.13 Έρωτήσεις.

- Τί ονομάζομε ώμική άντισταση; Γιας λέγεται ό καταναλωτής πού έχει μόνο ώμική άντισταση;
- Ποιούς ονομάζομε άπλούς καταναλωτές καί ποιούς σύνθετους;

3. Στήν περίπτωση ώμικοῦ καταναλωτῆ στό έναλλασσόμενο ρεύμα ποιά σχέση συνδέει τήν ένεργό τιμή τῆς τάσεως μέ τήν ένεργό τιμή τῆς έντάσεως; Πώς όνομάζεται ή σχέση αὐτή;
4. Πόση είναι ή διαφορά φάσεως μεταξύ τάσεως καὶ ἐντάσεως στήν περίπτωση ώμικοῦ καταναλωτῆ; Σχεδίασε τὸ σχετικό διανυσματικό διάγραμμα.
5. Ποιά σχέση δίνει τήν πραγματική ίσχυ πού καταναλώνεται στό έναλλασσόμενο ρεύμα μέσα σέ ἔναν ώμικό καταναλωτῆ; Μέ τί ισούται στήν περίπτωση αὐτή ή ἀεργη καὶ μέ τί ή φαινομένη ίσχυς;
6. Στήν περίπτωση ἐνός καταναλωτῆ πού ἔχει μόνο αύτεπαγωγή χωρίς καθόλου ώμική ἀντίσταση καὶ χωρητικότητα πόση είναι ή διαφορά φάσεως μεταξύ τάσεως καὶ ἐντάσεως; Ποιό διάνυσμα προπορεύεται; Σχεδίασε τὸ διανυσματικό διάγραμμα.
7. Στήν περίπτωση τοῦ παραπάνω καταναλωτῆ ποιά σχέση συνδέει τήν ένεργό τιμή τῆς τάσεως μέ τήν ένεργό τιμή τῆς έντάσεως;
8. Τί όνομάζομε ἐπαγωγική ἀντίσταση;
9. Πώς μπορεῖ νά μεταβληθεῖ ή ἐπαγωγική ἀντίσταση ἐνός δρισμένου καταναλωτῆ, π.χ. ἐνός δρισμένου πηνίου, χωρίς νά πειράζομε καθόλου τό πηνίο;
10. Μέ τί ισούται δ συντελεστής ίσχυος ἐνός καθαρά ἐπαγωγικοῦ καταναλωτῆ; Μέ τί ισούται ή πραγματική καὶ μέ τί ἀεργη ίσχυς του;
11. Στήν περίπτωση ἐνός πυκνωτῆ πού τροφοδοτεῖται μέ έναλλασσόμενο ρεύμα πόση είναι ή διαφορά φάσεως μεταξύ τάσεως καὶ ἐντάσεως; Ποιό διάνυσμα προπορεύεται; Σχεδίασε τὸ διανυσματικό διάγραμμα.
12. Στήν παραπάνω περίπτωση ποιά σχέση συνδέει τήν ένεργό τιμή τῆς τάσεως μέ τήν ένεργό τιμή τῆς έντάσεως;
13. Τί όνομάζομε χωρητική ἀντίσταση; Πόση είναι ή χωρητική ἀντίσταση ἐνός πυκνωτῆ στό συνεχές ρεύμα;
14. Πώς μπορεῖ νά μεταβληθεῖ ή χωρητική ἀντίσταση ἐνός πυκνωτῆ, χωρίς νά μεταβληθεῖ ή χωρητικότητά του;
15. Πώς ἔξηγείται διτή η πραγματική ίσχυς πού καταναλώνεται σέ ἔναν ιδανικό πυκνωτή, ὅταν διαρρέεται από έναλλασσόμενο ρεύμα, είναι ίση μέ μηδέν;
16. Τί όνομάζομε διληκτρικές ἀπώλειες ἐνός πραγματικοῦ πυκνωτῆ;
17. Μέ ποιόν τύπο ὑπολογίζομε σέ κvar τήν ἀεργη ίσχυ ἐνός πυκνωτῆ δταν γνωρίζομε τή χωρητικότητά του καὶ τήν τάση λειτουργίας του;
18. Ἀπό τί χαρακτηρίζεται τό μέγεθος ἐνός πυκνωτῆ;
19. Ποιά ιδιότητα τῶν πηνίων καὶ τῶν πυκνωτῶν χρησιμοποιοῦμε γιά τό διαχωρισμό τοῦ συνεχούς από τό έναλλασσόμενο ρεύμα στό κύκλωμα τοῦ σχήματος 9.5;
20. Σέ ἔνα σύνθετο καταναλωτή μέ R καὶ L σέ σειρά πώς βρίσκομε τήν ένεργό τιμή τῆς τάσεως U πού ἐφαρμόζεται σ' αὐτόν, ὅταν γνωρίζομε τίς τιμές τῶν τάσεων U_R καὶ U_L πού ἐπικρατοῦν στά ἄκρα τῆς ἀντίστασεως καὶ τῆς αύτεπαγωγῆς; Νά γίνει τό σχετικό διανυσματικό διάγραμμα.
21. Στόν παραπάνω καταναλωτή τό ἀλγεβρικό ἀθροισμα τῶν U_R καὶ U_L είναι μεγαλύτερο, ίσο ή μικρότερο από τήν U καὶ γιατί;
22. Σέ ποιά δρια κυμαίνεται ή διαφορά φάσεως μεταξύ τάσεως καὶ ἐντάσεως σέ ἔνα σύνθετο καταναλωτή μέ R καὶ L σέ σειρά; Ποιό διάνυσμα προπορεύεται; Πώς όνομάζεται ή φόρτιση τοῦ δικτύου από ἔναν τέτοιο καταναλωτή;
23. Στόν παραπάνω καταναλωτή ποιά σχέση συνδέει τήν τάση καὶ τήν ένταση στό έναλλασσόμενο ρεύμα;
24. Μέ τί ισούται ή σύνθετη ἀντίσταση ἐνός καταναλωτῆ πού ἔχει R καὶ L σέ σειρά; Ἐξαρτᾶται ή ἀντίσταση αύτή από τή συχνότητα τοῦ ρεύματος;
25. Πώς μποροῦμε νά βροῦμε τό συντελεστή ίσχυος ἐνός σύνθετου καταναλωτῆ μέ R καὶ L σέ σειρά;

26. Νά γίνει τό διανυσματικό διάγραμμα ένός σύνθετου καταναλωτή πού άποτελεῖται από R και C σέ σειρά όταν γνωρίζομε όπό μετρήσεις τίς τάσεις U_R και U_C πού έπικρατούν στά άκρα της άντιστάσεως και τού πυκνωτή.
27. Σέ ποιά άρια μπορεῖ νά κυμαίνεται ή διαφορά φάσεως μεταξύ τάσεως και έντασεως στόν παραπάνω καταναλωτή; Ποιό διάνυσμα προπορεύεται; Πώς όνομάζεται ή φόρτιση τού δικτύου όπό έναν τέτοιο καταναλωτή;
28. Σέ ένα σύνθετο καταναλωτή μέ R και C σέ σειρά ποιά σχέση συνδέει τήν τάση και τήν ένταση στό έναλλασσόμενο ρεύμα; Μέ τί ισούται ή σύνθετη άντιστασή του;
29. Νά γίνει τό διανυσματικό διάγραμμα τών τάσεων και τής έντασεως ένός σύνθετου καταναλωτή μέ R,L,C σέ σειρά;
30. Πότε ό παραπάνω καταναλωτής φορτίζει τό δίκτυο χωρητικά και πότε έπαγωγικά;
31. Δικαιολογήστε γιατί σέ ένα σύνθετο καταναλωτή μέ R,L,C σέ σειρά μπορεῖ νά παρουσιασθούν τάσεις στά άκρα τού πηνίου ή τού πυκνωτή μεγαλύτερες όπό τήν τάση τού έναλλασσόμενου ρεύματος πού τροφοδοτεί τόν καταναλωτή.
32. Ποιά σχέση έκφραζει τή γενική μορφή τού νόμου τού "Ομ στό έναλλασσόμενο ρεύμα, στήν περίπτωση σύνθετου καταναλωτή μέ R,L,C σέ σειρά; Μέ τί ισούται ή σύνθετη άντιστασή του;
33. Πώς όπό τήν παραπάνω σχέση προκύπτει ή σχέση πού συνδέει τήν τάση πού έφαρμόζεται σέ έναν ώμικό καταναλωτή μέ τήν ένταση τού έναλλασσόμενου ρεύματος πού τόν διαρρέει;
34. Πότε λέμε ότι έχομε συντονισμό σειρᾶς σέ έναν καταναλωτή μέ R,L,C σέ σειρά;
35. Πόση είναι ή διαφορά φάσεως μεταξύ τάσεως και έντασεως στό συντονισμό; Πώς συμπεριφέρεται τότε δ σύνθετος καταναλωτής;
36. Τί έπικινδυνες καταστάσεις γιά τίς συσκευές ή τούς άνθρωπους μπορεῖ νά δημιουργηθούν στό συντονισμό σειρᾶς;
37. Ένας σύνθετος καταναλωτής μέ R,L παράλληλα μέ πυκνωτή C πότε φορτίζει τό δίκτυο χωρητικά και πότε έπαγωγικά; Ή έξηγηση νά δοθεῖ μέ τή βοήθεια τού άντιστοιχου διανυσματικού διαγράμματος.
38. Στόν παραπάνω καταναλωτή πότε έχομε συντονισμό; Πώς συμπεριφέρεται τότε δ καταναλωτής;
39. Τί μειονέκτημα γιά τίς έπιχειρήσεις πού παρέχουν τήν ήλεκτρική ένέργεια παρουσιάζουν οι καταναλωτές μέ μικρό συνφ;
40. Τί μέτρα παίρνομε γιά νά βελτιώσουμε τό συντελεστή ίσχυός μιᾶς έγκαταστάσεως;
41. Μιά έγκατάσταση στήν όποια έχει προστεθεί ένας πυκνωτής γιά μερική άντιστάθμιση, άποροφα περισσότερη ή λιγότερη άφρη ίσχυ άπό τό δίκτυο; Ποιός δίνει τή διαφορά; (Νά έξηγηθεῖ μέ τή βοήθεια ένός διαγράμματος ίσχυων).

9.14 Προβλήματα.

- Μιά ήλεκτρική θερμάστρα τροφοδοτεῖται μέ έναλλασσόμενο ρεύμα τάσεως 220 V και έντασεως 5 A. Νά βρεθούν:
 - Η ώμική άντισταση τής θερμάστρας.
 - Τό συνφ.
 - Η πραγματική και ή φαινομένη ίσχυς πού καταναλώνονται.

Απάντ. a) 44 Ω, β) συνφ = 1, γ) 1100 W, 1100 VA

- "Ένα πηνίο έχει συντελεστή αύτεπαγωγής 0,06 H και άμελητέα ώμική άντισταση. Πόση είναι ή έπαγωγική άντισταση τού πηνίου δ-

ταν τροφοδοτεῖται μέ έναλλασσόμενο ρεῦμα συχνότητας 50 Hz καί 60 Hz;

Απάντ. α) 18,84 Ω, β) 22,6 Ω

3. Στό πηνίο τοῦ προβλήματος 2 έφαρμόζεται τάση 220 V, 50 Hz. Ποιά ένταση ρεύματος περνᾶ μέσα άπό τό πηνίο καί ποιά είναι ή διαφορά φάσεως μεταξύ τῆς έφαρμοζόμενης τάσεως καί τῆς έντάσεως αύτῆς;

Απάντ. 11,68 A, $\phi = 90^\circ$ μέ τήν τάση νά προπορεύεται

4. Ποιά χωρητική άντισταση παρουσιάζει πυκνωτής χωρητικότητας $10 \mu\text{F}$ σέ έναλλασσόμενο ρεῦμα συχνότητας 50 Hz καί 1000 Hz;

Απάντ. α) 318,5 Ω, β) 15,92 Ω

5. Άμπερόμετρο συνδεμένο στό κύκλωμα τροφοδοτήσεως πυκνωτῆ μέ έναλλασσόμενο ρεῦμα δείχνει ένταση 0,035 A, όταν ή τάση τροφοδοτήσεως είναι 22 V, 50 Hz. Πόση είναι ή χωρητικότητα καί πόση ή άεργη ίσχύς τοῦ πυκνωτῆ;

Απάντ. $5 \mu\text{F}$, 0,76 var

6. Σύνθετος καταναλωτής άποτελεῖται άπό ώμική άντισταση 78,5 Ω συνδεμένη σέ σειρά μέ πηνίο πού έχει συντελεστή αύτεπαγωγῆς 0,25 H. Στόν καταναλωτή αύτόν έφαρμόζεται τάση 220 V, 50 Hz. Ζητοῦνται:

- α) Ή σύνθετη άντισταση τοῦ καταναλωτῆ.
- β) Ή ένταση τοῦ ρεύματος πού τόν διαρρέει.
- γ) Ή διαφορά φάσεως μεταξύ τάσεως καί έντάσεως.
- δ) Ό συντελεστής ίσχύος τοῦ καταναλωτῆ.
- ε) Ή πραγματική καί ή φαινομένη ίσχύς πού καταναλώνει.

Απάντ. α) 111 Ω, β) 2 A, γ) $\phi = 45^\circ$, δ) $\sigma_{\text{υφ}} = 0,707$, ε) 311 W, 440 VA

7. "Ενα πηνίο πού έχει ώμική άντισταση 9,4 Ω καί συντελεστή αύτεπαγωγῆς 0,04 H τροφοδοτεῖται μέ έναλλασσόμενη τάση 127 V, 50 Hz. Ζητεῖται:

- α) Ποιά ένταση ρεύματος θά περάσει μέσα άπό τό πηνίο;
- β) Ποιός είναι ο συντελεστής ίσχύος τοῦ πηνίου;

Απάντ. α) 8,1 A, β) 0,6

8. Σύνθετος καταναλωτής άποτελεῖται άπό ώμική άντισταση 19,9 Ω συνδεμένη σέ σειρά μέ πυκνωτή χωρητικότητας $100 \mu\text{F}$. Στόν καταναλωτή αύτόν έφαρμόζεται τάση 380 V, 50 Hz. Νά βρεθοῦν:

- α) Ή σύνθετη άντισταση τοῦ καταναλωτῆ.

- β) Ή ένταση τοῦ ρεύματος πού τόν διαρρέει.
 γ) Ό συντελεστής ίσχυός τοῦ καταναλωτῆ.
 δ) Ή πραγματική, ή φαινομένη καί ή άεργη ίσχυς του.

Απάντ. α) $37,6 \Omega$, β) $10,12 A$, γ) $0,53$
 δ) $2038 W$, $3846 VA$, $3261 var$

9. Σύνθετος καταναλωτής άποτελείται άπό πηνίο πού έχει ώμική άντισταση 555Ω καί συντελεστή αύτεπαγωγῆς $10 H$ συνδεμένο σέ σειρά μέ πυκνωτή πού έχει χωρητικότητα $0,8 \mu F$. "Αν στό σύνθετο καταναλωτή έφαρμοσθεῖ έναλλασσόμενη τάση $185 V$, $50 Hz$ νά βρεθοῦν:
 α) Ή σύνθετη άντισταση τοῦ καταναλωτῆ.
 β) Ή ένταση τοῦ ρεύματος πού τόν διαρρέει.
 γ) Ή τάση στά άκρα τοῦ πηνίου.
 δ) Ό συντελεστής ίσχυός τοῦ καταναλωτῆ.
 ε) Ή φαινομένη καί ή πραγματική ίσχυς πού καταναλώνει.

Απάντ. α) 1007Ω , β) $0,18 A$, γ) 574Ω , δ) $0,55$
 ε) $33,3 VA$, $18,3 W$

10. "Ενα πηνίο μέ συντελεστή αύτεπαγωγῆς $1 H$ καί ένας πυκνωτής μέ χωρητικότητα $1 \mu F$ συνδέονται σέ σειρά. Ποιά είναι ή συχνότητα συντονισμοῦ τους;

Απάντ. $159,2 Hz$

11. 'Από μιά γραμμή τῆς έσωτερικῆς ήλεκτρικῆς έγκαταστάσεως ένός έργοστασίου τροφοδοτούνται 10 λαμπτήρες φθορισμοῦ ίσχυός $40 W$ δι καθένας. "Αν ή τάση τροφοδοτήσεως είναι $220 V$, $50 Hz$ καί δι συντελεστής ίσχυός τῶν λαμπτήρων φθορισμοῦ $0,5$ νά βρεθοῦν:
 α) Πόση είναι ή δλική πραγματική ίσχυς καί ή δλική ένταση πού άπορροφοῦν οι λαμπτήρες άπό τή γραμμή πού τούς τροφοδοτεῖ.
 β) Πόση είναι ή δλική φαινομένη καί ή δλική άεργη ίσχυς πού άπορροφοῦν.
 γ) Πόση πρέπει νά είναι ή ίσχυς (άεργη) ένός πυκνωτῆ γιά τήν πλήρη άντιστάθμιση τῆς έπαγωγικῆς άεργης ίσχυός δλων τῶν λαμπτήρων.
 δ) Πόση θά είναι στήν περίπτωση αύτή ή δλική ένταση πού θά άπορροφοῦν οι λαμπτήρες άπό τή γραμμή πού τούς τροφοδοτεῖ.

Απάντ. α) $400 W$, $3,64 A$, β) $800 VA$, $693 var$, γ) $693 var$
 δ) $1,82 A$

12. Ποιά είναι ή χωρητικότητα τοῦ πυκνωτῆ άντισταθμίσεως τοῦ προηγούμενου προβλήματος;

Απάντ. $46,2 \mu F$



13. "Ένας ήλεκτροκινητήρας λειτουργεί σέ τάση 220 V, 50 Hz μέ μεταβαλλόμενο φορτίο. Στό μισό φορτίο δικτυού κινητήρας άπορροφά από τό δίκτυο πραγματική ισχύ 1 kW μέ συνφ = 0,5. Στό πλήρες φορτίο δικτυού κινητήρας άπορροφά ισχύ 2 kW μέ συνφ = 0,866. Παράλληλα μέ τόν κινητήρα συνδέεται ένας πυκνωτής ύπολογισμένος νά βελτιώνει τό συντελεστή ισχύος σέ συνφ = 1 στό πλήρες φορτίο τού κινητήρα. Νά βρεθοῦν:

- α) Ποιά είναι ή ɔεργη ισχύς τού πυκνωτῆ.
- β) Μέ πιό συνφ φορτίζει τώρα τό δίκτυο δικτυού κινητήρας δταν έργαζεται στά μισό φορτίο του.

Απάντ. α) 1155 var, β) συνφ = 0,886

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΔΕΚΑΤΟ

ΤΡΙΦΑΣΙΚΑ ΡΕΥΜΑΤΑ

10.1 Μονοφασικό έναλλασσόμενο ρεύμα.

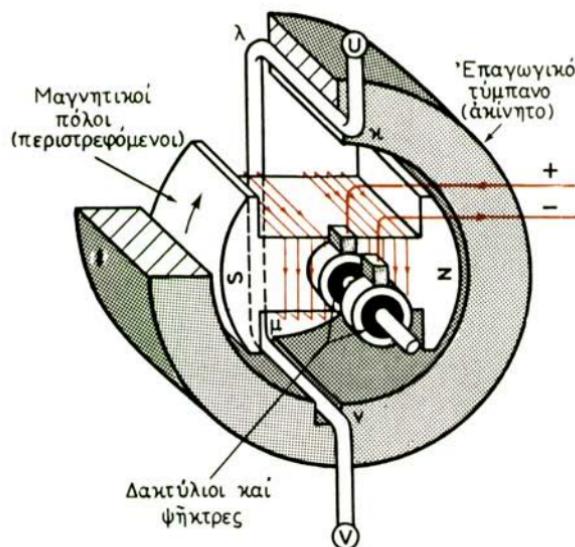
Στήν παράγραφο 6.3 έξηγήσαμε ότι τό έναλλασσόμενο ρεύμα παράγεται από τήν έναλλασσόμενη ήλεκτρεγερτική δύναμη πού δημιουργεῖται μέσα στό τύλιγμα τοῦ έπαγωγικοῦ τυμπάνου τῶν γεννήτριῶν. "Οπως άναφέραμε ἐκεῖ, τό τύμπανο αύτό περιστρέφεται (μέ σταθερή ταχύτητα) μέσα στό μαγνητικό πεδίο πού δημιουργεῖ ή διέγερση τῆς μηχανῆς, δηλαδή οἱ άκινητοι μαγνητικοί της πόλοι πού τροφοδοτοῦνται μέ συνεχές ρεύμα.

Στήν πράξη **οἱ γεννήτριες έναλλασσόμενου ρεύματος**, πού όνομάζονται καὶ **έναλλακτῆρες**, κατασκευάζονται συνήθως μέ περιστρεφόμενους τούς μαγνητικούς πόλους καὶ άκινητο τό τύλιγμα τοῦ έπαγωγικοῦ τυμπάνου, δόπως φαίνεται στό σχῆμα 10.1a. Στό σχῆμα αύτό παριστάνεται ἡ σπείρα τῶν δύο άγωγῶν κ-λ καὶ v-μ τῆς άπλῆς γεννήτριας τῶν σχημάτων 6.3a καὶ 6.3d, τοποθετημένη στό άκινητο έπαγωγικό τύμπανο.

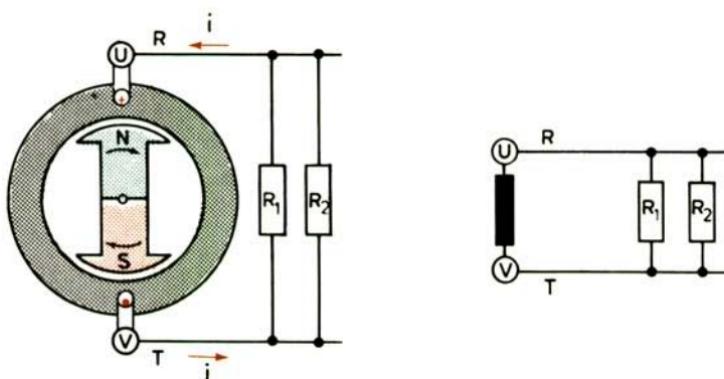
'Εδῶ οἱ δύο μαγνητικοί πόλοι τῆς μηχανῆς εἴναι στερεώμένοι στόν ἄξονα καὶ περιστρέφονται μέ σταθερή ταχύτητα. 'Η τροφοδότηση μέ συνεχές ρεύμα τῶν τυλιγμάτων τῶν πόλων γίνεται μέ τή βοήθεια δακτυλίων καὶ ψηκτρῶν ὅπως φαίνεται στό σχῆμα. "Ετσι τό μαγνητικό πεδίο πού δημιουργοῦν οἱ πόλοι τῆς μηχανῆς περιστρέφεται καὶ αύτό.

Οἱ μαγνητικές γραμμές τοῦ πεδίου στήν περιστροφή του τέμνουν τούς άγωγούς τῆς σπείρας. Μέσα σ' αύτούς άναπτύσσεται από έπαγωγή ήλεκτρεγερτική δύναμη, δόπως έξηγήσαμε στό τέλος τῆς παραγράφου 6.2. 'Η ήλεκτρεγερτική αύτή δύναμη ἔχει τή μορφή τῆς καμπύλης τοῦ σχήματος 6.3g, δηλαδή εἴναι καὶ έδῶ έναλλασσόμενη.

"Ἐνα πραγματικό τύλιγμα έπαγωγικοῦ τυμπάνου γεννήτριας έναλλασσόμενου ρεύματος ἀποτελεῖται από πολλές σπείρες. Τελικά στούς άκροδέκτες U καὶ V τῆς μηχανῆς καταλήγουν τά δύο ἄκρα τοῦ τυλιγμάτος. Τό τύλιγμα αύτό όνομάζεται **μονοφασικό τύλιγμα** ἢ, δόπως ἀλλιῶς λέμε, τό τύλιγμα ἀποτελεῖται από **μία φάση**. 'Αντίστοιχα ἔχομε τίς **μονοφασικές γεννήτριες** ἢ τούς **μονοφασικούς έναλλακτῆρες**, πού παράγουν



Σχ. 10.1α.
Μονοφασική γεννήτρια.



Σχ. 10.1β.
Μονοφασική γεννήτρια τροφοδοτεί μονοφασικό δίκτυο.

Σχ. 10.1γ.
Συμβολική παράσταση μονοφασικού κυκλώματος και δικτύου.

μονοφασικό έναλλασσόμενο ρεύμα ή άπλα **μονοφασικό ρεύμα**. "Οσα άναφέραμε στά κεφάλαια 7 καί 9 γιά τό έναλλασσόμενο ρεύμα καί τά κυκλώματά του άφοροϋσαν τό μονοφασικό ρεύμα.

Μιά μονοφασική γεννήτρια μπορεῖ νά τροφοδοτήσει μέ έναλλασσόμενο ρεύμα **ένα μονοφασικό δίκτυο** (μέ δύο άγωγούς R,T), στό δποιο τά φορτία συνδέονται όπως φαίνεται στό σχήμα 10.1β. Στό σχήμα αύτό έχει σημειωθεί μέ τά γνωστά σύμβολα μέ κόκκινο χρῶμα ή φορά πού έχει τό ρεύμα τή στιγμή πού οι περιστρεφόμενοι μαγνητικοί πόλοι βρίσκονται στή θέση πού τούς δείχνει τό σχήμα. Στό σχήμα 10.1γ φαίνεται ό συμβολικός τρόπος μέ τόν δποιο παριστάνομε **ένα μονοφασικό τύλιγμα** πού τροφοδοτεῖ μιά **μονοφασική γραμμή**.

10.2 Παραγωγή τριφασικοῦ ρεύματος.

Σήμερα ή παραγωγή τῆς ήλεκτρικῆς ένέργειας, ή μεταφορά της καί ή διανομή της άπο τίς έπιχειρήσεις ήλεκτρισμοῦ γίνεται μέ τή μορφή τοῦ **τριφασικοῦ έναλλασσόμενου ρεύματος** ή άπλα τοῦ **τριφασικοῦ ρεύματος**.

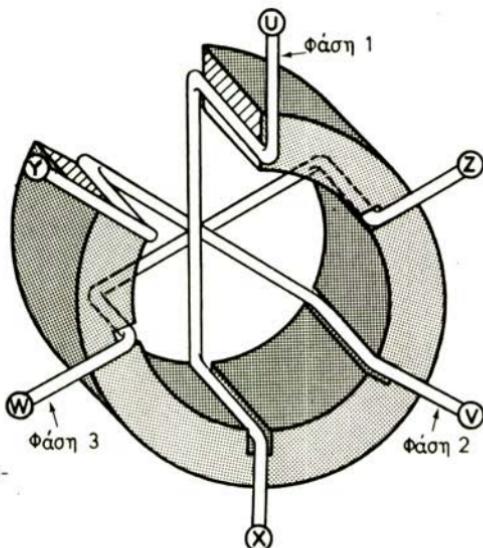
Τό τριφασικό ρεύμα παρουσιάζει σημαντικά πλεονεκτήματα σέ σχέση μέ τό μονοφασικό, πού ή άναλυσή τους ξεφεύγει άπο τούς σκοπούς τοῦ βιβλίου αύτοῦ. Τά πλεονεκτήματα αύτά τόσο στήν παραγωγή, τή μεταφορά καί τή διανομή τῆς ήλεκτρικῆς ένέργειας δσο καί στή χρησιμοποίησή της, κυρίως στούς ήλεκτρικούς κινητῆρες, είναι οι λόγοι πού καθιέρωσαν, όπως άναφέραμε, τό τριφασικό έναλλασσόμενο ρεύμα.

Ή παραγωγή τοῦ τριφασικοῦ ρεύματος γίνεται μέ τίς **τριφασικές γεννήτριες** ή **τριφασικούς έναλλακτήρες**. Μία τέτοια γεννήτρια έχει στό έπαγωγικό της τύμπανο τρία ξεχωριστά τυλίγματα, τά **τυλίγματα τῶν τριῶν φάσεων**, όπως λέμε. Στό σχήμα 10.2α φαίνεται ή διάταξη τῶν τυλιγμάτων αύτῶν στό έπαγωγικό τύμπανο μιᾶς τριφασικῆς γέννητριας, στήν άπλοποιημένη τους μορφή, δηλαδή ζταν τό τύλιγμα κάθε φάσεως άποτελείται άπο μία σπείρα. Οι μαγνητικοί πόλοι είναι καί στήν περίπτωση αύτή στερεωμένοι στόν ξένονα, όπως φαίνεται στό σχήμα 10.2β καί περιστρέφονται ζταν ή μηχανή λειτουργεῖ.

Τά **ἄκρα** τῶν τυλιγμάτων τῶν τριῶν φάσεων συμβολίζονται ώς έξῆς:

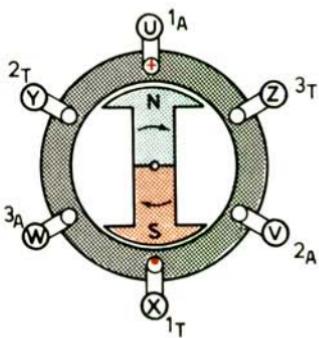
Φάση 1	U – X
Φάση 2	V – Y
Φάση 3	Z – W

Τά τρία **ἄκρα** U, V, Z είναι οι **άρχες** (A) τῶν τριῶν φάσεων καί τά X, Y, W τά τέλη τους (T). Τά **ἄκρα** αύτά καταλήγουν στούς έξι άκροδέκτες τῆς μηχανῆς πού τούς χαρακτηρίζομε καί αύτούς μέ τά ίδια σύμβολα (σχ. 10.2δ).



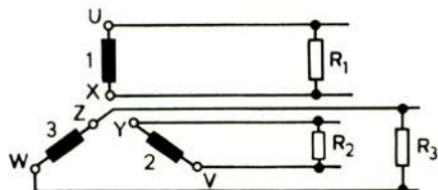
Σχ. 10.2α.

Διάταξη τῶν τυλίγματων σέ τριφασική γεννήτρια.



Σχ. 10.2β.

Τριφασική γεννήτρια μέ περιστρεφόμενους πόλους.

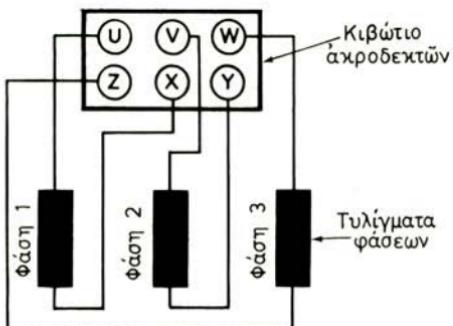


Σχ. 10.2γ.

Τροφοδότηση μονοφασικῶν γραμμῶν από τίς τρεῖς φάσεις γεννήτριας.

"Οπως παρατηροῦμε στό σχῆμα 10.2α τά τυλίγματα τῶν τριῶν φάσεων είναι τοποθετημένα στό έπαγωγικό τύμπανο μέ τέτοιο τρόπο, ώστε νά σχηματίζουν μεταξύ τους γωνία 120°. Δηλαδή ή άρχη V τῆς φάσεως 2 άπέχει 120° από τήν άρχη U τῆς φάσεως 1. Τό ίδιο άπέχει καὶ ή άρχη W τῆς φάσεως 3 από τήν άρχη V τῆς φάσεως 2 καὶ τήν άρχη U τῆς φάσεως 1.

"Οταν κατά τή λειτουργία τῆς μηχανῆς περιστρέφονται οι μαγνητικοί πόλοι, μέσα στό τύλιγμα κάθε φάσεως δημιουργεῖται άπό έπαγωγή μία έναλλασσόμενη ηλεκτρεγερτική δύναμη, ὅπως έξηγήσαμε στίς μον-

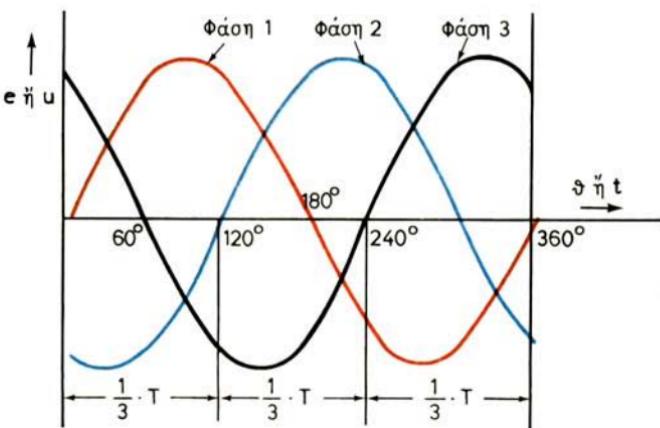


Σχ. 10.2δ.

Σύνδεση τῶν τριῶν φάσεων μέ τούς ἀκροδέκτες μιᾶς τριφασικῆς γεννήτριας.

Φασικές γεννήτριες (παράγρ. 10.1). Κάθε τέτοια ήλεκτρεγερτική δύναμη παριστάνεται ἀπό μία καμπύλη ὅπως αὐτή τοῦ σχήματος 6.3γ. Οι τρεῖς αὐτές καμπύλες εἶναι ὅμοιες μεταξύ τους γιατί καὶ τά τυλίγματα τῶν τριῶν φάσεων εἶναι ὅμοια μεταξύ τους. Δηλαδὴ οἱ τρεῖς καμπύλες ἔχουν τήν ἴδια μέγιστη τιμή καὶ τήν ἴδια περίοδο T (ἢ συχνότητα f).

Οἱ μεταβολές τῶν ήλεκτρεγερτικῶν δυνάμεων στίς τρεῖς φάσεις δέν εἶναι ταυτόχρονες. "Οταν οἱ μαγνητικοί πόλοι περιστρέφονται, ὅπως δείχνουν τά τόξα στὸ σχῆμα 10.2β, πρῶτα θά γίνει μέγιστη ἡ τιμὴ τῆς ήλεκτρεγερτικῆς δυνάμεως στή φάση 1. Μετά ἀπό στροφή τοῦ ἄξονα κατά 120° , δηλαδὴ μετά ἀπό χρόνο ἴσο μὲ τό $1/3$ τῆς περιόδου ($1/3 \cdot T$) θά γίνει μέγιστη ἡ τιμὴ τῆς ήλεκτρεγερτικῆς δυνάμεως στή φάση 2 καὶ μετά ἀπό $1/3$ ἀκόμη τῆς περιόδου στή φάση 3. Δηλαδὴ οἱ τρεῖς καμπύλες τῆς ήλεκτρεγερτικῆς δυνάμεως στίς τρεῖς φάσεις ἔχουν μεταξύ τους διαφορά φάσεως 120° ἢ $1/3$ τῆς περιόδου, ὅπως φαίνεται στὸ σχῆμα 10.2ε. Οἱ ἴδιες καμπύλες παριστάνουν καὶ τή μεταβολή τῶν



Σχ. 10.2ε.

Ήλεκτρεγερτικές δυνάμεις ἢ τάσεις τριφασικῆς γεννήτριας.

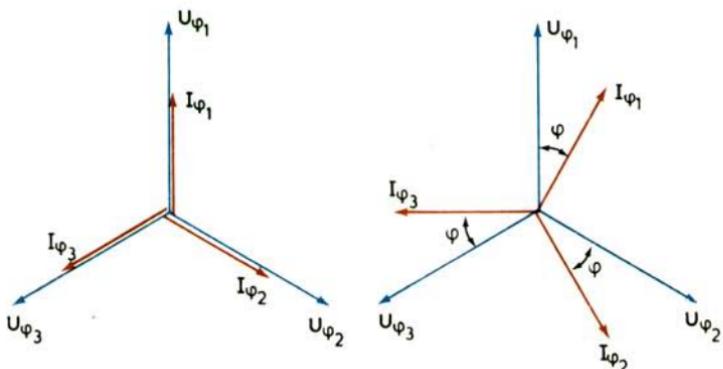
τάσεων στά άκρα τῶν τριῶν φάσεων τῆς γεννήτριας.

Εἶναι εύκολο νά διαπιστώσουμε ἀπό τίς καμπύλες τοῦ σχήματος 10.2ε ὅτι κάθε χρονική στιγμή τό **άλγεβρικό άθροισμα τῶν στιγμαίων τιμῶν τῶν ήλεκτρεγέρτικῶν δυνάμεων ή τῶν τάσεων στίς τρεῖς φάσεις είναι ίσο μέ μηδέν.**

10.3 Σύνδεση τῶν τριῶν φάσεων μεταξύ τους.

10.3.1 Άνεξάρτητο τριφασικό σύστημα.

Ἄπο τά τυλίγματα τῶν τριῶν φάσεων μιᾶς τριφασικῆς γεννήτριας μποροῦμε μέ τρεῖς μονοφασικές γραμμές νά τροφοδοτήσουμε καταναλώσεις ὥπως φαίνεται στό σχῆμα 10.2γ. "Αν οἱ καταναλώσεις είναι ώμικές καί ισες μεταξύ τους, δηλαδή ἂν είναι $R_1 = R_2 = R_3$, τά ρεύματα πού θά περάσουν μέσα ἀπό τά τρία κυκλώματα θά είναι σέ φάση μέ τίς ἀντίστοιχες τάσεις, θά έχουν τήν ίδια μέγιστη τιμή καί θά παρουσιάζουν μεταξύ τους διαφορά φάσεως 120° , ὥπως οἱ τάσεις.

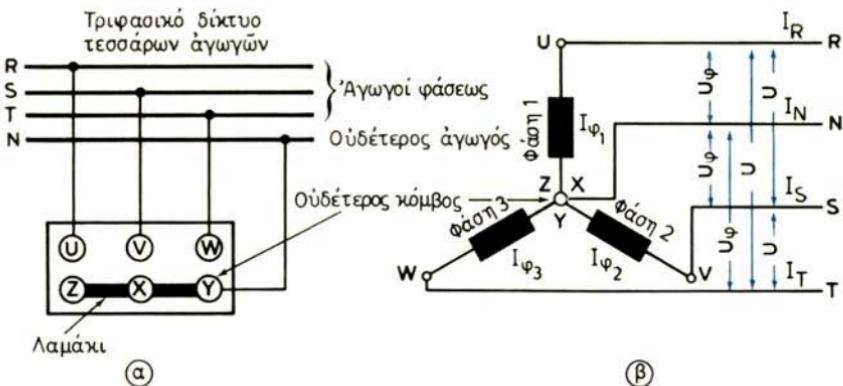


Ἡ μεταβολή τῶν στιγμαίων τιμῶν τῶν τριῶν ρευμάτων παριστάνεται μέ τρεῖς καμπύλες ὥπως αὐτές τοῦ σχήματος 10.2ε. Συνεπῶς **στήνεται** **περίπτωση ίσων καταναλώσεων στίς τρεῖς φάσεις, τό άλγεβρικό άθροισμα τῶν στιγμαίων τιμῶν τῶν έντασεων τῶν τριῶν ρευμάτων κάθε χρονική στιγμή είναι ίσο μέ μηδέν.**

Ἡ τάση πού μετροῦμε μεταξύ τῶν άκρων μιᾶς φάσεως τῆς γεννήτριας ὄνομάζεται **φασική τάση** καί τήν παριστάνομε μέ U_ϕ . Οι γεννήτριες κατασκευάζονται έτσι, ώστε οι φασικές τάσεις U_{ϕ_1} , U_{ϕ_2} , U_{ϕ_3} τῶν τριῶν φάσεων νά είναι ισες μεταξύ τους. "Ομοία ή ένταση τοῦ

ρεύματος πού περνά μέσα από κάθε φάση όνομάζεται **φασική ένταση** και τήν παριστάνομε μέ τό I_ϕ .

Τό σχήμα 10.3α δείχνει τό διανυσματικό διάγραμμα τών φασικών τάσεων και τών φασικών έντασεων μιᾶς τριφασικῆς γεννήτριας στήν περίπτωση πού οι καταναλώσεις είναι ώμικες και ίσες μεταξύ τους. "Αν οι καταναλώσεις τών τριῶν φάσεων είναι ίσες μεταξύ τους άλλα δέν είναι καθαρά ώμικες, τότε μεταξύ τών διανυσμάτων τών άντιστοίχων φασικών τάσεων και έντασεων θά ύπαρχει διαφορά φάσεως φ, δημοσιεύεται στό σχήμα 10.3β. Τόσο στή μία περίπτωση ίσο και στήν άλλη οι καταναλώσεις όνομάζονται **συμμετρικές** ή λέμε ότι έχομε **συμμετρική φόρτηση**.



Σχ. 10.3γ.

Σύνδεση σέ άστέρα. α) Σύνδεση τών άκροδεκτών τής μηχανῆς, β) Σύνδεση τών τριῶν φάσεων.

Σήν πράξη οι τρεῖς φάσεις τών γεννητριῶν έναλλασσόμενου ρεύματος δέ μένουν άνεξάρτητες μεταξύ τους, δημοσιεύεται στό σχήμα 10.2γ (**λάνεξάρτητο τριφασικό σύστημα**). Οπως φαίνεται και στό σχήμα, στήν περίπτωση αύτή χρειαζόμασθε έξι άγωγούς γιά νά τροφοδοτήσουμε τίς καταναλώσεις. Αύτό είναι άντιοικονομικό, γιατί, δημοσιεύεται στά έπόμενα, μπορούμε, μέ κατάλληλη σύνδεση τών φάσεων μεταξύ τους, νά τροφοδοτήσουμε τά ίδια φορτία μέ 3 ή 4 άγωγούς (**λάλληλένδετα τριφασικά συστήματα**). Υπάρχουν δύο τρόποι νά γίνει η σύνδεση αύτή πού θά έξετάσομε άμέσως παρακάτω.

10.3.2 Σύνδεση τών φάσεων σέ άστέρα.

Στή **σύνδεση τών φάσεων σέ άστέρα**, συνδέομε μεταξύ τους τά τέλη X , Y , Z τών τριῶν φάσεων. Αύτό γίνεται μέ ένα μεταλλικό λαμάκι πού τοποθετούμε μεταξύ τών τριῶν άντιστοίχων άκροδεκτών τής μη-

χανῆς [σχ. 10.3γ(α)]. Τό κοινό αύτό σημείο τῶν τριῶν φάσεων ἀποτελεῖ τὸν **οὐδέτερο κόμβο** τῆς γεννήτριας.

Τά ἄκρα U, V, W τῶν φάσεων συνδέονται μέτριας άγωγούς τοῦ δικύου τροφοδοτήσεως τῶν καταναλώσεων. Οἱ ἀγωγοὶ αὐτοί τοῦ δικύου ὀνομάζονται **ἀγωγοὶ φάσεως** καὶ συνήθως χαρακτηρίζονται μέτρα γράμματα R, S, T. Ὁ οὐδέτερος κόμβος συνδέεται μέτριας άγωγού τοῦ δικύου διποίος χαρακτηρίζεται μέτρο N καὶ ὀνομάζεται **οὐδέτερος ἀγωγός** (σχ. 10.3γ).

Στό τριφασικό σύστημα τροφοδοτήσεως τῶν καταναλωτῶν πού περιγράψαμε, χρειάζονται 4 ἀγωγοί ἀντί γιά 6 πού χρειάζονται στά ἀνεξάρτητα τριφασικά συστήματα. Τό σύστημα αύτό πού ὀνομάζεται **ἀστεροειδές τριφασικό σύστημα τεσσάρων ἀγωγῶν** ἔχει καὶ ἕνα ἄλλο πλεονέκτημα. Μ' αὐτό ἔχομε στή διάθεσή μας δύο τιμές τάσεων τίς ὅποιες μποροῦμε νά χρησιμοποιήσομε γιά νά τροφοδοτήσομε ἀντίστοιχες καταναλώσεις ἀνάλογα μέτρην περίπτωση.

Μεταξύ κάθε ἀγωγοῦ φάσεως καὶ τοῦ οὐδέτερου ἀγωγοῦ [σχ. 10.3γ (β)] ἔχομε τήν τάση U_{ϕ} πού ἐπικρατεῖ στά ἄκρα κάθε φάσεως, δηλαδή τή φασική τάση, ὅπως ἀναφέραμε στήν προηγούμενη παράγραφο. Μεταξύ δύο διποιονδήποτε ἀγωγῶν φάσεως ἔχομε τήν τάση U, πού ὀνομάζεται **πολική τάση**. Ἀποδεικνύεται ὅτι στή σύνδεση σέ ἀστέρα τῶν τριῶν φάσεων μεταξύ φασικῆς καὶ πολικῆς τάσεως ὑπάρχει ἡ σχέση:

$$U = \sqrt{3} \cdot U_{\phi} = 1,73 \cdot U_{\phi}$$

Τό σύστημα τῶν δικύων χαμηλῆς τάσεως, πού χρησιμοποιεῖ ἡ ΔΕΗ γιά τή διανομή τῆς ἡλεκτρικῆς ἐνέργειας στούς μικρούς καταναλωτές, εἶναι τριφασικό σύστημα τεσσάρων ἀγωγῶν. Στό σύστημα αύτό ἡ φασική τάση εἶναι 220 V. Συνεπῶς ἡ πολική τάση εἶναι:

$$U = 1,73 \cdot U_{\phi} = 1,73 \times 220 = 380 \text{ V}$$

Πολλές φορές γράφομε ὅτι ἡ τάση ἐνός τέτοιου συστήματος εἶναι 220/380 V. Ἄλλες τάσεις πού χρησιμοποιούθηκαν στό παρελθόν ἡ πού χρησιμοποιοῦνται ἀκόμα σέ δρισμένες εἰδικές περιπτώσεις σέ συστήματα τεσσάρων ἀγωγῶν εἶναι 127/220 V καὶ 110/190 V.

Βέβαια τό σύστημα διανομῆς χαμηλῆς τάσεως τῆς ΔΕΗ τροφοδοτεῖται ἀπό τριφασικούς μετασχηματιστές καὶ ὅχι ἀπευθείας ἀπό τριφασικές γεννήτριες. Ὁμως τίποτα δέν ἀλλάζει σέ δσα ἀναφέραμε γιά τή σύνδεση σέ ἀστέρα τῶν τριῶν φάσεων καὶ τήν τροφοδότηση ἀπό αὐτές τοῦ συστήματος διανομῆς μέτρησερις ἀγωγούς. Ἀντί γιά τίς τρεῖς φάσεις τῆς γεννήτριας ἔχομε τώρα τίς τρεῖς φάσεις τοῦ δευτερεύοντος τυλίγματος ἐνός μετασχηματιστῆς ὑποβιβασμοῦ τῆς τάσεως (παράγρ. 6.7) πού εἶναι συνδεμένες σέ ἀστέρα.

Στό άστεροειδές τριφασικό σύστημα ή φασική ένταση πού περνά μέσα άπο κάθε φάση της γεννήτριας, περνά και άπο τόν άντίστοιχο άγωγό της γραμμῆς, όπως συμβαίνει και στό άνεξάρτητο σύστημα πού έχετάσαμε στήν προηγούμενη παράγραφο. Είναι δηλαδή:

$$I_{\phi_1} = I_R \quad I_{\phi_2} = I_S \quad I_{\phi_3} = I_T$$

όπου I_{ϕ_1} , I_{ϕ_2} , I_{ϕ_3} οι φασικές έντάσεις καιί

I_R , I_S , I_T οι άντιστοιχές τους **έντάσεις γραμμῆς** [σχ. 10.3γ (β)].

Όταν έχομε συμμετρική φόρτιση τοῦ δικτύου, σύμφωνα μέ δσα άναφέραμε στήν παράγραφο 10.3.1, είναι εύκολο νά συμπεράνει κανείς ότι στή σύνδεση σέ άστέρα είναι:

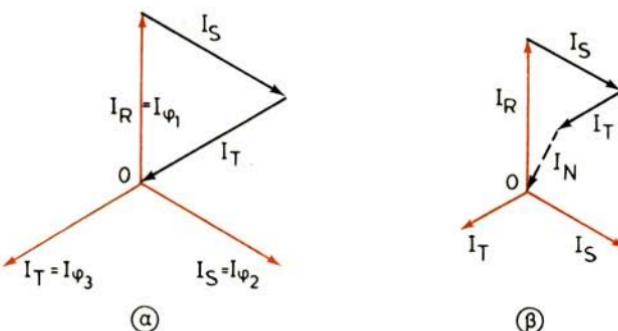
$$I_{\phi} = I_R = I_S = I_T = I$$

όπου: I_{ϕ} ή κοινή σέ δλες τίς φάσεις τιμή της φασικῆς έντάσεως καιί

Ι ή κοινή σέ δλους τούς άγωγούς φάσεως τιμή της έντάσεως γραμμῆς.

Μέσα άπο τόν ούδετερο άγωγό έπιστρέφουν τά ρεύματα καιί τῶν τριῶν φάσεων. "Οπως έξηγήσαμε στήν προηγούμενη παράγραφο, στή συμμετρική φόρτιση τό άλγεβρικό άθροισμα τῶν στιγμιάιων τιμῶν τῶν έντάσεων αύτῶν τῶν ρευμάτων είναι ίσο μέ μηδέν. "Αρα θά είναι ίση μέ μηδέν καιί ή ένεργος τιμή I_N της έντάσεως πού περνά άπο τόν ούδετερο άγωγό.

Μετά άπο όσα άναφέραμε παραπάνω, είναι εύκολο νά συμπεράνομε ότι γιά τήν περίπτωση συμμετρικῆς φορτίσεως άπο τό διανυσματικό διάγραμμα τῶν φασικῶν έντάσεων τῶν σχημάτων 10.3α ή 10.3β μπορούμε νά σχεδιάσομε τό διανυσματικό διάγραμμα τῶν έντάσεων γραμμῆς όπως φαίνεται στό σχήμα 10.3δ (α).



Σχ. 10.3δ.

Διανυσματικό διάγραμμα τῶν έντάσεων γραμμῆς. α) Συμμετρική φόρτιση. β) Άσυμμετρη φόρτιση.

Στό σχήμα αύτό παρατηροῦμε ότι αν κάνομε τό γεωμετρικό άθροισμα των τριών διανυσμάτων I_R , I_S , I_T σχηματίζεται ένα κλειστό (ισόπλευρο) τρίγωνο. Αύτό σημαίνει ότι τό γεωμετρικό άθροισμα των τριών ρευμάτων είναι ίσο μέ μηδέν πράγμα πού έπιβεβαιώνει ότι ή ένταση τοῦ ρεύματος μέσα από τόν ούδέτερο άγωγό είναι ίση μέ μηδέν.

"Όταν έχουμε **άσύμμετρη φόρτιση** τότε βέβαια οι τρεῖς έντάσεις I_R , I_S , I_T δέν είναι ίσες μεταξύ τους. Τότε μέσα από τόν ούδέτερο άγωγό περνᾶ κάποια ένταση ρεύματος. Αύτό φαίνεται καί στό σχήμα 10.3δ (β) στό διπού τό γεωμετρικό άθροισμα των τριών έντάσεων I_R , I_S , I_T μᾶς δίνει τό μέγεθος τῆς I_N .

Στήν πράξη έπιδιώκεται νά είναι ή φόρτιση τῶν δικτύων διανομῆς δσο τό δυνατό συμμετρική. Αύτό όμως δέν έπιτυχάνεται έντελως. Τό ρεύμα πού περνᾶ από τόν ούδέτερο άγωγό είναι μικρότερο από τά ρεύματα τῶν άγωγῶν τῶν τριῶν φάσεων. "Αρα ώς ούδέτερος άγωγός γιά λόγους οικονομίας είναι δυνατό νά τοποθετεῖται άγωγός μέ μικρότερη διατομή από τούς άγωγούς φάσεως.

Παράδειγμα 1.

Μιά τριφασική γεννήτρια μέ σύνδεση τῶν φάσεων σέ άστέρα τροφοδοτεῖ δίκτυο μέ τέσσερις άγωγούς. "Αν ή πολική τάση τοῦ δικτύου είναι 220 V καί ή ένταση γραμμῆς 100 A μέ συμμετρική φόρτιση, νά βρεθούν:

- Η φασική τάση τῆς γεννήτριας.
- Η φασική ένταση τῆς γεννήτριας.
- Η ένταση τοῦ ρεύματος στόν ούδέτερο άγωγό.

Λύση:

- Από τή σχέση $U = 1,73 \cdot U_\phi$ προκύπτει:

$$U_\phi = \frac{U}{1,73} = \frac{220}{1,73} = 127 \text{ V}$$

- Είναι $I_\phi = I = 100 \text{ A}$

- Είναι $I_N = 0$

Παράδειγμα 2.

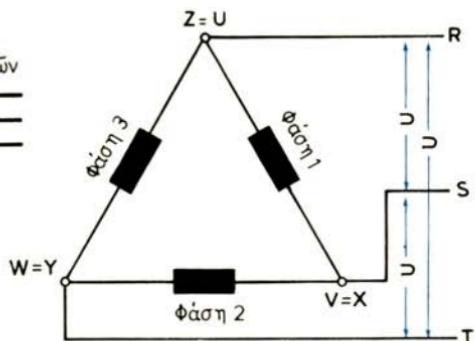
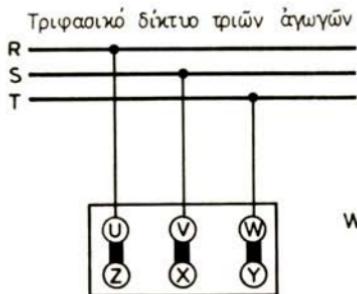
"Ένα δίκτυο τριφασικό μέ τέσσερις άγωγούς φορτίζεται άσύμμετρα από ώμικούς καταναλωτές μέ έντάσεις γραμμῆς $I_R = 20 \text{ A}$, $I_S = 15 \text{ A}$, $I_T = 10 \text{ A}$. Πόση ένταση ρεύματος περνᾶ μέσα από τόν ούδέτερο άγωγό;

Λύση:

Άφοῦ οι καταναλωτές είναι ώμικοι οι έντάσεις θά είναι σέ φάση μέ τίς άντιστοιχες τάσεις, "Αρα και μεταξύ των έντάσεων αύτων θά ύπαρχει διαφορά φάσεως 120° . Μέ κλίμακα έντάσεων $1 \text{ mm} = 1 \text{ A}$ κατασκευάζομε τό διανυσματικό διάγραμμα δημοσιεύοντας στό σχήμα 10.3δ (β). Μέ τήν παραπάνω κλίμακα προκύπτει ότι $I_N = 9 \text{ A}$.

10.3.3 Σύνδεση τῶν φάσεων σέ τρίγωνο.

Στή σύνδεση τῶν φάσεων σέ τρίγωνο συνδέομε τό τέλος X τῆς πρώτης φάσεως μέ τήν άρχη V τῆς δεύτερης, τό τέλος Y αὐτῆς μέ τήν άρχη W τῆς τρίτης φάσεως και τό τέλος της Z μέ τήν άρχη U τῆς πρώτης φάσεως [σχ. 10.3ε (β)]. Αύτό γίνεται στούς άκροδεκτες τῆς μηχανῆς δημοσιεύονται μέ τρία λαμάκια, τά δημοσιεύονται στό σχήμα 10.3ε (α).



(α)

(β)

Σχ. 10.3ε.

Σύνδεση σέ τρίγωνο. α) Σύνδεση τῶν άκροδεκτῶν τῆς μηχανῆς. β) Σύνδεση τῶν τριών φάσεων.

Οι άγωγοί τοῦ **τριφασικού δικτύου τριών άγωγών** (στήν περίπτωση αύτή ούδετερος άγωγός δέν ύπάρχει) συνδέονται μέ τούς κόμβους $U = Z$, $V = X$, $W = Y$, δημοσιεύονται στό σχήμα 10.3ε.

"Η τάση μεταξύ δύο διοιδήποτε άγωγών τοῦ δικτύου, δηλαδή ή πολική τάση U είναι φανερό ότι στήν περίπτωση τῆς συνδέσεως σέ τρίγωνο είναι ίση μέ τή φασική τάση U_ϕ .

$$U = U_\phi$$

Δηλαδή στή σύνδεση τῶν φάσεων σέ τρίγωνο έχομε στή διάθεσή μας γιά τήν τροφοδότηση τῶν καταναλωτῶν μόνο μία τιμή τῆς τάσεως.

"Όταν έχομε συμμετρική φόρτιση τῶν τριών φάσεων οι φασικές έντάσεις είναι ίσες μεταξύ τους:

$$I_{\phi_1} = I_{\phi_2} = I_{\phi_3} = I_{\phi}$$

'Επίσης είναι ίσες μεταξύ τους οι έντάσεις γραμμῆς:

$$I_R = I_S = I_T = I$$

'Αποδεικνύεται ότι στή σύνδεση τῶν φάσεων σέ τρίγωνο καί μέ συμμετρική φόρτιση, μεταξύ τῶν φασικῶν έντάσεων I_{ϕ} καί τῶν έντάσεων γραμμῆς I ύπάρχει ἡ σχέση:

$$I = \sqrt{3} \cdot I_{\phi} = 1,73 \cdot I_{\phi}$$

Βέβαια ένα τριφασικό δίκτυο τριών άγωγῶν μπορεῖ νά τροφοδοτηθεῖ καί ἀπό μιά γεννήτρια ἡ ένα μετασχηματιστή πού νά έχει τά τυλίγματα τῶν τριών φάσεων συνδεσμολογημένα σέ άστέρα. Στήν περίπτωση αύτή ὁ ούδετερος κόμβος τῆς μηχανῆς ἡ τοῦ μετασχηματιστῆ, πού δέν συνδέεται μέ κανέναν άγωγό γραμμῆς, συνήθως γειώνεται.

Τά δίκτυα μεταφορᾶς ύψηλῆς καί ύπερυψηλῆς τάσεως καί τά δίκτυα διανομῆς μέσης τάσεως τῆς ΔΕΗ ἀποτελοῦνται ἀπό τριφασικές γραμμές τριών άγωγῶν.

Παράδειγμα.

Τριφασική γεννήτρια μέ σύνδεση τῶν φάσεων σέ τρίγωνο τροφοδοτεῖ δίκτυο τριών άγωγῶν. "Άν ἡ πολική τάση τοῦ δικτύου είναι 220 V καί ἡ ένταση γραμμῆς 100 A μέ συμμετρική φόρτιση, νά βρεθοῦν:

α) Ἡ φασική τάση.

β) Ἡ φασική ένταση τῆς γεννήτριας.

Λύση:

α) Είναι $U_{\phi} = U = 220$ V

β) Άπο τή σχέση $I = 1,73 \cdot I_{\phi}$ προκύπτει:

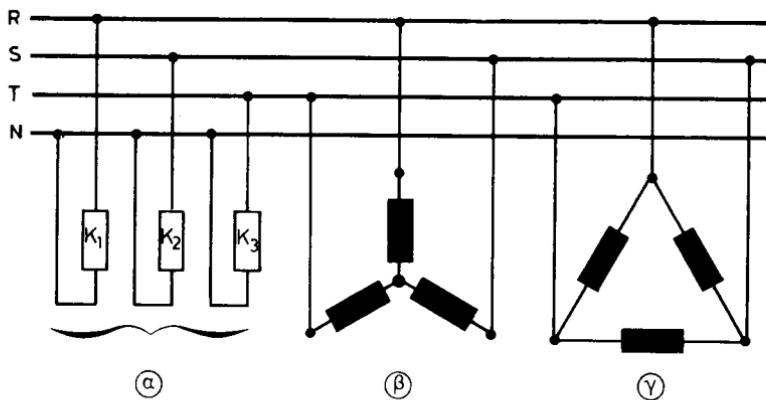
$$I_{\phi} = \frac{I}{1,73} = \frac{100}{1,73} = 57,8 \text{ A}$$

10.4 Σύνδεση καταναλωτῶν σέ τριφασικό δίκτυο.

Σέ ένα τριφασικό δίκτυο μέ τέσσερις άγωγούς, δηλαδή τούς τρεῖς άγωγούς φάσεως καί τόν ούδετερο άγωγό, μποροῦμε νά συνδέσομε τό-

σο μονοφασικούς δσο καί τριφασικούς καταναλωτές. Έδω ώς καταναλωτή θεωροῦμε μιά όλοκληρη έγκατάσταση πουύ τροφοδοτεῖται από τό δίκτυο τῆς πόλεως καί πού μπορεῖ βέβαια νά περιλαμβάνει ἔνα ή πολλά φορτία.

Οι μονοφασικοί καταναλωτές, περιλαμβάνουν μόνο **μονοφασικά φορτία** (μονοφασικές συσκευές), π.χ. λαμπτήρες φωτισμού, ήλεκτρικά σίδερα, μικρές συσκευές θερμάνσεως, μικρές (οἰκιακές) κουζίνες, μονοφασικούς κινητήρες κλπ. Μονοφασικός καταναλωτής είναι π.χ. ἔνα διαμέρισμα πολυκατοικίας, ἔνα μικρό κατάστημα, ἔνα μικρό έργαστήριο. Οι καταναλωτές αύτοί συνδέονται μεταξύ μιᾶς φάσεως τοῦ δικτύου καί τοῦ ούδετέρου άγωγοῦ ὅπως φαίνεται στό σχήμα 10.4a (a) όπου K_1 , K_2 , K_3 είναι τρεῖς άνεξάρτητοι μονοφασικοί καταναλωτές. Δηλαδή τροφοδοτούνται μέ τή φασική τάση τοῦ δικτύου, π.χ. μέ 220 V στό δίκτυο τῆς ΔΕΗ.



Σχ. 10.4a.

Σύνδεση καταναλωτῶν σέ τριφασικό δίκτυο.

"Οταν οι μονοφασικοί καταναλωτές είναι πολλοί, ὅπως π.χ. σέ μιά γραμμή τοῦ δικτύου διανομῆς, καταβάλλεται προσπάθεια νά ίσομοιράζονται μεταξύ τῶν τριῶν φάσεων τοῦ δικτύου. "Έτσι ἐπιτυγχάνομε νά είναι δσο τό δυνατό συμμετρική ή φόρτιση τοῦ τριφασικοῦ δικτύου [σχ. 10.4a (a)].

Οι τριφασικοί καταναλωτές περιλαμβάνουν τόσο μονοφασικά δσο καί τριφασικά φορτία (τριφασικές συσκευές ή μηχανήματα). Τριφασικοί καταναλωτές μπορεῖ νά είναι μία μεγάλη κατοικία, ἔνα έργαστήριο, ἔνα έργοστάσιο κλπ.

Στούς καταναλωτές αύτούς οι μονοφασικές συσκευές συνδέονται σχεδόν πάντοτε στή φασική τάση τοῦ δικτύου καί ὅταν είναι πολλές θά

πρέπει νά φροντίζομε νά τίς ίσομοιράζομε στίς τρεῖς φάσεις. Πολύ σπάνια είναι άνάγκη νά συνδέσουμε μά μονοφασική συσκευή μεταξύ δύο φάσεων τοῦ δικτύου, όπότε θά λειτουργεῖ μέ τήν πολική τάση τῶν 380 V.

Οι τριφασικοί κινητήρες έναλλασσόμενου ρεύματος ἔχουν ὅπως καὶ οἱ ἀντίστοιχες γεννήτριες, τρία αὐτοτελή τυλίγματα, τίς τρεῖς φάσεις. Οι τρεῖς φάσεις ἐνός κινητήρα μπορεῖ νά είναι συνδεμένες σέ ἀστέρα ἢ σέ τρίγωνο ἀνεξάρτητα ἀπό τό πῶς είναι συνδεσμολογημένη ἡ τριφασική γεννήτρια ἢ ὁ τριφασικός μετασχηματιστής πού τροφοδοτεῖ τό δίκτυο.

Στό σχῆμα 10.4α (β) φαίνεται ἡ σύνδεση σέ ἀστέρα τῶν τριῶν φάσεων ἐνός κινητήρα καὶ στό σχῆμα 10.4α (γ) ἡ σύνδεση σέ τρίγωνο τῶν φάσεων ἐνός ἄλλου κινητήρα. Καὶ οἱ δύο κινητήρες μπορεῖ νά τροφοδοτοῦνται ἀπό τό ἴδιο δίκτυο.

Στήν πρώτη περίπτωση ὁ κινητήρας είναι κατασκευασμένος γιά νά δέχεται κάθε φάση του τή φασική τάση τοῦ δικτύου (ἔστω καὶ ἂν ὁ οὐδέτερος κόμβος του δέν συνδέεται μέ τόν οὐδέτερο ἀγωγό τοῦ δικτύου). Δηλαδή στό δίκτυο τῆς ΔΕΗ ἡ κάθε φάση θά δέχεται τάση:

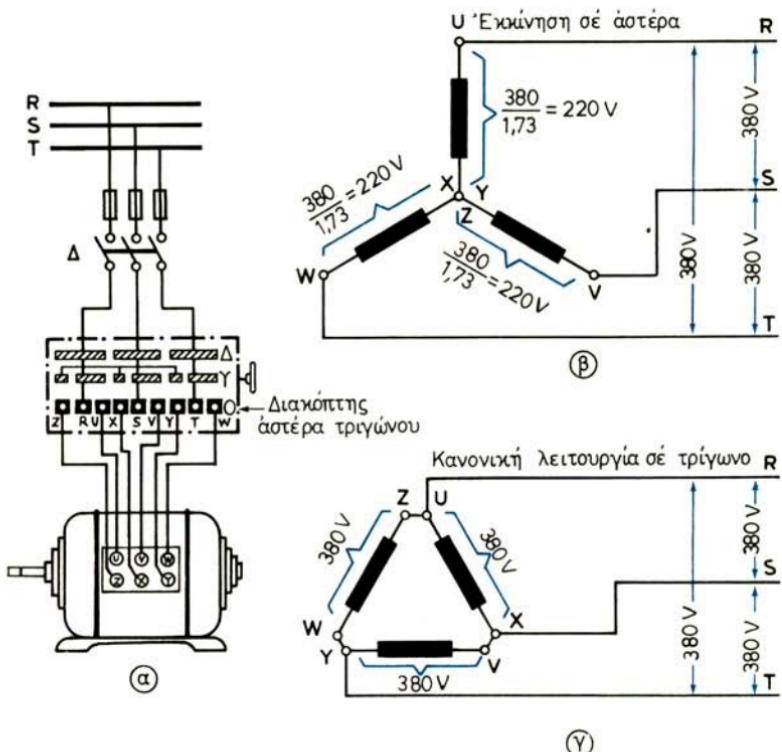
$$U_{\Phi} = \frac{U}{1,73} = \frac{380}{1,73} = 220 \text{ V}$$

"Ἐνας τέτοιος κινητήρας λέμε ὅτι είναι τάσεως λειτουργίας 220/380 V ἢ 380 V Y (τό Y σημαίνει συνδεσμολογία σέ ἀστέρα).

Στή δεύτερη περίπτωση ὁ κινητήρας είναι κατασκευασμένος γιά νά δέχεται κάθε φάση του τάση 380 V, δηλαδή ὅση είναι ἡ πολική τάση τοῦ δικτύου. "Ἐνας τέτοιος κινητήρας λέμε ὅτι είναι τάσεως 380 V Δ (τό Δ σημαίνει συνδεσμολογία σέ τρίγωνο). Τόν κινητήρα αὐτόν ἂν τόν συνδεσμολογήσομε σέ ἀστέρα καὶ τόν τροφοδοτήσομε ἀπό τό ἴδιο δίκτυο θά λειτουργήσει μέ ἐλαπτωμένη τάση, διότι κάθε φάση του θά δέχεται τάση 220 V.

'Ἐφαρμογή τῆς τελευταίας αὐτῆς παρατηρήσεως γίνεται γιά νά ξεκινοῦμε τούς τριφασικούς κινητῆρες μέ ἐλαπτωμένη τάση, ώστε στήν ἐκκίνηση νά ἀπορροφοῦν σχετικά μικρή ἔνταση ἀπό τό δίκτυο. Αὐτό γίνεται μέ ἔναν κατάλληλο **διακόπτη ἀστέρα - τριγώνου** [σχ. 10.4β (α)]. στόν ὥποιο συνδέονται καὶ τά ἔξι ἄκρα τῶν τριῶν φάσεων τοῦ κινητήρα.

"Οταν ὁ στρόφαλος τοῦ διακόπτη βρίσκεται στή θέση Y οἱ τρεῖς φάσεις τοῦ κινητήρα συνδέονται σέ ἀστέρα καὶ ταυτόχρονα τροφοδοτοῦνται μέ τήν τάση τοῦ δικτύου [σχ. 10.4β (β)]. 'Ο κινητήρας ξεκινᾷ μέ ἐλαπτωμένη τάση σέ κάθε φάση, δηλαδή μέ τάση 220 V. "Οταν οἱ στροφές τοῦ κινητήρα φθάσουν σέ κάποιο δριο καὶ δέν αὐξάνονται περισσότερο, στρέφομε τό στρόφαλο τοῦ διακόπτη στή θέση Δ. Οι φά-



Σχ. 10.4β.

Διακόπτης άστέρα τριγώνου. α) Συνδεσμολογία του διακόπτη. β) Έκκίνηση σε άστέρα. γ) Κανονική λειτουργία σε τρίγωνο R .

σεις τοῦ τυλίγματος τοῦ κινητήρα συνδέονται τώρα [σχ. 10.4β (γ)] σε τρίγωνο. Ό κινητήρας λειτουργεῖ πιά μέ τήν κανονική του τάση, δηλαδή 380 V σε κάθε φάση.

Έκτός από τούς τριφασικούς κινητήρες ύπαρχουν καί ἄλλες συσκευές ἡ μηχανήματα πού ἀποτελοῦν τριφασικά φορτία. Π.χ. ἔνας ήλεκτρικός φούρνος, ἀπό αὐτούς πού χρησιμοποιούνται γιά τό «ψήσιμο» τῶν κεραμεικῶν εἰδῶν, ἔχει συνήθως τρεῖς δμάδες ἀντιστάσεων (θερμαντικῶν στοιχείων). Οἱ τρεῖς αὐτές δμάδες συνδέονται μεταξύ τους σε άστέρα ἡ τρίγωνο, ἀνάλογα μέ τήν τάση γιά τήν ὧδην κατασκευασμένες νά λειτουργοῦν. Ή σύνδεσή τους μέ τό δίκτυο γίνεται ὅπως ἀναφέραμε καί γιά τίς τρεῖς δμάδες συνδέονται μεταξύ τους σε άστέρα.

Οι σχέσεις πού συνδέουν στήν περίπτωση συμμετρικῆς φορτίσεως τίς ἐντάσεις γραμμῆς μέ τίς φασικές ἐντάσεις στίς γεννήτριες, ίσχυουν καί γιά τίς συμμετρικές τριφασικές καταναλώσεις. Δηλαδή εἶναι καί ἔδω

$$I = I_\phi$$

όταν ή συσκευή ή ό κινητήρας έχει τίς τρεῖς φάσεις του συνδεμένες σέ αστέρα, καί

$$I = 1,73 \cdot I_\phi$$

όταν τίς έχει συνδεμένες σέ τρίγωνο.

όπου: I_ϕ ή ένταση πού περνᾶ μέσα από κάθε φάση τῆς τριφασικῆς συσκευῆς,

I ή ένταση γραμμῆς τοῦ τριφασικοῦ δίκτυου.

Παράδειγμα.

“Ενας τριφασικός ήλεκτρικός φούρνος έχει γιά θερμαντικά στοιχεῖα τρεῖς δμάδες άντιστάσεων. Ή άντισταση κάθε δμάδας είναι $4\ \Omega$. Ποιά ένταση γραμμῆς άπορροφᾶ δ φούρνος από τριφασικό δίκτυο πολικῆς τάσεως $380\ V$ έτσι:

- α) Οι τρεῖς δμάδες άντιστάσεων συνδεθοῦν σέ αστέρα;
- β) Όταν συνδεθοῦν σέ τρίγωνο;

Λύση:

α) Ή τάση στήν δοπία θά βρίσκεται κάθε δμάδα άντιστάσεων θά είναι στήν περίπτωση συνδέσεως σέ αστέρα:

$$U_\phi = \frac{U}{1,73} = \frac{380}{1,73} = 220\ V$$

Άρα η ένταση πού θά τήν διαρρέει είναι:

$$I_\phi = \frac{U_\phi}{R} = \frac{220}{4} = 55\ A$$

Στήν περίπτωση αύτή η ένταση γραμμῆς I είναι:

$$I = I_\phi = 55\ A$$

β) Στή σύνδεση τῶν δμάδων άντιστάσεων σέ τρίγωνο, κάθε δμάδα θά βρίσκεται σέ τάση $U = 380\ V$. Άρα η ένταση πού θά τήν διαρρέει θά είναι τώρα:

$$I_\phi = \frac{U}{R} = \frac{380}{4} = 95\ A$$

Στήν περίπτωση αύτή είναι:

$$I = 1,73 \cdot I_\phi = 1,73 \times 95 = 164,3\ A$$

Από τό παράδειγμα αύτό βλέπομε πόσο μεγάλη σημασία έχει δ τρό-

πος συνδέσεως τῶν τριῶν φάσεων μιᾶς τριφασικῆς συσκευῆς ἡ ἐνός τριφασικοῦ μηχανήματος. Στή δεύτερη περίπτωση ὁ ἡλεκτρικός φούρνος ἀπορροφᾷ ἀπό τό δίκτυο τριπλάσια ἑνταση ἀπό ὅτι στήν πρώτη περίπτωση.

10.5 Ἡ ισχύς στό τριφασικό ρεῦμα.

10.5.1 Ὑπολογισμός τῆς ισχύος.

Σέ ἔνα τριφασικό σύστημα ἡ ισχύς πού παρέχεται σέ ἔναν καταναλωτή εἶναι ἵση μέ τό ἀθροισμα τῶν ισχύων πού δίνουν οἱ τρεῖς φάσεις του. "Αν ἡ φόρτιση εἶναι συμμετρική τότε ἡ πραγματική ισχύς πού δίνει τό τριφασικό σύστημα ὑπολογίζεται ἀπό τή σχέση:

$$P = 3 \cdot U_{\phi} \cdot I_{\phi} \cdot \text{συνφ} \quad \text{σέ W}$$

ὅπου: U_{ϕ} ἡ φασική τάση τοῦ συστήματος σέ V,

I_{ϕ} ἡ φασική ἑνταση τοῦ καταναλωτῆ σέ A,

φ ἡ διαφορά φάσεως μεταξύ φασικῆς τάσεως καί φασικῆς ἐντάσεως τοῦ καταναλωτῆ.

Ἄπο τίς γνωστές σχέσεις πού συνδέουν τή φασική τάση μέ τήν πολική τάση καί τή φασική ἑνταση μέ τήν ἑνταση γραμμῆς σέ μιά συμμετρική φόρτιση προκύπτει ὁ ἀκόλουθος τύπος πού ισχύει ἀνεξάρτητα ἀπό τό ἄν ἡ σύνδεση τῶν τριῶν φάσεων τοῦ καταναλωτῆ εἶναι σέ ἀστέρα ἡ σέ τρίγωνο:

$$P = 1,73 \cdot U \cdot I \cdot \text{συνφ} \quad \text{σέ W}$$

ὅπου: P ἡ ισχύς πού παρέχεται σέ ἔναν καταναλωτή σέ W,

U ἡ πολική τάση τῆς τριφασικῆς γραμμῆς σέ V,

I ἡ ἑνταση γραμμῆς σέ A,

συνφ ὁ συντελεστής ισχύος τοῦ καταναλωτῆ.

Παράδειγμα.

"Ενας τριφασικός κινητήρας λειτουργεῖ σέ δίκτυο μέ πολική τάση 380 V καί δίνει στόν ἄξονά του ισχύ 10 kW. "Αν ὁ κινητήρας ἀπορροφᾷ ἀπό τό δίκτυο ἑνταση 20 A καί ὁ συντελεστής ισχύος του εἶναι συνφ = 0,88, νά βρεθοῦν:

- α) Ἡ πραγματική ισχύς πού ἀπορροφᾷ ἀπό τό δίκτυο ὁ κινητήρας καί
- β) ὁ βαθμός ἀποδόσεως τοῦ κινητήρα.

Λύση:

- α) Εἶναι:

$$P = 1,73 \cdot U \cdot I \cdot \text{συνφ} = 1,73 \times 380 \times 20 \times 0,88 = 11.570 \text{ W}$$

β) Για τό βαθμό άποδόσεως ξέρομε (παράγρ. 4.3) ότι είναι:

$$\eta = \frac{P_{\omega}}{P_{\pi}}$$

Έδω είναι: $P_{\pi} = P = 11.570 \text{ W}$ και $P_{\omega} = 10 \text{ kW} = 10.000 \text{ W}$
Άρα:

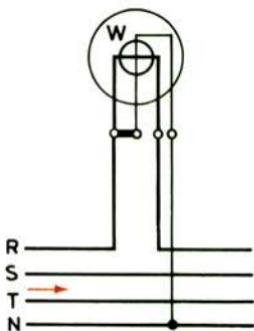
$$\eta = \frac{P_{\omega}}{P_{\pi}} = \frac{10.000}{11.570} = 0,86 \text{ ή } 86\%$$

10.5.2 Μέτρηση τής τριφασικής ίσχυος.

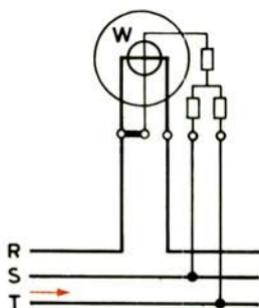
Ένα ήλεκτροδυναμικό δργανό, σάν αύτά που περιγράψαμε στήν παράγραφο 6.16 μπορεῖ νά χρησιμοποιηθεῖ, όπως άναφέραμε και έκει, σάν βαττόμετρο γιά τή μέτρηση τής ίσχυος στό μονοφασικό έναλλασσόμενο ρεῦμα. Τή σχετική συνδεσμολογία γιά τό σκοπό αύτό τή δείχνει και τό σχήμα 7.9β.

Γιά νά μετρήσουμε τήν ίσχυ που παρέχει ένα τριφασικό δίκτυο τεσσάρων άγωγών σέ έναν καταναλωτή μέ συμμετρική φόρτιση μποροῦμε νά χρησιμοποιήσουμε ένα μονοφασικό βαττόμετρο συνδεσμολογημένο όπως φαίνεται στό σχήμα 10.5α. Δηλαδή μετροῦμε τήν ίσχυ P_1 , τής μιᾶς φάσεως τοῦ συμμετρικά φορτιζόμενου δικτύου. Ή δλική ίσχυς P που περνᾶ άπό τό τριφασικό δίκτυο θά είναι στήν περίπτωση αύτή:

$$P = 3 \cdot P_1$$



Σχ. 10.5α.



Σχ. 10.5β.

Στήν περίπτωση ένός τριφασικού δικτύου τριῶν άγωγών μέ συμμετρική φόρτιση μποροῦμε πάλι νά χρησιμοποιήσουμε ένα μονοφασικό βαττόμετρο, ἀν είναι έφοδιασμένο μέ μιά κατάλληλη τριφασική άντίσταση σέ σύνδεση άστέρα. Ή άντίσταση αύτή που δημιουργεῖ έναν τε-

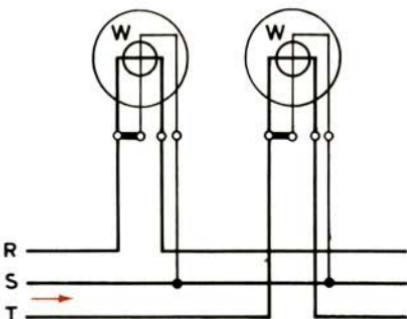
χηντό ούδέτερο κόμβο είναι συνδεσμολογημένη όπως φαίνεται στό σχήμα 10.5β. Ή ισχύς πού παρέχει τό δίκτυο είναι πάλι:

$$P = 3 \cdot P_1$$

Στά βαττόμετρα πού χρησιμοποιούνται στίς παραπάνω δύο περιπτώσεις, όρισμένες φορές ή κλίμακα είναι έτσι βαθμολογημένη, ώστε νά δείχνει άπευθείας τήν ισχύ P , δηλαδή νά μή χρειάζεται πολλαπλασιασμός τής ένδείξεως έπι τρία.

Στά τριφασικά συστήματα τριών άγωγών όταν ή φόρτιση δέν είναι συμμετρική, χρειαζόμαστε δύο βαττόμετρα γιά τή μέτρηση τής ισχύος, Ή συνδεσμολογία τών βαττομέτρων στήν περίπτωση αύτή, πού όνομάζεται και συνδεσμολογία Aron, φαίνεται στό σχήμα 10.5γ. Έδω, ή δλική ισχύς P πού περνά άπο τήν τριφασική γραμμή, δίνεται άπο τό άθροισμα τών ένδείξεων P_1 , και P_2 τών δύο βαττομέτρων.

$$P = P_1 + P_2$$



Σχ. 10.5γ.
Συνδεσμολογία Aron.

Στή συνδεσμολογία Aron, όταν έχομε έπαγωγική φόρτιση μέ συντελεστή ισχύος τού καταναλωτή συνφ = 0,5, ένδειξη δίνει μόνο τό ένα βαττόμετρο (π.χ. P_1) ένω τού άλλου ή ένδειξη μηδενίζεται ($P_2 = 0$). Στήν περίπτωση αύτή είναι:

$$P = P_1$$

"Αν τό συνφ τού καταναλωτή μέ έπαγωγική φόρτιση γίνει μικρότερο άπο 0,5 στό δεύτερο βαττόμετρο δείκτης τείνει νά κινηθεῖ άναποδα. Τότε πρέπει νά άναστρέψουμε τή σύνδεση τού πηνίου τάσεως τού βαττομέτρου αύτοῦ γιά νά δείξει ένδειξη (P_2). Τώρα είναι:

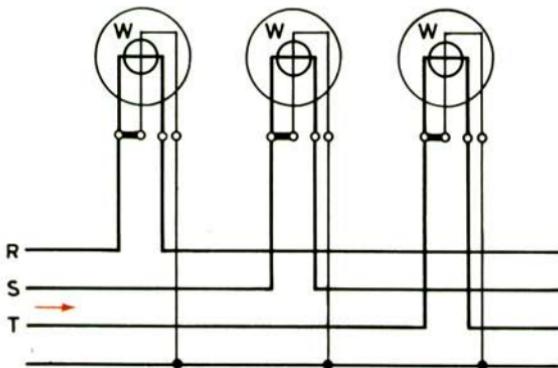
$$P = P_1 - P_2$$

Γιά νά άποφεύγεται ή άθροιση ή ή άφαίρεση τών ισχύων δύο όργα-

νων ύπάρχουν κατασκευές βαττομέτρων πού περιλαμβάνουν σέ ένα δργανό έπάνω στόν ίδιο άξονα τά στοιχεία δύο όμοιων βαττομέτρων. "Ενα τέτοιο βαττόμετρο δείχνει μόνο του τήν ίσχυ ένός τριφασικού συστήματος τριών άγωγών.

"Οταν τό τριφασικό σύστημα πού θέλομε νά μετρήσομε τήν ίσχυ του είναι τεσσάρων άγωγών και έχει άσύμμετρη φόρτιση πρέπει νά χρησιμοποιήσομε τρία μονοφασικά βαττόμετρα συνδεσμολογημένα δημοσίως δείχνει τό σχήμα 10.5δ. Έδω ή ίσχυς πού περνά μέσα από τή γραμμή είναι ίση μέ τό άθροισμα τών ένδειξων τών τριών βαττομέτρων.

Σημειώνομε τέλος ότι καί γιά τήν περίπτωση αύτή ύπάρχουν τριφασικά βαττόμετρα πού έχουν έπάνω στόν ίδιο άξονα τά στοιχεία τριών μονοφασικών βαττομέτρων. Ή ένδειξή τους δίνει άπ' εύθειας δλη τήν ίσχυ πού περνά από τό τριφασικό σύστημα.

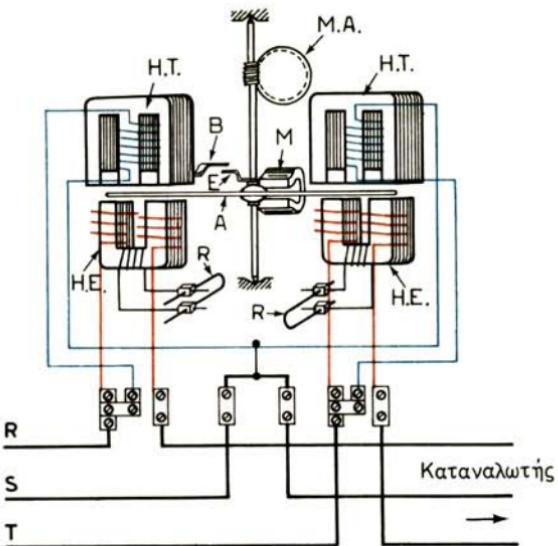


Σχ. 10.5δ.

10.6 Μέτρηση τής ένέργειας στό τριφασικό ρεῦμα.

Γιά τή μέτρηση τής ήλεκτρικής ένέργειας πού άπορροφα ένας τριφασικός καταναλωτής χρησιμοποιούμε **τριφασικούς έπαγωγικούς μετρητές**. Ή άρχη τής λειτουργίας τους είναι ή ίδια μέ τήν άρχη λειτουργίας τών μονοφασικών έπαγωγικών μετρητών πού περιγράψαμε στήν παράγραφο 7.11.2. Στήν κατασκευή τους διαφέρουν στό ότι έχουν περισσότερα από ένα ζεύγη ήλεκτρομαγνητών τάσεως καί έντασεως, ώστε νά «μετρούν» τήν διλκή ένέργεια πού περνά από τό τριφασικό σύστημα σύμφωνα καί μέ οσα άναφέραμε στήν προηγούμενη παράγραφο.

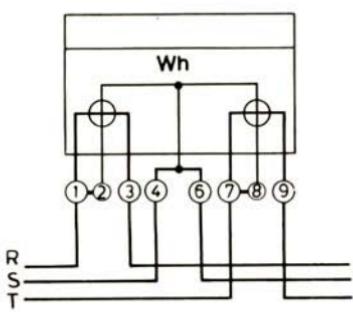
Γιά τή μέτρηση τής ήλεκτρικής ένέργειας σέ σύστημα τριών άγωγών, δηλαδή σέ τριφασικό σύστημα χωρίς ούδέτερο, δι μετρητής έχει δύο ζεύγη ήλεκτρομαγνητών τάσεως καί έντασεως, τά πηνία τών δημοσίων είναι σέ συνδεσμολογία Aron (παράγρ. 10.5). Στήν κατασκευή τού μετρητή πού δείχνει τό σχήμα 10.6α τά δύο αύτά ζεύγη τών ήλε-



Σχ. 10.6α.

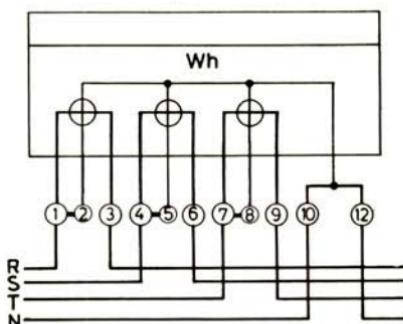
Έπαγωγικός μετρητής γιά τριφασικό σύστημα τριών άγωγών.

H.T. = Ήλεκτρομαγνήτης τάσεως. H.E. = Ήλεκτρομαγνήτης έντασεως. R = Αντίσταση διορθώσεως σφάλματος. A = Δίσκος άλουμινιού. M = Μόνιμος μαγνήτης. B.E = Σιδερένια έλασματα. M.A. = Μηχανισμός άπαριθμητῆ.



Σχ. 10.6β.

Τριφασικός μετρητής τριών άγωγών.



Σχ. 10.6γ.

Τριφασικός μετρητής τεσσάρων άγωγών.

κτρομαγνητῶν δροῦν στόν ἴδιο δίσκο. Ύπάρχουν ἄλλες κατασκευές τέτοιων μετρητῶν μέ δύο δίσκους ἐπάνω στόν ἴδιο ἄξονα. Τότε σέ κάθε δίσκο δρᾶ ἔνα ζεῦγος ήλεκτρομαγνητῶν. Οἱ λοιπές λεπτομέρειες τῆς κατασκευῆς ἔχουν ἔξηγηθεῖ στούς μονοφασικούς ἐπαγωγικούς μετρητές (παράγρ. 7.11.2). Στό σχῆμα 10.6β φαίνεται ἡ συμβολική παράσταση καὶ ἡ συνδεσμολογία ἐνός ἐπαγωγικοῦ μετρητῆς γιά τριφασικό σύστημα τριών άγωγών.

"Οταν τό τριφασικό σύστημα είναι μέ 4 άγωγούς διάπλατους μετρητής έχει 3 ζεύγη ήλεκτρομαγνητών πού δρούν είτε σε δύο είτε σε τρεις δίσκους πού όμως είναι στόν ίδιο αξονα. Τό σχήμα 10.6γ δείχνει τή συμβολική παράσταση καί τή συνδεσμολογία ένός τέτοιου μετρητή.

10.7 Έρωτησεις.

1. Νά άναφέρεις τά στοιχεία άπό τά διόπτηα άποτελείται τό κύκλωμα πού τροφοδοτεί τούς περιστρεφόμενους μαγνητικούς πόλους μονοφασικής γεννήτριας έναλλασσόμενου ρεύματος, άρχιζοντας άπό τό θετικό πόλο τής πηγῆς καί καταλήγοντας στόν άρνητικό της πόλο.
2. Νά βρεις μέ τόν κανόνα τού δεξιού χεριού τή φορά τού ρεύματος στούς άγωγούς τής γεννήτριας τού σχήματος 10.1β τή χρονική στιγμή πού δείχνει τό σχήμα αύτό.
3. Πόσων άγωγών είναι τό δίκτυο πού τροφοδοτείται άπό μιά μονοφασική γεννήτρια; Πώς δύνομάζονται τά φορτία πού τροφοδοτούνται άπό ένα τέτοιο δίκτυο;
4. Σχεδίασε άπό μνήμης τή συνδεσμολογία τών τριών φάσεων τριφασικής γεννήτριας μέ τούς άκροδέκτες τής μηχανής καί σημειώσε τά σύμβολα μέ τά διόπτηα συνήθως συμβολίζομε τούς άκροδέκτες αύτούς.
5. Παρουσιάζουν διαφορά φάσεως οι ήλεκτρεγερτικές δυνάμεις μιᾶς τριφασικής γεννήτριας; Πόση καί γιατί; Σχεδίασε τίς σχετικές καμπύλες.
6. Πότε λέμε διά έχομε συμμετρική φόρτιση μιᾶς τριφασικής γεννήτριας;
7. Στή συμμετρική φόρτιση μέ τί ίσοῦται τό άθροισμα τών στιγμιάιων τιμῶν τών έντασεων τών τριών ρευμάτων τριφασικού συστήματος;
8. Πόσοι άγωγοι είναι άπαραίτητοι γιά τήν τροφοδότηση τής καταναλώσεως στά άνεξάρτητα τριφασικά συστήματα; Γιατί χρησιμοποιούμε τά άλληλένδετα τριφασικά συστήματα;
9. Ποιά άλληλένδετα τριφασικά συστήματα γνωρίζεις; Πόσοι άγωγοι χρειάζονται γιά τήν τροφοδότηση τής καταναλώσεως σέ κάθε ένα άπό αύτά;
10. Στή σύνδεση τών φάσεων σέ άστέρα ποιά σχέση συνδέει τή φασική τάση μέ τήν πολική τάση;
11. Ποιάς τάσεως είναι τό άστεροειδές τριφασικό σύστημα χαμηλής τάσεως πού χρησιμοποιεί ή ΔΕΗ γιά τή διανομή τού ρεύματος;
12. Στή σύνδεση τών τριών φάσεων σέ άστέρα ποιά σχέση συνδέει τίς φασικές έντασεις μέ τίς έντασεις γραμμής όταν ή φόρτιση είναι συμμετρική;
13. Στήν προηγούμενη περίπτωση μέ τί ίσοῦται τό διανυσματικό άθροισμα τών τριών έντασεων γραμμής; Σχεδίασε το.
14. Γιατί δ ούδετερος άγωγός σέ ένα τριφασικό σύστημα μέ τέσσερις άγωγούς μπορεί νά έχει διατομή μικρότερη άπό τή διατομή τών άγωγών φάσεως;
15. Στή σύνδεση τών φάσεων σέ τρίγωνο ποιά σχέση συνδέει τή φασική τάση μέ τήν πολική τάση;
16. Στή σύνδεση τών φάσεων σέ τρίγωνο ποιά σχέση συνδέει τή φασική ένταση μέ τίς έντασεις γραμμής όταν ή φόρτιση είναι συμμετρική;
17. Πώς συνδέονται σέ ένα τριφασικό δίκτυο μέ τέσσερις άγωγούς οι μονοφασικοί καταναλωτές; Τί κάνομε όταν οι καταναλωτές αύτοί είναι πολλοί;
18. Τί έννοούμε όταν γράφομε διά ένας τριφασικός κινητήρας είναι τάσεως; α) 220/380 V. β) 380 V. γ) 380 V Δ;
19. Μέ ποιούς τρόπους είναι δυνατό νά συνδεσμολογήσουμε τά θερμαντικά στοιχεία ένός ήλεκτρικού φούρνου γιά νά τόν τροφοδοτήσουμε άπό ένα τριφασικό δίκτυο;
20. Τί έπιτυχγάνωμε καί πώς μέ τή χρησιμοποίηση τού διακόπτη άστέρα - τριγώνου;
21. Ποιά σχέση μάς δίνει τήν ίσχυ πού παρέχεται σέ έναν καταναλωτή άπό ένα τριφασικό σύστημα, στήν περίπτωση συμμετρικής φορτίσεως;

22. Γιά νά μετρήσομε τήν ίσχυ σέ ἔνα τριφασικό σύστημα μέ τέσσερις άγωγούς και συμμετρική φόρτιση πόσα βαττόμετρα χρειαζόμαστε; Δώσε τή σχετική συνδεσμολογία.
23. Σχεδίασε τή συνδεσμολογία Αρον δύο βαττομέτρων γιά τή μέτρηση τῆς ίσχύος σέ ἔνα τριφασικό σύστημα τριών άγωγών.
24. Πῶς μετρᾶμε τήν ίσχυ σέ ἔνα τριφασικό σύστημα μέ τέσσερις άγωγούς και μέ φόρτιση πού δέν είναι συμμετρική;
25. Τί μετρητές χρησιμοποιούμε γιά τή μέτρηση τῆς ήλεκτρικῆς ένέργειας στά τριφασικά συστήματα;

10.8 Προβλήματα.

1. Έπάνω σέ χαρτί μιλλιμετρέ νά σχεδιασθοῦν μέ άκριβεια (σχ. 7.18) οι τρεῖς καμπύλες πού παριστάνουν τίς μεταβολές τῶν ήλεκτρεγερτικῶν δυνάμεων τριφασικῆς γεννήτριας. Τά σημεῖα τῶν καμπυλῶν θά καθορισθοῦν άνά 30° καί ή μέγιστη τιμή τῶν ήλεκτρεγερτικῶν δυνάμεων νά ληφθεῖ $E_m = 100 \text{ V}$, μέ κλίμακες $30^\circ = 10 \text{ mm}$ καί $100 \text{ V} = 50 \text{ mm}$.
2. Σέ ἔνα άστεροειδές τριφασικό σύστημα μέ τέσσερις άγωγούς ή πολική τάση είναι 240 V . Πόση είναι ή τάση μεταξύ καθενός άγωγοῦ φάσεως καί τοῦ ούδετέρου άγωγοῦ;

Απάντ. $138,7 \text{ V}$

3. Σέ άστεροειδές τριφασικό σύστημα μέ τέσσερις άγωγούς ή φασική τάση είναι 380 V .
 - α) Πόση είναι ή τάση πού έπικρατεῖ μεταξύ δύο άγωγών φάσεως;
 - β) Πῶς γράφεται ή τάση τοῦ συστήματος αύτοῦ;

Απάντ. α) $657,4 \text{ V} \simeq 660 \text{ V}$, β) $380/660 \text{ V}$

4. Σέ ἔνα άστεροειδές τριφασικό σύστημα μέ συμμετρική φόρτιση ή ἔνταση γραμμῆς είναι 50 A . Πόση είναι ή φασική ἔνταση τοῦ συστήματος;

Απάντ. 50 A

5. Σέ ἔνα άστεροειδές τριφασικό σύστημα μέ τέσσερις άγωγούς οι ἔντάσεις γραμμῆς είναι $I_R = I_S = I_T = 10 \text{ A}$ (συμμετρική φόρτιση). Νά σχεδιασθεῖ τό διανυσματικό διάγραμμα τῶν τριών ἔντάσεων καί νά άποδειχθεῖ ότι ή ἔνταση πού περνᾶ μέσα άπό τόν ούδετέρο άγωγό είναι ίση μέ μηδέν.
6. Σέ ἔνα άστεροειδές τριφασικό σύστημα μέ ούδετέρο οι ἔντάσεις γραμμῆς είναι $I_R = 100 \text{ A}$ σέ φάση μέ τήν τάση U_{Φ_1} , $I_S = 75 \text{ A}$ σέ έπιπορεία 30° ώς πρός τήν U_{Φ_2} , καί $I_T = 100 \text{ A}$ σέ έπιπορεία 30° ώς πρός τήν U_{Φ_3} . Ζητεῖται ή ἔνταση I_N τοῦ ρεύματος μέσα άπό τόν ούδετέρο άγωγό (Γ ηπόδειξη: νά κατασκευασθεῖ μέ κλίμακα τό δια-

νυσματικό διάγραμμα τῶν ἐντάσεων).

Απάντ. 71 A

7. Σέ ἔνα τριφασικό σύστημα μέ σύνδεση τῶν τριῶν φάσεων σέ τριγωνο καί συμμετρική φόρτιση ἡ πολική τάση εἶναι ἵση μέ 500 V καί ἡ ἐνταση γραμμῆς 173 A. Πόση εἶναι ἡ φασική τάση καί πόση ἡ φασική ἐνταση;

Απάντ. 500 V, 100 A

8. Τρεῖς ὅμοιες ἀντιστάσεις μέ $R = 220 \Omega$ ἡ καθεμία συνδέονται μεταξύ τους σέ ἀστέρα καί τροφοδοτοῦνται ἀπό τριφασικό δίκτυο πολικῆς τάσεως 380 V. Νά βρεθοῦν:
 α) Ἡ τάση πού ἐπικρατεῖ στά ἄκρα κάθε ἀντιστάσεως.
 β) Ἡ ἐνταση τοῦ ρεύματος γραμμῆς.
 γ) Ἡ πραγματική ίσχυς πού ἀπορροφᾶ δλο τό σύστημα τῶν ἀντιστάσεων.

Απάντ. α) 220 V, β) 1 A, γ) 657 W

9. Τρεῖς ὅμοιες ἀντιστάσεις μέ $R = 38 \Omega$ ἡ καθεμία συνδέονται μεταξύ τους σέ τρίγωνο καί τροφοδοτοῦνται ἀπό τριφασικό δίκτυο πολικῆς τάσεως 380 V. Νά βρεθοῦν:
 α) Ἡ ἐνταση τοῦ ρεύματος πού περνᾶ μέσα ἀπό κάθε ἀντίσταση.
 β) Ἡ ἐνταση τοῦ ρεύματος στούς ἀγωγούς τροφοδοτήσεως.
 γ) Ἡ πραγματική ίσχυς πού καταναλώνει τό σύστημα τῶν τριῶν ἀντιστάσεων.

Απάντ. α) 10 A, β) 17,3 A, γ) 11.373 W

10. "Ενας τριφασικός κινητήρας τροφοδοτεῖται ἀπό δίκτυο πολικῆς τάσεως 380 V, 50 Hz. "Αν ὁ συντελεστής ίσχυος τοῦ κινητήρα εἶναι 0,9 καί ὁ βαθμός ἀποδόσεώς του 0,90 νά βρεθοῦν, ὅταν ὁ κινητήρας δίνει στόν ἀξονά του ίσχυ 9 kW.
 α) Ἡ ἐνταση τοῦ ρεύματος γραμμῆς τοῦ δικτύου πού τροφοδοτεῖ τόν κινητήρα.
 β) Ἡ τάση μεταξύ τῶν ἄκρων κάθε φάσεως τοῦ τυλίγματος τοῦ κινητήρα, ἂν οἱ τρεῖς φάσεις εἶναι συνδεμένες σέ ἀστέρα.
 γ) Ἡ ἐνταση πού περνᾶ μέσα ἀπό κάθε φάση τοῦ κινητήρα.

Απάντ. α) 16,9 A, β) 220 V, γ) 16,9 A

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΜΕΡΟΣ ΠΡΩΤΟ

ΣΥΝΕΧΕΣ ΡΕΥΜΑ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΠΡΩΤΟ

'Ηλεκτρικά φορτία και τάσεις

1.1	'Ηλεκτριση τῶν σωμάτων	1
1.2	'Ηλεκτρόνια και πρωτόνια	2
1.3	'Ελεύθερα ήλεκτρόνια - ίόντα	4
1.4	Ποσότητα ήλεκτρισμοῦ	4
1.5	Σώματα άγωγιμα και μονωτικά	6
1.6	'Ηλεκτρική τάση	7
1.7	Μέτρηση τῆς ήλεκτρικῆς τάσεως	8
1.8	'Ηλεκτρικά στοιχεῖα	10
1.9	'Ηλεκτρεγερτική δύναμη πηγῆς	11
1.10	'Ηλεκτρεγερτικές πηγές	12
1.10.1	1.10.1 'Ηλεκτροχημικά στοιχεῖα Λεκλανσέ (Leclanche)	12
1.10.2	1.10.2 Γεννήτριες ήλεκτρικοῦ ρεύματος	13
1.10.3	1.10.3 Θερμοηλεκτρικά στοιχεῖα	14
1.10.4	1.10.4 Φωτοηλεκτρικά στοιχεῖα	15
1.10.5	1.10.5 Πιεζοηλεκτρικά στοιχεῖα	15
1.11	1.11 'Ερωτήσεις	16

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΔΕΥΤΕΡΟ

'Ηλεκτρικό ρεῦμα και ήλεκτρική ἀντίσταση

2.1	'Η φύση τοῦ ήλεκτρικοῦ ρεύματος	17
2.2	Συνεχές ήλεκτρικό ρεῦμα	18
2.3	'Ηλεκτρικοί καταναλωτές	20
2.4	'Ενταση ήλεκτρικοῦ ρεύματος	21
2.5	Μέτρηση τῆς ἐντάσεως ρεύματος	23
2.6	'Η ήλεκτρική ἀντίσταση τῶν σωμάτων	24
2.7	Μονάδα τῆς ήλεκτρικῆς ἀντιστάσεως	26
2.8	'Η ήλεκτρική ἀγωγιμότητα	27
2.9	'Η ήλεκτρική ἀντίσταση τῶν συρμάτων	27
2.9.1	2.9.1 Ειδική ἀντίσταση	27
2.9.2	2.9.2 'Υπολογισμός τῆς ἀντιστάσεως σύρματος	29
2.9.3	2.9.3 Ειδική ἀγωγιμότητα	30
2.9.4	2.9.4 Μεταβολὴ τῆς ἀντιστάσεως με τή θερμοκρασία	31

2.10 Ἐρωτήσεις	33
2.11 Προβλήματα	33

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΡΙΤΟ

Τό ήλεκτρικό κύκλωμα καί οι νόμοι τοῦ ρεύματος

3.1 Ὁ νόμος τοῦ Ὠμ	35
3.2 Διακλαδώσεις τοῦ ήλεκτρικοῦ ρεύματος	37
3.3 Παράλληλη σύνδεση καταναλωτῶν	41
3.4 Παράλληλη σύνδεση δύο ἀντιστάσεων	44
3.4.1 Παράλληλη σύνδεση δύο καταναλωτῶν	44
3.4.2 Ἀντίσταση διακλαδώσεως ἀμπερομέτρου	45
3.5 Σύνδεση καταναλωτῶν σὲ σειρά	47
3.5.1 Πρώτη ἴδιότητα	47
3.5.2 Δεύτερη ἴδιότητα	48
3.5.3 Τρίτη ἴδιότητα	48
3.6 Πτώση τάσεως. Ρυθμιστικές ἀντιστάσεις σειρᾶς	49
3.6.1 Πτώση τάσεως	49
3.6.2 Ρύθμιση τῆς ἐντάσεως	53
3.6.3 Ἀντίσταση σειρᾶς βολτομέτρου	57
3.7 Μικτή σύνδεση καταναλωτῶν	58
3.7.1 Μικτά κυκλώματα	58
3.7.2 Ρύθμιση τῆς τάσεως	61
3.8 Τό κλειστό κύκλωμα καί ὁ νόμος τοῦ Ὠμ	63
3.9 Σύνδεση πηγῶν σὲ σειρά	66
3.10 Συσσωρευτές μολύβδου	68
3.11 Ἀντιηλεκτρεγερτική δύναμη	73
3.12 Παράλληλη σύνδεση πηγῶν	77
3.13 Ἐρωτήσεις	80
3.14 Προβλήματα	81

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΕΤΑΡΤΟ

'Ισχύς, ἐνέργεια καί θερμικά ἀποτελέσματα τοῦ ήλεκτρικοῦ ρεύματος

4.1 Γενικά	85
4.2 Ἰσχύς τοῦ ήλεκτρικοῦ ρεύματος	86
4.3 Βαθμός ἀπόδοσεως μηχανήματος	91
4.4 Ἐνέργεια τοῦ ήλεκτρικοῦ ρεύματος	94
4.5 Μέτρηση τῆς ήλεκτρικῆς ἰσχύος καί ἐνέργειας	95
4.5.1 Μέτρηση τῆς ἰσχύος	95
4.5.2 Μέτρηση τῆς ἐνέργειας	96
4.6 Θερμικά ἀποτελέσματα τοῦ ήλεκτρικοῦ ρεύματος	99
4.6.1 Νόμος τοῦ Joule	99
4.6.2 Ἡλεκτρική θέρμανση τοῦ νεροῦ	102
4.7 Οἱ ἀγωγοὶ τῶν ἑσωτερικῶν ήλεκτρικῶν ἐγκαταστάσεων	105
4.7.1 Θέρμανση τῶν ἀγωγῶν	105
4.7.2 Πτώση τάσεως στοὺς ἀγωγούς	108
4.7.3 Προστασία τῶν γραμμῶν ἀπὸ ὑπερεντάσεις	110

4.8 Έρωτήσεις	114
4.9 Προβλήματα	115

ΜΕΡΟΣ ΔΕΥΤΕΡΟ

ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΣΜΟΣ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΠΕΠΤΟ

Μαγνητικά άποτελέσματα τοῦ ήλεκτρικοῦ ρεύματος

5.1 Μαγνήτες	118
5.2 Μαγνητικό πεδίο	124
5.3 Μαγνητικό πεδίο ειδύλγραμμου ρευματοφόρου άγωγοῦ	126
5.4 Μαγνητικό πεδίο πηνίου	129
5.5 Μαγνητική έπαγωγή καὶ μαγνητική ροή	132
5.5.1 Μαγνητική έπαγωγή	132
5.5.2 Μαγνητική ροή	133
5.6 Πηνίο σέ σχῆμα δακτυλίου	135
5.7 Διάρρευμα καὶ ἐνταση μαγνητικοῦ πεδίου	137
5.7.1 Διάρρευμα	137
5.7.2 Ἐνταση μαγνητικοῦ πεδίου	138
5.8 Ἡ μαγνητική διαπερατότητα τῶν όλικῶν	140
5.8.1 Μαγνητική διαπερατότητα	140
5.8.2 Καμπύλες μαγνητίσεως όλικῶν	141
5.9 Μαγνητική όστερηση	143
5.10 Τά μαγνητικά κυκλώματα	146
5.11 Μαγνητική σκέδαση	151
5.12 Ἡλεκτρομαγνήτες	152
5.12.1 Ἡλεκτρομαγνήτες σέ σχῆμα πετάλου	153
5.12.2 Ἡλεκτρικά κουδούνια	155
5.12.3 Ἡλεκτρονόμοι	156
5.13 Έρωτήσεις	158
5.14 Προβλήματα	159

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΕΚΤΟ

Ἐπίδραση τῶν μαγνητικῶν πεδίων στά ήλεκτρικά κυκλώματα

6.1 Γενικά	162
6.2 Ἡλεκτρομαγνητική έπαγωγή σέ κινούμενο άγωγό	163
6.3 Ἡ ἀρχή λειτουργίας τῶν γεννητριῶν	165
6.4 Ἡλεκτρομαγνητική έπαγωγή σέ κύκλωμα	170
6.5 Ἡλεκτρομαγνητική έπαγωγή χωρίς κίνηση	173
6.6 Ἡ τιμή τῆς ήλεκτρεγερτικῆς δυνάμεως ἀπό έπαγωγή	176
6.7 Ἡ ἀρχή τῆς λειτουργίας τῶν μετασχηματιστῶν	177
6.8 Δινορρεύματα	180
6.9 Αὐτεπαγωγή	183
6.10 Άποτελέσματα τῆς αὐτεπαγωγῆς	185
6.10.1 Τροφοδότηση ήλεκτρικοῦ κυκλώματος	185
6.10.2 Βραχυκύλωση πηνίου	187

6.10.3 Διακοπή τροφοδοτήσεως κυκλώματος	188
6.11 Δύναμη άσκοπου μεν σέ ρευματοφόρο άγωγό	191
6.12 'Η δρχή λειτουργίας τῶν ηλεκτροκινητήρων	193
6.13 'Ηλεκτρομαγνητικές δυνάμεις και έπαγωγή	196
6.13.1 'Αντιηλεκτρεγερτική δύναμη κινητήρα	196
6.13.2 Δυνάμεις πεδήσεως στίς γεννήτριες	197
6.14 Τά δργανα μετρήσεως μέ στρεπτό πηνίο	198
6.15 Δυνάμεις μεταξύ ρευματοφόρων άγωγῶν	200
6.16 'Ηλεκτροδυναμικά δργανα μετρήσεως	201
6.17 'Ερωτήσεις	203
6.18 Προβλήματα	205

ΜΕΡΟΣ ΤΡΙΤΟ ΕΝΑΛΛΑΣΣΟΜΕΝΑ ΡΕΥΜΑΤΑ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΕΒΔΟΜΟ Γενικά γιά τό έναλλασσόμενο ρεύμα

7.1 'Ημιτονικό έναλλασσόμενο ρεύμα	208
7.1.1 'Η μορφή τῆς καμπύλης	208
7.1.2 Κύκλος, περίοδος, συχνότητα	210
7.1.3 Χάραξη ήμιτονικής καμπύλης	211
7.2 Διανυσματική παράσταση τῶν έναλλασσομένων ρευμάτων	212
7.3 'Άθροιση έναλλασσομένων μεγεθῶν	214
7.4 'Ενεργός τιμή	219
7.5 Βολτόμετρα και άμπερόμετρα έναλλασσόμενου ρεύματος	222
7.5.1 'Οργανα μέ στρεπτό πηνίο	222
7.5.2 'Ηλεκτροδυναμικά δργανα	223
7.5.3 'Οργανα μέ κινητό σίδηρο	223
7.6 Συχνόμετρα	225
7.7 'Η ίσχυς στό έναλλασσόμενο ρεύμα	227
7.7.1 Στιγμαία τιμή τῆς ίσχυος	227
7.7.2 'Η ίσχυς δταν τάση και ένταση είναι σέ φάση	227
7.7.3 'Η ίσχυς δταν υπάρχει διαφορά φάσεως μεταξύ τάσεως και έντασεως	229
7.8 Τό συνφ ώς συντελεστής ίσχυος	230
7.9 Μέτρηση τοῦ συντελεστῆ ίσχυος	234
7.10 Πραγματική, φαινομένη και δεργη ίσχυς	237
7.11 Μετρητές ηλεκτρικής ένέργειας	239
7.11.1 Βαττομετρικοί μετρητές	239
7.11.2 'Έπαγωγικοί μετρητές	240
7.12 'Ερωτήσεις	242
7.13 Προβλήματα	243

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΟΓΔΟΟ Πυκνωτές

8.1 Τί είναι ό πυκνωτής	246
-------------------------	-----

8.2 Φόρτιση και έκφόρτιση πυκνωτή	247
8.3 Χωρητικότητα	249
8.3.1 Χωρητικότητα πυκνωτή	249
8.3.2 Χωρητικότητα έπιπλεον πυκνωτή	251
8.3.3 Ή χωρητικότητα στίς ήλεκτροτεχνικές κατασκευές	252
8.4 Ήλεκτρικό πεδίο και ήλεκτροστατική ένέργεια	253
8.5 Τά διηλεκτρικά	256
8.6 Σύνδεση πυκνωτών μεταξύ τους	258
8.6.1 Παράλληλη σύνδεση πυκνωτών	258
8.6.2 Σύνδεση πυκνωτών σέ σειρά	259
8.7 Είδη πυκνωτών	261
8.7.1 Πυκνωτές χαρτιού	262
8.7.2 Πυκνωτές έπιπλεων φύλλων	262
8.7.3 Ήλεκτρολυτικοί πυκνωτές	264
8.8 Έρωτήσεις	266
8.9 Προβλήματα	266

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΕΝΑΤΟ

Κυκλώματα έναλλασσόμενου ρεύματος

9.1 Άπλοι καταναλωτές	268
9.2 Κύκλωμα μέ δώμικό καταναλωτή	268
9.3 Κύκλωμα μέ έπαγωγικό καταναλωτή	270
9.4 Κύκλωμα μέ χωρητικό καταναλωτή	273
9.5 Διαχωρισμός συνεχούς άπό έναλλασσόμενο ρεύμα	276
9.6 Σύνθετοι καταναλωτές	277
9.7 Καταναλωτής μέ R και L σέ σειρά	277
9.8 Καταναλωτής μέ R και C σέ σειρά	280
9.9 Καταναλωτής μέ R, L, C, σέ σειρά	282
9.10 Συντονισμός σειράς	286
9.11 Καταναλωτής μέ R και L παράλληλα μέ C	288
9.12 Βελτίωση τοῦ συντελεστῆ ίσχυός	290
9.13 Έρωτήσεις	293
9.14 Προβλήματα	295

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΔΕΚΑΤΟ

Τριφασικά ρεύματα

10.1 Μονοφασικό έναλλασσόμενο ρεύμα	299
10.2 Παραγωγή τριφασικού ρεύματος	301
10.3 Σύνδεση τῶν τριῶν φάσεων μεταξύ τους	304
10.3.1 Ανεξάρτητο τριφασικό σύστημα	304
10.3.2 Σύνδεση τῶν φάσεων σέ διστάρα	305
10.3.3 Σύνδεση τῶν φάσεων σέ τρίγωνο	309
10.4 Σύνδεση καταναλωτῶν σέ τριφασικό δίκτυο	310
10.5 Ή ίσχυς στό τριφασικό ρεύμα	315
10.5.1 Ύπολογισμός τῆς ίσχύος	315
10.5.2 Μέτρηση τῆς τριφασικῆς ίσχύος	316

10.6 Μέτρηση της ένέργειας στό τριφασικό ρεύμα	318
10.7 Έρωτήσεις	320
10.8 Προβλήματα	321