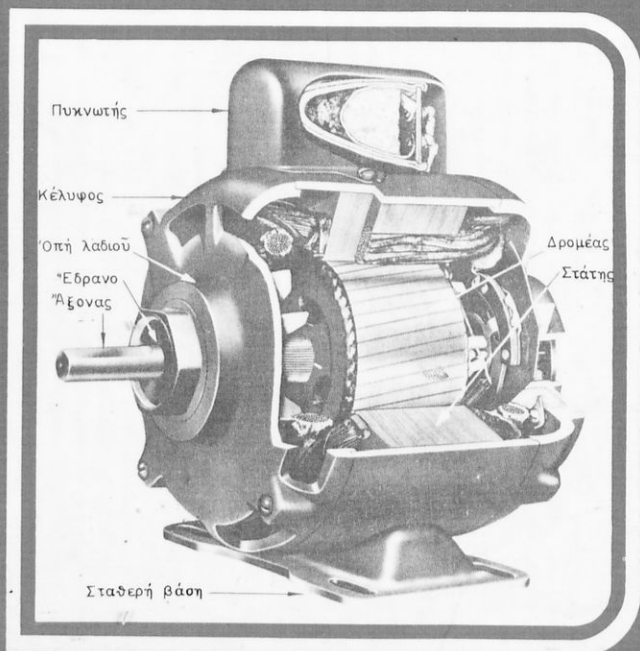


ΗΛΕΚΤΡΙΚΕΣ ΜΗΧΑΝΕΣ

Σπυρ. Ν. Βασιλακόπουλου

ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΟΥ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΟΥ Ε.Μ.Π.





1954

ΙΔΡΥΜΑ ΕΥΓΕΝΙΔΟΥ
ΧΡΥΣΟΥΝ ΜΕΤΑΛΛΙΟΝ ΑΚΑΔΗΜΙΑΣ ΑΘΗΝΩΝ

Ψηφιοποιήθηκε από το Ινστιτούτο Εκπαιδευτικής Πολιτικής





ΙΔΡΥΜΑ ΕΥΡΕΝΙΑΣ
ΕΡΕΥΝΑ ΜΕΤΑΦΡΑΣΗ ΚΑΙ ΔΙΕΥΚΛΙΑΣΗ



Ε Β
Βασιλακόπουλος, Σπυρίδων Ν

Γ' ΤΑΞΗ ΤΕΧΝΙΚΟΥ ΛΥΚΕΙΟΥ

ΗΛΕΚΤΡΙΚΕΣ ΜΗΧΑΝΕΣ

ΣΠΥΡΙΔΩΝΟΣ Ν. ΒΑΣΙΛΑΚΟΠΟΥΛΟΥ

ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΟΥ - ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΟΥ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΟΥΧΟΥ ΕΜΠ

ΑΘΗΝΑ
1979



002
418
ET2B
2176



ΗΛΕΚΤΡΙΚΕΣ ΜΗΧΑΝΕΣ

ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΣ ΚΑΙ ΕΚΔΟΣΕΙΣ
ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΚΑ ΕΡΓΑΤΕΙΑ
ΑΘΗΝΑΙΩΝ

ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ ΤΗΣ ΒΟΥΛΗΣ	
ΕΔΩΡΗΣΑΤΟ	
<i>Δρ. Εὐχρίδης</i>	
Αύξ. Αριθ. Είσαγ.	1836 Έτος 1980

ΠΡΟΛΟΓΟΣ ΙΔΡΥΜΑΤΟΣ ΕΥΓΕΝΙΔΟΥ

Ὁ Εὐγένιος Εὐγενίδης, ὁ ἰδρυτὴς καὶ χορηγὸς τοῦ «Ἰδρύματος Εὐγενίδου», πολὺ νωρὶς πρόβλεψε καὶ σχημάτισε τὴν πεποίθησιν ὅτι ἡ ἄρτια κατάρτιση τῶν τεχνικῶν μας, σέ συνδυασμὸ μὲ τὴν ἐθνικὴ ἀγωγὴν, θὰ ἦταν ἀναγκαῖος καὶ ἀποφασιστικός παράγοντας τῆς προόδου τοῦ ἔθνους μας.

Τὴν πεποίθησίν του αὐτὴ ὁ Εὐγενίδης ἐκδήλωσε μὲ τὴ γενναιοφρόνα πράξιν εὐεργεσίας, νὰ κληροδοτήσῃ σεβαστὸ ποσὸ γιὰ τὴ σύστασιν Ἰδρύματος ποῦ θὰ εἶχε σκοπὸ νὰ συμβάλλῃ στὴν τεχνικὴ ἐκπαίδευσιν τῶν νέων τῆς Ἑλλάδας.

Ἐστὶ τὸ Φεβρουάριον τοῦ 1956 συστήθηκε τὸ «Ἰδρυμα Εὐγενίδου», τοῦ ὁποίου τὴν διοίκησιν ἀνέλαβε ἡ ἀδελφὴ του κυρία Μαριάνθη Σίμου, σύμφωνα μὲ τὴν ἐπιθυμίαν τοῦ διαθέτη.

Ἀπὸ τὸ 1956 μέχρι σήμερα ἡ συμβολὴ τοῦ Ἰδρύματος στὴν τεχνικὴ ἐκπαίδευσιν πραγματοποιεῖται μὲ διάφορες δραστηριότητες. Ὅμως ἀπ' αὐτές ἡ σημαντικότερη, ποῦ κρίθηκε ἀπὸ τὴν ἀρχὴν ὡς πρώτης ἀνάγκης, εἶναι ἡ ἐκδόσις βιβλίων γιὰ τοὺς μαθητὲς τῶν τεχνικῶν σχολῶν.

Μέχρι σήμερα ἐκδόθηκαν 150 τόμοι βιβλίων, ποῦ ἔχουν διατεθεῖ σέ πολλὰ ἑκατομύρια τεύχη, καὶ καλύπτουν ἀνάγκες τῶν Κατώτερων καὶ Μέσων Τεχνικῶν Σχολῶν τοῦ Ὑπ. Παιδείας, τῶν Σχολῶν τοῦ Ὁργανισμοῦ Ἀπασχολήσεως Ἑργατικῶν Δυναμικῶν (ΟΑΕΔ) καὶ τῶν Δημοσίων Σχολῶν Ἑμπορικοῦ Ναυτικοῦ.

Μοναδικὴ φροντίδα τοῦ Ἰδρύματος σ' αὐτὴ τὴν ἐκδοτικὴν του προσπάθειαν ἦταν καὶ εἶναι ἡ ποιότητα τῶν βιβλίων, ἀπὸ ἀποψη ὅχι μόνον ἐπιστημονικὴ, παιδαγωγικὴ καὶ γλωσσικὴ, ἀλλὰ καὶ ἀπὸ ἀποψη ἐμφανίσεως, ὥστε τὸ βιβλίον νὰ ἀγαπηθεῖ ἀπὸ τοὺς νέους.

Γιὰ τὴν ἐπιστημονικὴ καὶ παιδαγωγικὴ ποιότητα τῶν βιβλίων, τὰ κείμενα ὑποβάλλονται σέ πολλὰς ἐπεξεργασίας καὶ βελτιώνονται πρὶν ἀπὸ κάθε νέα ἐκδόσιν.

Ἰδιαιτέρη σημασία ἀπέδωσε τὸ Ἰδρυμα ἀπὸ τὴν ἀρχὴν στὴν ποιότητα τῶν βιβλίων ἀπὸ γλωσσικὴ ἀποψη, γιὰ τὴν πιστεύει ὅτι καὶ τὰ τεχνικὰ βιβλία, ὅταν εἶναι γραμμένα σέ γλῶσσα ἄρτια καὶ ὁμοίομορφη ἀλλὰ καὶ κατάλληλη γιὰ τὴν στάθμην τῶν μαθητῶν, μποροῦν νὰ συμβάλλουν στὴν γλωσσικὴ διαπαιδαγώγησιν τῶν μαθητῶν.

Ἐστὶ μὲ ἀπόφασιν ποῦ πάρθηκε ἤδη ἀπὸ τὸ 1956 ὅλα τὰ βιβλία τῆς Βιβλιοθήκης τοῦ Τεχνίτη, δηλαδὴ τὰ βιβλία γιὰ τίς Κατώτερες Τεχνικὰς Σχολάς, ὅπως ἀργότερα καὶ γιὰ τίς Σχολάς τοῦ ΟΑΕΔ, εἶναι γραμμένα σέ γλῶσσα δημοτικὴ μὲ βάση τὴν γραμματικὴν τοῦ Τριανταφυλλίδη, ἐνῶ ὅλα τὰ ἄλλα βιβλία εἶναι γραμμένα στὴν ἀπλὴ καθαρεύουσα. Ἡ γλωσσικὴ ἐπεξεργασία τῶν βιβλίων γίνεται ἀπὸ φιλόλογους τοῦ Ἰδρύματος καὶ ἔστι ἐξασφαλιστὰ ἡ ἐνιαία σύνταξις καὶ ὁρολογία κάθε κατηγορίας βιβλίων.

Ἡ ποιότητα τοῦ χαρτιοῦ, τὸ εἶδος τῶν τυπογραφικῶν στοιχείων, τὰ σωστά σχήματα καὶ ἡ καλαίσθητη σελιδοποίηση, τὸ ἐξώφυλλο καὶ τὸ μέγεθος τοῦ βιβλίου περιλαμβάνονται καὶ αὐτὰ στὶς φροντίδες τοῦ Ἰδρύματος.

Τὸ Ἰδρυμα θεώρησε ὅτι εἶναι ὑποχρέωσή του, σύμφωνα μέ τὸ πνεῦμα τοῦ ἰδρυτῆ του, νά θέσει στήν διάθεση τοῦ Κράτους ὅλη αὐτὴ τὴν πείρα του τῶν 20 ἐτῶν, ἀναλαμβάνοντας τὴν ἐκδοση τῶν βιβλίων καὶ γιὰ τίς νέες Τεχνικές καὶ Ἑπαγγελματικές Σχολές καὶ τὰ νέα Τεχνικά καὶ Ἑπαγγελματικά Λύκεια, σύμφωνα μέ τὰ Ἀναλυτικά Προγράμματα τοῦ Κ.Ε.Μ.Ε.

Τὰ χρονικά περιθώρια γι' αὐτὴ τὴν νέα ἐκδοτικὴ προσπάθεια ἦταν πολὺ περιορισμένα καὶ ἴσως γι' αὐτὸ, ἰδίως τὰ πρῶτα βιβλία αὐτῆς τῆς σειρᾶς, νά παρουσιάσουν ἀτέλειες στὴ συγγραφή ἢ στὴν ἐκτύπωση, πού θὰ διορθωθοῦν στὴ νέα τους ἐκδοση. Γι' αὐτὸ τὸ σκοπὸ ἐπικαλούμαστε τὴν βοήθεια ὅλων ὧν θὰ χρησιμοποιοῦν τὰ βιβλία, ὥστε νά μᾶς γνωστοποιήσουν κάθε παρατήρησή τους γιὰ νὰ συμβάλλουν καὶ αὐτοὶ στὴ βελτίωση τῶν βιβλίων.

ΕΠΙΤΡΟΠΗ ΕΚΔΟΣΕΩΝ ΙΔΡΥΜΑΤΟΣ ΕΥΓΕΝΙΔΟΥ

Ἀλέξανδρος Ι. Παπᾶς, Ὁμ. Καθηγητῆς ΕΜΠ, Πρόεδρος.

Χρυσόστομος Φ. Καβουνίδης, Διπλ. Μηχ.-Ἡλ. ΕΜΠ, Ἀντιπρόεδρος.

Μιχαήλ Γ. Ἀγγελόπουλος, Τακτικὸς Καθηγητῆς ΕΜΠ, Διοικητῆς ΔΕΗ.

Παναγιώτης Χατζηιωάννου, Μηχ.-Ἡλ. ΕΜΠ, Γεν. Δ/ντῆς Ἑπαγ/κῆς Ἑκπ. Ὑπ. Παιδείας.

Ἐπιστημ. Σύμβουλος, Γ. Ροῦσσος, Χημ.-Μηχ. ΕΜΠ.

Σύμβουλος ἐπὶ τῶν ἐκδόσεων τοῦ Ἰδρύματος **Κ.Α. Μανάφης**, Καθηγητῆς Φιλοσοφικῆς Σχολῆς Παν/μίου Ἀθηνῶν.

Γραμματεὺς, **Δ.Π. Μεγαρίτης**.

Διατελέσαντα μέλη ἢ σύμβουλοι τῆς Ἐπιτροπῆς

Γεώργιος Κακριδῆς † (1955 – 1959) Καθηγητῆς ΕΜΠ. **Ἄγγελος Καλογεράς** † (1957 – 1970)

Καθηγητῆς ΕΜΠ, **Δημήτριος Νιάνιαν** (1957 – 1965) Καθηγητῆς ΕΜΠ, **Μιχαήλ Σπετσιέρης**

(1956 – 1959). **Νικόλαος Βασιώτης** (1960 – 1967). **Θεόδωρος Κουζέλης** (1968 – 1976)

Μηχ.-Ἡλ. ΕΜΠ.

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Τό βιβλίο αυτό προορίζεται γιά τή διδασκαλία τοῦ μαθήματος τῶν Ἡλεκτρικῶν Μηχανῶν τῆς Γ' τάξεως τῶν Τεχνικῶν Λυκείων τῆς Εἰδικότητος τῶν Ἡλεκτρολόγων. Ἡ διδακτέα ὕλη τοῦ μαθήματος ἔχει κατανεμηθεῖ στό δέκα πρῶτα κεφάλαια τοῦ βιβλίου. Τό ἐνδέκατο Κεφάλαιο τό ὁποῖο, ὡς Παράρτημα μέ φιλά τυπογραφικά γράμματα, περιέχει χρήσιμα στοιχεῖα γιά τή συντήρηση καί τίς βλάβες τῶν ἡλεκτρικῶν μηχανῶν, δέν περιέχεται στό ἀναλυτικό πρόγραμμα, ἀλλά κρίθηκε σκόπιμο νά περιληφθεῖ στό βιβλίο λόγω τῆς σημασίας του. Στό πρῶτο κεφάλαιο τοῦ βιβλίου δίνονται, σάν εἰσαγωγή στό μάθημα τῶν Ἡλεκτρικῶν Μηχανῶν, οἱ βασικές ἀρχές λειτουργίας τῶν γεννητριῶν καί τῶν κινητήρων. Τό δεύτερο κεφάλαιο περιλαμβάνει τίς μηχανές συνεχοῦς ρεύματος, σέ σύντομη σχετικά ἀνάπτυξη λόγω τῆς περιορισμένης σήμερα χρήσεώς τους. Στό τρίτο κεφάλαιο περιλαμβάνονται οἱ γεννήτριες ἐναλλασσόμενου ρεύματος καί στό ἐπόμενο κεφάλαιο τέταρτο ὡς καί ἔβδομο τά διάφορα εἶδη τῶν κινητήρων ἐναλλασσόμενου ρεύματος. Στό ὄγδοο κεφάλαιο δίνονται οἱ βασικές ἀρχές τῶν τυλιγμάτων ἐναλλασσόμενου ρεύματος. Γιά τήν πληρότητα τοῦ θέματος ἔχει περιληφθεῖ στό κεφάλαιο αὐτό καί ἕνα μέρος πού δέν περιλαμβάνεται στή διδακτέα ὕλη καί γι' αὐτό εἶναι γραμμένο στό βιβλίο μέ φιλά τυπογραφικά στοιχεῖα. Τέλος τό ἕνατο κεφάλαιο περιέχει τούς μετασχηματιστές καί τό δέκατο τούς μετατροπείς καί τούς ἀνορθωτές.

Στά παραπάνω κεφάλαια, γιά κάθε εἶδος ἡλεκτρικῆς μηχανῆς, δίνεται πρῶτα σύντομη περιγραφή τῆς κατασκευῆς της καί ἀκολουθεῖ ἡ περιγραφή τῆς ἀρχῆς λειτουργίας της μέ τή χρησιμοποίηση, ὅπου χρειάζεται, ἀπλῶν μαθηματικῶν σχέσεων. Ἐπίσης παρέχονται στοιχεῖα γιά τή συμπεριφορά κάθε μηχανῆς κατά τή λειτουργία της, γιά τίς ιδιότητές της καί γιά τά πλεονεκτήματα καί μειονεκτήματα πού παρουσιάζει. Ὑπολογιστικά στοιχεῖα γιά τίς ἡλεκτρικές μηχανές δέν περιλαμβάνονται στό βιβλίο. Μόνο σέ δύο περιπτώσεις, μέ φιλά τυπογραφικά γράμματα, δόθηκαν μερικά στοιχεῖα γιά τή μετατροπή τυλιγμάτων μετασχηματιστῶν καί κινητήρων.

Στήν ἀνάπτυξη τῶν θεμάτων πού ἀναφέραμε παραπάνω θεωρήσαμε ὅτι ὁ μαθητής καί γενικότερα ὁ ἀναγνώστης τοῦ βιβλίου, γνωρίζει ἀπό τήν Ἡλεκτροτεχνία τίς θεμελιώδεις ἔννοιες, τά μεγέθη καί τίς σχέσεις μεταξύ τους, γιά τό συνεχές καί τό ἐναλλασσόμενο ρεῦμα, γιά τή διανυσματική παράσταση τοῦ ἐναλλασσόμενου ρεύματος, γιά τά φαινόμενα τοῦ ἡλεκτρομαγνητισμοῦ κλπ.

Τό σύστημα τῶν μονάδων πού χρησιμοποιήθηκε στό βιβλίο αὐτό εἶναι τό Διεθνές Σύστημα Μονάδων (SI), τό ὁποῖο ὀνομάζεται καί σύστημα MKS. Βασικές μονάδες τοῦ συστήματος εἶναι τό μέτρο (m) γιά τό μήκος, τό χιλιόγραμμα (kg) γιά τή

μάζα, τό δευτερόλεπτο (s) γιά τό χρόνο, τό άμπέρ (A) γιά τήν ένταση τοῦ ρεύματος κλπ. Άρκετές φορές χρησιμοποιήθηκαν καί δεκαδικά πολλαπλάσια ή υποπολλαπλάσια τῶν μονάδων τοῦ συστήματος.

Τό κείμενο ἐμπλουτίσθηκε μέ ὅσο τό δυνατό περισσότερα σχήματα. Ἡ χρησιμοποίηση ἐποπτικῶν μέσων κατά τή διδασκαλία τοῦ μαθήματος θεωρεῖται πάντως ἀπαραίτητη γιά νά ἀποκτήσει ὁ μαθητής σαφή καί μόνιμη γνώση γιά τίς ηλεκτρικές μηχανές.

Ὁ συγγραφέας ἐνώνει τήν προσωπική του παράκληση μέ αὐτήν τῆς Ἐπιτροπῆς Ἐκδόσεων τοῦ Ἰδρύματος Εὐγενίδου πρὸς ὅσους θά χρησιμοποιήσουν τό βιβλίό αὐτό γιά ὑποδείξεις μέ σκοπό τή βελτίωσή του σέ μελλοντική ἐκδοση.

ΑΘΗΝΑ, Ἰούnius 1979

Ὁ Συγγραφέας

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΠΡΩΤΟ

ΟΙ ΑΡΧΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΤΩΝ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΩΝ

1.1 Τι είναι οι ηλεκτρικές μηχανές.

Η ηλεκτρική ενέργεια είναι μία μορφή ενέργειας από τις πιο σημαντικές για την ικανοποίηση των αναγκών του ανθρώπου. Σήμερα χρησιμοποιείται σε μεγάλη έκταση παντού, στα σπίτια, στα μαγαζιά, στα εργοστάσια, στους αγρούς, για φωτισμό, για κίνηση, για θέρμανση και για πολλές άλλες χρήσεις.

Η ηλεκτρική ενέργεια παράγεται σε ειδικά εργοστάσια που ονομάζονται **σταθμοί παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας** ή απλά **σταθμοί παραγωγής**. Στους σταθμούς αυτούς η θερμική ενέργεια που εκλύεται από την καύση του άνθρακα ή του πετρελαίου ή από τη διάσπαση (σχάση) του ατόμου του ουρανίου ή η υδραυλική ενέργεια από την πτώση του νερού μετατρέπεται σε ηλεκτρική ενέργεια. Ανάλογα με την περίπτωση, οι σταθμοί ονομάζονται **θερμοηλεκτρικοί** σταθμοί παραγωγής ή **υδροηλεκτρικοί** σταθμοί παραγωγής. Ειδικά οι θερμοηλεκτρικοί σταθμοί, στους οποίους η παραγωγή της θερμότητας γίνεται με τη διάσπαση του ατόμου, ονομάζονται **πυρηνοληλεκτρικοί** σταθμοί παραγωγής ή **πυρηνικοί** σταθμοί.

Στους σταθμούς παραγωγής η ηλεκτρική ενέργεια παράγεται με τη βοήθεια ειδικών μηχανών που ονομάζονται **ηλεκτρικές γεννήτριες** ή απλά **γεννήτριες**. Για να δώσουν ηλεκτρική ενέργεια, οι γεννήτριες πρέπει να πάρουν περιστροφική κίνηση (μηχανική ενέργεια) από άλλες μηχανές που ονομάζονται **κινητήριες μηχανές**. Οι κινητήριες μηχανές για την κίνησή τους χρησιμοποιούν τη θερμική ενέργεια κάποιου καυσίμου, όπως είπαμε παραπάνω, ή την υδραυλική ενέργεια του νερού. Αντίστοιχα οι κινητήριες μηχανές ονομάζονται ατμοστρόβιλοι ή υδροστρόβιλοι. Άλλες κινητήριες μηχανές που χρησιμοποιούνται σε μικρούς σχετικά σταθμούς παραγωγής είναι οι **αerioστρόβιλοι** και οι **πετρελαιομηχανές** ή **μηχανές έσωτερικής καύσεως**.

Μια από τις πολλές χρήσεις της ηλεκτρικής ενέργειας είναι και για την κίνηση διαφόρων μηχανημάτων, όπως αντλίες, εργαλειομηχανές, γερανοί κλπ. Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιούμε ειδικές μηχανές που ονομάζονται **ηλεκτρικοί κινητήρες** ή απλά **κινητήρες**. Οι κινητήρες παίρνουν δηλαδή ηλεκτρική ενέργεια και δίνουν μηχανική (κινητική) ενέργεια.

Ανάλογα με το είδος του ηλεκτρικού ρεύματος που παράγουν, οι γεννήτριες ονομάζονται **γεννήτριες συνεχούς ρεύματος** ή **γεννήτριες έναλλασσόμενου ρεύματος**. Όμοια οι κινητήρες ονομάζονται **κινητήρες συνεχούς ρεύματος**, όταν είναι κατασκευασμένοι για να εργάζονται με συνεχές ρεύμα και **κινητήρες έναλλασσόμε-**

νου ρεύματος, όταν είναι κατασκευασμένοι για να εργάζονται με εναλλασσόμενο ρεύμα.

Έκτός από τις γεννήτριες και τους κινητήρες υπάρχουν και άλλες ηλεκτρικές μηχανές που χρησιμεύουν για να μετατρέπομε το είδος ή τα χαρακτηριστικά του ηλεκτρικού ρεύματος. Τέτοιες μηχανές που θα εξετασθούν σε ειδικά κεφάλαια του βιβλίου αυτού είναι:

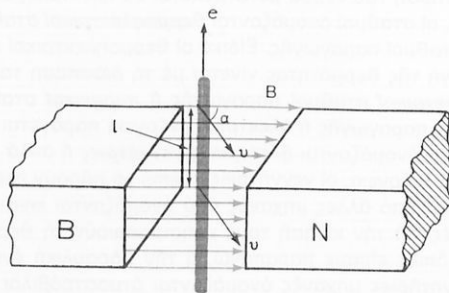
Οι μετασχηματιστές που χρησιμεύουν για να ανυψώνομε ή να υποβιβάζομε την τάση του εναλλασσόμενου ρεύματος.

Οι στρεφόμενοι μετατροπείς που μετατρέπουν το εναλλασσόμενο ρεύμα σε συνεχές και αντίστροφα το συνεχές σε εναλλασσόμενο.

Οι άνορθωτές που χρησιμεύουν για να μετατρέπομε το εναλλασσόμενο ρεύμα σε συνεχές. Οι άνορθωτές δέν έχουν περιστρεφόμενα μέρη και για το λόγο αυτό ονομάζονται και **στατοί** άνορθωτές.

1.2 Ηλεκτρεγερτική δύναμη σε κινούμενο άγωγο.

Από την Ήλεκτροτεχνία είναι γνωστό ότι, όταν ένας άγωγός κινείται μέσα σε μαγνητικό πεδίο έτσι ώστε να κόβει τις μαγνητικές γραμμές, τότε μέσα στον άγωγο δημιουργείται **ηλεκτρεγερτική δύναμη από επαγωγή**. Το φαινόμενο αυτό ονομάζεται και **φαινόμενο γεννήτριας**.



Σχ. 1.2α.

Άγωγός που κινείται μέσα σε μαγνητικό πεδίο.

Το σχήμα 1.2α παριστάνει έναν άγωγο κινούμενο μέσα στο ομοιόμορφο μαγνητικό πεδίο που δημιουργείται μεταξύ των πόλων Β και Ν ενός μόνιμου μαγνήτη. Ο άγωγός είναι κάθετος στις μαγνητικές γραμμές και κινείται προς την κατεύθυνση που δείχνουν τα βέλη υ στο σχήμα. Τα βέλη αυτά είναι κάθετα στον άγωγο και σχηματίζουν γωνία α με την κατεύθυνση των μαγνητικών γραμμών. Η ηλεκτρεγερτική δύναμη που δημιουργείται από επαγωγή σε ένα τέτοιο άγωγο δίνεται από τη σχέση:

$$e = B \cdot l \cdot v \cdot \eta_{\mu\alpha} \quad \text{σε } V$$

όπου: B είναι η μαγνητική επαγωγή του ομοιόμορφου πεδίου σε T (Vs/m^2),
 l τό μήκος σε m του άγωγού που βρίσκεται μέσα στο μαγνητικό πεδίο και
 u η ταχύτητα του άγωγού σε m/s .

Από την παραπάνω σχέση συμπεραίνουμε ότι όταν ο άγωγός κινείται παράλληλα προς τις μαγνητικές γραμμές ($\alpha = 0$ και $\eta_m = 0$) δεν δημιουργείται ηλεκτρεγερτική δύναμη στον άγωγό. Όταν ο άγωγός κινείται κάθετα προς τις μαγνητικές γραμμές, ή ηλεκτρεγερτική δύναμη που δημιουργείται σε αυτόν παίρνει τη μέγιστη τιμή της ($\alpha = 90^\circ$ και $\eta_m = 1$). Αυτός είναι ο λόγος που στίς ηλεκτρικές μηχανές ή κατασκευές τους γίνεται έτσι, ώστε οι άγωγοί να κινούνται πάντοτε σε διεύθυνση κάθετη προς τις μαγνητικές γραμμές.

Παράδειγμα.

Ένας άγωγός κινείται με ταχύτητα 30 m/s σε ομοιόμορφο μαγνητικό πεδίο που έχει μαγνητική επαγωγή $0,6\text{ T}$. Το μήκος του άγωγού που βρίσκεται μέσα στο μαγνητικό πεδίο είναι $0,4\text{ m}$. Ποιά είναι η ηλεκτρεγερτική δύναμη από επαγωγή που δημιουργείται στον άγωγό;

- α) Όταν κινείται με γωνία 30° προς τις μαγνητικές γραμμές και
 β) όταν κινείται κάθετα προς αυτές.

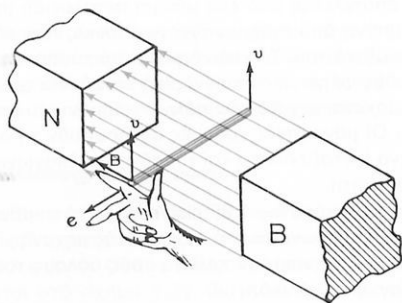
Λύση.

$$\alpha) e = B \cdot l \cdot u \cdot \eta_{m30^\circ} \quad \text{σε } V$$

$$e = 0,6 \times 0,4 \times 30 \times \frac{1}{2} = 3,6\text{ V}$$

$$\beta) e = B \cdot l \cdot u \cdot \eta_{m90^\circ} \quad \text{σε } V$$

$$e = 0,6 \times 0,4 \times 30 \times 1 = 7,2\text{ V}$$



Σχ. 1.2β.

Κανόνας δεξιού χεριού.

Η φορά της ηλεκτρεγερτικής δυνάμεως που δημιουργείται από επαγωγή σε άγωγό κινούμενο μέσα σε μαγνητικό πεδίο δίνεται από τον **κανόνα του δεξιού χεριού**, όπως εξηγείται στο σχήμα 1.2β. Σύμφωνα με τον κανόνα αυτό, όταν ο αντί-

χειρας του δεξιού χεριού δείχνει την κατεύθυνση της κινήσεως του αγωγού και ο δείκτης την κατεύθυνση των μαγνητικών γραμμών (από το βόρειο πόλο στο νότιο), τότε το μεσαίο δάκτυλο, αν το προσανατολίσουμε παράλληλα προς τον αγωγό, θα δείχνει τη φορά της ηλεκτρεγερτικής δυνάμεως που δημιουργείται σε αυτόν. Ή φορά αυτή θα είναι και η φορά κινήσεως του ρεύματος που θα κυκλοφορήσει μέσα στον αγωγό, αν συνδέσουμε τα άκρα του με ένα ηλεκτρικό φορτίο.

Με τη βοήθεια του κανόνα του δεξιού χεριού είναι εύκολο να διαπιστώσει κανείς ότι η φορά της ηλεκτρεγερτικής δυνάμεως που δημιουργείται στον αγωγό, δηλαδή η πολικότητά της, αλλάζει όταν αλλάξει η πολικότητα του μαγνητικού πεδίου. Όμοίως η φορά της ηλεκτρεγερτικής δυνάμεως αλλάζει όταν αλλάξει η κατεύθυνση της κινήσεως του αγωγού. "Αν όμως αλλάξουν και τα δύο, η πολικότητα της ηλεκτρεγερτικής δυνάμεως δεν αλλάζει.

"Όσα αναφέρθηκαν παραπάνω για τη δημιουργία ηλεκτρεγερτικής δυνάμεως από επαγωγή μέσα στον αγωγό που κινείται σε μαγνητικό πεδίο ισχύουν και όταν ο αγωγός μένει ακίνητος και κινείται το μαγνητικό πεδίο. "Αν ο αγωγός κόβει τις μαγνητικές γραμμές του κινούμενου πεδίου δημιουργείται πάλι σε αυτόν ηλεκτρεγερτική δύναμη από επαγωγή που το μέγεθός της το δίνει η ίδια σχέση που αναφέρθηκε προηγουμένως.

Για να βρούμε τη φορά της ηλεκτρεγερτικής δυνάμεως στην περίπτωση αυτή εφαρμόζουμε πάλι τον κανόνα του δεξιού χεριού, με τη διαφορά ότι ο αντίχειρας θα πρέπει να δείχνει αντίθετα από την κατεύθυνση κινήσεως του μαγνητικού πεδίου.

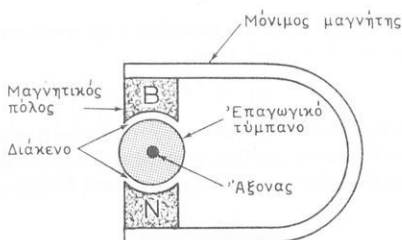
1.3 Η αρχή λειτουργίας των γεννητριών.

1) Γενικά.

Για να περιγράψουμε την αρχή λειτουργίας των γεννητριών, ας φανταστούμε μία απλή μηχανή, που να αποτελείται από ένα μόνιμο πεταλοειδές μαγνήτη (σχ. 1.3α) και ένα κυλινδρικό τύμπανο από σιδηρομαγνητικό υλικό, που να μπορεί να περιστραφεί γύρω από τον άξονά του. Το κυλινδρικό αυτό τύμπανο μαζί με τους αγωγούς, που όπως θα δούμε φέρει στην κυλινδρική επιφάνειά του, ονομάζεται **έπαγωγικό τύμπανο** και βρίσκεται μεταξύ των πόλων του μόνιμου μαγνήτη, όπως φαίνεται στο σχήμα 1.3α. Οι μαγνητικές γραμμές ακολουθούν τη διαδρομή: βόρειος πόλος μαγνήτη - διάκενο (μεταξύ πόλου και τυμπάνου) - έπαγωγικό τύμπανο - διάκενο - νότιος πόλος μαγνήτη.

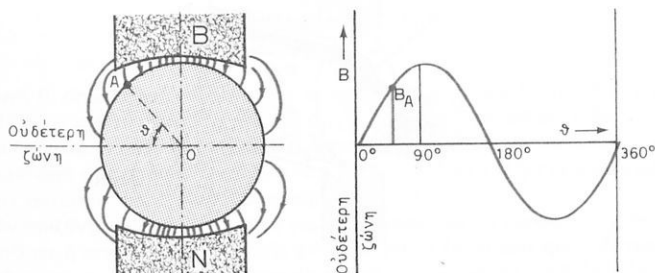
Στο άριστερο μέρος του σχήματος 1.3β φαίνεται με τη συμβατική σχεδίαση το μαγνητικό πεδίο όπως διαμορφώνεται στο διάκενο της μηχανής. "Όπως είναι γνωστό, οι μαγνητικές γραμμές συναντούν κάθετα τους πόλους του μαγνήτη και το τύμπανο από σιδηρομαγνητικό υλικό.

Ή μεταβολή από θέση σε θέση της μαγνητικής έπαγωγής στο διάκενο εξαρτάται από τη διαμόρφωση της μηχανής και κυρίως των μαγνητικών πόλων. Ή μαγνητική έπαγωγή είναι μέγιστη στο μέσο των πόλων και μικραίνει όσο πλησιάζουμε στην **ουδέτερη ζώνη**, όπου γίνεται μηδενική. Ή καμπύλη στο δεξιό μέρος στο σχήμα 1.3β παριστάνει πώς μεταβάλλεται η μαγνητική έπαγωγή στο διάκενο σε συνάρτηση με τη γωνία θ. Δηλαδή μάς δίνει τη μαγνητική έπαγωγή **στ**ά διάφορα ση-



Σχ. 1.3α.

Απλή ηλεκτρική μηχανή.



Σχ. 1.3β.

Μαγνητικό πεδίο στο διάκενο.

μεία Α στην επιφάνεια του επαγωγικού τυμπάνου, όταν η γωνία θ , που σχηματίζει η ακτίνα ΟΑ με την ουδέτερη ζώνη, μεταβάλλεται από 0° μέχρι 360° . Στο διάγραμμα αυτό έχουν θεωρηθεί θετικές οι τιμές της μαγνητικής επαγωγής όταν οι μαγνητικές γραμμές έχουν φορά προς τό τύμπανο και αρνητικές όταν απομακρύνονται από αυτό.

2) Παραγωγή έναλλασσόμενου ρεύματος.

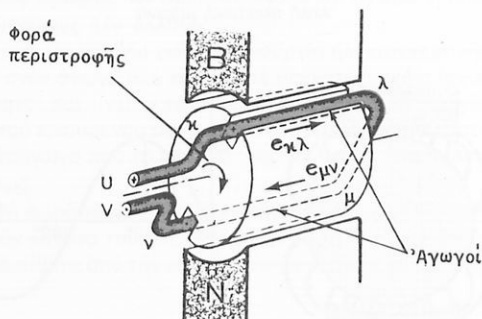
Ας υποθέσουμε ότι σε δύο όδοντώσεις, που υπάρχουν στην κυλινδρική επιφάνεια του επαγωγικού τυμπάνου σε διαμετρικά αντίθετα σημεία, έχουν τοποθετηθεί δύο άγωγοι κ-λ και ν-μ. Οι δύο άγωγοί ενώνονται στο πίσω μέρος του τυμπάνου, όπως φαίνεται στο σχήμα 1.3γ, ώστε να αποτελούν μία **σπείρα του τυλίγματος** της μηχανής. Όταν τό τύμπανο περιστρέφεται με σταθερή ταχύτητα, κάθε ένας από τούς άγωγούς της σπείρας αυτής τέμνει τις μαγνητικές γραμμές που υπάρχουν στο διάκενο και μάλιστα κάθετα, αφού όπως είπαμε αυτές διευθύνονται κάθετα προς τό τύμπανο. Άρα σε κάθε ένα άγωγό δημιουργείται ηλεκτρεγερτική δύναμη από επαγωγή, που τό μέγεθός της δίνεται από τή σχέση της παραγράφου 1.2. Έδώ u είναι η περιφερειακή ταχύτητα τών άγωγών και $\eta\mu\alpha = 1$. Αν είναι

γνωστή ή ταχύτητα περιστροφής του κινητήρα n σε στρ/s και ή ακτίνα r του έπαγωγικού του τυμπάνου σε m, τότε είναι:

$$v = 2\pi \cdot n \cdot r \quad \text{σε m/s}$$

Επειδή σε διαμετρικά αντίθετα σημεία του τυμπάνου ή μαγνητική έπαγωγή στο διάκενο έχει τήν ίδια απόλυτη τιμή (όπως φαίνεται και στο σχήμα 1.3β) συμπεραίνομε ότι τήν ίδια τιμή θά έχουν και οι ήλεκτρεγερτικές δυνάμεις των δύο άγωγων:

$$e_{κλ} = e_{μν}$$



Σχ. 1.3γ.

Ήλεκτρεγερτική δύναμη σε σπείρα.

Με τή βοήθεια του κανόνα του δεξιού χεριού είναι εύκολο νά αποδείξομε ότι, γιά τή φορά περιστροφής πού σημειώνεται μέ ένα τόξο στό σχήμα 1.3γ και γιά τή χρονική στιγμή πού δείχνει τό σχήμα αυτό, στόν άγωγό κ-λ ή ήλεκτρεγερτική δύναμη θά έχει φορά από τό κ πρός τό λ και στόν άγωγό ν-μ από τό μ πρός τό ν, όπως έχουν σημειωθεί στό ίδιο σχήμα. Δηλαδή οι ήλεκτρεγερτικές δυνάμεις των δύο άγωγών άθροίζονται. Αυτό γίνεται κάθε χρονική στιγμή, όπου και άν βρίσκεται τό τύμπανο κατά τήν περιστροφή του. Άρα ή ήλεκτρεγερτική δύναμη e τής σπείρας κάποια χρονική στιγμή θά δίνεται από τή σχέση:

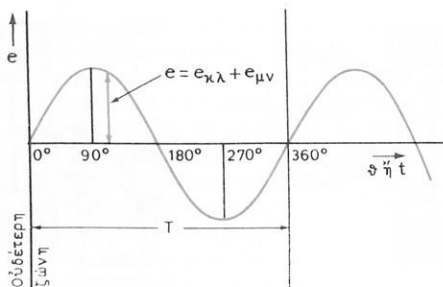
$$e = e_{κλ} + e_{μν} = 2 \cdot B \cdot l \cdot v \quad \text{σε V}$$

όπου: B είναι ή μαγνητική έπαγωγή σε T (Vs/m²) στό σημείο του διακένου πού βρίσκεται ό ένας άγωγός τής σπείρας τή στιγμή αυτή,

l τό μήκος σε m του άγωγού πού βρίσκεται μέσα στην όδόντωση του τυμπάνου και

v ή σταθερή περιφερειακή ταχύτητα των άγωγών σε m/s.

Άπό τή σχέση αυτή παρατηρούμε ότι, αφού τά l και v είναι σταθερά, ή ήλεκτρεγερτική δύναμη στή σπείρα γιά τίς διάφορες θέσεις από τίς όποιες περνούν οι άγωγοί της κατά τήν περιστροφή του τυμπάνου μεταβάλλεται όπως και ή μαγνητική



Σχ. 1.3δ.

Έναλλασσόμενη ηλεκτρεγερτική δύναμη.

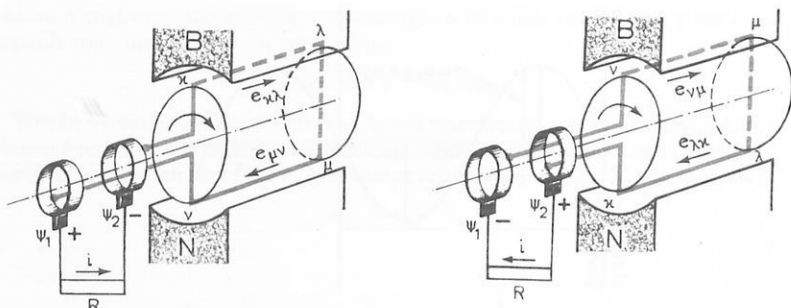
έπαγωγή B. Δηλαδή μία καμπύλη σαν αυτή που δίνει τη μεταβολή του B (σχ. 1.3β) θα μας δίνει και τη μεταβολή της e, όπως φαίνεται στο σχήμα 1.3δ.

Στο διάγραμμα αυτό θετική είναι η ηλεκτρεγερτική δύναμη της σπείρας όταν έχει φορά από το κ προς το λ και από το μ προς το ν. Όταν η ηλεκτρεγερτική δύναμη έχει αντίθετη φορά είναι αρνητική.

Στόν οριζόντιο άξονα αντί για τη γωνία θ μπορούμε να βάλομε το χρόνο t που χρειάστηκε η σπείρα (ο άγωγός της σπείρας) για να έλθει από την ουδέτερη ζώνη στην αντίστοιχη θέση. Όταν η σπείρα συμπληρώσει μία στροφή από 360°, η ηλεκτρεγερτική δύναμη θα έχει συμπληρώσει μία πλήρη μεταβολή, που ονομάζεται **κύκλος**. Ο χρόνος που χρειάζεται για να συμπληρωθεί ένας κύκλος ονομάζεται **περίοδος** και παριστάνεται με το T. Μετά την πρώτη περίοδο η ηλεκτρεγερτική δύναμη στην περιστρεφόμενη σπείρα θα επαναλάβει μία ίδια μεταβολή, δηλαδή ένα δεύτερο κύκλο, έπειτα ένα τρίτο κ.ο.κ. Η ηλεκτρεγερτική δύναμη που μεταβάλλεται σε συνάρτηση με το χρόνο με τον τρόπο αυτό (σχ. 1.3δ) ονομάζεται **έναλλασσόμενη ηλεκτρεγερτική δύναμη**.

Για να χρησιμοποιήσουμε την ηλεκτρεγερτική δύναμη, η οποία παράγεται μέσα στη σπείρα, συνδέομε τα δύο άκρα της σε δύο μεταλλικούς δακτύλιους, οι οποίοι είναι στερεωμένοι επάνω στον άξονα του τυμπάνου και περιστρέφονται μαζί του. Οι δακτύλιοι αυτοί είναι ηλεκτρικά μονωμένοι προς τον άξονα.

Δύο ψήκτρες από άνθρακα ψ_1 και ψ_2 (σχ. 1.3ε) που είναι όπως θα δούμε στερεωμένες στο ακίνητο μέρος της μηχανής, έφάπτονται στους δακτύλιους. Οι ψήκτρες συνδέονται μεταξύ τους με την εξωτερική αντίσταση R, που είναι η συσκευή στην οποία θέλομε να χρησιμοποιήσουμε το ρεύμα που θα παραχθεί από την απλή αυτή μηχανή. Η R είναι δηλαδή το **φορτίο** της μηχανής. Για απλούστευση στο σχήμα 1.3ε δέν έχουν σχεδιασθεί οι οδοντώσεις του τυμπάνου. Είναι εύκολο να διαπιστώσουμε ότι τη χρονική στιγμή που παριστάνει το αριστερό μέρος στο σχήμα 1.3ε το ρεύμα μέσα στο φορτίο R κατευθύνεται από τη ψήκτρα ψ_1 προς την ψήκτρα ψ_2 . Αντίθετα, τη χρονική στιγμή που παριστάνει το δεξιό μέρος στο ίδιο σχήμα, δηλαδή όταν το τύμπανο θα έχει στραφεί κατά 180° σε σχέση με την προηγούμενη θέ-



Σχ. 1.3ε.

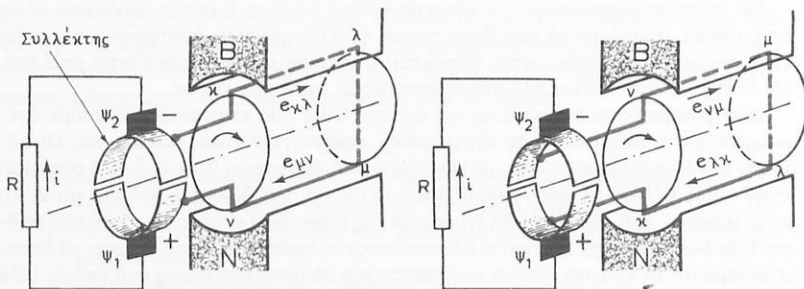
Παραγωγή έναλλασσόμενου ρεύματος.

ση, τό ρεύμα μέσα στό φορτίο θά κατευθύνεται αντίθετα, δηλαδή από τήν ψήκτρα ψ_2 πρὸς τήν ψ_1 .

Γενικά ἡ έναλλασσόμενη ἠλεκτρεγερτική δύναμη τῆς σπείρας θά δώσει στό φορτίο ἓνα ρεύμα πού θά εἶναι καί αὐτό έναλλασσόμενο καί μάλιστα ταυτόχρονο καί ἴδιας μορφῆς μέ τήν καμπύλη τοῦ σχήματος 1.3δ, ὅταν τό φορτίο R εἶναι καθαρή ὠμική αντίσταση. Δηλαδή ἡ μηχανή αὐτή εἶναι μιά ἀπλή μηχανή έναλλασσόμενου ρεύματος.

3) Παραγωγή συνεχούς ρεύματος.

Στίς γεννήτριες συνεχούς ρεύματος, ὅταν περιστρέφεται τό έπαγωγικό τύμπανο, δημιουργεῖται μέσα στίς σπείρες τῶν άγωγῶν έναλλασσόμενη ἠλεκτρεγερτική δύναμη, ὅπως τήν περιγράψαμε στά προηγούμενα. Στό έξωτερικό φορτίο ὅμως τῆς μηχανῆς παίρνομε συνεχές ρεύμα καί αὐτό γίνεται μέ τή βοήθεια τοῦ **συλλέκτη**. Ὁ συλλέκτης πού ἀντικαθιστᾷ τοὺς δακτύλιους τῶν γεννητριῶν έναλλασσόμενου ρεύματος, στήν άπλούστερή του μορφή, ὅπως φαίνεται καί στό σχῆμα 1.3στ, άπο-



Σχ. 1.3στ.

Παραγωγή συνεχούς ρεύματος.

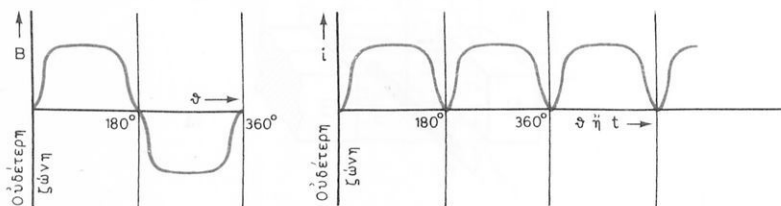
τελείται από ένα δακτύλιο κορμένο σε δύο μισά (**τομείς του συλλέκτη**), πού είναι στερεωμένα στον άξονα του επαγωγικού τυμπάνου, περιστρέφονται μαζί με αυτόν και είναι μονωμένα μεταξύ τους και προς τόν άξονα. Τά άκρα τής σπείρας των δύο άγωγών τά συνδέομε μόνιμα με τούς τομείς του συλλέκτη.

Οί ψήκτρες ψ_1 και ψ_2 είναι και εδώ στερεωμένες στο ακίνητο μέρος τής μηχανής και έφάπτονται στους τομείς του συλλέκτη. Όπως φαίνεται στο σχήμα 1.3στ είναι τοποθετημένες σε δύο σημεία εκ διαμέτρου αντίθετα ως προς τόν άξονα.

Όταν ή περιστρεφόμενη μαζί με τό τύμπανο σπείρα των δύο άγωγών βρίσκεται στη θέση πού φαίνεται άριστερά στο σχήμα 1.3στ, όπως είδαμε στα προηγούμενα, δημιουργούνται στους δύο άγωγούς ήλεκτρεγερτικές δυνάμεις πού έχουν τή σημειούμενη φορά και πού άθροίζονται. Τό ήλεκτρικό ρεύμα πού θά περάσει από τό έξωτερικό φορτίο R θά διευθύνεται από τήν ψήκτρα ψ_1 προς τήν ψήκτρα ψ_2 . Δηλαδή τή χρονική αυτή στιγμή ή ψ_1 είναι θετική και ή ψ_2 άρνητική.

Μετά από όρισμένο χρόνο τό περιστρεφόμενο τύμπανο θά βρεθεί στη θέση πού φαίνεται δεξιά στο σχήμα 1.3στ, δηλαδή θά έχει στραφεί κατά 180° από τήν προηγούμενη θέση του. Παρατηρούμε ότι και στη θέση αυτή ή ψήκτρα ψ_1 έξακολουθεί νά είναι θετική και ή ψ_2 άρνητική, παρ' όλο ότι μέσα στη σπείρα ή ήλεκτρεγερτική δύναμη έχει τώρα αλλάξει φορά σχετικά με τή φορά πού είχε προηγούμενως.

Είναι εύκολο νά διαπιστώσει κανείς ότι ή πολικότητα των ψηκτρών δέν αλλάζει και γιά όποιαδήποτε άλλη θέση του περιστρεφόμενου επαγωγικού τυμπάνου. Συνέπεια αυτού είναι τό φορτίο R νά τό διαρρέει πάντοτε ρεύμα από τήν ψήκτρα ψ_1 προς τήν ψ_2 , δηλαδή κατά τήν ίδια φορά.



Σχ. 1.3ζ.

Άνορθωμένο ρεύμα.

Στό άριστερό διάγραμμα στο σχήμα 1.3ζ φαίνεται ή μεταβολή τής μαγνητικής έπαγωγής στο διάκενο σε μία μηχανή συνεχούς ρεύματος. Παρατηρούμε ότι σε αυτές τīs μηχανές ή καμπύλη έχει λίγο διαφορετική μορφή από αυτή του σχήματος 1.3β, πράγμα πού γίνεται από τούς κατασκευαστές των μηχανών με κατάλληλη διαμόρφωση των μαγνητικών πόλων. Η μεταβολή τής ήλεκτρεγερτικής δυνάμεως τής σπείρας κατά τήν περιστροφή του επαγωγικού τυμπάνου, όπως είπαμε και στις γεννήτριες έναλλασσόμενου ρεύματος, παριστάνεται με μία καμπύλη όμοια με τήν προηγούμενη.

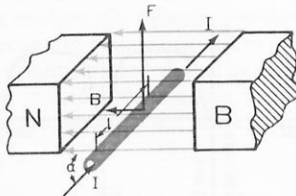
Στό δεξιό μέρος του σχήματος 1.3ζ φαίνεται ή μεταβολή της έντασεως I που διαρρέει τό έξωτερικό φορτίο R . Τό ρεύμα αυτό πού ονομάζεται **άνορθωμένο**, έχει βέβαια πάντοτε τήν ίδια φορά, αλλά δέν είναι τελείως συνεχές ρεύμα, γιατί ή έντασή του μεταβάλλεται μέ τό χρόνο. Για νά μειώσμε τήν κυμάτωσή του αυτή στίς πραγματικές γεννήτριες συνεχούς ρεύματος, χρησιμοποιοιοῦμε πολλές σπείρες στό τύμπανο καί συλλέκτες πού ἔχουν επίσης πολλούς τομείς. Μέ κατάλληλη σύνδεση τῶν ἄκρων τῶν σπειρῶν μέ τούς τομείς τοῦ συλλέκτη πετυχαίνομε νά ἔχομε στό έξωτερικό φορτίο ρεύμα πού είναι σχεδόν τελείως συνεχές.

Ἄν θέλομε νά ἀλλάξμε τήν πολικότητα τῆς ηλεκτρεγερτικῆς δυνάμεως σέ μιὰ μηχανή συνεχούς ρεύματος θά πρέπει, σύμφωνα καί μέ ὅσα εἶπαμε στήν παράγραφο 1.2, νά ἀλλάξμε ἢ τήν πολικότητα τοῦ μαγνητικοῦ πεδίου ἢ τή φορά περιστροφῆς τῆς μηχανῆς. Ἄν τά ἀλλάξμε καί τά δύο ἡ πολικότητα τῆς ηλεκτρεγερτικῆς δυνάμεως δέν ἀλλάζει.

1.4 Δύναμη ἀσκούμενη σέ ρευματοφόρο ἄγωγό.

Ὅπως εἶναι γνωστό καί ἀπό τήν Ἑλεκτροτεχνία, ὅταν ἕνας ἄγωγός βρίσκεται μέσα σέ μαγνητικό πεδίο καί διαρρέεται ἀπό ηλεκτρικό ρεύμα, τότε στόν ἄγωγό αὐτόν ἀσκεῖται ἀπό τό μαγνητικό πεδίο δύναμη πού τείνει νά τόν κινήσει. Αὐτό εἶναι τό ὀνομαζόμενο **φαινόμενο κινήτρα**.

Στό σχῆμα 1.4α φαίνεται ή δύναμη F πού ἀσκεῖται σέ ἕνα ἄγωγό ὁ ὁποῖος βρίσκεται μέσα στό ὁμοιόμορφο μαγνητικό πεδίο ἑνός μόνιμου μαγνήτη μαγνητικῆς ἐπαγωγῆς B . Ὁ ἄγωγός πού διαρρέεται ἀπό ἔνταση I σχηματίζει γωνία α μέ τίς μαγνητικές γραμμές.



Σχ. 1.4α.

Δύναμη σέ ρευματοφόρο ἄγωγό.

Τό μέτρο τῆς δυνάμεως F πού ἀσκεῖται στόν ἄγωγό δίνεται ἀπό τή σχέση:

$$F = B \cdot I \cdot l \cdot \eta\mu\alpha \quad \text{σέ N}$$

ὅπου: B εἶναι ή μαγνητική ἐπαγωγή τοῦ πεδίου σέ T (Vs/m^2),

I εἶναι ή ἔνταση σέ A τοῦ ρεύματος πού διαρρέει τόν ἄγωγό,

l τό μήκος σέ m τοῦ ἄγωγοῦ, πού βρίσκεται μέσα στό μαγνητικό πεδίο καί α ή γωνία πού σχηματίζει ὁ ἄγωγός μέ τίς μαγνητικές γραμμές.

Ἀπό τήν παραπάνω σχέση φαίνεται ὅτι ὅταν ὁ ἄγωγός εἶναι παράλληλος μέ τίς μαγνητικές γραμμές δέν ἀσκεῖται σέ αὐτόν δύναμη ($\alpha = 0$, $\eta\mu\alpha = 0$). Ἀντίθετα, ή

δύναμη παίρνει τη μέγιστη τιμή της όταν ο άγωγός είναι κάθετος στις μαγνητικές γραμμές του πεδίου ($\alpha = 90^\circ$, $\eta\mu\alpha = 1$).

Παράδειγμα.

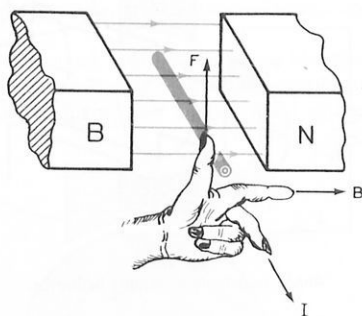
Άγωγός που διαρρέεται από ρεύμα έντασης 40 A είναι τοποθετημένος μέσα σε μαγνητικό πεδίο κάθετα προς τις μαγνητικές γραμμές. Νά βρεθεί η δύναμη που ασκείται στον άγωγό αν το μήκος του είναι 0,5 m και η μαγνητική επαγωγή του πεδίου 0,8 T.

Λύση.

$$F = B \cdot I \cdot l \cdot \eta\mu 90^\circ$$

$$F = 0,8 \times 40 \times 0,5 \times 1 = 16 \text{ Ws/m} = 16 \text{ N}$$

Η κατεύθυνση της δύναμης F βρίσκεται εύκολα με τον **κανόνα του αριστερού χεριού** (σχ. 1.4β), που λέει ότι: όταν ο δείκτης του αριστερού χεριού δείχνει την κατεύθυνση των μαγνητικών γραμμών (από το βόρειο πόλο προς το νότιο) και ο μέσος δάκτυλος δείχνει τη φορά ροής του ρεύματος στον άγωγό, τότε ο αντίχειρας προσανατολισμένος κάθετα προς τα δύο άλλα δάκτυλα δείχνει την κατεύθυνση της δύναμης.



Σχ. 1.4β.

Κανόνας αριστερού χεριού.

Αν αλλάξει η φορά του ρεύματος που διαρρέει τον άγωγό ή κατεύθυνση της δύναμης αλλάζει. Η κατεύθυνση αλλάζει επίσης αν αλλάξει η πολικότητα του μαγνητικού πεδίου, δηλαδή η κατεύθυνση της μαγνητικής επαγωγής. Αν αλλάξουν όμως και τα δύο, δηλαδή και η φορά του ρεύματος και η πολικότητα του μαγνητικού πεδίου, η κατεύθυνση της δύναμης δεν αλλάζει.

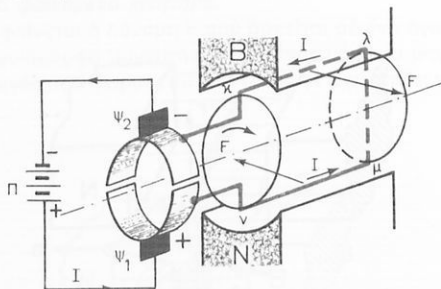
1.5 Η αρχή λειτουργίας των κινητήρων συνεχούς ρεύματος.

Στην παράγραφο αυτή θα ασχοληθούμε μόνο με τους κινητήρες συνεχούς ρεύ-

ματος. Τήν άρχή λειτουργίας τών διαφόρων τύπων κινητήρων έναλλασσόμενου ρεύματος θά εξετάσουμε στά αντίστοιχα κεφάλαια του βιβλίου αυτού.

Οι κινητήρες συνεχούς ρεύματος είναι όμοιοι κατασκευαστικά μέ τις γεννήτριες συνεχούς ρεύματος. Για νά εξηγήσουμε τήν άρχή λειτουργίας τών κινητήρων συνεχούς ρεύματος, παίρνομε τήν άπλή μηχανή του σχήματος 1.3στ καί τή βάζομε νά έργασθεϊ σάν κινητήρας. Δηλαδή τήν τροφοδοτοΰμε μέ ήλεκτρική ένέργεια από μία πηγή συνεχούς ρεύματος Π, γιά νά μάς δώσει μηχανική (κινητική) ένέργεια στόν άξονά της. Άς δοΰμε πώς θά συμβεϊ αυτό.

Όπως φαίνεται στό σχήμα 1.5, μέσω τών ψηκτρών καί του συλλέκτη ή πηγή Π διοχετεύει συνεχές ρεύμα έντάσεως Ι στή σπείρα τών δύο άγωγών κ-λ καί ν-μ. Οι άγωγοί όμως βρίσκονται μέσα στο μαγνητικό πεδίο τής μηχανής. Σύμφωνα μέ αυτά πού είπαμε στήν προηγούμενη παράγραφο θά άσκηθεϊ σέ κάθε ένα άγωγό μία δύναμη F, όπως τή δείχνει τό σχήμα, δηλαδή πού θά έχει διεύθυνση κατά τήν έφαπτομένη στό τύμπανο. Οι δυνάμεις αυτές άποτελοΰν ένα **ζεΰγος δυνάμεων** πού άσκει **ροπή** στο έπαγωγικό τύμπανο. Άποτέλεσμα τής ροπής αύτής είναι νά στραφεϊ τό τύμπανο περί τόν άξονά του κατά τή φορά πού δείχνει τό τόξο. Είναι εύκολο νά δεί κανείς ότι όποιαδήποτε θέση καί αν έχει ή σπείρα τών δύο άγωγών κατά τήν περιστροφή του τυμπάνου, ή φορά τής ροπής τών δυνάμεων πού άσκούνται στούς άγωγούς είναι πάντοτε ή ίδια.



Σχ. 1.5.

Άπλός κινητήρας συνεχούς ρεύματος.

Ή ροπή τ πού άσκει τό ζεΰγος αυτό τών δυνάμεων στο έπαγωγικό τύμπανο δέν είναι σταθερή. Τό μέτρο της κάθε στιγμή δίνεται από τή σχέση:

$$\tau = F \cdot 2r \quad \text{σέ Nm}$$

όπου: F είναι ή δύναμη σέ Ν πού άσκήται σέ κάθε άγωγό τής σπείρας τή θεωρούμενη στιγμή καί

r ή άκτίνα σέ m του έπαγωγικού τυμπάνου.

Άν λάβομε ύπόψη όσα είπαμε στήν προηγούμενη παράγραφο γιά τό μέγεθος τής F έχομε:

$$\tau = 2B \cdot I \cdot l \cdot r \quad \text{σέ Nm}$$

όπου: B είναι ή μαγνητική έπαγωγή σέ Vs/m² στο σημείο του δίακενου πού βρίσκεται ή σπείρα τή θεωρούμενη στιγμή,

Η ένταση του ρεύματος που τη διαρρέει σε A και I και το μήκος και η ακτίνα σε m του επαγωγικού τυμπάνου.

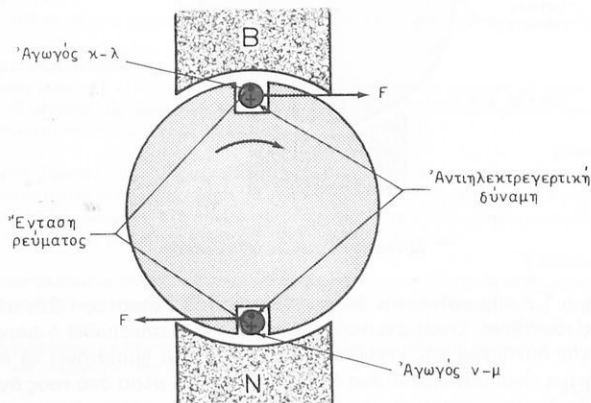
Αυτό που συμβαίνει με τη μιά σπείρα στην άπλη μηχανή του σχήματος 1.5, συμβαίνει στους πραγματικούς κινητήρες συνεχούς ρεύματος με όλες τις σπείρες, που, όπως είπαμε στίς γεννήτριες, έχουν στο επαγωγικό τους τύμπανο. Οι ροπές όλων αυτών των ζευγών ενεργούν κατά την ίδια φορά και θέτουν σε περιστροφική κίνηση το επαγωγικό τύμπανο.

Σύμφωνα με όσα αναφέραμε στην προηγούμενη παράγραφο για την αλλαγή της κατευθύνσεως στη δύναμη που ασκείται σε ρευματοφόρο αγωγό, συμπεραίνουμε ότι για να αλλάξουμε τη φορά περιστροφής του επαγωγικού τυμπάνου σε ένα κινητήρα συνεχούς ρεύματος, θα πρέπει ή να αλλάξουμε την πολικότητα των μαγνητικών πόλων ή να αλλάξουμε τη φορά του ρεύματος μέσα στους αγωγούς του, δηλαδή να αλλάξουμε την πολικότητα της πηγής. Άν τα αλλάξουμε και τα δύο, ή φορά περιστροφής του κινητήρα δεν αλλάζει.

1.6 Άντιηλεκτρεγερτική δύναμη.

“Όπως είδαμε, όταν στους άγωγούς του επαγωγικού τυμπάνου περάσει συνεχές ηλεκτρικό ρεύμα, τό τύμπανο θά άρχίσει νά περιστρέφεται. Ξέρομε όμως, από όσα άναφέραμε στην παράγραφο 1.2, ότι στους κινούμενους μέσα στό μαγνητικό πεδίο άγωγούς δημιουργούνται ηλεκτρεγερτικές δυνάμεις από επαγωγή. Αυτό συμβαίνει καί στους άγωγούς του περιστρεφόμενου επαγωγικού τυμπάνου των κινητήρων.

Στο σχήμα 1.6 φαίνονται, σε τομή κάθετη προς τον άξονα, οι δύο άγωγοί της σπείρας του απλού κινητήρα του σχήματος 1.5. Έχει επίσης σημειωθεί με $\rightarrow$ τά γνωστά σύμβολα (+ για κατεύθυνση από εμπρός προς τα πίσω και $\bullet$ για αντίθετη



Σχ. 1.6.

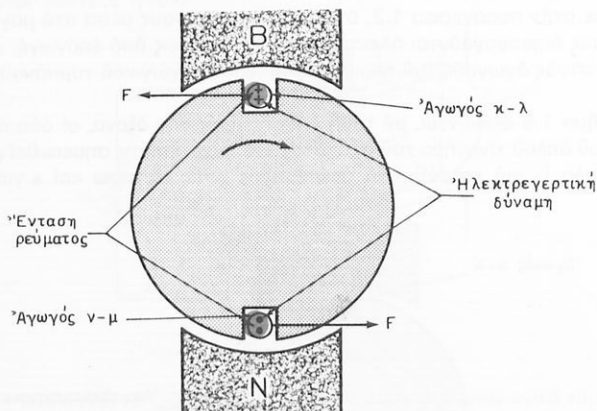
• Αντιηλεκτρεγερτική δύναμη κινητήρα.

κατεύθυνση), ή φορά που έχει ή ένταση του ηλεκτρικού ρεύματος που τους διαρρέει. Για τή σημειούμενη φορά περιστροφής (πού δημιουργούν οι δυνάμεις F) έχουμε ανάπτυξη ηλεκτρεγερτικών δυνάμεων, που ή φορά τους είναι αυτή που σημειώνεται επίσης στο σχήμα 1.6.

Παρατηρούμε ότι ή ηλεκτρεγερτική δύναμη που αναπτύσσεται στην περιστρεφόμενη σπείρα του κινητήρα έχει φορά αντίθετη από τή φορά που έχει ή ένταση του ρεύματος που κυκλοφορεί μέσα σέ αυτή. Δηλαδή ή τάση τής πηγής που τροφοδοτεί τόν κινητήρα πρέπει νά υπερνικήσει αυτή τήν αντίθετη ηλεκτρεγερτική δύναμη γιά νά μπορέσει νά κυκλοφορήσει τό ρεύμα στους άγωγούς. Αύτός είναι ό λόγος που τήν ονομάζουμε **άντιηλεκτρεγερτική δύναμη** του κινητήρα.

1.7 Δυνάμεις πεδήσεως στίς γεννήτριες.

Στήν προηγούμενη παράγραφο διαπιστώσαμε ότι στους ηλεκτρικούς κινητήρες, όταν λειτουργούν, αναπτύσσεται καί τό φαινόμενο γεννήτριας. Μέ τή βοήθεια του σχήματος 1.7 μπορούμε νά διαπιστώσουμε ότι άληθεύει καί τό αντίστροφο. Δηλαδή ότι καί στίς γεννήτριες, όταν λειτουργούν τροφοδοτώντας ένα φορτίο, εμφανίζεται τό φαινόμενο κινητήρα.



Σχ. 1.7.

Δυνάμεις πεδήσεως σέ γεννήτρια.

Τό σχήμα 1.7 παριστάνει τήν άπλή γεννήτρια του σχήματος 1.3στ σέ τομή κάθετη πρós τόν άξονα. Στους άγωγούς κ-λ καί μ-ν έχει σημειωθεί ή φορά τής ηλεκτρεγερτικής δυνάμεως τής γεννήτριας τή στιγμή που παριστάνει τό σχήμα. "Αν στή γεννήτρια είναι συνδεδεμένο ένα έξωτερικό φορτίο, μέσα από τούς άγωγούς θά περάσει μία ένταση ρεύματος που θά έχει τήν ίδια φορά μέ τήν ηλεκτρεγερτική δύναμη. "Έχουμε λοιπόν καί εδώ ρευματοφόρους άγωγούς που βρίσκονται μέσα σέ μαγνητικό πεδίο καί συνεπώς θά έχουμε ανάπτυξη δυνάμεων F , όπως έχουν σημειωθεί στο σχήμα.

Παρατηρούμε ότι οι δυνάμεις αυτές δημιουργούν μία ροπή που έχει φορά αντίθετη από τη φορά περιστροφής της γεννήτριας. Δηλαδή αυτή την αντίθετη ροπή θα πρέπει να την υπερνικήσει η κινητήρια μηχανή που κινεί τη γεννήτρια. Όσο μεγαλύτερη είναι η ένταση φορτίσεως της γεννήτριας τόσο μεγαλύτερη είναι η ροπή που θα πρέπει να δίνει η κινητήρια μηχανή για να υπερνική την αντίθετη ροπή.

1.8 Έρωτήσεις.

1. Από τι εξαρτάται το μέτρο της ηλεκτρεγερτικής δυνάμεως που δημιουργείται σε άγωγό κινούμενο μέσα σε μαγνητικό πεδίο;
2. Πώς μπορεί να αλλάξει η φορά της ηλεκτρεγερτικής δυνάμεως που δημιουργείται σε άγωγό κινούμενο μέσα σε μαγνητικό πεδίο προς σταθερή κατεύθυνση (ή κατεύθυνση δεν μπορεί να αλλάξει);
3. Διατύπωσε τον κανόνα του δεξιού χεριού όταν κινείται το μαγνητικό πεδίο και ο άγωγός είναι ακίνητος.
4. Ποιά σχέση δίνει την ηλεκτρεγερτική δύναμη μιας σπείρας του επαγωγικού τυμπάνου που περιστρέφεται με n στρ/s, όταν η μαγνητική επαγωγή του πεδίου είναι B , το μήκος του άγωγου / καί η ακτίνα του επαγωγικού τυμπάνου r ;
5. Ποιά είναι η μορφή της ηλεκτρεγερτικής δυνάμεως που δημιουργείται από επαγωγή σε μία περιστρέφόμενη σπείρα του επαγωγικού τυμπάνου; Από τι εξαρτάται η μορφή της σχετικής καμπύλης;
6. Εξήγησε πώς στην απλή γεννήτρια συνεχούς ρεύματος που το επαγωγικό της τύμπανο έχει μία μόνο σπείρα, το ρεύμα στο εξωτερικό φορτίο έχει πάντα την ίδια φορά.
7. Ποιο μέρος της γεννήτριας συνεχούς ρεύματος δημιουργεί το άνορθωμένο ρεύμα στο εξωτερικό φορτίο;
8. Από τι εξαρτάται το μέτρο της δυνάμεως που άσκειται σε ένα άγωγό που διαρρέεται από ηλεκτρικό ρεύμα και βρίσκεται μέσα σε μαγνητικό πεδίο;
9. Γιατί η ένταση του ρεύματος που απορροφά το επαγωγικό τύμπανο σε ένα κινητήρα συνεχούς ρεύματος όταν λειτουργεί, δεν είναι ίση με το πηλίκο της τάσεως τροφοδοτήσεως διά της αντίστασης του τυλίγματος του τυμπάνου και των ψηκρών;
10. Εξήγησε γιατί στους κινητήρες η αντίηλεκτρεγερτική δύναμη είναι πάντοτε μικρότερη από την τάση της πηγής.
11. Πότε σε μία γεννήτρια εμφανίζεται το φαινόμενο κινητήρα και πότε δεν εμφανίζεται;

1.9 Προβλήματα και ασκήσεις.

1. Ένας άγωγός μήκους $0,40$ m κινείται κάθετα προς τις μαγνητικές γραμμές με ταχύτητα 30 m/s. Ποιο είναι το μέγεθος της ηλεκτρεγερτικής δυνάμεως που θα δημιουργηθεί στον άγωγό αν η μαγνητική επαγωγή του πεδίου είναι 1Vs/m^2 ;
(**Απάντ.:** 12 V)
2. Το επαγωγικό τύμπανο μιας απλής γεννήτριας έναλλασσόμενου ρεύματος έχει μήκος $0,30$ m, ακτίνα $0,4$ m και περιστρέφεται με ταχύτητα 25 στρ/s. Ποιο είναι το μέγεθος της ηλεκτρεγερτικής δυνάμεως που θα δημιουργηθεί στη σπείρα του επαγωγικού τυμπάνου τη στιγμή που βρίσκεται σε μία θέση που υπάρχει μαγνητική επαγωγή $0,8$ Vs/m² στο διάκενο;
(**Απάντ.:** $30,14$ V)
3. Όταν η περιστρέφόμενη σπείρα του επαγωγικού τυμπάνου κάνει μία γωνία 90° , πόσους κύκλους θα έχει κάνει η ηλεκτρεγερτική δύναμη που δημιουργείται από επαγωγή μέσα σε αυτή;
(**Απάντ.:** $2,5$ κύκλους)
4. Ποιά δύναμη άσκειται σε άγωγό μήκους $0,2$ m που βρίσκεται μέσα σε μαγνητικό πεδίο επαγωγής $0,8$ Vs/m² και διαρρέεται από ένταση 20 A;
(**Απάντ.:** $3,2$ N)
5. Αν σε κάθε ένα από τους δύο άγωγούς της σπείρας απλού κινητήρα συνεχούς ρεύματος άσκειται από το μαγνητικό πεδίο η δύναμη που προκύπτει στην προηγούμενη άσκηση, ποιά είναι η ροπή που δημιουργείται στον άξονα αν το επαγωγικό τύμπανο έχει διάμετρο $0,6$ m;
(**Απάντ.:** $1,92$ Nm)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΔΕΥΤΕΡΟ

ΗΛΕΚΤΡΙΚΕΣ ΜΗΧΑΝΕΣ ΣΥΝΕΧΟΥΣ ΡΕΥΜΑΤΟΣ

2.1 Πού χρησιμοποιούνται οι μηχανές συνεχούς ρεύματος.

Τά παλιότερα χρόνια, πού η κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας ήταν μικρή, κά-
θε πόλη είχε τό δικό της σταθμό παραγωγής, ό όποιος τροφοδοτούσε τό δίκτυο
διανομής τής πόλεως. Τότε τό παραγόμενο ηλεκτρικό ρεύμα συνήθως ήταν συνε-
χές ρεύμα, ή χρήση του όποιου χρονικά έξεταζόμενη προηγήθηκε από τή χρήση
του έναλλασσόμενου ρεύματος. Σήμερα πού, όπως αναφέραμε καί στην παράγρα-
φο 1.1, έχομε ανάγκη από μεγάλες ποσότητες ηλεκτρικής ενέργειας, έχει έπικρα-
τήσει νά γίνεται ή παραγωγή, ή μεταφορά καί ή διανομή της μέ έναλλασσόμενο
ρεύμα γιά τούς λόγους πού θά εξηγήσομε σέ έπόμενο κεφάλαιο, όταν θά μιλήσομε
γιά τούς μετασχηματιστές. "Ετσι σιγά-σιγά ή χρησιμοποίηση των ηλεκτρικών μηχα-
νών συνεχούς ρεύματος σάν μηχανές γενικής χρήσεως περιορίσθηκε πάρα πολύ.
Οι μηχανές συνεχούς ρεύματος χρησιμοποιούνται πιά μόνο σάν μηχανές γιά είδι-
κές χρήσεις.

Ειδικότερα ή χρησιμοποίηση των γεννητριών συνεχούς ρεύματος συνεχώς πε-
ριορίζεται, γιατί καί στίς περιπτώσεις πού έχομε ανάγκη από συνεχές ρεύμα, όπως
γιά τή φόρτιση συσσωρευτών, γιά τή βιομηχανία κλπ., χρησιμοποιούμε συνήθως
άνορθωτές, πού μετατρέπουν σέ συνεχές ρεύμα τό έναλλασσόμενο ρεύμα του
δικτύου διανομής τής πόλεως. Γεννήτριες συνεχούς ρεύματος χρησιμοποιούνται
σέ μερικούς σταθμούς παραγωγής γιά τήν τροφοδότηση τής διεγέρσεως των έ-
ναλλακτών, όπως θά εξηγήσομε στά έπόμενα, στά αυτοκίνητα γιά τή φόρτιση
των συσσωρευτών, στά σιδηροδρομικά βαγόνια γιά τή φόρτιση έπίσης των συσ-
σωρευτών, γιά όρισμένες ηλεκτροσυγκολήσεις κλπ. Πάντως καί σέ αυτές τίς χρή-
σεις ή τάση είναι οι γεννήτριες συνεχούς ρεύματος νά αντικατασταθούν από γεν-
νήτριες έναλλασσόμενου ρεύματος άπευθείας συζευγμένες μέ άνορθωτές, όπως
άρχισε νά γίνεται τά τελευταία χρόνια στά αυτοκίνητα.

Οι κινητήρες συνεχούς ρεύματος έχουν όρισμένες ιδιότητες πού τούς κάνουν
πολύ κατάλληλους γιά τήν κίνηση όχημάτων (τρόλεϋ, τροχιοδρόμων, ηλεκτρικών
σιδηροδρόμων). Άλλά καί στή βιομηχανία, χάρη στην ιδιότητα πού έχουν νά είναι
δυνατή ή ρύθμιση μέ μεγάλη άκρίβεια του άριθμού στρωφών τους, κρατούν ένα
σημαντικό πεδίο έφαρμογής σέ όρισμένες εργασίες. Στίς εργασίες αυτές είναι μά-
λιστα δυνατή μέ τούς κινητήρες συνεχούς ρεύματος ή αυτοματποίηση, ώστε οι
εργασίες νά εκτελούνται ταχύτερα καί άκριβέστερα.

"Όπως αναφέραμε καί παραπάνω, τό άπαιτούμενο στή βιομηχανία συνεχές ρεύ-

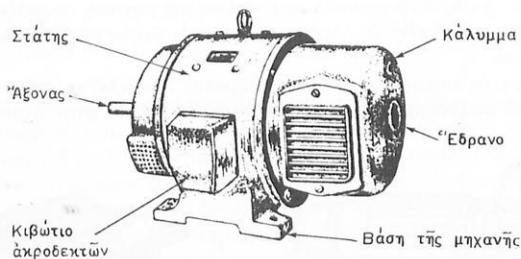
μα τό παίρνουμε από τό έναλλασσόμενο ρεύμα του δικτύου μέ άνορθωτές. Για τό σκοπό αυτό χρησιμοποιούμε σήμερα ήμιαγωγά στοιχεία, τά λεγόμενα θυρίστορ.

Τά θυρίστορ μετατρέπουν τό έναλλασσόμενο ρεύμα σέ συνεχές καί ταυτόχρονα επιτρέπουν τήν αυτόματη ρύθμιση τής έντάσεώς του, ώστε νά επιτυγχάνονται οί επιθυμητοί άριθμοί στροφών των κινητήρων. Ή τεχνολογία αυτή επιτρέπει καί στίς μικρές βιομηχανικές μονάδες νά χρησιμοποιούν οίκονομικά κινητήρες συνεχούς ρεύματος μεγάλης ακρίβειας. Κινητήρες του τύπου αυτού χρησιμοποιούνται σέ άνελκυστήρες, σέ γερανούς, σέ εργαλειομηχανές, σέ μηχανές κλωστούφαν- τουργίας, στή βιομηχανία χαρτιού, στήν τυπογραφία καί (σέ μεγάλες ίσχεις) στά έ- λαστρα των χαλυβουργείων.

2.2 Πώς είναι κατασκευασμένες οί μηχανές συνεχούς ρεύματος.

“Όπως αναφέραμε καί στήν παράγραφο 1.5, οί γεννήτριες συνεχούς ρεύματος από τήν άποψη τής κατασκευής τους είναι μηχανές όμοιες μέ τούς κινητήρες συνε- χοϋς ρεύματος. Έτσι, στά έπόμενα περιγράφοντας τήν κατασκευή δέν θά κάνομε διάκριση άν πρόκειται γιά γεννήτρια ή κινητήρα.

Κάθε μηχανή συνεχούς ρεύματος (σχ. 2.2α) αποτελείται από τό άκίνητο μέρος καί τό περιστρεφόμενο μέρος πού όνομάζεται καί **δρομέας**. Τό άκίνητο μέρος τής μηχανής αποτελείται από τό κεντρικό τμήμα, τόν **στάτη** καί τά δύο **καλύμματα**, πού προφυλάγουν τό έσωτερικό τής μηχανής καί στηρίζουν τά **έδρανα**, μέσα στά όποία περιστρέφεται ό άξονας του δρομέα. Στο έξωτερικό μέρος του στάτη είναι στε- ρεωμένο τό κιβώτιο των **άκροδεκτών**, μέ τούς όποίους ή μηχανή συνδέεται μέ τό δίκτυο πού τροφοδοτεί (άν είναι γεννήτρια) ή μέ τό δίκτυο πού τήν τροφοδοτεί μέ ήλεκτρικό ρεύμα (άν είναι κινητήρας).

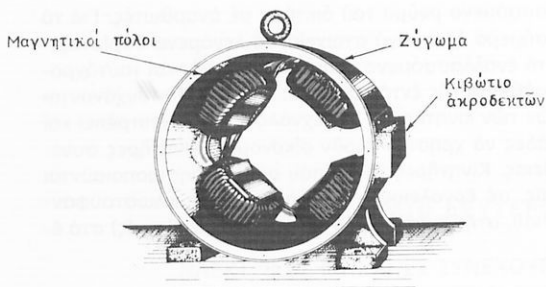


Σχ. 2.2α.

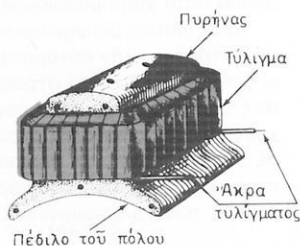
Μηχανή συνεχούς ρεύματος.

Ό στάτης στίς μηχανές συνεχούς ρεύματος (σχ. 2.2β) αποτελείται από τό **ζύγω- μα** καί τούς **μαγνητικούς πόλους**, πού είναι στερεωμένοι στο έσωτερικό του μέρους, όπως φαίνεται στο σχήμα. Στο κάτω μέρος τό ζύγωμα είναι διαμορφωμένο σέ **βά- ση** τής μηχανής.

Κάθε μαγνητικός πόλος αποτελείται από τόν **πυρήνα** καί τό **τύλιγμα** (σχ. 2.2γ).



Σχ. 2.2β.
Στάτης.

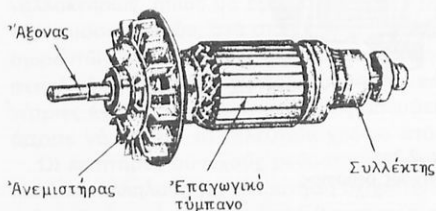


Σχ. 2.2γ.
Μαγνητικός πόλος.

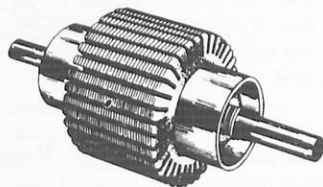
Ο πυρήνας, πού κατασκευάζεται συνήθως από πολλά λεπτά είδικα σιδερένια ελάσματα (μαγνητικά ελάσματα), έχει διαμορφωθεί στο ένα του άκρο σε **πέδιλο του πόλου**, όπως φαίνεται στο σχήμα, για την καλύτερη κατανομή του μαγνητικού πεδίου. Το τύλιγμα κάθε πόλου αποτελείται από πολλές σπείρες από μονωμένο χαλκίνο σύρμα, πού όλες μαζί, για καλύτερη μόνωση προς τόν πυρήνα, είναι τυλιγμένες με βαμβακερή ταινία βαπτισμένη σε βερνίκι. Τα άκρα του τυλίγματος μένουν ελεύθερα γιατί, όπως θα δούμε στα επόμενα, μέσα από αυτά διοχετεύεται τό ηλεκτρικό ρεύμα πού δημιουργεί τό μαγνητικό πεδίο. Σε πολλές μηχανές συνεχούς ρεύματος σε κάθε πόλο έχουμε δύο τυλίγματα, τό ένα ανεξάρτητο από τό άλλο. Τό ένα ονομάζεται **τύλιγμα σειρᾶς** καί τό άλλο **παράλληλο τύλιγμα**. Αὐτά εἶναι τά λεγόμενα **σύνθετα** τυλίγματα.

Ἀνάλογα μέ τόν ἀριθμό τῶν πόλων πού ἔχει μία μηχανή, ὀνομάζεται διπολική, τετραπολική, ἑξαπολική κλπ. Οἱ ηλεκτρικές μηχανές ἔχουν πάντα ἄρτιο ἀριθμό μαγνητικῶν πόλων.

Ο δρομέας μιᾶς μηχανῆς συνεχούς ρεύματος ἀποτελεῖται ἀπό τό **ἐπαγωγικό τύμπανο** καί τό **συλλέκτη** πού εἶναι στερεωμένα ἐπάνω στόν ἄξονα (σχ. 2.2δ).



Σχ. 2.2δ.
Δρομέας.

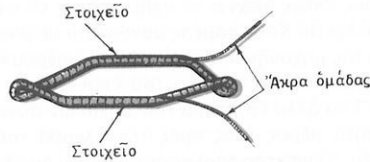


Σχ. 2.2ε.
Πυρήνας ἀπό ἐπαγωγικό τύμπανο.

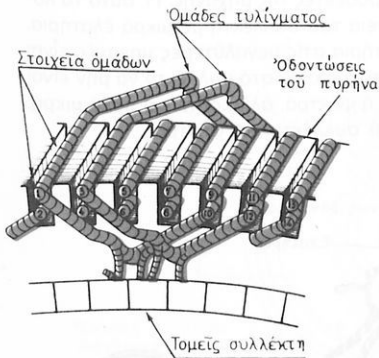
Πολλές φορές ἐπάνω στόν ἄξονα εἶναι στερεωμένος καί ὁ **ἀνεμιστήρας**, πού χρησιμεύει γιά νά σπρώχνει τόν ἀέρα πού ψύχει τή μηχανή.



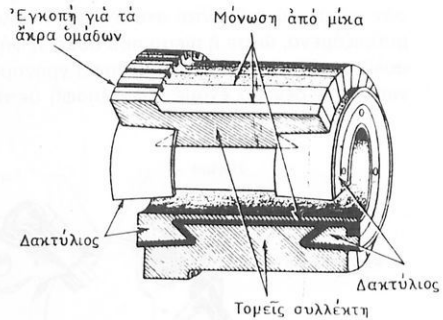
Σχ. 2.2στ.
Έλασμα πυρήνα.



Σχ. 2.2ζ.
Όμαδα τυλίγματος.



Σχ. 2.2η.
Τοποθέτηση των ομάδων στις όδοντώσεις.



Σχ. 2.2θ.
Συλλέκτης.

Τό επαγωγικό τύμπανο αποτελείται από τόν **πυρήνα** καί τό **τύλιγμα**. Ο πυρήνας (σχ. 2.2ε) κατασκευάζεται από πολλά λεπτά μαγνητικά ελάσματα κομμένα όπως δείχνει τό σχήμα 2.2στ. Οι όδοντώσεις πού έχουν τά ελάσματα στήν περιφέρειά τους σχηματίζουν τά αύλακια του πυρήνα μέσα στά όποια τοποθετείται τό τύλιγμα.

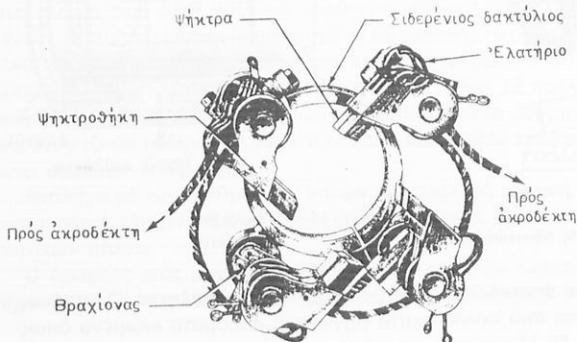
Τό τύλιγμα αποτελείται από ένα όρισμένο αριθμό **όμάδων** (σχ. 2.2ζ). Κάθε όμαδα κατασκευάζεται από πολλές σπείρες μονωμένου χάλκινου σύρματος, οι όποίες άφου τυλιχθούν μέ βαμβακερή ταινία, διαμορφώνονται όπως δείχνει τό σχήμα. Τά δύο **άκρα** του σύρματος από τό όποίο έχει κατασκευασθεί ή όμαδα μένουν έλεύθερα γιά νά συνδεθούν σέ δύο τομείς του συλλέκτη (σχ. 2.2η). Κάθε ένα από τά δύο **στοιχεία** πού έχει ή όμαδα τοποθετείται σέ διαφορετικό αύλακι του πυρήνα καί κατά τέτοιο τρόπο, ώστε σέ κάθε αύλακι νά υπάρχουν δύο στοιχεία από δύο διαφορετικές όμαδες, όπως φαίνεται στό σχήμα 2.2η. Έτσι, έχομε ένα **τύλιγμα σέ δύο στρώσεις**.

Ο συλλέκτης είναι κατασκευασμένος από πολλά χάλκινα ελάσματα, τούς **τομείς του συλλέκτη**, διαμορφωμένα όπως φαίνεται στό σχήμα 2.2θ, τό όποίο δείχνει ένα συλλέκτη σέ τομή. Οι τομείς στερεώνονται άνάμεσα σέ δύο σιδερένιους δακτύ-

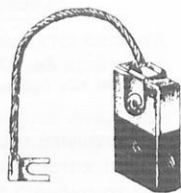
λιους, όπως δείχνει τό σχήμα, ώστε νά σχηματίζουν τήν κυλινδρική ἐπιφάνεια τοῦ συλλέκτη. Κάθε τομέας μονώνεται μέ μία ἀπό τούς διπλανούς του καί ἀπό τό σῶμα τῆς μηχανῆς. Στίς ἐγκοπές πού φέρουν οἱ τομεῖς συγκολλοῦνται τά ἄκρα τῶν ὀμάδων ἀπό τό τύλιγμα τοῦ ἐπαγωγικοῦ τυμπάνου.

Ἐνα ἄλλο ἐξάρτημα τῶν μηχανῶν συνεχοῦς ρεύματος, πού στερεώνεται στό ἀκίνητο μέρος τους πρὸς τήν πλευρά τοῦ συλλέκτη, εἶναι ὁ **ψηκτροφορέας** (σχ. 2.21). Ὁ ψηκτροφορέας ἀποτελεῖται ἀπό ἓνα σιδερένιο δακτύλιο μέ βραχίονες, πού εἶναι στερεωμένοι σέ αὐτό κατά τέτοιο τρόπο, ὥστε νά εἶναι ἠλεκτρικά μονωμένοι ἀπό τόν δακτύλιο.

Στούς βραχίονες στερεώνονται οἱ **ψηκτροθήκες**, μέσα στίς ὁποῖες τοποθετοῦνται οἱ **ψήκτρες**. Οἱ ψήκτρες χρησιμεύουν γιά νά παίρνουν τό ἠλεκτρικό ρεῦμα ἀπό τό συλλέκτη καί νά τό διοχετεύουν στούς ἀκροδέκτες τῆς μηχανῆς. Γι' αὐτό τό λόγο οἱ ψήκτρες πιέζονται ἐπάνω στήν ἐπιφάνεια τοῦ συλλέκτη μέ μικρά ἐλατήρια, σάν αὐτά πού φαίνονται στό σχήμα. Τά ἐλατήρια στίς μεγαλύτερες μηχανές εἶναι ρυθμιζόμενα, ὥστε ἡ πίεση πού ἀσκεῖ ἡ ψήκτρα ἐπάνω στό συλλέκτη νά μήν εἶναι πολύ μεγάλη, γιατί τότε θά φθαρεῖ γρήγορα ἡ ψήκτρα, ἀλλά οὔτε καί πολύ μικρή, γιατί τότε δέν θά ἔχομε καλή ἐπαφή μεταξύ συλλέκτη καί ψήκτρας.



Σχ. 2.21.
Ψηκτροφορέας.



Σχ. 2.21α.
Ψήκτρα.

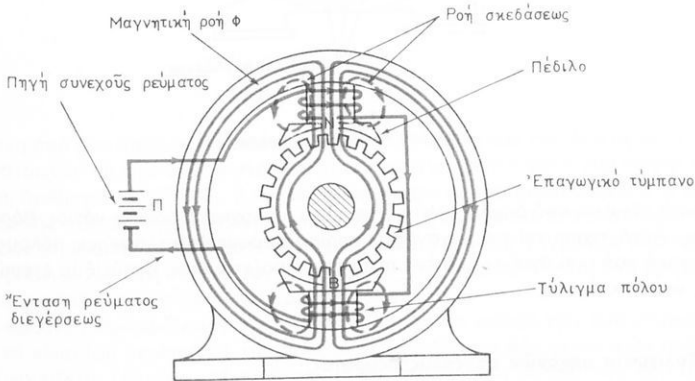
Οἱ ψήκτρες (σχ. 2.21α) εἶναι κατασκευασμένες ἀπό σκληρό ἄνθρακα ἢ ἀπό γραφίτη (φυσικό ἄνθρακα) ἢ ἀπό μίγμα ἄνθρακα καί χαλκοῦ (μεταλλικές ψήκτρες). Στό ἓνα ἄκρο τῆς ψήκτρας στερεώνεται ἓνα εὐλύγιστο χάλκινο σύρμα, ὅπως φαίνεται στό σχήμα, πού χρησιμεύει γιά νά ὀδηγεῖ τό ἠλεκτρικό ρεῦμα στόν ἀγωγό πού τῇ συνδέει μέ ἓνα ἀπό τούς ἀκροδέκτες τῆς μηχανῆς.

2.3 Ἡ διέγερση τῶν μηχανῶν συνεχοῦς ρεύματος.

Μόνο στίς πολύ μικρές μηχανές συνεχοῦς ρεύματος, τό μαγνητικό πεδίο, μέσα στό ὁποῖο περιστρέφεται τό ἐπαγωγικό τύμπανο, δημιουργεῖται ἀπό μόνιμο μαγνή-

τη σάν αυτόν του σχήματος 1.3α. Σέ όλες τις άλλες μηχανές συνεχούς ρεύματος, τό μαγνητικό πεδίο δημιουργείται από τούς μαγνητικούς πόλους (σχ. 2.2β καί σχ. 2.2γ), τά τυλίγματα τών όποιων τροφοδοτούνται μέ συνεχές ρεύμα.

Στό σχήμα 2.3α παριστάνεται μιά διπολική μηχανή τής όποιίας τά δύο τυλίγματα τών πόλων έχουν συνδεθεῖ σέ σειρά καί τροφοδοτούνται μέ συνεχές ρεύμα από τήν πηγή Π. Δημιουργείται ἔτσι, ἕνα μαγνητικό πεδίο του όποιου οἱ μαγνητικές γραμμές ἀκολουθοῦν τή διαδρομή πού φαίνεται στό σχήμα. Μέ τό γνωστό από τήν Ἡλεκτροτεχνία **κανόνα του δεξιόστροφου κοχλία** προσδιορίζομε τήν κατεύθυνση τών μαγνητικῶν γραμμῶν. Στήν περίπτωση τής μηχανῆς του σχήματος ὁ κάτω πόλος θά εἶναι βόρειος καί ὁ ἐπάνω νότιος. Ἄν ἀλλάξομε τήν κατεύθυνση του ρεύματος, ἡ πολικότητα τών μαγνητικῶν πόλων ἀλλάζει.

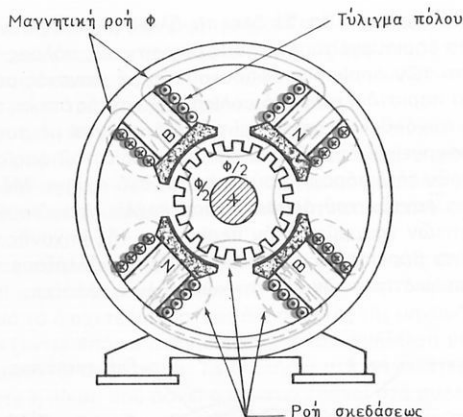


Σχ. 2.3α.
Διέγερση διπολικῆς μηχανῆς.

Ἡ δημιουργία του μαγνητικοῦ πεδίου από τό ἡλεκτρικό ρεύμα λέγεται **διέγερση** τῆς μηχανῆς. Τό σύνολο τών τυλίγμάτων τών μαγνητικῶν πόλων ὀνομάζεται **τύλιγμα διεγέρσεως** καί τό ἡλεκτρικό ρεύμα πού περνά μέσα από αὐτό τό λέμε **ρεύμα διεγέρσεως** τῆς μηχανῆς.

Ἀπό ὅλη τή μαγνητική ροή πού διαρρέει ἕνα μαγνητικό πόλο, **χρήσιμη** εἶναι ἡ ροή ἐκείνη Φ πού περνά τό διάκενο, τό ἐπαγωγικό τύμπανο, τό ἄλλο διάκενο, τόν ἄλλο πόλο καί τελικά ἐπιστρέφει μέσα από τό ζύγωμα. Ἡ ροή αὐτή εἶναι πού δημιουργεῖ τήν ἡλεκτρεγερτική δύναμη στίς γεννήτριες ἢ τίς δυνάμεις στούς κινητήρες. Ἐνα μικρό μέρος τῆς μαγνητικῆς ροῆς κάθε πόλου, πού ὀνομάζεται **ροή σκεδάσεως**, δέν ἀκολουθεῖ τήν παραπάνω διαδρομή ἀλλά εὐκολότερους δρόμους ὧπως φαίνεται καί στό σχήμα 2.3α.

Τό σχήμα 2.3β δείχνει τή διέγερση μιᾶς τετραπολικῆς μηχανῆς συνεχούς ρεύματος. Στό σχήμα αὐτό τά τυλίγματα τών μαγνητικῶν πόλων παριστάνονται σέ τόμή. Ὅπως παρατηροῦμε, τό ρεύμα διεγέρσεως μέσα στά τυλίγματα ἔχει τέτοια φο-



Σχ. 2.3β.

Διέγερση τετραπολικής μηχανής.

ρά ώστε οι πόλοι που δημιουργούνται να είναι διαδοχικά: βόρειος, νότιος, βόρειος νότιος. Αυτό ισχύει καί για μηχανές με περισσότερους από τέσσερεις πόλους. Η μαγνητική ροή που βγαίνει από ένα πόλο διαμοιράζεται έτσι, στους δύο έτερων-μους γειτονικούς της.

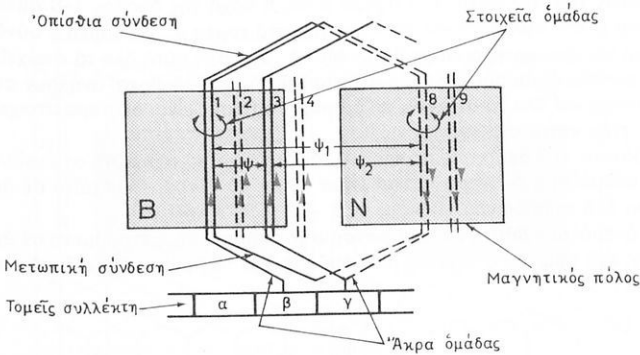
2.4 Τυλίγματα μηχανών συνεχούς ρεύματος.

Η απλή γεννήτρια της παραγράφου 1.3, με τη μία σπείρα από δύο άγωγούς στο έπαγωγικό τύμπανο, παράγει πολύ μικρή ηλεκτρεγερτική δύναμη. Επίσης το ρεύμα που είναι δυνατό να μās δώσει έχει σημαντική κυμάτωση. Στίς πραγματικές μηχανές συνεχούς ρεύματος το τυλίγμα του έπαγωγικού τυμπάνου αποτελείται από πολλές ομάδες (σχ. 2.2ζ), που κάθε μία έχει πολλές σπείρες. Οι ομάδες αυτές είναι ομοιόμορφα διανεμημένες σε όλη την κυλινδρική επιφάνεια του έπαγωγικού τυμπάνου καί τά στοιχεία τους είναι τοποθετημένα στα αλάκια των όδοντώσεων του (σχ. 2.2η). Έτσι, έχουμε γεννήτριες που δίνουν σημαντική ηλεκτρεγερτική δύναμη καί ρεύμα σχεδόν χωρίς κυμάτωση καί κινητήρες που αναπτύσσουν σημαντική καί σταθερή ροπή περιστροφής.

Ανάλογα με τόν τρόπο που τά άκρα των ομάδων συνδέονται στους τομείς του συλλέκτη, τά τυλίγματα των μηχανών συνεχούς ρεύματος τά διακρίνομε σε **βροχο-τυλίγματα** καί **κυματοτυλίγματα**.

1) Βροχοτυλίγματα.

Στά βροχοτυλίγματα τά άκρα κάθε ομάδας συνδέονται σε γειτονικούς τομείς του συλλέκτη, όπως φαίνεται στο σχήμα 2.4α, που δείχνει μία ομάδα (1-8) άποτε-



Σχ. 2.4α.
Όμάδα από βροχοτύλιγμα.

λούμενη από δύο σπειρες, δηλαδή ανήκει σέ ένα τύλιγμα πού έχει δύο άγωγούς σέ κάθε στοιχείο. Μερικά από τά στοιχεία αύτου του τυλίγματος φαίνονται επίσης στό σχήμα, άριθμημένα 1,2,3,4... 8,9... καί όμοιόμορφα διανεμημένα επάνω στό **άνάπτυγμα** τής κυλινδρικής επιφάνειας του έπαγωγικού τυμπάνου. Στο άνάπτυγμα αυτό έχουν σημειωθεί καί οι θέσεις πού έχουν κάποια χρονική στιγμή δύο διαδοχικοί (ένας βόρειος καί ένας νότιος) μαγνητικοί πόλοι τής μηχανής. Επίσης στό σχήμα έχει σημειωθεί καί τό άνάπτυγμα του συλλέκτη.

Οι ομάδες διαμορφώνονται έτσι, ώστε ή απόσταση μεταξύ των δύο στοιχείων τους νά είναι ίση περίπου μέ τήν απόσταση των άξόνων δύο γειτονικών πόλων, πού ονομάζεται μάλιστα **πολικό βήμα**. Η απόσταση αύτή μεταξύ των δύο στοιχείων τής ομάδας μετριέται σέ άριθμό στοιχείων καί λέγεται **πρώτο μερικό βήμα** ψ_1 του τυλίγματος. Στο παράδειγμα αυτό είναι $\psi_1 = 8 - 1 = 7$ στοιχεία. Τό ψ_1 είναι περίπου ίσο μέ τό πολικό βήμα (πού μετριέται επίσης σέ άριθμό στοιχείων). Έτσι, όταν τό πρώτο στοιχείο μιάς ομάδας βρίσκεται κάτω από τόν άξονα ενός βόρειου πόλου, όπως στό σχήμα 2.4α, τό δεύτερο στοιχείο της θά βρίσκεται περίπου κάτω από τόν άξονα του γειτονικού νότιου πόλου. Μέ τή διάταξη αύτή οι ήλεκτρεγερτικές δυνάμεις πού δημιουργούνται από έπαγωγή στους άγωγούς των δύο στοιχείων κάθε ομάδας προστίθενται, όπως φαίνεται καί στό σχήμα.

Τό τμήμα κάθε ομάδας πού συνδέει τά δύο στοιχεία της μεταξύ τους προς τήν πλευρά του συλλέκτη ονομάζεται **μετωπική σύνδεση**, ενώ έκείνο πού είναι στην αντίθετη πλευρά **όπισθια σύνδεση**.

Όπως αναφέραμε καί στην παράγραφο 2.2. τά τυλίγματα συνεχούς ρεύματος τοποθετούνται συνήθως σέ δύο στρώσεις στά αυλάκια των όδοντώσεων. Από τά δύο στοιχεία τής ομάδας του σχήματος 2.4α, τό στοιχείο 1 θά είναι στην επάνω στρώση (βλέπε καί σχήμα 2.2η) καί τό στοιχείο 8 στην κάτω στρώση. Τά στοιχεία πού βρίσκονται στην κάτω στρώση τά παριστάνομε στό σχέδιο μέ διακοπόμενη γραμμή.

Όπως είπαμε, στά βροχοτυλίγματα τά άκρα κάθε ομάδας συνδέονται μέ γειτο-

νικούς τομείς του συλλέκτη. Στο σχήμα 2.4α, η αρχή της ομάδας 1-8 συνδέεται στον τομέα β του συλλέκτη και το τέλος της στο τομέα γ. Στο τομέα γ συνδέεται και η αρχή της επόμενης ομάδας 3-10. Με τη διαδοχή αυτή όλα τα στοιχεία που έχουν περιττούς αριθμούς είναι πρώτα στοιχεία των ομάδων και ανήκουν στην επάνω στρώση και όλα τα στοιχεία με άρτιους αριθμούς είναι δεύτερα στοιχεία και ανήκουν στην κάτω στρώση.

Η απόσταση του δεύτερου στοιχείου μιας ομάδας από το πρώτο στοιχείο της επόμενης ονομάζεται **δεύτερο μερικό βήμα** ψ_2 και το μετράμε και αυτό σε αριθμό στοιχείων. Στο παράδειγμα είναι $\psi_2 = 8 - 3 = 5$ στοιχεία.

Τέλος ονομάζουμε **βήμα του τυλίγματος** ψ την απόσταση, μετρούμενη σε αριθμό στοιχείων, του πρώτου στοιχείου μιας ομάδας από το πρώτο στοιχείο της επόμενης. Είναι:

$$\psi = \psi_1 - \psi_2$$

και στο παράδειγμα $\psi = 7 - 5 = 2$ στοιχεία

Τό ψ_2 μπορεί να είναι μικρότερο ή μεγαλύτερο από τό ψ_1 , ποτέ όμως ίσο με αυτό. Τό ψ μπορεί να είναι θετικός ή αρνητικός αριθμός. Τά ψ_1 και ψ_2 είναι πάντα περιττοί αριθμοί και τό ψ άρτιος. Στα άπλα βροχοτυλίγματα είναι πάντοτε $\psi = 2$.

Ο αριθμός των τομέων του συλλέκτη είναι ίσος πρός τόν αριθμό των ομάδων του τυλίγματος. Ο αριθμός των τομέων του συλλέκτη που μεσολαβούν μεταξύ του τομέα στον οποίο είναι συνδεδεμένη η αρχή μιας ομάδας και του τομέα στον οποίο είναι συνδεδεμένο τό τέλος της ονομάζεται **βήμα του συλλέκτη** ψ_σ . Στα άπλα βροχοτυλίγματα που εξετάζουμε εδώ είναι $\psi_\sigma = 1$.

Σάν παράδειγμα άπλου βροχοτυλίγματος δίνουμε στό σχήμα 2.4β τό τύλιγμα διπολικής μηχανής μέ 12 όδοντώσεις και 24 στοιχεία. Κάθε στοιχείο έχει ένα άγωγό, δηλαδή οι ομάδες άποτελούνται από μία σπείρα μόνο. Στο τύλιγμα αυτό είναι:

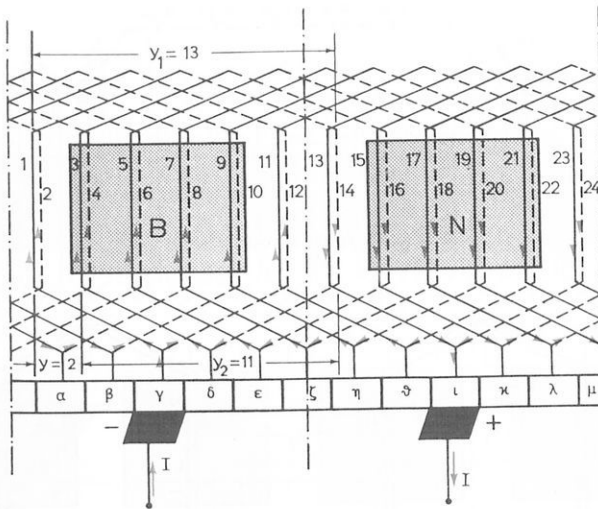
$$\psi_1 = 13 \text{ στοιχεία}, \psi_2 = 11 \text{ στοιχεία},$$

$$\text{πολικό βήμα} = \frac{s}{2 \cdot p} = \frac{24}{2 \times 1} = 12 \text{ στοιχεία}$$

όπου: s είναι ο αριθμός των στοιχείων του τυλίγματος και
 p ο αριθμός των ζευγών των πόλων.

Στό παραπάνω σχήμα έχουν σχεδιασθεί τό ένα κοντά στό άλλο, ανά δύο τά στοιχεία που μπαίνουν στό ίδιο αύλάκι του τυμπάνου, όπως τό 1 μέ τό 2, τό 3 μέ τό 4 κλπ.

Στό σχήμα 2.4β έχουν τοποθετηθεί και οι ψήκτρες, που στην περίπτωση αυτή είναι δύο, δηλαδή όσος και ο αριθμός των πόλων. Αυτός είναι γενικός κανόνας στα βροχοτυλίγματα, ο αριθμός των ψηκτρών να είναι ίσος με τόν αριθμό των πόλων. Οι ψηκτρες έχουν τοποθετηθεί στους άξονες των πόλων και εφάπτονται στους τομείς του συλλέκτη. Θετική είναι η ψήκτρα που εφάπτεται στον τομέα του συλλέκτη, στον οποίο συγκλίνουν οι ηλεκτρεγερτικές δυνάμεις που δημιουργούνται στους άγωγούς. Η άλλη είναι αρνητική.



Σχ. 2.4β.

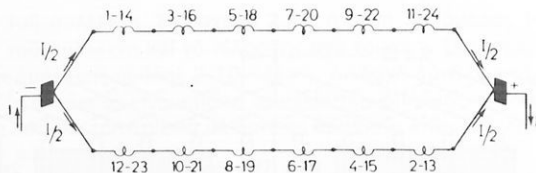
Βροχοτύλιγμα διπολικής μηχανής.

Στήν πραγματικότητα τό τυλίγμα καί ὁ συλλέκτης περιστρέφονται, ἐνῶ οἱ πόλοι καί οἱ ψήκτρες μένουν ἀκίνητοι. Κατά τήν περιστροφή τοῦ δρομέ κάθε ψήκτρα βραχυκυκλώνει διαδοχικά τίς ὁμάδες τοῦ τυλίγματος. Ἡ ὁμάδα πού βραχυκυκλώνεται κάποια στιγμή εἶναι ἐκείνη πού τά ἄκρα της καταλήγουν σέ δύο γειτονικούς τομεῖς τοῦ συλλέκτη στούς ὁποίους ἐφάπτεται ἡ ψήκτρα. Ὄταν, ὅπως ἀναφέραμε, οἱ ψήκτρες εἶναι τοποθετημένες στούς ἀξονες τῶν πόλων εἶναι πολύ εὔκολο νά διαπιστώσει κανεῖς ὅτι βραχυκυκλώνουν ὁμάδες πού τά στοιχεῖα τους βρίσκονται πολύ κοντά στίς οὐδέτερες ζῶνες, ὅπου οἱ ἀναπτυσσόμενες ἠλεκτρεγερτικές δυνάμεις εἶναι μηδενικές ἤ πολύ μικρές. Αὐτός εἶναι ὁ λόγος πού πολλές φορές λέμε ὅτι οἱ ψήκτρες εἶναι στήν οὐδέτερη ζώνη ἐνῶ στήν πραγματικότητα βρίσκονται τοποθετημένες στούς ἀξονες τῶν πόλων.

Ἄν σχεδιάσουμε τίς ὁμάδες τοῦ τυλίγματος τοῦ σχήματος 2.4β, ὅπως εἶναι συνδεμένες σέ σειρά μεταξύ τῶν ψηκτρῶν, θά δοῦμε ὅτι ὅλο τό τυλίγμα τῆς μηχανῆς ἀποτελεῖται ἀπό δύο **παράλληλους κλάδους**, ὅπως φαίνεται στό σχ. 2.4γ. Στά ἀπλά βροχοτύλιγματα ὁ ἀριθμός τῶν παραλλήλων κλάδων εἶναι ἴσος μέ τόν ἀριθμό τῶν πόλων τῆς μηχανῆς. Παράδειγμα: Μιά ὀκταπολική μηχανή μέ βροχοτύλιγμα θά ἔχει ὀκτώ παράλληλους κλάδους.

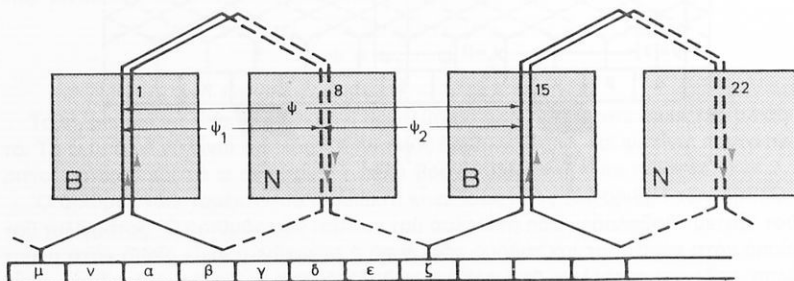
2) Κυματοτυλίγματα.

Στά τυλίγματα αὐτά, τά ἄκρα τῆς ὁμάδας δέν συνδέονται σέ γειτονικούς τομεῖς



Σχ. 2.4γ.

Παράλληλοι κλάδοι βροχοτυλίσματος.



Σχ. 2.4δ.

Ομάδες από κυματοτύλιγμα.

του συλλέκτη (όπως στα βροχοτυλίγματα) αλλά σέ τομείς που απέχουν πολύ μεταξύ τους. Το σχήμα 2.4δ δίνει ένα παράδειγμα ομάδων που ανήκουν σέ κυματοτύλιγμα. Τά άκρα τής ομάδας 1-8 συνδέονται στους τομείς μ και ζ που απέχουν μεταξύ τους έπτά τομείς του συλλέκτη. Στόν τομέα ζ συνδέεται καί ή άρχή τής επόμενης ομάδας 15-22, όπως καί στα βροχοτυλίγματα.

Στά κυματοτυλίγματα τό βήμα του τυλίγματος ψ είναι ίσο μέ τό άθροισμα τών μερικών βημάτων ψ_1 καί ψ_2 :

$$\psi = \psi_1 + \psi_2$$

καί δίνεται από τόν τύπο:

$$\psi = \frac{s + 2}{p}$$

όπου: s είναι ο αριθμός τών στοιχείων του τυλίγματος καί
 p ο αριθμός τών ζευγών μαγνητικών πόλων.

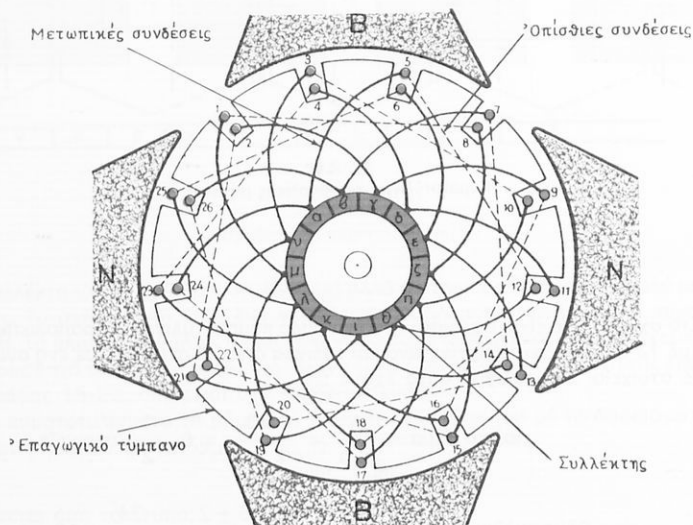
Στά κυματοτυλίγματα τά μερικά βήματα μπορεί νά είναι καί ίσα μεταξύ τους, πράγμα που αποκλείεται στα βροχοτυλίγματα. Τά ψ_1 καί ψ_2 είναι καί έδω περιττοί αριθμοί, ενώ τό ψ είναι πάντοτε άρτιος. Για τό βήμα του συλλέκτη είναι πάντοτε $\psi_0 = \psi/2$.

πάντα δύο παράλληλους κλάδους, ανεξάρτητα από τον αριθμό των πόλων που έχει η μηχανή. Συνήθως όμως τοποθετούνται και στίς περιπτώσεις αυτές τόσες ψήκτρες όσοι είναι οι πόλοι της μηχανής. Στο παράδειγμα έχουν τοποθετηθεί τέσσερις ψήκτρες και ανά δύο έχουν συνδεθεί ώστε να λειτουργούν παράλληλα και να περνά το μισό ρεύμα από κάθε ψήκτρα.

Τό σχήμα 2.4στ δίνει ένα άλλο τρόπο σχεδιάσεως των τυλιγμάτων και παριστάνει με τον τρόπο αυτό κυματοτύλιγμα με $\psi_1 = 7$, $\psi_2 = 7$ και $s = 26$ στοιχεία.

Ο τρόπος αυτός είναι πίο παραστατικός γιατί δείχνει την πραγματική θέση των στοιχείων των ομάδων μέσα στα αυλάκια των οδοντώσεων του τυμπάνου. Δείχνει επίσης τις μετωπικές και τις όπισθιες συνδέσεις στην πραγματική τους θέση σε σχέση με το συλλέκτη.

Δέν θα επέκταθούμε περισσότερο στό βιβλίο αυτό στά τυλίγματα των μηχανών συνεχούς ρεύματος. Αναφέρομε μονάχα, πώς έκτός από τά απλά βροχοτυλίγματα και κυματοτυλίγματα πού περιγράψαμε ύπάρχει ένας σημαντικός αριθμός παραλλαγών αυτών των τυλιγμάτων πού είναι ένδεχόμενο νά τά συναντήσει κανείς στην πράξη.



Σχ. 2.4στ.
Κυματοτύλιγμα τετραπολικής μηχανής.

2.5 Η λειτουργία των γεννητριών συνεχούς ρεύματος.

1) Λειτουργία χωρίς φορτίο.

Στήν παράγραφο 1.3 είδαμε ποιά σχέση δίνει τό μέγεθος της ηλεκτρεγερτικής δυνάμεως μιάς σπείρας του επαγωγικού τυμπάνου γιά την απλή γεννήτρια πού ξε-

τάσαμε εκεί. 'Η ηλεκτρεγερτική δύναμη E μιᾶς πραγματικῆς γεννήτριας συνεχοῦς ρεύματος δίνεται ἀπὸ τὴν ἀκόλουθη σχέση τῆς ὁποίας παραλείπομε τὴν ἀπόδειξη:

$$E = \frac{p \cdot s \cdot w}{\alpha} \cdot \Phi \cdot n \quad \text{σέ } V$$

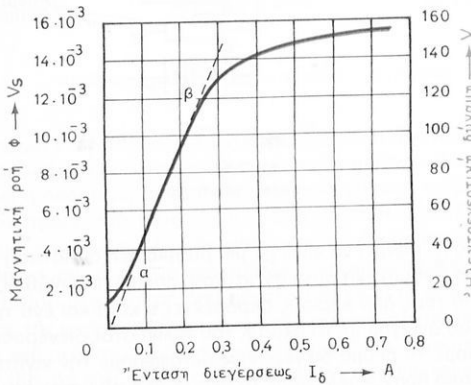
ὅπου: Φ εἶναι ἡ χρήσιμη μαγνητικὴ ροὴ σέ Vs κάθε πόλου,
 n ἡ ταχύτητα περιστροφῆς σέ στρ/s τοῦ δρομέα,
 p ὁ ἀριθμὸς τῶν ζευγῶν μαγνητικῶν πόλων τῆς μηχανῆς,
 s ὁ ἀριθμὸς τῶν στοιχείων τοῦ τυλίγματος,
 w ὁ ἀριθμὸς τῶν ἀγωγῶν σέ κάθε στοιχείῳ καὶ
 α εἶναι ὁ ἀριθμὸς τῶν ζευγῶν παραλλήλων κλάδων τοῦ τυλίγματος.
 Τὴν παραπάνω σχέση μποροῦμε νά τή γράψομε καὶ ὡς ἑξῆς:

$$E = K \cdot \Phi \cdot n \quad \text{σέ } V$$

ὅπου: $K = p \cdot s \cdot w / \alpha$ εἶναι ἓνα σταθερὸ μέγεθος γιὰ κάθε μηχανή,
 Φ εἶναι ἡ μαγνητικὴ ροὴ κάθε πόλου σέ Vs καὶ
 n ἡ ταχύτητα περιστροφῆς σέ στρ/s.

'Η σχέση αὐτὴ μᾶς λέει ὅτι ἡ ηλεκτρεγερτικὴ δύναμη μιᾶς γεννήτριας εἶναι ἀνάλογη μὲ τὴ μαγνητικὴ ροὴ κάθε πόλου καὶ μὲ τὸν ἀριθμὸ στροφῶν τῆς μηχανῆς.

Σὲ μιὰ ἡλεκτρικὴ μηχανὴ ἡ μαγνητικὴ ροὴ τῶν πόλων παράγεται ἀπὸ τὰ ἀμπερε-λίγματα διεγέρσεως. 'Επειδὴ τὰ ἐλίγματα διεγέρσεως εἶναι σταθερά, συμπεραίνομε ὅτι ἡ μαγνητικὴ ροὴ Φ ἐξαρτᾶται ἀπὸ τὴν ἔνταση διεγέρσεως. 'Η ἐξάρτηση αὐτὴ φαίνεται στὸ σχῆμα 2.5a καὶ δίνεται ἀπὸ μιὰ καμπύλη πού ὀνομάζεται **μαγνητικὴ χαρακτηριστικὴ**.

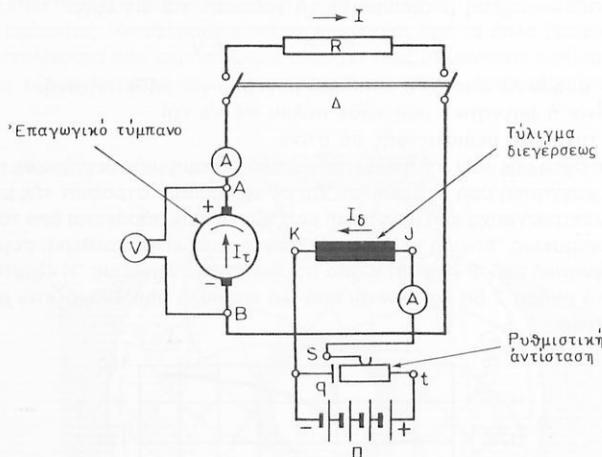


Σχ. 2.5a.
 Μαγνητικὴ καὶ στατικὴ χαρακτηριστικὴ.

Ὅταν ἡ ἔνταση διεγέρσεως εἶναι μηδενικὴ, ἡ μαγνητικὴ ροὴ δὲν μηδενίζεται. Αὐτὸ ὀφείλεται στὸν **παραμένοντα μαγνητισμὸ** τῆς μηχανῆς. Ἀπὸ τὸ σημεῖο α μέχρι τὸ σημεῖο β ἡ καμπύλη εἶναι εὐθεία. Ἀπὸ τὸ σημεῖο β ἀρχίζει ὁ κορεσμὸς τοῦ μαγνητικοῦ κυκλώματος. Εἶναι τὸ γόνατο τῆς καμπύλης καὶ γύρω ἀπὸ αὐτὸ ἐργά-

ζονται οι μηχανές. Ἡ ἴδια καμπύλη τοῦ σχήματος 2.5α μέ τήν κλίμακα πού εἶναι δεξιά παριστάνει καί τή μεταβολή τῆς ἡλεκτρεγερτικῆς δυνάμεως τῆς γεννήτριας, ἀφοῦ ὅπως εἶπαμε τά μεγέθη Φ καί E εἶναι ἀνάλογα.

Τήν καμπύλη μεταβολῆς τῆς E ὅταν μεταβάλλεται ἡ ἔνταση διεγέρσεως I_δ πού ὀνομάζεται καί **στατική χαρακτηριστική** τῆς γεννήτριας, μπορούμε νά τή χαράξουμε μετρώντας τήν τάση χωρίς φορτίο U_0 τῆς γεννήτριας γιά τίς διάφορες τιμές τῆς ἐντάσεως διεγέρσεως I_δ (σχ. 2.5β). Ἡ τάση χωρίς φορτίο τῆς γεννήτριας, δηλαδή ἡ τάση πού μετᾶμε μεταξύ τῶν ψηκτρῶν τῆς Α καί Β μέ ἕνα βολτόμετρο V , ὅταν ἡ γεννήτρια δέν τροφοδοτεῖ φορτίο (ὁ διακόπτης Δ εἶναι ἀνοικτός) εἶναι ἴση μέ τήν ἡλεκτρεγερτική τῆς δύναμη.



Σχ. 2.5β.

Λειτουργία γεννήτριας.

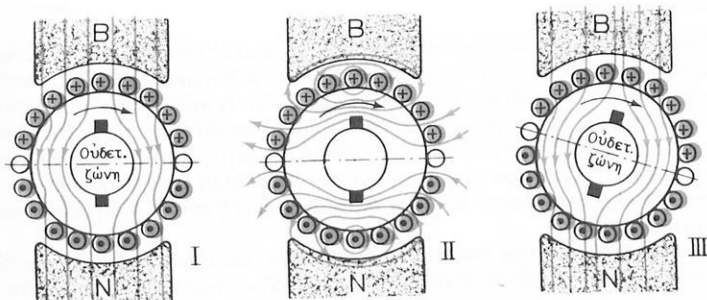
Ἡ μεταβολή τῆς I_δ μπορεῖ νά γίνει μέ μιά ρυθμιστική ἀντίσταση ὅπως φαίνεται στο σχῆμα 2.5β. Ἡ ρυθμιστική αὐτή ἀντίσταση, πού εἶναι συνήθως στροφαλοφόρος, ἔχει ἐκτός ἀπό τούς δύο κύριους ἀκροδέκτες s καί t καί ἕνα τρίτο τόν q πού συνδέεται μέσω τοῦ ἀγωγοῦ μέ τό ἄκρο K τοῦ τυλίγματος διεγέρσεως. Ἐτσι, ὅταν θέλομε νά διακόψομε τό ρεῖμα διεγέρσεως μεταφέρομε τήν κινητή ἐπαφή s στό q . Μέ αὐτό τόν τρόπο βραχυκυκλώνομε τά ἄκρα τοῦ τυλίγματος διεγέρσεως καί ἀποφεύγομε τή δημιουργία σπινθέρων στίς ἐπαφές τῆς ρυθμιστικῆς ἀντιστάσεως, τή στιγμή πού διακόπτεται τό ρεῖμα διεγέρσεως.

2) Λειτουργία μέ φορτίο.

Ἄν στή γεννήτρια τοῦ σχήματος 2.5β κλείσομε τό διακόπτη Δ , τότε τό φορτίο R θά συνδεθεῖ στούς ἀκροδέκτες A καί B τοῦ ἐπαγωγικοῦ τῆς τυμπάνου. Ἡ ἔνταση

φορτίσεως I που περνά μέσα από τό φορτίο, περνά καί μέσα από τούς άγωγούς του έπαγωγικού τυμπάνου. Είναι γνωστό όμως από την Ήλεκτροτεχνία ότι όταν άγωγοί διαρρέονται από ήλεκτρικό ρεύμα δημιουργούν γύρω τους μαγνητικό πεδίο. Τό μαγνητικό πεδίο που δημιουργούν οί άγωγοί του έπαγωγικού τυμπάνου έχει σαν αποτέλεσμα νά παραμορφώνει τό κύριο μαγνητικό πεδίο της μηχανής. Αυτή είναι ή ονομαζόμενη **αντίδραση του έπαγωγικού τυμπάνου**.

Στό σχήμα 2.5γ (I) είναι σχεδιασμένο τό κύριο μαγνητικό πεδίο καί οί άγωγοί του έπαγωγικού τυμπάνου μέ τίς ήλεκτρεγερτικές δυνάμεις που δημιουργούνται σέ αυτούς από έπαγωγή. Τό σχήμα 2.5γ (II) δείχνει τούς άγωγούς του έπαγωγικού τυμπάνου, όταν ή μηχανή έργάζεται μέ φορτίο, νά διαρρέονται από έντάσεις της ίδιας φοράς μέ τίς ήλεκτρεγερτικές δυνάμεις. Δημιουργούν τότε ένα δικό τους μαγνητικό πεδίο, όπως είναι σχεδιασμένο στό σχήμα.



Σχ. 2.5γ.

Ύντίδραση του έπαγωγικού τυμπάνου γεννήτριας.

Τέλος στό σχήμα 2.5γ (III) φαίνεται ή παραμόρφωση που παθαίνει τό κύριο μαγνητικό πεδίο από την αντίδραση του έπαγωγικού τυμπάνου. Συνέπεια αυτού είναι νά μετατοπισθεί ή ουδέτερη ζώνη, όπως φαίνεται καί στό σχήμα. Οί ψήκτρες γιά νά πληρουν τόν προορισμό τους πρέπει νά μετατοπισθούν σέ μιά θέση κάθετη πρós τή νέα ουδέτερη ζώνη. "Αν δέν γίνει αυτό θά έχομε κατά τή λειτουργία της μηχανής σπινθηρισμούς ανάμεσα στό συλλέκτη καί τίς ψήκτρες. Ή μετάθεση αυτή πρέπει νά είναι τόσο μεγαλύτερη όσο μεγαλύτερο είναι τό φορτίο της μηχανής, άφου τό μέγεθος της παραμορφώσεως του κύριου μαγνητικού πεδίου εξαρτάται άπό την ένταση του ρεύματος του έπαγωγικού τυμπάνου. Παρατηρούμε άκόμα άπό τό σχήμα 2.5γ (III), ότι στίς γεννήτριες ή μετάθεση των ψηκτρών πρέπει νά γίνεται κατά τή φορά περιστροφής του τυμπάνου της μηχανής. Στήν πράξη τίς ψηκτρες τίς μεταθέτομε στρέφοντας τόν ψηκτροφορέα κατά μιά σταθερή γωνία, ώστε νά μήν έχομε σπινθηρισμούς στό κανονικό φορτίο της μηχανής.

Αναφέρουμε έπίσης, χωρίς νά τό εξηγήσομε, ότι μία άλλη συνέπεια που έχει ή αντίδραση του έπαγωγικού τυμπάνου καί ή μετάθεση των ψηκτρών είναι ότι ή ήλεκτρεγερτική δύναμη της μηχανής υπό φορτίο E_{ϕ} είναι μικρότερη άπό την

ηλεκτρεγερτική δύναμη E που έχει όταν εργάζεται χωρίς φορτίο με την ίδια ένταση διεγέρσεως.

$$E_{\phi} < E$$

Η τάση U που μετράμε στους άκροδέκτες του τυμπάνου μιας γεννήτριας όταν εργάζεται με φορτίο και με μία ορισμένη ένταση διεγέρσεως, είναι μικρότερη από την E_{ϕ} με την ίδια ένταση διεγέρσεως και τον ίδιο αριθμό στροφών. Τό πόσο μικρότερη είναι εξαρτάται από την πώση τάσεως μέσα στο τύμπανο.

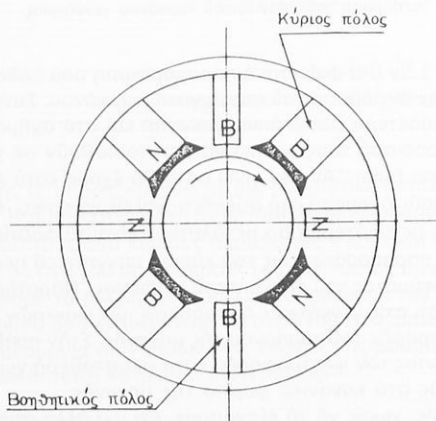
$$U = E_{\phi} - R_T I_T \quad \text{σέ } V$$

όπου: R_T η ωμική αντίσταση του τυλίγματος του επαγωγικού τυμπάνου σέ Ω και I_T η ένταση σέ A , που περνά μέσα από το επαγωγικό τύμπανο και που εδώ είναι ίση με την ένταση φορτίου I της μηχανής.

3) Βοηθητικοί πόλοι.

Οι κατασκευαστές των μηχανών συνεχούς ρεύματος εκτός από τη μετάθεση των ψηκτρών παίρνουν και διάφορα άλλα μέτρα για να αντιμετωπίσουν τις επιδράσεις που έχει η αντίδραση του επαγωγικού τυμπάνου. Τέτοια μέτρα είναι η κατάλληλη διαμόρφωση των πυρήνων των πόλων και η τοποθέτηση τυλιγμάτων αντισταθμίσεως. Ριζικό μέτρο για την αντιμετώπιση της αντιδράσεως του επαγωγικού τυμπάνου (χωρίς να κάνουμε μετάθεση των ψηκτρών) αλλά και των σπινθηρισμών στο συλλέκτη που οφείλονται σέ άλλες αιτίες, αποτελεί η τοποθέτηση **βοηθητικών μαγνητικών πόλων**.

Κάθε βοηθητικός πόλος αποτελείται από πυρήνα και τύλιγμα. Οι πυρήνες των βοηθητικών πόλων είναι μικρότεροι από τους πυρήνες των κυρίων πόλων και τα τυλίγματά τους αποτελούνται από λίγες σπείρες χονδρού σύρματος, γιατί συνδέον-



Σχ. 2.56.
Βοηθητικοί πόλοι γεννήτριας.

ται σέ σειρά μέ τό τύλιγμα τοῦ τυμπάνου.

Ὅπως φαίνεται καί στό σχῆμα 2.5δ οἱ βοηθητικοί πόλοι τοποθετοῦνται μεταξύ τῶν κυρίων, δηλαδή στίς οὐδέτερες ζῶνες. Τά τυλίγματα τῶν βοηθητικῶν πόλων συνδέονται στίς γεννήτριες συνεχοῦς ρεύματος ἔτσι, ὥστε κατά τή φορά περιστροφῆς τοῦ τυμπάνου μετά ἀπό κάθε βόρειο κύριο πόλο νά ἔρχεται ἕνας νότιος βοηθητικός καί μετά ἀπό κάθε νότιο κύριο πόλο νά ἔρχεται ἕνας βόρειος βοηθητικός. Στούς κινητήρες συνεχοῦς ρεύματος, κατά τή φορά περιστροφῆς τοῦ τυμπάνου ἡ διαδοχή εἶναι ἀντίθετη, μετά ἀπό βόρειο κύριο πόλο ἔρχεται βόρειος βοηθητικός καί μετά ἀπό νότιο κύριο πόλο νότιος βοηθητικός.

2.6 Εἶδη γεννητριῶν συνεχοῦς ρεύματος.

1) Γενικά.

Στή μηχανή τοῦ σχήματος 2.5β εἶχαμε δεχθεῖ ὅτι ἡ διέγερσή της τροφοδοτεῖται ἀπό μιά ξένη πηγή Π. Στήν πραγματικότητα αὐτό συμβαίνει σπάνια, γιατί τό τύλιγμα διέγερσεως εἶναι δυνατό νά τροφοδοτηθεῖ καί ἀπό τήν ἴδια τή γεννήτρια καί μάλιστα μέ διάφορους τρόπους. Ἀνάλογα μέ τόν τρόπο πού εἶναι συνδεδεμένο τό τύλιγμα διαφέρουσιν, τίς γεννήτριες τίς διακρίνομε σέ τέσσερα εἶδη:

- α) Γεννήτριες μέ ξένη διέγερση.
- β) Γεννήτριες μέ παράλληλη διέγερση.
- γ) Γεννήτριες μέ διέγερση σειρᾶς.
- δ) Γεννήτριες μέ σύνθετη διέγερση.

Ἐκτός ἀπό τίς γεννήτριες μέ ξένη διέγερση, ὅλες οἱ ἄλλες ὀνομάζονται καί **αὐτοδιεγερόμενες** γεννήτριες, γιά τό λόγο ὅτι αὐτές δίνουν τό ρεῦμα πού χρειάζεται ἡ διέγερσή τους.

2) Γεννήτριες μέ ξένη διέγερση.

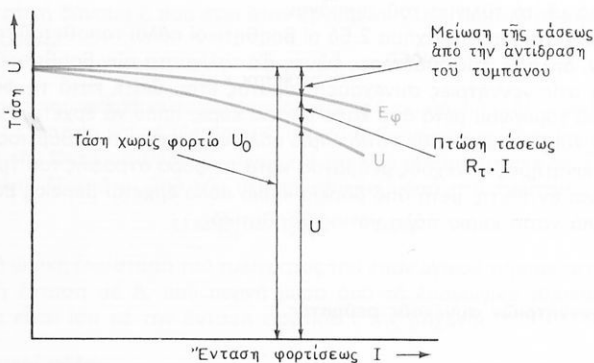
Ἡ συνδεσμολογία μιᾶς γεννήτριας μέ ξένη διέγερση φαίνεται στό σχῆμα 2.5β. Στό σχῆμα αὐτό τό τύλιγμα διέγερσεως παριστάνεται μέ τό K-J.

Ἄν ἀλλάξομε τή διεύθυνση τοῦ ρεύματος διέγερσεως σέ μιά γεννήτρια μέ ξένη διέγερση, ἡ πολικότητα τῆς μηχανῆς ἀλλάζει. Δηλαδή οἱ θετικές πῆκτρος γίνονται ἀρνητικές καί οἱ ἀρνητικές γίνονται θετικές. Τό ἴδιο ἀποτέλεσμα ἔχει καί ἡ ἀλλαγὴ τῆς φοράς περιστροφῆς τοῦ ἐπαγωγικοῦ τυμπάνου τῆς μηχανῆς. Ἡ πολικότητά της πάλι ἀλλάζει. Ἄν ἀλλάξομε ὅμως καί τή διεύθυνση τοῦ ρεύματος διέγερσεως καί πάλι ἀλλάζει. Ἄν ἀλλάξομε ὅμως καί τή διεύθυνση τοῦ ρεύματος διέγερσεως καί τή φορά περιστροφῆς, ἡ πολικότητα τῆς μηχανῆς δέν ἀλλάζει. Ὅλα αὐτά ἐπαληθεύονται εὐκόλα μέ τή βοήθεια καί ὅσων ἀναφέραμε στήν παράγραφο 1.3 (ἐδάφιο 3).

Ἡ σχέση πού δίνει τήν τάση U τῆς γεννήτριας μέ ξένη διέγερση, ὅταν ἐργάζεται μέ φορτίο ἐντάσεως I , πού στήν περίπτωσιν αὕτη ἰσοῦται μέ τήν ἐνταση I_T πού περνᾷ ἀπό τό ἐπαγωγικό της τύμπανο εἶναι (ἐδάφιο 2, παράγραφος 2.5):

$$U = E_{\phi} - R_T \cdot I$$

Ὅπως παρατηροῦμε ἡ U ἐξαρτᾶται ἀπό τήν I ἀφοῦ τόσο ἡ ἠλεκτρεγερτική δύ-



Σχ. 2.6α.

Χαρακτηριστική φορτίου γεννήτριας με ξένη διέγερση.

ναμη της μηχανής υπό φορτίο E_ϕ , όσο και η πτώση τάσεως στο τύλιγμα του επαγωγικού τυμπάνου $R_T \cdot I$ εξαρτώνται από την ένταση φορτίσεως I .

Στό διάγραμμα του σχήματος 2.6α έχει σχεδιασθεί η **χαρακτηριστική φορτίου** μιάς γεννήτριας με ξένη διέγερση. Είμαι η καμπύλη (κόκκινη) που μας δείχνει πώς μεταβάλλεται η τάση της μηχανής U όταν μεταβάλλεται η ένταση φορτίσεως της I , ενώ η ένταση διεγέρσεως I_δ και ο αριθμός στροφών της μηχανής μένουν σταθερά. Στο ίδιο διάγραμμα φαίνεται η καμπύλη (μπλέ) μεταβολής της E_ϕ με την ένταση φορτίσεως I . Όπως βλέπομε καί από την χαρακτηριστική φορτίου, όταν μεγαλώνει η ένταση φορτίσεως, η τάση της μηχανής πέφτει.

Αν θέλομε νά διατηρούμε σταθερή την τάση, όταν αυξάνει τό φορτίο, θά πρέπει νά αυξάνομε την ένταση διεγέρσεως.

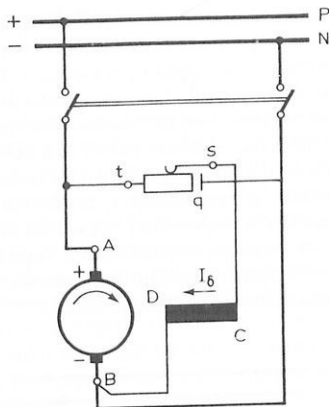
Αν U_0 είναι η τάση της γεννήτριας όταν εργάζεται χωρίς φορτίο καί U_N η τάση της όταν εργάζεται μέ τό πλήρες φορτίο της, δηλαδή όταν δίνει την ισχύ γιά τήν οποία είναι κατασκευασμένη, την επί τοις εκατό διαφορά:

$$\epsilon\% = \frac{U_0 - U_N}{U_N} \cdot 100\%$$

τήν ονομάζομε **διακύμανση τάσεως** της γεννήτριας. Στίς γεννήτριες ξένης διεγέρσεως η διακύμανση τάσεως είναι $5 \div 10\%$, όταν λειτουργούν μέ την κανονική τους ένταση διεγέρσεως καί τίς κανονικές τους στροφές.

3) Γεννήτριες μέ παράλληλη διέγερση.

Τό σχήμα 2.6β δείχνει τή συνδεσμολογία μιάς γεννήτριας μέ παράλληλη διέγερση. Όπως παρατηρούμε έδω, τό τύλιγμα διεγέρσεως D-C είναι συνδεδεμένο παράλ-



Σχ. 2.6β.

Γεννήτρια με παράλληλη διέγερση.

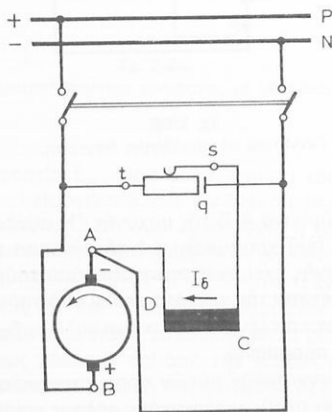
ληλα προς τό έπαγωγικό τύμπανο A-B τής μηχανής. Ή σύνδεση γίνεται μέσω μιās ρυθμιστικής αντίστασεως πού χρησιμεύει για τή ρύθμιση τής έντάσεως διεγέρσεως. Τό φορτίο τής μηχανής έχει αντικατασταθεί από τούς ζυγούς P καί N, πού βρίσκονται στόν **πίνακα έλέγχου** τής γεννήτριας καί από τούς όποιους τροφοδοτείται ή **κατανάλωση**. Στόν πίνακα έλέγχου βρίσκεται καί ή ρυθμιστική αντίσταση διεγέρσεως πού αναφέραμε παραπάνω.

Ή **αυτοδιέγερση** τών γεννητριών αυτών πραγματοποιείται μέ τή βοήθεια τού μαγνητισμού πού παραμένει στους μαγνητικούς πόλους καί όταν δέν περνά ρεύμα μέσα από τό τύλιγμα διεγέρσεως. Χωρίς νά κάνομε αναλυτική ανάπτυξη τού φαινομένου, αναφέρομε μόνο ότι ό μαγνητισμός πού παραμένει δημιουργεί ένα αδύνατο μαγνητικό πεδίο μέσα στή μηχανή, πού είναι όμως αρκετό, όταν θέσομε σέ περιστροφή τό έπαγωγικό τύμπανο, νά δημιουργήσει μεταξύ τών άκροδεκτών A καί B μία μικρή τάση. Ή τάση αυτή δημιουργεί ένα αδύνατο ρεύμα μέσα στο τύλιγμα διεγέρσεως C-D (φορτίο ακόμα δέν έχει συνδεθεί), τό όποιο ένισχύει τό μαγνητικό πεδίο. Αυτό έχει σάν συνέπεια νά δημιουργηθεί τώρα μία μεγαλύτερη τάση μεταξύ A καί B, ή όποία δημιουργεί ένα ισχυρότερο ρεύμα μέσα στο τύλιγμα διεγέρσεως κ.ο.κ. Μέ τόν τρόπο αυτό αυτοδιεγείρεται ή γεννήτρια. Τήν τάση στήν όποία θέλομε νά φθάνει τήν κανονίζομε μέ τή ρυθμιστική αντίσταση διεγέρσεως.

Ή από τά παραπάνω συμπεραίνομε ότι για νά μπορέσει νά αυτοδιεγερθεί μία γεννήτρια πρέπει ή φορά περιστροφής τού τυμπάνου της νά είναι τέτοια, ώστε τό αδύνατο ρεύμα, πού δημιουργεί στο τύλιγμα διεγέρσεως ή τάση πού παράγεται από τόν παραμένοντα μαγνητισμό, νά έχει διεύθυνση πού νά ένισχύει τό μαγνητικό πεδίο. Διαφορετικά ή μηχανή χάνει τόν παραμένοντα μαγνητισμό της καί δέν αυτοδιεγείρεται. Τό έργοστάσιο κατασκευής κάθε γεννήτριας έχει δώσει μία όρισμένη

πολικότητα στὸν παραμένοντα μαγνητισμό της. Ἄρα, ἡ φορά περιστροφῆς μιᾶς ἐντομῆς γεννήτριας εἶναι καθορισμένη ἀπὸ τὴν πολικότητα αὐτή.

Ἄν σέ μιὰ ἔτοιμη γεννήτρια μέ παράλληλη διέγερση θελήσουμε νά ἀλλάξουμε τὴν φορά περιστροφῆς, πού, ὅπως εἴπαμε, ἔχει καθορισθεῖ ἀπὸ τὸν κατασκευαστὴ της, πρέπει νά ἀλλάξουμε καὶ τὴ σύνδεση τῶν ἄκρων τοῦ τυλίγματος διέγερσεως μέ τοὺς ἀκροδέκτες τοῦ τυμπάνου. Ἡ ἀλλαγὴ αὐτὴ στὴ σύνδεση τοῦ τυλίγματος διέγερσεως πρέπει νά γίνεῖ ἔτσι, ὥστε τὸ ρεῦμα διέγερσεως νά ἐξακολουθήσει νά ἔχει τὴν ἴδια διεύθυνση πού ἔχει πρὶν ἀλλάξει ἡ φορά περιστροφῆς. Ἔτσι, ἡ μηχανὴ δὲν θά χάσει τὸν παραμένοντα μαγνητισμό της καὶ θά μπορεῖ νά αὐτοδιεγείρεται. Ὅταν ὁμως ἀλλάξουμε τὴν φορά περιστροφῆς τοῦ τυμπάνου μιᾶς γεννήτριας καὶ κρατήσουμε τὴν ἴδια διεύθυνση στοῦ ρεῦμα διέγερσεως, ὅπως ξέρομε (ἐδάφιο 3, παράγραφος 1.3) ἡ πολικότητα τῆς μηχανῆς ἀλλάζει.



Σχ. 2.6γ.

Ἀλλαγὴ φοράς περιστροφῆς σέ γεννήτρια μέ παράλληλη διέγερση.

Τὸ σχῆμα 2.6γ δείχνει τὴ συνδεσμολογία πού πρέπει νά κάνομε στὴ γεννήτρια τοῦ σχήματος 2.6β, ὅταν θελήσουμε νά ἀλλάξουμε τὴν φορά περιστροφῆς της.

Ἡ σύνδεση φορτίου σέ μιὰ γεννήτρια μέ παράλληλη διέγερση πρέπει νά γίνεται ἀφοῦ ἡ γεννήτρια ἀποκτήσῃ πρῶτα τὴν κανονικὴ τῆς τάση, διαφορετικὰ ἐμποδίζεται ἡ αὐτοδιέγερση τῆς μηχανῆς. Ὅταν ἡ γεννήτρια ἐργάζεται μέ φορτίο, ὅπως καὶ στὶς γεννήτριες μέ ξένη διέγερση (ἐδάφιο 2, παράγραφος 2.5), γιὰ τὴν τάση U τῆς μηχανῆς ἔχομε:

$$U = E_{\phi} - R_T \cdot I_T \quad \text{σέ } V$$

ὅπου: E_{ϕ} ἡ ἠλεκτρεγερτικὴ δύναμη τῆς μηχανῆς ὑπὸ φορτίο,
 R_T ἡ ὠμικὴ ἀντίσταση τοῦ τυλίγματος τοῦ τυμπάνου καὶ
 I_T ἡ ἔνταση πού περνᾷ μέσα ἀπὸ τὸ τύμπανο. Ἐδῶ ἡ ἔνταση τοῦ τυμ-

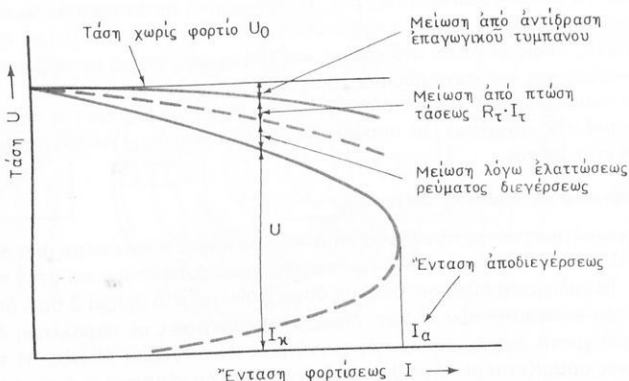
πάνου είναι ίση με τό άθροισμα της έντάσεως του φορτίου I και της έν-
τάσεως διεγέρσεως I_{δ} :

$$I_T = I + I_{\delta}$$

Στό διάγραμμα του σχήματος 2.6δ φαίνεται (κόκκινη καμπύλη) πώς μεταβάλλε-
ται ή τάση U μιās γεννήτριας με παράλληλη διέγερση, όταν μεταβάλλεται ή ένταση
φορτίσεως της μηχανής, χωρίς νά μεταβάλλεται ή θέση του στροφάλου στή ρυθ-
μιστική αντίσταση και οι στροφές της μηχανής. Όπως παρατηρούμε, ή μείωση της
μιστικής αντίσταση και οι στροφές της μηχανής. Όπως παρατηρούμε, ή μείωση της
τάσεως με τό φορτίο είναι έδω μεγαλύτερη από ότι στίς γεννήτριες με ξένη διέ-
γερση (σχ. 2.6α), γιατί έκτός από τήν αντίδραση του έπαγωγικού τυμπάνου και τήν
πτώση τάσεως στό τύλιγμά του, έχομε και μία τρίτη αίτια γιά τή μείωση της τά-
σεως. Έδω τό τύλιγμα διεγέρσεως τροφοδοτείται από τήν τάση της γεννήτριας.
Όταν λοιπόν ή τάση αυτή μειώνεται από τίς δύο προηγούμενες αίτίες, όσο αύξάνει
τό φορτίο θά μειώνεται και ή τάση πού επιβάλλεται στό τύλιγμα διεγέρσεως. Δη-
λαδή όσο αύξάνει τό φορτίο έχομε μείωση του ρεύματος διεγέρσεως με συνέπεια
πρόσθετη μείωση της τάσεως.

Όπως αναφέραμε παραπάνω ή διακύμανση της τάσεως στίς γεννήτριες με πα-
ράλληλη διέγερση, γιά σταθερές στροφές και σταθερή αντίσταση διεγέρσεως εί-
ναι μεγαλύτερη από ότι στίς γεννήτριες με ξένη διέγερση. Μπορούμε όμως και έ-
δω νά έλαττώσομε τή διακύμανση αυτή ή και νά τή μηδενήσομε, αν μεταβάλλομε
κατάλληλα τή ρυθμιστική αντίσταση διεγέρσεως.

Όταν ή ένταση φορτίσεως της γεννήτριας αύξηθεί πολύ πάνω από τήν κανονική
της τιμή I_k και φθάσει μία όρισμένη γιά κάθε μηχανή τιμή I_a , ή γεννήτρια θά
άποδιεγερθεί και ή τάση της θά μηδενισθεί (σχ. 2.6δ).

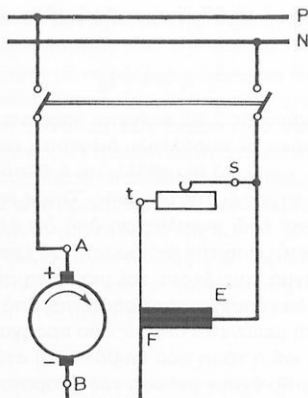


Σχ. 2.6δ.

Χαρακτηριστική φορτίου γεννήτριας με παράλληλη διέγερση.

4) Γεννήτριες με διέγερση σειράς.

Στίς γεννήτριες αυτές τό τύλιγμα διεγέρσεως E-F συνδέεται σέ σειρά με τό



Σχ. 2.6ε.

Γεννήτρια με διέγερση σειράς.

φορτίο της μηχανής και τροφοδοτείται από την ίδια την γεννήτρια (σχ. 2.6ε).

Η αυτοδιέγερσή τους γίνεται όπως και στις γεννήτριες με παράλληλη διέγερση. Η μόνη διαφορά είναι ότι εδώ το φορτίο πρέπει να είναι συνδεδεμένο στη γεννήτρια από την αρχή, ώστε να μπορεί να περάσει ρεύμα μέσα από το τυλίγμα διεγέρσεως και να αυτοδιεγερθεί η μηχανή. Η ρυθμιστική αντίσταση διεγέρσεως, που βρίσκεται στον πίνακα ελέγχου της μηχανής, συνδέεται παράλληλα με το τυλίγμα διεγέρσεως, όπως φαίνεται στο σχήμα, και χρησιμεύει για να μεταβάλομε την ένταση διεγέρσεως και συνεπώς και την τάση της μηχανής.

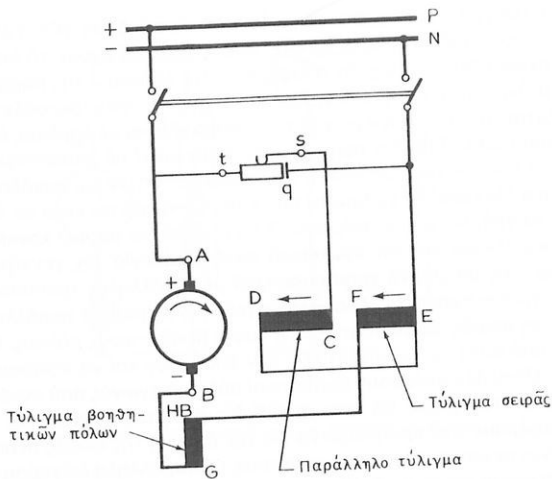
Όσα αναφέραμε για την αλλαγή της φοράς περιστροφής και τον παραμένοντα μαγνητισμό στις γεννήτριες με παράλληλη διέγερση ισχύουν και για τις γεννήτριες με διέγερση σειράς.

5) Γεννήτριες με σύνθετη διέγερση.

Στις γεννήτριες αυτές το τυλίγμα κάθε κύριου πόλου αποτελείται από δύο μέρη, το παράλληλο τυλίγμα και το τυλίγμα σειράς, όπως αναφέραμε και στην παράγραφο 2.2. Τα τυλίγματα αυτά συνδέονται όπως φαίνεται στο σχήμα 2.6στ, δηλαδή τα παράλληλα τυλίγματα των πόλων, όπως στις γεννήτριες με παράλληλη διέγερση και τα τυλίγματα σειράς όπως στις γεννήτριες με διέγερση σειράς. Η τάση της γεννήτριας ρυθμίζεται με τη ρυθμιστική αντίσταση διεγέρσεως που συνδέεται στο παράλληλο τυλίγμα.

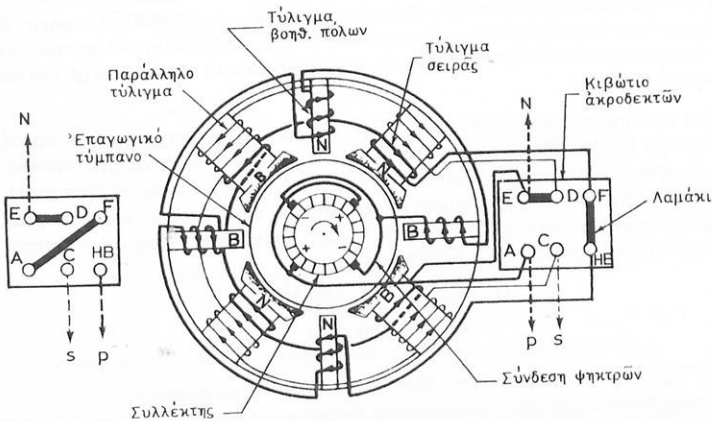
Η γεννήτρια του σχήματος 2.6στ έχει και βοηθητικούς πόλους. Το τυλίγμά τους G-HB συνδέεται σε σειρά με το επαγωγικό τύμπανο της μηχανής και γι' αυτό όπως και το τυλίγμα σειράς των κυρίων πόλων, αποτελείται από λίγες σπείρες χονδρού σύρματος, αφού μέσα από αυτό περνά όλο το ρεύμα του φορτίου της γεννήτριας.

Στο σχήμα 2.6ζ φαίνεται η έσωτερική συνδεσμολογία των τυλιγμάτων μίας τε-



Σχ. 2.6στ.

Γεννήτρια με σύνθετη διέγερση καὶ βοηθητικούς πόλους.



Σχ. 2.6ζ.

Τετραπολική γεννήτρια με σύνθετη διέγερση καὶ βοηθητικούς πόλους.

τραπολικῆς γεννήτριας με σύνθετη διέγερση καὶ βοηθητικούς πόλους. Παρατηροῦμε ὅτι ἡ σύνδεση τῶν ἄκρων τῶν τυλιγμάτων με τοὺς ἀκροδέκτες τῆς μηχανῆς, ὅπως φαίνεται στὸ δεξιό μέρος τοῦ σχήματος, γίνεται κατὰ τέτοιο τρόπο, ὥστε τὸ ρεῦμα μέσα στὸ τύλιγμα σειρᾶς νὰ ἐνισχύει τὸ μαγνητικὸ πεδίο, ποὺ δημιουργεῖ τὸ

παράλληλο τύλιγμα. Επίσης παρατηρούμε ότι η σύνδεση των τυλιγμάτων των βοηθητικών πόλων γίνεται κατά τέτοιο τρόπο, ώστε να έχουμε τη διαδοχή κυρίων και βοηθητικών πόλων, όπως την αναφέραμε στο εδάφιο 3 της παραγράφου 2.5.

Όταν τα άκρα των τυλιγμάτων, που καταλήγουν στους άκροδέκτες της μηχανής, χρειάζεται να συνδεθούν μεταξύ τους, αυτό γίνεται με λαμάκια, όπως φαίνεται και στο σχήμα 2.6ζ. Στο ίδιο σχήμα έχουν σημειωθεί με διακοπτόμενες γραμμές και οι άγωγοί που αναχωρούν από το κιβώτιο άκροδεκτών και συνδέουν τη μηχανή με τόν πίνακα έλέγχου. Τα γράμματα που χρησιμοποιούνται είναι σέ απόλυτη αντιστοιχία με τα γράμματα του σχήματος 2.6στ, ώστε να μπορεί κανείς να παρακολουθήσει παράλληλα και την εξωτερική συνδεσμολογία της γεννήτριας.

Το σχήμα 2.6ζ μπορεί να χρησιμοποιηθεί με κατάλληλες τροποποιήσεις για να έχει κανείς την έσωτερική συνδεσμολογία μιάς γεννήτριας με παράλληλη διέγερση ή με διέγερση σειράς, με βοηθητικούς ή χωρίς βοηθητικούς πόλους. Φθάνει να αφαιρέσουμε από αυτό τα τυλίγματα που δεν υπάρχουν και να αφήσουμε τα άλλα όπως έχουν. Όταν δεν υπάρχουν βοηθητικοί πόλοι, ο άγωγός που συνδέει τις άρνητικές ψήκτρες στο σχήμα, θα πάει άπευθείας στον άκροδέκτη ΗΒ.

Όσα αναφέραμε στα προηγούμενα για την αλλαγή της φοράς περιστροφής και τόν παραμένοντα μαγνητισμό στις γεννήτριες με παράλληλη διέγερση ή με διέγερση σειράς ισχύουν και εδώ. Αν θελήσουμε να αλλάξουμε τη φορά περιστροφής της γεννήτριας, πρέπει να αλλάξουμε τη σύνδεση των τυλιγμάτων διεγέρσεως με τέτοιο τρόπο, ώστε να μην αλλάξει η φορά του ρεύματος μέσα σέ αυτά. Έτσι, η γεννήτρια δεν θα χάσει τόν παραμένοντα μαγνητισμό της. Για να γίνει αυτό αρκεί να αλλάξουμε στο κιβώτιο άκροδεκτών της μηχανής τη θέση που έχουν τα λαμάκια, όπως φαίνεται στο άριστερο μέρος του σχήματος 2.6ζ. Πρέπει επίσης να κάνουμε την αλλαγή που φαίνεται εκεί στους άγωγούς που συνδέουν τη γεννήτρια με τόν πίνακα έλέγχου.

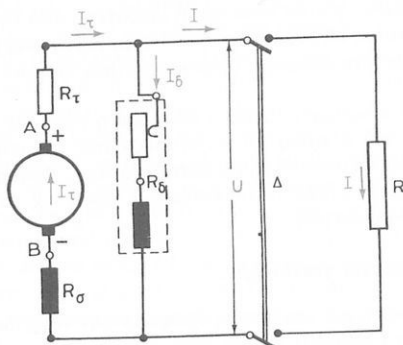
Για να υπολογίσουμε τη σχέση που δίνει την τάση U της μηχανής, όταν εργάζεται με φορτίο I , σχεδιάζουμε τό ισοδύναμο κύκλωμα της γεννήτριας με σύνθετη διέγερση, όπως φαίνεται στο σχήμα 2.6η. Σέ αυτό R_σ είναι η ώμική αντίσταση του τυλίγματος σειράς και R_δ η ώμική αντίσταση του παράλληλου τυλίγματος μαζί με τη ρυθμιστική αντίσταση. Τά R_T και I_T είναι η ώμική αντίσταση και η ένταση του τυλίγματος του έπαγωγικού τυμπάνου. Έχουμε:

$$U = E_\phi - I_T (R_T + R_\sigma) \quad \text{και}$$

$$I_T = I + I_\delta$$

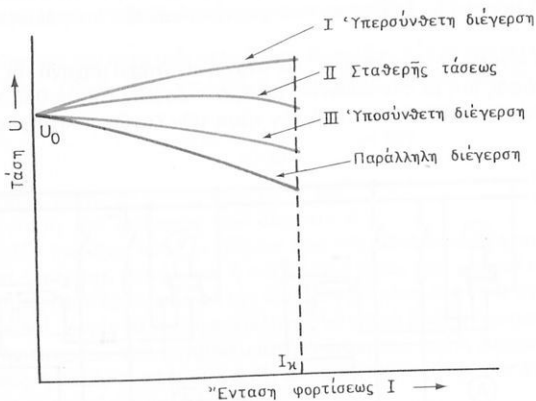
όπου: E_ϕ είναι η ηλεκτρεγερτική δύναμη της μηχανής με φορτίο I_T .

Όπως αναφέραμε στα προηγούμενα, σέ μία γεννήτρια με σύνθετη διέγερση τό τύλιγμα σειράς είναι δυνατό να συνδεθεί έτσι, ώστε τό μαγνητικό πεδίο που δημιουργεί να ένισχύει τό μαγνητικό πεδίο του παράλληλου τυλίγματος. Οι γεννήτριες αυτές ονομάζονται με **άθροιστική σύνθετη διέγερση**. Είναι δυνατόν όμως τό τύλιγμα σειράς να συνδεθεί και αντίθετα, ώστε να εξασθενεί τό μαγνητικό πεδίο του παράλληλου τυλίγματος. Οι γεννήτριες τότε ονομάζονται με **διαφορική σύνθετη διέγερση**. Η συμπεριφορά των δύο αυτών είδων γεννητριών με σύνθετη διέγερση είναι τελείως διαφορετική.



Σχ. 2.6η.

Ίσοδύναμο κύκλωμα γεννήτριας με σύνθετη διέγερση.



Σχ. 2.6θ.

Χαρακτηριστικές φορτίου γεννητριών με άθροιστική σύνθετη διέγερση.

Στίς γεννήτριες με άθροιστική σύνθετη διέγερση, η τάση, όταν η μηχανή λειτουργεί με φορτίο, είναι όπωσδήποτε μεγαλύτερη από την τάση, που θα είχε η ίδια γεννήτρια αν έργαζόταν μόνο με παράλληλη διέγερση, με τίς ίδιες στροφές και την ίδια θέση του τροφάλου της ρυθμιστικής αντίστασεως διεγέρσεως. Τό πόσο μεγαλύτερη είναι εξαρτάται από τό τύλιγμα σειράς. Μπορεί η τάση της γεννήτριας στο κανονικό φορτίο νά είναι μεγαλύτερη και από την τάση χωρίς φορτίο. Στίς περιπτώσεις αυτές έχομε μιά χαρακτηριστική φορτίου σάν την καμπύλη I στο διάγραμμα του σχήματος 2.6θ. Ή γεννήτρια λέγεται τότε με **υπερσύνθετη διέγερση**.

“Αν η τάση στο κανονικό φορτίο είναι ίση ή μικρότερη από την τάση λειτουργίας χωρίς φορτίο, τις μηχανές τις ονομάζουμε αντίστοιχα **γεννήτριες με σταθερή τάση** ή **γεννήτριες με υποσύνθετη διέγερση** (χαρακτηριστικές φορτίου οι καμπύλες II και III στο σχήμα 2.6θ).

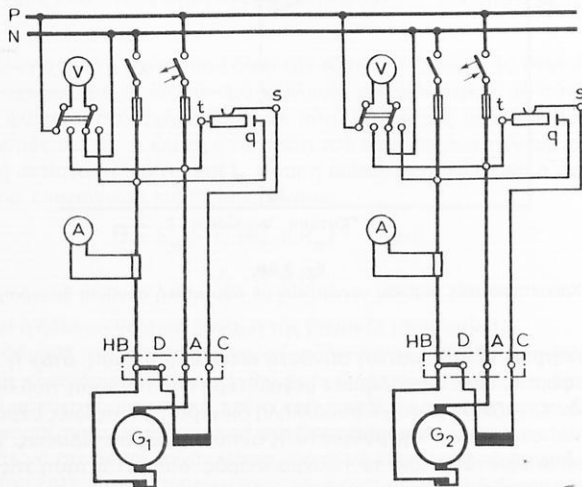
Στις γεννήτριες με διαφορική σύνθετη διέγερση η τάση της μηχανής μειώνεται πολύ με την αύξηση του φορτίου. Οι γεννήτριες αυτές δέν μπορούν να χρησιμοποιηθούν όπου χρειάζεται σχετική σταθερότητα τάσεως. Χρησιμοποιούνται σε περιπτώσεις που χρειάζεται σταθερότητα εντάσεως, όπως π.χ. στις ηλεκτροσυγκολήσεις και τη γαλβανοπλαστική.

2.7 Παράλληλη λειτουργία γεννητριών.

“Όταν δύο ή περισσότερες γεννήτριες τροφοδοτούν τους ίδιους ζυγούς, στους οποίους συνδέονται τα διάφορα φορτία, τότε λέμε ότι οι **γεννήτριες λειτουργούν παράλληλα**.

Στο σχήμα 2.7 φαίνεται η συνδεσμολογία δύο γεννητριών με παράλληλη διέγερση που μπορούν να λειτουργούν παράλληλα. “Όταν εργάζεται η γεννήτρια G_1 και θέλουμε να **παράλληλίσουμε** τη γεννήτρια G_2 , δηλαδή να τη συνδέσουμε στους ζυγούς για να παραλάβει ένα μέρος του φορτίου, κάνουμε τους ακόλουθους χειρισμούς:

Θέτουμε σε κίνηση τη γεννήτρια G_2 και όταν η κινητήρια μηχανή της δώσει ταχύτητα περιστροφής ίση με τον κανονικό αριθμό στροφών της, ρυθμίζουμε την τάση (χωρίς φορτίο) ώστε να γίνει ίση με την τάση των ζυγών ή λίγο μεγαλύτερη. ‘Η



Σχ. 2.7.

Παράλληλη λειτουργία γεννητριών με παράλληλη διέγερση.

ρύθμιση αυτή γίνεται με τη ρυθμιστική αντίσταση διεγέρσεως της G_2 και η σύγκριση με το βολτόμετρο και το μεταγωγέα που υπάρχουν στον πίνακα έλεγχου.

Αν η γεννήτρια G_2 παραλληλίζεται για πρώτη φορά, πρέπει να ελέγξουμε την πολικότητα της αν είναι ίδια με την πολικότητα των ζυγών. Δηλαδή ο θετικός πόλος της γεννήτριας να αντιστοιχεί στο θετικό πόλο των ζυγών και ο αρνητικός της στον αρνητικό των ζυγών. Ο έλεγχος της πολικότητας είναι δυνατόν να γίνει με το μεταγωγέα και το βολτόμετρο του πίνακα, αν είναι όργανο μόνο συνεχούς ρεύματος.

Κατόπιν κλείνουμε το διακόπτη της G_2 και συνδέουμε έτσι τη γεννήτρια με τους ζυγούς. Για να δώσει φορτίο η γεννήτρια αυξάνουμε την ένταση διεγερσεώς της, μέχρις ότου το άμπερόμετρο της δείξει την επιθυμητή ένδειξη φορτίσεως. Όταν η γεννήτρια G_2 δώσει φορτίο στους ζυγούς, οι άλλες μηχανές που είναι συνδεδεμένες σε αυτούς θα ελαττώσουν το φορτίο τους. Ταυτόχρονα, η τάση τους θα αυξηθεί και πρέπει να τη ρυθμίσουμε στην επιθυμητή τιμή, ελαττώνοντας τις διεγέρσεις τους.

Για να θέσουμε εκτός λειτουργίας μία γεννήτρια, που εργάζεται παράλληλα με άλλες σε κοινούς ζυγούς, κάνουμε ακριβώς τους ίδιους χειρισμούς με τον παραλληλισμό, αλλά κατά την αντίστροφη σειρά, αρχίζοντας δηλαδή από το τέλος.

2.8 Ίσχύς, απώλειες, βαθμός αποδόσεως γεννητριών.

Όταν μιλάμε για την ισχύ μιάς γεννήτριας έννοούμε πάντα την ισχύ N που παίρνουμε από αυτήν. Όπως είναι γνωστό η ισχύς αυτή δίνεται από τη σχέση:

$$N = \frac{U \cdot I}{1000} \quad \text{σε kW}$$

όπου: U είναι η τάση της γεννήτριας σε V και

I η ένταση του ρεύματος που δίνει σε A .

Στήν πινακίδα που έχει κάθε γεννήτρια από τον κατασκευαστή της αναφέρεται η **ονομαστική ισχύς της**. Αυτή είναι η πιο μεγάλη ισχύς που μπορεί να δίνει **συνεχώς** η γεννήτρια, όταν εργάζεται με την **ονομαστική τάση της** (που την αναφέρει επίσης η πινακίδα), χωρίς να υπάρχει κίνδυνος να πάθει βλάβη ή μηχανή από υπερφόρτιση. Στήν πινακίδα του κατασκευαστή αναφέρεται και η **ονομαστική ένταση** της γεννήτριας, η οποία συνδέεται με την ονομαστική ισχύ και την ονομαστική τάση με τον τύπο που δώσαμε παραπάνω.

Για να δώσει ηλεκτρική ενέργεια μία γεννήτρια, σύμφωνα με όσα αναφέραμε και στην παράγραφο 1.1, πρέπει να πάρει μηχανική ενέργεια από την κινητήρια μηχανή. Η μετατροπή αυτή της ενέργειας δεν γίνεται χωρίς απώλειες. Η ισχύς $N_{\text{εισ}}$ που παίρνει η γεννήτρια είναι πάντοτε μεγαλύτερη από την ισχύ N που δίνει. Η διαφορά τους είναι η ισχύς των **απωλειών** $N_{\text{απ}}$:

$$N_{\text{απ}} = N_{\text{εισ}} - N$$

Οι απώλειες εμφανίζονται πάντοτε με μορφή θερμότητας που προκαλεί άνυψωση της θερμοκρασίας της μηχανής. Η θερμοκρασία παύει να αυξάνεται και σταθεροποιείται σε μία ορισμένη τιμή, όταν η θερμότητα από τις απώλειες εξισώνεται με την θερμότητα που η μηχανή αποβάλλει στο γύρω της χώρο.

Οι απώλειες των γεννητριών συνεχούς ρεύματος, οι οποίες λειτουργούν με σταθερή περίπου τάση και με σταθερή ταχύτητα περιστροφής, διακρίνονται σε:

- α) **απώλειες σταθερές**, δηλαδή ανεξάρτητες του φορτίου της γεννήτριας και
- β) **απώλειες μεταβλητές**, δηλαδή μεταβαλλόμενες με τό φορτίο.

Σταθερές απώλειες είναι οι **μηχανικές απώλειες** και οι **μαγνητικές απώλειες**, που διακρίνονται σε **απώλειες ύστερήσεως** και **απώλειες δινορρευμάτων**.

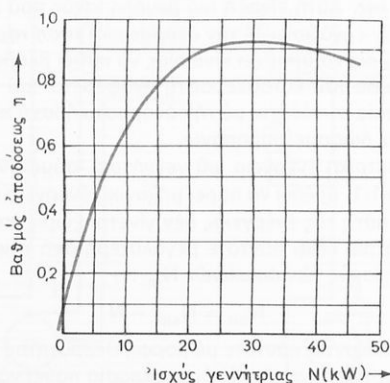
Οι μηχανικές απώλειες είναι οι απώλειες τριβής του δρομέα στα έδρανα, των ψηκτρών με τό συλλέκτη, του άέρα με τόν περιστρεφόμενο δρομέα και τό μηχανικό έργο που απορροφά ό άνεμιστήρας της μηχανής.

Οι απώλειες ύστερήσεως οφείλονται στις διαδοχικές μεταβολές της μαγνητίσεως του πυρήνα του έπαγωγικού τυμπάνου, καθώς αυτό περιστρέφεται μέσα στο σταθερό μαγνητικό πεδίο που δημιουργούν οι πόλοι. Οι απώλειες δινορρευμάτων οφείλονται στα ρεύματα που κυκλοφορούν στον πυρήνα του έπαγωγικού τυμπάνου, πάλι λόγω της περιστροφής του μέσα στο μαγνητικό πεδίο της μηχανής. Οι απώλειες από δινορρεύματα θά ήταν πολύ μεγαλύτερες άν ό πυρήνας του έπαγωγικού τυμπάνου δέν κατασκευαζόταν από πολλά λεπτά μαγνητικά έλάσματα.

Μεταβλητές απώλειες είναι οι ηλεκτρικές απώλειες και οφείλονται στη θερμότητα που παράγεται στα διάφορα κυκλώματα της γεννήτριας, όταν διαρρέονται από ηλεκτρικό ρεύμα. Έχομε δηλαδή:

$$\text{Ηλεκτρικές απώλειες} = R_T \cdot I_T^2 + R_\sigma \cdot I_\sigma^2 + R_\delta \cdot I_\delta^2$$

όπως προκύπτουν και με τή βοήθεια του σχήματος 2.6η. Από τις απώλειες αυτές μόνο εκείνες που οφείλονται στο παράλληλο τύλιγμα διεγέρσεως ($R_\delta \cdot I_\delta^2$) μπορούν νά θεωρηθούν σταθερές, δηλαδή ανεξάρτητες του φορτίου της μηχανής (έφόσον βέβαια δέν μεταβάλομε τή ρυθμιστική αντίσταση διεγέρσεως). Οι άλλες εξαρτώνται από τό φορτίο της μηχανής και μάλιστα αύξάνονται με τό τετράγωνο της έντάσεως όταν αύξάνεται τό φορτίο της μηχανής.



Σχ. 2.8.

Καμπύλη βαθμού απόδοσης γεννήτριας.

Ο λόγος της ισχύος που παίρνουμε από μία γεννήτρια προς την ισχύ που δίνει σε αυτήν ή κινητήρια μηχανή, ονομάζεται **βαθμός αποδόσεως** της γεννήτριας και είναι πάντοτε αριθμός μικρότερος του ένα:

$$\eta = \frac{N}{N_{\text{εισ}}} = \frac{N}{N + N_{\text{αντ}}}$$

Ο βαθμός αποδόσεως εξαρτάται από το φορτίο της γεννήτριας, δηλαδή δεν είναι σταθερός αριθμός για μία μηχανή, όπως φαίνεται και στο σχήμα 2.8. Συνήθως οι γεννήτριες έχουν το μέγιστο βαθμό αποδόσεώς τους στην ονομαστική τους ισχύ ή λίγο πριν από αυτήν.

2.9 Η λειτουργία των κινητήρων συνεχούς ρεύματος.

1) Η ροπή του κινητήρα.

Στήν παράγραφο 1.5 είδαμε ποιά σχέση δίνει το μέγεθος της ροπής, που ασκεί μία σπείρα στο επαγωγικό τύμπανο του άπλου κινητήρα που εξετάσαμε εκεί. Η ροπή T που ασκείται σε ένα πραγματικό κινητήρα συνεχούς ρεύματος δίνεται από την ακόλουθη σχέση, της οποίας παραλείπομε την απόδειξη:

$$T = \frac{p \cdot s \cdot w}{2\alpha \cdot \pi} \cdot \Phi \cdot I_T \quad \text{σε Nm}$$

όπου: p είναι ο αριθμός των ζευγών των μαγνητικών πόλων της μηχανής,
 s ο αριθμός των στοιχείων του τυλίγματος,
 w ο αριθμός των άγωγων κάθε στοιχείου,
 α ο αριθμός των ζευγών των παραλλήλων κλάδων,
 Φ ή μαγνητική ροή σε Vs κάθε μαγνητικού πόλου και
 I_T ή ένταση σε A του ρεύματος του τυμπάνου.

Την παραπάνω σχέση μπορούμε να τη γράψουμε και ως εξής:

$$T = K_1 \cdot \Phi \cdot I_T \quad \text{σε Nm}$$

όπου: $K_1 = \frac{p \cdot s \cdot w}{2\alpha \cdot \pi}$ είναι σταθερό μέγεθος για κάθε μηχανή,

Φ είναι η μαγνητική ροή σε Vs κάθε πόλου και
 I_T ή ένταση σε A του τυλίγματος του τυμπάνου του κινητήρα.

Η προηγούμενη σχέση, που μας δίνει την **κινητήρια ροπή** (ροπή ασκούμενη στο επαγωγικό τύμπανο) για τους κινητήρες συνεχούς ρεύματος, μας δίνει και την αντίθετη ροπή, που, όπως είπαμε στην παράγραφο 1.7, εμφανίζεται στις γεννήτριες συνεχούς ρεύματος, όταν εργάζονται με φορτίο.

2) Αντιηλεκτρεγερτική δύναμη του κινητήρα.

Στήν παράγραφο 1.6 εξηγήσαμε πώς αναπτύσσεται αντιηλεκτρεγερτική δύναμη στην περιστρεφόμενη σπείρα του επαγωγικού τυμπάνου του άπλου κινητήρα.

“Όπως είπαμε ή τάση της πηγής πρέπει νά υπερνικήσει αὐτή τήν ἀντιηλεκτρεγερτική δύναμη, γιά νά μπορέσει νά κυκλοφορήσει τό ρεύμα μέσα στή σπείρα.

Στούς πραγματικούς κινητήρες συνεχoῦς ρεύματος, πού τό ἐπαγωγικό τους τύμπανο ἔχει πολλές σπείρες συνδεδεμένες σέ σειρά, οἱ ἀντιηλεκτρεγερτικές δυνάμεις ὅλων αὐτῶν τῶν σπειρῶν προστίθενται καί ἀποτελοῦν τήν ἀντιηλεκτρεγερτική δύναμη E_a τοῦ κινητήρα. Τό μέγεθός της ὑπολογίζεται ἀπό τή σχέση πού δίνει, ὅπως καί στίς γεννήτριες (ἐδάφιο 1, παράγραφος 2.5) τήν ἡλεκτρεγερτική δύναμη πού ἀναπτύσσεται στίς μηχανές συνεχoῦς ρεύματος

$$E_a = K \cdot \Phi \cdot n \quad \text{σέ V}$$

Ἄν U εἶναι ή τάση της πηγής πού τροφοδοτεῖ τόν κινητήρα, ή διαφορά: $U - E_a$ εἶναι ή τάση πού προκαλεῖ τήν ἔνταση I_T μέσα ἀπό τό τύλιγμα τοῦ ἐπαγωγικοῦ τυμπάνου. Δηλαδή ή διαφορά αὐτή εἶναι ἴση μέ τήν πτώση τάσεως πού προκαλεῖται ἀπό τήν ὠμική ἀντίσταση τοῦ τυλίγματος τοῦ ἐπαγωγικοῦ τυμπάνου:

$$U - E_a = R_T \cdot I_T$$

ὅπου: R_T εἶναι ή ὠμική ἀντίσταση σέ Ω τοῦ τυλίγματος τοῦ ἐπαγωγικοῦ τυμπάνου καί τῶν ψηκτρῶν.

Ἡ σχέση αὐτή γράφεται καί ὡς ἐξῆς:

$$I_T = \frac{U - E_a}{R_T}$$

πού μᾶς δίνει τήν ἔνταση πού ἀπορροφᾷ τό ἐπαγωγικό τύμπανο τοῦ κινητήρα συνεχoῦς ρεύματος.

Ἡ ἀντιηλεκτρεγερτική δύναμη τοῦ κινητήρα ἐξαρτᾶται ἀπό τήν ταχύτητα μέ τήν ὁποία οἱ ἀγωγοί τέμνουν τίς μαγνητικές γραμμές τοῦ πεδίου, δηλαδή ἀπό τήν ταχύτητα περιστροφῆς n τοῦ κινητήρα. Ὄταν ὁ κινητήρας ἐργάζεται μέ τό κανονικό του φορτίο ή E_a κυμαίνεται μεταξύ τοῦ 80 καί 95% τῆς U , ἀνάλογα μέ τό μέγεθος τοῦ κινητήρα.

Παράδειγμα.

Πόση εἶναι ή ἀντιηλεκτρεγερτική δύναμη E_a σέ ἓνα κινητήρα συνεχoῦς ρεύματος πού λειτουργεῖ μέ τάση 220 V καί τοῦ ὁποίου τό τύλιγμα τοῦ τυμπάνου στό κανονικό φορτίο ἀπορροφᾷ ἔνταση 60A; Ἡ ἀντίσταση τοῦ τυλίγματος τοῦ ἐπαγωγικοῦ τυμπάνου καί τῶν ψηκτρῶν εἶναι 0,25 Ω .

Λύση.

$$\begin{aligned} \text{Ἔχομε:} \quad U - E_a &= R_T \cdot I_T && \text{ἢ} \\ E_a &= U - R_T \cdot I_T \\ E_a &= 220 - 0,25 \times 60 = 220 - 15 = 205 \text{ V} \end{aligned}$$

3) Ἡ ἐκκίνηση τῶν κινητήρων συνεχoῦς ρεύματος.

Μέ τή βοήθεια τῶν σχέσεων τοῦ προηγούμενου ἐδαφίου, μποροῦμε νά καταλάβομε τί γίνεται στήν ἐκκίνηση ἑνός κινητήρα συνεχoῦς ρεύματος, δηλαδή τή

στιγμή, πού κλείνομε τὸ διακόπτη τροφοδοτήσεως καὶ συνδέομε τὴν πηγή μὲ τοὺς ἀκροδέκτες τοῦ κινητήρα. Τὴ στιγμή αὕτὴ τὸ τύμπανο εἶναι ἀκόμα ἀκίνητο, ἄρα δέν ὑπάρχει ἀντιηλεκτρεγερτικὴ δύναμη E_a . Ἡ σχέση, γιὰ $E_a = 0$ γίνεται:

$$I_{εκ} = \frac{U}{R_T}$$

ὅπου: $I_{εκ}$ εἶναι ἡ **ἔνταση ἐκκινήσεως**, δηλαδή ἡ ἔνταση πού ἀπορροφᾷ τὸ τύμπανο τοῦ κινητήρα τὴ στιγμή πού τὸν βάζομε σὲ κίνηση.

Παρατηροῦμε ὅτι ἡ ἔνταση ἐκκινήσεως εἶναι πολὺ μεγάλη σχετικὰ μὲ τὴν ἔνταση κανονικῆς λειτουργίας.

Παράδειγμα.

Στὸν κινητήρα τοῦ προηγούμενου παραδείγματος νά ὑπολογισθεῖ ἡ ἔνταση ἐκκινήσεως $I_{εκ}$.

Λύση.

$$I_{εκ} = \frac{U}{R_T}$$

$$I_{εκ} = \frac{220}{0,25} = 880 \text{ A}$$

Τόσο μεγάλες ἐντάσεις κατὰ τὴν ἐκκίνηση τοῦ κινητήρα θά προκαλοῦσαν ἀνωμαλίες στὸν ἴδιο τὸν κινητήρα καὶ στὸ δίκτυο πού τὸν τροφοδοτεῖ. Γιὰ νά τὶς ἀποφύγομε συνδέομε (ἐκτός ἀπὸ τοὺς πολὺ μικροὺς κινητήρες) κατὰ τὸ διάστημα τῆς ἐκκινήσεως μιά πρόσθετη ἀντίσταση σὲ σειρά μὲ τὸ τύλιγμα τοῦ ἑπαγωγικοῦ τυμπάνου, ὥστε νά περιορίζεται ἡ ἔνταση ἐκκινήσεως. Ἡ ἀντίσταση αὕτὴ, πού εἶναι μεταβλητὴ καὶ μάλιστα συνήθως στροφαλοφόρος, ὀνομάζεται **ἐκκινήτης**.

Ἡ ἀντίσταση τοῦ ἐκκινήτη ἐκλέγεται ἔτσι, ὥστε ὅταν στὴν ἀρχὴ τῆς ἐκκινήσεως εἶναι ὅλη ἡ ἀντίστασή του στὸ κύκλωμα, ἡ ἔνταση ἐκκινήσεως νά εἶναι 1,5 ὡς 3 φορές τὴν ἔντασι πού ὁ κινητήρας ἀπορροφᾷ στὸ κανονικὸ του φορτίο. Ἡ ἀντίσταση τοῦ ἐκκινήτη ἀφαιρεῖται σιγά-σιγά καθὼς ὁ κινητήρας ἀποκτᾷ στροφές καὶ δημιουργεῖται ἀντιηλεκτρεγερτικὴ δύναμη στὸ τύλιγμά του. Ὄταν ὁ κινητήρας ἀποκτήσῃ τὴν κανονικὴ του ταχύτητα περιστροφῆς ὅλη ἡ ἀντίσταση τοῦ ἐκκινήτη πρέπει νά ἔχει ἀφαιρεθεῖ.

Ἡ ἔνταση ἐκκινήσεως $I_{εκ}$ μὲ τὴ σύνδεση τοῦ ἐκκινήτη γίνεται τώρα:

$$I_{εκ} = \frac{U}{R_T + R_{εκ}}$$

ὅπου: $R_{εκ}$ εἶναι ὅλη ἡ ἀντίσταση τοῦ ἐκκινήτη.

Παράδειγμα.

Στὸν κινητήρα τῶν δύο προηγούμενων παραδειγμάτων πόση εἶναι ἡ τιμὴ πού πρέπει νά ἔχει ἡ ἀντίσταση τοῦ ἐκκινήτη γιὰ νά περιορισθεῖ τὸ ρεῦμα ἐκκινήσεως στὸ διπλάσιο τοῦ κανονικοῦ ρεύματος τοῦ κινητήρα;

Λύση.

$$I_{\epsilon\kappa} = \frac{U}{R_T + R_{\epsilon\kappa}} \quad \eta \quad R_{\epsilon\kappa} = \frac{U}{I_{\epsilon\kappa}} - R_T$$

Τό κανονικό ρεύμα του κινητήρα είναι 60 Α. Άρα θέλουμε να έχουμε:

$$I_{\epsilon\kappa} = 2 \times 60 = 120 \text{ Α}$$

$$R_{\epsilon\kappa} = \frac{220}{120} - 0,25 = 1,83 - 0,25 = 1,58 \, \Omega$$

4) Λειτουργία των κινητήρων με φορτίο.

Όταν ένας κινητήρας εργάζεται με φορτίο, η ηλεκτρική ισχύς που απορροφά από το δίκτυο εξαρτάται από το φορτίο και μεταβάλλεται αυτόματα ανάλογα με τις μεταβολές του φορτίου. Δηλαδή όταν το φορτίο μεγαλώνει, μεγαλώνει και η ηλεκτρική ισχύς που απορροφά και όταν το φορτίο μικραίνει, μικραίνει και η ηλεκτρική ισχύς.

Πώς συμβαίνει αυτό είναι εύκολο να εξηγηθεί, αν δεχθούμε ότι έχουμε ένα κινητήρα με παράλληλη διέγερση που τροφοδοτείται από δίκτυο με σταθερή τάση U . Άρα είναι σταθερή και η ένταση διεγέρσεως I_δ , με συνέπεια η μαγνητική ροή Φ κάθε πόλου του κινητήρα να είναι σταθερή. Ξέραμε ότι η ένταση που απορροφά το επαγωγικό τύμπανο του κινητήρα δίνεται από τη σχέση:

$$I_T = \frac{U - E_a}{R_T}$$

Όταν ο κινητήρας εργάζεται χωρίς φορτίο η αντιηλεκτρεγερτική του δύναμη E_a πολύ λίγο διαφέρει από την τάση της πηγής U . Άρα η ένταση I_T που απορροφά ο κινητήρας είναι μικρή. Η κινητήρια ροπή που αναπτύσσεται είναι μικρή και καλύπτει μόνο τις απώλειες του κινητήρα.

Όταν ο κινητήρας φορτισθεί, δηλαδή όταν αρχίσει να παρέχει μηχανική ισχύ, σέ κάποιο μηχανήμα, η ταχύτητα περιστροφής του θα ελαττωθεί λιγάκι. Όταν ελαττωθεί η ταχύτητα, θα ελαττωθεί και η αντιηλεκτρεγερτική δύναμη του κινητήρα, όπως φαίνεται από τη γνωστή σχέση:

$$E_a = K \cdot \Phi \cdot n$$

Ελάττωση όμως της E_a σημαίνει αύξηση της έντασεως I_T , όπως προκύπτει από τη σχέση που δίνει την ένταση που απορροφά το επαγωγικό τύμπανο του κινητήρα. Όταν αυξηθεί η ένταση, η ροπή T του κινητήρα αυξάνεται, αφού (εξάφιο 1 αὐτῆς τῆς παραγράφου):

$$T = K_1 \cdot \Phi \cdot I_T$$

Δηλαδή με την ελάττωση των στροφών έχουμε αύξηση της κινητήριας ροπής T .

Η ελάττωση των στροφών θα σταματήσει, μόλις η ροπή T γίνει ίση με τη ροπή του φορτίου και τις απώλειες του κινητήρα. Από τη στιγμή αυτή ο κινητήρας θα

λειτουργεί με τη λίγο ελαττωμένη αυτή ταχύτητα και θά κινεί τό μηχανικό του φορτίο.

Κάθε μεταβολή τοῦ μηχανικοῦ φορτίου θά συνεπάγεται, σύμφωνα μέ τούς πα-
ραπάνω συλλογισμούς, ἀντίστοιχη αὐτόματη μεταβολή στήν ἰσχύ πού ὁ κινητήρας
ἀπορροφᾷ ἀπό τό δίκτυο. Ἄν τό μηχανικό φορτίο τοῦ κινητήρα αὐξηθεῖ πάρα πο-
λύ, δηλαδή ἂν ξεπεράσει τήν ἱκανότητα τοῦ κινητήρα, τότε οἱ στροφές του θά πέ-
σουν πολύ, ὥσως καί νά σταματήσει τελείως ὁ κινητήρας. Ἡ ἔνταση πού ὁ κινητή-
ρας θά ἀπορροφήσει τότε ἀπό τό δίκτυο θά εἶναι πολύ μεγάλη καί ὁ κινητήρας θά
διατρέξει τόν κίνδυνο νά καταστραφεῖ ἀπό ὑπερθέρμανση, ἂν δέν λειτουργήσῃ ἡ
προστασία πού προβλέπεται γιά κάθε κινητήρα.

Παράδειγμα.

Κινητήρας μέ παράλληλη διέγερση λειτουργεῖ μέ τάση 500 V καί ἔχει ταχύτητα
περιστροφῆς 1800 στρ/μῖν ὅταν τό τύλιγμα τοῦ τυμπάνου του, πού ἔχει ἀντίστα-
ση $1 \, \Omega$, ἀπορροφᾷ ἔνταση 50 A. 1) Ποιά εἶναι ἡ ἀντιηλεκτρεγερτική δύναμη τοῦ
κινητήρα; 2) Ποιά θά εἶναι ἡ νέα ἀντιηλεκτρεγερτική δύναμη τοῦ κινητήρα καί ἡ
ταχύτητα περιστροφῆς του, ἂν ἐλαττωθεῖ ἡ ἀπαιτούμενη ἀπό τό κινούμενο μηχανά-
νημα ροπή στό $\frac{1}{2}$;

Λύση.

$$1) U - E_{a1} = R_T \cdot I_{T1} \quad \text{ἢ} \quad E_{a1} = U - R_T \cdot I_{T1}$$

$$E_{a1} = 500 - 1 \times 50 = 500 - 50 = 450 \text{ V}$$

2) Ἀπό τή σχέση:

$$T = K_1 \cdot \Phi \cdot I_T$$

συμπεραίνουμε ὅτι (ἀφοῦ τά K_1 καί Φ εἶναι σταθερά) γιά $\frac{1}{2}$ ροπῆς ὁ κινητήρας θά ἀ-
πορροφᾷ τό $\frac{1}{2}$ τῆς ἐντάσεως πού ἀπορροφοῦσε προηγούμενα:

$$I_{T2} = \frac{50}{2} = 25 \text{ A}$$

$$\text{Ἄρα: } E_{a2} = U - R_T \cdot I_{T2}$$

$$E_{a2} = 500 - 1 \times 25 = 500 - 25 = 475 \text{ V}$$

Γιά νά βροῦμε τίς νέες στροφές τοῦ κινητήρα χρησιμοποιοῦμε τίς σχέσεις:

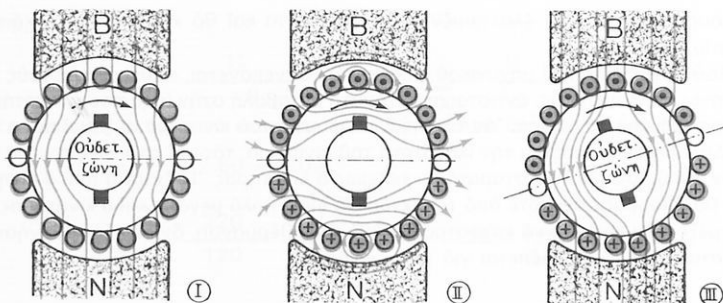
$$E_{a1} = K \cdot \Phi \cdot n_1$$

$$E_{a2} = K \cdot \Phi \cdot n_2$$

Ἀπό τίς ὁποῖες προκύπτει:

$$n_2 = n_1 \cdot \frac{E_{a2}}{E_{a1}}$$

$$n_2 = 1800 \times \frac{475}{450} \text{ στρ/μῖν} = 1900 \text{ στρ/μῖν}$$



Σχ. 2.9.

Ἀντίδραση ἐπαγωγικοῦ τυμπάνου κινητήρα.

5) Ἡ ἀντίδραση τοῦ ἐπαγωγικοῦ τυμπάνου.

Ὅπως στὶς γεννήτριες συνεχοῦς ρεύματος ἔτσι καὶ στοὺς κινητήρες, τὸ ρεῦμα πού κυκλοφορεῖ μέσα στοὺς ἀγωγούς τοῦ ἐπαγωγικοῦ τυμπάνου, δημιουργεῖ ἓνα δικό του μαγνητικό πεδίο. [σχ. 2.9(II)]. Τὸ μαγνητικό αὐτὸ πεδίο παραμορφώνει τὸ μαγνητικό πεδίο τῶν κυρίων πόλων τῆς μηχανῆς [σχ. 2.9(I)], μέσα στοῦ ὁποῖο περιστρέφεται, ὅπως ξέρομε, τὸ ἐπαγωγικὸ τύμπανο. Ἡ παραμόρφωση αὐτή, πού ὀνομάζεται καὶ ἐδῶ **ἀντίδραση τοῦ ἐπαγωγικοῦ τυμπάνου**, ἔχει πάλι σάν ἀποτέλεσμα νά μετατοπίζεται ἡ οὐδέτερη ζώνη καὶ νά δημιουργοῦνται συνεπῶς σπινθηρισμοὶ στοῦ συλλέκτη, ὅπως εἶδαμε ὅτι συμβαίνει καὶ στὶς γεννήτριες.

Ἡ μόνη διαφορά εἶναι ὅτι στοὺς κινητήρες ἡ οὐδέτερη ζώνη μετατοπίζεται ἀντίθετα ἀπὸ τὴ φορά περιστροφῆς τοῦ τυμπάνου, ὅπως δείχνει καὶ τὸ σχῆμα 2.9 (III). Ἡ μετατόπιση εἶναι τόσο μεγαλύτερη, ὅσο μεγαλύτερη εἶναι ἡ ἔνταση τοῦ ρεύματος πού ἀπορροφᾷ ὁ κινητήρας.

Ὅταν ὁ κινητήρας ἐργάζεται χωρὶς φορτίο, ἡ ἔνταση πού ἀπορροφᾷ εἶναι, ὅπως ἐξηγήσαμε, πολὺ μικρὴ σχετικὰ μὲ τὴν ἔνταση πού ἀπορροφᾷ ὅταν ἐργάζεται μὲ τὸ κανονικὸ του φορτίο. Γι' αὐτὸ τὸ λόγο, εἶναι δυνατό στὴ λειτουργία χωρὶς φορτίο τοῦ κινητήρα νά μὴν ἐμφανίζονται σπινθηρισμοὶ στοῦ συλλέκτη. Γιά νά ἔχομε λειτουργία τοῦ κινητήρα μὲ φορτίο χωρὶς σπινθηρισμοὺς, μεταθέτομε λίγο τὶς ψῆκτες, ἀντίθετα ὅμως ἀπὸ τὴ φορά περιστροφῆς τοῦ κινητήρα, ὅπως δείχνει τὸ σχῆμα 2.9 (III).

Ἕνας ἄλλος τρόπος γιὰ νά ἀποφύγομε τοὺς σπινθηρισμοὺς στοῦ συλλέκτη, χωρὶς νά μεταθέσομε τὶς ψῆκτες, εἶναι νά χρησιμοποιήσομε βοηθητικούς πόλους σάν αὐτοὺς τῶν γεννητριῶν. Σήμερα οἱ περισσότεροι κινητήρες συνεχοῦς ρεύματος κατασκευάζονται μὲ βοηθητικούς πόλους. Τὰ τυλίγματα τῶν βοηθητικῶν πόλων συνδέονται καὶ ἐδῶ σὲ σειρά μὲ τὸ τυλίγμα τοῦ ἐπαγωγικοῦ τυμπάνου, ἀλλὰ κατὰ τέτοιον τρόπο, ὥστε νά ἔχομε τὴν ἀκόλουθη διαδοχὴ κυρίων καὶ βοηθητικῶν πόλων: κατὰ τὴν φορά περιστροφῆς τοῦ τυμπάνου τοῦ κινητήρα, ὕστερα ἀπὸ βόρειο κύριο πόλο νά εἶναι βόρειος βοηθητικός καὶ ὕστερα ἀπὸ νότιο-κύριο πόλο νά εἶναι νότιος βοηθητικός.

6) Η ταχύτητα περιστροφής των κινητήρων.

Η ρύθμιση της ταχύτητας περιστροφής των κινητήρων συνεχούς ρεύματος γίνεται εύκολα, με απλά μέσα και με μεγάλη ακρίβεια. Σε αυτό πλεονεκτούν απέναντι στους κινητήρες του εναλλασσόμενου ρεύματος που θα εξετάσουμε σε άλλο κεφάλαιο.

Στά προηγούμενα δώσαμε τις ακόλουθες δύο σχέσεις για την αντιηλεκτρεγερτική δύναμη του κινητήρα:

$$E_a = U - I_T \cdot R_T \quad \text{καί} \quad E_a = K \cdot \Phi \cdot n$$

Από τις δύο αυτές σχέσεις προκύπτει για την ταχύτητα περιστροφής n του κινητήρα η σχέση:

$$n = \frac{U - I_T \cdot R_T}{K \cdot \Phi}$$

Από τη μελέτη της σχέσεως αυτής βγαίνουν τα ακόλουθα συμπεράσματα για την ταχύτητα περιστροφής του κινητήρα:

α) Αν η τάση U που εφαρμόζεται στους άκροδέκτες του τυμπάνου του κινητήρα είναι σταθερή και μειωθεί η μαγνητική ροή Φ , δηλαδή αν μειωθεί η ένταση διεγέρσεως, θα αυξηθεί η ταχύτητα του κινητήρα. Αντίθετα, η αύξηση της έντασεως διεγέρσεως προκαλεί μείωση της ταχύτητας του κινητήρα. Μεγάλη μείωση της έντασεως διεγέρσεως έχει σαν αποτέλεσμα μεγάλη αύξηση των στροφών του κινητήρα, όποτε υπάρχει κίνδυνος καταστροφής του τυλίγματος από τις φυγόκεντρες δυνάμεις που αναπτύσσονται.

β) Αν η μαγνητική ροή Φ είναι σταθερή, δηλαδή αν η ένταση διεγέρσεως είναι σταθερή και αυξήσουμε ή ελαττώσουμε την τάση U που εφαρμόζεται στο έπαγωγικό τυμπανο, θα αυξηθεί ή θα μειωθεί αντίστοιχα και η ταχύτητα του κινητήρα.

Σημειώνουμε ότι αν U και Φ είναι σταθερά και αυξηθεί η ένταση I_T του κινητήρα λόγω αύξησεως του φορτίου θα έχουμε μικρή μείωση της ταχύτητας του κινητήρα και αντίστροφα. Αυτό συμβαίνει γιατί το γινόμενο $I_T \cdot R_T$ είναι μικρό ποσοστό της U και συνεπώς οι μεταβολές του λίγο επηρεάζουν την ταχύτητα n .

Στά επόμενα θα δούμε πώς εφαρμόζονται στην πράξη οι παραπάνω διαπιστώσεις για να πετύχουμε τη ρύθμιση της ταχύτητας των κινητήρων συνεχούς ρεύματος.

2.10 Είδη κινητήρων συνεχούς ρεύματος.

Ανάλογα με τον τρόπο που είναι συνδεδεμένο το τύλιγμα διεγέρσεως των κινητήρων συνεχούς ρεύματος, όπως και τις γεννήτριες, τους διακρίνουμε σε:

- Κινητήρες με ξένη διέγερση.
- Κινητήρες με παράλληλη διέγερση.
- Κινητήρες με διέγερση σειράς.
- Κινητήρες με σύνθετη διέγερση.

Οι κινητήρες με ξένη διέγερση που κατασκευάζονται για ειδικές χρήσεις, δεν θα μας απασχολήσουν ιδιαίτερα γιατί οι ιδιότητές τους είναι περίπου όμοιες με τις ιδιότητες των κινητήρων με παράλληλη διέγερση.

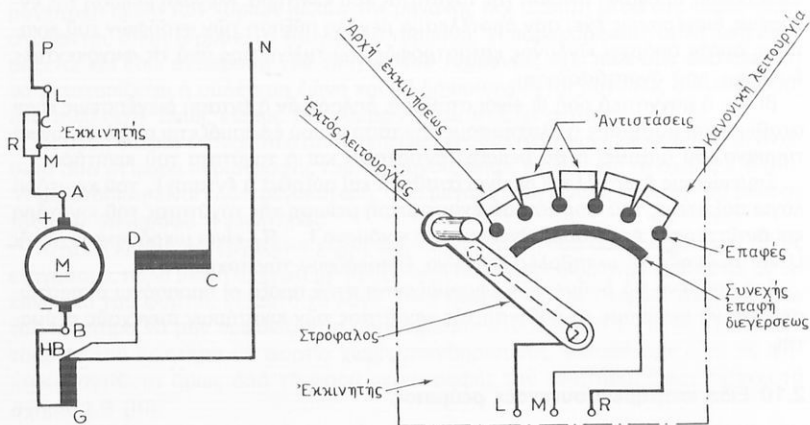
1) Κινητήρες με παράλληλη διέγερση.

Στους κινητήρες αυτούς το τύλιγμα διεγέρσεως συνδέεται παράλληλα με το τύλιγμα του επαγωγικού τυμπάνου, ακριβώς όπως στις αντίστοιχες γεννήτριες.

Τό σχήμα 2.10α στο αριστερό μέρος δείχνει τη συνδεσμολογία ενός κινητήρα με παράλληλη διέγερση (C-D) και βοηθητικούς πόλους (G-HB). Στο σχήμα τα P και N παριστάνουν το θετικό και αρνητικό πόλο της πηγής από την οποία τροφοδοτείται ο κινητήρας.

Σέ σειρά με το επαγωγικό τύμπανο συνδέεται και ο εκκινητής που χρησιμεύει, όπως είπαμε, για την εκκίνηση του κινητήρα. Τό άκρο του τυλιγματος διεγέρσεως συνδέεται με τόν τρίτο άκροδέκτη M που φέρει ο εκκινητής.

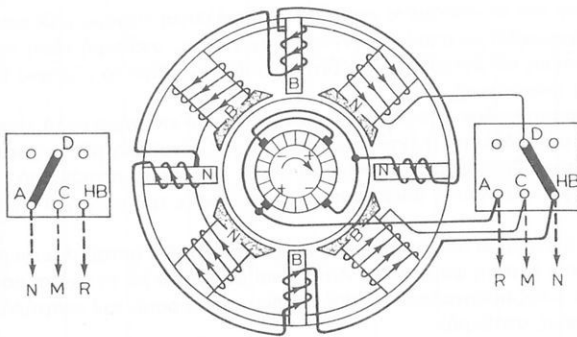
Στό δεξιό μέρος του σχήματος 2.10α είναι σχεδιασμένος ένας εκκινητής για κινητήρα με παράλληλη διέγερση. Όπως βλέπομε, ο άκροδέκτης M συνδέεται με τή συνεχή έπαφή του εκκινητή, που παίρνει άμέσως τάση μόλις ο στρόφαλος έλθει στη θέση «άρχή εκκινήσεως». Έτσι τό τύλιγμα διεγέρσεως βρίσκεται κατά τήν εκκίνηση στην πλήρη τάση τροφοδοτήσεως του κινητήρα, πράγμα που δέν θά συνέβαινε αν συνδεόταν στον άκροδέκτη A του τυμπάνου. Μέ αυτό τόν τρόπο εξασφαλίζεται μεγάλη ένταση διεγέρσεως στην εκκίνηση, με συνέπεια νά έχομε μεγάλη ροπή ($T = K_t \cdot \Phi \cdot I_T$).



Σχ. 2.10α.

Κινητήρας με παράλληλη διέγερση και εκκινητή.

Η έσωτερική συνδεσμολογία των τυλιγμάτων μεταξύ τους και με τούς άκροδέκτες σέ ένα κινητήρα με παράλληλη διέγερση φαίνεται στό σχήμα 2.10β. Η συνδεσμολογία είναι ακριβώς ή ίδια με αυτή μις γεννήτριας με παράλληλη διέγερση.

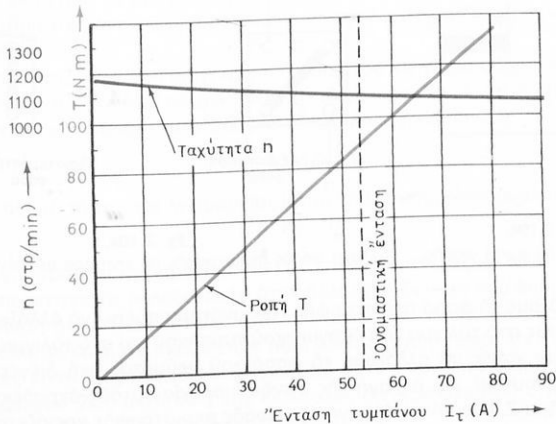


Σχ. 2.10β.

Τετραπολικός κινητήρας με παράλληλη διέγερση και βοηθητικούς πόλους.

Γιά να αλλάξουμε τή φορά περιστροφής σέ ένα κινητήρα με παράλληλη διέγερση (παράγρ. 1.5), συνήθως αλλάζουμε τή φορά του ρεύματος μέσα στο τύλιγμα του επαγωγικού τυμπάνου, φροντίζοντας να κρατήσουμε τήν ίδια πολικότητα στους κύριους μαγνητικούς πόλους. Ή πολικότητα των βοηθητικών πόλων πρέπει να αλλάξει, για να ισχύουν όσα αναφέραμε στο έδαφιο 5 τής παραγράφου 2.9 για τή διαδοχή κυρίων και βοηθητικών πόλων. Όλα τά παραπάνω έπιτυγχάνονται αν κάνουμε τή συνδεσμολογία στο κιβώτιο των άκροδεκτών, όπως φαίνεται στο άριστερό μέρος του σχήματος 2.10β.

Τό διάγραμμα του σχήματος 2.10γ δείχνει τίς χαρακτηριστικές καμπύλες λει-



Σχ. 2.10γ.

Χαρακτηριστικές καμπύλες κινητήρα με παράλληλη διέγερση.

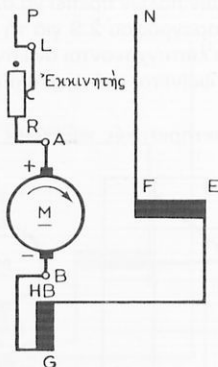
τουργίας από ένα συνηθισμένο κινητήρα με παράλληλη διέγερση. Οι καμπύλες αυτές έχουν χαραχθεί με σταθερή ένταση διεγέρσεως, σταθερή τάση του δικτύου τροφοδοτήσεως και μεταβλητή την ένταση που απορροφά το τύμπανο του κινητήρα (ένταση φορτίσεως).

Όπως παρατηρούμε ή ταχύτητα περιστροφής του κινητήρα πολύ λίγο μεταβάλλεται, όταν μεταβάλλεται η ένταση φορτίσεως. Η μεταβολή των στροφών από το μηδενικό στο πλήρες φορτίο κυμαίνεται στους κινητήρες αυτούς από 5 ως 15%. Ακόμα και για σημαντικές υπερφορτίσεις οι στροφές του κινητήρα λίγο μειώνονται.

Στό ίδιο διάγραμμα παρατηρούμε επίσης, ότι η ροπή T μεταβάλλεται περίπου ανάλογα με την ένταση φορτίσεως. Αυτό είναι σύμφωνο με τη σχέση που δώσαμε στο έδαφιο 1 της προηγούμενης παραγράφου για τη ροπή του κινητήρα (με ένταση διεγέρσεως σταθερή).

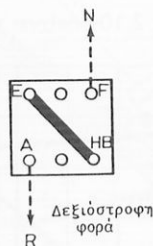
2) Κινητήρες με διέγερση σειράς.

Στο σχήμα 2.10δ φαίνεται η συνδεσμολογία ενός κινητήρα με διέγερση σειράς. Το τύλιγμα διεγέρσεως E-F είναι εδώ συνδεδεμένο σε σειρά με το τύλιγμα των βοηθητικών πόλων G-HB και το επαγωγικό τύμπανο της μηχανής. Επίσης σε σειρά με αυτά είναι συνδεδεμένος ο έκκινητής L-R.



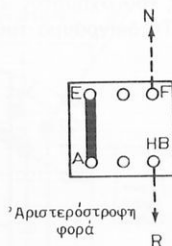
Σχ. 2.10δ.

Κινητήρας με διέγερση σειράς.

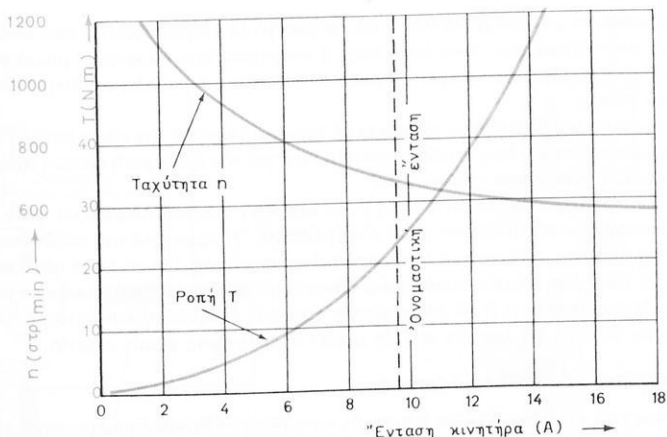


Σχ. 2.10ε.

Άλλαγή φοράς περιστροφής σε κινητήρα με διέγερση σειράς.



Για να αλλάξουμε τη φορά περιστροφής του κινητήρα πρέπει να αλλάξουμε τη φορά του ρεύματος στο τύλιγμα του επαγωγικού τυμπάνου και στο τύλιγμα των βοηθητικών πόλων χωρίς να αλλάξουμε τη φορά του ρεύματος στη διέγερση. Αυτά μπορούν να γίνουν με μία αλλαγή της συνδεσμολογίας στους ακροδέκτες, όπως δείχνει το σχήμα 2.10ε. Αν η αλλαγή της φοράς περιστροφής χρειάζεται να γίνεται τακτικά κατά τη διάρκεια της λειτουργίας, χρησιμοποιούμε, όπως και για τους κινητήρες με παράλληλη διέγερση, είτε ένα **έκκινητή-άναστροφέα** είτε ένα **ρυθμιστή στροφών-άναστροφέα**, που θα τους περιγράψουμε στα επόμενα.



Σχ. 2.10στ.

Χαρακτηριστικές καμπύλες κινητήρα με διέγερση σειράς.

Στό διάγραμμα του σχήματος 2.10στ παριστάνονται οι χαρακτηριστικές καμπύλες λειτουργίας ενός κινητήρα με διέγερση σειράς, όταν η τάση του δικτύου που τροφοδοτεί τον κινητήρα, παραμένει σταθερή. Στους κινητήρες αυτούς η ένταση πού περνά μέσα από το τύμπανο (I_T) είναι ή ίδια μέ την ένταση διεγέρσεως (αν δέν υπάρχει ρυθμιστική αντίσταση παράλληλα πρός τό τύλιγμα διεγέρσεως) καί μέ την ένταση δικτύου I .

Όπως παρατηρούμε στό διάγραμμα, ή ροπή του κινητήρα αύξάνεται πάρα πολύ όταν αύξάνεται ή I , σχεδόν αύξάνεται μέ τό τετράγωνο της I . Αυτό εξηγείται καί από τή σχέση πού δώσαμε στό έδάφιο 1 της παραγράφου 2.9:

$$T = K_1 \cdot \Phi \cdot I$$

Έδώ ή Φ , γιά τά σημεία λειτουργίας κάτω του κόρου, είναι ανάλογη μέ την I άρα:

$$T = K_1' \cdot I^2$$

Στό διάγραμμα επίσης παρατηρούμε, ότι στους κινητήρες με διέγερση σειράς, ή ταχύτητα περιστροφής αλλάζει πολύ όταν αλλάζει ή ένταση πού απορροφά ό κινητήρας, δηλαδή όταν αλλάζει τό φορτίο του κινητήρα. Η εξήγηση καί αυτής της ιδιότητας είναι εύκολη αν σκεφθούμε πάλι ότι ή ένταση I είναι καί ένταση διεγέρσεως στους κινητήρες αυτούς. Σύμφωνα μέ αυτά πού αναφέραμε στό έδάφιο 6 της παραγράφου 2.9, μεταβολή της έντάσεως διεγέρσεως έχει σαν αποτέλεσμα σημαντική μεταβολή των στροφών του κινητήρα.

Από τά παραπάνω βγαίνει τό συμπέρασμα ότι ό κινητήρας με διέγερση σειράς όταν έχει νά κινήσει σημαντικό φορτίο, όχι μόνο ελαττώνει την ταχύτητά του αλλά

καί ἀναπτύσσει μεγάλη ροπή ἱκανή νά κινήσει τό ἐξωτερικό φορτίο πού εἶναι συνδεδεμένο στόν ἀξονά του. Ἀντίθετα, ὅταν ὁ κινητήρας ἔχει νά κινήσει μικρό φορτίο, ἀπορροφᾷ ἀπό τό δίκτυο μικρή ἔνταση καί ἀναπτύσσει μεγάλη ταχύτητα μέ μικρή σχετικά ροπή.

Ἡ συμπεριφορά αὐτή τοῦ κινητήρα μέ διέγερση σειρᾶς τόν κάνει κατάλληλο γιά τήν ἀνύψωση βαρῶν (π.χ. στούς γερανοῦς) καί γιά τήν ἠλεκτρική κίνηση ὀχημάτων (π.χ. τρόλεϋ, ἠλεκτρικά τραίνα κλπ.).

Ὁ κινητήρας μέ διέγερση σειρᾶς ὅταν δέν ἔχει φορτίο συνδεδεμένο στόν ἀξονά του, ἀπορροφᾷ ἀπό τό δίκτυο πολύ μικρή ἔνταση. Ἡ ταχύτητά του αὐξάνεται πάρα πολύ καί ὑπάρχει κίνδυνος νά καταστραφεῖ ὁ κινητήρας. Γιά τό λόγο αὐτό οἱ κινητήρες μέ διέγερση σειρᾶς συνδέονται πάντοτε μέ τό φορτίο πού κινοῦν μέ μηχανικό σύνδεσμο (κόπλερ) ἢ μέ ὀδοντωτοῦς τροχοῦς (γρανάζια) καί ποτέ μέ ἱμάντες, πού εἶναι δυνατό νά κοποῦν καί νά μείνει ὁ κινητήρας χωρίς φορτίο.

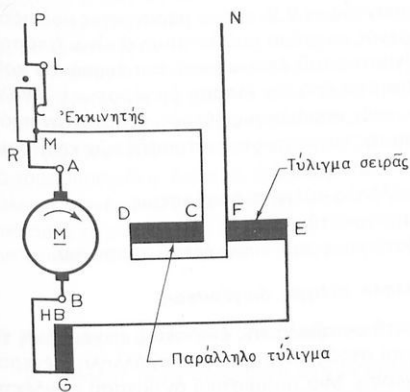
3) Κινητήρες μέ σύνθετη διέγερση.

Ὅπως στίς γεννήτριες, ἔτσι καί στούς κινητήρες μέ σύνθετη διέγερση, κάθε κύριος μαγνητικός πόλος ἔχει δύο τυλίγματα, τό παράλληλο τύλιγμα καί τό τύλιγμα σειρᾶς. Ἐπίσης, ὅπως καί στίς γεννήτριες ἔχομε κινητήρες μέ ἀθροιστική σύνθετη διέγερση καί κινητήρες μέ διαφορική σύνθετη διέγερση, ἀντίστοιχα μέ τό ἀν τό τύλιγμα σειρᾶς ἐνισχύει ἢ ἐξασθενίζει τό μαγνητικό πεδίο πού δημιουργεῖ τό παράλληλο τύλιγμα.

Ἡ συνδεσμολογία ἐνός κινητήρα μέ ἀθροιστική σύνθετη διέγερση καί βοηθητικούς πόλους, φαίνεται στό σχῆμα 2.10ς. Ἡ ἐκκίνηση γίνεται καί ἐδῶ, ὅπως στούς κινητήρες μέ παράλληλη διέγερση, μέ τή βοήθεια ἐνός ἐκκινητή πού συνδέεται, ὅπως δείχνει καί τό σχῆμα, σέ σειρά μέ τό ἐπαγωγικό τύμπανο.

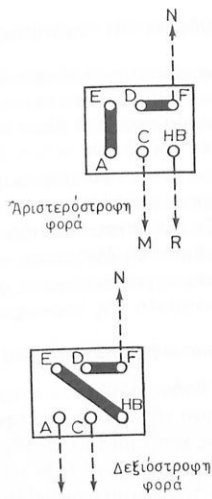
Γιά νά ἀλλάξομε τή φορά περιστροφῆς σέ ἕνα κινητήρα μέ σύνθετη διέγερση, πρέπει νά ἀλλάξομε τήν διεύθυνση τοῦ ρεύματος μέσα στό ἐπαγωγικό τύμπανο καί στούς βοηθητικούς πόλους. Ἡ διεύθυνση ὅμως τοῦ ρεύματος διεγέρσεως, τόσο μέσα στό παράλληλο τύλιγμα ὅσο καί μέσα στό τύλιγμα σειρᾶς, πρέπει νά μένει ἡ ἴδια. Αὐτά μποροῦν νά γίνουν καί ἐδῶ μέ μιά ἀλλαγὴ τῆς συνδεσμολογίας στούς ἀκροδέκτες, ὅπως δείχνει τό σχῆμα 2.10η. Ἄν ἡ ἀλλαγὴ τῆς φορᾶς περιστροφῆς πρέπει νά γίνεται τακτικά κατά τή λειτουργία τοῦ κινητήρα χρησιμοποιοῦμε, ὅπως καί στούς ἄλλους κινητήρες, εἴτε ἕνα ἐκκινητή-ἀναστροφέα εἴτε ἕνα ρυθμιστή στροφῶν-ἀναστροφέα.

Στό διάγραμμα τοῦ σχήματος 2.10θ φαίνονται οἱ χαρακτηριστικές καμπύλες τοῦ κινητήρα μέ ἀθροιστική σύνθετη διέγερση. Στό ἴδιο διάγραμμα, γιά λόγους συγκρίσεως, εἶναι σχεδιασμένες οἱ χαρακτηριστικές καμπύλες ἐνός κινητήρα μέ παράλληλη διέγερση καί ἐνός κινητήρα μέ διέγερση σειρᾶς τοῦ ἴδιου μεγέθους μέ τόν κινητήρα μέ σύνθετη διέγερση. Ὅπως παρατηροῦμε, οἱ χαρακτηριστικές τοῦ τελευταίου αὐτοῦ κινητήρα εἶναι ἕνα εἶδος μέσης τιμῆς τῶν χαρακτηριστικῶν τῶν δύο ἄλλων κινητήρων. Ἐπὶ πλέον, ὁ κινητήρας μέ σύνθετη διέγερση στή λειτουργία του χωρίς φορτίο συμπεριφέρεται σάν κινητήρας μέ παράλληλη διέγερση. Δέν ὑπάρχει λοιπόν φόβος στόν κινητήρα αὐτό, ὅταν μείνει χωρίς φορτίο, νά αὐξηθεῖ πάρα πολύ ἡ ταχύτητα περιστροφῆς, ὅπως συμβαίνει στούς κινητήρες μέ διέγερση σειρᾶς.



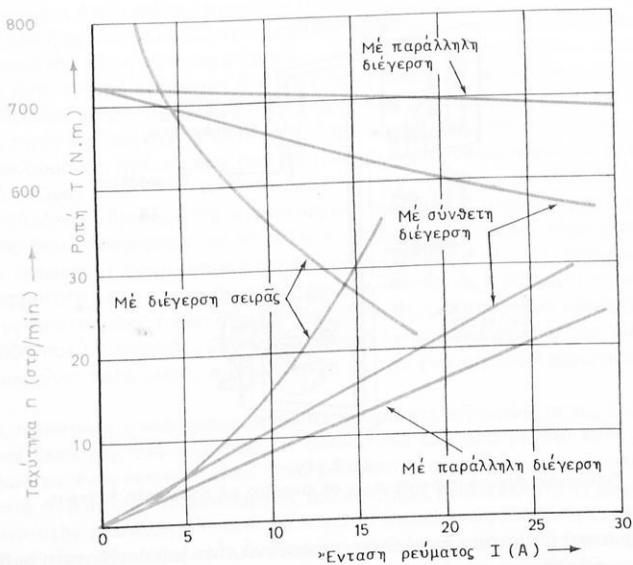
Σχ. 2.10ζ.

Κινητήρας με άθροιστική σύνθετη διέγερση
καί βοηθητικούς πόλους.



Σχ. 2.10η.

Άλλαγή φοράς περιστροφής σε κινητήρα
μέ σύνθετη διέγερση.



Σχ. 2.10θ.

Χαρακτηριστικές καμπύλες κινητήρων ίσου μεγέθους.

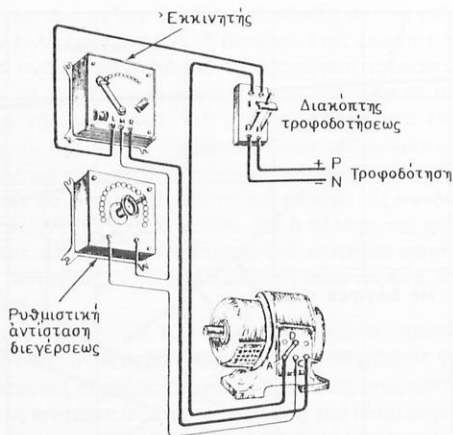
2.11 Ρύθμιση της ταχύτητας στους κινητήρες συνεχούς ρεύματος.

Όπως είδαμε στο έδαφιο 6 της παραγράφου 2.9, οι δύο παράγοντες που προσδιορίζουν την ταχύτητα περιστροφής ενός κινητήρα που λειτουργεί είναι η τάση U που εφαρμόζεται στα άκρα του τυλίγματος του έπαγωγικού του τυμπάνου και η μαγνητική ροή Φ των πόλων (που εξαρτάται από την ένταση διεγέρσεως). Ανάλογα με τον τρόπο που χρησιμοποιούμε τους παράγοντες αυτούς, έχουμε στην πράξη τρεις κυρίως μεθόδους για τη ρύθμιση της ταχύτητας περιστροφής των κινητήρων συνεχούς ρεύματος. Δηλαδή έχουμε ρύθμιση μέ:

- α) Ρυθμιστική αντίσταση στο παράλληλο τύλιγμα διεγέρσεως.
- β) Ρυθμιστική αντίσταση στο έπαγωγικό τύμπανο.
- γ) Μεταβολή της τάσεως τροφοδοτήσεως του έπαγωγικού τυμπάνου.

1) Ρυθμιστική αντίσταση στο παράλληλο τύλιγμα διεγέρσεως.

Η μέθοδος αυτή, που στηρίζεται στη μεταβολή της έντασεως διεγέρσεως για τη ρύθμιση της ταχύτητας, εφαρμόζεται στους κινητήρες με παράλληλη διέγερση και στους κινητήρες με σύνθετη διέγερση. Μία ρυθμιστική αντίσταση συνδέεται σε σειρά (στον άγωγό C-M του σχήματος 2.10α) με το παράλληλο τύλιγμα και μεταβάλλει την ένταση διεγέρσεως που περνά μέσα από αυτό, όπως φαίνεται στο σχήμα 2.11α. Είναι η πιο συνηθισμένη μέθοδος ρυθμίσεως της ταχύτητας περιστροφής στους κινητήρες συνεχούς ρεύματος.



Σχ. 2.11α.

Ρυθμιστική αντίσταση διεγέρσεως σε κινητήρα με παράλληλη διέγερση.

Η ρυθμιστική αντίσταση διεγέρσεως μπορεί να είναι μία ανεξάρτητη ρυθμιστική αντίσταση ή να είναι συνδυασμένη με τον εκκινητή. Με τη μέθοδο αυτή μπορούμε να μεταβάλλουμε την ταχύτητα ενός κινητήρα με παράλληλη διέγερση από

τὴν ὀνομαστικὴ τῆς τιμῆ μέχρι τέσσερις φορές τὴν τιμὴ αὐτῇ, ἐφόσον βέβαια τὸ ἀντέχει ἡ μηχανικὴ κατασκευὴ τοῦ κινητήρα.

Στοὺς κινητήρες μέ σύνθετη διέγερση, γιὰ μιὰ ὀρισμένη θέση τοῦ στροφάλου τῆς ρυθμιστικῆς ἀντίστασεως, ἡ ταχύτητα μεταβάλλεται σημαντικὰ ὅταν μεταβάλλεται τὸ φορτίο. Ἀντίθετα στοὺς κινητήρες μέ παράλληλη διέγερση, ἡ μεταβολὴ τῆς ταχύτητος μέ τὸ φορτίο εἶναι πολὺ μικρότερη.

Στοὺς κινητήρες σειρᾶς, ἡ μέθοδος αὐτῇ τῆς μεταβολῆς τῆς ἐντάσεως διεγέρσεως γιὰ τὴ ρύθμιση τῶν στροφῶν τοῦ κινητήρα, ἐφαρμόζεται μερικές φορές, ἀλλὰ τροποποιημένη. Δηλαδή, μιὰ ρυθμιστικὴ ἀντίσταση συνδέεται παράλληλα μέ τὸ τύλιγμα διεγέρσεως, ὥστε ἓνα μέρος τοῦ ρεύματος τοῦ τυμπάνου νά περνᾷ μέσα ἀπὸ αὐτὴ τὴ ρυθμιστικὴ ἀντίσταση. Ἔτσι μπορούμε, μεταβάλλοντας τὴ ρυθμιστικὴ ἀντίσταση νά μεταβάλλομε τὴν ἔνταση διεγέρσεως.

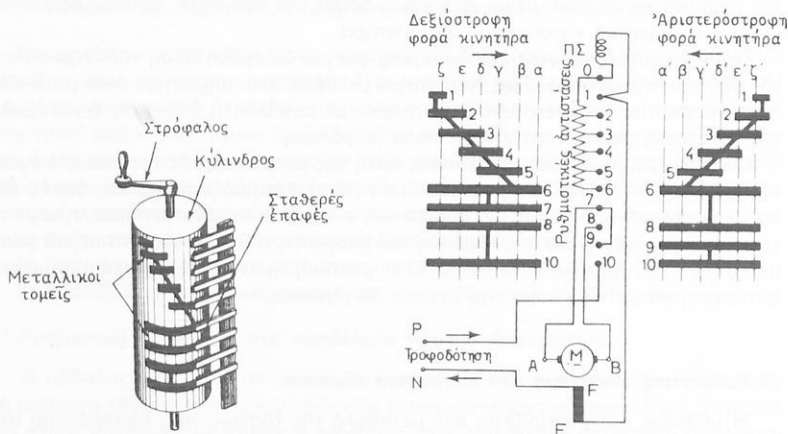
2) Ρυθμιστικὴ ἀντίσταση στό ἐπαγωγικὸ τύμπανο.

Ἡ μέθοδος αὐτῇ στηρίζεται στὴ μεταβολὴ τῆς τάσεως, πού ἐφαρμόζεται στό τύμπανο τοῦ κινητήρα γιὰ τὴ ρύθμιση τῶν στροφῶν του. Ἄν σέ σειρά μέ τὸ ἐπαγωγικὸ τύμπανο συνδέομε μιὰ ρυθμιστικὴ ἀντίσταση, πού ὀνομάζεται **ρυθμιστὴς στροφῶν**, ὅπως ἀκριβῶς συνδέεται ὁ ἐκκινητὴς (σχήματα 2.10α, 2.10δ καὶ 2.10ζ), τότε μέ τὴν πτώση τάσεως πού δημιουργεῖται μέσα στὴν ἀντίσταση αὐτὴ μπορούμε νά ἐπιτύχομε ρύθμιση τῆς τάσεως τροφοδοτήσεως τοῦ ἐπαγωγικοῦ τυμπάνου.

Ἡ μέθοδος ἐφαρμόζεται συνήθως στοὺς κινητήρες σειρᾶς. Στοὺς κινητήρες μέ παράλληλη ἢ μέ σύνθετη διέγερση χρησιμοποιεῖται ἡ μέθοδος, ὅταν θέλομε νά ἔχομε μεταβολὴ τῆς ταχύτητος σέ πολὺ χαμηλὰ ὅρια. Στὶς περιπτώσεις αὐτές ἡ ρυθμιση μεταβολῆς τῆς ταχύτητος δέν εἶναι δυνατό νά χρησιμοποιηθεῖ, γιὰτὴν αὐτὴ δέν μπορούμε νά ἐπιτύχομε ταχύτητες κάτω ἀπὸ ἓνα ὀρισμένο ὄριο. Τὸ ὄριο αὐτὸ εἶναι ἡ ταχύτητα πού ἔχει ὁ κινητήρας, ὅταν ὅλη ἡ ρυθμιστικὴ ἀντίσταση εἶναι ἐκτός κυκλώματος, ὁπότε μέσα ἀπὸ τὸ τύλιγμα διεγέρσεως περνᾷ τὸ μεγαλύτερο δυνατό ρεῦμα.

Ἡ μέθοδος ρυθμίσεως τῆς ταχύτητος μέ τὸ ρυθμιστὴ στροφῶν, πού εἶναι συνδεμένος, ὅπως ἀναφέραμε, σέ σειρά μέ τὸ ἐπαγωγικὸ τύμπανο, εἶναι δαπανηρὴ ἀπὸ τὴν ἄποψη ὅτι ἔχομε σημαντικὴ ἀπώλεια ἐνέργειας ($R \cdot I_T^2$), πού ἐμφανίζεται σάν θερμότητα μέσα στό ρυθμιστὴ στροφῶν. Ἀντίθετα, ἡ ρύθμιση τῆς ταχύτητος μέ τὴ ρυθμιστικὴ ἀντίσταση διεγέρσεως, ὅπου βέβαια μπορεῖ νά ἐφαρμοσθεῖ, παρουσιάζει πολὺ μικρότερες ἀπώλειες, ἀφοῦ ἡ ἔνταση στό παράλληλο τύλιγμα διεγέρσεως εἶναι πολὺ μικρὴ, συγκρινόμενη μέ τὴν ἔνταση τοῦ ἐπαγωγικοῦ τυμπάνου.

Στὶς περιπτώσεις πού χρησιμοποιεῖται ρυθμιστὴς στροφῶν, αὐτὸς ὁ ἴδιος εἶναι τότε καὶ ἐκκινητὴς τοῦ κινητήρα. Ἡ οὐσιαστικὴ διαφορὰ μεταξὺ ἐνός ρυθμιστῆ στροφῶν καὶ ἐνός ἐκκινητῆ εἶναι, ὅτι ὁ ρυθμιστὴς στροφῶν χρησιμοποιεῖται συνεχῶς κατὰ τὴ διάρκειά τῆς λειτουργίας τοῦ κινητήρα, ἐνῶ ὁ ἐκκινητὴς χρησιμοποιεῖται μόνο στὴν ἐκκίνηση. Γι' αὐτὸ τὸ λόγο, οἱ ἀντιστάσεις τοῦ ρυθμιστῆ στροφῶν πρέπει νά εἶναι ἔτσι ὑπολογισμένες, ὥστε νά ἀντέχουν στὴ σημαντικὴ θερμότητα πού παράγεται, ὅπως εἴπαμε, ἀπὸ τὶς ἀπώλειες $R \cdot I_T^2$, χωρὶς νά ὑπάρχει φόβος νά καταστραφοῦν.



Σχ. 2.11β.

Ρυθμιστής στροφών-άναστροφάς για κινητήρα με διέγερση σειράς.

Οι χειροκίνητοι ρυθμιστές στροφών των κινητήρων με διέγερση σειράς και των μεγάλων κινητήρων με παράλληλη ή σύνθετη διέγερση, έχουν συνήθως τη μορφή ενός κατακόρυφου κυλινδρικού τυμπάνου, που μπορεί νά περιστραφεί με ένα χειροστρόφαλο. Στην κυλινδρική επιφάνεια του τυμπάνου είναι στερεωμένοι μεταλλικοί τομείς μονωμένοι προς αυτό και συνδεδεμένοι μεταξύ τους, όπως φαίνεται στο άριστερό μέρος του σχήματος 2.11β. Στους μεταλλικούς τομείς έφάπτονται κατά την περιστροφή του κυλίνδρου αντίστοιχες σταθερές έπαφές, που είναι στερεωμένες στο ακίνητο μέρος του ρυθμιστή στροφών.

Στις σταθερές έπαφές συνδέονται τά άκρα των τυλιγμάτων του κινητήρα, οι αντίστάσεις του ρυθμιστή στροφών και οι άγωγοί για την τροφοδότηση του κινητήρα. Ανάλογα με τη θέση που δίνουμε στον κύλινδρο στρέφοντάς τον, παρεμβάλλουμε σε σειρά με τό τύλιγμα του έπαγωγικού τυμπάνου του κινητήρα διαφορετικό κάθε φορά αριθμό αντίστάσεων. Έτσι, μεταβάλλουμε την τάση που εφαρμόζεται στο έπαγωγικό τύμπανο και συνεπώς και τις στροφές του κινητήρα.

Ο ρυθμιστής στροφών του σχήματος 2.11β είναι ταυτόχρονα και άναστροφάς, δηλαδή χρησιμοποιείται και για την αλλαγή της φοράς περιστροφής του κινητήρα. Στο δεξιό μέρος του σχήματος φαίνονται οι μεταλλικοί τομείς στο ανάπτυγμα του κυλίνδρου, οι θέσεις των αντίστοιχων σταθερών έπαφών 1-10, οι ρυθμιστικές αντίστάσεις που συνδέονται με αυτές και η λοιπή συνδεσμολογία για την τροφοδότηση του κινητήρα. Ο κινητήρας παριστάνεται με τό έπαγωγικό του τύμπανο A-B και τό τύλιγμα σειράς E-F.

Οι μεταλλικοί τομείς, που είναι στο άριστερό μέρος του ανάπτγματος, χρησιμεύουν για τη ρύθμιση των στροφών στη δεξιόστροφη φορά κινήσεως του κινητήρα. Οι τομείς που είναι στο δεξιό μέρος χρησιμεύουν για τη ρύθμιση των στροφών στην άριστερόστροφη φορά κινήσεως του κινητήρα.

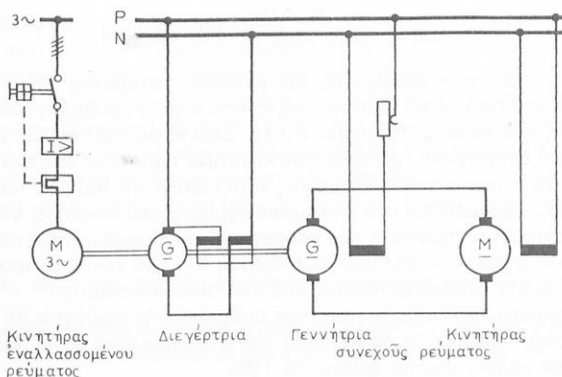
Ἡ ἐξήγηση τῆς λειτουργίας αὐτοῦ τοῦ ρυθμιστῆ στροφῶν-ἀναστροφῆς εἶναι εὐκόλη, ἂν κανεῖς παρακολουθήσει τὴ συνδεσμολογία τῶν σταθερῶν ἐπαφῶν ποὺ πραγματοποιεῖται ἀπὸ τοὺς μεταλλικοὺς τομεῖς σὲ κάθε θέσῃ ποὺ παίρνει τὸ τύμπανο στὴν περιστροφή του. Κάθε μία ἀπὸ τὶς θέσεις αὐτές τοῦ τυμπάνου σημειώνεται στὸ σχέδιο μὲ μιά ἀπὸ τὶς διακοπτόμενες γραμμές $\alpha, \beta, \gamma, \dots$ Τό ΠΣ εἶναι πηνίο, ποὺ χρησιμεύει γιὰ νὰ σβήνει τοὺς σπινθῆρες ποὺ δημιουργοῦνται μεταξὺ σταθερῶν ἐπαφῶν καὶ μεταλλικῶν τομέων.

3) Μεταβολὴ τῆς τάσεως τροφοδοτήσεως τοῦ ἐπαγωγικοῦ τυμπάνου.

Ἡ μέθοδος αὐτὴ ρυθμίσσεως τῆς ταχύτητας τῶν κινητῆρων βασίζεται πάλι στὴ μεταβολὴ τῆς τάσεως ποὺ ἐπιβάλλεται στὸ τύλιγμα τοῦ ἐπαγωγικοῦ τυμπάνου, πραγματοποιεῖται ὅμως ὄχι μὲ τὴν πώση τάσεως μέσα στὸ ρυθμιστὴ στροφῶν, ἀλλὰ μὲ τὴ μεταβολὴ τῆς τάσεως τροφοδοτήσεως. Στὴν περίπτωση αὐτὴ χρειάζεται γιὰ κάθε κινητῆρα μιά ἰδιαίτερη πηγὴ συνεχοῦς ρεύματος, ποὺ μπορεῖ νὰ εἶναι καὶ μιά ἰδιαίτερη γεννήτρια, ἢ ὁποῖα νὰ τροφοδοτεῖ τὸ ἐπαγωγικὸ του τύμπανο μὲ ρυθμιζόμενη κατάλληλα τάση. Ἡ ἔνταση διεγέρσεως τοῦ κινητῆρα διατηρεῖται σταθερὴ, τροφοδοτούμενη ἀπὸ μιά ἄλλη πηγή.

Ἡ μέθοδος αὐτὴ δίνει μεταβολὴ τῆς ταχύτητας τοῦ κινητῆρα σὲ μεγάλα ὅρια. Ἐχει ἐπίσης τὸ πλεονέκτημα, μὲ τὴν προοδευτικὴ αὐξηση τῆς τάσεως τῆς πηγῆς ποὺ τροφοδοτεῖ τὸν κινητῆρα, ὅτι ξεκινώντας ἀπὸ τὸ μηδέν πετυχαίνομε ἄριστες συνθήκες ἐκκινήσεως τοῦ κινητῆρα. Αὐτός ἐστὶν καὶ ὁ λόγος ποὺ χρησιμοποιεῖται τὸ σύστημα αὐτὸ μεταξὺ ἄλλων καὶ στοὺς σύγχρονους ἀνελκυστῆρες μεγάλης ταχύτητας λειτουργίας, ποὺ θέλομε ὅμως νὰ ἔχουν πολὺ ὁμαλὴ ἐκκίνηση καὶ ὁμαλὸ σταμάτημα.

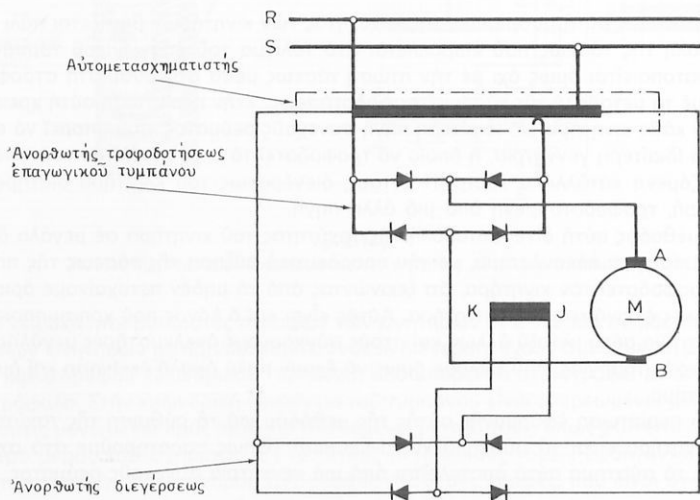
Μιά περίπτωση ἐφαρμογῆς αὐτῆς τῆς μεθόδου γιὰ τὴ ρύθμιση τῆς ταχύτητας τοῦ κινητῆρα εἶναι τὸ σύστημα Ward-Leonard. Ὅπως παρατηροῦμε στὸ σχῆμα 2.11γ, τὸ σύστημα αὐτὸ ἀποτελεῖται ἀπὸ μιά γεννήτρια συνεχοῦς ρεύματος, ποὺ



Σχ. 2.11γ.

Σύστημα Ward-Leonard.

τροφοδοτεί άπευθείας τό έπαγωγικό τύμπανο τοϋ κινητήρα, πού θέλομε νά έχομε ρύθμιση τών στροφών. Ή γεννήτρια κινείται μέ περίπου σταθερή ταχύτητα άπό ένα κινητήρα έναλλασσόμενου ρεύματος. Στόν ίδιο άξονα, κινούμενη άπό τόν κινητήρα αυτόν, είναι μία άλλη μικρότερη γεννήτρια συνεχούς ρεύματος (ή διεγέρτρια) πού τροφοδοτεί τόσο τή διεγερση τής κύριας γεννήτριας όσο καί τοϋ κινητήρα μέ συνεχές ρεύμα σταθερής τάσεως. Ή ρύθμιση τής τάσεως, πού εφαρμόζεται στό έπαγωγικό τύμπανο τοϋ κινητήρα συνεχούς ρεύματος, γίνεται μέ τή ρυθμιστική άντίσταση, πού ύπάρχει στό τύλιγμα διεγέρσεως τής γεννήτριας.



Σχ. 2.116.

Σύστημα μέ αυτόμετασχηματιστή καί άνορθωτές.

Μία άλλη περίπτωση εφαρμογής τής μεθόδου μεταβολής τής τάσεως πού εφαρμόζεται στό έπαγωγικό τύμπανο τοϋ κινητήρα γιά τή ρύθμιση τών στροφών, είναι καί αυτή πού φαίνεται στό σχήμα 2.11 δ. Έδώ τό συνεχές ρεύμα, γιά τήν τροφοδότηση τοϋ έπαγωγικού τυμπάνου τοϋ κινητήρα, παράγεται άπό ένα άνορθωτή μέ άνορθωτικά στοιχεία άπό ήμιαγωγούς. Ή μεταβολή τής τάσεως, τοϋ συνεχούς ρεύματος, πού εφαρμόζεται στό έπαγωγικό τύμπανο τοϋ κινητήρα, γίνεται μέ τό μεταβλητό αυτόμετασχηματιστή πού τροφοδοτεί τόν άνορθωτή (γι' αυτούς θά επανέλθομε σέ έπόμενα κεφάλαια). Ή διεγερση K-J τοϋ κινητήρα τροφοδοτείται μέ συνεχές ρεύμα σταθερής τάσεως άπό ένα άλλο άνορθωτή.

Μέ τό παραπάνω σύστημα πετυχαίνομε ρυθμίσεις τής ταχύτητας σέ όρια μεγαλύτερα καί άπό 1 πρός 5. Ή διακύμανση τών στροφών κατά τή λειτουργία χωρίς φορτίο καί μέ πλήρες φορτίο φθάνει τό 10%.

Σημειώνομε τέλος ότι μέ τή χρησιμοποίηση τών άνορθωτικών στοιχείων άπό ήμιαγωγούς πού όνομάζονται θυρίστορ, πετυχαίνομε αυτόματο έλεγχο τής τάσεως

του συνεχούς ρεύματος που τροφοδοτεί το επαγωγικό τύμπανο και συνεπώς και των στροφών του κινητήρα. Μέ την τεχνολογία αυτή, που εφαρμόζεται σε κινητήρες με ισχύ μέχρι 500 kW, έχουμε ρύθμιση της ταχύτητας σε σχέσεις πάνω από 1 προς 20. Επίσης έχουμε αυτόματη τήρηση ουσιαστικά σταθερής ταχύτητας, σε οποιαδήποτε ένδιάμηση τιμή της κλίμακας αυτής, ανεξάρτητης από τις διακυμάνσεις των φορτίων, της τάσεως του ρεύματος του δικτύου και των μεταβολών στην ένταση διεγέρσεως.

2.12 Ήλεκτρική πέδηση.

Στους ηλεκτρικούς κινητήρες, ανάλογα με το είδος του φορτίου που κινούν, συμβαίνει πολλές φορές να μεσολαβεί ένα σημαντικό χρονικό διάστημα από τη στιγμή που θα διακόψουμε το ρεύμα που τους τροφοδοτεί, μέχρι να σταματήσει ο κινητήρας. Όταν αυτό είναι ενοχλητικό για την εγκατάσταση που κινεί ο κινητήρας, τότε για το γρήγορο σταμάτημά του ή εφαρμόζουμε τη **μηχανική πέδηση** με μία μηχανική πέδη ή την **ηλεκτρική πέδηση** από τον ίδιο τον κινητήρα.

Στην ηλεκτρική πέδηση, για να καταναλώσουμε την κινητική ενέργεια που έχει ο κινητήρας και το κινούμενο μηχανήμα τη στιγμή που διακόπτουμε την τροφοδοτήση, μετατρέπουμε προσωρινά τον κινητήρα σε γεννήτρια με φορτίο. Έτσι, η κινητική ενέργεια μετατρέπεται σε ηλεκτρική, που καταναλώνεται στο φορτίο.

Ένας τρόπος να γίνει η παραπάνω μετατροπή είναι, μετά τη διακοπή της τροφοδοτήσεως του κινητήρα, να συνδεθεί στα άκρα του επαγωγικού του τυμπάνου μία ωμική αντίσταση. Ο κινητήρας, που εξακολουθεί να περιστρέφεται, λειτουργεί στο διάστημα αυτό σαν γεννήτρια και παράγει ηλεκτρική ενέργεια, που καταναλώνεται σαν θερμότητα μέσα στην ωμική αντίσταση. Οι δυνάμεις πεδήσεως, που δημιουργούνται στον κινητήρα όταν εργάζεται σαν γεννήτρια (παράγρ. 1.7), συντελούν στο γρήγορο σταμάτημα τόσο του κινητήρα όσο και του μηχανήματος που κινεί.

Ένας άλλος τρόπος να πραγματοποιηθεί η ηλεκτρική πέδηση είναι να μην αποσυνδεθεί από το δίκτυο τροφοδοτήσεως ο κινητήρας κατά τη διάρκεια που θέλουμε να γίνει η πέδηση. Τότε, με ένα τρόπο που έχει προβλεφθεί από τον κατασκευαστή, αυξάνουμε τη διεγερση του κινητήρα, με συνέπεια να αυξηθεί η ηλεκτρεγερτική του δύναμη έπάνω από την τάση του δικτύου τροφοδοτήσεως. Έτσι, ο κινητήρας λειτουργεί πάλι σαν γεννήτρια που τροφοδοτεί με ηλεκτρική ενέργεια το δίκτυο, με αποτέλεσμα να έχουμε πέδηση της μηχανής.

Ο τρόπος αυτός εφαρμόζεται π.χ. στα ηλεκτρικά τραίνα, όταν κινούνται σε κατήφορο.

2.13 Ίσχύς, απώλειες, βαθμός αποδόσεως κινητήρων συνεχούς ρεύματος.

Η ισχύς N_1 που ένας κινητήρας απορροφά με μορφή ηλεκτρικής ενέργειας από την πηγή, που τον τροφοδοτεί με συνεχές ρεύμα, δίνεται από τη σχέση:

$$N_1 = \frac{U \cdot I}{1000} \quad \text{σε kW}$$

όπου: U είναι η τάση σέ V του δικτύου τροφοδοτήσεως και

I η ένταση σέ A πού απορροφά ο κινητήρας.

Η ισχύς N πού ο κινητήρας δίνει στον άξονά του μέ μορφή μηχανικής ενέργειας είναι πάντοτε μικρότερη από τή N_1 . Η διαφορά:

$$N_1 - N = N_{\text{αν}}$$

καταναλώθηκε σέ **άπώλειες** μέσα στή μηχανή. Οι άπώλειες αυτές είναι τής ίδιας μορφής μέ τίσ άπώλειες πού αναφέραμε στήν παράγραφο 2.8 γιά τίσ γεννήτριες συνεχούς ρεύματος.

Όταν μιλάμε γιά ισχύ κινητήρα έννοοῦμε πάντοτε τήν ισχύ πού δίνει στον άξονά του. Η ισχύς αυτή N δίνεται από τή σχέση:

$$N = \frac{T_a \cdot n}{9554} \quad \text{σέ kW}$$

όπου: T_a είναι η ροπή σέ Nm πού αναπτύσσει ο κινητήρας στον άξονά του και n είναι η ταχύτητα περιστροφής του κινητήρα σέ $στρ/μιν$.

Η ροπή T_a είναι μικρότερη από τήν κινητήρια ροπή T (έδαφιο 1, παράγραφος 2.9), κατά τή ροπή πού απορροφούν οι άπώλειες του κινητήρα.

Ο λόγος τής ισχύος N , πού μās δίνει ο κινητήρας στον άξονά του, πρós τήν ισχύ N_1 , πού παίρνει από τό δίκτυο, ονομάζεται **βαθμός άποδόσεως**:

$$\eta = \frac{N}{N_1} = \frac{N}{N + N_{\text{αν}}}$$

Τό η είναι πάντοτε αριθμός μικρότερος από τή μονάδα. Η μεταβολή του βαθμού άποδόσεως μέ τό φορτίο παριστάνεται από μιά καμπύλη όμοιας μορφής μέ αυτή του σχήματος 2.8.

Στήν πινακίδα του κινητήρα είναι γραμμένα: η **όνομαστική τάση**, ή **όνομαστική ένταση**, ή **όνομαστική ισχύς** και ή **όνομαστική ταχύτητα**.

Όνομαστική τάση είναι ή τάση γιά τήν όποία ο κινητήρας έχει κατασκευασθεϊ νά λειτουργεί, δηλαδή είναι ή τάση πού πρέπει νά έχει τό δίκτυο πού θά τον τροφοδοτήσει.

Όνομαστική ένταση είναι ή ένταση πού απορροφά ο κινητήρας, όταν έχει συνδεθεϊ σέ δίκτυο μέ τάση ίση μέ τήν όνομαστική του και δίνει στον άξονά τήν όνομαστική του ισχύ.

Η όνομαστική ισχύς, πού δίνεται σέ kW ή HP (1 HP = 0,736 kW) είναι ή μεγαλύτερη ισχύς, πού μπορεί νά δίνει στον άξονά του ο κινητήρας συνεχώς εργαζόμενος μέ τήν όνομαστική του τάση, χωρίς νά υπάρχει κίνδυνος νά πάθει βλάβη από υπερθέρμανση. Φόρτιση του κινητήρα μέ ισχύ λίγο μεγαλύτερη από τήν όνομαστική του είναι δυνατή γιά μικρά χρονικά διαστήματα.

Τέλος όνομαστική ταχύτητα του κινητήρα είναι ή ταχύτητα περιστροφής μέ τήν όποία εργάζεται, όταν δίνει στον άξονά του τήν όνομαστική ισχύ και τροφοδοτείται μέ τήν όνομαστική του τάση.

2.14 Έρωτήσεις.

1. Γιατί οι ηλεκτρικές μηχανές έχουν πάντα άρτιο αριθμό μαγνητικών πόλων;
2. Χάραξε σε ένα σχέδιο τή διαδρομή τής μαγνητικής ροής Φ σε μία εξαπολική μηχανή. Χάραξε επίσης τή διαδρομή τής ροής σκεδάσεως.
3. Πώς συνδέονται τὰ άκρα τών ομάδων στους τομείς του συλλέκτη στά βροχοτυλίγματα καί πώς στά κυματοτυλίγματα; Σχεδίασε γιά κάθε μία περίπτωση μία ομάδα μέ τρεις άγωγούς στό κάθε στοιχείο τής.
4. Ποιά σχέση μάς δίνει τήν ηλεκτρεγερτική δύναμη τών γεννητριών συνεχούς ρεύματος;
5. Άν διπλασιάζουν τήν ένταση διεγέρσεως τί γίνεται ή ηλεκτρεγερτική δύναμη τής γεννήτριας;
6. Ποιά είναι τὰ αποτελέσματα τής αντίδράσεως του έπαγωγικού τυμπάνου στή λειτουργία μίας γεννήτριας συνεχούς ρεύματος;
7. Ποιά σχέση συνδέει τήν πολική τάση καί τήν ηλεκτρεγερτική δύναμη σε μία γεννήτρια μέ ξένη διέγερση;
8. Τί πετυχαίνουμε μέ τούς βοηθητικούς πόλους;
9. Πώς αυτοδιεγείρεται μία γεννήτρια μέ διέγερση σειράς;
10. Τί ονομάζουμε διακύμανση τάσεως σε μία γεννήτρια καί από ποιά σχέση δίνεται;
11. Πώς μία γεννήτρια μέ σύνθετη διέγερση μπορούμε νά τήν κάνουμε νά έργασθεί σαν γεννήτρια μέ παράλληλη διέγερση; Ποιά θά είναι ή επίδραση τής άλλαγής αύτης στή χαρακτηριστική φορτίου τής γεννήτριας;
12. Τί έλέγχουμε γιά νά παραλληλίσουμε μία γεννήτρια συνεχούς ρεύματος μέ μία άλλη πού έργάζεται; Τί πρέπει νά κάνουμε γιά νά πάρει ένα μέρος του φορτίου;
13. Ποιά σχέση μάς δίνει τήν τιμή τής ροπής πού άσκέιται στό έπαγωγικό τύμπανο του κινητήρα συνεχούς ρεύματος;
14. Γιατί στους κινητήρες συνεχούς ρεύματος χρησιμοποιούμε έκκινητές;
15. Πώς αλλάζουμε τή φορά περιστροφής στους κινητήρες συνεχούς ρεύματος;
16. Ποιοί είναι οι δύο κύριοι παράγοντες πού επιδρούν κατά τή λειτουργία στήν ταχύτητα περιστροφής του κινητήρα συνεχούς ρεύματος;
17. Γιατί στους κινητήρες μέ παράλληλη διέγερση χρησιμοποιούμε έκκινητές μέ τρεις άκροδέκτες;
18. Πώς προσαρμόζεται αυτόματα ή ένταση πού άπορροφά από τό δίκτυο ένας κινητήρας μέ παράλληλη διέγερση, όταν μεταβάλλεται τό φορτίο του;
19. Τί θά συμβεί σε ένα κινητήρα σειράς άν βρεθεί χωρίς καθόλου φορτίο στον άξονά του καί γιατί;
20. Μέ ποιούς τρόπους ρυθμίζουμε τήν ταχύτητα περιστροφής σε ένα κινητήρα μέ παράλληλη διέγερση;
21. Ποιά είναι ή ούσιαστική διαφορά μεταξύ έκκινητών καί ρυθμιστών στροφών;
22. Πώς γίνεται ή ρύθμιση τής ταχύτητας τών κινητήρων μέ τό σύστημα Ward-Leonard;
23. Μέ ποιούς τρόπους γίνεται ή ηλεκτρική πέδηση;

2.15 Προβλήματα καί άσκήσεις.

1. Σχεδίασε άπλό βροχοτύλιγμα διπολικής μηχανής μέ 12 στοιχεία καί ένα άγωγό σε κάθε στοιχείο.

(Άνάν.: $\psi = 2$, $\psi_1 = 7$, $\psi_2 = 5$)

2. Η ένταση πού περνά από τό τύλιγμα του έπαγωγικού τυμπάνου τετραπολικής γεννήτριας είναι 40 A. Πόση είναι ή ένταση μέσα από κάθε άγωγό του τυλίγματος άν αυτό είναι: 1) Άπλό βροχοτύλιγμα καί 2) Άπλό κυματοτύλιγμα;

(Άνάν.: 1) 10 A, 2) 20 A)

3. Ποιά είναι ή ηλεκτρεγερτική δύναμη διπολικής γεννήτριας συνεχούς ρεύματος, τής όποιας τό έπαγωγικό τύμπανο έχει συνολικά 24 στοιχεία μέ 5 άγωγούς σε κάθε στοιχείο καί περιστρέφεται μέ 3000 στρ/μίν; Η μαγνητική ροή κάθε πόλου είναι $\Phi = 0,08$ Vs.

(Άνάν.: 480 V)

4. Γεννήτρια μέ παράλληλη διέγερση δίνει στό φορτίο τής ηλεκτρικής ισχύ 48 kW μέ τάση 240V. Άν ή αντίσταση του έπαγωγικού τυμπάνου είναι 0,04 Ω καί ή αντίσταση διεγέρσεως 30 Ω, νά

βρεθούν: 1) Οι εντάσεις φορτίου, διεγέρσεως και τυμπάνου και 2) η ηλεκτρεγερτική δύναμη με φορτίο της γεννήτριας.

(**Απάντ.:** 1) $I = 200 \text{ A}$, $I_g = 8 \text{ A}$, $I_r = 208 \text{ A}$, 2) $E_g = 248 \text{ V}$)

5. Μιά γεννήτρια ονομαστικής τάσεως 220 V παρουσιάζει διακύμανση τάσεως 10%. Ποιά είναι η τάση χωρίς φορτίο της γεννήτριας;

(**Απάντ.:** $U_0 = 242 \text{ V}$)

6. Γεννήτρια με παράλληλη διέγερση έχει ονομαστική ισχύ 23 kW και τάση 230 V. 'Η ηλεκτρεγερτική της δύναμη στο πλήρες φορτίο είναι 250 V, όταν η ένταση διεγέρσεώς της είναι 5 A. Νά βρεθούν οι αντιστάσεις των τυλιγμάτων τυμπάνου και διεγέρσεως.

(**Απάντ.:** $R_r = 0,19 \Omega$, $R_g = 46 \Omega$)

7. Σε ένα τετραπολικό κινητήρα συνεχούς ρεύματος το επαγωγικό τύμπανο έχει κυματούλιγμα με 26 στοιχεία και 20 άγωγους σε κάθε στοιχείο. Νά βρεθεί η ροπή που άσκειται στο επαγωγικό τύμπανο, όταν η ένταση διά του τυμπάνου είναι 60 A και η μαγνητική ροή $\Phi = 0,06 \text{ Vs}$.

(**Απάντ.:** 592,8 Nm)

8. Νά υπολογισθεί η όλική αντίσταση του εκκινητή για κινητήρα 220 V με αντίσταση τυλίγματος του επαγωγικού τυμπάνου 0,3 Ω και με μέγιστη ένταση εκκινήσεως 100 A.

(**Απάντ.:** 1,9 Ω)

9. Σε κινητήρα με ξένη διέγερση, το επαγωγικό τύμπανο απορροφά κατά τη λειτουργία ένταση 100 A με τάση 220 V. 'Η αντίσταση του τυλίγματός του είναι 0,15 Ω . Ποιά είναι η αντιηλεκτρεγερτική δύναμη που δημιουργείται στον κινητήρα;

(**Απάντ.:** 205 V)

10. Ένας κινητήρας με παράλληλη διέγερση κινεί ένα ορισμένο φορτίο με 1500 στρ/μιν, όταν εργάζεται με τάση 220 V και το επαγωγικό του τύμπανο, που έχει αντίσταση 0,1 Ω , απορροφά ένταση 50 A. 'Ο ίδιος κινητήρας για ένα άλλο μεγαλύτερο φορτίο απορροφά ένταση στο τύμπανο 100 A, όταν η ροή των μαγνητικών πόλων αυξηθεί κατά 10%. Νά βρεθούν: 1) 'Η αντιηλεκτρεγερτική δύναμη του κινητήρα με το αρχικό φορτίο, 2) 'Η αντιηλεκτρεγερτική δύναμη με το μεγαλύτερο φορτίο και 3) η ταχύτητα περιστροφής του κινητήρα με το φορτίο αυτό.

(**Απάντ.:** 1) 215 V, 2) 210 V, 3) 1332 στρ/μιν)

11. Σε κινητήρα συνεχούς ρεύματος με διέγερση σειράς, το τύλιγμα του επαγωγικού τυμπάνου έχει αντίσταση 0,3 Ω και το τύλιγμα διεγέρσεως 0,2 Ω . Όταν εργάζεται χωρίς φορτίο με τάση 220 V απορροφά ένταση 6 A. Νά βρεθούν: 1) 'Η αντιηλεκτρεγερτική δύναμη του κινητήρα χωρίς φορτίο και 2) η ένταση που απορροφά ο κινητήρας από το δίκτυο όταν εργάζεται με φορτίο και αναπτύσσει αντιηλεκτρεγερτική δύναμη 190 V.

(**Απάντ.:** 1) 217 V, 2) 60A)

12. Πόση ένταση απορροφά από το δίκτυο κινητήρας συνεχούς ρεύματος 10 HP, 220 V, όταν εργάζεται με το ονομαστικό του φορτίο και την ονομαστική του ταχύτητα και με βαθμό απόδόσεως 0,9;

(**Απάντ.:** 37,2 A)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΡΙΤΟ

ΓΕΝΝΗΤΡΙΕΣ ΕΝΑΛΛΑΣΣΟΜΕΝΟΥ ΡΕΥΜΑΤΟΣ

3.1 Γενικά.

Οι γεννήτριες έναλλασσόμενου ρεύματος είναι δύο ειδών:

α) Οι **σύγχρονες γεννήτριες** ή **έναλλακτῆρες**.

β) Οι **ἀσύγχρονες γεννήτριες**.

Οι σύγχρονες γεννήτριες παράγουν έναλλασσόμενο ρεύμα, τοῦ ὁποίου ἡ συχνότητα εἶναι ἀνάλογη μέ τήν ταχύτητα περιστροφῆς τῆς μηχανῆς. Ἡ διέγερση τῶν γεννητριῶν αὐτῶν, ὅπως θά ἐξηγηθεῖ καί στά ἐπόμενα, τροφοδοτεῖται μέ συνεχές ρεύμα.

Οι ἀσύγχρονες γεννήτριες παράγουν έναλλασσόμενο ρεύμα, τοῦ ὁποίου ἡ συχνότητα εἶναι ἀνεξάρτητη ἀπό τήν ταχύτητα περιστροφῆς. Ἡ διέγερση τῶν μηχανῶν αὐτῶν τροφοδοτεῖται μέ έναλλασσόμενο ρεύμα.

Στούς σταθμούς παραγωγῆς ἡλεκτρικῆς ἐνέργειας (παράγρ. 1.1) χρησιμοποιούνται πάντοτε σύγχρονες γεννήτριες γιά τήν παραγωγή έναλλασσόμενου ρεύματος. Οι ἀσύγχρονες μηχανές χρησιμοποιοῦνται σπάνια ὡς γεννήτριες καί σέ εἰδικές μόνο περιπτώσεις. Στό κεφάλαιο αὐτό θά ἀσχοληθοῦμε μόνο μέ τίς σύγχρονες γεννήτριες, δηλαδή μέ τούς έναλλακτῆρες.

3.2 Τύποι καί κατασκευή έναλλακτῆρων.

Ἀπό τήν ἀποψη τῆς κατασκευῆς οἱ έναλλακτῆρες διακρίνονται σέ δύο κατηγορίες:

— **Ἐναλλακτῆρες μέ ἐξωτερικούς πόλους.**

— **Ἐναλλακτῆρες μέ ἐσωτερικούς ἢ περιστρεφόμενους πόλους.**

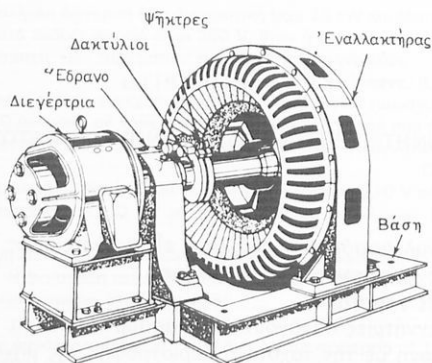
Ἰδιαίτερη ὁμάδα έναλλακτῆρων μέ περιστρεφόμενους πόλους εἶναι οἱ **στροβιλοέναλλακτῆρες**.

Στά ἐπόμενα ἐδάφια θά ἐξετάσουμε πῶς εἶναι κατασκευασμένος κάθε τύπος έναλλακτῆρα καί γιά ποιές χρήσεις εἶναι κατάλληλος.

1) Ἐναλλακτῆρες μέ ἐξωτερικούς πόλους.

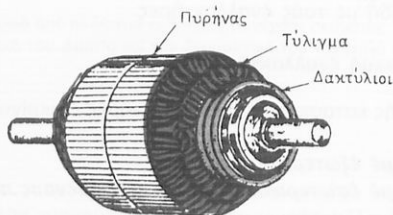
Στούς έναλλακτῆρες αὐτούς ἡ διέγερση τῆς μηχανῆς, δηλαδή ἡ δημιουργία τοῦ μαγνητικοῦ τοῦ πεδίου, γίνεται ἀπό μαγνητικούς πόλους, πού εἶναι στερεωμένοι στό ἐσωτερικό τοῦ ζυγώματος τοῦ στάτη, ὅπως δηλαδή γίνεται καί στίς μηχανές συνεχοῦς ρεύματος. Τά τυλίγματα τῶν μαγνητικῶν πόλων τροφοδοτοῦνται μέ συ-

νεχές ρεύμα από μία γεννήτρια συνεχούς ρεύματος, ή οποία συνήθως είναι συνδεδεμένη άπευθείας στον άξονα του έναλλακτήρα, από τόν όποιο παίρνει κίνηση, όπως φαίνεται στο σχήμα 3.2α. Η γεννήτρια αυτή ονομάζεται **διεγέρτρια του έναλλακτήρα**.



Σχ. 3.2α.
Σύγχρονη γεννήτρια.

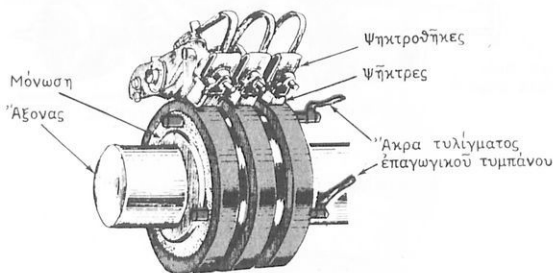
Ο δρομέας των έναλλακτών με έξωτερικούς πόλους φέρει τό έπαγωγικό τύμπανο, όπως ο δρομέας των μηχανών συνεχούς ρεύματος. Στα αλάκια που σχηματίζουν οι όδοντώσεις του πυρήνα του έπαγωγικού τυμπάνου είναι τοποθετημένο τό τύλιγμα (σχ. 3.2β).



Σχ. 3.2β.
Δρομέας.

Συλλέκτης δέν υπάρχει. Αντί γιά συλλέκτη, στους έναλλακτές με έξωτερικούς πόλους έχομε **δακτύλιους** κατασκευασμένους από όρείχαλκο. Οι δακτύλιοι αυτοί είναι στερεωμένοι στον άξονα του δρομέα, όπως φαίνεται στο σχήμα 3.2γ, καί είναι μονωμένοι μεταξύ τους καί προς τόν άξονα. Ο άριθμός των δακτυλίων είναι 2,3 ή 4, ανάλογα με τόν **άριθμό των φάσεων** του έναλλακτήρα.

Οι δακτύλιοι συνδέονται με τὰ ἄκρα τοῦ τυλίγματος τοῦ ἐπαγωγικοῦ τυμπάνου. Τό ἐναλλασσόμενο ρεῦμα, τό ὁποῖο παράγεται (ἐδάφιο 2, παράγραφος 1.3) ἀπό τήν ἠλεκτρεγερτική δύναμη πού ἀναπτύσσεται μέσα στό τύλιγμα, ὁδηγεῖται ἀπό τοὺς δακτύλιους στίς ψήκτρες, πού ἐφάπτονται σέ αὐτούς (σχ. 3.2γ), καί ἀπό τίς ψήκτρες στοὺς ἀκροδέκτες τοῦ ἐναλλακτῆρα. Στούς ἀκροδέκτες αὐτοὺς συνδέομε τό φορτίο, τό ὁποῖο θέλομε νά τροφοδοτήσουμε μέ ἐναλλασσόμενο ρεῦμα.



Σχ. 3.2γ.

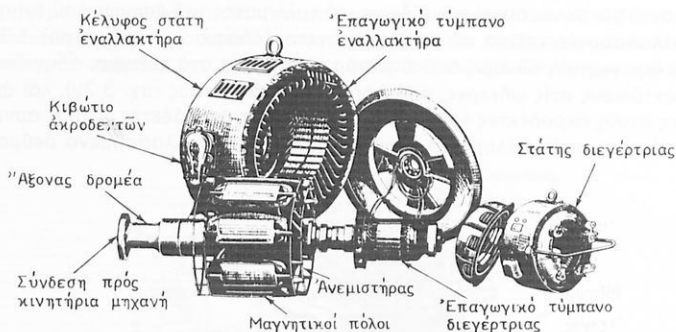
Δακτύλιοι ἀπὸ ἐναλλακτῆρα.

Σημαντικό μειονέκτημα πού ἔχουν οἱ ἐναλλακτῆρες μέ ἐξωτερικούς πόλους τοὺς ὁποίους περιγράψαμε, εἶναι ὅτι ὅλο τό ρεῦμα τοῦ φορτίου διέρχεται ἀπὸ τοὺς δακτύλιους καί τίς ψήκτρες. Ἄλλο μειονέκτημα εἶναι ὅτι ὁ χῶρος πού διατίθεται γιά ὀδοντώσεις στό τύμπανο εἶναι περιορισμένος. Ἐπίσης ὅτι οἱ μονώσεις τοῦ τυλίγματος τοῦ ἐπαγωγικοῦ τυμπάνου καταπονοῦνται κατά τήν λειτουργία τῆς μηχανῆς ἀπὸ τίς μεγάλες φυγόκεντρες δυνάμεις πού ἀναπτύσσονται, ὅταν ὁ ἐναλλακτῆρας εἶναι πολύστροφος.

Γιά ὅλους αὐτοὺς τοὺς λόγους οἱ ἐναλλακτῆρες μέ ἐξωτερικούς πόλους δέν χρησιμοποιοῦνται ποτέ στοὺς μεγάλους σταθμούς παραγωγῆς. Σέ αὐτούς τό ρεῦμα πού παράγεται εἶναι μεγάλης ἐντάσεως καί ὑψηλῆς τάσεως καί συνεπῶς οἱ ἐναλλακτῆρες πρέπει νά ἔχουν μεγάλα αὐλάκια ὀδοντώσεων, γιά νά χωροῦν οἱ ἀγωγοί καί οἱ μονώσεις τους. Οἱ ἐναλλακτῆρες μέ ἐξωτερικούς πόλους κατασκευάζονται μόνο γιά πολύ μικρές ἰσχεῖς καί γιά χαμηλή τάση.

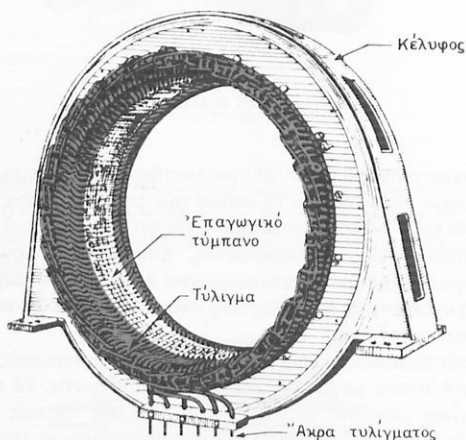
2) Ἐναλλακτῆρες μέ ἐσωτερικούς πόλους.

Στούς ἐναλλακτῆρες αὐτοὺς τό ἐπαγωγικό τύμπανο εἶναι τοποθετημένο στό ἀκίνητο μέρος τῆς μηχανῆς, δηλαδή στό στάτη. Οἱ μαγνητικοί πόλοι εἶναι τοποθετημένοι ἀκτινικά στὸν ἄξονα τοῦ περιστρεφόμενου δρομέα καί γι' αὐτό ὀνομάζονται καί **ἐναλλακτῆρες μέ περιστρεφόμενους πόλους**. Τό σχῆμα 3.2δ παριστάνει ἐναλλακτῆρα μέ ἐσωτερικούς πόλους ἀποσυναρμολογημένο, ὥστε νά φαίνονται τὰ διάφορα μέρη ἀπὸ τὰ ὁποῖα ἀποτελεῖται. Ἡ διεγέρτρια καί στοὺς ἐναλλακτῆρες αὐτοὺς εἶναι συνδεδεμένη συνήθως ἀπευθείας στὸν ἄξονα τοῦ ἐναλλακτῆρα, ἀπὸ τόν



Σχ. 3.26.

Ἐναλλακτῆρας με ἐσωτερικοὺς πόλους.



Σχ. 3.2ε.

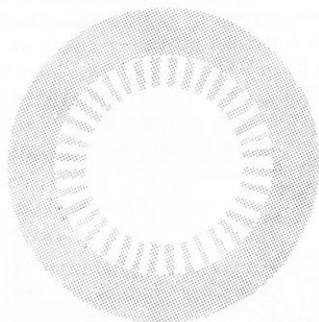
Στάτης ἐναλλακτήρα με ἐσωτερικοὺς πόλους.

ὁποῖο καὶ παίρνει κίνηση Στά ἐπόμενα θά ἐξετάσουμε λεπτομερέστερα τήν κατασκευή τῶν διαφόρων μερῶν τῆς μηχανῆς.

Τό σχῆμα 3.2ε δείχνει τό στάτη ἐνός ἄλλου ἐναλλακτῆρα με ἐσωτερικοὺς πόλους. Ὅπως φαίνεται καί στό σχῆμα, ὁ στάτης ἀποτελεῖται ἀπό ἕνα ἐξωτερικό κέλυφος, κατασκευασμένο συνήθως ἀπό χαλύβδινα ἐλάσματα, μέσα στό ὁποῖο τοποθετεῖται καί στερεώνεται τό ἐπαγωγικὸ τύμπανο.

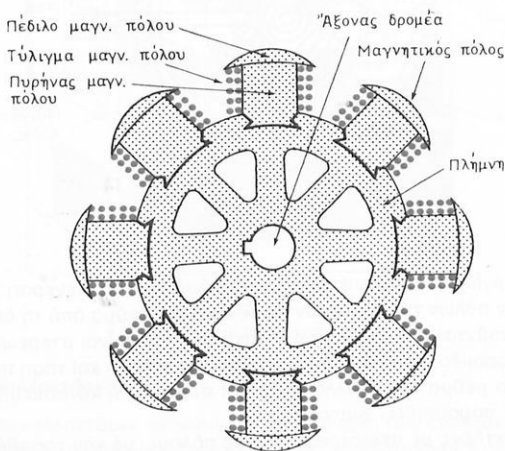
Τό ἐπαγωγικὸ τύμπανο ἀποτελεῖται ἀπό τόν πυρήνα καί τό τύλιγμα. Ὁ πυρήνας τοῦ τυμπάνου κατασκευάζεται, ὅπως καί στίς μηχανές συνεχοῦς ρεύματος, ἀπό

πολλούς δίσκους, που έχουν όμως τη μορφή του σχήματος 3.2στ. Οι δίσκοι αυτοί είναι κατασκευασμένοι από μαγνητικά ελάσματα πάχους συνήθως 0,5 mm με επιφανειακή μόνωση από ειδικό βερνίκι. Τα δόντια, που έχουν οι δίσκοι, σχηματίζουν κατά τη συγκρότηση του πυρήνα όδοντώσεις παράλληλες προς τον άξονα της μηχανής, μέσα στα αυλάκια των οποίων τοποθετείται το τύλιγμα του επαγωγικού τυμπάνου. Τα άκρα του τυλίγματος, όπως φαίνεται στο σχήμα 3.2ε, καταλήγουν άπευθείας στους άκροδέκτες του έναλλακτήρα, στους οποίους συνδέεται το φορτίο, χωρίς την παρεμβολή δακτυλίων και ψηκτρών.



Σχ. 3.2στ.

Έλασμα πυρήνα επαγωγικού τυμπάνου.



Σχ. 3.2ζ.

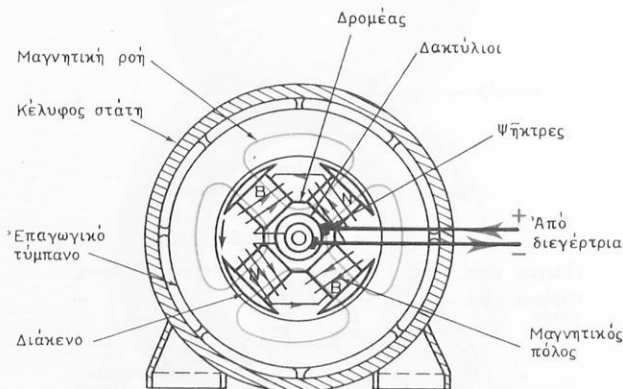
Μαγνητικοί πόλοι οκταπολικού έναλλακτήρα.

Ο δρομέας των έναλλακτρήρων με έσωτερικούς πόλους φέρει, όπως αναφέρθηκε, τους μαγνητικούς πόλους στερεωμένους ακτινικά. Το σχήμα 3.2ζ δείχνει τον

τρόπο στερεώσεως τῶν μαγνητικῶν πόλων στὸν ἄξονα τοῦ δρομέα μέ τή βοήθεια εἰδικῆς **πλήμνης**.

Στοὺς τριφασικοὺς ἑναλλακτῆρες, ὅπως εἶναι ὅλοι οἱ ἑναλλακτῆρες τῶν σταθμῶν παραγωγῆς, οἱ πυρῆνες τῶν πόλων καί τὰ πέδιλά τους εἶναι κατασκευασμένα ἀπὸ συμπαγῆ μαλακό χάλυβα. Τὸ **διάκενο** πάχους μερικῶν mm, πού ὑπάρχει μετὰξὺ τῶν πεδίων τῶν μαγνητικῶν πόλων καί τοῦ ἐπαγωγικοῦ τυμπάνου, ἐπιτρέπει τὴν ἐλεύθερη περιστροφή τοῦ δρομέα μέσα στοῦ στάτη.

Τὰ τυλίγματα τῶν πόλων τοποθετοῦνται ἐπάνω στοὺς πυρῆνες πρὶν ἀπὸ τὴν τοποθέτηση τῶν πεδίων καί συνδέονται μετὰξὺ τους, συνήθως σέ σειρά, μέ τρόπο, ὥστε νά δημιουργοῦνται διαδοχικά μαγνητικοὶ πόλοι μέ ἀντίθετη πολικότητα, ὅπως φαίνεται στοῦ σχῆμα 3.2η. Τό ἴδιο σχῆμα δείχνει καί τή διαδρομὴ τῆς μαγνητικῆς ροῆς πού δημιουργεῖται, ἡ ὁποία κλείνει κύκλωμα μέσω τοῦ πυρήνα τοῦ ἐπαγωγικοῦ τυμπάνου. Δηλαδή δείχνει τή **χρήσιμη μαγνητικὴ ροή**. Ἡ **μαγνητικὴ ροή σκεδάσεως** δέν παριστάνεται στοῦ σχῆμα (παράγρ. 2.3).



Σχ. 3.2η.

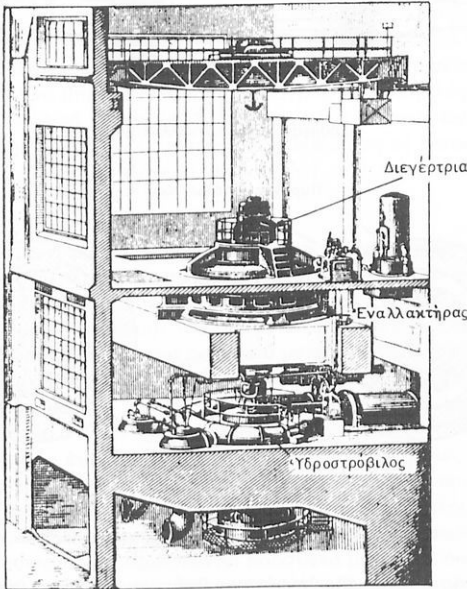
Διέγερση ἑναλλακτῆρα μέ ἐσωτερικοὺς πόλους.

Γιὰ τὴ δημιουργία τοῦ μαγνητικοῦ πεδίου, δηλαδή γιὰ τὴ διέγερση τῆς μηχανῆς, τὰ τυλίγματα τῶν πόλων τροφοδοτοῦνται μέ συνεχές ρεῦμα ἀπὸ τὴ διεγέρτρια. Γι' αὐτὸ χρησιμοποιοῦνται ψῆκτρες καί δύο δακτύλιοι, πού εἶναι στερεωμένοι ἐπάνω στὸν ἄξονα τοῦ δρομέα. Τὸ ρεῦμα διεγέρσεως ἔχει ἔνταση καί τάση πολὺ μικρότερες ἀπὸ τὸ κύριο ρεῦμα τοῦ ἑναλλακτῆρα καί συνεπῶς ἡ κατασκευὴ τῶν δακτυλίων αὐτῶν δέν παρουσιάζει δυσκολίες.

Στοὺς ἑναλλακτῆρες μέ περιστρεφόμενους πόλους, μέ τὴν τοποθέτηση τοῦ ἐπαγωγικοῦ τυμπάνου στοῦ στάτη καί ὄχι στοῦ δρομέα, διατίθεται πολὺ περισσότερος χώρος γιὰ τίς ὁδοντώσεις τοῦ πυρήνα. Ἔτσι γίνεται εὐκόλα ἡ μόνωση τῶν ἄγωγῶν τοῦ τυλίγματος καί ὅταν ἀκόμα ὁ ἑναλλακτῆρας πρόκειται νά παράγει ρεῦμα ὑψηλῆς τάσεως.

Μέ τὴν τοποθέτηση ὅμως τῶν μαγνητικῶν πόλων ἐπάνω στοῦ δρομέα δημιουρ-

γείται καταπόνηση σέ αυτούς από τίς φυγόκεντρες δυνάμεις, πού αναπτύσσονται κατά τή λειτουργία. Γιά τό λόγο αυτό οί έναλλακτήρες μέ έσωτερικούς πόλους δέν είναι κατάλληλοι γιά μεγάλες ταχύτητες περιστροφής. Τούς χρησιμοποιούμε όταν ή κινητήρια μηχανή είναι σχετικά βραδύστροφη, όπως είναι οί μεγάλες μηχανές έσωτερικής καύσεως καί οί ύδροστρόβιλοι τών ύδροηλεκτρικών σταθμών. Στην περίπτωση μάλιστα τών ύδροηλεκτρικών σταθμών ό έναλλακτήρας συχνά κατασκευάζεται μέ τόν άξονά του κατακόρυφο, όπως φαίνεται στό σχήμα 3.2θ. Από άποψη διαστάσεων χαρακτηριστικό τών έναλλακτάρων αυτών, είναι ότι έχουν μεγάλη διάμετρο (π.χ. 7m) καί μικρό σχετικά μήκος κατά τόν άξονα.



Σχ. 3.2θ.

Έναλλακτήρας μέ ύδροστρόβιλο.

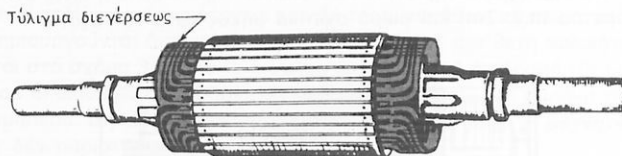
3) Στροβιλοεναλλακτήρες.

Οί στροβιλοεναλλακτήρες ανήκουν στην κατηγορία τών έναλλακτάρων μέ περιστρεφόμενους πόλους, καί κατασκευάζονται γιά νά λειτουργούν μέ κινητήριες μηχανές πού έχουν μεγάλη ταχύτητα περιστροφής (π.χ. 3000 στρ/min), όπως είναι οί άτμοστρόβιλοι. Από άποψη διαστάσεων χαρακτηριστικό αυτών τών έναλλακτάρων είναι ότι έχουν μικρή σχετικά διάμετρο δρομέα (π.χ. 1 m) αλλά μεγάλο μήκος κατά τόν άξονα (π.χ. 5 m).

Ο στάτης τών στροβιλοεναλλακτάρων δέν διαφέρει κατασκευαστικά από τόν

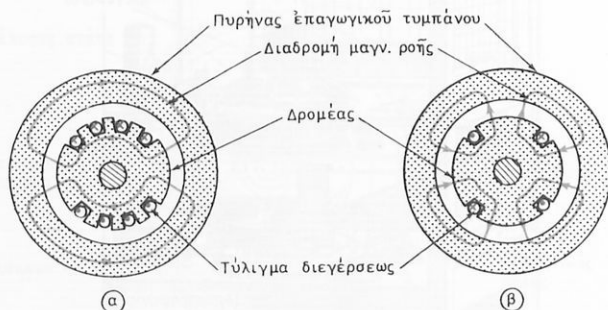
στάτη των έναλλακτῆρων με ἑσωτερικούς πόλους. Ἡ διαφορετικὴ μορφή πού ἔχει τὸ κέλυφος τους ὀφείλεται στὶς ἀνάγκες ψύξεως τῆς μηχανῆς, πού θά ἐξετάσουμε στὴν ἐπόμενη παράγραφο.

Ὁ δρομέας τῶν στροβιλοέναλλακτῆρων διαφέρει οὐσιαστικά στὴν κατασκευὴ του ἀπὸ τὸ δρομέα τῶν έναλλακτῆρων με ἑσωτερικούς πόλους. Ὁ δρομέας τῶν στροβιλοέναλλακτῆρων δὲν φέρει **ὄρατους πόλους**, ὅπως στὸ σχῆμα 3.2ζ, ἀλλὰ ἀποτελεῖται ἀπὸ ἓνα συμπαγὲς κυλινδρικό τύμπανο ἀπὸ χυτοχάλυβα κοινὸ με τὸν ἄξονα, ὅπως φαίνεται στὸ σχῆμα 3.2ι.



Σχ. 3.2ι.

Δρομέας στροβιλοέναλλακτῆρα.



Σχ. 3.2ια.

Μαγνητικὸ πεδίο διεγέρσεως στροβιλοέναλλακτῆρων.

Κατὰ μῆκος τῆς κυλινδρικῆς ἐπιφάνειας ὑπάρχουν αὐλάκια μέσα στὰ ὁποῖα τοποθετεῖται τὸ τύλιγμα διεγέρσεως, τὸ ὁποῖο στερεώνεται μετὰ μεγάλη ἐπιμέλεια. Οἱ σπείρες αὐτοῦ τοῦ τυλίγματος συνδεμένες μεταξύ τους σὲ σειρά, τροφοδοτοῦνται μετὰ συνεχὲς ρεῖμα ἀπὸ τὴ διεγέρτρια. Αὐτὸ γίνεται καὶ ἐδῶ μετὰ τὴ βοήθεια δύο δακτυλίων στερεωμένων στὸν ἄξονα τοῦ δρομέα. Ἔτσι, ὅπως φαίνεται στὸ σχῆμα 3.2ια (α), δημιουργεῖται τὸ μαγνητικὸ πεδίο διεγέρσεως μετὰ δύο πόλους, τὸ ὁποῖο περιστρέφεται μαζί μετὰ τὸ δρομέα. Σπάνια κατασκευάζονται καὶ τετραπολικὸι στροβιλοέναλλακτῆρες, ὁπότε τὸ τύλιγμα διεγέρσεως εἶναι διαμορφωμένο, ἔτσι, ὥστε νὰ σχηματίζεται μαγνητικὸ πεδίο μετὰ τέσσερις πόλους [σχ. 3.2ια(β)].

3.3 Ψύξη τῶν έναλλακτῆρων.

Κατὰ τὴ λειτουργία τους οἱ γεννήτριες ἐναλλασσόμενου ρεύματος, ὅπως καὶ κά-

Θε άλληλ ηλκτρκή μηανή, Θερμαίνονται από τή Θερμότητα πού παράγεται από τίς άπώλειες. 'Η Θέρμανση αυτή έκδηλώνεται μέ άνύψωση τής Θερμοκρασίας τών διαφόρων μερών τής μηανής.

'Η Θερμοκρασία μιås μηανής πού λειτουργεί παύει νά αύξάνεται καί σταθεροποιείται σέ όρισμένη τιμή, όταν ή Θερμότητα πού αποβάλλει στόν περιβάλλοντα χώρο γίνει ίση μέ τή Θερμότητα πού παράγουν οι άπώλειες. 'Η άποβολή τής Θερμότητας στόν περιβάλλοντα χώρο καλείται *ψύξη τής μηανής*.

Κατά τήν κατασκευή κάθε ηλκτρικής μηανής λαμβάνονται όλα τά άπαραίτητα μέτρα, ώστε ή ψύξη τής νά γίνεται κανονικά. "Ετσι, κατά τή λειτουργία τής μέ τό όνομαστικό τής φορτίο ή μηανή φθάνει σέ μία προκαθορισμένη μέγιστη Θερμοκρασία, στήν όποία δέν διατρέχουν κίνδυνο καταστροφής οι μονώσεις τής. 'Η προκαθορισμένη αυτή Θερμοκρασία έξαρτάται από τό είδος τών μονωτικών πού χρησιμοποιήθηκαν κατά τήν κατασκευή τής μηανής. 'Εδώ πρέπει νά σημειώσουμε ότι οι κίνδυνοι πού διατρέχουν οι μονώσεις μιås ηλκτρικής μηανής από ύπερθέρμανση είναι: είτε α) νά ύποστούν άμεση καταστροφή (καύση) λόγω πολύ ύψηλης Θερμοκρασίας, είτε β) νά έλαττωθεί ή διάρκεια τής ζωής τους καί συνεπώς καί ή διάρκεια ζωής τής μηανής, από παρατεταμένη Θέρμανση σέ Θερμοκρασία όχι πολύ μεγάλη, άλλα όμως μεγαλύτερη από εκείνη πού έχει καθορίσει ό κατασκευαστής τής.

"Όπως αναφέραμε, ή ψύξη τών μηανών γίνεται μέ μετάδοση στόν περιβάλλοντα χώρο, δηλαδή στόν περιβάλλοντα άέρα, τής Θερμότητας τών άπωλειών. Οι κατασκευαστές τών έναλλακτήρων γιά νά έξασφαλίσουν τή μετάδοση αυτή αφήνουν: α) διάκενο μεταξύ κελύφους τού σάτη καί πυρήνα τού έπαγωγικού τυμπάνου (σχ. 3.2η), β) όρισμένα διάκενα άερισμού μεταξύ τών μαγνητικών έλασμάτων από τά όποια κατασκευάζεται ό πυρήνας τού έπαγωγικού τυμπάνου καί γ) κανάλια κυκλοφορίας τού άέρα κατά μήκος τών δρομέων τών στροβιλοεναλλακτήρων.

'Ο άέρας, τόν όποιο στροβιλίζει ό περιστρεφόμενος δρομέας τής μηανής, έξασφαλίζει τήν ψύξη τών έναλλακτήρων μέ μεγάλη διάμετρο, όπως είναι οι έναλλακτήρες μέ έξωτερικούς ή μέ όρατούς έσωτερικούς πόλους. 'Η προσθήκη μάλιστα ενός άνεμιστήρα στο δρομέα (σχ. 3.2δ) διευκολύνει τήν ψύξη άκόμα περισσότερο.

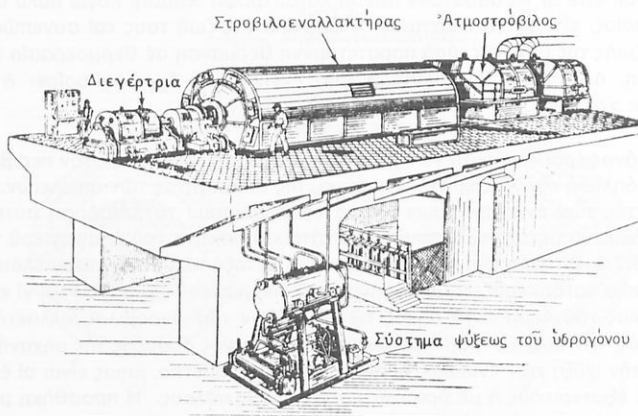
Στους στροβιλοεναλλακτήρες όμως, όπου οι έπιφάνειες μεταδόσεως τής Θερμότητας είναι περιορισμένες, λαμβάνονται πρόσθετα μέτρα, τά όποια δίνουν ιδιαίτερη μορφή στο κέλυφος τών μηανών αυτών (σχ. 3.3). Περικλείουν δηλαδή τή μηανή σέ άεροστεγές κέλυφος, τό όποιο άποτελεί μέρος κλειστού κυκλώματος κυκλοφορίας τού άέρα πού ψύχει τή μηανή. 'Η κυκλοφορία τού άέρα μέσα στο κλειστό κύκλωμα γίνεται μέ τή βοήθεια άνεμιστήρων. 'Ο άέρας διερχόμενος από τόν έναλλακτέρα παραλαμβάνει τή Θερμότητα τών άπωλειών καί θερμαίνεται. 'Από εκεί όδηγείται στο *ψυγείο*, όπου ψύχεται μέ τή βοήθεια συνήθως νερού καί έπειτα όδηγείται πάλι στόν έναλλακτέρα γιά νά έπαναλάβει τόν κύκλο.

Μεγάλο πλεονέκτημα τού συστήματος μέ κλειστό κύκλωμα γιά τόν άέρα ψύξεως είναι, ότι ό άέρας πού κυκλοφορεί είναι φιλτραρισμένος καί άπαλλαγμένος από μόρια σκόνης. "Ετσι τά τυλίγματα τής μηανής είναι πάντοτε καθαρά.

Τό σύστημα αυτό στους μεγάλους στροβιλοεναλλακτήρες (έπάνω από 30.000 kVA) έχει καλύτερη άπόδοση, αν άντί άτμοσφαιρικού άέρα μέσα στο κλειστό κύ-

κλωμα υπάρχει υδρογόνο. Το υδρογόνο έχει καλύτερες θερμικές ιδιότητες από τον αέρα. Ένα κυβικό μέτρο υδρογόνου που διέρχεται από τον έναλλακτήρα παραλαμβάνει μεγαλύτερο ποσό θερμότητας, από όσο παραλαμβάνει ένα κυβικό μέτρο αέρα, για την ίδια ανύψωση της θερμοκρασίας. Επίσης το υδρογόνο, που έχει μικρότερη πυκνότητα, απαιτεί μικρότερη ισχύ από τον ανεμιστήρα κυκλοφορίας, από αυτή που θα απαιτούσε ο αέρας με την ίδια ταχύτητα και την ίδια πίεση. Αυτό βελτιώνει το βαθμό αποδόσεως του έναλλακτήρα.

Η χρησιμοποίηση υδρογόνου σαν ψυκτικού αερίου απαιτεί να είναι απόλυτα στεγανό το κλειστό σύστημα κυκλοφορίας, όχι μόνο για να μην έχομε διαφυγές υδρογόνου, αλλά κυρίως για να αποφεύγεται η είσοδος ατμοσφαιρικού αέρα σε αυτό και ο κίνδυνος έκρηξης, που υπάρχει σε αυτή την περίπτωση. Λόγω των πολυπλόκων οργάνων παρακολουθήσεως και ελέγχου που απαιτούνται, το σύστημα αυτό είναι οικονομικά συμφέρον μόνο στους πολύ μεγάλους στροβιλοεναλλακτήρες.



Σχ. 3.3.

Στροβιλοεναλλακτήρας μεγάλης ισχύος.

3.4 Η αρχή λειτουργίας των έναλλακτῆρων.

Στήν παράγραφο 1.3 εξηγήσαμε την αρχή λειτουργίας των γεννητριών έναλλασσόμενου ρεύματος. Όπως αναφέραμε, από τή μορφή που έχει τό μαγνητικό πεδίο στο διάκενο (σχ. 1.3β) εξαρτάται ή μορφή τῆς καμπύλης που παριστάνει τή μεταβολή τῆς ηλεκτρεγερτικής δυνάμεως, που δημιουργείται από έπαγωγή μέσα στους άγωγούς (σχ. 1.3δ). Οι κατασκευαστές των έναλλακτῆρων προσπαθοῦν, ώστε ή καμπύλη αυτή νά πλησιάζει τή γνωστή *ήμιτονοειδή* καμπύλη.

Όταν ο έναλλακτῆρας έχει περισσότερους από δύο μαγνητικούς πόλους, τότε ή καμπύλη του δεξιού μέρους του σχήματος 1.3β παριστάνει πώς μεταβάλλεται ή μαγνητική έπαγωγή στο διάκενο μεταξύ δύο όμώνυμων διαδοχικών πόλων, π.χ. ά-

πό ένα βόρειο πόλο ως τον επόμενο βόρειο πόλο. Συνεπώς για να παραστήσουμε τη μεταβολή του B σε όλη τη περιφέρεια του επαγωγικού τυμπάνου θα πρέπει να ε-
παναλάβουμε την καμπύλη p φορές, δηλαδή όσος είναι ο αριθμός των ζευγών των
μαγνητικών πόλων της μηχανής.

Όταν σε ένα διπολικό έναλλακτήρα (σχ. 1.3γ) το επαγωγικό τύμπανο κάνει μία
πλήρη στροφή (360 γεωμετρικές μοίρες), ή ηλεκτρεγερτική δύναμη στους άγω-
γούς συμπληρώνει ένα πλήρη κύκλο (σχ. 1.3δ). Δηλαδή το γνωστό από την Ήλε-
κτροτεχνία παραστατικό διάνυσμα της ηλεκτρεγερτικής δυνάμεως διαγράφει γω-
νία 360 ηλεκτρικών μοιρών.

Αν ο έναλλακτήρας έχει p ζεύγη μαγνητικών πόλων, τότε σε μία πλήρη στροφή
του επαγωγικού τυμπάνου ή ηλεκτρεγερτική δύναμη του άγωγού θα εκτελεί p
κύκλους. Δηλαδή ένας πλήρης κύκλος της ηλεκτρεγερτικής δυνάμεως (360 ήλε-
κτρικές μοίρες) συμπληρώνεται με στροφή του επαγωγικού τυμπάνου κατά $360/p$
γεωμετρικές μοίρες. Συνεπώς, όταν το επαγωγικό τύμπανο διαγράφει γεωμετρική
γωνία θ , το παραστατικό διάνυσμα της ηλεκτρεγερτικής δυνάμεως διαγράφει ή-
λεκτρική γωνία:

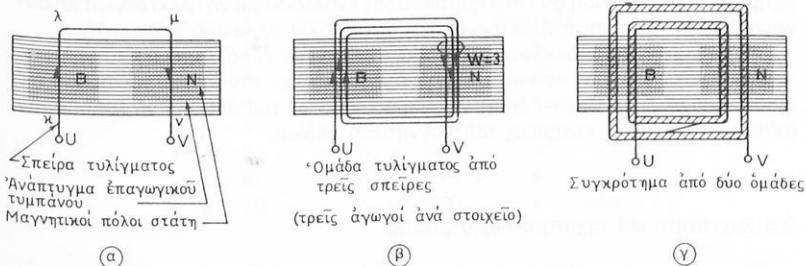
$$\theta_{\eta\lambda} = p \cdot \theta \quad \text{σέ ηλεκτρικές μοίρες}$$

Άρα μεταξύ των γεωμετρικών και ηλεκτρικών γωνιών υπάρχει η σχέση:

$$\theta = \frac{\theta_{\eta\lambda}}{p} \quad \text{σέ γεωμετρικές μοίρες}$$

Στό σχήμα 3.4(α) παριστάνεται το ανάπτυγμα του επαγωγικού τυμπάνου της ά-
πλης μηχανής του σχήματος 1.3γ με τη σπείρα των δύο άγωγών κ-λ και μ-ν. Στο ί-
διο σχήμα έχουν σημειωθεί και η θέση που έχουν κάποια στιγμή σε σχέση με τό
επαγωγικό τύμπανο οι πόλοι της μηχανής.

Όπως εξηγήσαμε μέσα στη σπείρα αναπτύσσεται έναλλασσόμενη ηλεκτρεγε-
ρτική δύναμη, της οποίας τη γραφική παράσταση δίνει το σχήμα 1.3δ.



Σχ. 3.4.

Όμοιες τυλίγματος.

Αν μέσα στα δύο αυλάκια του τυμπάνου (σχ. 1.3γ) τοποθετήσουμε μία **ομάδα τυλίγματος** που αποτελείται από w σπείρες, δηλαδή με w άγωγούς σε κάθε στοι-
χείο, όπως δείχνει το σχήμα 3.4 (β), είναι εύκολο να αντιληφθούμε ότι η ηλεκτρε-

γερτική δύναμη της ομάδας είναι πάλι έναλλασσόμενη της ίδιας συχνότητας, ή στιγμιαία όμως τιμή της θα είναι w φορές μεγαλύτερη από τη στιγμιαία τιμή της μιάς σπείρας. Ή ίδια σχέση υπάρχει και μεταξύ των *ένδεικνυμένων τιμών* των ηλεκτρεγερτικών δυνάμεων της σπείρας και της ομάδας. Από τα δύο άκρα U και V της ομάδας μπορούμε να τροφοδοτήσουμε φορτίο με έναλλασσόμενο ρεύμα, πού θα έχει τη μορφή της καμπύλης του σχήματος 1.3δ.

Ή ηλεκτρεγερτική δύναμη, την οποία είναι δυνατό να λάβουμε από μία ομάδα τυλίγματος, δεν έπαρκει για τις ανάγκες της πράξεως, γιατί ο αριθμός των άγωγων πού μπορούμε να τοποθετήσουμε στο αύλακι μιάς όδοντώσεως είναι περιορισμένος. Γι' αυτό τό λόγω στά πραγματικά τυλίγματα των έναλλακτήρων συνδέουμε σε σειρά περισσότερες από μιά ομάδες τοποθετημένες σε γειτονικές όδοντώσεις, όπως φαίνεται στο σχήμα 3.4(γ). Στο σχήμα αυτό σε ένα διπλό πολικό βήμα υπάρχουν δύο ομάδες του τυλίγματος. Τό σύνολο των ομάδων πού συνδέονται σε σειρά σε ένα διπλό πολικό βήμα τό ονομάζουμε *συγκρότημα ομάδων*. Αποδεικνύεται ότι ή ηλεκτρεγερτική δύναμη του συγκροτήματος ομάδων είναι και αυτή έναλλασσόμενη. Ή ένδεικνυμένη τιμή είναι λίγο μικρότερη από τό άθροισμα των ένδεικνυμένων τιμών των ηλεκτρεγερτικών δυνάμεων των ομάδων, από τις οποίες άποτελείται.

Στους έναλλακτήρες με έσωτερικούς πόλους ή μεταβολή της μαγνητικής έπαγωγής στο διάκενο ακολουθεί πάλι την καμπύλη του σχήματος 1.3β, όταν ο δρομέας δεν περιστρέφεται. Κατά τη λειτουργία όμως του έναλλακτήρα, ενώ οι άγωγοί είναι άκίνητοι, περιστρέφονται οι μαγνητικοί πόλοι και μαζί με αυτούς τό μαγνητικό πεδίο. Οι άγωγοί τέμνουν τότε τις μαγνητικές γραμμές του πεδίου ή άκριβέστερα οι μαγνητικές γραμμές τέμνουν τούς άγωγούς. Κατά τά γνωστά από την Ήλεκτροτεχνία, δημιουργείται και πάλι σε κάθε άγωγό του τυλίγματος ηλεκτρεγερτική δύναμη από έπαγωγή, της οποίας ή στιγμιαία τιμή εξαρτάται από την αντίστοιχη τιμή της μαγνητικής έπαγωγής. Άρα ή ηλεκτρεγερτική δύναμη κάθε άγωγού θα μεταβάλλεται σε συνάρτηση με τό χρόνο σύμφωνα με την καμπύλη του σχήματος 1.3δ. Δηλαδή θα είναι ήμιτονοειδής έναλλασσόμενη ηλεκτρεγερτική δύναμη. Όμοια θα είναι ή ηλεκτρεγερτική δύναμη και όλου του έναλλακτήρα.

Άν θέλουμε να προσδιορίσουμε τη φορά, πού έχει σε κάποια χρονική στιγμή ή ηλεκτρεγερτική δύναμη μέσα σε ένα άγωγό, εφαρμόζουμε τόν κανόνα του δεξιού χεριού (παράγρ. 1.2). Πρέπει όμως για φορά κινήσεως του άγωγού να λάβουμε την αντίθετη της φοράς κινήσεως του μαγνητικού πεδίου.

3.5 Συχνότητα και ταχύτητα περιστροφής.

Όπως εξηγήσαμε στην προηγούμενη παράγραφο, ή ηλεκτρεγερτική δύναμη έναλλακτήρα, ο οποίος έχει p ζεύγη μαγνητικών πόλων, έκτελει p πλήρεις κύκλους σε κάθε στροφή.

Άν ο δρομέας περιστρέφεται με ταχύτητα n_s στρ/s, ο αριθμός των κύκλων στο δευτερόλεπτο, δηλαδή ή συχνότητα f της ηλεκτρεγερτικής δυνάμεως, θα δίνεται από τη σχέση:

$$f = p \cdot n_s \quad \text{σε Hz}$$

όπου: p είναι ο αριθμός των ζευγών των μαγνητικών πόλων και
 n_s ο αριθμός στροφών του έναλλακτήρα στο δευτερόλεπτο.

Όταν τήν ταχύτητα περιστροφής τήν εκφράζουμε σε στροφές στο λεπτό (στρ/min) ή παραπάνω σχέση γίνεται:

$$f = \frac{p \cdot n_s}{60} \quad \text{σέ Hz}$$

Π.χ. αν εξαπολικός έναλλακτήρας ($p = 3$) περιστρέφεται με ταχύτητα $n_s = 500$ στρ/min, θά δίνει ρεύμα συχνότητας:

$$f = \frac{p \cdot n_s}{60} = \frac{3 \times 500}{60} = 25 \text{ Hz}$$

Από τόν τύπο, πού δίνει τή συχνότητα, προκύπτει ή ταχύτητα περιστροφής τήν όποία πρέπει νά έχει έναλλακτήρας γιά νά παράγει ρεύμα όρισμένης συχνότητας. Η ταχύτητα αυτή, πού ονομάζεται **σύγχρονη ταχύτητα**, είναι:

$$n_s = \frac{f}{p} \quad \text{σέ στρ/s}$$

$$\text{ή } n_s = \frac{60 \cdot f}{p} \quad \text{σέ στρ/min}$$

όπου: f είναι ή συχνότητα του έναλλασσόμενου ρεύματος σε Hz και
 p ο αριθμός των ζευγών των μαγνητικών πόλων.

Στήν Ελλάδα, καθώς και σε όλη τήν Εύρώπη, έχει καθιερωθεί στά δίκτυα έναλλασσόμενου ρεύματος ή συχνότητα νά είναι $f = 50\text{Hz}$. Από τήν παραπάνω σχέση προκύπτει ο ακόλουθος πίνακας, ο όποιος δίνει τίς σύγχρονες ταχύτητες των έναλλακτάρων γιά τόν αντίστοιχο αριθμό των ζευγών μαγνητικών πόλων:

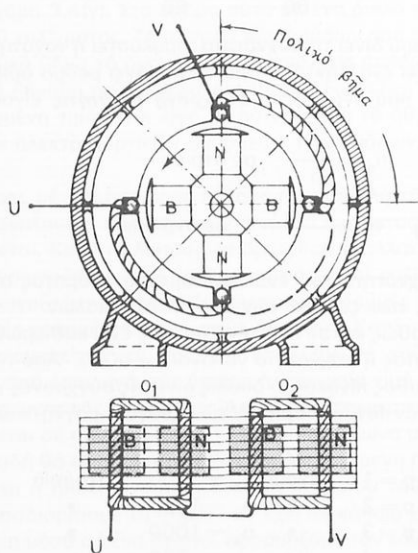
Γιά $p = 1$	έχομε $n_s = 3000$	στρ/min
» $p = 2$	» $n_s = 1500$	»
» $p = 3$	» $n_s = 1000$	»
» $p = 4$	» $n_s = 750$	»
» $p = 5$	» $n_s = 600$	»
» $p = 6$	» $n_s = 500$	»
» $p = 8$	» $n_s = 375$	»
» $p = 10$	» $n_s = 300$	» κλπ.

3.6 Μονοφασικοί έναλλακτάρες.

Ο απλός έναλλακτήρας, τόν όποιο περιγράψαμε στήν παράγραφο 1.3, είναι ένας διπολικός έναλλακτήρας, πού έχει ένα μόνο τυλίγμα στο έπαγωγικό του τύμπανο. Τά άκρα U και V του τυλίγματος (σχ. 3.4) συνδέονται με τούς άκροδέκτες του έναλλακτήρα. Όταν ο έναλλακτήρας είναι με έξωτερικούς πόλους, ή σύνδεση αυτή

γίνεται, όπως αναφέραμε στην παράγραφο 3.2, μέσω δακτυλίων. Στους άκροδέκτες του έναλλακτήρα είναι δυνατό να συνδεόσμε **μονοφασικό φορτίο** και να το τροφοδοτήσουμε με έναλλασσόμενο ρεύμα (σχ. 1.3ε). Ο έναλλακτήρας αυτός ονομάζεται **μονοφασικός έναλλακτήρας** και το τύλιγμα του επαγωγικού τυμπάνου **μονοφασικό τύλιγμα**.

Μονοφασικοί έναλλακτήρες είναι δυνατό να κατασκευασθούν και με περισσότερους από δύο πόλους. Στην περίπτωση αυτή σε κάθε διπλό πολικό βήμα έχουμε ένα συγκρότημα ομάδων, όπως αυτό του σχήματος 3.4 (γ). Τα συγκροτήματα αυτά συνδέονται μεταξύ τους συνήθως σε σειρά, ώστε να σχηματίζεται ένα μονοφασικό τύλιγμα, τα άκρα του οποίου συνδέονται στους δύο άκροδέκτες της μηχανής.



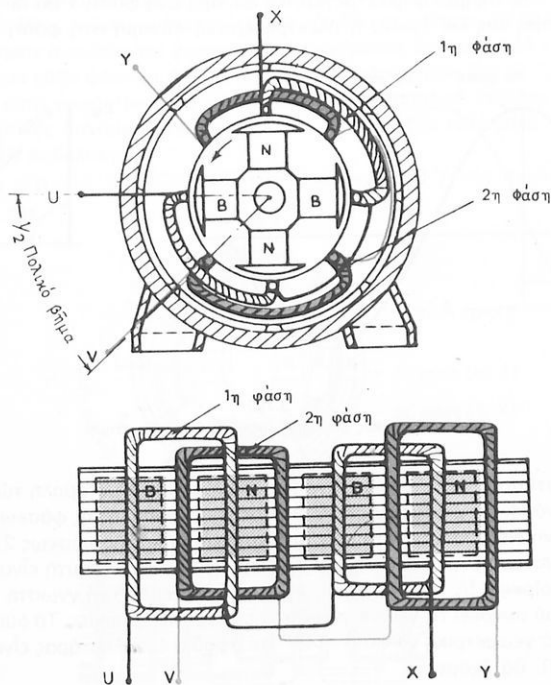
Σχ. 3.6.

Τετραπολικός μονοφασικός έναλλακτήρας.

Το σχήμα 3.6 παριστάνει, στην απλούστερή του μορφή, ένα **τετραπολικό μονοφασικό έναλλακτήρα** με έσωτερικούς πόλους. Στο κάτω μέρος του σχήματος φαίνεται το τύλιγμα στο ανάπτυγμα του επαγωγικού τυμπάνου. Για απλότητα του σχεδίου, ο έναλλακτήρας αυτός παριστάνεται με τέσσερα αυλάκια στο επαγωγικό τυμπανο, δηλαδή με ένα αυλάκι σε κάθε πολικό βήμα. Συνεπώς έχουμε μία ομάδα σε κάθε διπλό πολικό βήμα αντί για ένα συγκρότημα ομάδων, όπως συμβαίνει στην πραγματικότητα. Οι ομάδες (O_1 και O_2 στο σχήμα) συνδέονται μεταξύ τους σε σειρά. Τα ελεύθερα άκρα τους U και V συνδέονται στους δύο άκροδέκτες του έναλλακτήρα.

3.7 Διφασικοί έναλλακτήρες.

Αν στο μισό τῶν ἀποστάσεων μεταξύ τῶν αὐλακιῶν τοῦ ἐπαγωγικοῦ τυμπάνου τοῦ τετραπολικοῦ μονοφασικοῦ ἐναλλακτήρα τοῦ σχήματος 3.6 τοποθετήσουμε, πάλι μέσα σέ αὐλάκια, ἓνα τύλιγμα συνδεσμολογημένο ὅπως τό πρῶτο, ἀλλά ἀνεξάρτητο ἀπό αὐτό, θά ἔχομε ἓνα **διφασικό ἐναλλακτήρα**. Στό ἐπάνω μέρος τοῦ σχήματος 3.7α παριστάνεται ἓνας ἀπλός τετραπολικός διφασικός ἐναλλακτήρας. Στό κάτω μέρος τοῦ ἴδιου σχήματος φαίνεται τό ἀνάπτυγμα τοῦ ἐπαγωγικοῦ του τυμπάνου.



Σχ. 3.7α.

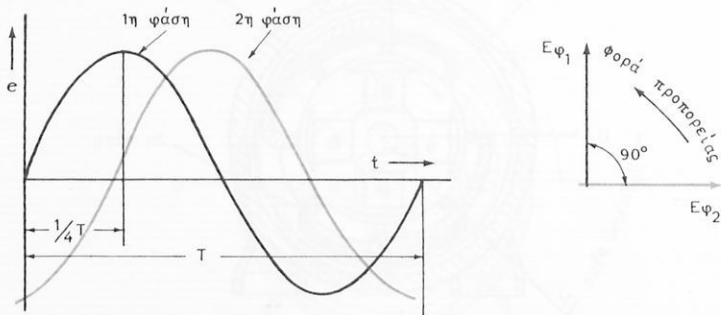
Τετραπολικός διφασικός ἐναλλακτήρας.

Τό **διφασικό τύλιγμα** τοῦ ἐπαγωγικοῦ τυμπάνου ἔχει τέσσερα ἐλεύθερα ἄκρα, τά U καί X τοῦ τυλίγματος τῆς **πρώτης φάσεως** καί τά V καί Y τοῦ τυλίγματος τῆς **δεύτερης φάσεως**, τά ὁποῖα συνδέονται στοὺς **τέσσερις ἀκροδέκτες** τῆς μηχανῆς.

Στό τύλιγμα κάθε φάσεως δημιουργεῖται ἐναλλασσόμενη ἡλεκτρεγερτική δύναμη, πού εἶναι δυνατό νά παρασταθεῖ μέ μιά καμπύλη ὅπως αὐτή τοῦ σχήματος

1.3δ. Οι συχνότητες των ηλεκτρεγερτικών δυνάμεων των δύο φάσεων είναι ίσες, καθώς επίσης ίσα είναι και τα μεγέθη (οι ένδεικνυμένες τιμές) των ηλεκτρεγερτικών δυνάμεων. Άν δηλαδή συνδέσουμε από ένα βολτόμετρο έναλλασσόμενου ρεύματος στα άκρα του τυλίγματος κάθε φάσεως, τα δύο όργανα θα δώσουν ίσες ενδείξεις.

Οι μεταβολές όμως των ηλεκτρεγερτικών δυνάμεων μέσα στις δύο φάσεις του έναλλακτήρα δεν είναι σύγχρονες. Οι δύο έναλλασσόμενες ηλεκτρεγερτικές δυνάμεις έχουν μεταξύ τους **φυσική απόκλιση**. Αυτό είναι εύκολο να το αντιληφθεί κανείς με τη βοήθεια του σχήματος 3.7α. Για τη φορά περιστροφής του δρομέα που σημειώνεται στο σχήμα, η ηλεκτρεγερτική δύναμη στη φάση 1 θα αποκτά πρώτη τη μέγιστη τιμή της και έπειτα η ηλεκτρεγερτική δύναμη στη φάση 2.



Σχ. 3.7β.

Ήλεκτρεγερτικές δυνάμεις διφασικού έναλλακτήρα.

Αν παραστήσουμε με καμπύλες στο ίδιο διάγραμμα τη μεταβολή των ηλεκτρεγερτικών δυνάμεων των δύο φάσεων, θα πρέπει η καμπύλη της φάσεως 1 να είναι μετατοπισμένη (να προπορεύεται) ως προς την καμπύλη της φάσεως 2, όπως φαίνεται στο αριστερό μέρος του σχήματος 3.7β. Η προπορεία αυτή είναι ίση με 90 ηλεκτρικές μοίρες ή $\frac{1}{4}$ της περιόδου. Αυτό προκύπτει από τη γνωστή σχέση (παράγρ. 3.4) που συνδέει τις γεωμετρικές με τις ηλεκτρικές γωνίες. Τα δύο τυλίγματα απέχουν κατά γεωμετρική γωνία $\theta = 45^\circ$ και αφού ο έναλλακτήρας είναι τετραπολικός ($p = 2$), θα έχουμε:

$$\theta_{\eta\lambda} = p \cdot \theta = 2 \times 45 = 90 \text{ ηλεκτρικές μοίρες}$$

Δηλαδή τό γνωστό από την Ήλεκτροτεχνία παραστατικό διάνυσμα της ηλεκτρεγερτικής δυνάμεως της πρώτης φάσεως θα προπορεύεται κατά 90° του διανύσματος της δεύτερης φάσεως, όπως φαίνεται στο δεξιό μέρος του σχήματος 3.7β.

3.8 Τριφασικοί έναλλακτήρες.

Οι τριφασικοί έναλλακτήρες έχουν στο επαγωγικό τους τύμπανο τρία όμοια και

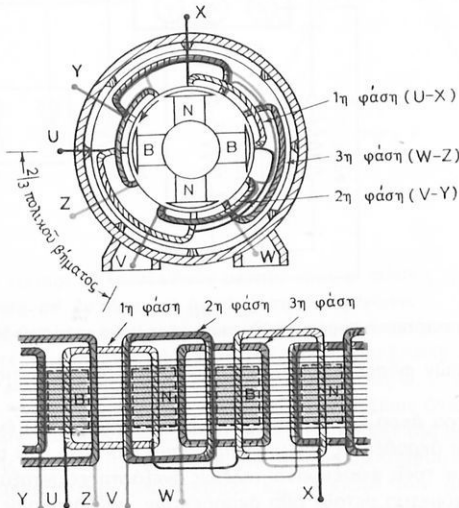
ανεξάρτητα μεταξύ τους μονοφασικά τυλίγματα, τις **τρεις φάσεις** του έναλλακτηρα. Το σχήμα 3.8α στο επάνω μέρος δείχνει ένα απλό τριφασικό έναλλακτήρα, ο οποίος έχει σε κάθε διπλό πολικό βήμα μία ομάδα τυλίγματος από τήν κάθε φάση. Στο κάτω μέρος του ίδιου σχήματος φαίνεται το ανάπτυγμα του επαγωγικού τυμ-πάνου.

Στά **τριφασικά τυλίγματα** έχουμε έξι ελεύθερα άκρα. Τρεις **άρχές** τις U, V, W, και τρία **πέρατα**, τά X, Y, Z. Το τύλιγμα U-X αποτελεί τήν **πρώτη φάση**, τό V-Y τη **δεύτερη φάση** και τό W-Z τήν **τρίτη φάση**.

Στούς τριφασικούς έναλλακτήρες, όπως και στους διφασικούς, οι έναλλασσόμενες ηλεκτρεγερτικές δυνάμεις, που αναπτύσσονται στις τρεις φάσεις, έχουν τό ίδιο μέγεθος (τίς ίδιες ένδεικνυμένες τιμές) και τήν ίδια συχνότητα. Οι ηλεκτρεγερτικές αυτές δυνάμεις ονομάζονται **φασικές ηλεκτρεγερτικές δυνάμεις** του έναλλακτηρα.

Τό τύλιγμα κάθε φάσεως απέχει από τίς άλλες απόσταση ίση μέ $\frac{2}{3}$ του πολικού βήματος ή κατά γεωμετρική γωνία $\theta = 60^\circ$ (σε τετραπολικό έναλλακτήρα) Άρα οι ηλεκτρεγερτικές δυνάμεις που αναπτύσσονται στά τρία τυλίγματα έχουν μεταξύ τους φασική απόκλιση:

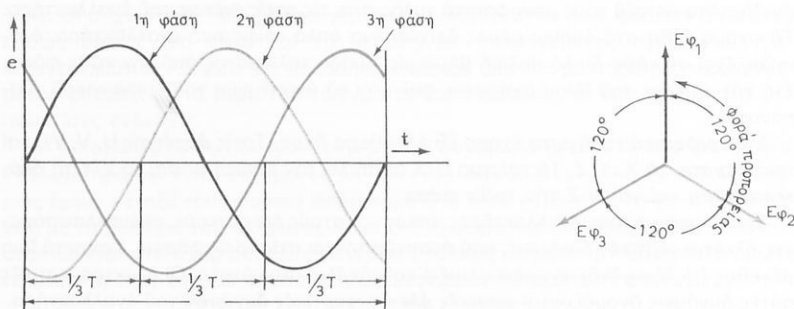
$$\theta_{\eta\lambda} = p \cdot \theta = 2 \times 60 = 120 \text{ ηλεκτρικές μοίρες ή } \frac{1}{3} \text{ τής περιόδου } T$$



Σχ. 3.8α.

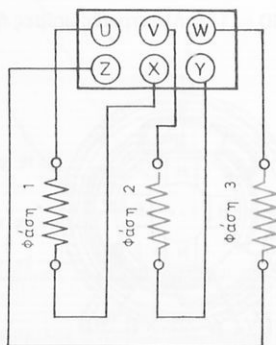
Τετραπολικός τριφασικός έναλλακτήρας.

Όταν ο δρομέας τής μηχανής περιστρέφεται κατά τή φορά, που δείχνει τό τόξο στο σχήμα 3.8α, τότε ή ηλεκτρεγερτική δύναμη τής φάσεως 1 προπορεύεται τής ηλεκτρεγερτικής δυνάμεως τής φάσεως 2 και αυτή τής φάσεως 3. Το σχήμα 3.8β παριστάνει, κατά τά γνωστά, μέ καμπύλες και μέ διανύματα τίς ηλεκτρεγερτικές



Σχ. 3.8β.

Ήλεκτρεγερτικές δυνάμεις τριφασικού έναλλακτήρα.



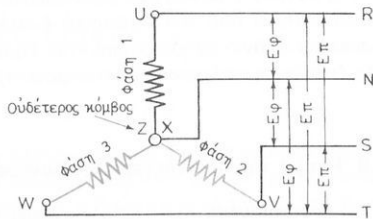
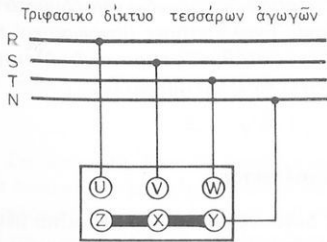
Σχ. 3.8γ.

Σύνδεση των τυλιγμάτων των τριών φάσεων με τούς άκροδέκτες.

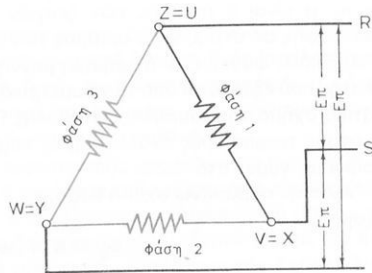
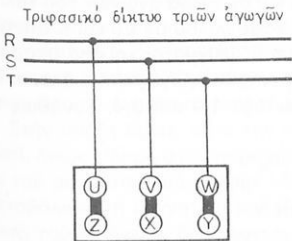
δυνάμεις των τριών φάσεων τριφασικού έναλλακτήρα, σε αντίστοιχία καί με τό σχήμα 3.8α.

Τά έξι έλεύθερα άκρα των τριών φάσεων του τριφασικού έναλλακτήρα συνδέονται στους έξι άκροδέκτες της μηχανής, όπως φαίνεται στό σχήμα 3.8γ. Στην περίπτωση αύτή οι τρεις φάσεις είναι τελείως ανεξάρτητες μεταξύ τους καί αν συνδέσσομε ένα βολτόμετρο μεταξύ δύο άκροδεκτών, πού ανήκουν σε διαφορετικές φάσεις, δέν θά δείξει τάση. Είναι ή περίπτωση του **ανεξάρτητου τριφασικού συστήματος**.

Στήν πράξη τά τυλίγματα των τριών φάσεων των τριφασικών έναλλακτών δέν τά αφήνομε ανεξάρτητα, αλλά τά συνδέομε μεταξύ τους μέ όρειχάλκινα ή χάλκινα λαμάκια πού τοποθετούμε στους άκροδέκτες της μηχανής. Πραγματικοποιούμε έτσι αυτό πού ονομάζομε **άλληλένδετο τριφασικό σύστημα**, τό όποιο παρουσιάζει σημαντικά πλεονεκτήματα γιά τά δίκτυα πού τροφοδοτούνται από τέτοιους τριφασικούς έναλλακτήρες.



Σχ. 3.86.
Σύνδεση σε άστέρα.



Σχ. 3.8ε.
Σύνδεση σε τρίγωνο.

Υπάρχουν δύο τρόποι νά συνδεθούν μεταξύ τους οι φάσεις τριφασικού έναλλακτήρα: ή **σύνδεση σε άστέρα** καί ή **σύνδεση σε τρίγωνο**.

Στή σύνδεση σε άστέρα, συνδέομε μεταξύ τους τούς άκροδέκτες Z, X, Y, όπως φαίνεται στό άριστερό μέρος του σχήματος 3.8δ, οι όποιοι έτσι αποτελούν τόν **ουδέτερο κόμβο της μηχανής**. Στούς τρείς άλλους άκροδέκτες U, V, W, συνδέεται τό τριφασικό δίκτυο. Όταν τό τριφασικό δίκτυο είναι τεσσάρων αγωγών, ο ουδέτερος άγωγός του δικτύου συνδέεται στόν ουδέτερο κόμβο της μηχανής. Μεταξύ του άκροδέκτη μιås φάσεως (U, V, W) καί του ουδέτερου κόμβου έχομε τή φασική ήλεκτρεγερτική δύναμη του έναλλακτήρα E_ϕ . Μεταξύ των άκροδεκτών δύο φάσεων έχομε τήν **πολική ήλεκτρεγερτική δύναμη** E_π , ή όποία, όπως είναι γνωστό από τήν Έλεκτροτεχνία, στή σύνδεση σε άστέρα είναι:

$$E_\pi = \sqrt{3} \cdot E_\phi = 1,73 \cdot E_\phi$$

Στή σύνδεση σε τρίγωνο τοποθετούμε τρία λαμάκια μεταξύ των άκροδεκτών, όπως φαίνεται στό άριστερό μέρος του σχήματος 3.8ε. Στήν περίπτωση αυτή ή φασική ήλεκτρεγερτική δύναμη του έναλλακτήρα είναι ίση μέ τήν πολική:

$$E_\phi = E_\pi$$

Στή σύνδεση σέ τρίγωνο μόνο τριφασικό δίκτυο τριών άγωγών είναι δυνατό νά τροφοδοτηθεΐ από τόν τριφασικό έναλλακτήρα. Έναλλακτήρες μονοφασικοί καΐ διφασικοί σπάνια χρησιμοποιούνται. Σήμερα στους σταθμούς παραγωγής ήλεκτρικης ενέργειας χρησιμοποιούνται μόνο τριφασικοί έναλλακτήρες.

3.9 Ή τιμή τής ήλεκτρεγερτικής δυνάμεως έναλλακτήρα.

Ή ένδεικνυμένη τιμή τής ήλεκτρεγερτικής δυνάμεως, πού δημιουργείται μέσα στό τύλιγμα κάθε φάσεως ενός έναλλακτήρα, δηλαδή ή φασική ήλεκτρεγερτική δύναμη, δίνεται από τή σχέση:

$$E_{\phi} = K \cdot p \cdot n_s \cdot w_o \cdot \Phi \quad \text{σέ } V$$

όπου: p είναι ό άριθμός των ζευγών μαγνητικών πόλων, n_s ή ταχύτητα περιστροφής σέ στρ/s, w_o ό άριθμός των συνδεμένων σέ σειρά άγωγών του τυλίγματος κάθε φάσεως, Φ ή χρήσιμη μαγνητική ροή κάθε πόλου σέ Vs καΐ K συντελεστής πού εξαρτάται από τά γεωμετρικά στοιχεία του τυλίγματος καΐ από τό πραγματικό σχήμα τής καμπύλης μεταβολής τής μαγνητικής έπαγωγής στό διάκενο. Τό K στους τριφασικούς έναλλακτήρες κυμαίνεται μεταξύ 1,9 καΐ 3,4. Συνήθως τό παίρνουμε γύρω στό 2,22.

Ήν στήν παραπάνω σχέση θέσομε: $f = p \cdot n_s$
έχομε:

$$E_{\phi} = K \cdot f \cdot w_o \cdot \Phi \quad \text{σέ } V$$

όπου: f είναι ή συχνότητα τής ήλεκτρεγερτικής δυνάμεως σέ Hz.

Παράδειγμα.

Νά υπολογισθεΐ ή πολική ήλεκτρεγερτική δύναμη εξαπολικού τριφασικού έναλλακτήρα πού περιστρέφεται μέ ταχύτητα 1000 στρ/μίν καΐ του οποίου τό έπαγωγικό τύμπανο έχει 26 αύλάκια μέ 5 άγωγούς στό κάθε αύλάκι. Τά τυλίγματα του έναλλακτήρα είναι συνδεσμολογημένα σέ άστέρα, ή δέ χρήσιμη μαγνητική ροή κάθε πόλου είναι 0,018 Vs (νά ληφθεΐ $K = 2,24$).

Λύση.

Ή συχνότητα τής ήλεκτρεγερτικής δυνάμεως θά είναι:

$$f = \frac{p \cdot n_s}{60} = \frac{3 \times 1000}{60} = 50 \text{ Hz}$$

Ό άριθμός των αύλακιών σέ κάθε φάση είναι:

$$z_o = \frac{z}{3} = \frac{36}{3} = 12 \text{ αύλάκια}$$

Ήρα ό άριθμός των άγωγών πού είναι συνδεμένοι σέ σειρά σέ κάθε φάση θά είναι:

$$w_o = 5 \times 12 = 60 \text{ άγωγοΐ}$$

Συνεπώς η ηλεκτρεγερτική δύναμη του έναλλακτήρα θα είναι:

$$E_{\phi} = 2,24 \times 50 \times 60 \times 0,018 = 121V$$

Η πολική ηλεκτρεγερτική δύναμη, αφού η σύνδεση είναι σε άστέρα, θα είναι:

$$E_{\pi} = \sqrt{3} \cdot E_{\phi} = 1,73 \times 121 = 210 V$$

Στά επόμενα, όταν θα αναφέρομε την **ηλεκτρεγερτική δύναμη έναλλακτήρα** E , θα έννοοϋμε την πολική ηλεκτρεγερτική δύναμη. Άνάλογα με τόν τρόπο συνδεσμολογίας των τριών φάσεων του έναλλακτήρα, η E είναι ίση με την E_{ϕ} (σύνδεση σε τρίγωνο) ή με $1,73 \cdot E_{\phi}$ (σύνδεση σε άστέρα).

3.10 Ρύθμιση τής ηλεκτρεγερτικής δυνάμεως έναλλακτήρα.

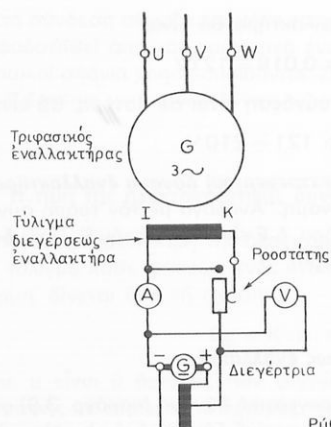
Άπό τή σχέση πού δίνει τή φασική ηλεκτρεγερτική δύναμη (παράγρ. 3.9) συμπεραίνουμε, ότι, γιά νά μεταβάλομε τήν ηλεκτρεγερτική δύναμη ενός έναλλακτήρα, πού λειτουργεί, θά πρέπει νά μεταβάλομε ή τήν ταχύτητα περιστροφής n_s ή τή μαγνητική ροή Φ . Οί ύπόλοιποι παράγοντες αναφέρονται στά κατασκευαστικά στοιχεία του έναλλακτήρα καί δέν είναι δυνατό νά μεταβληθοϋν.

Στήν πράξη όμως, οϋτε τήν ταχύτητα περιστροφής μπορούμε νά μεταβάλομε, γιάτί, όπως είδαμε στήν παράγραφο 3.5, ή ταχύτητα καθορίζεται από τή συχνότητα του ρεύματος πού θέλομε νά παράγει ό έναλλακτήρας. Συνεπώς θά πρέπει νά μεταβάλομε τή μαγνητική ροή Φ , ή όποία όπως γνωρίζομε, εξαρτάται από τήν ένταση του ρεύματος διεγέρσεως. Άρα θά πρέπει νά μεταβάλομε τήν ένταση διεγέρσεως, δηλαδή τήν ένταση πού δίνει ή διεγέρτρια στό τύλιγμα των μαγνητικών πόλων του έναλλακτήρα.

Η διεγέρτρια είναι μία γεννήτρια συνεχούς ρεύματος με παράλληλη ή με σύνθετη διεγερση. Γιά νά ρυθμίσομε τήν ένταση πού δίνει στό τύλιγμα των μαγνητικών πόλων του έναλλακτήρα, μπορούμε νά παρεμβάλομε μιά ρυθμιστική αντίσταση (ροοστάτη) σε σειρά στό κύκλωμα, όπως φαίνεται στό σχήμα 3.10α. Η μέθοδος αϋτή είναι δυνατό νά χρησιμοποιηθεί μόνο σε έναλλακτήρες μικρού μεγέθους. Προτιμāται όταν από τήν ίδια διεγέρτρια τροφοδοτοϋνται οί διεγέρσεις πολλών έναλλακτῆρων, όποτε καθένas έχει τό δικό του ροοστάτη. Στήν περίπτωση αϋτή ή κοινή διεγέρτρια έχει ιδιαίτερη κινητήρια μηχανή.

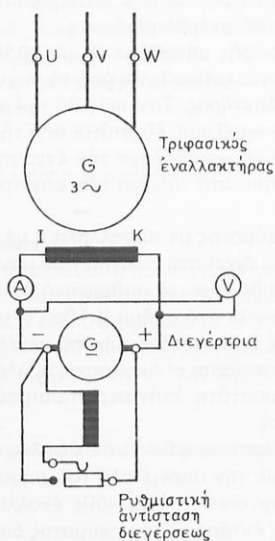
Στους μεγάλους έναλλακτῆρες ή ένταση διεγέρσεως φθάνει σε ύψηλές τιμές (π.χ. 300 A), όποτε ή ρύθμιση τής διεγέρσεως με τήν παρεμβολή του ροοστάτη παρουσιάζει σημαντικά μειονεκτήματα. Στίς περιπτώσεις αϋτές κάθε έναλλακτήρας έχει τή δική του διεγέρτρια καί ή ρύθμιση τής έντάσεως του ρεύματος διεγέρσεως γίνεται με τή ρύθμιση τής τάσεως τής διεγέρτριας. Αϋτό γίνεται, όπως είναι γνωστό από τίς μηχανές συνεχούς ρεύματος, με ρυθμιστική αντίσταση διεγέρσεως, όπως φαίνεται στό σχήμα 3.10β.

Τό σχήμα 3.10γ δείχνει ένα άλλο σύστημα ρυθμίσεως τής διεγέρσεως έναλλακτήρα. Σε αϋτό, τό κύριο τύλιγμα διεγέρσεως τής διεγέρτριας τροφοδοτείται από άλλη μηχανή συνεχούς ρεύματος, τή διεγέρτρια-πιλότο, πού παίρνει καί αϋτή κίνηση από τόν άξονα του έναλλακτήρα. Η ρύθμιση τής τάσεως του έναλλακτήρα



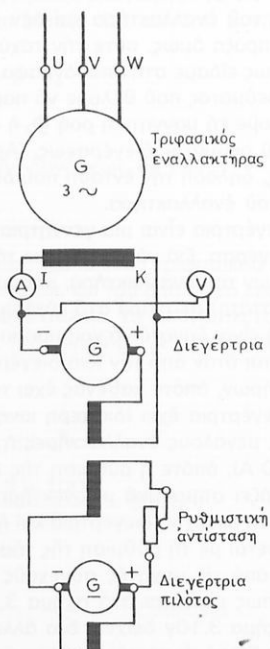
Σχ. 3.10α.

Ρύθμιση με ροοστάτη της διεγέρσεως εναλλακτήρα.



Σχ. 3.10β.

Ρύθμιση διεγέρσεως εναλλακτήρα με μεταβολή της τάσεως της διεγέρτριας.



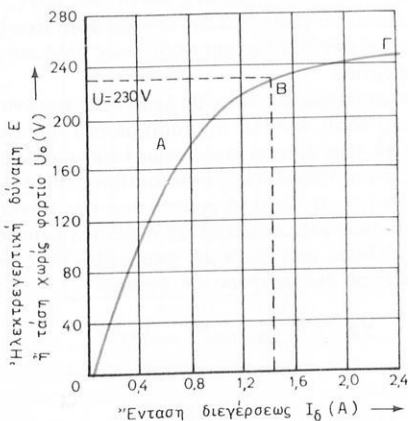
Σχ. 3.10γ.

Ρύθμιση διεγέρσεως εναλλακτήρα με διεγέρτρια - πιλότο.

γίνεται με μεταβολή της ρυθμιστικής αντίστασης. Το σύστημα αυτό είναι εξαιρετικά εύσταθές από άποψη σταθερότητας τάσεως.

Οι διεγέρτριες με τό συλλέκτη καί τις ψήκτριες που έχουν, αποτελούν συχνά πηγή άνωμαλιών στη λειτουργία των έναλλακτήρων. Γιά τό λόγο αυτό τά τελευταία χρόνια οι κατασκευαστές των μεγάλων έναλλακτήρων χρησιμοποιούν γιά διεγέρτρια μία γεννήτρια έναλλασσόμενου ρεύματος, της οποίας τό ρεύμα μετατρέπουν σέ συνεχές με άνορθωτές. Μία διεγέρτρια-πιλότος τροφοδοτεί στίς περιπτώσεις αυτές τή διέγερση της διεγέρτριας έναλλασσόμενου ρεύματος.

Η καμπύλη, ή οποία δείχνει πώς μεταβάλλεται ή ένδεικνυμένη τιμή της ήλεκτρεγερτικής δυνάμεως E ενός έναλλακτήρα (πού, όπως γνωρίζουμε, είναι ίση μέ τήν τάση χωρίς φορτίο U_0), όταν μεταβάλλεται ή ένταση διεγέρσεως του I_d , ενώ ή ταχύτητα περιστροφής παραμένει σταθερή καί ίση πρός τή σύγχρονη ταχύτητα, όνομάζεται **χαρακτηριστική χωρίς φορτίο** ή **στατική χαρακτηριστική του έναλλακτήρα**.



Σχ. 3.106.

Στατική χαρακτηριστική έναλλακτήρα.

Τό σχήμα 3.106 δείχνει τή στατική χαρακτηριστική ενός έναλλακτήρα. Όπως καί στίς μηχανές συνεχούς ρεύματος (έδάφιο 1, παράγραφος 2.5), ή καμπύλη αποτελείται από τό σχεδόν ευθύγραμμο τμήμα OA, στό οποίο ή ήλεκτρεγερτική δύναμη είναι περίπου ανάλογη πρός τό ρεύμα διεγέρσεως, τό γόνατο AB της καμπύλης καί τό επίσης σχεδόν ευθύγραμμο τμήμα ΒΓ. Στο τελευταίο αυτό τμήμα έπέρχεται ό κορεσμός του μαγνητικού κυκλώματος της μηχανής καί ή ήλεκτρεγερτική της δύναμη αύξάνεται πολύ λίγο, έστω καί άν ή ένταση διεγέρσεως αύξηθεί σημαντικά. Οι έναλλακτήρες συνήθως εργάζονται στήν άρχή του τμήματος κορεσμού, δηλαδή άμέσως μετά τό γόνατο της καμπύλης.

Γιά τούς ίδιους λόγους που έξηγήσαμε στίς μηχανές συνεχούς ρεύματος ή καμ-

πύλη του σχήματος 3.10δ μέ άλλη κλίμακα παριστάνει και τή μεταβολή του Φ , όταν μεταβάλλεται ή ένταση διεγέρσεως. Η καμπύλη τότε ονομάζεται **μαγνητική χαρακτηριστική του έναλλακτήρα**.

3.11 Λειτουργία των έναλλακτῆρων μέ φορτίο.

1) Μεταβολή τῆς τάσεως μέ τό φορτίο.

Όταν ένας έναλλακτῆρας ἐργάζεται χωρίς φορτίο μέ τόν κανονικό ἀριθμό στροφῶν, ή τάση U_0 , πού ἐπικρατεῖ μεταξύ τῶν ἀκροδεκτῶν, ὅπως ἀναφέραμε, εἶναι ἴση μέ τήν ἡλεκτρεγερτική του δύναμη E καί ἐξαρτᾶται μόνο ἀπό τήν τιμή πού ἔχει ή ένταση διεγέρσεως. Ἄν φορτώσουμε τόν έναλλακτῆρα διατηρώντας σταθερή τήν τιμή τῆς ἐντάσεως διεγέρσεως καί τήν ταχύτητα περιστροφῆς, ή τάση τοῦ έναλλακτῆρα μεταβάλλεται. Ἐνῶ ὅμως στίς γεννήτριες συνεχοῦς ρεύματος ή μεταβολή τῆς τάσεως ἐξαρτᾶται μόνο ἀπό τήν ένταση φορτίσεως, στούς έναλλακτῆρες ἐξαρτᾶται βέβαια καί ἀπό τήν ένταση φορτίσεως ἀλλά καί ἀπό τό συντελεστή ἰσχύος (συνφ) τοῦ φορτίου.

Ἐδῶ πρέπει νά σημειώσουμε, ὅτι, ὅταν θά λέμε τάση τοῦ έναλλακτῆρα U , θά ἐννοοῦμε τήν πολική του τάση, δηλαδή τήν τάση μεταξύ τῶν ἀκροδεκτῶν δύο φάσεων. Ἐπίσης, ὅταν θά λέμε ένταση φορτίσεως I τοῦ έναλλακτῆρα, θά ἐννοοῦμε τήν ένταση γραμμῆς. Στούς τριφασικούς έναλλακτῆρες, παραδεχόμεστε συμμετρική φόρτιση ($I_R = I_S = I_T = I$). Κατά τά γνωστά ἀπό τήν Ἠλεκτροτεχνία, ή φασική τάση U_ϕ (ή τάση στά ἄκρα μιᾶς φάσεως) καί ή φασική ένταση I_ϕ (ή ένταση πού περνᾷ μέσα ἀπό τό τύλιγμα μιᾶς φάσεως) ὑπολογίζονται ἀπό τίς σχέσεις:

Γιά συνδεσμολογία τοῦ έναλλακτῆρα σέ ἀστέρα:

$$U_\phi = \frac{U}{1,73} \quad \text{καί} \quad I_\phi = I$$

Γιά συνδεσμολογία τοῦ έναλλακτῆρα σέ τρίγωνο:

$$U_\phi = U \quad \text{καί} \quad I_\phi = \frac{I}{1,73}$$

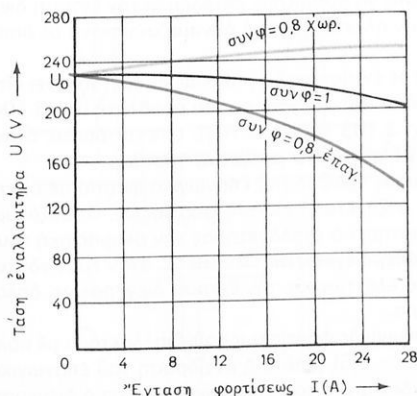
Χαρακτηριστική φορτίου τοῦ έναλλακτῆρα εἶναι ή καμπύλη, πού δείχνει πῶς μεταβάλλεται ή τάση του (ή ἐνδεικνυμένη τιμή τῆς), ὅταν μεταβάλλεται ή ένταση φορτίσεως (ή ἐνδεικνυμένη τιμή τῆς), ἐνῶ ὁ συντελεστής ἰσχύος τοῦ φορτίου καί ή ένταση διεγέρσεως παραμένουν σταθερά καί ὁ έναλλακτῆρας περιστρέφεται μέ τήν κανονική του ταχύτητα.

Τό σχῆμα 3.11 δίνει τρεῖς χαρακτηριστικές φορτίου ἐνός έναλλακτῆρα, δηλαδή γιά τρεῖς συντελεστές ἰσχύος τοῦ φορτίου: γιά **ὠμική φόρτιση** (συνφ = 1), γιά **ἐπαγωγική φόρτιση** μέ συνφ = 0,8 καί γιά **χωρητική φόρτιση** τοῦ έναλλακτῆρα μέ συνφ = 0,8. Ὅπως παρατηροῦμε ἀπό τίς καμπύλες τοῦ σχήματος στήν περίπτωση τῆς ὠμικῆς φορτίσεως ή τάση τοῦ έναλλακτῆρα πέφτει, ὅταν αὐξάνεται ή ένταση φορτίσεως. Ἡ πτώση αὐτή τῆς τάσεως εἶναι σημαντικά μεγαλύτερη ὅταν ή φόρτιση εἶναι ἐπαγωγική. Ἀντίθετα, ὅταν ή φόρτιση εἶναι χωρητική ἔχομε αὐξηση τῆς τάσεως τοῦ έναλλακτῆρα ὅταν αὐξάνεται ή ένταση φορτίσεως.

Είναι φανερό, ότι για $I = 0$ όλες οι χαρακτηριστικές φορτίου ενός έναλλακτήρα για τήν ίδια ένταση διεγέρσεως και τόν κανονικό αριθμό στροφών, διέρχονται από τό ίδιο σημείο U_0 (σχ. 3.11), δηλαδή από τό σημείο πού παριστάνει τήν τάση χωρίς φορτίο, γιατί τότε τό συνφ τοῦ καταναλωτή δέν ἔχει καμιά επίδραση.

Ἄν U_0 εἶναι ἡ τάση τοῦ έναλλακτήρα χωρίς φορτίο καί U_N ἡ τάση του μέ τό κανονικό φορτίο (γιά σταθερή ένταση διεγέρσεως καί ὀρισμένο συντελεστή i -σχύος τοῦ φορτίου), τότε ἡ **διακύμανση τάσεως** τοῦ έναλλακτήρα δίνεται ἀπό τή γνωστή καί ἀπό τίς μηχανές συνεχοῦς ρεύματος σχέση:

$$\epsilon\% = \frac{U_0 - U_N}{U_N} \cdot 100\%$$



Σχ. 3.11.

Χαρακτηριστικές φορτίου έναλλακτήρα.

Παράδειγμα.

Ἄνας έναλλακτήρας ἔχει χαρακτηριστικές φορτίου τίς καμπύλες τοῦ σχήματος 3.11. Ἄν ἡ κανονική έντασή του εἶναι $I = 24$ A, ποιά εἶναι ἡ διακύμανση τάσεως γιά τούς τρεῖς συντελεστές ισχύος τοῦ φορτίου;

Λύση.

$$\text{Γιά συνφ} = 0,8 \text{ έπαγ. } \epsilon_1\% = \frac{230 - 160}{160} \times 100\% = 44\%$$

$$\text{Γιά συνφ} = 1 \quad \epsilon_2\% = \frac{230 - 210}{210} \times 100\% = 9,5\%$$

$$\text{Γιά συνφ} = 0,8 \text{ χωρ. } \epsilon_3\% = \frac{230 - 246}{246} \times 100\% = -6,5\%$$

Ἡ μεταβολή τῆς τάσεως στοὺς ἐναλλακτῆρες ὅταν μεταβάλλεται τὸ φορτίο ὁφείλεται στοὺς παρακάτω λόγους, πού τοὺς ἀναφέρομε μόνο χωρὶς νὰ τοὺς ἐξηγήσουμε:

α) Στὴν **ὠμικὴ πτώση τάσεως** μέσα στοὺς ἀγωγούς τοῦ τυλίγματος τοῦ ἐπαγωγικοῦ τυμπάνου, ὅπως στὶς μηχανές συνεχοῦς ρεύματος.

β) Στὴν **ἀντίδραση τοῦ ἐπαγωγικοῦ τυμπάνου**, τοῦ ὁποίου τὸ μαγνητικὸ πεδίο παραμορφώνει τὸ μαγνητικὸ πεδίο τῶν πόλων τῆς μηχανῆς.

γ) Σὲ **φανόμενα αὐτεπαγωγῆς**, πού ὀφείλονται στὸ γεγονός ὅτι τὸ τύλιγμα τοῦ ἐπαγωγικοῦ τυμπάνου διαρρέεται ἀπὸ μεταβαλλόμενο ρεῖμα.

2) **Ρύθμιση τῆς τάσεως τοῦ ἐναλλακτῆρα.**

Ἄν θέλομε μέ τὴ μεταβολή τοῦ φορτίου νὰ διατηροῦμε σταθερή τὴν τάση τοῦ ἐναλλακτῆρα, θὰ πρέπει νὰ ρυθμίζομε κατάλληλα τὴν ἔνταση διεγέρσεώς του, δηλαδή νὰ ρυθμίζομε τὴν ἡλεκτρεγερτικὴ δύναμη σύμφωνα μέ ὅσα ἀναφέραμε στὴν παράγραφο 3.10.

Ἡ ρύθμιση αὐτὴ τῆς ἐντάσεως διεγέρσεως μπορεῖ νὰ γίνῃ εἴτε μέ τὸ χέρι, ὅποτε μεταβάλλομε τὴ θέση τοῦ στροφάλου τοῦ ροοστάτη (σχ. 3.10α) ἢ τῆς ρυθμιστικῆς ἀντιστάσεως (σχ. 3.10β καὶ σχ. 3.10γ), εἴτε αὐτόματα, ὅταν ὁ ἐναλλακτῆρας εἶναι ἐφοδιασμένος μέ **αὐτόματο ρυθμιστὴ τάσεως**.

Ὅταν ὁ ἐναλλακτῆρας τροφοδοτεῖ ἐπαγωγικὸ φορτίο μέ ὀρισμένο συντελεστὴ ἰσχύος, πρέπει, ὅταν αὐξάνεται ἡ ἔνταση φορτίσεως, νὰ αὐξάνομε καὶ τὴν ἔνταση διεγέρσεως γιὰ νὰ διατηρεῖ ὁ ἐναλλακτῆρας τὴν ὀνομαστικὴν του τάση. Λέμε τότε ὅτι ὁ ἐναλλακτῆρας **ὑπερδιεγείρεται**. Ἀντίθετα, ὅταν τροφοδοτεῖ χωρητικὸ καταναλωτὴ, θὰ πρέπει νὰ ἐλαττώνομε τὴν ἔνταση διεγέρσεως, δηλαδή νὰ **ὑποδιεγείρομε** τὸν ἐναλλακτῆρα.

Σὲ περίπτωσι ἐπαγωγικῆς φορτίσεως τοῦ ἐναλλακτῆρα μέ πολὺ μικρὸ συντελεστὴ ἰσχύος (π.χ. $\cos \phi = 0,5$), ὅποτε ἡ ἀντίδραση τοῦ ἐπαγωγικοῦ τοῦ τυμπάνου εἶναι μεγάλη, εἶναι ἐνδεχόμενο τὰ περιθώρια πού ἔχει ἡ διέγερση τοῦ ἐναλλακτῆρα νὰ μὴν ἐπαρκοῦν γιὰ νὰ καλυφθεῖ ἡ μεταβολὴ τῆς τάσεως στὸ κανονικὸ φορτίο. Στὴν περίπτωσι αὕτῃ εἴμαστε ὑποχρεωμένοι, γιὰ νὰ διατηρήσομε τὴν ὀνομαστικὴν τάση τοῦ ἐναλλακτῆρα, νὰ τὸν φορτίσομε μέ ἔνταση κάτω ἀπὸ τὴν κανονικὴν. Δηλαδή στὶς περιπτώσεις πολὺ μικροῦ $\cos \phi$ ὁ ἐναλλακτῆρας δέν μπορεῖ νὰ ἀποδώσῃ τὴν κανονικὴν ἰσχύ γιὰ τὴν ὁποία ἔχει ὑπολογισθεῖ.

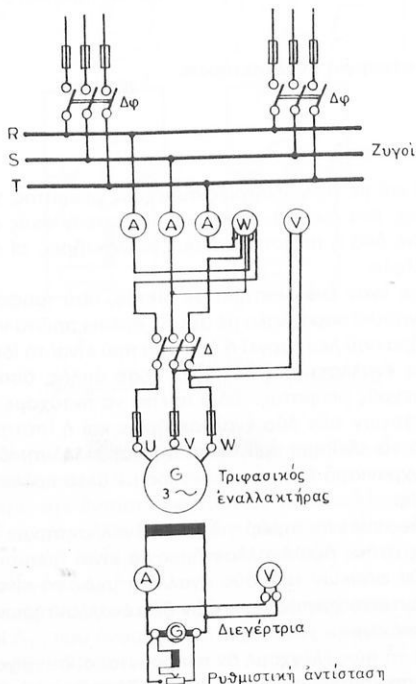
Εἶναι φανερό ἀπὸ ὅσα ἀναφέραμε στὸ ἐδάφιο 1 αὐτῆς τῆς παραγράφου, ὅτι ἡ τάση τοῦ ἐναλλακτῆρα μεταβάλλεται ὄχι μόνο ὅταν αὐξάνεται ἡ ἔνταση φορτίσεως μέ σταθερὸ συντελεστὴ ἰσχύος ἀλλὰ καὶ ὅταν μεταβάλλεται ὁ συντελεστὴς ἰσχύος τοῦ φορτίου, ἐνῶ ἡ ἔντασή του παραμένει σταθερή. Καὶ στὴν περίπτωσι αὕτῃ, ἂν θέλομε νὰ διατηροῦμε τὴν τάση τοῦ ἐναλλακτῆρα ἴση μέ τὴν ὀνομαστικὴν του τάση, θὰ πρέπει νὰ ρυθμίζομε κατάλληλα τὴν ἔνταση διεγέρσεως. Στὴν πράξι ἔχομε συνήθως ταυτόχρονη μεταβολὴ καὶ τῆς ἐντάσεως φορτίσεως καὶ τοῦ συντελεστῆ ἰσχύος.

3.12 Πὼς βάζομε σὲ λειτουργία ἓνα ἐναλλακτῆρα.

Γιὰ νὰ βάλομε σὲ λειτουργία ἐναλλακτῆρα, πού πρόκειται νὰ τροφοδοτήσῃ μό-

νος του ένα φορτίο, π.χ. ένα δίκτυο (σχ. 3.12), εργαζόμαστε ως εξής: Βεβαιωνόμαστε ότι ο κύριος διακόπτης Δ του έναλλακτήρα και οι διακόπτες Δ_ϕ των γραμμών του φορτίου είναι άνοικτοι. Επίσης ότι ο στρόφαλος της ρυθμιστικής αντίστασης είναι στη θέση διακοπής του κυκλώματος διεγέρσεως της διεγέρτριας.

Έπειτα βάζουμε σε κίνηση την κινητήρια μηχανή του έναλλακτήρα και ρυθμίζουμε την ταχύτητά της, ώστε να γίνει ίση με τη σύγχρονη ταχύτητα του έναλλακτήρα (παράγρ. 3.5). Όπως διαπιστώνουμε από το βολτόμετρο V , ο έναλλακτήρας δεν δίνει τάση, γιατί δεν τροφοδοτείται το τύλιγμα διεγέρσεώς του. Στρέφουμε σιγά τον στρόφαλο της ρυθμιστικής αντίστασης, ώστε η διεγέρτρια να αρχίσει να παράγει τάση και να τροφοδοτεί το τύλιγμα διεγέρσεως του έναλλακτήρα. Παρακολουθούμε το βολτόμετρο του έναλλακτήρα και ρυθμίζουμε την ένταση διεγέρσεώς του, ώστε η τάση του χωρίς φορτίο να γίνει ίση με την ονομαστική τάση του έναλλακτήρα.



Σχ. 3.12.

Συνδεσμολογία τριφασικού έναλλακτήρα χαμηλής τάσεως.

Μετά κλείνουμε το διακόπτη Δ και στη συνέχεια ένα-ένα τους διακόπτες φορτίου Δ_ϕ . Όπως διαπιστώνουμε από τα αμπερόμετρα A και το τριφασικό βατόμετρο W , ο έναλλακτήρας αρχίζει να φορτίζεται. Όσο αυξάνεται το φορτίο, πρέπει να ρυθ-

μίζουμε την ένταση διεγέρσεως, ώστε να διατηρούμε την τάση του έναλλακτήρα σταθερή και ίση με την ονομαστική του τάση.

Κατά τη διάρκεια της λειτουργίας θα πρέπει να παρακολουθούμε με τα άμπερόμετρα την ένταση φορτίσεως του έναλλακτήρα. Σέ καμιά από τις τρεις φάσεις του ή ένταση δεν πρέπει να ξεπεράσει την ονομαστική ένταση του έναλλακτήρα, την οποία αναγράφει ή πινακίδα του. Τέλος με κατάλληλη κατανομή του φορτίου πρέπει να φροντίζουμε, ώστε ή φόρτιση του έναλλακτήρα να είναι κατά τό δυνατό συμμετρική, δηλαδή οι εντάσεις των τριών φάσεων να είναι κατά τό δυνατό ίσες μεταξύ τους.

Γιά να σταματήσουμε ένα έναλλακτήρα πού λειτουργεί πρέπει πρώτα να τόν εκφορτίσουμε. Άνοιγουμε δηλαδή ένα-ένα τούς διακόπτες φορτίου Δ_{ϕ} , ενώ διατηρούμε με τή διέγερση την τάση του έναλλακτήρα σταθερή. Έπειτα, αφού ανοίξουμε και τό διακόπτη Δ , μηδενίζουμε την τάση του έναλλακτήρα και σταματάμε την κινήτρία μηχανή.

3.13 Παράλληλη λειτουργία έναλλακτήρων.

1) Συνθήκες συγχρονισμού.

Όπως συμβαίνει και με τίς γεννήτριες συνεχούς ρεύματος, γιά να τροφοδοτήσουμε ένα φορτίο (π.χ. ένα δίκτυο), δεν άρκει πάντοτε ή ισχύς ενός έναλλακτήρα. Χρησιμοποιούμε τότε δύο ή περισσότερους έναλλακτήρες, οι όποιοι, όπως λέμε, **λειτουργούν παράλληλα**.

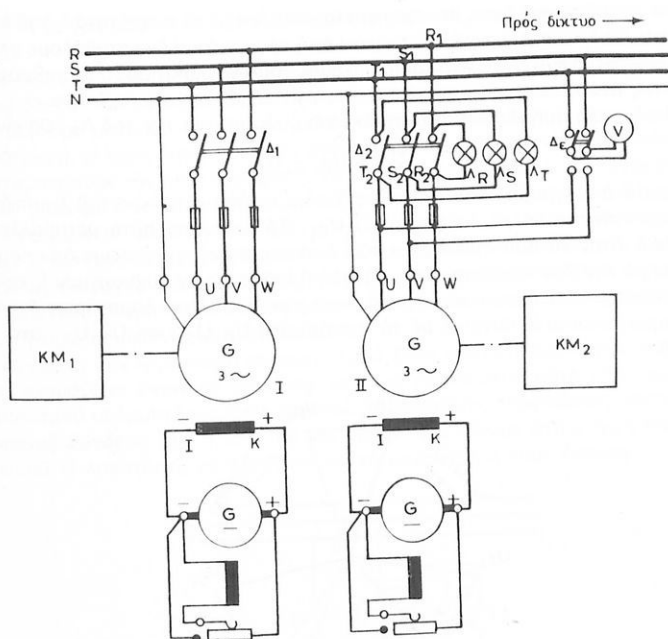
Γιά να συνδέσουμε έναν έναλλακτήρα σέ δίκτυο, πού τροφοδοτεί άλλος έναλλακτήρας, γιά να έργασθεϊ παράλληλα μέ αυτόν, πρέπει πρώτα να τόν **συγχρονίσουμε** μέ τόν έναλλακτήρα πού λειτουργεί ή (πράγμα πού είναι τό ίδιο) μέ τό δίκτυο. Ό **συγχρονισμός** στους έναλλακτήρες δεν είναι τόσο άπλός, όσο ό παραλληλισμός στίς γεννήτριες συνεχούς ρεύματος. Έδώ πρέπει να πετύχουμε ισότητα των στιγμιαίων τιμών των τάσεων των δύο έναλλακτήρων και ή ισότητα αυτή πρέπει να διατηρηθεϊ και μετά τό κλείσιμο του διακόπτη παραλληλισμού.

Γιά να έχομε συγχρονισμό ενός έναλλακτήρα μέ άλλο πρέπει να πληρούνται οι ακόλουθες συνθήκες:

- α) Οι τάσεις (ένδεικνυμένες τιμές) των δύο έναλλακτήρων να είναι ίσες.
- β) Οι συχνότητες στους δύο έναλλακτήρες να είναι ίσες.
- γ) Η διαδοχή των φάσεων των δύο έναλλακτήρων να είναι ή ίδια και
- δ) οι τάσεις των αντίστοιχων φάσεων των δύο έναλλακτήρων να μήν έχουν μεταξύ τους φασική απόκλιση.

Γιά να εξηγήσουμε τό πώς ελέγχουμε αν πληρούνται οι συνθήκες αυτές στο συγχρονισμό θα χρησιμοποιήσουμε τό σχήμα 3.13 α. Τό σχήμα αυτό παριστάνει μιά άπλή διάταξη δύο τριφασικών έναλλακτήρων, I και II, οι όποιοι μπορούν να λειτουργήσουν παράλληλα και να τροφοδοτήσουν τούς ζυγούς.

Άς υποθέσουμε ότι λειτουργεί ό έναλλακτήρας I (ό διακόπτης Δ_1 είναι κλειστός) και ότι θέλομε να συγχρονίσουμε μέ αυτόν τόν έναλλακτήρα II. Άφου βάλομε σέ κίνηση την κινήτρία μηχανή KM_2 του έναλλακτήρα II, μέ τή βοήθεια του ρυθμιστή στροφών της, ρυθμίζομε την ταχύτητα περιστροφής, ώστε να γίνει ίση μέ τή σύγ-



Σχ. 3.13α.

Συγχρονισμός τριφασικῶν ἐναλλακτῆρων.

χρονη ταχύτητα. Τότε ἡ συχνότητα τοῦ ἐναλλακτῆρα II θὰ εἶναι (περίπου) ἴση μὲ τὴν συχνότητα τοῦ ἐναλλακτῆρα I.

Ἐπειτα ρυθμίζομε τὴν ἔνταση διεγέρσεως τοῦ ἐναλλακτῆρα II, ὥστε ἡ τάση του νὰ γίνῃ ἴση μὲ τὴν τάση τῶν ζυγῶν, δηλαδὴ μὲ τὴν τάση τοῦ ἐναλλακτῆρα I (α' συνθήκη συγχρονισμοῦ). Αὐτὸ γίνεται μὲ τὴ βοήθεια τοῦ βολτόμετρου V καὶ τοῦ διακόπτη διπλῆς ἐνέργειας Δ_{ϵ} .

Γιὰ νὰ ἐλέγξομε τίς ἄλλες συνθήκες συγχρονισμοῦ χρησιμοποιοῦμε τοὺς λαμπήρες Λ_R , Λ_S καὶ Λ_T , ποὺ ὀνομάζονται **λαμπήρες συγχρονισμοῦ** καὶ συνδέονται ὅπως δείχνει τὸ σχῆμα 3.13α.

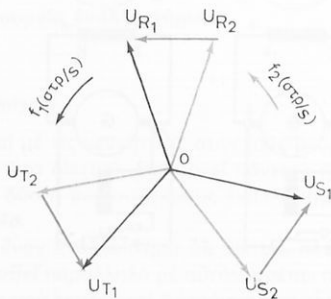
Ἄς δεχθοῦμε ὅτι οἱ τρεῖς φάσεις τῶν τυλιγμάτων τῶν δύο ἐναλλακτῆρων εἶναι συνδεσμολογημένες σὲ ἀστέρα καὶ ὅτι οἱ οὐδέτεροι κόμβοι τους συνδέονται μετὰ ξύ τους μὲ τὸ ζυγὸ τοῦ οὐδέτερου N. Οἱ φασικὲς τάσεις U_{R_1} , U_{S_1} καὶ U_{T_1} τοῦ ἐναλλακτῆρα I (συνεπῶς καὶ τῶν ζυγῶν) παριστάνονται, κατὰ τὰ γνωστά, στὸ σχῆμα 3.13β μὲ τὰ τρία διανύσματα, ποὺ περιστρέφονται μὲ ταχύτητα f_1 (στρ/s), ἴση μὲ τὴν συχνότητα τοῦ ρεύματος τοῦ ἐναλλακτῆρα I. Ὅμοια οἱ φασικὲς τάσεις U_{R_2} , U_{S_2} καὶ U_{T_2} τοῦ ἐναλλακτῆρα II παριστάνονται μὲ τρία ἀντίστοιχα διανύσματα,

πού περιστρέφονται όμως με ταχύτητα (στροφ/s), ίση με τη συχνότητα f_2 του έναλλακτήρα II. Τό f_2 είναι διάφορο του f_1 , γιατί όση προσοχή καί αν καταβάλουμε στή ρύθμιση τών στροφών τής κινητήριας μηχανής του έναλλακτήρα II, ό αριθμός στροφών της δέν θά είναι ποτέ άκριβώς ίσος με τή σύγχρονη ταχύτητα.

Ή στιγμιαία τιμή τής τάσεως στά άκρα ενός λαμπτήρα, π.χ. του Λ_R , θά είναι:

$$U_R = U_{R_1} - U_{R_2}$$

Άρα στό διάγραμμα του σχήματος 3.13β, ή τάση στά άκρα του λαμπτήρα Λ_R θά παριστάνεται με τό διάνυσμα $U_{R_2}U_{R_1}$. Τό διάνυσμα αυτό μεταβάλλεται σε μέγεθος, όταν τά δύο συστήματα τών διανυσμάτων τών τάσεων δέν περιστρέφονται με τήν ίδια ταχύτητα, όταν δηλαδή ή ισότητα τών συχνοτήτων f_1 καί f_2 δέν έχει έπιτευχθεί. Όμοια οί τάσεις στά άκρα τών δύο άλλων λαμπτήρων Λ_S καί Λ_T θά παριστάνονται αντίστοιχα με τά διανύσματα $U_{S_2}U_{S_1}$ καί $U_{T_2}U_{T_1}$ στό σχήμα 3.13β.



Σχ. 3.13β.

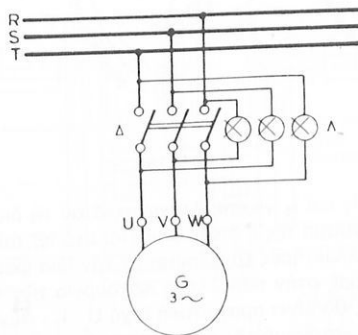
Καθώς τά δύο συστήματα διανυσμάτων περιστρέφονται με διαφορετικές ταχύτητες (π.χ. αν του έναλλακτήρα II περιστρέφεται ταχύτερα), θά έρχονται στιγμές (με συχνότητα $f_2 - f_1$) στίς όποιες τά διανύσματα $U_{R_2}U_{R_1}$ κλπ., θά μηδενίζονται. Τότε όλοι οί λαμπτήρες θά είναι σβηστοί. Με τήν ίδια συχνότητα όμως θά υπάρχουν καί στιγμές στίς όποιες τό διάνυσμα U_{R_1} θά είναι άκριβώς αντίθετο από τό U_{R_2} . Τότε στό λαμπτήρα Λ_R θά εφαρμόζεται τάση $U_{R_2}U_{R_1}$, πού θά είναι διπλάσια από τή φασική τάση του ενός έναλλακτήρα (οί λαμπτήρες πρέπει νά έχουν έκλεγει ώστε νά άντέχουν στήν τάση αυτή). Άρα ό λαμπτήρας αυτός, καθώς καί οί υπόλοιποι, θά ανάβουν με τή μεγαλύτερή τους ένταση.

Άπό τά προηγούμενα συμπεραίνουμε ότι οί τρεις λαμπτήρες συγχρονισμού θά αναβοσβήνουν ταυτόχρονα με συχνότητα ίση με $f_2 - f_1$, δηλαδή με τή διαφορά τών συχνοτήτων τών δύο έναλλακτήρων. Γιά νά πετύχουμε νά είναι τό αναβόσβημα αυτό αρκετά άργό (περίπου ένα αναβόσβημα κάθε δύο δευτερόλεπτα) δέν έχουμε παρά νά επιδράσουμε στό ρυθμιστή στροφών τής κινητήριας μηχανής του έναλλακτήρα II (ή του έναλλακτήρα I κατά τήν αντίστροφη έννοια). Τότε, σε μία στιγμή πού οί λαμπτήρες είναι σβηστοί, κλείνουμε τό διακόπτη Δ_2 του έναλλακτήρα

II. Από τη στιγμή αυτή οι δύο έναλλακτῆρες ἐργάζονται παράλληλα με τὴν ἴδια συχνότητα.

Από ὅσα ἐκθέσαμε παραπάνω προκύπτει ὅτι τὴ στιγμή τοῦ συγχρονισμοῦ πληροῦνται ὅλες οἱ συνθήκες, πού ἀναφέραμε στὴν ἀρχὴ τῆς παραγράφου. Ἐχομε νὰ παρατηρήσουμε μόνο ὅτι, ἂν δέν πληροῦνται ἡ τρίτη συνθήκη (τῆς ἴδιας διαδοχῆς τῶν φάσεων), οἱ τρεῖς λαμπτήρες δέν ἀναβοσβήνουν ταυτόχρονα. Τότε πρέπει, ἀφοῦ σταματήσουμε τὸν έναλλακτῆρα II, νὰ ἀλλάξουμε μεταξὺ τους τὴ σύνδεση δύο ἀγωγῶν φάσεων τοῦ έναλλακτῆρα με τοὺς ζυγούς. Εἶναι αὐτονόητο ὅτι ἡ συνθήκη αὐτὴ εἶναι ἀρκετὸ νὰ ἐλέγχεται μίᾳ μόνο φορά, ὅταν ἐγκαθίσταται ὁ έναλλακτῆρας. Ὁ ἐλεγχος αὐτός εἶναι δυνατό νὰ γίνεῖ καὶ με εἰδικό ὄργανο, πού ὀνομάζεται **δείκτης διαδοχῆς φάσεων**. Στούς ἐπόμενους συγχρονισμούς μετὰ τὸν πρῶτο ἀρκεῖ ἡ σύνδεση λαμπτήρων σέ δύο φάσεις ἢ ἀκόμη καὶ σέ μίᾳ μόνο φάση, ἀνάλογα με τὴ συνδεσμολογία πού ἐφαρμόζεται.

Ἡ σύνδεση τῶν λαμπτήρων συγχρονισμοῦ, ὅταν γίνεται ὅπως δείχνει τὸ σχῆμα 3.13α, ὀνομάζεται **σκοτεινὴ σύνδεση**, γιατί με τὴ σύνδεση αὐτὴ τὴ στιγμή τοῦ συγχρονισμοῦ οἱ λαμπτήρες εἶναι σβηστοί. Σέ ὁρισμένες περιπτώσεις προτιμοῦμε τὴ **φωτεινὴ σύνδεση** (σχ. 3.13γ), με τὴν ὁποία πετυχαίνουμε στὴ στιγμή τοῦ συγχρονισμοῦ οἱ λαμπτήρες νὰ φωτίζουν με τὴ μεγαλύτερὴ τους ἔνταση.



Σχ. 3.13γ.

Φωτεινὴ σύνδεση λαμπτήρων συγχρονισμοῦ.

2) Κατανομή τοῦ φορτίου στοὺς έναλλακτῆρες.

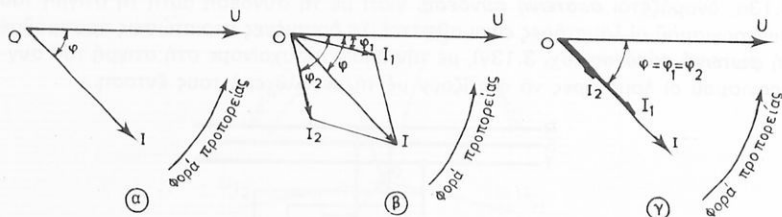
Μετὰ τὸ κλείσιμο τοῦ διακόπτη Δ_2 , ὁ έναλλακτῆρας II, παραλληλισμένος με τὸν έναλλακτῆρα I, περιστρέφεται χωρὶς νὰ δίνει ἰσχύ στο δίκτυο. Συνεπῶς ἡ κινητήρια μηχανὴ KM_2 δίνει μόνο τὴν ἰσχύ πού χρειάζεται γιὰ τὶς ἀπώλειες.

Γιὰ νὰ μεταφέρομε ἕνα μέρος τῆς **πραγματικῆς ἰσχύος** ἀπὸ τὸν έναλλακτῆρα I στὸν έναλλακτῆρα II, θὰ πρέπει νὰ ἐπιδράσουμε στο ρυθμιστὴ στροφῶν τῆς κινητήριας μηχανῆς KM_2 κατὰ τὴν ἔννοια τῆς αὐξήσεως τῶν στροφῶν. Δηλαδή θὰ πρέπει νὰ δώσουμε περισσότερο πετρέλαιο (ἂν εἶναι μηχανὴ ἐσωτερικῆς καύσεως) ἢ περισσότερο ἀτμὸ (ἂν εἶναι ἀτμοστρόβιλος) κλπ., στὴν κινητήρια μηχανή. Με τὴ βοήθεια τῶν βατομέτρων, πού φέρει κάθε παρόμοια ἐγκατάσταση (σχ. 3.13ε),

βεβαιωνόμαστε ότι μέρος του φορτίου τό ανάλαβε ό έναλλακτήςρας II καί ότi έλατ-
τώθηκε αντίστοιχα τό φορτίο του I.

Όταν ένας έναλλακτήςρας τροφοδοτεί μόνος του ένα φορτίο, τότε ό συντελε-
στής ισχύος του φορτίου καθορίζει τή φασική απόκλιση φ τής τάσεως U καί του
ρεύματος I , πού δίνει ό έναλλακτήςρας [σχ. 3.13δ (α)]. 'Η ένταση διεγέρσεως του
έναλλακτήςρα στην περίπτωση αυτή ρυθμίζει μόνο τό μέγεθος τής τάσεως U .

Όταν όμως περισσότεροι έναλλακτήςρες (π.χ. δύο) λειτουργούν παράλληλα, έ-
χουν μέν όλοι τήν ίδια στιγμή τήν ίδια τάση, είναι δυνατόν όμως νά δίνουν έντά-
σεις πού νά παρουσιάζουν διαφορετικές φασικές απόκλίσεις πρός τήν κοινή τάση.
Π.χ. αν τό φορτίο ζητά γιά τάση U ένταση I μέ φασική απόκλιση φ , είναι δυνατόν ό
ένας έναλλακτήςρας νά δίνει ένταση I_1 μέ φασική απόκλιση φ_1 καί ό άλλος νά δίνει
ένταση I_2 μέ φασική απόκλιση φ_2 . Στην περίπτωση όμως αυτή θά πρέπει ή I_2 νά εί-
ναι τέτοια, ώστε τό γεωμετρικό άθροισμά της μέ τήν I_1 νά δίνει τήν ένταση I του
φορτίου, όπως φαίνεται καί στο σχήμα 3.13δ (β).



Σχ. 3.13δ.

Τό άθροισμα των I_1 καί I_2 γίνεται ελάχιστο, όταν τά διανύσματα των I_1 καί I_2
συμπέσουν μέ τό διάνυσμα τής I , όπως φαίνεται στο (γ) του σχήματος 3.13δ, δη-
λαδή όταν οι δύο έναλλακτήςρες εργάζονται μέ τήν ίδια φασική απόκλιση φ . Αυτό
πρέπει νά τό επιδιώκουμε στην παράλληλη λειτουργία των έναλλακτήςρων. Τότε ό
πρώτος έναλλακτήςρας θά δίνει πραγματική ισχύ $U \cdot I_1 \cdot \cos \varphi$, ενώ ό δεύτερος θά
δίνει $U \cdot I_2 \cdot \cos \varphi$. 'Η κατανομή τής πραγματικής ισχύος στους δύο έναλλακτήςρες
ρυθμίζεται, όπως αναφέραμε, μέ τούς ρυθμιστές στροφών των κινητηρίων μηχαν-
ών τους, ενώ ή κοινή τάση U ρυθμίζεται γιά κάθε έναλλακτήςρα μέ τή διεγερσή
του. Γιά νά πετύχουμε συνεπώς φόρτιση των έναλλακτήςρων, όπως φαίνεται καί στο
σχήμα 3.13δ (γ), θά πρέπει νά επιδράσουμε ταυτόχρονα στους ρυθμιστές στροφών
καί στίς διεγέρσεις τους. Στη φόρτιση αυτή των έναλλακτήςρων έχουμε:

$$I_1 + I_2 = I$$

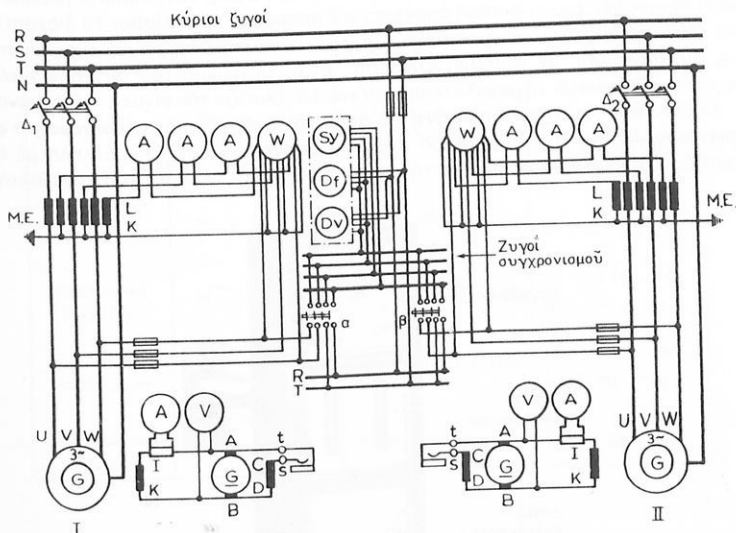
Τή συνθήκη αυτή τήν ελέγχουμε εύκολα μέ τή βοήθεια των άμπερομέτρων των
έναλλακτήςρων καί του φορτίου. Συνήθως μάλιστα στους σταθμούς παραγωγής έγ-
καθίστανται όμοιοι έναλλακτήςρες, όπότε είναι καί $I_1 = I_2$.

Αν ή ζήτηση φορτίου είναι σταθερή καί επιδράσαμε μόνο στίς διεγέρσεις των
έναλλακτήςρων, θά μεταβάλομε τίσ έντάσεις τους καί τίσ φασικές τους απόκλίσεις,
χωρίς νά μεταβάλομε τήν πραγματική ισχύ πού δίνει καθένας από αυτούς. 'Η διε-
γερση μόνη ρυθμίζει τήν **άεργη ισχύ**, μέ τήν όποία φορτίζονται οι έναλλακτήςρες.

Γιά νά διακόψουμε τή λειτουργία ενός έναλλακτήρα, πού ἐργάζεται παράλληλα μέ άλλους, πρέπει πρώτα νά τόν ἐκφορτίσουμε κάνοντας ἀκριβῶς κατά τήν ἀντίστροφη σειρά τούς χειρισμούς πού κάναμε κατά τή φόρτισή του. Ὄταν τό φορτίο του μηδενισθεῖ, ὅταν δηλαδή τό μεταβιβάσουμε στους άλλους έναλλακτήρες, ἀνοίγουμε τό διακόπτη Δ τοῦ έναλλακτήρα καί ἔτσι τόν ἀποσυνδέουμε ἀπό τούς ζυγούς. Κατόπιν μηδενίζουμε τήν τάση του καί σταματᾶμε τήν κινήτριά του.

3) Ἐγκαταστάσεις γιά παράλληλη ζεύξη έναλλακτῆρων.

Ὅπως εἶδαμε στό ἐδάφιο 1 αὐτῆς τῆς παραγράφου, γιά τό συγχρονισμό δύο έναλλακτῆρων ἀρκοῦν ἓνα βολτόμετρο καί οἱ λαμπτήρες συγχρονισμοῦ (σχ. 3.13α). Στίς πραγματικές ἐγκαταστάσεις γιά νά διευκολυνθοῦν οἱ χειρισμοί χρησιμοποιοῦνται ὀρισμένα ὄργανα, μέ τά ὁποῖα ἐξασφαλίζουμε μέ ταχύτερο τρόπο τίς συνθῆκες συγχρονισμοῦ. Σήμερα μάλιστα στίς μεγάλες μονάδες τοποθετοῦνται **συστήματα αὐτόματου συγχρονισμοῦ**.



Σχ. 3.13ε.

Παράλληλη ζεύξη έναλλακτῆρων χαμηλῆς τάσεως.

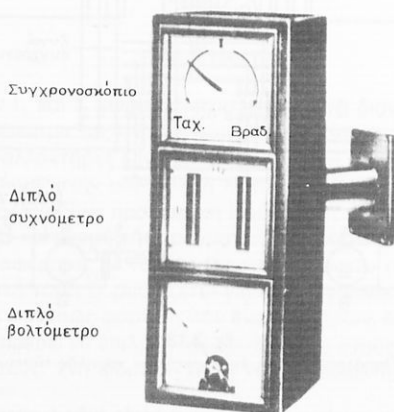
Τό σχῆμα 3.13ε παριστάνει τή συνδεσμολογία μιᾶς ἐγκαταστάσεως μέσου μεγέθους γιά τή παράλληλη λειτουργία δύο έναλλακτῆρων χαμηλῆς τάσεως. Τά **ὄργανα συγχρονισμοῦ** ἀποτελοῦνται ἐδῶ ἀπό τό διπλό **βολτόμετρο** DV, τό **διπλό συχνόμετρο** Df καί τό **συγχρονοσκόπιο** Sy. Αὐτά συνδέονται μέ τούς κύριους ζυγούς καί μέ τούς **ζυγούς συγχρονισμοῦ** μέ τή βοήθεια τετραπλοῦ βύσματος. Τό βύσμα αὐτό τοποθετεῖται στή θέση α, ὅταν πρόκειται νά συγχρονισθεῖ μέ τούς ζυγούς ὁ έναλλακτῆρας I, καί στή θέση β, ὅταν πρόκειται νά συγχρονισθεῖ ὁ II. Τά ὑπόλοιπα ὄργανα εἶναι ἀμπερόμετρα A καί βαττόμετρα W συνδεδεμένα μέσω μετασχηματι-

στών εντάσεως Μ.Ε. για τη μέτρηση της εντάσεως και ισχύος των εναλλακτῆρων και ἀμπερόμετρα Α και βολτόμετρα V συνεχoῦς ρεύματος για τη μέτρηση της εντάσεως και τάσεως τῶν διεγέρσεων. Βέβαια εἶναι δυνατό νά υπάρχουν καί ἄλλα ὄργανα, ὅπως μετρητές ἐνέργειας, μετρητές ἀεργῆς ισχύος καί ἐνέργειας κλπ.

Τά ὄργανα συγχρονισμοῦ συνήθως εἶναι τοποθετημένα σέ ἰδιαίτερη κατασκευή, ὥστε νά ἐξέχουν ἀπό τοῦς πίνακες ἐλέγχου τῶν γεννητριῶν (σχ. 3.13στ). Τό διπλό βολτόμετρο καί τό διπλό συχνόμετρο δείχνουν ταυτόχρονα τήν τάση καί τή συχνότητα τῶν ζυγῶν καί τοῦ ἐναλλακτῆρα πού πρόκειται νά παραλληλισθεῖ.

Τό συγχρονοσκόπιο, πού συνδέεται ὅπως φαίνεται στό σχῆμα 3.13ε, συγκρίνει τίς συχνότητες τῶν κύριων ζυγῶν καί τῆς γεννήτριας πού πρόκειται νά συγχρονισθεῖ. Ὄταν οἱ συχνότητες δέν εἶναι ἴσες, ὁ δείκτης τοῦ ὀργάνου περιστρέφεται κατά τήν μία ἢ τήν ἄλλη φορά. Ἡ φορά περιστροφῆς τοῦ δείκτη φανερώνει ἂν ὁ ἐναλλακτῆρας πού πρόκειται νά συγχρονισθεῖ πρέπει νά κινηθεῖ **ταχύτερα ἢ βραδύτερα** γιά νά ἐπιτευχθεῖ ὁ συγχρονισμός. Τή στιγμή τοῦ συγχρονισμοῦ ὁ δείκτης τοῦ ὀργάνου παραμένει ἀκίνητος στήν κατακόρυφη θέση. Τότε εἴμαστε βέβαιοι ὅτι καί οἱ τάσεις δέν ἔχουν φασική ἀπόκλιση καί μπορούμε νά κλείσουμε τό διακόπτη Δ τοῦ ἐναλλακτῆρα. Συνήθως μέσα στό συγχρονοσκόπιο ὑπάρχει καί ἕνας λαμπτήρας συγχρονισμοῦ σέ φωτεινή σύνδεση. Ἐτσι, τή στιγμή τοῦ συγχρονισμοῦ ὁ λαμπτήρας ἀνάβει μέ τή μεγαλύτερη ισχύ του καί φωτίζει τόν πίνακα τοῦ ὀργάνου.

Σέ ὀρισμένες ἐγκαταστάσεις ἀντί γιά συγχρονοσκόπιο ὑπάρχει **βολτόμετρο φασικῆς ἀποκλίσεως**. Τό βολτόμετρο αὐτό, τό ὁποῖο συνδέεται παράλληλα μέ ἕνα λαμπτήρα συγχρονισμοῦ, δείχνει τήν τάση μεταξύ μῆς φάσεως τοῦ ἐναλλακτῆρα



Σχ. 3.13στ.
Ὅργανα συγχρονισμοῦ.

καί τῆς ἀντίστοιχης φάσεως τῶν ζυγῶν (δηλαδή τήν τάση U_{R_2} U_{R_1} τοῦ σχήματος 3.13β). Τή στιγμή τοῦ συγχρονισμοῦ, ὅταν ὁ λαμπτήρας εἶναι σβηστός, τό βολτόμετρο φασικῆς ἀποκλίσεως δείχνει τάση μηδενική.

Όταν οι έναλλακτήρες είναι ύψηλῆς τάσεως (π.χ. 15.000 V), τότε τόσο τὰ ὄργανα συγχρονισμοῦ ὅσο καί-τὰ ὑπόλοιπα ὄργανα τῆς ἐγκαταστάσεως συνδέονται μέσω καταλλήλων **μετασχηματιστῶν τάσεως καί ἐντάσεως**.

3.14 Χαρακτηριστικά στοιχεῖα έναλλακτῆρων.

1) Ἰσχύς έναλλακτῆρα.

Μέ τή βοήθεια τῶν ὀργάνων, πού ἔχει κάθε ἐγκατάσταση έναλλακτῆρα (σχ. 3.12 καί σχ. 3.13ε), μπορούμε νά μετρήσουμε κατὰ τή λειτουργία του τήν (πολική) τάση U , τήν ἔνταση γραμμῆς I καί τήν πραγματική ἰσχύ N , πού δίνει στό δίκτυο. Ἀπό τὰ μεγέθη αὐτά εἶναι δυνατό νά ὑπολογίσουμε τή φαινόμενη ἰσχύ N_s καί τήν ἄεργη ἰσχύ N_b πού δίνει ὁ έναλλακτῆρας, καθώς καί τό συντελεστή ἰσχύος συνφ. Οἱ σχέσεις γιά τόν ὑπολογισμό εἶναι γνωστές ἀπό τήν Ἠλεκτροτεχνία καί τίς ἀνακεφαλαιώνουμε στόν Πίνακα 3.14.1.

Σχέσεις ὑπολογισμοῦ τῆς ἰσχύος

	Μονοφασικός έναλλακτῆρας	Τριφασικός έναλλακτῆρας	Γιά μονοφασικό καί τριφασικό έναλλακτῆρα
Φαινόμενη ἰσχύς (VA)	$N_s = U \cdot I$	$N_s = 1,73 \cdot U \cdot I$	$N_s = \sqrt{N^2 + N_b^2}$ $N_s = \frac{N}{\text{συνφ}}$
Πραγματική ἰσχύς (W)	$N = U \cdot I \cdot \text{συνφ}$	$N = 1,73 \cdot U \cdot I \cdot \text{συνφ}$	$N = \sqrt{N_s^2 - N_b^2}$ $N = N_s \cdot \text{συνφ}$
Ἄεργη ἰσχύς (var)	$N_b = U \cdot I \cdot \eta\mu\phi$	$N_b = 1,73 \cdot U \cdot I \cdot \eta\mu\phi$	$N_b = \sqrt{N_s^2 - N^2}$ $N_b = N_s \cdot \eta\mu\phi$
Συντελεστής ἰσχύος	$\text{συνφ} = \frac{N}{U \cdot I}$	$\text{συνφ} = \frac{N}{1,73 \cdot U \cdot I}$	$\text{συνφ} = \frac{N}{N_s}$

2) Χαρακτηριστικά στοιχεῖα.

Οἱ έναλλακτῆρες κατασκευάζονται γιά μιά ὀρισμένη ὁ καθένας **ὀνομαστική τάση** λειτουργίας, πού δίνεται πάντοτε ἀπό τόν κατασκευαστή ὡς πολική τάση, π.χ. 380 V, 15.000 V κλπ. Τό μέγεθος ἑνός έναλλακτῆρα χαρακτηρίζεται ἀπό τήν **ὀνομαστική ἰσχύ** του, ἡ ὁποία εἶναι ἡ φαινόμενη ἰσχύς πού ὁ έναλλακτῆρας μπορεῖ νά δίνει συνεχῶς, ἐργαζόμενος μέ τήν ὀνομαστική του τάση, χωρίς νά ὑπάρχει κίνδυνος καταστροφῆς τῶν μονώσεων του ἀπό ὑπερθέρμανση. Ἡ ἰσχύς αὐτή καί ἡ ἀντίστοιχη **ὀνομαστική ἔνταση** ἀναγράφονται ἀπό τόν κατασκευαστή στήν πινακίδα πού φέρει κάθε έναλλακτῆρας. Σήμερα κατασκευάζονται έναλλακτῆρες μέ ἰσχύ ἀπό λίγα κιλοβολταμπέρ μέχρι καί ἐπάνω ἀπό 500.000 kVA.

Στήν πινακίδα του έναλλακτήρα έκτός από τήν όνομαστική ισχύ, τάση, ένταση, τό όνομα του κατασκευαστή, τόν αριθμό της κατασκευής, αναγράφονται καί τά ακόλουθα στοιχεία:

- α) 'Ο αριθμός των φάσεων του έναλλακτήρα.
- β) 'Η συχνότητα του ρεύματος σέ Hz.
- γ) Τό **όνομαστικό συνφ**, δηλαδή ό συντελεστής ισχύος γιά τόν όποιο έχει υπολογισθεί ή ισχύς της κινητήριας μηχανής. Ταυτόχρονα είναι καί ό μικρότερος συντελεστής ισχύος, μέ τόν όποιο, όταν εργάζεται ό έναλλακτήρας είναι βέβαιο ότι αποδίδει τήν όνομαστική ισχύ του (έδάφιο 2, παράγραφος 3.11).
- δ) 'Η σύγχρονη ταχύτητα περιστροφής σέ στρ/min.
- ε) 'Η έπιτρεπόμενη ένταση καί τάση διεγέρσεως γιά νά μήν έχομε υπερθέρμανση στού τύλιγμα διεγέρσεως.

Παράδειγμα πινακίδας ενός μικρού έναλλακτήρα αποτελεί τό σχήμα 3.14.

ΕΝΑΛΛΑΚΤΗΡΑΣ			
(Όνομα κατασκευαστή)			
ΤΥΠΟΣ	N°		
KVA 6,6	ΦΑΣΕΙΣ 3		
ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ 50 Hz	ΣΤΡ/MIN 1500		
ΤΑΣΗ 380 V	ΕΝΤΑΣΗ 10 A		
συν φ 0,8	ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΣΥΝΕΧΗΣ		
ΜΕΓΙΣΤΗ ΔΙΕΓΕΡΣΗ 110 V - 3,5 A			

Σχ. 3.14.

Πινακίδα έναλλακτήρα.

Αν στήν πινακίδα του έναλλακτήρα αναγράφεται λειτουργία διακοπτόμενη, τότε ό έναλλακτήρας δέν μπορεί νά φορτίζεται συνεχώς μέ τήν όνομαστική του ένταση. Στίς περιπτώσεις αυτές ή φόρτιση πρέπει νά γίνεται σύμφωνα μέ τίς οδηγίες του κατασκευαστή γιά νά μήν υπάρξει κίνδυνος καταστροφής του από υπερθέρμανση. Όταν δέν αναγράφεται τό είδος λειτουργίας επάνω στήν πινακίδα, τότε ή λειτουργία πρέπει νά θεωρείται συνεχής.

3.15 Απώλειες καί βαθμός αποδόσεως έναλλακτήρα.

Οί απώλειες των έναλλακτάρων πού λειτουργοῦν μέ σταθερή τάση καί σταθερή συχνότητα, δηλαδή μέ σταθερή ταχύτητα περιστροφής, όπως καί των γεννητριών συνεχούς ρεύματος (παράγρ. 2.8) διακρίνονται σέ:

- α) Απώλειες σταθερές, δηλαδή ανεξάρτητες από τό φορτίο του έναλλακτήρα καί β) απώλειες μεταβλητές, δηλαδή μεταβαλλόμενες μέ τό φορτίο.

Σταθερές απώλειες N_1 είναι και εδώ οι μηχανικές απώλειες και οι μαγνητικές απώλειες ή απώλειες σιδήρου. Οι τελευταίες διακρίνονται σε απώλειες υστερήσεως και απώλειες δινορρευμάτων. Στις σταθερές απώλειες προστίθενται επίσης και οι ηλεκτρικές απώλειες διεγέρσεως, οι οποίες είναι ίσες με τό γινόμενο της έντασεως διεγέρσεως I_δ επί την τάση διεγέρσεως U_δ .

Μεταβλητές απώλειες N_2 είναι μόνο οι ηλεκτρικές απώλειες ή απώλειες χαλκού του τυλίγματος του επαγωγικού τυμπάνου του έναλλακτήρα. Αν R είναι η ωμική αντίσταση ανά φάση του τυλίγματος του επαγωγικού τυμπάνου και I η ένταση φορτίσεως (γραμμής) τριφασικού έναλλακτήρα, τότε είναι εύκολο νά αποδειχθεί ότι τό N_2 γιά ζεύξη του έναλλακτήρα:

$$- \text{σέ άστέρα είναι: } N_2 = 3 \cdot R \cdot I^2$$

$$- \text{σέ τρίγωνο είναι: } N_2 = R \cdot I^2$$

Οί όλικές απώλειες $N_{\text{απ}}$ του έναλλακτήρα είναι:

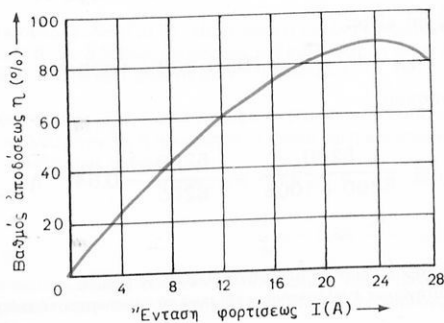
$$N_{\text{απ}} = N_1 + N_2$$

Ο βαθμός αποδόσεως του έναλλακτήρα είναι, κατά τά γνωστά, ό λόγος της πραγματικής ισχύος, την οποία αποδίδει, πρós την ισχύ, την οποία παίρνει από την κινητήρια μηχανή:

$$\eta = \frac{N}{N_{\text{εισ}}} = \frac{N}{N + N_{\text{απ}}}$$

Είναι αυτονόητο ότι στή σχέση αυτή, όπου τό η προκύπτει πάντοτε άριθμός μικρότερος του 1, όλες οι τιμές των ισχύων πρέπει νά παίρνονται μέ την ίδια μονάδα (βάττ ή κιλοβάττ).

Ο βαθμός αποδόσεως εξαρτάται από τό φορτίο του έναλλακτήρα. Η καμπύλη του σχήματος 3.15 δείχνει πώς μεταβάλλεται ό βαθμός αποδόσεως ενός έναλλα-



Σχ. 3.15.

Μεταβολή του βαθμού αποδόσεως έναλλακτήρα.

κτήρα, όταν μεταβάλλεται ή ένταση φορτίσεώς του μέ σταθερό συντελεστή ισχύος. Ο έναλλακτήρας έχει τό μεγαλύτερο βαθμό αποδόσεως, όταν ή ένταση φορτίσεως είναι περίπου ίση μέ την όνομαστική του ένταση και ό συντελεστής ισχύος του φορτίου ίσος μέ τό όνομαστικό συνφ. Αύτός ό βαθμός αποδόσεως

στούς μεγάλους έναλλακτήρες φθάνει τό 0,95, ένώ στούς μικρότερους είναι περίπου 0,85.

Παράδειγμα.

Νά υπολογισθεῖ ὁ βαθμός ἀποδόσεως στό ὀνομαστικό φορτίο τοῦ έναλλακτήρα, ὁ ὁποῖος ἔχει τήν πινακίδα τοῦ σχήματος 3.14, καί τοῦ ὁποῖου δίνεται τό ἄθροισμα τῶν μηχανικῶν καί μαγνητικῶν ἀπωλειῶν του ἴσο μέ 320 W. Ὁ έναλλακτήρας ἔχει σύνδεση τυλιγμάτων σέ ἀστέρα μέ ὠμική ἀντίσταση κάθε φάσεως ἴση μέ 1 Ω.

Λύση.

Ὁ βαθμός ἀποδόσεως θά υπολογισθεῖ ἀπό τή σχέση:

$$\eta = \frac{N}{N + N_{\text{απ}}}$$

Γιά τό ὀνομαστικό φορτίο ἔχομε:

$$N = \sqrt{3} \cdot U \cdot I \cdot \cos\phi = 1,73 \times 380 \times 10 \times 0,8 = 5259 \quad \eta \approx 5260 \text{ W}$$

Οἱ ηλεκτρικές ἀπώλειες τοῦ τυλιγματος διεγέρσεως εἶναι:

$$N_{\delta} = U_{\delta} \cdot I_{\delta} = 110 \times 3,5 = 385 \text{ W}$$

Ἄρα οἱ σταθερές ἀπώλειες θά εἶναι:

$$N_1 = 320 + 385 = 705 \text{ W}$$

Οἱ μεταβλητές ἀπώλειες γιά σύνδεση σέ ἀστέρα υπολογίζονται ἀπό τή σχέση:

$$N_2 = 3 \cdot R \cdot I^2 = 3 \times 1 \times 10^2 = 300 \text{ W}$$

Οἱ ὀλικές ἀπώλειες θά εἶναι:

$$N_{\text{απ}} = N_1 + N_2 = 705 + 300 = 1005 \text{ W}$$

καί ὁ βαθμός ἀποδόσεως:

$$\eta = \frac{N}{N + N_{\text{απ}}} = \frac{5260}{5260 + 1005} = \frac{5260}{6265} = 0,84 \quad \eta = 84\%$$

3.16 Ἑρωτήσεις.

1. Ποιά εἶναι τά κύρια χαρακτηριστικά τῶν συγχρόνων γεννητριῶν;
2. Ποιές εἶναι οἱ δύο κατηγορίες έναλλακτῆρων καί ποιά τά κύρια κατασκευαστικά χαρακτηριστικά κάθε είδους;
3. Σέ τί πλεονεκοῦν οἱ έναλλακτῆρες μέ έσωτερικούς πόλους σχετικά μέ τούς έναλλακτῆρες μέ έξωτερικούς πόλους;
4. Τί ὀνομάζομε στροβιλοεναλλακτῆρες καί σέ τί διαφέρουν κατασκευαστικά ἀπό τούς κοινούς έναλλακτῆρες μέ περιστρεφόμενους πόλους;
5. Ποιοί τρόποι ψύξεως χρησιμοποιοῦνται στούς έναλλακτῆρες;
6. Ποιά είναι ἡ μορφή τῆς ηλεκτρικῆς δυνάμεως πού δημιουργεῖται σέ ένα ἄγωγό τοῦ τυλιγματος τοῦ επαγωγικοῦ τυμπάνου; (Νά χαραχθεῖ ἡ καμπύλη). Σέ τί ὀφείλεται ἡ μορφή αὐτή;
7. Τί θά συμβεῖ καί γιατί ἂν ὁ ένας πόλος διπολικοῦ έναλλακτῆρα δέν ἔχει τοποθετηθεῖ καλά στή θέση του ἢ ἂν ἔχει λιγότερα ἄμπερελίγματα ἀπό τόν ἄλλο;

8. Στις γεννήτριες έναλλασσόμενου ρεύματος τί είναι γεωμετρική γωνία και τί ηλεκτρική γωνία; Ποιά σχέση τις συνδέει μεταξύ τους;
9. Τι ονομάζουμε σύγχρονη ταχύτητα και ποιά σχέση τή συνδέει με τή συχνότητα;
10. Πώς ονομάζεται ή καμπύλη, πού δίνει τή μεταβολή τής ηλεκτρεγερτικής δυνάμεως έναλλακτήρα, όταν μεταβάλλεται ή ένταση διεγέρσεως; (Νά χαραχθεί μιά παρόμοια καμπύλη). Από ποιά μέρη αποτελείται; Γιατί αν διπλασιάσαμε τό ρεύμα διεγέρσεως, δέν διπλασιάζεται ή ηλεκτρεγερτική δύναμη του έναλλακτήρα;
11. Τι ονομάζουμε διακύμανση τάσεως έναλλακτήρα και από ποιά σχέση δίνεται;
12. Ποιές είναι οι συνθηκές συγχρονισμού δύο έναλλακτῆρων; Μέ ποιά ὄργανα ἐλέγχονται και πώς;
13. Τι ονομάζουμε φωτεινή σύνδεση τῶν λαμπτήρων συγχρονισμού; Πώς γίνεται ή σχετική συνδεσμολογία τῶν λαμπτήρων;
14. Πώς γίνεται ή κατανομή τής πραγματικῆς και πώς τής ἀεργῆς ἰσχύος σέ δύο έναλλακτῆρες πού λειτουργοῦν παράλληλα σέ ζυγούς σταθερῆς τάσεως;
15. Ποιές ἐργασίες πρέπει νά γίνονιν γιά νά μπεῖ ἕνας έναλλακτῆρας σέ λειτουργία; (Νά γίνεῖ και ή σχετική συνδεσμολογία).
16. Ποιά σχέση δίνει τό βαθμό ἀποδόσεως έναλλακτῆρα σέ συνάρτηση μέ τήν ἀποδιδόμενη ἰσχύ και τήν ἰσχύ τῶν ἀπώλειων; Ἀπό ποιές ἐπί μέρους ἀπώλειες ἀποτελοῦνται οἱ συνολικές ἀπώλειες;

3.17 Προβλήματα και ἀσκήσεις.

1. Ἐξαπολικός έναλλακτῆρας περιστρέφεται μέ 1000 στρ/min. Ποιά είναι ή συχνότητα τής ηλεκτρεγερτικῆς δυνάμεως πού παράγεται; Μέ ποιά ταχύτητα πρέπει νά περιστρέφεται γιά νά εἶναι ή συχνότητα 60 Hz;
(**Ἀπάντ.**: 50 Hz, 1200 στρ/min)
2. Μονοφασικός ἑξαπολικός έναλλακτῆρας παράγει ρεύμα συχνότητας 50 Hz. Τό ἐπαγωγικό τύμπανο ἔχει 48 αὐλάκια μέ 2 ἀγωγούς σέ κάθε αὐλάκι. Ἡ χρήση μαγνητική ροή κάθε πόλου εἶναι 0,021 Vs. Ποιά εἶναι ή ηλεκτρεγερτική δύναμη του έναλλακτῆρα; (Νά ληφθεῖ $K = 2,05$).
(**Ἀπάντ.**: 207V)
3. Νά ὑπολογισθεῖ ή ἑκατοστιαία διακύμανση τάσεως του έναλλακτῆρα, ὁ ὁποῖος ἔχει χαρακτηριστικές φορτίου τῆς καμπύλες του σχήματος 3.11, γιά ἔνταση φορτίσεως 20 A μέ συνφ = 0,8 ἐπαγ., συνφ = 1 και συνφ = 0,8 χωρητικό.
(**Ἀπάντ.**: 27,8%, 5,5%, - 6%)
4. Ἐναλλακτῆρας 500 kVA τροφοδοτεῖ μέ τό πλήρες φορτίο του ἕνα καταναλωτή, του ὁποῖου ὁ συντελεστής ἰσχύος εἶναι 0,8. Ἄν ὁ βαθμός ἀποδόσεως του έναλλακτῆρα εἶναι τότε 0,85, νά ὑπολογισθεῖ ή ἰσχύς πού δίνει ή κινητήρια μηχανή στόν έναλλακτῆρα.
(**Ἀπάντ.**: 470 kW)
5. Τριφασικός έναλλακτῆρας τάσεως $U = 380$ V τροφοδοτεῖ μέ ἔνταση 60 A καταναλωτή μέ συντελεστή ἰσχύος συνφ = 0,85. Ζητεῖται ή πραγματική, ή ἀεργη και ή φαινόμενη ἰσχύς πού δίνει ὁ έναλλακτῆρας και οἱ μεταξύ τους σχέσεις.
(**Ἀπάντ.**: $N = 33,66$ kW, $N_b = 20,86$ kvar, $N_s = 39,6$ kVA,
$$\frac{N}{N_s} = 0,85, \quad \frac{N_b}{N_s} = 0,527, \quad \frac{N_b}{N} = 0,62$$
)
6. Ἐναλλακτῆρας δίνει φαινόμενη ἰσχύ 250 kVA σέ καταναλωτή, του ὁποῖου ὁ συντελεστής ἰσχύος εἶναι 0,8. Ὁ βαθμός ἀποδόσεως του έναλλακτῆρα εἶναι τότε 0,9. Νά ὑπολογισθοῦν οἱ ὁλικές ἀπώλειες του έναλλακτῆρα.
(**Ἀπάντ.**: 22 kW)
7. Τριφασικός έναλλακτῆρας 200 kVA, 2300 V, 50 Hz, μέ σύνδεση σέ ἀστέρα, τροφοδοτεῖ φορτίο μέ συνφ = 0,85. Τό τύλιγμα τής διεγέρσεως του ἀπορροφᾷ ἔνταση 160 A μέ τάση 250 V. Ἡ ὠμική ἀντίσταση κάθε φάσεως του τυλίγματος εἶναι 0,1 Ω. Ἄν οἱ σταθερές (μηχανικές και μαγνητικές) ἀπώλειες του έναλλακτῆρα εἶναι 33 kW, νά ὑπολογισθοῦν ή ἔνταση του ρεύματος του έναλλακτῆρα και ὁ βαθμός ἀποδόσεως του στό ὀνομαστικό φορτίο.
(**Ἀπάντ.**: 500A, 92%)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΕΤΑΡΤΟ

ΣΥΓΧΡΟΝΟΙ ΚΙΝΗΤΗΡΕΣ

4.1 Ἡ κατασκευή τῶν συγχρόνων κινητήρων.

Οἱ σύγχρονοι κινητήρες εἶναι μηχανές ὅμοιες στήν κατασκευή τους μέ τίς σύγχρονες γεννήτριες ἢ ἐναλλακτήρες. Ὄταν ἕνας ἐναλλακτήρας τροφοδοτηθεῖ μέ ἡλεκτρική ἐνέργεια ἀπό τό δίκτυο δίνει μηχανική ἐνέργεια στόν ἄξονά του, δηλαδή γίνεται σύγχρονος κινητήρας. Γιά τήν ἐκκίνηση ὅμως τοῦ σύγχρονου κινητήρα, ὅπως θά ἐξηγήσουμε σέ ἐπόμενη παράγραφο, πρέπει νά ληφθοῦν ὀρισμένα μέτρα, χωρίς τά ὁποῖα δέν εἶναι δυνατό νά ξεκινήσει.

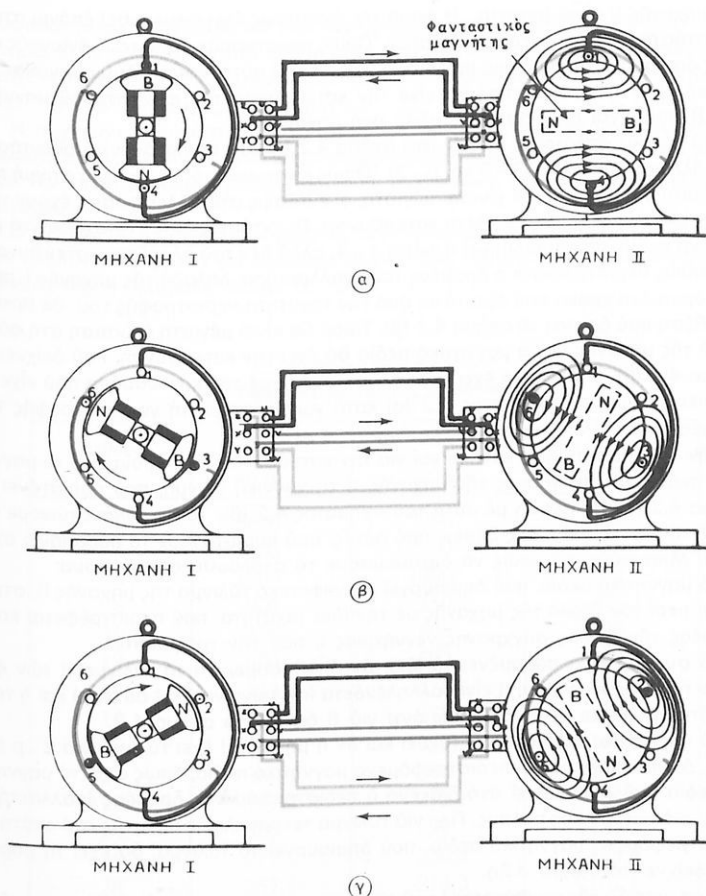
Ἡ περιγραφή τῆς κατασκευῆς τῶν ἐναλλακτῆρων (παράγρ. 3.2) ἰσχύει καί γιά τοὺς σύγχρονους κινητήρες. Συνεπῶς τό σχῆμα 3.2α εἶναι δυνατό νά παριστάνει ἐναλλακτήρα, ὅπως ἀναφέραμε ἐκεῖ, εἶναι δυνατόν ὅμως νά παριστάνει καί σύγχρονο κινητήρα.

Μονοφασικοί σύγχρονοι κινητήρες γιά βιομηχανική χρήση σπάνια κατασκευάζονται. Γιά τό λόγο αὐτό θά ἀσχοληθοῦμε μόνο μέ τοὺς τριφασικούς σύγχρονους κινητήρες. Πρὶν ἐξετάσουμε τήν ἀρχή τῆς λειτουργίας τῶν κινητῆρων αὐτῶν, θά δοῦμε πῶς δημιουργοῦνται **περιστρεφόμενα μαγνητικά πεδία** ἀπό τά πολυφασικά τυλίγματα τοῦ στάτη τῶν μηχανῶν ἐναλλασσόμενου ρεύματος. Τά περιστρεφόμενα μαγνητικά πεδία ἐξηγοῦν τή λειτουργία ὄχι μόνο τῶν συγχρόνων ἀλλά καί τῶν ἀσυγχρόνων κινητῆρων.

4.2 Περιστρεφόμενα μαγνητικά πεδία.

Ὄταν τροφοδοτήσουμε ἕνα διφασικό ἢ τριφασικό τύλιγμα τοῦ στάτη μιᾶς μηχανῆς ἐναλλασσόμενου ρεύματος μέ ρεῦμα ἀπό ἀντίστοιχο δίκτυο, θά δημιουργηθεῖ στό διάκενο τῆς μηχανῆς ἕνα μαγνητικό πεδίο, τό ὁποῖο θά περιστρέφεται περί τόν ἄξονά της. Τό πεδίο αὐτό μοιάζει μέ τό μαγνητικό πεδίο, πού δημιουργεῖ ὁ περιστρεφόμενος δρομέας ἐνός ἐναλλακτήρα μέ ἐσωτερικούς πόλους. Ἡ οὐσιαστική διαφορά στήν περίπτωση πού ἐξετάζουμε, εἶναι ὅτι τό περιστρεφόμενο μαγνητικό πεδίο δημιουργεῖται ἀπό τό ἀκίνητο πολυφασικό τύλιγμα τοῦ στάτη. Τά μονοφασικά τυλίγματα δέν μποροῦν νά δημιουργήσουν μόνα τους περιστρεφόμενα μαγνητικά πεδία.

Γιά νά ἐξηγήσουμε πῶς δημιουργεῖται τό περιστρεφόμενο μαγνητικό πεδίο, θά χρησιμοποιοῦμε τήν ἀπλή μηχανή, πού δείχνει τό σχῆμα 4.2 στό δεξιό μέρος (μηχανή II). Ἡ μηχανή αὐτή ἔχει μέσα σέ 6 αὐλάκια στό στάτη διπολικό τριφασικό τύλιγμα, δηλαδή τύλιγμα διπολικῆς τριφασικῆς μηχανῆς. Κάθε φάση τοῦ τυλίγματος



Σχ. 4.2.

Δημιουργία περιστρεφόμενου μαγνητικού πεδίου.

τος αποτελείται από μία ομάδα. Χάριν απλότητας δεχόμαστε επίσης ότι η μηχανή αυτή δεν έχει δρομέα και ότι το τύλιγμά της τροφοδοτείται με τριφασικό ρεύμα μέσω 6 αγωγών (δύο για κάθε φάση) από ένα διπολικό έναλλακτήρα τελείως όμοιο στην κατασκευή του τυλίγματος [μηχανή I στο σχήμα 4.2(α)]. Για τόν ίδιο λόγο δεχόμαστε, ότι η ένταση φορτίσεως του έναλλακτήρα είναι σε φάση με την αντίστοιχη ηλεκτρεγερτική δύναμη. Δηλαδή, όταν γίνεται μέγιστη ή ηλεκτρεγερτική δύναμη στο τύλιγμα μιας φάσεως του έναλλακτήρα, γίνεται μέγιστη και η ένταση στο τύλιγμα της αντίστοιχης φάσεως της μηχανής II.

Τή χρονική στιγμή που παριστάνει τό σχήμα 4.2 (α), η ένταση στή φάση 1 - 4

της μηχανής II είναι μέγιστη. Η φορά της έντασης έχει σημειωθεί επάνω στους αντίστοιχους άγωγούς του τυλίγματος. Όπως παρατηρούμε από τους άγωγούς αυτών δημιουργείται διπολικό μαγνητικό πεδίο όπως αυτό, που θα δημιουργούσε διπολικός μαγνήτης, ο οποίος θα είχε την κατεύθυνση του φανταστικού μαγνήτη $N - B$ που είναι σχεδιασμένος μέσα στη μηχανή II.

Γιά λόγους απλότητας επίσης στο σχήμα 4.2 (α) δέν παριστάνονται οι έντασεις στις άλλες δύο φάσεις (3 - 6 και 5 - 2). Όπως είναι γνωστό, τη χρονική στιγμή που η ένταση στη φάση 1 - 4 γίνεται μέγιστη, οι έντασεις στις άλλες φάσεις έχουν τιμή ή $\frac{1}{2}$ της μέγιστης και αντίθετη κατεύθυνση. Οι έντασεις αυτές ένισχύουν το μαγνητικό πεδίο, που δημιουργεί η φάση 1 - 4, αλλά δέν του αλλάζουν κατεύθυνση.

Καθώς περιστρέφεται ο δρομέας του έναλλακτήρα, δηλαδή της μηχανής I, μετά από όρισμένο χρόνο που εξαρτάται από την ταχύτητα περιστροφής του, θα βρεθεί στη θέση που δείχνει τό σχήμα 4.2 (β). Τώρα θα είναι μέγιστη η ένταση στη φάση 3 - 6 της μηχανής II. Τό μαγνητικό πεδίο θα έχει την κατεύθυνση, που δείχνει τό σχήμα 4.2 (β), δηλαδή θα έχει στραφεί σέ σχέση μέ την κατεύθυνση που είχε τη χρονική στιγμή τό σχήματος 4.2 (α) κατά γωνία ίση μέ τη γωνία στροφής του δρομέα του έναλλακτήρα.

Τήν ίδια παρατήρηση κάνομε καί γιά την κατεύθυνση, την όποία έχει τό μαγνητικό πεδίο του τυλίγματος της μηχανής II τη χρονική στιγμή, που παριστάνει τό σχήμα 4.2 (γ), σέ σχέση μέ αυτή του σχήματος 4.2 (β). Τό ίδιο διαπιστώνομε καί αν εξετάσομε ενδιάμεσες θέσεις από αυτές, που παριστάνουν τά παραπάνω σχήματα. Μπορούμε συνεπώς νά διατυπώσομε τό ακόλουθο συμπέρασμα:

Τό μαγνητικό πεδίο, που δημιουργεί τό τριφασικό τύλιγμα της μηχανής II, στρέφεται περί τόν άξονα της μηχανής μέ την ίδια ταχύτητα, που περιστρέφεται καί ο δρομέας της όμοιας σύγχρονης γεννήτριας I, που την τροφοδοτεί.

Τό συμπέρασμα παραμένει τό ίδιο, αν υποθέσομε, ότι τά τυλίγματα των φάσεων των μηχανών I καί II είναι άλληλένδετα (σέ τρίγωνο ή σέ άστέρα) καί η τροφοδότηση γίνεται μέ 3 άγωγούς αντί γιά 6 όπως στό σχήμα 4.2.

Τό παραπάνω συμπέρασμα ισχύει καί αν η μηχανή II έχει τύλιγμα γιά 2 . p πόλους. Δημιουργείται πάλι περιστρεφόμενο μαγνητικό πεδίο, όπως είναι τό μαγνητικό πεδίο που δημιουργεί στό διάκενο ο περιστρεφόμενος δρομέας έναλλακτήρα μέ 2 . p έσωτερικούς πόλους. Π.χ. γιά τύλιγμα τετραπολικής μηχανής στό στάτη τό περιστρεφόμενο μαγνητικό πεδίο, που δημιουργεί τό τύλιγμα, θα έχει τη μορφή που δείχνει τό σχήμα 3.2η.

Άρα, μεταξύ της συχνότητας f του ρεύματος, που τροφοδοτεί τό τύλιγμα, του άριθμού ζευγών των πόλων p του τυλίγματος καί της ταχύτητας περιστροφής του μαγνητικού πεδίου n_s θα ισχύει η ίδια σχέση, που δίνει τη σύγχρονη ταχύτητα ενός έναλλακτήρα (παράγρ. 3.5):

$$n_s = \frac{f}{p} \quad \text{σέ στρ/s} \quad \eta$$

$$n_s = \frac{60 \cdot f}{p} \quad \text{σέ στρ/min}$$

Η ταχύτητα αυτή, που ονομάζεται **σύγχρονη ταχύτητα του περιστρεφόμενου μαγνητικού πεδίου**, εξαρτάται μόνο από τη συχνότητα του ρεύματος του δικτύου

τροφοδοτήσεως και βέβαια και από τον αριθμό των πόλων του τυλίγματος του κινητήρα. Στην πραγματικότητα δηλαδή δεν έχει σημασία ο αριθμός των πόλων και η ταχύτητα περιστροφής του έναλλακτηρα, που τροφοδοτεί το δίκτυο, αλλά μόνο η συχνότητα του ρεύματος, που παράγει.

Η σύγχρονη ταχύτητα του περιστρεφόμενου μαγνητικού πεδίου έχει μεγάλη σημασία στους κινητήρες έναλλασσόμενου ρεύματος, γιατί, όπως θα δούμε, καθορίζει την ταχύτητα περιστροφής τόσο των συγχρόνων, όσο και των ασυγχρόνων κινητήρων.

Ο Πίνακας 4.2.1 δίνει τις σύγχρονες ταχύτητες των περιστρεφόμενων μαγνητικών πεδίων σε στρ/μιν για διάφορες συχνότητες του ρεύματος τροφοδοτήσεως και διάφορους αριθμούς πόλων ($2 \cdot p$).

ΠΙΝΑΚΑΣ 4.2.1.
Σύγχρονες ταχύτητες n_s σε στρ/μιν

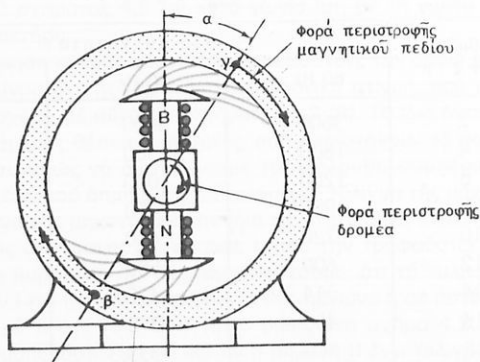
Αριθμός πόλων $2 \cdot p$	Για συχνότητα f		
	60 Hz	50 Hz	25 Hz
2	3600	3000	1500
4	1800	1500	750
6	1200	1000	500
8	900	750	375
10	720	600	300
12	600	500	250
14	514,2	428,6	214,3
16	450	375	187,5
18	400	333,3	166,6
20	360	300	150
22	327,2	272,7	136,3
24	300	250	125
26	277	230,8	115,4
28	257,1	214,3	107,1
30	240	200	100
32	225	187,5	93,7
34	212	176,5	88,2
36	200	166,6	83,3
38	189,5	157,9	78,9
40	180	150	75

Η φορά περιστροφής του μαγνητικού πεδίου αλλάζει όταν αντιμεταθέσουμε τη σύνδεση με τους άκροδέκτες του τυλίγματος σε δύο από τους τρεις τροφοδοτι-

κούς άγωγούς. Χρήση αυτού γίνεται, όπως θά δοϋμε, όταν θέλομε νά αλλάξομε τή φορά περιστροφής τών συγχρόνων καί άσυγχρόνων τριφασικών κινητήρων.

4.3 Ἡ άρχή λειτουργίας τών συγχρόνων τριφασικών κινητήρων.

Γιά νά εξηγήσομε τήν άρχή λειτουργίας τών κινητήρων αϋτών θά χρησιμοποιήσομε τό σχήμα 4.3, στό όποίο παριστάνεται ἕνας διπολικός σύγχρονος κινητήρας μέ άπλοποιημένη μορφή. Στό σχήμα δέν ἔχει σχεδιασθεῖ τό τύλιγμα τοῦ στάτη, δε-χόμαστε ὅμως ὅτι τό τύλιγμα αϋτό τροφοδοτεῖται μέ τριφασικό ρεύμα καί ὅτι συνεπῶς δημιουργεῖ ἕνα διπολικό μαγνητικό πεδίο. Γιά άπλότητα τό παριστάνομε στό σχήμα μέ τούς δύο (φανταστικούς) πόλους ν καί β , οἱ όποιοί περιστρέφονται, σύμφωνα μέ ὅσα ἀναφέραμε στήν προηγούμενη παράγραφο, μέ τή σύγχρονη ταχύτητα τοῦ μαγνητικοῦ πεδίου κατά τή φορά πού δείχνουν τά τόξα στό σχήμα.



Σχ. 4.3.

Δεχόμαστε επίσης, ὅτι ὁ δρομέας τοῦ σύγχρονου κινητήρα περιστρέφεται καί αϋτός μέ τή σύγχρονη ταχύτητα κατά τήν ἴδια φορά μέ τό μαγνητικό πεδίο. Τά τυλίγματα τοῦ δρομέα τροφοδοτοῦνται μέ συνεχές ρεύμα καί συνεπῶς δημιουργοῦν τούς δύο (πραγματικούς) μαγνητικούς πόλους B καί N.

Μέ τίς παραπάνω παραδοχές εἶναι εύκολο νά ἀντιληφθοῦμε, ὅτι οἱ περιστρεφόμενοι πόλοι ν καί β τοῦ μαγνητικοῦ πεδίου τοῦ τυλίγματος ασκοῦν ἑλκτικές δυνάμεις στούς ἑτερώνυμους πόλους B καί N τοῦ δρομέα, πού περιστρέφονται καί αϋτοῖ μέ τήν ἴδια ταχύτητα. Οἱ ἑλκτικές αϋτές δυνάμεις ἔχουν σημειωθεῖ παραστατικά στό σχήμα 4.3 μέ γαλάζιες γραμμές. Οἱ ἑφαπτομενικές συνιστώσες (κάθετες πρὸς τόν άξονα B - N τῶν πόλων) τῶν δυνάμεων αϋτῶν ασκοῦν ροπή στό δρομέα, ὁ όποῖος μπορεῖ ἔτσι νά κινήσει τό φορτίο πού ἔχει στόν άξονά του.

Ἄν δεχθοῦμε ὅτι εἶναι άμελητέα ἡ ὠμική ἀντίσταση τοῦ τυλίγματος τοῦ στάτη, δηλαδή ὅτι τό τύλιγμα αϋτό ἔχει άμελητέες ἠλεκτρικές ἀπώλειες, εἶναι εύκολο νά ὑπολογίσομε τή ροπή T, τήν όποία τό περιστρεφόμενο μαγνητικό πεδίο άσκει στό

δρομέα. Η πραγματική ισχύς, τήν οποία ο κινητήρας απορροφά από τό τριφασικό δίκτυο, είναι:

$$N_1 = \sqrt{3} \cdot U \cdot I \cdot \cos\phi$$

Η ισχύς αυτή μεταβιβάζεται όλη (άφου άμελήσαμε τίς ήλεκτρικές άπώλειες) στό δρομέα μέσω τών ήλεκτρομαγνητικών δυνάμεων ως μηχανική ισχύς, ή οποία όπως γνωρίζομε, είναι ίση μέ $2 \cdot \pi \cdot n_s \cdot T$.

Άρα:

$$N_1 = \sqrt{3} \cdot U \cdot I \cdot \cos\phi = 2 \cdot \pi \cdot n_s \cdot T \quad \eta$$

$$T = \frac{N_1}{2 \cdot \pi \cdot n_s} = \frac{\sqrt{3} \cdot U \cdot I \cdot \cos\phi}{2 \cdot \pi \cdot n_s} \text{ σε Nm}$$

όπου: N_1 είναι ή πραγματική ισχύς σε W πού απορροφά ο κινητήρας, U ή πολική τάση σε V του δικτύου, I ή ένταση γραμμής σε A πού απορροφά ο κινητήρας, $\cos\phi$ ο συντελεστής ισχύος του κινητήρα καί n_s ή σύγχρονη ταχύτητα του κινητήρα σε στρ/s.

Άπό τή ροπή αυτή μικρό μέρος ξοδεύεται για τήν υπερνίκηση τών μηχανικών καί τών μαγνητικών άπωλειών του δρομέα καί τό υπόλοιπο κινεί τό φορτίο, πού είναι στον άξονα του κινητήρα.

Όταν τό φορτίο είναι μηδενικό, οι άξονες τών πόλων α , β καί B , N σχεδόν συμπίπτουν. Δηλαδή ή γωνία α του σχήματος 4.3 γίνεται πολύ μικρή γιατί οι έφαπτομενικές συνιστώσες τών έλκτικών δυνάμεων έχουν νά υπερνικήσουν μόνο τίς μηχανικές καί μαγνητικές άπώλειες του κινητήρα.

Όταν τό φορτίο του κινητήρα αύξηθει, ο δρομέας καθυστερεί για λίγο, ώστε νά αύξηθει ή γωνία α . Η γωνία αυτή δέν πρέπει νά υπερβεί τό μισό τής γωνιακής άποστάσεως μεταξύ δύο διαδοχικών πόλων α καί β (τίς 90° στην περίπτωση του σχήματος 4.3), όποτε γίνεται μέγιστη ή ροπή του κινητήρα. Άν ή γωνία αυτή γίνει μεγαλύτερη, λόγω αύξήσεως του φορτίου πέρα από ένα όριο, ή περιστροφή του δρομέα του σύγχρονου κινητήρα δέν είναι πιά δυνατή. Ο δρομέας **άπαγκιστρώνεται** από τό περιστρεφόμενο μαγνητικό πεδίο καί σταματά άπότομα.

Δηλαδή οι σύγχρονοι κινητήρες δέν είναι δυνατό νά λειτουργήσουν παρά μόνο άν περιστρέφονται μέ ταχύτητα ακριβώς ίση μέ τή σύγχρονη ταχύτητα. Άρα ή ταχύτητα περιστροφής ενός σύγχρονου κινητήρα δίνεται από τήν ίδια σχέση, πού δίνει τή σύγχρονη ταχύτητα του περιστρεφόμενου μαγνητικού πεδίου (παράγρ. 4.2).

Τό συμπέρασμα αυτό έξηγει έπίσης καί τό γιατί οι σύγχρονοι κινητήρες δέν μπορούν νά ξεκινήσουν μόνοι τους. Όταν στην έκκίνηση κλείσομε τό διακόπτη, ο όποιος τροφοδοτεί τό τύλιγμα του κινητήρα μέ έναλλασσόμενο ρεύμα, δημιουργείται άμέσως τό περιστρεφόμενο μαγνητικό πεδίο. Ο δρομέας όμως του κινητήρα δέν είναι δυνατό, λόγω τών δυνάμεων τής αδράνειας, νά άποκτήσει καί αυτός άμέσως τή σύγχρονη ταχύτητα. Θά πρέπει δηλαδή ο κινητήρας νά λειτουργήσει στην έκκίνηση για όρισμένο χρονικό διάστημα μέ ταχύτητα διαφορετική από τή σύγχρονη ταχύτητα. Αυτό όμως, όπως είδαμε, είναι άδύνατο για τούς σύγχρονους κινητήρες.

Κατά τή λειτουργία τοῦ σύγχρονου κινητήρα ἡ φορά περιστροφῆς εἶναι ἡ ἴδια μέ τή φορά περιστροφῆς τοῦ μαγνητικοῦ πεδίου. Ἄρα γιά νά ἀλλάξουμε τή φορά περιστροφῆς τοῦ κινητήρα, πρέπει νά ἀλλάξουμε τή φορά περιστροφῆς τοῦ μαγνητικοῦ πεδίου. Στήν παράγραφο 4.2 ἀναφέρομε μέ ποιά μεταβολή στή σύνδεση τῶν τροφοδοτικῶν ἀγωγῶν τό πετυχαίνομε.

4.4 Ἐκκίνηση τῶν συγχρόνων κινητήρων.

Γιά τήν ἐκκίνησή τους οἱ σύγχρονοι κινητήρες ἔχουν ἀνάγκη ἀπό ἕνα ἐξωτερικό μέσο, π.χ. ἀπό ἕνα μικρό βοηθητικό ἀσύγχρονο κινητήρα, γιά νά τοὺς θέσουμε προοδευτικά σέ κίνηση καί νά τοὺς φέρομε στή σύγχρονη ταχύτητα. Ἐπειδὴ ὁ βοηθητικός αὐτός κινητήρας ἔχει μικρή ἰσχύ, πρέπει ἡ ἐκκίνηση νά γίνεται χωρὶς φορτίο στὸν ἀξονα τοῦ σύγχρονου κινητήρα.

Ὅταν ὁ σύγχρονος κινητήρας φθάσει στή σύγχρονη ταχύτητα, τροφοδοτοῦμε τή διεγέρσή του μέ συνεχές ρεῦμα. Τώρα ὁ σύγχρονος κινητήρας συμπεριφέρεται σάν ἐναλλακτήρας, ἀφοῦ κινεῖται ἀκόμη ἀπὸ τό βοηθητικό κινητήρα. Γιά νά τὸν συνδέσουμε λοιπὸν στὸ δίκτυο ἐναλλασσόμενου ρεύματος, δηλαδή γιά νά τροφοδοτήσουμε τό τύλιγμα τοῦ στάτη, πρέπει πρῶτα νά τὸν συγχρονίσουμε μέ τό δίκτυο, ὅπως ἀκριβῶς κάνομε μέ τοὺς ἐναλλακτήρες (παράγρ. 3.13). Ἔτσι οἱ ἐγκαταστάσεις τῶν συγχρόνων κινητήρων περιλαμβάνουν καί τὰ ἀπαιτούμενα γιά τό συγχρονισμό ὄργανα.

Μετὰ τό συγχρονισμό διακόπτομε τήν τροφοδότηση τοῦ βοηθητικοῦ κινητήρα, πού χρησιμοποιοῦσαμε γιά τήν ἐκκίνηση καί ἂν ὑπάρχει κατάλληλη διάταξη τὸν ἀποσπλέκομε ἀπὸ τὸν ἀξονα τοῦ σύγχρονου κινητήρα. Εἶναι φανερό ὅτι ὁ βοηθητικός κινητήρας, πρέπει νά ἔχει τέτοια ταχύτητα περιστροφῆς, ὥστε νά μπορεῖ νά δίνει τή σύγχρονη ταχύτητα στὸ σύγχρονο κινητήρα.

Ὅταν ὁ σύγχρονος κινητήρας χρησιμεύει γιά νά κινεῖ γεννήτρια συνεχοῦς ρεύματος, ἄλλος τρόπος γιά νά τὸν βάλομε σέ κίνηση εἶναι νά μετατρέπομε στήν ἐκκίνηση τή γεννήτρια συνεχοῦς ρεύματος σέ κινητήρια. Αὐτό βεβαίως προϋποθέτει ὅτι διαθέτομε κατάλληλη πηγή συνεχοῦς ρεύματος.

Τέλος, ἄλλος τρόπος εἶναι νά γίνει ἡ ἐκκίνηση τοῦ σύγχρονου κινητήρα σάν ἀσύγχρονο. Στήν περίπτωση αὕτῃ ὁ κινητήρας ἔχει ἀπὸ τήν κατασκευὴ του στά πέδιλα τῶν μαγνητικῶν πόλων ἕνα τύλιγμα κλωβοῦ, ὅπως αὐτό πού, ὅπως θά δοῦμε, ἔχουν οἱ ἀσύγχρονοι κινητήρες μέ βραχυκυκλωμένο δρομέα. Ἡ ἐκκίνηση τοῦ σύγχρονου κινητήρα γίνεται τώρα μέ ἕνα ἀπὸ τοὺς τρόπους, μέ τοὺς ὁποίους ἐκκινοῦν οἱ ἀσύγχρονοι κινητήρες (θὰ τοὺς περιγράψομε στὸ ἐπόμενο κεφάλαιο) καί χωρὶς νά τροφοδοτεῖται ἡ διεγέρσή του μέ συνεχές ρεῦμα. Μὲ τὸν τρόπο αὐτό ἡ ταχύτητα περιστροφῆς τοῦ σύγχρονου κινητήρα φθάνει σέ μία τιμὴ 2 ὡς 5% μικρότερη τῆς σύγχρονης. Τότε κλείνομε τό κύκλωμα, πού τροφοδοτεῖ τό τύλιγμα τῆς διεγέρσεως μέ συνεχές ρεῦμα καί ὁ κινητήρας αὐτοσυγχρονίζεται, ὁπότε περιστρέφεται πιά μέ τό σύγχρονο ἀριθμὸ τροφῶν. Ἡ μέθοδος αὕτῃ τῆς ἐκκίνησης τῶν συγχρόνων κινητήρων ἐφαρμόζεται σήμερα πολὺ, γιατί ἔχει τό πλεονέκτημα ὅτι δέν χρειάζεται βοηθητικό κινητήρα οὔτε πηγή συνεχοῦς ρεύματος. Ἐπίσης ἀποφεύγεται μέ αὕτῃ ἡ διαδικασία τοῦ συγχρονισμοῦ καί τὰ ὄργανα πού ἀπαιτοῦν-

Όταν ο σύγχρονος κινητήρας φορτισθεί και λειτουργεί με σταθερό φορτίο, πά-
λι ή ένταση, πού απορροφά από το δίκτυο εξαρτάται από τη διέγερση, όπως γίνεται
και στη λειτουργία χωρίς φορτίο. Δηλαδή για κάθε φορτίο έχουμε μία καμπύλη σχή-
ματος V. Το σχήμα 4.5 δείχνει τις καμπύλες αυτές για το $1/2$ του ονομαστικού φορ-
τίου και για το πλήρες φορτίο.

Για κάθε καμπύλη V υπάρχει μία κανονική ένταση διεγέρσεως, για την οποία η
ένταση φορτίσεως γίνεται ελάχιστη και το συνφ του κινητήρα ίσο με τη μονάδα.
Δηλαδή ο κινητήρας τότε φορτίζει το δίκτυο ωμικά. Τα σημεία, πού παριστάνουν
τη λειτουργία του κινητήρα με $\text{synf} = 1$ για τα διάφορα φορτία βρίσκονται σε μία
καμπύλη (γαλάζια στο σχήμα 4.5). Δεξιά της καμπύλης αυτής ο σύγχρονος κινητή-
ρας βρίσκεται σε υπερδιέγερση και άριστερά σε υποδιέγερση.

Όταν ένας σύγχρονος κινητήρας υποδιεγείρεται, η ένταση πού απορροφά από
το δίκτυο υστερεί ως προς την τάση του δικτύου, δηλαδή ο κινητήρας φορτίζει το
δίκτυο επαγωγικά. Η ένταση αυτή για όρισμένο φορτίο είναι τόσο μεγαλύτερη,
όσο η υποδιέγερση είναι μεγαλύτερη. Αντίστοιχα ελαττώνεται και το συνφ του κι-
νητήρα.

Όταν ένας σύγχρονος κινητήρας υπερδιεγείρεται, η ένταση πού απορροφά
προπορεύεται της τάσεως και ο κινητήρας φορτίζει το δίκτυο χωρητικά. Η ένταση
αυτή για όρισμένο φορτίο είναι τόσο μεγαλύτερη, όσο μεγαλύτερη είναι η υπερ-
διέγερση του κινητήρα. Επίσης όσο μεγαλώνει η υπερδιέγερση, τόσο ελαττώνεται
το (χωρητικό) συνφ, με το οποίο ο σύγχρονος κινητήρας φορτίζει το δίκτυο.

4.6 Πού χρησιμοποιούνται οι σύγχρονοι κινητήρες.

Οι σύγχρονοι κινητήρες είναι ακριβοί κινητήρες σε σύγκριση με τους ασύγχρο-
νους. Έχουν όμως όρισμένες ιδιότητες για τις οποίες προτιμούνται σε ειδικές περι-
πτώσεις. Οι σύγχρονοι κινητήρες πού χρησιμοποιούνται στη βιομηχανία είναι συ-
νήθως πάνω από 100 kW.

Οι κινητήρες αυτοί προτιμούνται, όταν χρειαζόμαστε απόλυτα σταθερή ταχύτη-
τα περιστροφής, σε συνδυασμό με μεγάλο βαθμό απόδοσεως. Σάν παραδείγματα
εφαρμογών αναφέρομε την κίνηση έναλλακτρήρων, πού παράγουν ρεύμα συχνότη-
τας διαφορετικής από τη συχνότητα του δικτύου, την κίνηση ελάστρων, την κίνηση
όρισμένων μεγάλων φυγοκεντρικών άντλων, συμπιεστών κλπ.

Άλλο πεδίο εφαρμογής των συγχρόνων κινητήρων είναι η βελτίωση του συντε-
λεστή ισχύος μιάς εγκαταστάσεως ή γενικότερα ενός δικτύου. Στις περιπτώσεις
αυτές ο σύγχρονος κινητήρας είναι δυνατό να κινεί φορτίο (μηχάνημα) και να βελ-
τιώνει ταυτόχρονα το συντελεστή ισχύος της εγκαταστάσεως, ή να χρησιμοποιεί-
ται μόνο για τη βελτίωση του συντελεστή ισχύος, χωρίς να κινεί μηχάνημα. Στην
τελευταία περίπτωση ονομάζεται **σύγχρονος πυκνωτής** ή **σύγχρονος άντισταθμι-
στής**. Για τη διόρθωση του συντελεστή ισχύος γίνεται εκμετάλλευση της ιδιότητας
πού έχουν οι σύγχρονοι κινητήρες να φορτίζουν το δίκτυο χωρητικά, όταν υπερ-
διεγείρονται, όπως εξηγήσαμε στην προηγούμενη παράγραφο.

Παράδειγμα.

Ένα έργοστάσιο απορροφά ισχύ $N_{\text{εργ}} = 500 \text{ kW}$ με $\text{synf} = 0,7$. Για την

κίνηση ενός νέου μηχανήματος, πού χρειάζεται ισχύ $N_{\mu} = 200 \text{ kW}$ θά χρησιμοποιηθεί σύγχρονος κινητήρας με βαθμό αποδόσεως $\eta_{\kappa} = 0,9$. Ποιό πρέπει νά είναι τό μέγεθος του σύγχρονου κινητήρα γιά νά μπορεί νά βελτιώνει τό συντελεστή ισχύος ὅλης τῆς ἐγκαταστάσεως σέ $\text{συν}\phi_{\text{ολ}} = 0,92$;

Λύση.

Ἡ φαινόμενη ισχύς $N_{\text{σεργ}}$ τοῦ ἐργοστασίου πρίν ἀπό τήν τοποθέτηση τοῦ σύγχρονου κινητήρα εἶναι:

$$N_{\text{σεργ}} = \frac{N_{\text{εργ}}}{\text{συν}\phi} = \frac{500}{0,7} = 714 \text{ kVA}$$

Ὅμοια ἡ ἄεργος ισχύς (ἐπαγωγική) εἶναι:

$$N_{\text{bεργ}} = \sqrt{N_{\text{σεργ}}^2 - N_{\text{εργ}}^2} = \sqrt{714^2 - 500^2} = 510 \text{ kvar}$$

Γιά τήν καλύτερη κατανόηση τῆς λύσεως κάνομε τό διανυσματικό διάγραμμα τῶν ισχύων, ὅπως φαίνεται στό σχῆμα 4.6 (κατά τά γνωστά ἀπό τήν Ἡλεκτροτεχνία).

Ὁ σύγχρονος κινητήρας θά ἀπορροφᾷ ἀπό τό δίκτυο πραγματική ισχύ:

$$N_{\kappa} = \frac{N_{\mu}}{\eta_{\kappa}} = \frac{200}{0,9} = 222 \text{ kW}$$

Ἀρα ἡ ὅλική πραγματική ισχύς τοῦ ἐργοστασίου μετὰ ἀπό τήν τοποθέτηση τοῦ σύγχρονου κινητήρα θά εἶναι:

$$N_{\text{ολ}} = N_{\text{εργ}} + N_{\kappa} = 500 + 222 = 722 \text{ kW}$$

Ἐπειδή θέλομε ἡ ὅλη ἐγκατάσταση νά ἔχει $\text{συν}\phi_{\text{ολ}} = 0,92$, θά εἶναι:

$$N_{\text{soλ}} = \frac{N_{\text{ολ}}}{\text{συν}\phi_{\text{ολ}}} = \frac{722}{0,92} = 785 \text{ kVA} \quad \text{καί}$$

$$N_{\text{bολ}} = \sqrt{N_{\text{soλ}}^2 - N_{\text{ολ}}^2} = \sqrt{785^2 - 722^2} = 308 \text{ kvar}$$

Στό σχῆμα 4.6 κατασκευάζομε ἐπίσης τό διανυσματικό διάγραμμα τῶν ισχύων στήν τελική κατάσταση τοῦ ἐργοστασίου. Τό διανυσματικό διάγραμμα τῶν ισχύων τοῦ σύγχρονου κινητήρα εἶναι δυνατό νά κατασκευασθεῖ στό ἴδιο σχῆμα, ἀφοῦ γνωρίζομε ὅτι ὁ κινητήρας πρέπει νά φορτίζει τό δίκτυο χωρητικά γιά νά βελτιώνει τό $\text{συν}\phi$. Ἐπίσης γνωρίζομε τό $N_{\kappa} = 222 \text{ kW}$ καί τό

$$N_{\text{bκ}} = N_{\text{bεργ}} - N_{\text{bολ}} = 510 - 308 = 202 \text{ kvar}$$

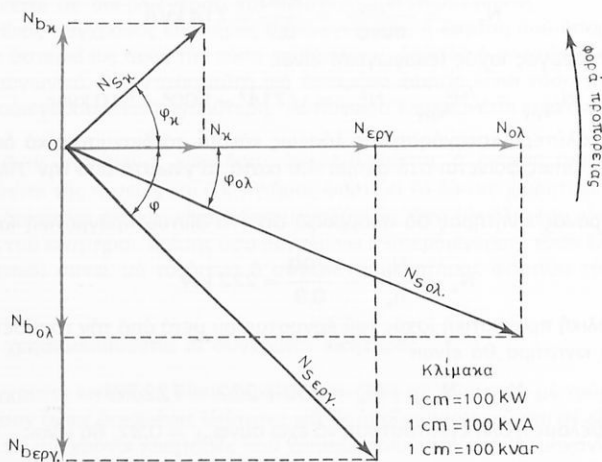
Ἡ φαινόμενη ισχύς πού πρέπει νά ἔχει ὁ σύγχρονος κινητήρας προκύπτει ἀπό τή σχέση:

$$N_{\text{σκ}} = \sqrt{N_{\kappa}^2 + N_{\text{bκ}}^2} = \sqrt{222^2 + 202^2} = 300 \text{ kVA}$$

Γιά νά ἔχει ὅλη ἡ ἐγκατάσταση $\text{συν}\phi_{\text{ολ}} = 0,92$, ὁ σύγχρονος κινητήρας πρέπει νά λειτουργεῖ μέ:

$$\text{συν}\phi_k = \frac{N_k}{N_{S_k}} = \frac{222}{300} = 0,74$$

Στή λύση του παραδείγματος τό διανυσματικό διάγραμμα τῶν ισχύων χρησιμοποιήθηκε ἐπεξηγηματικά, εἶναι δυνατόν ὁμως, κατά τά γνωστά ἀπό τήν Ἑλεκτροτεχνία, ὅταν σχεδιαστῇ ὑπό κλίμακα, ὅπως στό σχῆμα 4.6, νά δώσει τή ζητούμενη ἀπάντηση, χωρίς νά χρειάζεται νά γίνουν ὅλες οἱ παραπάνω πράξεις.



Σχ. 4.6.

4.7 Ἑρωτήσεις.

1. Ἀπό ποιά κύρια μέρη ἀποτελεῖται ὁ σύγχρονος κινητήρας;
2. Τί μαγνητικό πεδίο δημιουργεῖ ἕνα τριφασικό τύλιγμα στάτη μέ ρ ζεύγη πόλων, ὅταν τροφοδοτεῖται ἀπό τριφασικό δίκτυο;
3. Ἀπό ποιά σχέση δίνεται ἡ ταχύτητα περιστροφῆς σύγχρονου κινητήρα σέ στρ/μιν;
4. Ἀπό τί καθορίζεται καί πῶς ἀλλάζει ἡ φορὰ περιστροφῆς τῶν συγχρόνων τριφασικῶν κινητήρων;
5. Στή λειτουργία χωρίς φορτίο ἑνός σύγχρονου κινητήρα τό περιστρεφόμενο μαγνητικό πεδίο τοῦ στάτη ἀσκεῖ ροπή στό δρομέα καί γιατί; Ἀπό ποιά σχέση δίνεται ἡ ροπή, ἂν N_{10} εἶναι ἡ πραγματική ἰσχύς πού ἀπορροφᾷ ὁ κινητήρας ἀπό τό δίκτυο στή λειτουργία χωρίς φορτίο;
6. Γιατί οἱ σύγχρονοι κινητήρες δέν ἐκκινοῦν μόνοι τους; Νά ἐξηγήσετε τό φαινόμενο καί νά ἀναφέρετε τούς τρόπους ἐκκινήσεως πού χρησιμοποιοῦνται.
7. Τί εἶναι καμπύλες V τῶν συγχρόνων τριφασικῶν κινητήρων καί ποιά τά συμπεράσματά ἀπό τή μελέτη τους;
8. Γιατί ὁ σύγχρονος κινητήρας εἶναι δυνατό νά χρησιμοποιηθεῖ γιά τή βελτίωση τοῦ συντελεστή ἰσχύος μιάς ἐγκαταστάσεως;

4.8 Προβλήματα καί ασκήσεις.

1. Σύγχρονος τετραπολικός τριφασικός κινητήρας τροφοδοτείται από δίκτυο τάσεως 380 V καί συχνότητας 50 Hz. "Αν ο κινητήρας απορροφά από τό δίκτυο ισχύ 40 kW μέ συνφ = 1, νά προσδιορισθούν: 1) "Η ταχύτητα περιστροφής του κινητήρα. 2) "Η ροπή πού ασκείται στό δρομέα, αν ή ωμική αντίσταση του τυλίγματος του στάτη είναι άμελητέα καί 3) ή ένταση ρεύματος, πού απορροφά ο κινητήρας από τό δίκτυο.

(**Απάντ.:** 1) 25 στρ/s, 2) 225 Nm, 3) 61 A)

2. Τό όλιο φορτίο ενός έργοστασίου είναι 420 kW μέ συνφ = 0,6. Πρόκειται νά εγκατασταθεί πρόσθετη ισχύς 250 HP καί αποφασίζεται γι' αυτό ή εγκατάσταση ενός σύγχρονου κινητήρα, γιά νά γίνεται ταυτόχρονα καί βελτίωση του συντελεστή ισχύος της εγκατάστασεως. "Αν ο συντελεστής ισχύος του έργοστασίου πρόκειται νά βελτιωθεί σέ 0,9, ζητείται νά βρεθεί μέ ποιό συνφ θά πρέπει νά λειτουργεί ο σύγχρονος κινητήρας. Δίνεται βαθμός αποδόσεως του σύγχρονου κινητήρα $\eta = 0,92$. (Τό πρόβλημα νά λυθεί γραφικά καί αναλυτικά).

(**Απάντ.:** συνφ = 0,61)

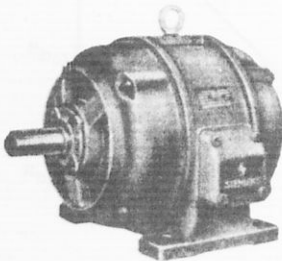
ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΠΕΜΠΤΟ

ΑΣΥΓΧΡΟΝΟΙ ΤΡΙΦΑΣΙΚΟΙ ΚΙΝΗΤΗΡΕΣ

5.1 Γενικά.

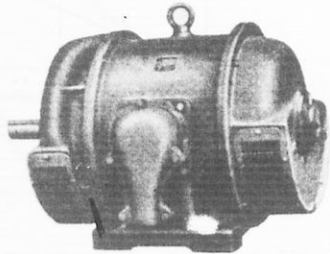
Οι *ασύγχρονοι κινητήρες*, που ονομάζονται και *έπαγωγικοί κινητήρες*, διακρίνονται σε μονοφασικούς και τριφασικούς. Στο κεφάλαιο αυτό θα εξετάσουμε τους τριφασικούς ασύγχρονους κινητήρες, ενώ με τους μονοφασικούς θα ασχοληθούμε στο επόμενο κεφάλαιο.

Οι ασύγχρονοι τριφασικοί κινητήρες υποδιαιρούνται σε δύο κύριες κατηγορίες: τους *κινητήρες με βραχυκυκλωμένο δρομέα* (σχ. 5.1α) και τους *κινητήρες με δακτύλιους* (σχ. 5.1β).



Σχ. 5.1β.

Κινητήρας με δακτύλιους.



Σχ. 5.1α.

Κινητήρας με βραχυκυκλωμένο δρομέα.

Οι ασύγχρονοι κινητήρες είναι κινητήρες γενικής χρήσεως. Δηλαδή χρησιμοποιούνται σε κάθε περίπτωση, όπου ειδικές απαιτήσεις δεν επιβάλλουν τη χρησιμοποίηση άλλου τύπου κινητήρα. Οι κινητήρες αυτοί και ιδίως οι κινητήρες με βραχυκυκλωμένο δρομέα, επιβλήθηκαν γιατί είναι απλοί στην κατασκευή τους και συνεπώς οικονομικοί, εύκολοι στη συντήρησή τους, ασφαλείς στη λειτουργία και έχουν καλό βαθμό απόδοσης.

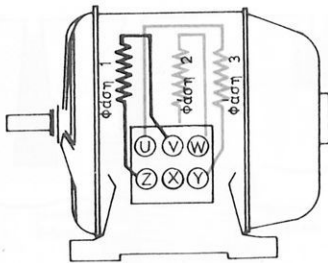
5.2 Η κατασκευή των ασυγχρόνων τριφασικών κινητήρων.

1) Ο στάτης.

Η κατασκευή του στάτη των κινητήρων με βραχυκυκλωμένο δρομέα και των

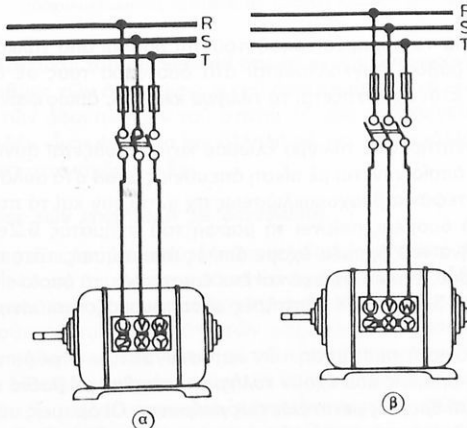
κινητήρων με δακτύλιους είναι όμοια με την κατασκευή του στάτη των συγχρόνων κινητήρων με έσωτερικούς πόλους. Διαφορά είναι δυνατό να υπάρχει στη διαμόρφωση του κελύφους, τό οποίο προσαρμόζεται στις συνθήκες κάτω από τις οποίες πρόκειται να εργασθεί ο ασύγχρονος κινητήρας. Μέσα στο κέλυφος είναι τοποθετημένος ο πυρήνας του τυμπάνου, που κατασκευάζεται από πολλά μαγνητικά ελάσματα. Στά αυλάκια του τυμπάνου τοποθετείται τριφασικό τύλιγμα, όπως αυτά που αναφέραμε στις σύγχρονες μηχανές και που θα περιγράψουμε καλύτερα σε επόμενο κεφάλαιο.

Τα έξι άκρα των τριών φάσεων του τυλίγματος καταλήγουν στους έξι ακροδέκτες του κινητήρα, όπως φαίνεται παραστατικά στο σχήμα 5.2α. Η σύνδεση των τριών φάσεων του στάτη σε τρίγωνο ή σε άστέρα γίνεται είτε με όρειχάλκινα λαμάκια, τά όποια τοποθετούνται μεταξύ των ακροδεκτών (σχ. 5.2β), είτε με κατάλληλους διακόπτες, όπως θα δούμε σε επόμενη παράγραφο.



Σχ. 5.2α.

Τύλιγμα στάτη ασύγχρονου τριφασικού κινητήρα.



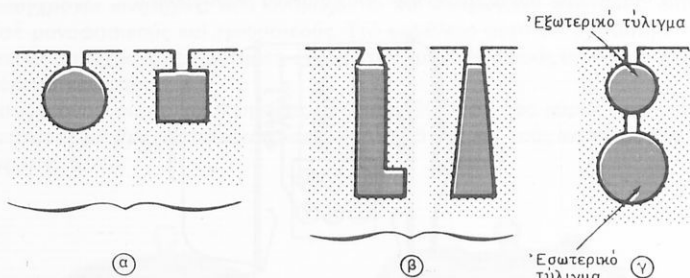
Σχ. 5.2β.

Σύνδεση σε τρίγωνο (α) και σε άστέρα (β) των τριών φάσεων του στάτη.

2) 'Ο δρομέας τών κινητήρων μέ βραχυκυκλωμένο δρομέα.

'Ο δρομέας τών ασυγχρόνων κινητήρων δέν εἶναι συνδεμένος ἠλεκτρικά μέ ὁποιαδήποτε πηγή ἠλεκτρικῆς ἐνέργειας. Αυτό ἀπλοποιεῖ πολύ τήν κατασκευή τους καί οἱ κινητήρες αὐτοί παρουσιάζουν τά πλεονεκτήματα, πού ἀνεφέραμε στήν παράγραφο 5.1.

'Ο δρομέας τών κινητήρων μέ βραχυκυκλωμένο δρομέα φέρει στερεωμένο ἐπάνω στόν ἄξονα τόν πυρήνα, πού ἔχει σχῆμα κυλινδρικοῦ τυμπάνου καί ὁ ὁποῖος ἀποτελεῖται ἀπό πολλά μαγνητικά ἐλάσματα. Τά ἐλάσματα αὐτά ἔχουν ὀδοντώσεις, οἱ ὁποῖες σχηματίζουν αὐλάκια. 'Η μορφή πού ἔχουν οἱ ὀδοντώσεις καί συνεπῶς καί τά αὐλάκια ἔχει ἐπίδραση στά ἠλεκτρικά χαρακτηριστικά τών κινητήρων. Συνήθως τίς διακρίνομε σέ τρεῖς κατηγορίες: τίς ἀπλές, τίς βαθιές καί τίς διπλές ὀδοντώσεις, ὅπως φαίνονται στό σχῆμα 5.2γ.



Σχ. 5.2γ.

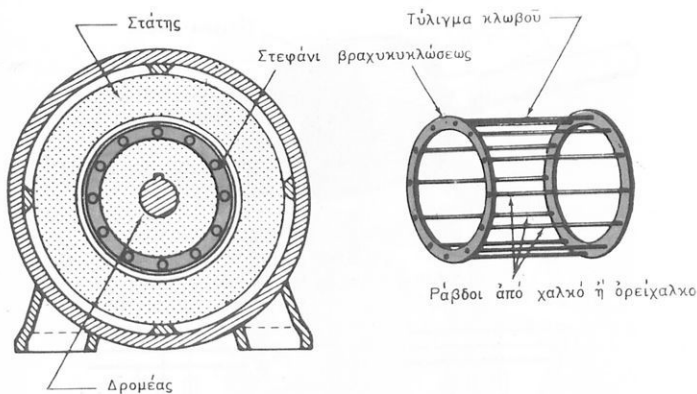
'Οδοντώσεις βραχυκυκλωμένου δρομέα, ἀπλές (α), βαθιές (β), διπλές (γ).

Μέσα στά αὐλάκια τοῦ δρομέα τοποθετοῦνται ράβδοι ἀπό χαλκό ἢ ὀρείχαλκο χωρίς μόνωση. Οἱ ράβδοι συγκολλοῦνται στά δύο ἄκρα τους σέ δύο **στεφάνια βραχυκυκλώσεως**. Ἔτσι σχηματίζεται τό **τύλιγμα κλωβοῦ**, ὅπως φαίνεται στό σχῆμα 5.2δ.

Στούς μικροῦς κινητήρες τό τύλιγμα κλωβοῦ κατασκευάζεται συνήθως ἀπό καθαρό ἀλουμίνιο, τό ὁποῖο χύνεται μέ πίεση ἀπευθείας μέσα στά αὐλάκια. Στίς περιπτώσεις αὐτές τά στεφάνια βραχυκυκλώσεως σχηματίζουν καί τά πτερύγια τοῦ ἀνεμιστήρα, ὅποτε ὁ δρομέας παίρνει τή μορφή τοῦ σχήματος 5.2ε.

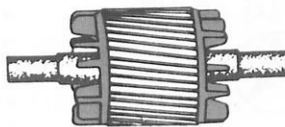
Ὅταν στόν πυρήνα τοῦ δρομέα ἔχομε διπλές ὀδοντώσεις, τότε σχηματίζονται δύο τυλίγματα κλωβοῦ, ἓνα ἐξωτερικό καί ἓνα ἐσωτερικό, τά ὁποῖα εἶναι ἀνεξάρτητα μεταξύ τους [σχ. 5.2γ(γ)]. Οἱ κινητήρες αὐτοί ὀνομάζονται **κινητήρες διπλοῦ κλωβοῦ**.

Τά τελευταῖα χρόνια ἡ προτίμηση τών κατασκευαστῶν στρέφεται ὀλοένα καί περισσότερο στούς δρομεῖς πού ἔχουν **τυλίγματα κλωβοῦ μέ βαθιά αὐλάκια**, οἱ ὁποῖοι ὀνομάζονται καί **δρομεῖς μετατοπίσεως ρεύματος**. Οἱ δρομεῖς αὐτοί ἔχουν περὶ τήν ἠλεκτρικά χαρακτηριστικά τών δρομέων διπλοῦ κλωβοῦ, εἶναι ὅμως ἀπλούστεροι στήν κατασκευή τους.



Σχ. 5.2δ.

Τύλιγμα κλωβού κινητήρα βραχυκυκλωμένου δρομέα.



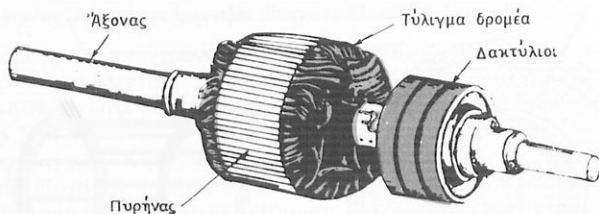
Σχ. 5.2ε.

Βραχυκυκλωμένος δρομέας με τύλιγμα κλωβού από άλουμίνιο.

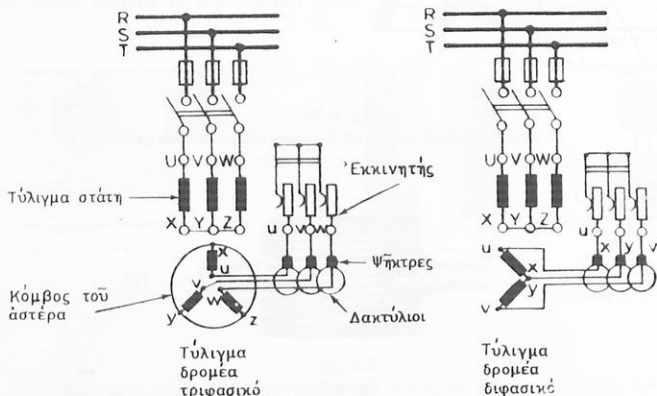
Γιά τήν ελάττωση του **μαγνητικού θορύβου** τών άσυγχρόνων τριφασικών κινητήρων, ό άριθμός τών όδοντώσεων του δρομέα πρέπει νά είναι διαφορετικός από τόν άριθμό τών όδοντώσεων του στάτη. Τό ίδιο πετυχαίνεται καί άν τά αϋλάκια του δρομέα δέν είναι άπόλυτα παράλληλα μέ τόν άξονα, αλλά έχουν μικρή κλίση, όπως φαίνεται στο σχήμα 5.2ε.

3) Ό δρομέας τών κινητήρων μέ δακτύλιους.

Ό πυρήνας τών δρομέων αϋτών αποτελείται επίσης από πολλά μαγνητικά έλάσματα, πού φέρουν ήμίκλειστες όδοντώσεις (σχ. 5.2στ). Μέσα στα αϋλάκια, πού σχηματίζουν οι όδοντώσεις, τοποθετείται διφασικό ή τριφασικό τύλιγμα, όπως αϋτά πού τοποθετούνται στο στάτη τών μηχανών έναλλασσόμενου ρεύματος. Ό άριθμός τών πόλων του τυλίγματος αϋτού είναι υποχρεωτικά ό ίδιος μέ τόν άριθμό τών πόλων του τυλίγματος του στάτη. Ό άριθμός τών φάσεων είναι δυνατό νά είναι διαφορετικός, π.χ. σε τριφασικό στάτη είναι δυνατό νά υπάρχει διφασικό τύλιγμα στο δρομέα. Συνήθως καί τό τύλιγμα του δρομέα είναι τριφασικό καί μάλιστα συνδεσμολογημένο σε άστέρα (σχ. 5.2ζ).



Σχ. 5.2στ.
Δρομέας κινητήρα με δακτύλιους.



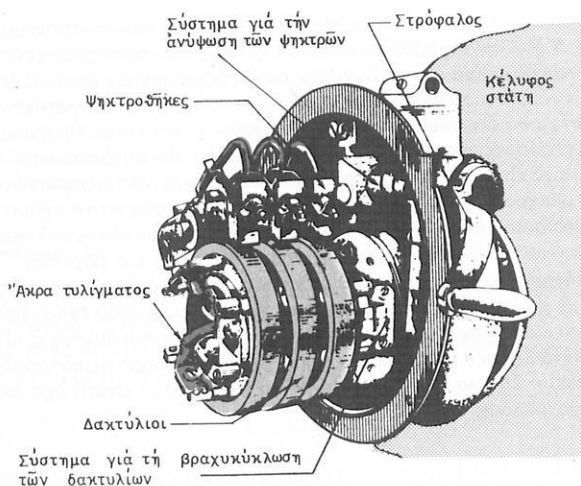
Σχ. 5.2ζ.

Συνδεσμολογία ασύγχρονου κινητήρα με δακτύλιους (τριφασικό ή διφασικό τύλιγμα δρομέα).

Όπως παρατηρούμε στο σχήμα 5.2στ, στον άξονα του δρομέα είναι στερεωμένες και τρεις δακτύλιοι. Στους δακτύλιους αυτούς, οι οποίοι είναι μονωμένοι μεταξύ τους και προς τον άξονα, συνδέονται τα τρία ελεύθερα άκρα του τυλίγματος του δρομέα.

Επάνω στους δακτύλιους εφάπτονται αντίστοιχες ψήκτρες, των οποίων οι ψηκτροθήκες είναι στερεωμένες στο στάτη της μηχανής (σχ. 5.η). Μέσω των δακτυλίων και των ψηκτρών αυτών, κάθε φάση του τυλίγματος του δρομέα συνδέεται σε σειρά με την αντίστοιχη αντίσταση ενός τριφασικού έκκινητή (σχ. 5.2ζ).

Πολλοί κινητήρες με δακτύλιους έχουν ένα σύστημα για την ανύψωση των ψηκτρών, όπως δείχνει το σχήμα 5.2η. Με το σύστημα αυτό, μετά την εκκίνηση του κινητήρα, όποτε οι τρεις αντιστάσεις του έκκινητή πρέπει να είναι βραχυκυκλωμένες, ανυψώνουμε τις ψηκτρες, ώστε να μην εφάπτονται με τους δακτύλιους. Ταυτόχρονα, με τον ίδιο μηχανισμό βραχυκυκλώνονται μεταξύ τους οι τρεις δακτύλιοι. Έτσι αποφεύγεται η φθορά των ψηκτρών κατά τη λειτουργία του κινητήρα και βελτιώνεται ο βαθμός απόδοσής του με την ελάττωση των τριβών.



Σχ. 5.2η.

Σύστημα άνυψώσεως ψηκτρών κινητήρα με δακτύλιους.

5.3 Η αρχή της λειτουργίας.

Η λειτουργία των άσυγχρόνων τριφασικών κινητήρων βασίζεται στο φαινόμενο της δημιουργίας ηλεκτρεγερτικών δυνάμεων από επαγωγή στους αγωγούς του δρομέα. Αυτός είναι ο λόγος που οι κινητήρες αυτοί ονομάζονται, όπως είπαμε, και επαγωγικοί κινητήρες.

Ας υποθέσουμε ότι έχουμε ένα απλό κινητήρα με βραχυκυκλωμένο δρομέα, όπως τον δείχνει το σχήμα 5.3. Το τύλιγμα κλωβού του δρομέα αυτού του κινητήρα έχει δύο μόνο αγωγούς (ράβδους), τους κ και λ. Το τύλιγμα του στάτη, το οποίο δεν παριστάνεται στο σχήμα, είναι τριφασικό με ένα ζεύγος πόλων. Όταν τροφοδοτήσουμε το τύλιγμα αυτό με τριφασικό ρεύμα, θα δημιουργηθεί περιστρεφόμενο μαγνητικό πεδίο με δύο πόλους β και ν, σύμφωνα με όσα αναπτύξαμε στην παράγραφο 4.2.

Οι μαγνητικές γραμμές του πεδίου τέμνουν τους αγωγούς κ και λ του δρομέα που είναι ακόμα ακίνητος. Όπως γνωρίζουμε (παράγρ. 1.2), θα δημιουργηθούν μέσα στους αγωγούς ηλεκτρεγερτικές δυνάμεις από επαγωγή, οι οποίες σύμφωνα με τον κανόνα του δεξιού χεριού θα έχουν φορά αυτή που δείχνουν τα σύμβολα επάνω στους αγωγούς στο σχήμα 5.3. Οι ηλεκτρεγερτικές αυτές δυνάμεις δημιουργούν ρεύματα της ίδιας φοράς, τα οποία κλείνουν κύκλωμα μέσα από τα στεφάνια βραχυκυκλώσεως (δεν παριστάνονται στο σχήμα).

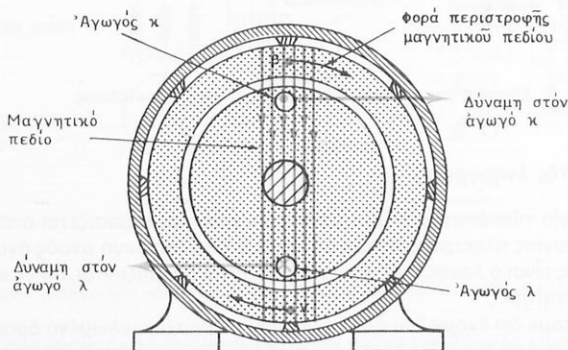
Με τα ρεύματα που κυκλοφορούν μέσα στους αγωγούς κ και λ, εμφανίζεται το γνωστό φαινόμενο κινητήρα (παράγρ. 1.4). Στους αγωγούς αυτούς που βρίσκονται



μέσα στο μαγνητικό πεδίο και διαρρέονται από ρεύμα αναπτύσσονται δυνάμεις, των οποίων η διεύθυνση ορίζεται από τον κανόνα του αριστερού χεριού. Όπως παρατηρούμε στο σχήμα 5.3, οι δυνάμεις αυτές δημιουργούν ροπή, η οποία βάσει σέ κίνηση τό δρομέα κατά τή φορά πού περιστρέφεται τό μαγνητικό πεδίο.

Τά ρεύματα πού δημιουργούνται από έπαγωγή μέσα στους άγωγούς του δρομέα είναι έναλλασσόμενα. Ή φορά όμως τής ροπής των δυνάμεων πού αναπτύσσονται από αυτά είναι πάντοτε ή ίδια. Αυτό είναι εύκολο νά τό διαπιστώσει κανείς, αν έξετάσει μία χρονική στιγμή έπόμενη από αυτή πού δείχνει τό σχήμα 5.3, κατά τήν όποία άπέναντι από τον άγωγό κ θά βρίσκεται ό νότιος πόλος του περιστρεφόμενου μαγνητικού πεδίου και άπέναντι από τον άγωγό λ ό βόρειος.

Στό παράδειγμα του σχήματος 5.3 ό δρομέας γιά λόγους απλότητας έχει τύλιγμα κλωβού μέ δύο άγωγούς. Τά πραγματικά τυλίγματα κλωβού έχουν πολύ περισσότερους από δύο άγωγούς. Σέ κάθε άγωγό αναπτύσσονται δυνάμεις, οι όποιες άσκούν ροπή στό δρομέα κατά τήν ίδια φορά, δηλαδή τή φορά περιστροφής του μαγνητικού πεδίου. Τό ίδιο συμβαίνει και αν τό τύλιγμα του στάτη έχει περισσότερους από δύο πόλους.



Σχ. 5.3.

Οι άγωγοί κ και λ του σχήματος 5.3 μπορεί νά είναι άγωγοί και από τό τύλιγμα του δρομέα ενός κινητήρα μέ δακτύλιους. Στην περίπτωση αυτή οι άγωγοί κλείνουν κύκλωμα όχι πιά μέ τά στεφάνια βραχυκυκλώσεως αλλά μέ τς αντίστάσεις του έκκινητή (σχ. 5.2ζ). Συνεπώς όλα τά παραπάνω συμπεράσματα ισχύουν και γιά τούς κινητήρες μέ δακτύλιους, των οποίων ή άρχή τής λειτουργίας είναι όμοια μέ τήν άρχή λειτουργίας των κινητήρων μέ βραχυκυκλωμένο δρομέα.

Οι δυνάμεις, πού τό περιστρεφόμενο μαγνητικό πεδίο άσκει στό δρομέα, έχουν σαν αποτέλεσμα νά ξεκινήσει ό άσύγχρονος κινητήρας και στή συνέχεια νά επιταχυνθεί, μέχρι νά φθάσει σέ μία ταχύτητα n. Ή ταχύτητα αυτή είναι πάντοτε μικρότερη από τή σύγχρονη ταχύτητα n_s του περιστρεφόμενου μαγνητικού πεδίου. Γι' αυτό οι κινητήρες αυτοί ονομάζονται **άσύγχρονοι κινητήρες**.

Ο λόγος, για τον οποίο η ταχύτητα του **ασύγχρονου κινητήρα** δεν μπορεί να γίνει ίση με τη σύγχρονη ταχύτητα, είναι σχεδόν φανερός. Αν ο δρομέας έφθανε την ταχύτητα n_s , τότε οι μαγνητικές γραμμές του περιστρεφόμενου πεδίου δεν θα έτεμναν άγωγούς του τυλίγματος του δρομέα. Συνεπώς δεν θα αναπτύσσονταν ούτε δυνάμεις ούτε ροπή στο δρομέα. Η ροπή όμως είναι απαραίτητη για να περιστρέφεται ο κινητήρας, έστω και αν εργάζεται χωρίς φορτίο γιατί πρέπει να υπερικηθούν οι μηχανικές απώλειες του δρομέα.

5.4 Διολίσθηση.

Η διαφορά $n_s - n$ εξαρτάται από το φορτίο που έχει ο κινητήρας στον άξονά του και αυξάνεται με την αύξηση του φορτίου. Πάντως για το κανονικό φορτίο η διαφορά αυτή είναι μικρή. Ονομάζουμε **διολίσθηση** ή **όλίσθηση** s το λόγο της διαφοράς $n_s - n$ προς τη σύγχρονη ταχύτητα n_s :

$$s = \frac{n_s - n}{n_s}$$

Η διολίσθηση τη στιγμή της εκκίνησης είναι ίση με 1 (ή 100%), γιατί τότε είναι $n = 0$. Στη λειτουργία του κινητήρα η διολίσθηση εξαρτάται από το φορτίο, γιατί από αυτό, όπως θα εξηγήσουμε, εξαρτάται η ταχύτητα περιστροφής n . Στη λειτουργία χωρίς φορτίο είναι περίπου ίση με μηδέν (0,5%). Στο κανονικό φορτίο, ανάλογα με τον τύπο του κινητήρα, κυμαίνεται γύρω στο 0,05 (5%), όπως φαίνεται και στον Πίνακα 5.41. Η διολίσθηση στο κανονικό φορτίο έχει μεγάλη σημασία στους ασύγχρονους κινητήρες και χαρακτηρίζει την ποιότητά τους.

ΠΙΝΑΚΑΣ 5.4.1.

Μέσες ταχύτητες ασύγχρονων τριφασικών κινητήρων στο πλήρες φορτίο (σπρ/μιν)

Αριθμός ζευγών πόλων	1	2	3	4	5	6
Σύγχρονη ταχύτητα	3000	1500	1000	750	600	500
Ταχύτητα ασύγχρονου κινητήρα	2850	1425	950	710	570	475

Παράδειγμα.

Ασύγχρονος τριφασικός κινητήρας με τετραπολικό ($p = 2$) τύλιγμα, που τροφοδοτείται από δίκτυο συχνότητας 50 Hz, περιστρέφεται στο κανονικό του φορτίο με ταχύτητα 1440 σπρ/μιν. Πόση είναι η διολίσθησή του:

Λύση.

Η σύγχρονη ταχύτητα του μαγνητικού πεδίου είναι:

$$n_s = \frac{60 \cdot f}{p} = \frac{60 \times 50}{2} = 1500 \text{ σπρ/μιν}$$

Άρα η διολίσθηση θα είναι:

$$s = \frac{n_s - n}{n_s} = \frac{1500 - 1440}{1500} = 0,04 \quad \eta \quad 4\%$$

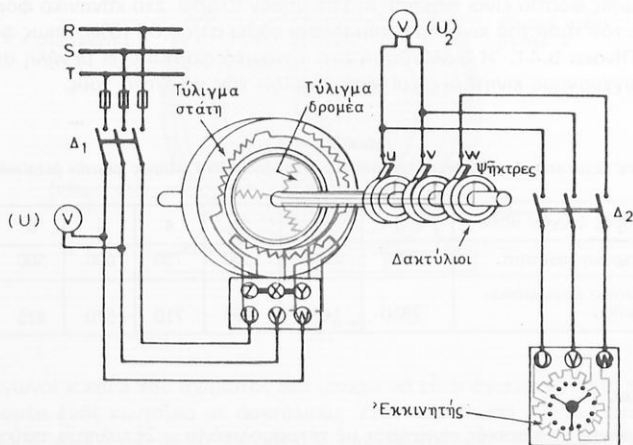
Αν γνωρίζουμε τη διολίσθηση ενός κινητήρα σε ορισμένο φορτίο, είναι εύκολο να βρούμε την ταχύτητά του στο φορτίο αυτό από τη σχέση:

$$n = n_s (1 - s)$$

Από τα παραπάνω συμπεραίνουμε ότι οι άσυγχρονοι κινητήρες έχουν περίπου χαρακτηριστικά κινητήρων συνεχούς ρεύματος με παράλληλη διέγερση. Δηλαδή η ταχύτητά τους μεταξύ μηδενικού και κανονικού φορτίου μεταβάλλεται πολύ λίγο. Συνεπώς είναι και αυτοί κινητήρες κατάλληλοι για κινήσεις με σταθερές περίπου ταχύτητες περιστροφής.

5.5 Τάση και ένταση του δρομέα.

Για να εξηγήσουμε τί συμβαίνει κατά τη λειτουργία στο δρομέα των άσυγχρονων τριφασικών κινητήρων θα χρησιμοποιήσουμε το σχήμα 5.5, το οποίο παριστάνει τη συνδεσμολογία ενός κινητήρα με δακτύλιους. Στο κύκλωμα, το οποίο συνδέει τις



Σχ. 5.5.

Συνδεσμολογία κινητήρα με δακτύλιους.

ψηκτρες με τον εκκινητή, έχουν παρεμβληθεί ο διακόπτης Δ₂ και το βολτόμετρο V. Τα όργανα αυτά δεν χρησιμοποιούνται συνήθως στις πραγματικές εγκαταστάσεις.

Όταν ο διακόπτης Δ₂ είναι ανοικτός και κλείσουμε τον Δ₁, ο κινητήρας δεν θα ξεκινήσει γιατί ένταση ρεύματος δεν διαρρέει το τύλιγμα του δρομέα. Τό περιστρε-

φόμενο όμως μαγνητικό πεδίο, που δημιουργεί το τύλιγμα του στάτη, επάγει, όπως εξηγήσαμε στην παράγραφο 5.3, μία ηλεκτρεγερτική δύναμη στο τύλιγμα του δρομέα. Το μέγεθος της μās τó δείχνει σάν τάση (U_2) τó βολτόμετρο, που έχομε τοποθετήσει μεταξύ τών ψηκτρών. Τή U_2 τήν ονομάζομε **τάση του δρομέα** καί άποτελεί ένα από τά χαρακτηριστικά στοιχεία του κινητήρα μέ δακτύλιους καί γι' αυτό τή γράφει συνήθως ó κατασκευαστής στην πινακίδα του κινητήρα.

Όπως μπορούμε νά διαπιστώσομε από τίς ένδείξεις τών βολτομέτρων, μεταξύ τής τάσεως U του στάτη καί τής τάσεως U_2 του δρομέα ισχύει ή σχέση:

$$U_2 = U \cdot \frac{w_2}{w_1}$$

όπου: w_1 είναι ó αριθμός άγωγών του τυλίγματος του στάτη καί w_2 ó αριθμός άγωγών του τυλίγματος του δρομέα. Σημειώνομε ότι, όταν ή σύνδεση τών φάσεων του στάτη καί του δρομέα δέν είναι ή ίδια, τότε ή παραπάνω σχέση ισχύει γιά τίς φασικές τάσεις.

Ή συχνότητα f_2 τής ηλεκτρεγερτικής δυνάμεως του δρομέα, όταν άκόμα δέν έχει ξεκινήσει (όπως καί τήν πρώτη στιγμή τής εκκίνησης) είναι ίση μέ τή συχνότητα f του δικτύου τροφοδοτήσεως. Αυτό συμβαίνει γιατί ó αριθμός τών πόλων του τυλίγματος του δρομέα είναι ó ίδιος μέ τόν αριθμό τών πόλων του τυλίγματος του στάτη.

Άν κλείσομε τó διακόπτη Δ_2 , ρεύμα θά περάσει από τó τύλιγμα του δρομέα καί από τίς αντίστάσεις του εκκινήτη καί συνεπώς ó κινητήρας θά ξεκινήσει. Όσο αυξάνεται ή ταχύτητα του δρομέα, τόσο ελαττώνεται ή ηλεκτρεγερτική δύναμη που αναπτύσσεται στο τύλιγμά του. Αυτό οφείλεται στο ότι ελαττώνεται μέ τήν αύξηση τών στροφών ή ταχύτητα, μέ τήν όποία οί μαγνητικές γραμμές του περιστρεφόμενου μαγνητικού πεδίου τέμνουν τούς άγωγούς του δρομέα.

Στή λειτουργία του κινητήρα μέ ένα όρισμένο φορτίο, όταν ó δρομέας περιστρέφεται μέ διολίσθηση s , ή ηλεκτρεγερτική δύναμη του τυλίγματος του δρομέα (πολική τάση) δίνεται από τή σχέση:

$$U_{2s} = s \cdot U_2$$

Όμοια ή συχνότητα του ρεύματος του δρομέα είναι τότε:

$$f_2 = s \cdot f$$

Τέλος ή αυτεπαγωγική αντίσταση (λόγω σκεδάσεως) κάθε φάσεως του δρομέα θά είναι:

$$\Rightarrow X_{2s} = s \cdot X_2$$

όπου: X_2 ή ίδια αντίσταση γιά συχνότητα f , δηλαδή μέ τó δρομέα σέ στάση.

Είναι εύκολο νά ύπολογίσομε τώρα τήν ένταση του ρεύματος στο τύλιγμα κάθε φάσεως του δρομέα. Γιά σύνδεση του τυλίγματος του δρομέα σέ άστέρα, ή φασική τάση (ηλεκτρεγερτική δύναμή) του θά είναι:

$$U_{\Phi_{2s}} = \frac{U_{2s}}{1,73}$$

$$\begin{aligned} \text{"Αρα"} \quad I_2 &= \frac{U_{2s}}{1,73 \cdot Z_s} = \frac{U_{2s}}{1,73 \cdot \sqrt{R_2^2 + X_{2s}^2}} = \frac{s \cdot U_2}{1,73 \cdot \sqrt{R_2^2 + (s \cdot X_2)^2}} \\ \text{καί} \quad I_2 &= \frac{U_2}{1,73 \cdot \sqrt{(R_2/s)^2 + X_2^2}} \end{aligned}$$

όπου: R_2 είναι η συνολική αντίσταση κάθε φάσεως του τυλίγματος του δρομέα και του εκκινητή. "Αν οι αντιστάσεις του εκκινητή είναι βραχυκυκλωμένες ή αν ο κινητήρας έχει στο δρομέα τύλιγμα κλωβού, τότε το R_2 είναι η αντίσταση κάθε φάσεως μόνο του τυλίγματος του δρομέα.

Από τη σχέση, που δίνει την ένταση του δρομέα, βγάζουμε τα ακόλουθα συμπεράσματα:

Γιά όρισμένη τιμή της R_2 η ένταση I_2 γίνεται μέγιστη τη στιγμή της εκκινήσεως, οπότε είναι $s = 1$. Στους κινητήρες με δακτύλιους το μέγεθος της I_2 στην εκκίνηση είναι δυνατό να το ρυθμίσαμε με παρεμβολή καταλλήλων αντιστάσεων του εκκινητή. Στους κινητήρες βραχυκλωμένου δρομέα όμως, όπου δεν υπάρχει εκκινήτης συνδεδεμένος στο δρομέα και η R_2 είναι συνήθως μικρή, η I_2 στην εκκίνηση φθάνει σε μεγάλες τιμές (μερικές εκατοντάδες άμπερ). Ακόμη μεγαλύτερες τιμές παίρνει η ένταση μέσα στα στεφάνια βραχυκυκλώσεως.

Τόσο στους κινητήρες με τύλιγμα κλωβού, όσο και στους κινητήρες με δακτύλιους και με βραχυκυκλωμένες τις αντιστάσεις του εκκινητή, η ένταση I_2 ελαττώνεται όσο αυξάνεται η ταχύτητα του κινητήρα, δηλαδή όσο μειώνεται η διολίσθηση s , γίνεται δε σχεδόν μηδενική στη λειτουργία του χωρίς φορτίο ($s = 0$). Στο κανονικό (όνομαστικό) φορτίο του κινητήρα, οπότε αυτός έχει την ονομαστική του διολίσθηση, η ένταση I_2 έχει ορισμένη τιμή, η οποία ονομάζεται **ένταση του δρομέα** και στους κινητήρες με δακτύλιους είναι γραμμένη στην πινακίδα του κατασκευαστή. Όταν το φορτίο αυξηθεί ή ελαττωθεί σε σχέση με το κανονικό, αυξάνεται επίσης ή ελαττώνεται αντίστοιχα και η I_2 . "Αν είναι γνωστά τα R_2 (χωρίς αντιστάσεις εκκινήτη) και X_2 καθώς και η διολίσθηση στο κανονικό φορτίο, τότε η ένταση του δρομέα υπολογίζεται από τον τύπο που δώσαμε παραπάνω, άλλως είναι δυνατό να υπολογισθεί κατά προσέγγιση από τη σχέση:

$$I_2 \simeq \frac{650 \cdot N}{U_2} \quad \text{σε A}$$

όπου: N είναι η ονομαστική ισχύς σε kW που δίνει ο κινητήρας και U_2 η τάση σε V του δρομέα μεταξύ των δακτυλίων (μέ τις ψήκτρες άνωψωμένες).

Με την ένταση αυτή I_2 , που συνήθως είναι μεγαλύτερη από την ένταση που απορροφά ο στάτης από το δίκτυο, πρέπει να υπολογίζονται οι άγωγοι, οι οποίοι συνδέουν τις ψήκτρες με τον εκκινήτη.

Παράδειγμα.

"Ενας εξαπολικός τριφασικός κινητήρας με δακτύλιους ισχύος 5 kW, έχει τάση

του δρομέα 140 V και τροφοδοτείται από δίκτυο με συχνότητα 50 Hz. Άν τό τύλιγμα του δρομέα είναι συνδεδεσμένο σε άστέρα, ποιά είναι ή τάση πού άναπτύσσεται σε κάθε φάση του, όταν ό κινητήρας λειτουργεί στο όνομαστικό του φορτίο με ταχύτητα 950 στρ/min; Ποιά είναι τότε ή ένταση και ή συχνότητα του ρεύματος του δρομέα;

Λύση.

Γιά $p = 3$ και $f = 50$ Hz, είναι $n_s = 1000$ στρ/min.
 Άρα ή διολίσθηση στο όνομαστικό φορτίο θά είναι:

$$s = \frac{n_s - n}{n_s} = \frac{1000 - 950}{1000} = 0,05$$

Η τάση κάθε φάσεως (ηλεκτρεγερτική δύναμη) του δρομέα θά είναι:

$$U_{\phi_2s} = \frac{U_{2s}}{1,73} = \frac{s \cdot U_2}{1,73} = \frac{0,05 \times 140}{1,73} = 4,05 \text{ V}$$

Η συχνότητα του ρεύματος του δρομέα θά είναι:

$$f_2 = s \cdot f = 0,05 \times 50 = 2,5 \text{ Hz}$$

Τέλος ή ένταση του ρεύματος του δρομέα θά είναι:

$$I_2 \simeq \frac{650 \cdot N}{U_2} = \frac{650 \times 5}{140} = 23 \text{ A}$$

5.6 Η ροπή τών άσυγχρόνων τριφασικών κινητήρων.

1) Σχέση ροπής και αποδιδόμενης ισχύος.

Όπως είναι γνωστό, ή ροπή T , τήν όποία ένας κινητήρας άναπτύσσει στον άξονά του, δίνεται από τή σχέση:

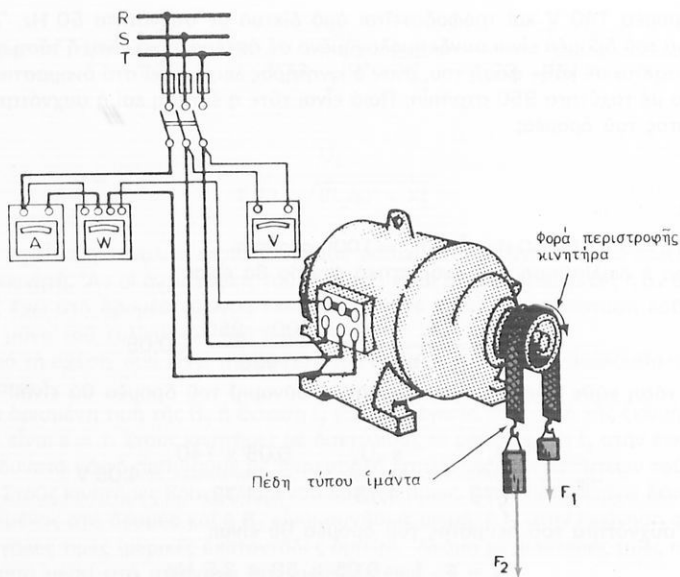
$$T = F \cdot r \quad \text{σε Nm}$$

όπου: F είναι ή περιφερειακή δύναμη σε N και r ή απόσταση τής δυνάμεως από τον άξονα σε m.

Ο κινητήρας του σχήματος 5.6α φέρει επάνω στην τροχαλία του άξονά του μία **πέδη τύπου ιμάντα**. Στήν πέδη αυτή ή περιφερειακή δύναμη F μεταβιβάζεται με τήν τριβή στον ιμάντα. Έτσι, όταν ό κινητήρας περιστρέφεται, ό ιμάντας ισορροπεί με δύο διαφορετικά βάρη F_1 και F_2 . Τότε είναι:

$$F = F_2 - F_1$$

Η άκτίνα τής τροχαλίας είναι ή απόσταση τής περιφερειακής δυνάμεως από τον



Σχ. 5.6α.
Μέτρηση ροπής κινητήρα.

ἄξονα. Ὑπάρχει μὲ τὴ διάταξη αὐτὴ τῆς πέδης εἶναι δυνατό νά μετρήσουμε τὴ ροπή, τὴν ὁποία ὁ κινητήρας ἀναπτύσσει στὸν ἄξονά του.

Ἐάν ὁ κινητήρας περιστρέφεται μὲ n στρ/σ, τότε ἡ μηχανικὴ ἰσχύς N πού ἀποδίδει στὸν ἄξονά του εἶναι:

$$N = 2 \cdot \pi \cdot n \cdot T \quad \text{σέ } W$$

Ἐάν λύσουμε ὡς πρὸς T ἔχομε:

$$T = \frac{N}{2 \cdot \pi \cdot n} \quad \text{σέ } Nm$$

ὅπου: N εἶναι ἡ ἰσχύς σέ W πού δίνει ὁ κινητήρας στὸν ἄξονά του καὶ n ἡ ταχύτητα περιστροφῆς τοῦ κινητήρα σέ στρ/σ.

Ὅταν ἡ ἰσχύς πού δίνει ὁ κινητήρας εἶναι ἡ ὀνομαστικὴ του ἰσχύς (μὲ τὴν ὀνομαστικὴ ταχύτητα καὶ τάση), τότε ἡ ροπή πού προκύπτει ἀπὸ τὴν παραπάνω σχέση, ὀνομάζεται **ὀνομαστικὴ ροπή τοῦ κινητήρα** (T_{ov}).

Παράδειγμα.

Ἡ ὀνομαστικὴ ἰσχύς ἑνὸς διπολικοῦ τριφασικοῦ κινητήρα εἶναι 8 kW μὲ ταχύτητα περιστροφῆς 2880 στρ/μιν . Ἐάν ἡ ἀκτὴν τῆς τροχαλίας μίας πέδης τύπου ἱμάν-

τα είναι 0,14 m νά βρεθούν η ονομαστική ροπή του κινητήρα καί η δύναμη η οποία ασκείται στον ιμάντα.

Λύση.

$$\text{Έχουμε} \quad n = \frac{2880}{60} = 48 \text{ στρ/s} \quad \text{καί} \quad N = 8000 \text{ W}$$

Συνεπώς είναι:

$$T_{ov} = \frac{N}{2 \cdot \pi \cdot n} = \frac{8000}{2 \times 3,14 \times 48} = 26,5 \text{ N m}$$

$$\text{καί} \quad F = \frac{T_{ov}}{r} = \frac{26,5}{0,14} = 189 \text{ N}$$

“Αν θέλομε νά υπολογίσουμε τή δύναμη σέ kp (ή χιλιόγραμμα δυνάμεως), έπειδή 1 N = 0,102 kp, θά έχουμε:

$$F = 189 \times 0,102 = 19,3 \text{ kp}$$

2) Μεταβολή τής ροπής καί τής έντάσεως του στάτη.

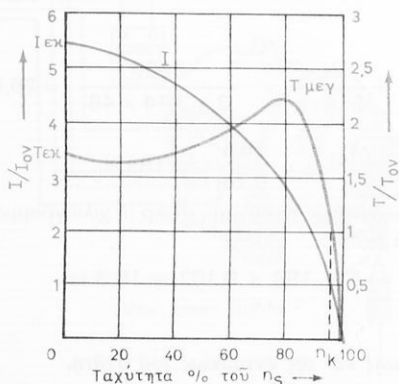
Στό διάγραμμα του σχήματος 5.6β φαίνεται πώς μεταβάλλεται η ροπή T ενός ορισμένου τριφασικού κινητήρα μέ βραχυκυκλωμένο δρομέα, όταν μεταβάλλεται η ταχύτητά του. Σέ αυτό τό διάγραμμα η ταχύτητα τήν οποία έχει κάθε στιγμή ο κινητήρας, εκφράζεται ως ποσοστό επί τοις % τής σύγχρονης ταχύτητας n_s . “Η ροπή εκφράζεται μέ τό λόγο της πρός τήν ονομαστική ροπή του κινητήρα (T/T_{ov}). Στό σχήμα φαίνεται επίσης μέ τόν ίδιο τρόπο καί η αντίστοιχη μεταβολή τής έντάσεως I , τήν οποία ο κινητήρας απορροφά από τό δίκτυο πού τόν τροφοδοτεί.

“Όπως παρατηρούμε από τήν καμπύλη τής έντάσεως στό σχήμα 5.6β, τήν πρώτη στιγμή τής εκκινήσεως ($n = 0$) ο κινητήρας απορροφά ένταση $I_{εκ}$, η οποία είναι 5,5 φορές μεγαλύτερη από τήν ονομαστική του ένταση ($I_{εκ}/I_{ov} = 5,5$). Σέ όρισμένους κινητήρες μέ βραχυκυκλωμένο δρομέα έχομε $I_{εκ}/I_{ov} = 6$ ως 8. Τό ίδιο περίπου συμβαίνει καί στους κινητήρες μέ δακτύλιους άν οι αντίστάσεις του εκκινήτη είναι βραχυκυκλωμένες. “Επειδή τά τυλίγματα του δρομέα έχουν μικρή αντίσταση αναπτύσσονται σέ αυτά τή στιγμή τής εκκινήσεως μεγάλες έντασεις, όπως είδαμε στήν παράγραφο 5.5. “Αποτέλεσμα είναι ότι έχομε σημαντικές έντασεις εκκινήσεως καί στό στάτη των κινητήρων αυτών.

Γιά τόν περιορισμό των σημαντικών αυτών έντάσεων εκκινήσεως, οι όποιες αποτελούν μειονέκτημα των κινητήρων μέ βραχυκυκλωμένο δρομέα, παίρνομε διάφορα μέτρα, τά όποια θά εξετάσουμε στά επόμενα. Στους κινητήρες μέ δακτύλιους ή παρεμβολή των αντίστάσεων του εκκινήτη στό τύλιγμα του δρομέα προκαλεί τήν ελάττωση του $I_{εκ}$ στό επιθυμητό μέγεθος, π.χ. είναι δυνατό νά γίνει $I_{εκ}/I_{ov} = 1$.

“Από τό ίδιο σχήμα 5.6β παρατηρούμε επίσης ότι η ροπή εκκινήσεως του κινητήρα αυτού είναι 1,7 φορές μεγαλύτερη από τήν ονομαστική ροπή ($T_{εκ}/T_{ov} = 1,7$). “Όσο αύξάνονται οι στροφές του κινητήρα, ελαττώνεται η ένταση, πού απορ-

ροφά από τό δίκτυο, ή ροπή του ὅμως αὐξάνεται μέχρι μιᾶς τιμῆς $T_{\mu\epsilon\gamma}$. Ἡ ροπή αὕτη εἶναι ἡ μεγαλύτερη ροπή πού εἶναι δυνατό νά ἀναπτύξει ὁ κινητήρας καί δημιουργεῖται πάντοτε σέ ἀριθμό στροφῶν μικρότερο ἀπό τόν κανονικό του ἀριθμό στροφῶν n_k . Στόν τελευταῖο αὐτό ἀριθμό στροφῶν ὁ κινητήρας ἀναπτύσσει τήν ὀνομαστική ροπή ($T / T_{ov} = 1$), ἡ ὁποία εἶναι σημαντικά μικρότερη ἀπό τήν $T_{\mu\epsilon\gamma}$ καί ἀπορροφά τήν ὀνομαστική του ἔνταση ($I / I_{ov} = 1$).



Σχ. 5.6β.

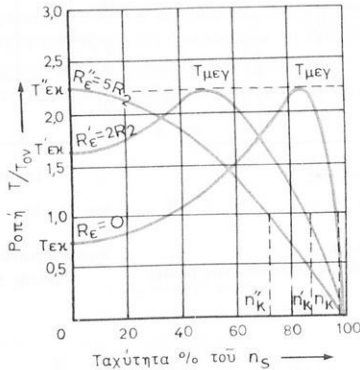
Μεταβολή της έντασεως καί της ροπής σέ κινητήρα μέ βραχυκυκλωμένο δρομέα.

Ἡ λειτουργία τοῦ κινητήρα στό τμήμα τῆς καμπύλης μετά τήν $T_{\mu\epsilon\gamma}$ εἶναι **εὐσταθής λειτουργία**. Δηλαδή, ἂν ὁ κινητήρας ἐργάζεται σέ ἕνα σημεῖο τοῦ τμήματος αὐτοῦ τῆς καμπύλης καί γιά ὅποιοδήποτε λόγο αὐξηθεῖ τό φορτίο του, ἡ ταχύτητα τοῦ κινητήρα θά ἐλαττωθεῖ. Τότε ὅμως θά αὐξηθεῖ ἡ ροπή πού ἀναπτύσσει καί ἔτσι θά μπορέσει νά ἀντιμετωπίσει τήν αὐξηση τοῦ φορτίου. Ἀντίστοιχα θά αὐξηθεῖ καί ἡ ἔνταση πού ἀπορροφά ἀπό τό δίκτυο. Ὁ κινητήρας μέ τόν τρόπο αὐτό προσαρμόζεται **αὐτόματα** στίς διακυμάνσεις τοῦ φορτίου.

Ὅταν τό φορτίο αὐξηθεῖ πέρα ἀπό τήν τιμή τῆς $T_{\mu\epsilon\gamma}$, τότε ὁ κινητήρας ἀπότομα σταματᾷ. Γιά τό λόγο αὐτό ἡ ροπή $T_{\mu\epsilon\gamma}$ ὀνομάζεται καί **ροπή ἀνατροπῆς**. Λειτουργία τοῦ κινητήρα στό τμήμα τῆς καμπύλης πρό τῆς $T_{\mu\epsilon\gamma}$ δέν εἶναι δυνατή, παρά μόνο σάν μεταβατική κατάσταση στήν ἐκκίνηση. Στό τμήμα αὐτό ἡ λειτουργία εἶναι ἀσταθής, μέ συνέπεια νά εἶναι ἀδύνατη ἡ συνεχῆς λειτουργία σέ αὐτό.

Ἡ μορφή πού ἔχει ἡ καμπύλη τῆς μεταβολῆς τῆς ροπῆς ἐνός ἀσύγχρονου κινητήρα, ἐξαρτᾶται ἀπό τήν ὀλική ἀντίσταση τοῦ τυλίγματος κάθε φάσεως τοῦ δρομέα R_2 καί τή συνδεμένη σέ σειρά μέ αὐτό ἐξωτερική ἀντίσταση R_{ϵ} . Ὅπως προκύπτει καί ἀπό τό σχῆμα 5.6γ, ὅσο αὐξάνομε τήν ἀντίσταση αὕτη ($R_2 + R_{\epsilon}$), συμβαίνουν τά ἑξῆς: α) μεγαλώνει (μέχρις ἐνός ὀρίου) ἡ $T_{\epsilon\kappa}$, β) ἡ μέγιστη ροπή $T_{\mu\epsilon\gamma}$, τῆς ὁποίας τό μέγεθος δέν ἐξαρτᾶται ἀπό τήν ὀλική ἀντίσταση τοῦ δρομέα, μετατοπίζεται σέ μικρότερο ἀριθμό στροφῶν καί γ) ἡ διολίσθηση τοῦ κινητήρα γιά τό κανονικό φορτίο αὐξάνεται, δηλαδή μειώνεται ἡ ταχύτητα n_k .

“Όσα αναφέραμε στην παράγραφο αυτή για τή μεταβολή τής ροπής καί τής έν-
τάσεως ύποθέτουν ότι ή τάση τοῦ δικτύου πού τροφοδοτεῖ τόν κινητήρα παραμέ-
νει σταθερή. Ἀναφέρομε μόνο, χωρίς νά τό ἐξηγήσουμε περισσότερο, ότι ὅταν ή
τάση τοῦ δικτύου μεταβάλλεται, ή ροπή τοῦ κινητήρα μεταβάλλεται ἀνάλογα μέ τό
τετράγωνο τής τάσεως. Αὐτό ἰσχύει βέβαια καί γιά τή ροπή ἐκκινήσεως.



Σχ. 5.6γ.

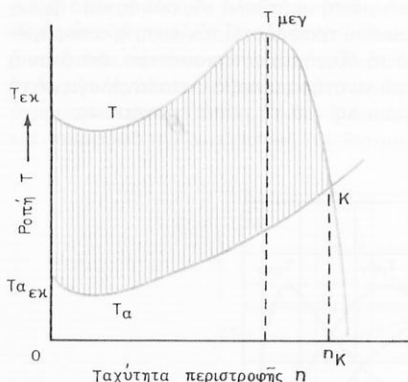
Μεταβολή τής ροπής σέ κινητήρα 100 kW μέ δακτύλιους γιά διάφορες τιμές τής έξωτερικῆς ἀντίστα-
σεως.

5.7 Ἀνθιστάμενη ροπή τοῦ φορτίου.

Γιά νά τεθεῖ σέ κίνηση ὁ κινητήρας, εἶναι φανερό ότι πρέπει ή **ἀνθιστάμενη ρο-
πή** τοῦ φορτίου στήν ἐκκίνηση $T_{\alpha_{\text{εκ}}}$, νά εἶναι μικρότερη ἀπό τή ροπή $T_{\text{εκ}}$ τοῦ
κινητήρα. Ἀλλά καί στή συνέχεια ή ροπή T πού ἀναπτύσσεται ἀπό τόν κινητήρα,
πρέπει νά εἶναι μεγαλύτερη ἀπό τή ροπή τοῦ φορτίου T_α , ὥστε ὁ κινητήρας
ἐπιταχυνόμενος νά φθάσει τόν κανονικό ἀριθμό στροφῶν n_k . Ὅσο μεγαλύτερη
εἶναι ή διαφορά $T - T_\alpha$, τόσο ταχύτερα ὁ κινητήρας φθάνει αὐτό τόν ἀριθμό
στροφῶν.

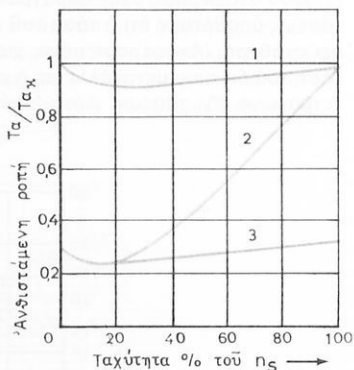
Στό σχῆμα 5.7α παριστάνεται ή καμπύλη μεταβολῆς τής ροπῆς T τοῦ κινητήρα
ὅταν μεταβάλλεται ή ταχύτητά του. Στό ἴδιο σχῆμα παριστάνεται καί ή ἀντίστοιχη
καμπύλη μεταβολῆς τής ἀνθιστάμενης ροπῆς T_α τοῦ φορτίου. Τό διαγραμμισμένο
τμήμα μεταξύ τῶν δύο καμπυλῶν δίνει γιά κάθε ταχύτητα τή διαφορά $T - T_\alpha$. Τό
σημεῖο Κ, στό ὁποῖο τέμνονται οἱ δύο καμπύλες, εἶναι τό σημεῖο λειτουργίας τοῦ
κινητήρα μέ ταχύτητα περιστροφῆς n_k . Στήν ταχύτητα αὐτή ή κινητήρια ροπή εἶναι
ἴση μέ τήν ἀνθιστάμενη ροπή τοῦ φορτίου.

Ἡ μορφή πού ἔχει ή καμπύλη τής ἀνθιστάμενης ροπῆς ἐξαρτᾶται ἀπό τό εἶδος
τοῦ φορτίου. Τό σχῆμα 5.7β δίνει τρεῖς χαρακτηριστικές καμπύλες ἀνθιστάμενης



Σχ. 5.7α.

Μεταβολή της κινητήριας και της αντίσταμνης ροπής.



Σχ. 5.7β.

Χαρακτηριστικές καμπύλες αντίσταμνης ροπής διαφόρων φορτίων.

ροπής διαφόρων φορτίων. Η καμπύλη 1 αντιστοιχεί σε φορτία, τα οποία παρουσιάζουν στη διάρκεια της εκκίνησης ροπή περίπου ίση με τη ροπή που έχουν στον κανονικό αριθμό στροφών ($T_{ακ}$). Φορτία αυτού του είδους παρουσιάζονται στα άνυψωτικά μηχανήματα, στις έμβολοφόρες αντλίες, στους μεταφορικούς ιμάντες κλπ. Η καμπύλη 2 αντιστοιχεί σε φορτία, των οποίων η ροπή αυξάνεται αίσθητά με την αύξηση των στροφών του κινητήρα, όπως είναι οι άνεμιστήρες, οι κεντροφύγες αντλίες, οι στροβιλοσυμπιεστές κλπ. Τέλος η καμπύλη 3 αντιστοιχεί σε εκκίνηση του εκκινητήρα χωρίς φορτίο. Δηλαδή το φορτίο στην περίπτωση αυτή εμφανίζεται, αφού ο κινητήρας πάρει την κανονική του ταχύτητα περιστροφής. Φορτία αυτού του είδους παρουσιάζονται στους τέρνους, πρέσες κλπ.

5.8 Ίσχύς ασύγχρονου κινητήρα.

Η ισχύς N_1 που απορροφά από το δίκτυο ο ασύγχρονος τριφασικός κινητήρας, όπως είναι γνωστό δίνεται από τη σχέση:

$$N_1 = \sqrt{3} \cdot U \cdot I \cdot \cos \phi \quad \text{σέ W}$$

Τό N_1 μπορεί να μετρηθεί με βατόμετρο και τά U και I με βολτόμετρο και άμπερομετρο συνδεσμοποιημένα όπως φαίνεται στο σχήμα 5.6α.

Όπως εξηγήσαμε στην παράγραφο 4.3, αν αγνοήσουμε τις ηλεκτρικές απώλειες στο τύλιγμα του στάτη του κινητήρα, η ισχύς N_1 μέσω των ηλεκτρομαγνητικών δυνάμεων μεταφέρεται στο δρομέα. Ο δρομέας χρησιμοποιεί την ισχύ αυτή για να κινήσει το φορτίο (μέ ισχύ N), που έχει στον άξονά του και για να αντιμετωπίσει τις ηλεκτρικές απώλειες στο τύλιγμα του δρομέα (N_n, δ), οι οποίες οφείλονται στο

φαινόμενο τζούλ. Οι απώλειες σιδήρου και τριβών του δρομέα δεχόμαστε ότι είναι αμελητέες, δηλαδή δεχόμαστε ότι μέ σημαντική προσέγγιση είναι:

$$N_1 = N + N_{n, \delta}$$

Στήν παράγραφο 4.3 είχαμε εξηγήσει επίσης ότι είναι:

$$N_1 = 2 \cdot \pi \cdot n_s \cdot T$$

όπου: T είναι η ροπή που άσκει στο δρομέα τό περιστρεφόμενο μαγνητικό πεδίο του στάτη. Μέ αρκετή προσέγγιση (αν αμελήσουμε τις απώλειες) μπορούμε να πούμε ότι η T είναι και η ροπή, μέ την οποία ο κινητήρας κινεί τό φορτίο του και γιά τήν οποία, όπως είδαμε (έδάφιο 1, παράγρ. 5.6) ισχύει η σχέση:

$$N = 2 \cdot \pi \cdot n \cdot T$$

Άρα:

$$N_{n, \delta} = N_1 - N = 2 \cdot \pi \cdot n_s \cdot T - 2 \cdot \pi \cdot n \cdot T = 2 \cdot \pi \cdot T \cdot (n_s - n)$$

Είναι όμως (παράγρ. 5.4):

$$n_s - n = s \cdot n_s$$

Συνεπώς:

$$N_{n, \delta} = 2 \cdot \pi \cdot T \cdot n_s \cdot s = N_1 \cdot s$$

Δηλαδή οι ηλεκτρικές απώλειες στο τύλιγμα του δρομέα είναι ανάλογες τής διολίσθησής και τής ισχύος N_1 που απορροφά ο κινητήρας από τό δίκτυο.

Ο βαθμός αποδόσεως του κινητήρα όπως είναι γνωστό δίνεται από τή σχέση:

$$\eta = \frac{N}{N_1}$$

Μέ τις απλουστευτικές παραδοχές που κάναμε στά προηγούμενα έχομε μέ προσέγγιση ότι:

$$\eta = \frac{N}{N_1} = \frac{N_1 - N_{n, \delta}}{N_1} = \frac{N_1 - N_1 \cdot s}{N_1} = 1 - s$$

Δηλαδή ο βαθμός αποδόσεως ενός ασύγχρονου κινητήρα στήν κανονική του λειτουργία είναι τόσο καλύτερος, όσο μικρότερη είναι η διολίσθησή του. Όπως θά δούμε, στους ασύγχρονους κινητήρες μέ δακτύλιους είναι δυνατό νά ελαττώσουμε τήν ταχύτητα περιστροφής τους μέ τή βοήθεια ενός ρυθμιστή στροφών, ο οποίος συνδέεται όπως ο έκκινητής. Πρέπει όμως νά έχομε υπόψη μας, ότι στήν περίπτωση αυτή ελαττώνομε τό βαθμό αποδόσεως του κινητήρα, γιατί η διολίσθησή του αύξάνεται.

Παράδειγμα.

Στόν κινητήρα του παραδείγματος τής παραγράφου 5.6 νά υπολογισθεῖ μέ προσέγγιση ο βαθμός αποδόσεώς του. Πόσος γίνεται ο βαθμός αποδόσεως αν ο

κανονικός αριθμός στροφών του κινητήρα είναι $n = 2700$ στρ/μιν; (Νά ληφθεί $f = 50$ Hz).

Λύση.

Γιά $n = 2880$ στρ/μιν είναι:

$$s = \frac{n_s - n}{n_s} = \frac{3000 - 2880}{3000} = \frac{120}{3000} = 0,04$$

Άρα ο βαθμός αποδόσεως θα είναι:

$$\eta = 1 - s = 1 - 0,04 = 0,96$$

Γιά $n = 2700$ στρ/μιν είναι:

$$s = \frac{3000 - 2700}{3000} = \frac{300}{3000} = 0,1$$

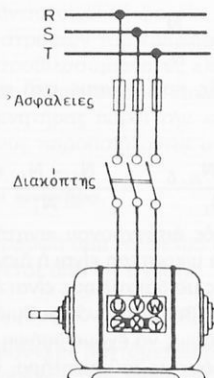
Ο βαθμός αποδόσεως είναι τώρα:

$$\eta = 1 - 0,1 = 0,9$$

5.9 Ἡ ἐκκίνηση τῶν κινητῆρων μέ βραχυκυκλωμένο δρομέα.

1) Ἀπευθείας ἐκκίνηση.

Ἡ ἀπευθείας ἐκκίνηση, δηλαδή μέ τή χρήση μόνο ἑνός ἀπλοῦ τριπολικοῦ διακόπτη (σχ. 5.9α), εἶναι ἡ ἀπλούστερη μέθοδος γιά νά βάλομε σέ λειτουργία ἕνα τρι-



Σχ. 5.9α.
Ἀπευθείας ἐκκίνηση.

φασικό κινητήρα μέ βραχυκυκλωμένο δρομέα. Ἡ μέθοδος αὐτή ἐφαρμόζεται σέ ὀρισμένες περιπτώσεις στή βιομηχανία.

Ὁ λόγος, γιά τόν ὁποῖο δέν ἔχει γενική ἐφαρμογή στους κινητήρες μέ βραχυκυκλωμένο δρομέα, εἶναι ὅτι, ὅπως ἐξηγήσαμε στήν παράγραφο 5.6, οἱ κινητήρες αὐτοί ἔχουν μεγάλες ἐντάσεις ἐκκινήσεως. Οἱ ἐντάσεις αὐτές προκαλοῦν στιγ-

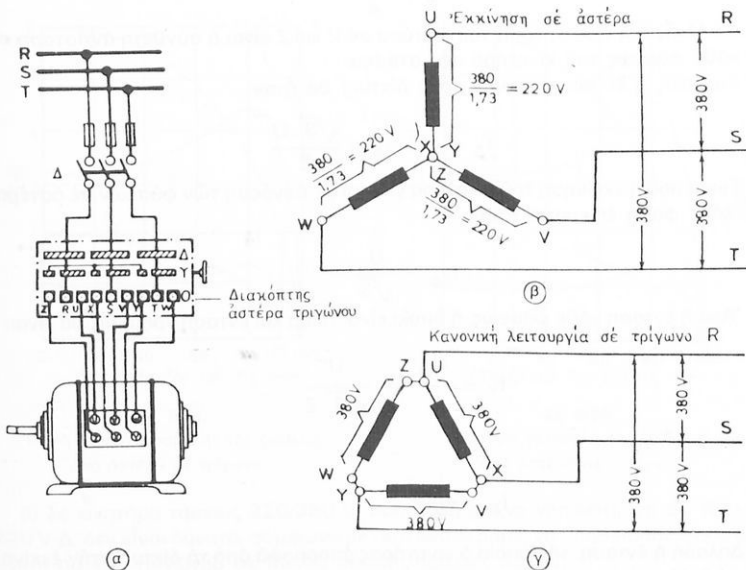
μιαίες πτώσεις τάσεως στα δίκτυα που τροφοδοτούν τούς κινητήρες, οι οποίες ονομάζονται **βυθίσεις τάσεως**. Οι βυθίσεις τάσεως, όταν μάλιστα είναι τακτικές, είναι ενοχλητικές στους άλλους καταναλωτές (φωτισμού, τηλεόρασης κλπ.) και μπορούν να προκαλέσουν και γενικότερες ανωμαλίες στα δίκτυα. Το μέγεθος της βυθίσωσης τάσεως δεν εξαρτάται μόνο από το I_{EK} αλλά και από την ικανότητα του δικτύου ηλεκτροδότησεως.

Για τούς παραπάνω λόγους πρέπει πριν από την εγκατάσταση ενός κινητήρα να προηγηθεί συνεννόηση με την επιχείρηση, η οποία παρέχει την ηλεκτρική ενέργεια (με τη ΔΕΗ στη χώρα μας), αν είναι επιτρεπτή ή άπευθείας εκκίνηση του κινητήρα ή απαιτείται η τοποθέτηση διατάξεως, με την οποία, όπως θα εξηγήσουμε αμέσως παρακάτω μπορούμε να ελαττώσουμε το I_{EK} των ασυγχρόνων κινητήρων.

Για να περιορισθεί η ανάγκη τέτοιων συνεννοήσεων, τουλάχιστον για την εγκατάσταση των μικρών κινητήρων, η ΔΕΗ με σχετική οδηγία της καθόρισε τις μέγιστες εντάσεις εκκινήσεως που επιτρέπονται για οποιασδήποτε φύσεως κινητήρες, για την εγκατάσταση των οποίων δεν χρειάζεται προηγούμενη συνεννόηση με τις Υπηρεσίες της.

2) Έκκίνηση με διακόπτη άστέρα-τριγώνου.

Η εκκίνηση στην περίπτωση αυτή γίνεται με τη βοήθεια ενός κατάλληλου διακόπτη [σχ. 5.9β(α)], που ονομάζεται **διακόπτης άστέρα-τριγώνου**. Το τύλιγμα του



Σχ. 5.9β.

Έκκίνηση με διακόπτη άστέρα-τριγώνου.

στάτη, τό όποιο είναι κατασκευασμένο γιά νά εργάζεται κανονικά μέ σύνδεση sé τρίγωνο, στήν έκκίνηση συνδεσμολογείται από τό διακόπτη sé άστέρα.

Όταν ό δείκτης του στρόφαλου του διακόπτη βρίσκεται στή θέση 0, δέν γίνεται τροφοδότηση του κινητήρα από τό δίκτυο άκόμα καί αν ό διακόπτης Δ είναι κλειστός. Ό κινητήρας είναι άκίνητος. Όταν περιστρέψομε τό στρόφαλο, ώστε ό δείκτης του νά αντιστοιχεί στό σύμβολο Υ, οι αντίστοιχοι μεταλλικοί τομείς του διακόπτη συνδεσμολογούν τίς τρείς φάσεις του τυλίγματος του στάτη sé άστέρα, όπως δείχνει τό σχήμα 5.9β (β) καί ταυτόχρονα τό τύλιγμα τίθεται υπό τάση καί συνεπώς ό κινητήρας ξεκινά.

Άφού ξεκινήσει ό κινητήρας καί οι στρόφές του φθάσουν sé κάποιο όριο ώστε νά μήν αυξάνονται περισσότερο, στρέφομε τό στρόφαλο του διακόπτη άστέρα - τριγώνου στή θέση Δ. Οι φάσεις του τυλίγματος του στάτη συνδεσμολογούνται τώρα από τούς τομείς του διακόπτη sé τρίγωνο, όπως δείχνει τό σχήμα 5.9β (γ). Μέ τή συνδεσμολογία αυτή κάθε φάση του τυλίγματος τίθεται υπό τήν πολική τάση του δικτύου, γιά τήν όποία καί έχει κατασκευασθεί. Συνεπώς ό κινητήρας μπορεί νά εργασθεί μέ τό κανονικό του φορτίο.

Αν ή έκκίνηση του κινητήρα γινόταν χωρίς διακόπτη άστέρα-τριγώνου, αλλά μέ άπευθείας ζεύξη των τριών φάσεων του sé τρίγωνο, ή ένταση, πού θά διέρρεε (στήν έκκίνηση) τό τύλιγμα κάθε φάσεως, θά δινόταν από τή σχέση:

$$I_{\phi} = \frac{U}{Z}$$

όπου: U είναι ή πολική τάση του δικτύου sé V καί Z είναι ή σύνθετη αντίσταση sé Ω κάθε φάσεως του κινητήρα «έν στάσει».

Συνεπώς ή ένταση γραμμής (στό δίκτυο) θά ήταν:

$$I_{\Delta} = \sqrt{3} \cdot I_{\phi} = \frac{\sqrt{3} \cdot U}{Z}$$

Τώρα πού ή έκκίνηση του κινητήρα γίνεται μέ σύνδεση των φάσεων sé άστέρα, sé κάθε φάση έπικρατεί τάση:

$$U_{\phi} = \frac{U}{\sqrt{3}}$$

Άρα ή ένταση κάθε φάσεως, ή όποία είναι τώρα καί ένταση γραμμής, θά είναι:

$$I_Y = \frac{U_{\phi}}{Z} = \frac{U}{\sqrt{3} \cdot Z}$$

Συνεπώς είναι:

$$I_Y = \frac{I_{\Delta}}{3}$$

Δηλαδή ή ένταση, τήν όποία ό κινητήρας άπορροφά από τό δίκτυο στήν έκκίνηση μέ ζεύξη sé άστέρα, είναι τρείς φορές μικρότερη από τήν ένταση πού άπορροφά μέ άπευθείας ζεύξη sé τρίγωνο. Κατά τό ίδιο ποσοστό μειώνεται καί ή ροπή έκ-

λο, ώστε να μεταβούμε από τη ζεύξη του άστερα στη ζεύξη του τριγώνου. Όπως αναφέραμε, αυτή πρέπει να είναι η στιγμή, κατά την οποία ο κινητήρας με ζεύξη σε άστερα μόλις έχει παύσει να αυξάνει τις στροφές του. Αν η μετάβαση γίνει πολύ νωρίτερα, η χρησιμοποίηση του διακόπτη άστερα-τριγώνου παύει σχεδόν να έχει οποιαδήποτε σημασία, όπως εξηγούν τα δύο σχήματα 5.9γ και 5.9δ.

Στα σχήματα αυτά οι καμπύλες με δείκτη Δ αναφέρονται σε λειτουργία του κινητήρα με ζεύξη των φάσεων του σε τρίγωνο και οι καμπύλες με δείκτη Υ με ζεύξη των φάσεων του ίδιου κινητήρα σε άστερα. Καί στις δύο περιπτώσεις η τάση του δικτύου παραμένει η ίδια, δηλαδή η κανονική τάση τροφοδοτήσεως του κινητήρα.

Στο σχήμα 5.9γ παρατηρούμε ότι τη χρονική στιγμή Μ της μεταβολής από άστερα σε τρίγωνο, η ένταση αυξάνεται απότομα, αλλά δεν υπερβαίνει την αρχική τιμή του I_{EK} (περίπου διπλάσια του I_{OV}). Στην περίπτωση του σχήματος 5.9δ η μεταβολή της ζεύξεως από άστερα σε τρίγωνο έγινε πρόωρα (χρονική στιγμή Μ'), όταν ο κινητήρας είχε μόλις τα 25% της κανονικής ταχύτητάς του. Παρατηρούμε ότι η ένταση αυξάνεται τώρα απότομα 5,7 φορές περισσότερο από την I_{OV} . Δηλαδή η παρεμβολή του διακόπτη άστερα-τριγώνου δεν είχε σχεδόν καμιά επίδραση, αφού και χωρίς αυτόν θα ήταν $I_{EK}/I_{OV} = 6$, όπως προκύπτει από τη σχετική καμπύλη του σχήματος 5.9δ.

3) Έκκίνηση με αντίστροφες στο στάτη.

Στη μέθοδο αυτή της εκκινήσεως χρησιμοποιούμε εκκινήτη που αποτελείται από τρεις αντίστροφες, τις οποίες παρεμβάλλουμε στο κύκλωμα που τροφοδοτεί το στάτη του κινητήρα με βραχυκυκλωμένο δρομέα, όπως δείχνει το σχήμα 5.9ε (α).

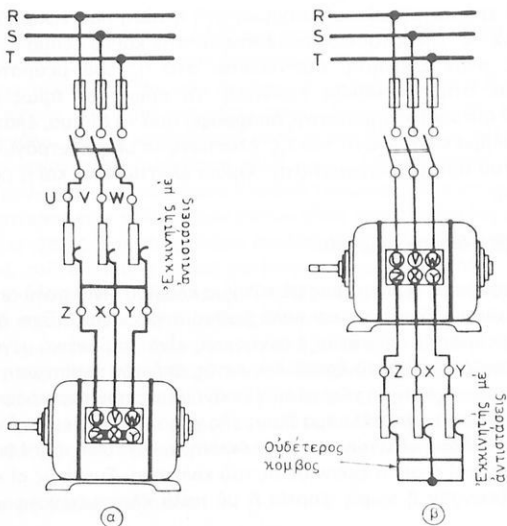
Ο κινητήρας με τον τρόπο αυτό ξεκινά με ελαττωμένη τάση και συνεπώς και με ελαττωμένη ένταση. Προοδευτικά όσο αυξάνεται η ταχύτητά του, αφαιρούμε τις αντίστροφες, ώστε στην κανονική λειτουργία του κινητήρα όλες οι αντίστροφες του εκκινήτη να είναι εκτός κυκλώματος.

Αν ο κινητήρας είναι κατασκευασμένος να λειτουργεί κανονικά με ζεύξη των φάσεων του σε άστερα, τότε η τοποθέτηση του εκκινήτη γίνεται, όπως φαίνεται στο σχήμα 5.9ε (β). Στην περίπτωση αυτή ο ουδέτερος κόμβος των τριών φάσεων του κινητήρα γίνεται στον εκκινήτη.

4) Έκκίνηση με αυτομετασχηματιστή.

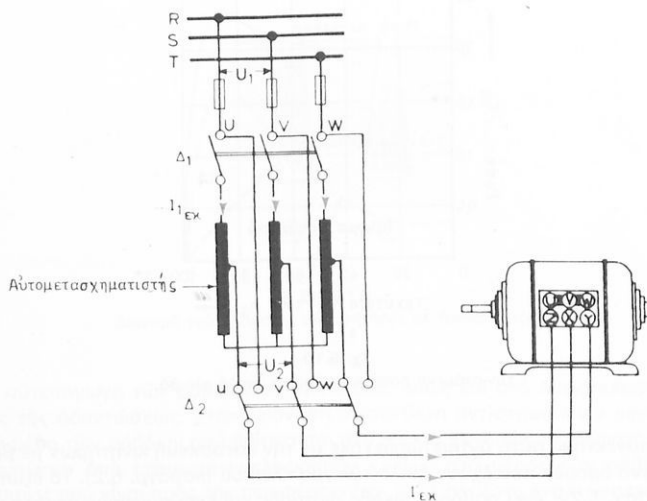
Για την εκκίνηση μεγάλων κινητήρων με βραχυκυκλωμένο δρομέα χρησιμοποιούμε συνήθως τριφασικούς αυτομετασχηματιστές (γι' αυτούς θα μιλήσουμε σε επόμενο κεφάλαιο) που συνδεσμολογούνται, όπως δείχνει το σχήμα 5.9στ. Στην εκκίνηση συνδέουμε τον κινητήρα με τη βοήθεια του διακόπτη διπλής ενέργειας Δ₂ με τις λήψεις υ, ν, w του αυτομετασχηματιστή. Στη συνέχεια κλείνουμε το διακόπτη Δ₁, ο οποίος τροφοδοτεί τον αυτομετασχηματιστή. Έτσι ο κινητήρας ξεκινά με ελαττωμένη τάση, η οποία φθάνει μέχρι το $\frac{1}{3}$ της τάσεως του δικτύου (ανάλογα με την κατασκευή του αυτομετασχηματιστή).

Μετά την εκκίνηση του κινητήρα μεταθέτουμε τις επαφές του διακόπτη Δ₂ προς τα δεξιά, ώστε ο κινητήρας να βρεθεί στην πλήρη τάση του δικτύου για την κανονική του λειτουργία. Τέλος ανοίγουμε το διακόπτη Δ₁ για να μην είναι υπό τάση ο αυτομετασχηματιστής.



Σχ. 5.9ε.

Έκκίνηση με αντίστροφες στο στάτη.



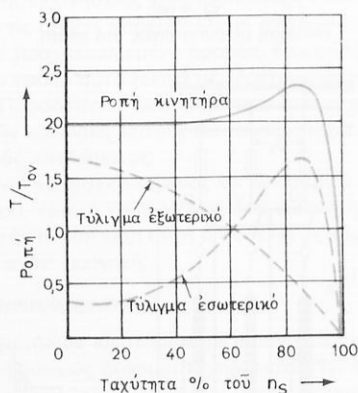
Σχ. 5.9στ.

Έκκίνηση με αυτομετασχηματιστή.

“Αν με τή χρήση του αυτόμετασχηματιστή ή τάση που εφαρμόζεται στον κινητήρα είναι π.χ. τό $\frac{1}{2}$ τής τάσεως του δικτύου, τότε και τό ρεύμα I'_{EK} , που απορροφά ο κινητήρας στην εκκίνηση, ελαττώνεται στο $\frac{1}{2}$ του ρεύματος I_{EK} , που θα απορροφούσε στην άπευθείας εκκίνηση. Τό πρωτεύον όμως ρεύμα I_{1EK} (σχ. 5.9στ) που ο αυτόμετασχηματιστής απορροφά από τό δίκτυο, ελαττώνεται στο $\frac{1}{4}$. Δηλαδή τό ρεύμα αυτό έναντι του I_{EK} ελαττώνεται με τό τετράγωνο τής **σχέσεως μεταφοράς** του αυτόμετασχηματιστή. Όμοια ελαττώνεται και ή ροπή εκκινήσεως του κινητήρα.

5.10 Κινητήρες διπλού κλωβού.

Όπως αναφέραμε, ο κινητήρας με τύλιγμα κλωβού είναι πολύ απλός στην κατασκευή του, έχει μικρό κόστος και καλό βαθμό αποδόσεως. Έχει όμως τό μειονέκτημα ότι τό ρεύμα τής άπευθείας εκκινήσεως, είναι σημαντικά μεγαλύτερο από τό όνομαστικό του ρεύμα. Αυτό επιβάλλει, εκτός από τήν περίπτωση των μικρών κινητήρων, τή χρησιμοποίηση των μέσων εκκινήσεως, που περιγράψαμε στην προηγούμενη παράγραφο. Αποτέλεσμα όμως τής χρησιμοποιήσεως των μέσων αυτών, τά όποια όπως είδαμε ελαττώνουν στην εκκίνηση τήν τάση που εφαρμόζεται, είναι νά ελαττώνεται και ή ροπή εκκινήσεως του κινητήρα. Συνεπώς οι κινητήρες αυτοί μπορούν νά ξεκινούν ή χωρίς φορτίο ή με πολύ ελαττωμένο φορτίο.



Σχ. 5.10.

Συνιστάμενη ροπή κινητήρα με διπλό κλωβό.

Τό μειονέκτημα αυτό αντιμετωπίστηκε με τήν κατασκευή κινητήρων με βραχυκυκλωμένο δρομέα που έχουν διπλό τύλιγμα κλωβού (παράγρ. 5.2): Τό έξωτερικό τύλιγμα (σχ. 5.2γ) έχει ράβδους μικρής διατομής και έχει συνεπώς μεγάλη ωμική αντίσταση. Επίσης, επειδή τό τύλιγμα αυτό βρίσκεται κοντά στην περιφέρεια, ή αυτεπαγωγική του αντίσταση λόγω σκεδάσεως είναι μικρή. Τό έσωτερικό τύλιγμα

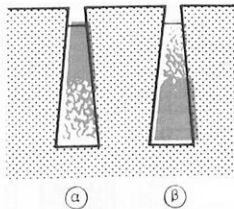
κλωβού αποτελείται από λιγότερες ράβδους μεγάλης διατομής. Έχει συνεπώς μικρή ωμική και μεγάλη αυτεπαγωγική αντίσταση.

Με τη βοήθεια των σχέσεων, που δώσαμε στην παράγραφο 5.5, είναι εύκολο να συμπεράνει κανείς, ότι στην εκκίνηση, όποτε η συχνότητα του ρεύματος στο δρομέα είναι μεγάλη, ρεύμα κυκλοφορεί κυρίως στο έξωτερικό τύλιγμα κλωβού, του οποίου η αυτεπαγωγική αντίσταση είναι μικρή. Στην κανονική λειτουργία, ή συχνότητα του ρεύματος στα τυλίγματα κλωβού του κινητήρα είναι μικρή. Οι αυτεπαγωγικές αντιστάσεις των τυλιγμάτων αυτών είναι τότε άμελητες μπροστά στις ωμικές τους αντιστάσεις. Συνεπώς ρεύμα κυκλοφορεί τότε κυρίως στο έσωτερικό τύλιγμα κλωβού, του οποίου η ωμική αντίσταση είναι πιο μικρή.

Η ροπή του κινητήρα είναι κάθε στιγμή τό άθροισμα των ροπών, που αναπτύσσονται στα δύο τυλίγματα κλωβού, όπως δείχνει η σχετική καμπύλη στο σχήμα 5.10. Δίνοντας τις κατάλληλες διαστάσεις στα δύο τυλίγματα, είναι δυνατό να διαμορφώσουμε την καμπύλη αυτή, ώστε ο κινητήρας να προσαρμόζεται άριστα στο μηχανήμα που πρόκειται να κινήσει. Στους κινητήρες αυτούς τό ρεύμα της άπευθείας εκκινήσεως είναι 2 ως 3,5 φορές μεγαλύτερο από τό όνομαστικό ρεύμα του κινητήρα, και ό βαθμός απόδόσεως στην κανονική λειτουργία είναι ικανοποιητικός.

5.11 Κινητήρες μέ βαθιά αυλάκια.

Ο κινητήρας διπλού κλωβού έκτοπίζεται σιγά-σιγά από τόν κινητήρα μέ βαθιά αυλάκια (παράγρ. 5.2, σχ. 5.2γ), ό όποιος είναι πιο άπλός στην κατασκευή και έχει τά χαρακτηριστικά του πρώτου.



Σχ. 5.11.

Διανομή του ρεύματος σέ κινητήρες μέ βαθιά αυλάκια.

Η αυτεπαγωγή των ράβδων μεταβάλλεται, όπως και στό διπλό κλωβό, μέ τό βάθος της όδοντώσεως. Στην εκκίνηση, ή σύνθετη αντίσταση είναι μεγαλύτερη για τά μέρη των ράβδων που βρίσκονται στό βάθος. Συνεπώς τά ρεύματα που δημιουργούνται από έπαγωγή κυκλοφορούν κυρίως στό μέρος των ράβδων του τυλίγματος που είναι προς την περιφέρεια (σχ. 5.11(α)). Έτσι αναπτύσσεται ικανοποιητική ροπή εκκινήσεως.

Στην κανονική λειτουργία, όταν ή ταχύτητα αύξηθει, έλαττώνεται ή συχνότητα του ρεύματος που δημιουργείται από έπαγωγή στό τύλιγμα του δρομέα. Η σύνθε-

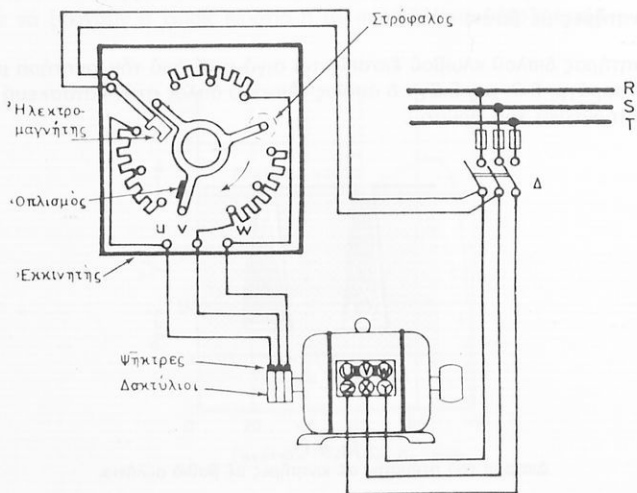
τη αντίσταση είναι τώρα μικρότερη στο μέρος των ράβδων, που βρίσκονται πρὸς τὸ ἐσωτερικὸ τοῦ δρομέα. Ἄρα ρεῦμα θὰ κυκλοφορεῖ κυρίως στὸ μέρος αὐτὸ των ράβδων (σχ. 5.11(β)). Μὲ τὸν τρόπο αὐτὸ ἐξασφαλίζεται καλὸς βαθμὸς ἀποδόσεως στὴν κανονικὴ λειτουργία τοῦ κινητήρα.

Παρατηροῦμε δηλαδή ὅτι στοὺς κινητήρες αὐτοὺς γίνεται **μετατόπιση** τοῦ ρεύματος μέσα στὶς ράβδους τοῦ τυλίγματος κλωβοῦ. Αὐτὸς εἶναι ὁ λόγος πού, ὅπως ἀναφέραμε καὶ στὴν παράγραφο 5.2, οἱ δρομεῖς αὐτοὶ ὀνομάζονται **δρομεῖς μετατόπισεως ρεύματος**.

Οἱ κινητήρες μὲ βαθιὰ αὐλάκια χρησιμοποιοῦνται σήμερα σέ σημαντικὴ ἔκταση καὶ μάλιστα μὲ ἀπευθείας ἐκκίνηση γιὰ ἰσχύ μέχρι μερικὲς ἑκατοντάδες κιλοβάττ.

5.12 Ἡ ἐκκίνηση των κινητήρων μὲ δακτύλιους.

Στοὺς κινητήρες μὲ δακτύλιους, γιὰ νὰ ἐλαττώσουμε τὴν ἔνταση ἐκκινήσεως πού ἀπορροφοῦν ἀπὸ τὸ δίκτυο, ὅπως ἀναφέραμε καὶ στὴν παράγραφο 5.6, ἐδάφιο 2, συνδέουμε ἓνα τριφασικὸ ἐκκινητὴ σέ σειρὰ μὲ τὸ τύλιγμα τοῦ δρομέα μὲ τὴ βοήθεια των δακτυλίων καὶ των ψηκτρῶν πού ἐφάπτονται σέ αὐτοὺς (σχ. 5.12α).



Σχ. 5.12α.

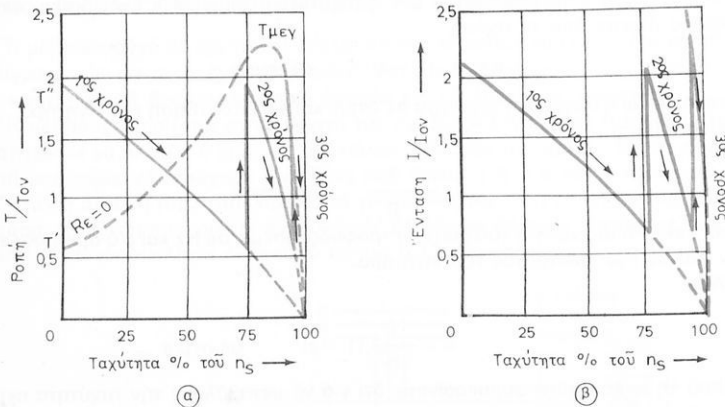
Συνδεσμολογία τριφασικοῦ ἐκκινητῆ ἀντιστάσεων σέ ἀσύγχρονο κινητήρα μὲ δακτύλιους.

Ὁ ἐκκινητὴς τοῦ σχήματος 5.12α παριστάνεται στὴ θέση ἡρεμίας. Γιὰ τὴν ἐκκίνηση τοῦ κινητήρα, ἀφοῦ κλείσουμε τὸ διακόπτη Δ, στρέφουμε τὸ στρόφαλο τοῦ ἐκκινητῆ ὥστε οἱ τρεῖς βραχίονές του νὰ ἔλθουν στὶς πρῶτες ἐπαφές. Ὀλόκληρες οἱ ἀντιστάσεις τοῦ ἐκκινητῆ εἶναι τότε συνδεμένες σέ σειρὰ μὲ τὸ τύλιγμα τοῦ δρομέα. Μετὰ τὴν ἐκκίνηση τοῦ κινητήρα στρέφουμε σιγά-σιγά τὸ στρόφαλο στὶς δεύ-

τερες έπαφές κλπ. μέχρι τις τελευταίες, όποτε όλες οι αντίστάσεις του έκκινητή θά είναι εκτός κυκλώματος. Τώρα ό στρόφαλος του έκκινητή βραχυκυκλώνει τούς τρείς δακτύλιους.

“Αν ό κινητήρας έχει σύστημα άνυψώσεως τών ψηκτρών, όπως αυτό του σχήματος 5.2η, τότε, αφού βραχυκυκλώσωμε μέ αυτό τούς δακτύλιους (παράγρ. 5.2), αφήνωμε τό στρόφαλο του έκκινητή, ό οποίος μέ ένα έλατήριο έπαναφοράς πού έχει επανέρχεται στή θέση ήρεμίας, ενώ ό κινητήρας εργάζεται κανονικά.

“Αν ό κινητήρας δέν έχει σύστημα άνυψώσεως τών ψηκτρών, ό στρόφαλος του έκκινητή κρατιέται στήν τελευταία έπαφή μέ τή βοήθεια ενός **ήλεκτρομαγνήτη** πού έχει καί του όπλισμού του (σχ. 5.12α). “Αν γιά όποιοδήποτε λόγο έλαττωθεί ή τάση του δικτύου, ό ήλεκτρομαγνήτης έλευθερώνει τόν όπλισμό του καί τό έλατήριο επαναφέρει τό στρόφαλο στή θέση ήρεμίας. Τό ίδιο συμβαίνει καί αν ανοίξωμε τό διακόπτη Δ. “Ετσι δέν υπάρχει κίνδυνος νά ξεκινήσει ό κινητήρας μέ τις αντίστάσεις του έκκινητή βραχυκυκλωμένες.



Σχ. 5.12β.

Μεταβολή της ροπής καί της έντάσεως του στάτη κατά τήν έκκίνηση κινητήρα μέ δακτύλιους.

“Ο έκκινητής του σχήματος 5.12α έχει τρείς έπαφές γιά κάθε αντίσταση, δηλαδή ή έκκίνηση γίνεται σέ τρείς χρόνους. Σέ κάθε έπαφή του στρόφάλου, δηλαδή σέ κάθε χρόνο, είναι συνδεμένη διαφορετική αντίσταση σέ σειρά μέ τό τύλιγμα του δρομέα. “Όπως είδαμε όμως στήν παράγραφο 5.6, γιά κάθε τιμή της έξωτερικής αντίστάσεως R_e έχουμε καί διαφορετική καμπύλη μεταβολής της ροπής, όταν μεταβάλλεται ό αριθμός στροφών του κινητήρα (σχ. 5.6γ). “Αρα στή διάρκεια της έκκινήσεως ή ροπή του κινητήρα θά μεταβάλλεται, όπως δείχνει τό σχήμα 5.12β(α). Κατά τόν τελευταίο χρόνο, όταν όλη ή αντίσταση του έκκινητή θά είναι εκτός κυκλώματος, όποτε έχουμε τήν κανονική λειτουργία του κινητήρα, ή ροπή θά μεταβάλλεται στήν καμπύλη $R_e = 0$ τών σχημάτων 5.6γ καί 5.12β.

Στό σχήμα 5.12β(β) παριστάνεται ή αντίστοιχη μεταβολή της έντάσεως, πού απορροφά ό κινητήρας από τό δίκτυο, σέ όλη τή διάρκεια της έκκινήσεως μέχρι καί τήν κανονική λειτουργία (3ος χρόνος).

Παρατηρούμε ότι στή διάρκεια της έκκινήσεως ή ροπή του κινητήρα κυμαίνεται μεταξύ δύο όριων T' καί T'' (σχ. 5.12β(α)) Τά όρια αυτά ρυθμίζονται μέ κατάλληλη έκλογή τών αντίστάσεων καί του

άριθμου των χρόνων του έκκινητή. Πάντως πρέπει να σημειώσουμε ότι όσο τό άνω όριο T'' είναι μεγαλύτερο και πλησιάζει τό $T_{μεγ}$, τόσο και ή ένταση έκκινήσεως θά είναι μεγαλύτερη. Μόνο σέ περιπτώσεις, πού χρειάζεται νά έχομε πολύ μεγάλη ροπή έκκινήσεως, ή όλική αντίσταση του έκκινητή εκλέγεται έτσι ώστε τό T'' νά είναι ίσο μέ τό $T_{μεγ}$. Γιά κινητήρα π.χ. γιά τόν όποιο ισχύουν οι καμπύλες του σχήματος 5.6γ, θά πρέπει νά ληφθεί όλική αντίσταση του έκκινητή $R_e = 5 R_2$.

Ή ένταση έκκινήσεως είναι δυνατό νά γίνει όσο θέλομε μικρή μέ κατάλληλη έκλογή τής όλικής αντίστασης του έκκινητή. Στην περίπτωση αυτή όμως έλαττώνεται και ή ροπή έκκινήσεως T'' .

Παρά τό γεγονός ότι μέ τή χρήση του έκκινητή στους κινητήρες μέ δακτύλιους βελτιώνονται σημαντικά οι συνθήκες έκκινήσεως, μέ αύξηση τής ροπής και μείωση του ρεύματος, ή χρήση των κινητήρων αυτών είναι σχετικά περιορισμένη. Τό κόστος τους είναι μεγαλύτερο από τους κινητήρες μέ βραχυκυκλωμένο δρομέα και χρειάζονται πίο συχνή συντήρηση επειδή έχουν τούς δακτύλιους, τής ψήκτρης κλπ. Χρησιμοποιούνται γιά ισχύ μέχρι μερικές χιλιάδες κιλοβάττ.

5.13 Ρύθμιση τής ταχύτητας στους άσύγχρονους τριφασικούς κινητήρες.

Όπως είδαμε στην παράγραφο 5.4, ή ταχύτητα περιστροφής ενός άσύγχρονου κινητήρα δίνεται από τή σχέση:

$$n \approx n_s (1 - s) \quad \text{σέ στρ/ς}$$

όπου: n_s είναι ή σύγχρονη ταχύτητα σέ στρ/ς και s ή διολίσθηση του κινητήρα.

Είναι όμως:

$$n_s = \frac{f}{p} \quad \text{σέ στρ/ς}$$

όπου: f είναι ή συχνότητα του δικτύου τροφοδοτήσεως σέ Hz και p ό αριθμός ζευγών πόλων του τυλίγματος του κινητήρα.

Άρα:

$$n = \frac{f}{p} (1 - s) \quad \text{σέ στρ/ς}$$

Από τή σχέση αυτή συμπεραίνομε ότι γιά νά μεταβάλομε τήν ταχύτητα περιστροφής σέ ένα άσύγχρονο κινητήρα, πρέπει νά μεταβάλομε ένα από τά μεγέθη s , f .

1) Ρύθμιση τής ταχύτητας μέ μεταβολή τής διολίσθησεως.

Ή μέθοδος αυτή είναι δυνατό νά εφαρμοσθεϊ στους κινητήρες μέ δακτύλιους. Στην περίπτωση αυτή απαιτείται ένας **ρυθμιστής στροφών**, ό όποιος συνδέεται άκριβώς όπως ό έκκινητής (σχ. 5.12 α) Ή μόνη διαφορά είναι, ότι οι αντίστάσεις του ρυθμιστή στροφών είναι ύπολογισμένες, ώστε νά μπορούν νά παραμένουν γιά μεγάλα χρονικά διαστήματα στό κύκλωμα, χωρίς κίνδυνο νά καταστραφούν από τή θερμότητα πού παράγεται. Οι αντίστάσεις του έκκινητή άντέχουν μόνον στή θερμότητα, ή όποία παράγεται στό σχετικά σύντομο χρονικό διάστημα.πού διαρκεί ή εκκίνηση.

Αν θέλομε νά έλαττώσομε τήν ταχύτητα περιστροφής του κινητήρα, εισάγομε σέ σειρά μέ τό τυλίγμα του δρομέα αντίστάσεις του ρυθμιστή στροφών. Όσο μεγαλύτερες είναι οι αντίστάσεις, τόσο μικρότερη είναι ή ταχύτητα του κινητήρα γιά

όρισμένο φορτίο. Αυτό εξηγείται εύκολα με τη βοήθεια των καμπυλών του σχήματος 5.6γ. Για φορτίο π.χ. ίσο με τό T_{ov} ($T/T_{ov} = 1$) και για μηδενική αντίσταση του ρυθμιστή στροφών ($R_e = 0$) έχουμε ταχύτητα του κινητήρα n_k . Η ταχύτητα του κινητήρα με τό ίδιο φορτίο ελαττώνεται σε n'_k ή n''_k αν οι αντιστάσεις του ρυθμιστή είναι $R'_e = 2 R_e$ ή $R''_e = 5 R_e$.

Η μέθοδος αυτή ρυθμίσσεως των στροφών του ασύγχρονου κινητήρα είναι αν-οικονομική, γιατί ελαττώνεται σημαντικά ο βαθμός αποδόσεως του κινητήρα. Αυτό γίνεται γιατί έχουμε απώλειες ενέργειας με μορφή θερμότητας, που εμφανίζεται στις αντιστάσεις του ρυθμιστή στροφών.

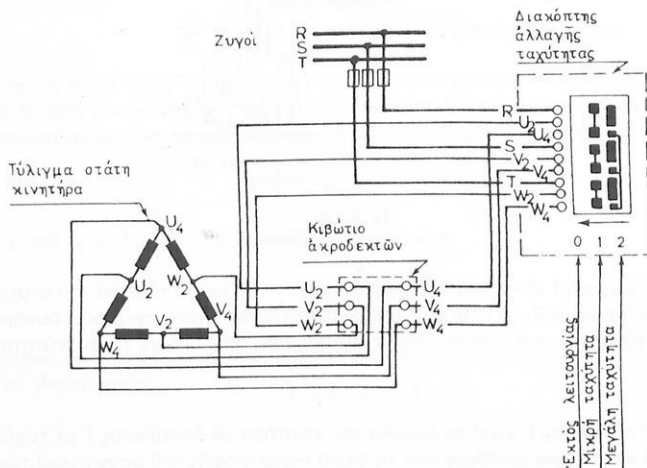
Πρέπει τέλος να σημειώσουμε ότι στην περίπτωση χρησιμοποίησεως ρυθμιστή στροφών, μεταβολή του φορτίου του κινητήρα συνεπάγεται και μεταβολή της ταχύτητας περιστροφής του. Επίσης, ότι αύξηση της ταχύτητας του κινητήρα πέρα από τη σύγχρονη ταχύτητα δεν είναι δυνατή με τη μέθοδο αυτή.

2) Μεταβολή του αριθμού ζευγών πόλων του τυλίγματος.

Η μέθοδος αυτή θα εξετασθεί αναλυτικά στο κεφάλαιο που θα μιλήσουμε για τα τυλίγματα των μηχανών έναλλασσόμενου ρεύματος. Εφαρμόζεται στην περίπτωση κινητήρων με βραχυκυκλωμένο δρομέα και με άπευθείας εκκίνηση.

Η μέθοδος στηρίζεται στην αλλαγή της συνδεσμολογίας των τυλιγμάτων του στάτη ώστε να αλλάζει ο αριθμός των πόλων του όλου τυλίγματος. Με τη μέθοδο αυτή μπορούμε να πετύχουμε κινητήρες που έχουν 2 ή 3 ή και 4 ταχύτητες.

Όταν η αλλαγή ταχύτητας πρέπει να γίνεται τακτικά κατά τη λειτουργία του κινητήρα, τότε χρησιμοποιείται ένας ειδικός **διακόπτης αλλαγής ταχύτητας**, του οποίου τη συνδεσμολογία δείχνει τό σχήμα 5.13α.



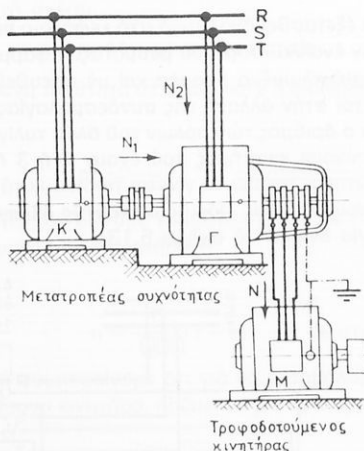
Σχ. 5.13α.

Συνδεσμολογία διακόπτη αλλαγής ταχύτητας σε κινητήρα δύο ταχυτήτων.

3) Άλλαγή της συχνότητας του ρεύματος τροφοδοτήσεως.

Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιείται κυρίως όταν θέλουμε να έχουμε κινητήρες που να περιστρέφονται με ταχύτητες πάνω από 3000 στρ/μιν.

Όπως είναι γνωστό, με ρεύμα συχνότητας 50 Hz και διπολικό κινητήρα έχουμε σύγχρονη ταχύτητα 3000 στρ/μιν και πραγματική ταχύτητα του κινητήρα λίγο μικρότερη (κατά τη διολίσθηση). Για την κίνηση όμως ορισμένων μηχανημάτων, όπως π.χ. μηχανημάτων επεξεργασίας ξύλου, μηχανημάτων της ύφαντουργικής βιομηχανίας κλπ. χρειάζονται ταχύτητες μεγαλύτερες. Στις περιπτώσεις αυτές τροφοδοτούμε τους κινητήρες με ρεύμα που έχει συχνότητα μεγαλύτερη από 50 Hz, το οποίο παίρνουμε συνήθως από ένα **ασύγχρονο μετατροπέα συχνότητας**. Ο μετατροπέας αυτός αποτελείται (σχ. 5.13β) από ένα κινητήρα με βραχυκυκλωμένο δρομέα K, ο οποίος κινεί το δρομέα ενός κινητήρα με δακτύλιους Γ, που χρησιμοποιείται σαν γεννήτρια. Τα τύλιγματα του στάτη και των δύο μηχανών τροφοδοτούνται από το δίκτυο ηλεκτροδοτήσεως R, S, T (380 V, 50 Hz).



Σχ. 5.13β.

Μετατροπέας συχνότητας.

Όταν η μηχανή Γ είναι ακίνητη (διολίσθηση $s = 1$), και το τύλιγμα του στάτη της τροφοδοτείται με ρεύμα $f = 50$ Hz, ή συχνότητα f_2 της ηλεκτρεγερτικής δύναμης, που αναπτύσσεται στο δρομέα, θά είναι (παράγρ. 5.5) ίση με τη συχνότητα του δικτύου:

$$f_2 = s \cdot f = f$$

Όταν ο κινητήρας K κινεί το δρομέα του κινητήρα με δακτύλιους Γ με ταχύτητα n_K (στρ/s) **κατά φορά αντίθετη** από τη φορά περιστροφής του μαγνητικού του πεδίου, ή συχνότητα του ρεύματος του δρομέα της μηχανής Γ αυξάνεται σε:

$$f_2 = f + p_{\Gamma} \cdot n_K$$

όπου: p_f είναι ο αριθμός ζευγών πόλων του κινητήρα με δακτύλιους Γ.
Είναι όμως κατά προσέγγιση:

$$n_K = \frac{f}{p_K}$$

όπου: p_K είναι ο αριθμός ζευγών πόλων του κινητήρα Κ.

Άρα:

$$f_2 = f + p_f \cdot \frac{f}{p_K} = f \left(1 + \frac{p_f}{p_K} \right)$$

Αν π.χ. $p_f = 2$, $p_K = 2$ και $f = 50 \text{ Hz}$ θα έχουμε:

$$f_2 = 50 \left(1 + \frac{2}{2} \right) = 50 \times 2 = 100 \text{ Hz}$$

Ο κινητήρας Μ τροφοδοτούμενος από τους δακτύλιους του μετατροπέα συχνότητας (σχ. 5.13β) θα έχει σύγχρονη ταχύτητα:

$$n_{sM} = \frac{f_2}{p_M} \quad \text{σέ στρ/s}$$

όπου: p_M είναι ο αριθμός ζευγών πόλων του κινητήρα Μ.

Π.χ. για $p_M = 1$ και $f_2 = 100 \text{ Hz}$ έχουμε:

$$n_{sM} = \frac{f_2}{p_M} = \frac{100}{1} = 100 \text{ στρ/s} \quad \eta$$

$$n_{sM} = \frac{60 \cdot f_2}{p_M} = \frac{60 \times 1000}{1} = 6000 \text{ στρ/min}$$

Η ισχύς N που αποδίδεται από το μετατροπέα συχνότητας λαμβάνεται κατά ένα μέρος N_1 από τον κινητήρα Κ και κατά το υπόλοιπο N_2 απευθείας από το δίκτυο ή-λεκτροδοτήσεως. Αν αγνοήσουμε τις απώλειες, η ισχύς του κινητήρα Κ είναι:

$$N_1 = N \cdot \frac{f_2 - f}{f}$$

Π.χ. για $f_2 = 100 \text{ Hz}$ και $f = 50 \text{ Hz}$ είναι:

$$N_1 = N \cdot \frac{100 - 50}{100} = \frac{N}{2}$$

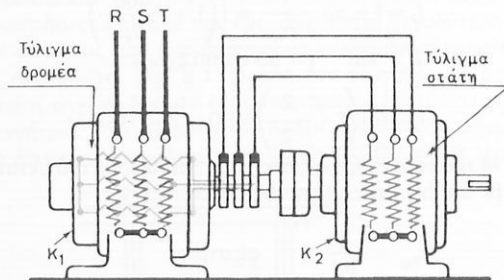
Δηλαδή η ισχύς του κινητήρα πρέπει να είναι το μισό της ισχύος που αποδίδεται από το μετατροπέα.

5) Κλιμακωτή ζεύξη.

Μία άλλη μέθοδος για τη ρύθμιση της ταχύτητας των ασυγχρόνων κινητήρων,

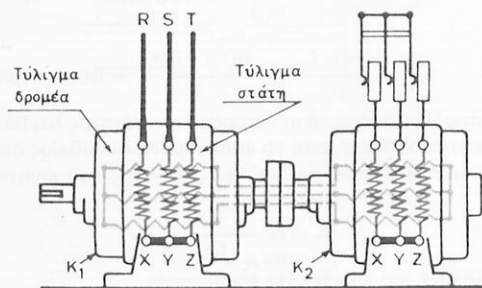
ή όποία είναι συνδυασμός τών μεθόδων, πού περιγράψαμε προηγούμενα, είναι ή όνομαζόμενη **κλιμακωτή ζεύξη** δύο ή περισσοτέρων κινητήρων. Έφαρμογή τής μεθόδου αυτής μέ δύο άσύγχρονους κινητήρες δείχνουν τά σχήματα 5.13γ καί 5.13δ. Οί δύο μηχανές έχουν τούς άξονές τους συζευγμένους μηχανικά.

Στό σχήμα 5.13γ ή μηχανή K_1 είναι κινητήρας μέ δακτύλιους, τού όποίου τό τύλιγμα τού στάτη τροφοδοτείται από τό δίκτυο. Ή μηχανή K_2 είναι κινητήρας μέ βραχυκυκλωμένο δρομέα, τού όποίου ό στάτης τροφοδοτείται από τούς δακτύλιους τού δρομέα τής μηχανής K_1 .



Σχ. 5.13γ.

Κλιμακωτή ζεύξη κινητήρα μέ δακτύλιους καί κινητήρα μέ βραχυκυκλωμένο δρομέα.



Σχ. 5.13δ.

Κλιμακωτή ζεύξη δύο άσύγχρονων κινητήρων μέ δακτύλιους.

Στό σχήμα 5.13δ καί οί δύο μηχανές έχουν δρομέα μέ τύλιγμα έναλλασσόμενου ρεύματος. Ό δρομέας τής μηχανής K_2 τροφοδοτείται από τόν δρομέα τής K_1 μέ άγωγούς, οί όποίοι διέρχονται μέσα από τόν κοίλο άξονα. Έτσι άποφεύγομε τή χρησιμοποίηση δακτυλίων καί ψηκτρών. Ό στάτης τής μηχανής K_2 συνδέεται μέ μία ρυθμιστική αντίσταση, ή όποία χρησιμεύει γιά τήν έκκίνηση.

Ήν p_1 καί p_2 είναι ό άριθμός ζευγών πόλων τών κινητήρων K_1 καί K_2 αντίστοιχα καί αν οί δύο μηχανές είναι συνδεσμολογημένες έτσι, ώστε οί ροπές τους νά έχουν

τὴν ἴδια φορά, τότε ἡ σύγχρονη ταχύτητα τῆς κλιμακωτῆς ζεύξεως δίνεται ἀπὸ τὴ σχέση:

$$n_s = \frac{f}{p_1 + p_2} \quad \text{σέ στρ/σ}$$

Ἄν οἱ ροπές τῶν δύο μηχανῶν ἔχουν ἀντίθετες φορές (ἀρκεῖ γι' αὐτό νά ἀντιμεταθέσουμε δύο ἀπὸ τοὺς τροφοδοτικούς ἀγωγούς τοῦ κινητήρα K_2), τότε ἡ σύγχρονη ταχύτητα τῆς **διαφορικῆς κλιμακωτῆς ζεύξεως** εἶναι:

$$n'_s = \frac{f}{p_1 - p_2} \quad \text{σέ στρ/σ}$$

Ἄν τροφοδοτεῖται μόνο ὁ κινητήρας K_1 , τὸ συγκρότημα θά ἔχει σύγχρονη ταχύτητα:

$$n_{s_1} = \frac{f}{p_1} \quad \text{σέ στρ/σ}$$

καὶ ἂν τροφοδοτεῖται μόνο ὁ κινητήρας K_2 ἀπευθείας ἀπὸ τὸ δίκτυο, θά ἔχει σύγχρονη ταχύτητα:

$$n_{s_2} = \frac{f}{p_2} \quad \text{σέ στρ/σ}$$

Παρατηροῦμε δηλαδὴ ὅτι μὲ τὴν κλιμακωτὴ ζεύξη καὶ μὲ κατάλληλη διάταξη διακοπῶν εἶναι δυνατό νά ἔχομε τέσσερις ταχύτητες. Ἄν $p_1 = p_2$, οἱ ταχύτητες αὗτὲς περιορίζονται σέ δύο.

Στὴν κλιμακωτὴ ζεύξη ἡ ἐνέργεια, ἡ ὁποία ἐμφανίζεται σάν ἀπώλεια, ὅπως εἶδαμε στὸ ρυθμιστὴ στροφῶν τῶν κινητῶν μὲ δακτύλιους, χρησιμοποιεῖται ἐπωφελῶς στὴ δεύτερη μηχανή K_2 .

Παράδειγμα.

Ποιές ταχύτητες εἶναι δυνατό νά πετύχομε μὲ δύο ἀσύγχρονους κινητῆρες σέ κλιμακωτὴ ζεύξη, ὅταν ὁ ἀριθμὸς τῶν ζευγῶν πόλων τῶν τυλιγμάτων τους εἶναι $p_1 = 4$, $p_2 = 3$ καὶ ἡ συχνότητα τοῦ ρεύματος τροφοτῆσεως $f = 50$ Hz.

Λύση.

$$n_s = \frac{f}{p_1 + p_2} = \frac{50}{4+3} = \frac{50}{7} \text{ στρ/σ} \quad \text{ἢ} \quad \frac{3000}{7} = 428 \text{ στρ/min}$$

$$n'_s = \frac{f}{p_1 - p_2} = \frac{50}{4-3} = 50 \text{ στρ/σ} \quad \text{ἢ} \quad 3000 \text{ στρ/min}$$

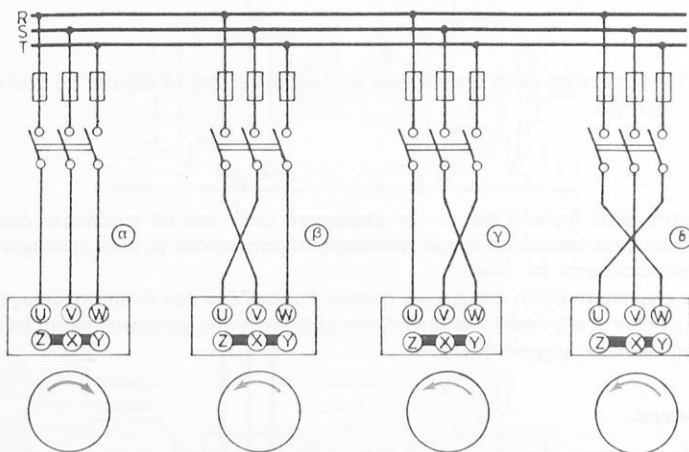
$$n_{s_1} = \frac{f}{p_1} = \frac{50}{4} \text{ στρ/σ} \quad \text{ἢ} \quad \frac{3000}{4} = 750 \text{ στρ/min}$$

$$n_{s_2} = \frac{f}{p_2} = \frac{50}{3} \text{ στρ/σ} \quad \text{ἢ} \quad \frac{3000}{3} = 1000 \text{ στρ/min}$$

5.14 Άλλαγή τής φοράς περιστροφής.

Ἡ φορά περιστροφῆς ἑνὸς ἀσύγχρονου τριφασικοῦ κινητήρα, ὅπως ἐξηγήσαμε στὴν παράγραφο 5.3, εἶναι ἡ ἴδια μέ τή φορά περιστροφῆς τοῦ μαγνητικοῦ πεδίου τοῦ στάτη. Γιά νά ἀλλάξουμε τή φορά περιστροφῆς τοῦ κινητήρα, πρέπει νά ἀλλάξουμε τή φορά περιστροφῆς τοῦ μαγνητικοῦ πεδίου. Αὐτό γίνεται (παράγρ. 4.2) μέ ἀντιμετάθεση τῶν συνδέσεων μέ τούς ἀκροδέκτες σέ δύο ἀπό τούς τρεῖς ἀγωγούς τροφοδοτήσεως τοῦ κινητήρα.

Ἄν ἡ ἀλλαγή τής φοράς περιστροφῆς πρέπει νά γίνει μία μόνο φορά, τότε ἡ παρὰπάνω ἀντιμετάθεση τῶν ἀγωγῶν γίνεται στό κιβώτιο τῶν ἀκροδεκτῶν τοῦ κινητήρα, ὅπως δείχνει τό σχῆμα 5.14α. Ὅποιαδήποτε ἀπό τίς συνδεσμολογίες β, γ, δ δίνει φορά περιστροφῆς ἀντίθετη τῆς α.



Σχ. 5.14α.

Ἀλλαγή τής φοράς περιστροφῆς ἀσύγχρονων τριφασικῶν κινητῶν.

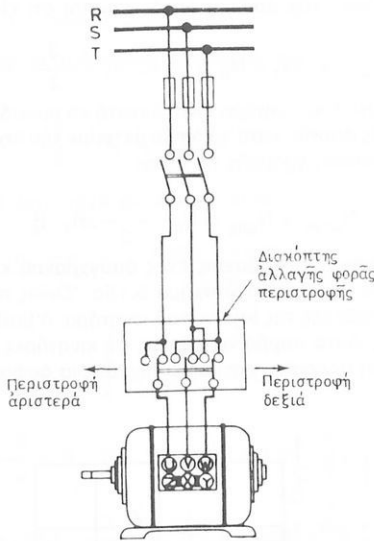
Ἄν ἡ ἀλλαγή τής φοράς περιστροφῆς πρέπει νά γίνεται τακτικά κατὰ τή λειτουργία τοῦ κινητήρα, τότε χρησιμοποιοῦμε ἕνα εἰδικό **διακόπτη ἀλλαγῆς φοράς περιστροφῆς**, τοῦ ὁποῖου τή συνδεσμολογία δείχνει τό σχῆμα 5.14β.

5.15 Βαθμός ἀποδόσεως καί συντελεστής ἰσχύος.

1) Βαθμός ἀποδόσεως.

Ὁ ὑπολογισμός τοῦ βαθμοῦ ἀποδόσεως ἑνὸς κινητήρα γίνεται μέ τόν προσδιορισμό τῶν ἀπωλειῶν του. Ὅπως εἶναι γνωστό:

$$\eta = \frac{N}{N_1} = \frac{N_1 - N_{\text{απ}}}{N_1}$$



Σχ. 5.14β.

Συνδεσμολογία διακόπτη αλλαγής φοράς περιστροφής.

όπου: N είναι η ισχύς που δίνει στον άξονά του ο κινητήρας, N_1 η ισχύς που απορροφά από το δίκτυο και $N_{\text{απ}}$ η ισχύς των απωλειών.

Οι απώλειες διακρίνονται σε **απώλειες σταθερές**, δηλαδή ανεξάρτητες από το φορτίο του κινητήρα και σε **απώλειες μεταβλητές**, δηλαδή που μεταβάλλονται με το φορτίο.

Σταθερές απώλειες είναι οι μαγνητικές απώλειες $N_{\text{μαγν}}$ (από ύστέρηση και δινορρεύματα) και οι μηχανικές απώλειες $N_{\text{μηχ}}$ (λόγω τριβών και άερισμού). Οι απώλειες αυτές είναι σταθερές, αν παραδεχθούμε ότι η τάση τροφοδοσίας του κινητήρα είναι σταθερή και η ταχύτητα περιστροφής του επίσης περίπου σταθερή. Οι παραδοχές αυτές ισχύουν πράγματι στην πράξη.

Απώλειες μεταβλητές είναι οι ηλεκτρικές απώλειες του στάτη $N_{\eta \cdot \sigma}$, που οφείλονται στο φαινόμενο τζούλ και οι αντίστοιχες απώλειες του δρομέα $N_{\eta \cdot \delta}$.

Είναι εύκολο να αποδειχθεί, ότι οποιαδήποτε και αν είναι η συνδεσμολογία (τρίγωνο ή άστέρα) των τριών φάσεων του στάτη, αν μετρήσουμε την ωμική αντίσταση R_1 του τυλίγματος μεταξύ δύο άκροδεκτών και την ένταση γραμμής I που απορροφά στη λειτουργία ο κινητήρας, οι ηλεκτρικές απώλειες του στάτη θα είναι:

$$N_{\eta \cdot \sigma} = \frac{3}{2} \cdot R_1 \cdot I^2$$

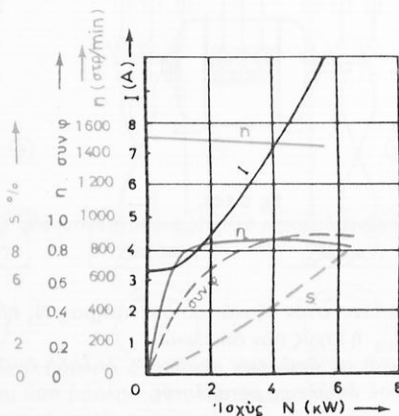
Οι ηλεκτρικές απώλειες του δρομέα αποδεικνύεται ότι είναι:

$$N_{\eta, \delta} = s \cdot (N_1 - N_{\eta, \sigma}) = s \cdot N_1 - \frac{3}{2} \cdot R_1 \cdot I^2$$

Οι σταθερές απώλειες του κινητήρα είναι δυνατό να προσδιορισθούν με τό πείραμα λειτουργίας χωρίς φορτίο, κατά τό όποιο μετράμε τήν ισχύ N_0 πού απορροφά ό κινητήρας καί τήν ένταση γραμμής I_0 . Είναι:

$$N_{\mu\alpha\gamma\gamma} + N_{\mu\eta\chi} = N_0 - \frac{3}{2} \cdot R_1 \cdot I_0^2$$

Ή μεταβολή του βαθμού αποδόσεως ενός ασύγχρονου κινητήρα, όταν μεταβάλλεται τό φορτίο του, φαίνεται στό σχήμα 5.15α. Όπως παρατηρούμε, σέ μία σημαντική περιοχή μεταβολής τής ισχύος του κινητήρα, ό βαθμός αποδόσεως μένει περίπου σταθερός. Αυτό συμβαίνει κυρίως σέ κινητήρες μικρής καί μέσης Ι-σχύος καί έχει πρακτική σημασία, γιατί δίνει περιθώρια ασφάλειας σέ περίπτωση υπερφορτίσεως.



Σχ. 5.15α.

Καμπύλες λειτουργίας κινητήρα με βραχυκυκλωμένο δρομέα 4 kW, 1500 στρ/min.

Παράδειγμα.

“Ένας ασύγχρονος τριφασικός τετραπολικός κινητήρας τάσεως 220 V Δ, 50 Hz περιστρέφεται με ταχύτητα $n = 1450$ στρ/min καί απορροφά ένταση ρεύματος γραμμής 15A μέ συντελεστή ισχύος $\cos \phi = 0,82$. Νά ύπολογισθεί ό βαθμός αποδόσεώς του ύπό φορτίο, μέ βάση τά άποτελέσματα τών ακόλουθων μετρήσεων: Ίσχύς χωρίς φορτίο $N_0 = 430$ W, αντίστοιχη ένταση $I_0 = 2$ A, αντίσταση του τυλίγματος του στάτη μεταξύ άκροδεκτών $R_1 = 0,8$ Ω.

Λύση.

Ή ισχύς πού απορροφά ό κινητήρας κατά τή λειτουργία μέ φορτίο είναι:

$$N_1 = \sqrt{3} \cdot U \cdot I \cdot \cos\phi = 1,73 \times 220 \times 15 \times 0,82 = 4700 \text{ W}$$

Οι ηλεκτρικές απώλειες του στάτη στη λειτουργία χωρίς φορτίο είναι:

$$\frac{3}{2} \cdot R_1 \cdot I_0^2 = 1,5 \times 0,8 \times 2^2 = 5 \text{ W}$$

Η διολίσθηση στη λειτουργία με φορτίο είναι:

$$s = \frac{n_s - n}{n_s} = \frac{1500 - 1450}{1500} = 0,033$$

Συνεπώς έχουμε:

$$N_{\mu\alpha\gamma\gamma} + N_{\mu\eta\chi} = N_0 - \frac{3}{2} \cdot R_1 \cdot I_0^2 = 430 - 5 = 425 \text{ W}$$

$$N_{\eta \cdot \sigma} = \frac{3}{2} \cdot R_1 \cdot I^2 = 1,5 \times 0,8 \times 15^2 = 270 \text{ W}$$

$$N_{\eta \cdot \delta} = s \cdot (N_1) - \frac{3}{2} \cdot R_1 \cdot I^2 = 0,033 (4700 - 270) = 146 \text{ W}$$

$$\text{Συνολικές απώλειες } N_{\text{απ}} = 841 \text{ W}$$

Τέλος ο βαθμός απόδοσης θα είναι:

$$\eta = \frac{N_1 - N_{\text{απ}}}{N_1} = \frac{4700 - 841}{4700} = 0,82 \quad \text{ή} \quad 82\%$$

2) Συντελεστής Ισχύος.

Συντελεστής ισχύος ενός κινητήρα που λειτουργεί με όρισμένο φορτίο είναι ο λόγος της πραγματικής ισχύος που απορροφά από το δίκτυο προς τη φαινόμενη ισχύ:

$$\cos\phi = \frac{N_1}{N_{1s}}$$

Για τη μέτρηση του $\cos\phi$ αρκούν τα όργανα του σχήματος 5.6α. Με το βαττόμετρο μετράμε την ισχύ N_1 (είναι το τριπλάσιο της ένδειξης) και με το βολτόμετρο και αμπερόμετρο τά U και I . Είναι τότε:

$$\cos\phi = \frac{N_1}{\sqrt{3} \cdot U \cdot I}$$

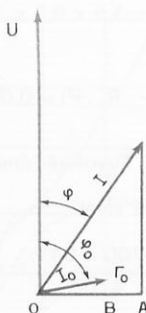
Επίσης έχουμε:

$$N_1 = \sqrt{3} \cdot U \cdot I \cdot \sin\varphi \quad \text{καί}$$

$$N = N_1 \cdot \eta = \sqrt{3} \cdot U \cdot I \cdot \eta \cdot \sin\varphi$$

Οι τελευταίες δύο σχέσεις συνδέουν την ισχύ που απορροφά ή που δίνει ο τριφασικός κινητήρας με τα υπόλοιπα στοιχεία και μās επιτρέπουν νά υπολογίσουμε οποιοδήποτε από αυτά, όταν είναι γνωστά τα άλλα για όρισμένο φορτίο του κινητήρα.

Όπως παρατηρούμε από τή σχετική καμπύλη (σχ. 5.15α), τό σύνφ μεταβάλλεται, όταν μεταβάλλεται τό φορτίο του κινητήρα καί φθάνει τό 0,80 ως 0,90 στό κανονικό φορτίο. Στή λειτουργία χωρίς φορτίο τό σύνφ του κινητήρα είναι πολύ μικρό. Η ένταση I_0 (σχ. 5.15β) που απορροφά τότε σχηματίζει μέ τήν τάση γωνία ϕ_0 , ή όποία πλησιάζει τίς 90° . Η I_0 είναι σημαντικό ποσοστό τής έντάσεως που απορροφά στό όνομαστικό φορτίο καί φθάνει τά 40% ως 50% αύτής στους μικρούς κινητήρες. Στους μεγαλύτερους κινητήρες είναι γύρω στά 25% ως 30% τής όνομαστικής έντάσεως.



Σχ. 5.15β.

Η I_0 αναλύεται σέ μία μικρή **ένεργό συνιστώσα** $B\Gamma_0$, ή όποία άντιμετωπίζει τίς μαγνητικές άπώλειες του κινητήρα όταν λειτουργεί χωρίς φορτίο καί σέ μία **ένταση μαγνήτσεως** OB , ή όποία σχηματίζει γωνία 90° μέ τήν τάση. Η OB δέν ξοδεύει πραγματική ισχύ.

Όμοια ή ένταση I , τήν όποία ό κινητήρας απορροφά από τό δίκτυο, όταν λειτουργεί μέ φορτίο, αναλύεται σέ μία ένεργό συνιστώσα $ΑΓ$ καί σέ μία **δεργή συνιστώσα** $ΟΑ$ (επαγωγική). Η $ΟΑ$ είναι λίγο μεγαλύτερη από τήν OB . Η ισχύς, ή όποία μετατρέπεται σέ μηχανική ισχύ στον άξονα του κινητήρα, είναι άνάλογη πρός τό γινόμενο τής τάσεως U επί τήν ένεργό συνιστώσα του ρεύματος $ΑΓ$.

5.16 Χαρακτηριστικά στοιχεία τών άσυγχρόνων κινητήρων.

Στήν πινακίδα του κατασκευαστή που φέρει κάθε κινητήρας αναγράφονται

έκτός από τις συνηθισμένες ένδειξεις (όνομα κατασκευαστή, αριθμός κατασκευής κλπ.) και τα ακόλουθα χαρακτηριστικά στοιχεία:

α) Η ονομαστική ισχύς του κινητήρα σε kW, που είναι ή χρήσιμη ισχύς, τήν οποία μπορεί να δίνει ο κινητήρας στον άξονά του, όταν λειτουργεί με τόν ονομαστικό αριθμό στροφών. Μερικές φορές η ονομαστική ισχύς του κινητήρα εκφράζεται σε ίππους (1 HP = 0,736 kW).

β) Ο αριθμός των φάσεων του κινητήρα.

γ) Η ονομαστική συχνότητα σε Hz, δηλαδή η συχνότητα του ρεύματος, με τήν οποία όταν εργάζεται ο κινητήρας, αποδίδει τα ονομαστικά του μεγέθη.

δ) Η ονομαστική τάση του κινητήρα σε V. Έπειδή στους τριφασικούς κινητήρες είναι δυνατή η κανονική λειτουργία του τυλίγματος με σύνδεση ή σε τρίγωνο ή σε άστέρα, η ονομαστική τάση δίνεται με δύο αριθμούς, από τους οποίους ο πρώτος δίνει τήν πολική τάση του δικτύου ηλεκτροδοτήσεως για κανονική λειτουργία του κινητήρα με σύνδεση σε τρίγωνο και ο δεύτερος σε άστέρα, π.χ. 220/380 V. Η τάση εκτός από τόν τρόπο αυτό, είναι δυνατό να γραφεί 220 V Δ, που σημαίνει ότι ο κινητήρας είναι κατασκευασμένος για να εργάζεται κανονικά σε δίκτυο πολικής τάσεως 220 V, όταν είναι συνδεδεσμένο σε τρίγωνο. Αυτόνοητο είναι ότι ο

ΠΙΝΑΚΑΣ 5.16.1.

Μέσες τιμές των χαρακτηριστικών στοιχείων άσυγχρόνων τριφασικών κινητήρων

Όνομαστική ισχύς		Βαθμός άποδόσεως η	Συντελεστής ισχύος συνφ	Απορροφού- μενη ισχύς από τό δίκτυο kW	Όνομαστική ένταση σε Α για πολική τάση	
kW	HP				220 V	380 V
0,5	0,68	0,70	0,72	0,72	2,7	1,6
1	1,36	0,75	0,75	1,34	4,7	2,7
1,5	2,04	0,78	0,79	1,92	6,4	3,7
2	2,74	0,79	0,80	2,53	8,3	4,8
3	4,08	0,80	0,82	3,75	12,1	7
4	5,44	0,82	0,83	4,88	15,5	9
5	6,80	0,84	0,83	5,95	19,9	11
6	8,16	0,85	0,84	7,06	22,1	13
7	9,52	0,85	0,84	8,24	25,7	15
8	10,88	0,85	0,84	9,40	29,5	17
9	12,2	0,86	0,85	10,47	32,5	19
10	13,6	0,86	0,85	11,64	36	21
15	20,4	0,88	0,86	17,05	52	30
20	27,2	0,89	0,87	22,5	68	39
30	40,8	0,9	0,88	33,3	100	58
40	54,4	0,9	0,89	44,5	132	77
50	68,0	0,91	0,89	55	163	95
60	81,6	0,91	0,89	66	195	113
80	108,8	0,915	0,89	87,5	259	150
100	136,0	0,915	0,89	110	323	187
150	204,0	0,92	0,90	163	477	276
200	272,0	0,92	0,90	217	637	370

ίδιος κινητήρας συνδεσμοποιημένος σέ άστέρα μπορεί νά έργασθεϊ κανονικά σέ δίκτυο πολικής τάσεως 380 V. Γι' αυτό στόν ίδιο κινητήρα μπορεί ή τάση νά γραφεί 380 V Y.

ε) 'Η όνομαστική ένταση τοῦ κινητήρα, δηλαδή ή ένταση γραμμής πού άπορροφά από τό δίκτυο ήλεκτροδότησεως μέ τό όνομαστικό του φορτίο.

στ) 'Ο συντελεστής ισχύος μέ τήν όνομαστική ισχύ.

ζ) 'Η ταχύτητα περιστροφής σέ στρ/μίν μέ τήν όνομαστική ισχύ.

η) Στους κινητήρες μέ δακτύλιους αναφέρονται έπίσης ή τάση καί ή ένταση τοῦ δρομέα (παράγρ. 5.5).

'Ο Πίνακας 5.16.1 περιέχει μέσες τιμές τῶν κυριότερων χαρακτηριστικῶν στοιχείων άσυγχρόνων τριφασικῶν κινητήρων. Οί τιμές αυτές δίνουν τήν τάση μεγέθους κάθε στοιχείου. Γιά άκριβείς ύπολογισμούς πρέπει νά χρησιμοποιούμε τά πραγματικά στοιχεία, πού δίνουν οί κατασκευαστές γιά τούς τύπους κινητήρων πού κατασκευάζουν.

5.17 Μεταβολή τῆς τάσεως καί συχνότητας τοῦ δικτύου ήλεκτροδότησεως.

1) Μεταβολή τῆς τάσεως μέ σταθερή συχνότητα.

Στήν περίπτωση αὐτή όλες οί ροπές καί ιδιαίτερα ή ροπή έκκινήσεως καί ή μέγιστη ροπή (ροπή άνατροπής) τοῦ κινητήρα μεταβάλλονται μέ τό τετράγωνο τῆς τάσεως. 'Η ένταση έκκινήσεως μεταβάλλεται ανάλογα μέ τήν τάση.

ΠΙΝΑΚΑΣ 5.17.1.
Μεταβολές τῆς τάσεως καί τῆς συχνότητας κινητήρα

Κινητήρας κατασκευασμένος γιά 50 Hz καί τάση	Μπορεϊ νά έργασθεϊ μέ	
	40 Hz καί τάση	60 Hz καί τάση
220 V	180 V	255 V
380 V	315 V	440 V
500 V	415 V	570 V
'Η αντίστοιχη ισχύς τοῦ κινητήρα θά εἶναι:		
100 %	80 %	115 %
'Η αντίστοιχη ταχύτητα τοῦ κινητήρα θά εἶναι:		
100 %	80 %	120 %

"Όταν ή τάση τοῦ δικτύου αὐξάνεται μέ σταθερή τήν άνθιστάμενη ροπή τοῦ φορτίου, ή άποδιδόμενη ισχύς καί ή ταχύτητα τοῦ κινητήρα αὐξάνονται έπίσης. 'Η ένταση ρεύματος πού άπορροφά μένει περίπου σταθερή, καθώς καί ή θερμοκρασία τοῦ κινητήρα. "Όταν αντίθετα ή τάση μειώνεται μέ σταθερή πάλι τή ροπή τοῦ φορτίου, ή ισχύς καί ή ταχύτητα τοῦ κινητήρα μειώνονται έπίσης, ένῳ ή ένταση ρεύματος καί ή θερμοκρασία του αὐξάνονται.

'Ο κινητήρας αναπτύσσει τήν όνομαστική του ισχύ, όταν οί μεταβολές τῆς τάσεως τοῦ δικτύου δέν ύπερβαίνουν τό $\pm 5\%$ τῆς όνομαστικῆς τάσεως.

2) Μεταβολή τῆς συχνότητας μέ σταθερή τάση.

Στήν περίπτωση αὐτή, άν ή άνθιστάμενη ροπή τοῦ φορτίου εἶναι σταθερή, ή ταχύτητα καί ή ισχύς

του κινητήρα μεταβάλλονται ανάλογα με τη συχνότητα. Όλα τα άλλα χαρακτηριστικά στοιχεία υφίστανται την επίδραση της μεταβολής της συχνότητας κατά τό ίδιο ποσοστό, αλλά αντίστροφα, με αντίστοιχη μεταβολή της τάσεως.

3) Μεταβολή της τάσεως και της συχνότητας.

Στήν περίπτωση αυτή κινητήρες κατασκευασμένοι για να εργάζονται με συχνότητα 50 Hz μπορούν να εργασθούν και με συχνότητα 40 Hz ή 60 Hz, αλλά με τις τάσεις που αναγράφονται στον Πίνακα 5.17.1.

5.18 Ερωτήσεις.

1. Ποιά είναι τα είδη των τριφασικών επαγωγικών κινητήρων και σέ τί διαφέρουν κατασκευαστικά μεταξύ τους;
2. Ποιά είναι η άρχη λειτουργίας των τριφασικών κινητήρων με βραχυκυκλωμένο δρομέα;
3. Τί είναι η διολίσθηση ασύγχρονου κινητήρα, με ποιά σχέση εκφράζεται και από τί εξαρτάται; Μπορεί ένας κινητήρας αυτού του είδους να λειτουργήσει με μηδενική διολίσθηση; Ναί ή όχι και γιατί;
4. Είναι δυνατό οι άγωγοί, πού συνδέουν τόν έκκινητή μέ τίς ψήκτρες σέ ένα κινητήρα μέ δακτύλιους, νά είναι μεγαλύτερης διατομής από τούς τροφοδοτικούς άγωγούς τού κινητήρα και γιατί;
5. Από τί εξαρτάται η συχνότητα τού ρεύματος τού δρομέα στους επαγωγικούς κινητήρες;
6. Πώς μεταβάλλεται η ροπή σέ ένα ασύγχρονο τριφασικό κινητήρα όταν μεταβάλλεται η ταχύτητά του και η αντίσταση τού δρομέα είναι σταθερή; (Νά χαραχθεί μία σχετική καμπύλη). Τί όνομάζουμε ροπή άνατροπής και ποιά η σημασία της στίς μεταβολές τού φορτίου;
7. Πώς προσαρμόζεται αυτόματα η ίσχύς πού άπορροφά ένας ασύγχρονος κινητήρας πρós τό φορτίο του;
8. Είναι δυνατό η ροπή έκκινήσεως όταν μεταβάλλεται η τάση τροφοδοτήσεως ενός ασύγχρονου κινητήρα;
9. Γιατί δέν χρησιμοποιείται η άπευθείας έκκίνηση σέ όλους τούς κινητήρες μέ βραχυκυκλωμένο δρομέα;
10. Νά σχεδιασθεί και νά περιγραφεί η μέθοδος έκκινήσεως κινητήρα βραχυκυκλωμένου δρομέα μέ διακόπτη άστέρα-τριώννου. Τί πετυχαίνουμε μέ τόν τρόπο αυτό έκκινήσεως και πώς;
11. Στήν πινακίδα ενός κινητήρα μέ βραχυκυκλωμένο δρομέα αναγράφεται τάση 220/380 V. Τί σημαίνει αυτό; Είναι δυνατό νά χρησιμοποιηθεί γιά τήν έκκίνηση αυτού τού κινητήρα διακόπτης άστέρα-τριώννου στό δίκτυο X.T. τής ΔΕΗ; Ναί ή όχι και γιατί;
12. Ποιά τά πλεονεκτήματα και τά μειονεκτήματα των κινητήρων μέ βραχυκυκλωμένο δρομέα και των κινητήρων μέ δακτύλιους;
13. Ποιά από τά μειονεκτήματα των κινητήρων μέ βραχυκυκλωμένο δρομέα δέν έχουν οι κινητήρες διπλού κλωβού ή μέ βαθιά αυλάκια;
14. Τί πετυχαίνουμε μέ τήν αύξηση τής αντίστασεως τού δρομέα στήν έκκίνηση ενός τριφασικού κινητήρα μέ δακτύλιους;
15. Μέ ποιούς τρόπους μπορούμε νά μεταβάλλουμε τήν ταχύτητα περιστροφής των επαγωγικών κινητήρων; Από ποιά σχέση δίνεται η ταχύτητα αυτή σέ συνάρτηση μέ τά f , p και s ;
16. Πώς γίνεται η ρύθμιση τής ταχύτητας περιστροφής στους τριφασικούς κινητήρες μέ βραχυκυκλωμένο δρομέα;
17. Πώς γίνεται η άλλαγή τής φοράς περιστροφής σέ ένα τριφασικό επαγωγικό κινητήρα;
18. Γιατί στή λειτουργία χωρίς φορτίο ενός ασύγχρονου τριφασικού κινητήρα, ενώ η ένταση πού άπορροφά από τό δίκτυο είναι σημαντικό ποσό τού I_{ov} , η αντίστοιχη ίσχύς είναι πολύ μικρότερο ποσοστό τής όνομαστικής ίσχύος;
19. Τί στοιχεία αναγράφονται στήν πινακίδα ενός ασύγχρονου τριφασικού κινητήρα και τί σημαίνει κάθε στοιχείο;

5.19 Προβλήματα και άσκσεις.

1. Ένας τετραπολικός επαγωγικός κινητήρας εργάζεται μέ 1710 στρ/μιν σέ δίκτυο πού έχει συχνότητα 60 Hz. Νά ύπολογισθεί η διολίσθησή του και η συχνότητα τού ρεύματος τού δρομέα.
(Απάντ.: 0,05, 3 Hz)

2. 'Οκταπολικός τριφασικός κινητήρας με δακτύλιους τροφοδοτείται από δίκτυο πού έχει συχνότητα 50 Hz. Τό τύλιγμα του δρομέα του είναι συνδεσμοποιημένο σε άστέρα με ωμική αντίσταση ανά φάση $R_2 = 0,5 \Omega$ και αὐτεπαγωγική $X_2 = 2 \Omega$. 'Όταν οι ψήκτρες είναι ἀνυψωμένες χωρίς νά περιστρέφεται, ὁ δρομέας ἀναπτύσσει μεταξύ τῶν δακτυλίων τάση 100 V. 'Ο κινητήρας στό κανονικό του φορτίο ἔχει ταχύτητα $n = 735$ στρ/μιν. Νά βρεθοῦν: 1) 'Η διολίσθηση τοῦ κινητήρα. 2) 'Η φασική ἡλεκτρεγερτική δύναμη τοῦ δρομέα με ἀνυψωμένες τίς ψήκτρες. 3) 'Η φασική τάση τοῦ δρομέα με τό κανονικό φορτίο καί με βραχυκυκλωμένους τοὺς δακτύλιους. 4) 'Η αὐτεπαγωγική ἀντίσταση τοῦ δρομέα ἀνά φάση στό κανονικό φορτίο καί 5) ἡ ἔνταση τοῦ δρομέα στό κανονικό ἐπίσης φορτίο.

(**Ἀνάν.**: 1) $s = 0,02$. 2) $U_{\phi_2} = 57,8$ V. 3) $U_{\phi_{2s}} = 1,156$ V. 4) $X_{2s} = 0,04 \Omega$. 5) $I_2 = 2,3$ A)

3. Νά ὑπολογισθεῖ ἡ ἰσχύς πού πρέπει νά ἔχει ἀσύγχρονος τριφασικός κινητήρας κατάλληλος γιά νά κινεῖ τὸρνο μέγιστης ροπῆς στρέψεως $T = 372$ Nm με 30 στρ/μιν. 'Ο βαθμός ἀποδόσεως τοῦ τὸρνου εἶναι 0,65. 'Αν ὁ βαθμός ἀποδόσεως τοῦ κατάλληλου κινητήρα εἶναι 0,7 καί ὁ συντελεστής ἰσχύος 0,8, ποιά ἔνταση θά ἀπορροφᾷ αὐτός ἀπό τριφασικό δίκτυο πολικῆς τάσεως 220 V;

(**Ἀνάν.**: 1,8 kW, 8,5 A)

4. Νά βρεθεῖ ὁ βαθμός ἀποδόσεως ἀσύγχρονου τριφασικοῦ κινητήρα, ὁ ὁποῖος ἀπορροφᾷ ἔνταση (γραμμῆς) 10 A ὅταν τροφοδοτεῖται ἀπό δίκτυο πολικῆς τάσεως 380 V καί ἀναπτύσσει στὸν ἄξονά του ροπή $T = 3230$ Nm με ταχύτητα 1480 στρ/μιν. 'Ο συντελεστής ἰσχύος τοῦ κινητήρα στό φορτίο αὐτό νά ληφθεῖ ἴσος με 0,8.

(**Ἀνάν.**: 0,95 ἢ 95%)

5. 'Ενας τριφασικός κινητήρας με δακτύλιους τάσεως 200 V Δ, 50 Hz, 1440 στρ/μιν ἔχει τό τύλιγμα τοῦ στάτη συνδεσμοποιημένο σε τρίγωνο, τοῦ δέ δρομέα σε άστέρα. 'Αν ὁ ἀριθμός ἀγωγῶν τοῦ δρομέα εἶναι τὰ τρία τέταρτα τῶν ἀγωγῶν τοῦ στάτη, νά προσδιορισθοῦν ἡ διολίσθηση, ἡ πολικὴ τάση (ἡλεκτρεγερτικὴ δύναμη) τοῦ δρομέα με φορτίο καί ἡ συχνότητά της.

(**Ἀνάν.**: 0,04, 10,4 V, 2 Hz)

6. Νά ὑπολογισθεῖ ἡ ἰσχύς τοῦ κινητήρα, πού ἀπαιτεῖται γιά νά ἀνυψῶνι με ταχύτητα $u = 0,3$ m/s ἀνελκυστήρα συνολικοῦ βάρους $B = 3930$ N (400 kg βάρους). 'Ο ὀλικός βαθμός ἀποδόσεως τοῦ μηχανισμοῦ κινήσεως εἶναι $\eta_{\text{ολ}} = 0,6$. 'Αν ὁ κινητήρας πού ἐκλέχθηκε εἶναι τριφασικός με βαθμὸ ἀποδόσεως $\eta = 0,85$ καί συντελεστή ἰσχύος 0,8, νά βρεθεῖ ἡ ἔνταση τοῦ ρεύματος πού ἀπορροφᾷ ἀπὸ δίκτυο τάσεως 220/380 V.

Σημείωση: 'Η ἰσχύς πού ἀπαιτεῖται ὑπολογίζεται ἀπὸ τὸν τύπο:
$$N = \frac{B \cdot u}{\eta_{\text{ολ}}} \text{ σε W}$$

(**Ἀνάν.**: 1,96 kW, 4,37 A)

7. Τριφασικός κινητήρας 100 HP τροφοδοτεῖται με ἐναλλασσόμενο ρεῦμα τάσεως 600 V. 'Ο συντελεστής ἰσχύος τοῦ κινητήρα εἶναι 0,8 καί ὁ βαθμός ἀποδόσεώς του 0,95. Ποιά εἶναι ἡ φαινόμενη ἰσχύς τοῦ κινητήρα καί ποιά ἔνταση ἀπορροφᾷ ἀπὸ τό δίκτυο;

(**Ἀνάν.**: 102 kVA, 98 A)

8. Στὴν πινακίδα ἐνὸς τριφασικοῦ κινητήρα με βραχυκυκλωμένο δρομέα ἀναγράφεται τάση 380/660 V. Τί σύνδεση θά πρέπει νά κάμωμε στοὺς ἀκροδέκτες του, ὅταν πρόκειται νά τροφοδοτηθεῖ ἀπὸ δίκτυο τάσεως 220/380 V καί γιατί;

(**Ἀνάν.**: Σύνδεση σε τρίγωνο)

9. Ποιές ταχύτητες μποροῦμε νά πάρωμε ἀπὸ δύο κινητήρες ἐνωμένους σε κλιμακωτὴ ζεύξη, ἀν ὁ ἕνας ἔχει $p_1 = 8$ καί ὁ ἄλλος $p_2 = 2$ ζεύγη πόλων καί ἀν ἡ συχνότητα τοῦ ρεύματος τροφοδοτήσεως εἶναι 60 Hz;

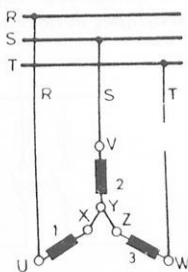
(**Ἀπάν.**: 450 στρ/μιν, 1800 στρ/μιν, 600 στρ/μιν, 360 στρ/μιν)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΕΚΤΟ

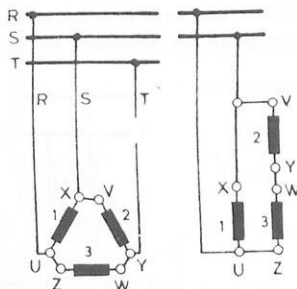
ΑΣΥΓΧΡΟΝΟΙ ΜΟΝΟΦΑΣΙΚΟΙ ΚΙΝΗΤΗΡΕΣ

6.1 Γενικά.

“Αν σέ ένα ασύγχρονο τριφασικό κινητήρα, ο οποίος εργάζεται μέ μικρό φορτίο ή χωρίς φορτίο, διακοπεῖ ένας από τούς τρεῖς τροφοδοτικούς ἀγωγούς, παρατηροῦμε ὅτι ὁ κινητήρας ἐξακολουθεῖ νά περιστρέφεται. “Αν ὁμως σταματήσουμε τόν κινητήρα καί θελήσουμε πάλι νά τόν θέσουμε σέ κίνηση, παρατηροῦμε ὅτι δέν εἶναι δυνατό πιά νά ξεκινήσει μόνος του. Ὁ κινητήρας ξεκινᾷ πάλι, ἀν μέ τό χέρι ἡ μέ ἄλλο-μέσο τοῦ δώσουμε περιστροφική ὠθηση πρὸς τή μία ἢ τήν ἄλλη κατεύθυνση. Παρατηροῦμε ἐπίσης, ὅτι τώρα ὁ κινητήρας στή λειτουργία του δέν μπορεῖ νά ἀποδώσει ὅλη τήν ὀνομαστική του ἰσχύ, οὔτε τήν ἀντίστοιχη ροπή.



Σχ. 6.1α.



Σχ. 6.1β.

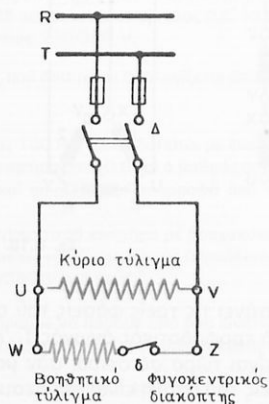
Στό σχῆμα 6.1α, τό ὁποῖο παριστάνει τίς τρεῖς φάσεις τοῦ στάτη συνδεσμολογμένες σέ ἀστέρα, ἔχει διακοπεῖ ὁ τροφοδοτικός ἀγωγός Τ. Ἄρα ἡ φάση 3 εἶναι ἐκτός κυκλώματος. Οἱ ἄλλες δύο εἶναι τώρα σέ σειρά, σάν μονοφασικό τύλιγμα. Στό σχῆμα 6.1β, ὅπου οἱ τρεῖς φάσεις τοῦ στάτη εἶναι συνδεσμολογμένες σέ τρίγωνο, μετά τή διακοπή τοῦ ἀγωγοῦ Τ ἡ φάση 3 δέν εἶναι ἐκτός κυκλώματος. Ἐδῶ οἱ φάσεις 2 καί 3 εἶναι σέ σειρά καί ἡ φάση 1 βρίσκεται ἀντισυνδεδεμένη παράλληλα πρὸς αὐτές. Τά τυλίγματα τῶν τριῶν φάσεων ἀποτελοῦν πάλι ὅλα μαζί ἕνα μονοφασικό τύλιγμα.

Ἀπό ὅσα ἀναφέραμε στά προηγούμενα, βγαίνει τό συμπέρασμα, ὅτι κινητήρας μέ μονοφασικό τύλιγμα δέν μπορεῖ νά ξεκινήσει μόνος του. Αὐτό ὀφείλεται στό ὅτι τό μονοφασικό τύλιγμα, ὅταν τροφοδοτεῖται μέ μονοφασικό ρεῖμα, δέν δημιουργ-

γεί μόνο του περιστρεφόμενο μαγνητικό πεδίο. Τό μαγνητικό πεδίο, πού δημιουργείται στην περίπτωση αυτή, είναι έναλλασσόμενο, δηλαδή πάλλεται μέ σταθερό προσανατολισμό. Όταν όμως μέ κάποιον άλλο τρόπο θέσουμε σέ κίνηση τό μονοφασικό κινητήρα, τότε αυτός συνεχίζει νά περιστρέφεται. Αυτό όφείλεται στό ότι δημιουργείται τώρα περιστρεφόμενο μαγνητικό πεδίο μέ τήν επίδραση καί τοῦ ρεύματος πού κυκλοφορεῖ μέσα στους άγωγούς τοῦ δρομέα ἢ άκριβέστερα μέ τήν επίδραση καί τοῦ μαγνητικοῦ πεδίου, πού δημιουργεῖ τό ρεύμα αυτό.

Γιά νά μπορούν λοιπόν οἱ μονοφασικοί κινητήρες νά ξεκινούν μόνοι τους, πρέπει μέ κάποιο τρόπο νά δημιουργήσουμε στή διάρκεια τῆς ἐκκίνησης περιστρεφόμενο μαγνητικό πεδίο. Αυτό γίνεται μέ τή βοήθεια ενός δεύτερου τυλίγματος, τό όποιο τοποθετεῖται στό στάτη τοῦ κινητήρα καί ονομάζεται **βοηθητικό τύλιγμα** ἢ **βοηθητική φάση** γιά νά τό διακρίνουμε από τό **κύριο τύλιγμα** τοῦ κινητήρα. Τό βοηθητικό αυτό τύλιγμα εἶναι μετατοπισμένο κατά 90 ηλεκτρικές μοῖρες ως πρός τό κύριο τύλιγμα, ὅπως θά ἐξηγήσουμε στό κεφάλαιο πού θά μιλήσουμε γιά τά τυλίγματα τῶν μηχανῶν έναλλασσόμενου ρεύματος. Τά δύο τυλίγματα συνδέονται μεταξύ τους παράλληλα καί τροφοδοτοῦνται από τό ἴδιο μονοφασικό δίκτυο.

Γιά τή δημιουργία περιστρεφόμενου μαγνητικοῦ πεδίου στήν ἐκκίνηση δέν ἀρκεῖ τό βοηθητικό τύλιγμα νά εἶναι μετατοπισμένο, ὅπως εἴπαμε, σχετικά μέ τό κύριο τύλιγμα, αλλά πρέπει καί τό ρεύμα πού τό διαρρέει νά ἔχει **φασική ἀπόκλιση**, ως πρός τό ρεύμα πού διαρρέει τό κύριο τύλιγμα. Αυτό τό πετυχαίνομε κυρίως μέ δύο τρόπους καί ἀντίστοιχα ἔχομε τούς **μονοφασικούς κινητήρες ἀντιστάσεως** καί τούς **μονοφασικούς κινητήρες μέ πυκνωτή**.



Σχ. 6.2.

Τυλίγματα στάτη μονοφασικοῦ κινητήρα ἀντιστάσεως.

6.2 Μονοφασικοί κινητήρες ἀντιστάσεως.

Στους κινητήρες αυτούς, πού εἶναι βασικά μικροί κινητήρες μέ βραχυκυκλωμένο δρομέα άπευθείας ἐκκίνησης, τό βοηθητικό τύλιγμα ἔχει μεγάλη ἀντίσταση. Ἀποτελεῖται δηλαδή από πολλές σπείρες λεπτοῦ σύρματος καί εἶναι συνδεσμοποιημένο ὅπως φαίνεται στό σχῆμα 6.2. Σέ ὁρισμένους κινητήρες σέ σειρά μέ τό

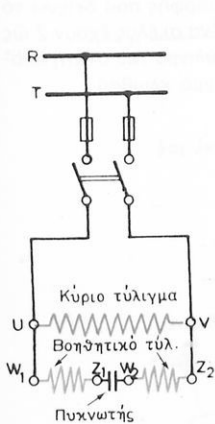
βοηθητικό τύλιγμα υπάρχει καί μία ωμική αντίσταση.

Ο διακόπτης δ που συνδέεται σε σειρά με τό βοηθητικό τύλιγμα είναι ένας **φυγοκεντρικός διακόπτης** στερεωμένος στον άξονα του δρομέα. Με τη βοήθεια του διακόπτη αυτού τό βοηθητικό τύλιγμα τίθεται εκτός κυκλώματος μετά την εκκίνηση, όταν δηλαδή ο κινητήρας αποκτήσει περίπου τά 80% της κανονικής ταχύτητας περιστροφής, όποτε εργάζεται πιά μόνο με τό κύριο τύλιγμα.

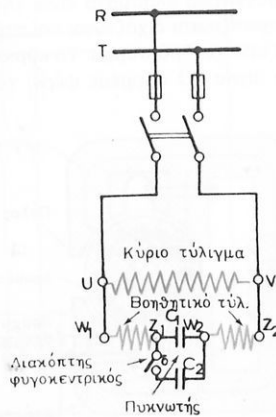
Γιά την αλλαγή της φοράς περιστροφής στο μονοφασικό κινητήρα με βοηθητικό τύλιγμα, πρέπει νά αντιμεταθέσμε τίς συνδέσεις τών δύο άκρων του βοηθητικού τύλιγματος με τό κύριο τύλιγμα.

6.3 Μονοφασικοί κινητήρες με πυκνωτή.

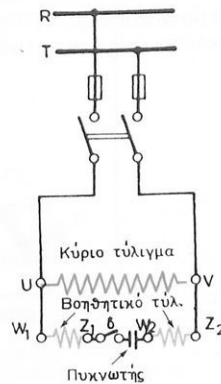
Είναι καί αυτοί κινητήρες με βραχυκυκλωμένο δρομέα καί έχουν σε σειρά με τό βοηθητικό τύλιγμα συνδεδεμένο ένα πυκνωτή. Ο πυκνωτής αυτός συντελεί ώστε τό ρεύμα μέσα στο βοηθητικό τύλιγμα νά προηγείται της τάσεως (χωρητική φόρτιση), ενώ τό ρεύμα στο κύριο τύλιγμα ακολουθεί την τάση (επαγωγική φόρτιση). Έτσι τά δύο ρεύματα παρουσιάζουν μεταξύ τους σημαντική φασική απόκλιση, ώστε νά δημιουργείται περιστρεφόμενο μαγνητικό πεδίο. Οι μονοφασικοί κινητήρες με πυκνωτή χρησιμοποιούνται γιά μεγαλύτερες ισχύεις (μέχρι 1,5 kW) από ότι οι κινητήρες αντίσταςως.



Σχ. 6.3α.



Σχ. 6.3β.



Σχ. 6.3γ.

Στους κινητήρες με πυκνωτή ή ροπή εκκίνησης, γιά όρισμένη τάση τροφοδοτήσεως, εξαρτάται από τη χωρητικότητα του πυκνωτή. Όταν αύξάνει ή χωρητικότητα αύξάνεται καί ή ροπή εκκίνησης. Όταν απαιτείται ροπή εκκίνησης 50% ως 70% της όνομαστικής ροπής, ο πυκνωτής καί τό βοηθητικό τύλιγμα μπορούν νά παραμένουν συνδεδεμένα καί στην κανονική λειτουργία του κινητήρα (σχ. 6.3α). Στίς

περιπτώσεις αυτές ο συντελεστής ισχύος του κινητήρα είναι περίπου ίσος με 1.

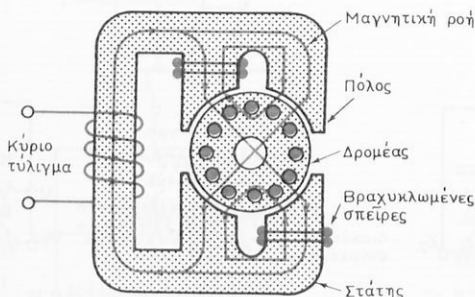
Όταν απαιτείται μεγάλη ροπή εκκίνησης, π.χ. 2 ή $2\frac{1}{2}$ φορές μεγαλύτερη από την ονομαστική ροπή, χρησιμοποιούνται δύο πυκνωτές (σχ. 6.3β). Ό ένας είναι **πυκνωτής λειτουργίας** (C_1), δηλαδή παραμένει στο κύκλωμα κατά τη λειτουργία του κινητήρα συνδεδεμένος σε σειρά με το βοηθητικό κύκλωμα για να βελτιώνει το συντελεστή ισχύος του κινητήρα. Ό άλλος είναι **πυκνωτής εκκίνησης** (C_2), δηλαδή τίθεται εκτός κυκλώματος μετά την εκκίνηση από το φυγοκεντρικό διακόπτη δ.

Τέλος υπάρχουν μονοφασικοί κινητήρες, στους οποίους τόσο το βοηθητικό τύλιγμα όσο και ο πυκνωτής που είναι σε σειρά με αυτό βγαίνουν εκτός κυκλώματος μετά την εκκίνηση του κινητήρα (σχ. 6.3γ).

Ός πυκνωτές εκκίνησης είναι δυνατό να χρησιμοποιηθούν και **ηλεκτρολυτικοί πυκνωτές**. Πρέπει όμως να έχουμε υπόψη μας, ότι αν για οποιοδήποτε λόγο δεν ανοίξει μετά την εκκίνηση ο φυγοκεντρικός διακόπτης, ο ηλεκτρολυτικός πυκνωτής θα καταστραφεί κατά τη λειτουργία του κινητήρα. Γι' αυτό είναι σκόπιμο να χρησιμοποιούμε **πυκνωτές χάρτου**, είτε πρόκειται για πυκνωτές λειτουργίας είτε για πυκνωτές εκκίνησης.

6.4 Κινητήρες με βραχυκυκλωμένες σπείρες στο στάτη.

Οι κινητήρες αυτοί, που χρησιμοποιούνται για πολύ μικρή ισχύ (π.χ. 30 W), έχουν στάτη του οποίου τα μαγνητικά ελάσματα είναι της μορφής που δείχνει το σχήμα 6.4. Οι πόλοι που σχηματίζονται διχάζονται και στο ένα σκέλος έχουν 2 ως 3 βραχυκυκλωμένες σπείρες από χονδρό σύρμα. Το κύριο τύλιγμα του στάτη αποτελείται από ένα κυλινδρικό ιηνίο. Ό δρομέας φέρει τύλιγμα κλωβού.



Σχ. 6.4.

Κινητήρας με βραχυκυκλωμένες σπείρες.

Ένα ποσοστό της μαγνητικής ροής που δημιουργεί το κύριο τύλιγμα, περνά μέσα από τις βραχυκυκλωμένες σπείρες και δημιουργεί από επαγωγή μέσα σε αυτές ένα αλλασσόμενο ρεύμα, το οποίο έχει σημαντική φασική απόκλιση ως προς το ρεύμα του κύριου τυλίγματος. Άρα δημιουργείται από αυτό δεύτερη έναλλασσόμενη μαγνητική ροή, η οποία έχει φασική απόκλιση ως προς τη μαγνητική ροή του κύ-

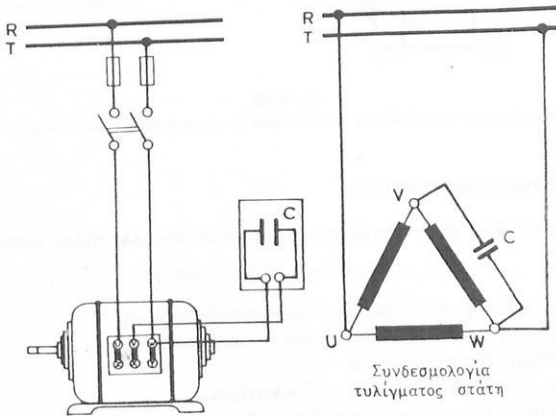
ριου τυλίγματος καί είναι μετατοπισμένη ως προς αυτή. Έτσι δημιουργείται περι-
στρεφόμενο μαγνητικό πεδίο, τό οποίο θέτει σέ κίνηση τόν κινητήρα.

Οι κινητήρες αυτοί έχουν μικρό βαθμό απόδοσεως (10%) καί χρησιμοποιούνται
σέ πολλές μικρές συσκευές, όπου ο βαθμός απόδοσεως δέν έχει σοβαρή σημασία.

6.5 Τριφασικοί κινητήρες χρησιμοποιούμενοι σάν μονοφασικοί.

Μικροί τριφασικοί κινητήρες είναι δυνατό νά χρησιμοποιηθοῦν καί σάν μονοφα-
σικοί, δηλαδή νά λειτουργήσουν τροφοδοτούμενοι από μονοφασικό δίκτυο. Γιά νά
μποροῦν νά ἐκκινοῦν μόνοι τους πρέπει νά τούς ἐφοδιάσουμε μέ ἕνα πυκνωτή, ὁ ὁ-
ποῖος στήν περίπτωση ζεύξεως τοῦ τυλίγματος τοῦ στάτη σέ τρίγωνο, συνδέεται
παράλληλα πρὸς μία φάση, ὅπως φαίνεται στό σχῆμα 6.5α. Ἄν ἡ ζεύξη τοῦ τυλίγ-
ματος τοῦ στάτη εἶναι σέ ἀστέρα, τότε ὁ πυκνωτής συνδέεται ὅπως δείχνει τό σχῆ-
μα 6.5β, δηλαδή σέ σειρά μέ μία φάση. Ἡ φάση αὕτη λειτουργεῖ ὅπως τό βοηθητι-
κό τύλιγμα τῶν μονοφασικῶν κινητῆρων καί χρησιμεύει, ὅπως ἀναφέραμε, γιά τήν
ἐκκίνηση.

Ἡ ἀλλαγὴ τῆς φορᾶς περιστροφῆς στοὺς κινητήρες αὐτοὺς γίνεται ἂν μεταθέ-
σουμε τή σύνδεση τοῦ ἑνὸς ἄκρου τοῦ πυκνωτῆ ἀπὸ τόν ἀκροδέκτη W στόν ἀκρο-
δέκτη U (σχ. 6.5α καί σχ. 6.5β).



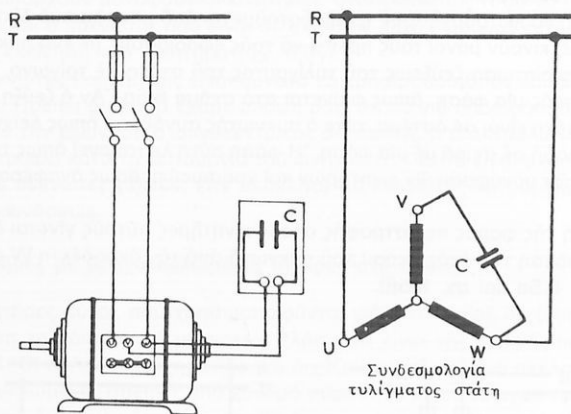
Σχ. 6.5α.

Τριφασικός κινητήρας ζεύξεως τριγώνου πού χρησιμοποιεῖται σάν μονοφασικός.

Μέ κατάλληλη ἐκλογή τοῦ πυκνωτῆ ἡ ροπή ἐκκινήσεως τοῦ κινητήρα, πού χρη-
σιμοποιεῖται σάν μονοφασικός, μπορεῖ νά φθάσει τό 40% ὡς 50% τῆς ὀνομαστι-
κῆς ροπῆς τοῦ τριφασικοῦ κινητήρα. Αὐτό πετυχαίνεται μέ πυκνωτῆ χωρητικότη-
τας περίπου 70 μF ἀνά kW ἰσχύος τοῦ κινητήρα καί μέ τάση δικτύου 220 V. Γιά τά-

ση τοῦ δικτύου τροφοδοτήσεως 380 V ἢ ἀντίστοιχη χωρητικότητα τοῦ πυκνωτῆ εἶναι περίπου 20 μF ἀνά kW.

Ἡ ἰσχύς τοῦ κινητήρα ὅταν λειτουργεῖ σάν μονοφασικός εἶναι περίπου τὰ 80% τῆς ὀνομαστικῆς ἰσχύος τοῦ τριφασικοῦ κινητήρα. Ἡ περίπτωση τῆς χρησιμοποιοῦσας τριφασικῶν κινητῆρων σάν μονοφασικῶν, παρουσιάζεται συνήθως ὅταν μιά μηχανή εἶναι ἐφοδιασμένη μέ μικρό τριφασικό κινητήρα καί δέν ὑπάρχει διαθέσιμο τριφασικό δίκτυο.



Σχ. 6.5β.

Τριφασικός κινητήρας ζεύξεως ἀστέρα πού χρησιμοποιεῖται σάν μονοφασικός.

6.6 Ἴσχύς μονοφασικοῦ κινητήρα.

Ἡ ἰσχύς πού δίνει στὸν ἄξονά τοῦ ὁ μονοφασικός κινητήρας εἶναι:

$$N = U \cdot I \cdot \eta \cdot \cos\phi \quad \text{σέ } W$$

ὅπου: U εἶναι ἡ τάση σέ V τοῦ δικτύου τροφοδοτήσεως,

I ἡ ἔνταση σέ A, πού ἀπορροφᾷ ὁ κινητήρας,

η ὁ βαθμός ἀποδόσεως καί

$\cos\phi$ ὁ συντελεστής ἰσχύος τοῦ κινητήρα.

Ὅπως καί στοὺς τριφασικούς κινητῆρες, τὰ η καί $\cos\phi$ ἐξαρτῶνται ἀπὸ τὸ φορτίο τοῦ κινητήρα.

Ἀπὸ τὴν παραπάνω σχέση προκύπτουν οἱ ἀκόλουθες:

$$I = \frac{N}{U \cdot \eta \cdot \cos\phi}$$

$$\cos\phi = \frac{N}{U \cdot I \cdot \eta}$$

$$\eta = \frac{N}{U \cdot I \cdot \text{συνφ}}$$

6.7 Έρωτήσεις.

1. Άν στη διάρκεια της λειτουργίας ενός τριφασικού κινητήρα καεί ή μία από τις τρεις ασφάλειες, τί θα συμβεί καί γιατί;
2. Πώς αλλάζει η φορά περιστροφής των ασύγχρονων μονοφασικών κινητήρων με βοηθητικό τύλιγμα;
3. Πώς είναι συνδεσμοποιημένοι οι δύο πυκνωτές, τούς οποίους έχουν ορισμένοι κινητήρες με πυκνωτή καί σε τί χρησιμεύει ὁ καθένας;
4. Πώς συνδέεται ὁ πυκνωτής σε τριφασικό κινητήρα, πού λειτουργεῖ σάν μονοφασικός;

6.8 Προβλήματα καί άσκήσεις.

1. Ποιά είναι ἡ χωρητικότητα τοῦ πυκνωτῆ πού πρέπει νά συνδέσουμε σε τριφασικό κινητήρα τάσεως 220/380 V, ισχύος 1,5 kW γιά νά ἐργασθεῖ σάν μονοφασικός σε δίκτυο τάσεως 220 V; Ποιά σύνδεση των φάσεων τοῦ στάτη πρέπει νά κάνουμε;
(**Απάντ.:** 105 μF, σύνδεση σε τρίγωνο)
2. Ποιά ἔνταση ἀπορροφᾷ ἀπό τό δίκτυο μονοφασικός κινητήρας 1,1 kW, 220 V μέ βαθμό ἀποδόσεως 0,74 καί συντελεστή ισχύος 0,72;
(**Απάντ.:** 9,4 A)
3. Ένας μονοφασικός κινητήρας δίνει στόν άξονά του ισχύ 1,5 kW, όταν ἀπορροφᾷ ἀπό τό δίκτυο ισχύ 2,1 kW καί ἔνταση 12,5 A μέ τάση 220 V. Νά ὑπολογισθεῖ ὁ βαθμός ἀποδόσεως καί ὁ συντελεστής ισχύος τοῦ κινητήρα.
(**Απάντ.:** $\eta = 0,71$, $\text{συνφ} = 0,76$)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΕΒΔΟΜΟ

ΚΙΝΗΤΗΡΕΣ ΕΝΑΛΛΑΣΣΟΜΕΝΟΥ ΡΕΥΜΑΤΟΣ ΜΕ ΣΥΛΛΕΚΤΗ

7.1 Γενικά.

Τόσο οι σύγχρονοι όσο και οι ασύγχρονοι κινητήρες, τούς οποίους εξετάσαμε στα προηγούμενα κεφάλαια, αν και έχουν πολύ καλά χαρακτηριστικά λειτουργίας, δέν είναι βασικά κινητήρες μεταβλητής ταχύτητας. Τό μειονέκτημα αυτό, τό όποιο σέ όρισμένες ειδικές περιπτώσεις άποτελεί λόγο άποκλεισμού τών κινητήρων αυτών, καλύπτουν οι **κινητήρες έναλλασσόμενου ρεύματος μέ συλλέκτη**. Οι κινητήρες αυτοί, έκτός από τό ότι έπιτρέπουν λεπτομερή ρύθμιση τής ταχύτητας περιστροφής, έχουν επίσης ικανοποιητική ροπή έκκινήσεως, ψηλό συντελεστή ισχύος και καλό βαθμό άποδόσεως.

Οι κινητήρες μέ συλλέκτη διακρίνονται σέ δύο κατηγορίες: Στους μονοφασικούς και στους τριφασικούς. Σέ κάθε κατηγορία υπάρχουν πολλοί τύποι. Στο βιβλίο αυτό θά εξετάσουμε τούς πío συνηθισμένους. Συγκεκριμένα από τούς μονοφασικούς κινητήρες μέ συλλέκτη θά εξετάσουμε: α) Τούς **κινητήρες σειράς**. β) Τούς **κινητήρες Γιουνιβέρσαλ**, πού είναι μία παραλλαγή τών κινητήρων σειράς και γ) τούς **κινητήρες άντιδράσεως**. Από τούς τριφασικούς κινητήρες μέ συλλέκτη θά εξετάσουμε: α) Τούς **κινητήρες σειράς** και β) τούς **κινητήρες διακλαδώσεως**.

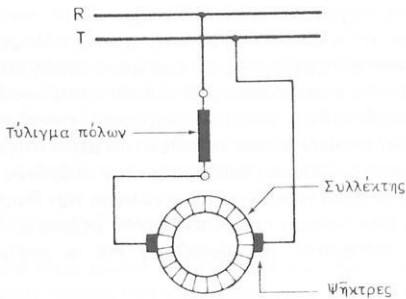
7.2 Μονοφασικοί κινητήρες σειράς.

1) *Η άρχή τής λειτουργίας τους.*

Στους κινητήρες συνεχούς ρεύματος μέ διέγερση σειράς (παράγραφος 2.10, έ-δάφιο 2) τό ίδιο ρεύμα περνά και από τό τύλιγμα τών μαγνητικών πόλων και από τό έπαγωγικό τύμπανο μέ τή βοήθεια τών ψηκτρών. Άρα, όταν σέ ένα κινητήρα μέ διέγερση σειράς αλλάξομε τή φορά του ρεύματος πού τόν τροφοδοτεί, ή φορά περιστροφής του δέν αλλάζει, γιατί ταυτόχρονα αλλάζει και ή φορά του μαγνητικού πεδίου και ή φορά του ρεύματος μέσα στους άγωγούς του τυμπάνου (παράγρ. 1.5).

Από τά παραπάνω θά μπορούσε κανείς νά συμπεράνει, ότι ο κινητήρας συνεχούς ρεύματος μέ διέγερση σειράς είναι δυνατό νά έργασθεί και όταν τροφοδοτείται μέ μονοφασικό έναλλασσόμενο ρεύμα (σχ. 7.2α). Αυτό πραγματικά συμβαίνει, μέ τή παρατήρηση όμως ότι ή λειτουργία του κινητήρα είναι κακή. Τό έναλλασσόμενο ρεύμα πού άπορροφά ο κινητήρας είναι μικρότερο από ότι τό αντίστοιχο συνεχές ρεύμα μέ τήν ίδια τάση, ή ροπή πού αναπτύσσεται είναι μικρότερη, δημιουρ-

γούνται σπινθηρισμοί στο συλλέκτη και ο συντελεστής ισχύος και ο βαθμός απόδοσης του κινητήρα δεν είναι καθόλου ικανοποιητικοί. Επίσης ο κινητήρας θερμαίνεται πάρα πολύ και ιδιαίτερα στους μαγνητικούς του πόλους.



Σχ. 7.2α.

Μονοφασικός κινητήρας σειράς.

2) Η κατασκευή των μονοφασικών κινητήρων σειράς.

Γιά την καλή λειτουργία του κινητήρα σειράς στο έναλλασσόμενο ρεύμα, πρέπει να γίνουν οι ακόλουθες τροποποιήσεις στη γνωστή κατασκευή των κινητήρων συνεχούς ρεύματος:

α) Αίτια της υπερβολικής θερμάνσεως των μαγνητικών πόλων, όταν τα τυλίγματα τους διαρρέονται από έναλλασσόμενο ρεύμα, είναι τα δινορρεύματα και η ύστερηση από την έναλλασσόμενη μαγνήτισή τους. Για τό λόγο αυτό στους μονοφασικούς κινητήρες σειράς οι πυρήνες των μαγνητικών πόλων κατασκευάζονται από πολλά λεπτά μαγνητικά ελάσματα και ο υπολογισμός τους γίνεται με μικρότερη μαγνητική επαγωγή από ότι στο συνεχές ρεύμα.

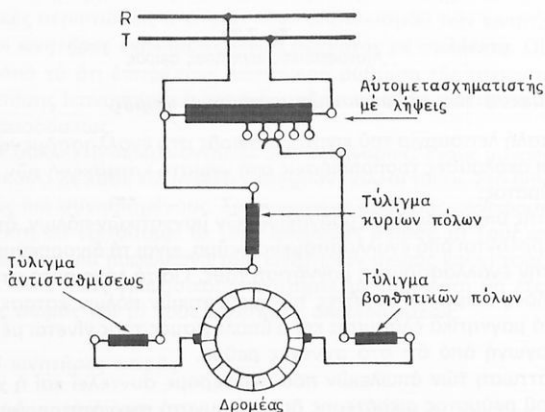
Στήν ελάττωση των απωλειών που αναφέραμε συντελεί και η χρησιμοποίηση μονοφασικού ρεύματος μικρότερης όσο τό δυνατό συχνότητας. Αυτός είναι ο λόγος γιά τόν οποίο σέ όρισμένες περιπτώσεις χρησιμοποιούνται συχνότητες 25 Hz ή $16 \frac{2}{3}$ Hz.

β) Η άπορρόφηση μικρότερου ρεύματος και ο μικρός συντελεστής ισχύος που αναφέραμε όφείλονται στά φαινόμενα αύτεπαγωγής, τά όποια εμφανίζονται όταν ο κινητήρας σειράς τροφοδοτείται με έναλλασσόμενο ρεύμα. Δέν θά προχωρήσομε σέ λεπτομερή εξέταση των φαινομένων αυτών. Θά σημειώσομε μόνο ότι οι μονοφασικοί κινητήρες σειράς κατασκευάζονται με μικρό αριθμό σπειρών στά τυλίγματα των πόλων και μεγάλο αριθμό σπειρών στο επαγωγικό τύμπανο. Επίσης, ότι γιά τή μείωση τής αντίδράσεως του επαγωγικού τυμπάνου, τοποθετείται στά πέδιλα των μαγνητικών πόλων **τύλιγμα αντίσταθμίσεως**, όπως αυτό που τοποθετείται και σέ όρισμένες μηχανές συνεχούς ρεύματος. Τό τύλιγμα αντίσταθμίσεως συνδέεται σέ σειρά με τό επαγωγικό τύμπανο και τά τυλίγματα των πόλων.

γ) Οι σπινθηρισμοί στο συλλέκτη, οι όποιοι εμφανίζονται και στίς μηχανές συνεχούς ρεύματος, έδω παρουσιάζονται με πολύ πιό σοβαρή μορφή και με αποτέλεσμα

σμα την υπερβολική θέρμανση του συλλέκτη. Για την αντιμετώπιση του φαινομένου αυτού χρησιμοποιούνται και στους μονοφασικούς κινητήρες σειρές **βοηθητικοί πόλοι** (έδαφιο 5, παράγραφος 2.9) των οποίων τα τυλίγματα συνδέονται σε σειρά με το επαγωγικό τύμπανο. Η συνδεσμολογία των τυλιγμάτων που έχει ο μονοφασικός κινητήρας σειράς φαίνεται στο σχήμα 7.2β.

Αναφέρομε τέλος, ότι η κατασκευή με μαγνητικούς πόλους που προεξέχουν, όπως στις μηχανές συνεχούς ρεύματος, γίνεται μόνο στους μικρούς μονοφασικούς κινητήρες σειράς. Στους μεγαλύτερους, ο στάτης κατασκευάζεται χωρίς προεξέχοντες πόλους, όπως ο στάτης στους ασύγχρονους κινητήρες. Στις περιπτώσεις αυτές, το τύλιγμα των κυρίων πόλων τοποθετείται μέσα στις όδοντώσεις διαμορφωμένο σαν μονοφασικό τύλιγμα éναλλασσόμενου ρεύματος. Σε απόσταση 90 ηλεκτρικών μοιρών από αυτό τοποθετείται το τύλιγμα των βοηθητικών πόλων, διαμορφωμένο επίσης σαν τύλιγμα éναλλασσόμενου ρεύματος. Μέσα στις όδοντώσεις του πρώτου τυλίγματος τοποθετούνται και οι σπείρες του τυλίγματος αντίσταθμίσεως.



Σχ. 7.2β.

Μονοφασικός κινητήρας σειράς με αὐτομετασχηματιστή.

3) Λειτουργία καὶ χρήση.

Οι χαρακτηριστικές καμπύλες λειτουργίας των μονοφασικών κινητήρων σειράς μοιάζουν πολύ με τις αντίστοιχες καμπύλες των κινητήρων συνεχούς ρεύματος με διέγερση σειράς. Έχουν δηλαδή και οι κινητήρες αυτοί σημαντική ροπή éκκίνησης, ή όποια στή συνέχεια éλαττώνεται όσο αύξανεται η ταχύτητα του κινητήρα. Στο μηδενικό φορτίο ή ταχύτητα του κινητήρα αύξάνεται éπικίνδυνα.

Γιά την éκκίνηση των μονοφασικών κινητήρων σειράς χρησιμοποιούμε είτε ένα éκκινητή με αντίστασεις που συνδέονται σε σειρά με το επαγωγικό τύμπανο, είτε συνηθέστερα στους μεγάλους κινητήρες ένα αὐτομετασχηματιστή με λήψεις, όπως φαίνεται στο σχήμα 7.2β.

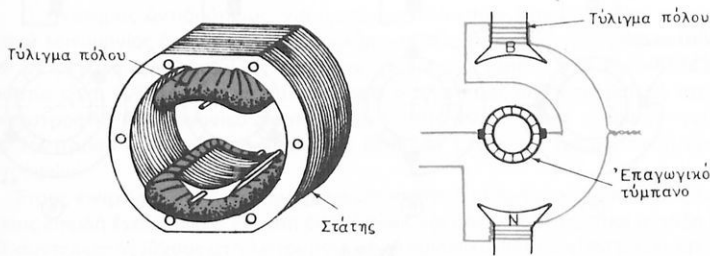
Γιά νά ρυθμίζομε τήν ταχύτητα περιστροφῆς κατὰ τή διάρκεια τῆς λειτουργίας χρησιμοποιοῦμε ἓνα ρυθμιστή στροφῶν (πού εἶναι τότε καί ἐκκινήτης), ὅπως γίνεται στίς ἀντίστοιχες μηχανές συνεχοῦς ρεύματος. Ἐνας τέτοιος ρυθμιστής στροφῶν μπορεῖ νά εἶναι ὁ αὐτομετασχηματιστής μέ τίς λήψεις πού ἀναφέραμε, ὁπότε εἶναι κατασκευασμένος ἔτσι, ὥστε νά μπορεῖ νά παραμένει συνεχῶς στό κύκλωμα (σχ. 7.2β).

Οἱ μονοφασικοί κινητήρες σειρᾶς χρησιμοποιοῦνται κυρίως στήν ἠλεκτρική ἔλξη (σιδηρόδρομοι κλπ.), ὅπως καί οἱ ἀντίστοιχοι κινητήρες συνεχοῦς ρεύματος, καί μάλιστα γιά μεγάλες ἀποστάσεις. Στίς περιπτώσεις αὐτές χρησιμοποιοῦμε ρεῦμα ὑψηλῆς τάσεως (π.χ. 15.000 V), τό ὁποῖο ὑποβιβάζομε στήν κατάλληλη γιά τούς κινητήρες τάση μέ τή βοήθεια μετασχηματιστή μέ λήψεις.

7.3 Κινητήρες Γιουνιβέρσαλ (Universal).

Οἱ κινητήρες αὐτοί εἶναι μικροί μονοφασικοί κινητήρες σειρᾶς (ισχύος μέχρι 500 W) μέ μαγνητικούς πόλους πού προεξέχουν, ὅπως φαίνεται στό ἀριστερό μέρος τοῦ σχήματος 7.3, καί κατασκευάζονται γιά ταχύτητες λειτουργίας 3000 ὥς 8000 στρ/μιν. Στίς ταχύτητες αὐτές ἡ λειτουργία τοῦ κινητήρα εἶναι ἱκανοποιητική καί χωρίς τύλιγμα ἀντισταθμίσεως καί βοηθητικούς πόλους.

Ὁ δρομέας τῶν κινητήρων Γιουνιβέρσαλ εἶναι κατασκευασμένος ὅπως ὁ συνηθισμένος δρομέας τῶν κινητήρων συνεχοῦς ρεύματος μέ συλλέκτη. Στό δεξιό μέρος τοῦ σχήματος 7.3 φαίνεται ἡ συνδεσμολογία κινητήρα αὐτοῦ τοῦ εἴδους.



Σχ. 7.3.
Κινητήρας Γιουνιβέρσαλ.

Οἱ κινητήρες Γιουνιβέρσαλ ἔχουν ἰσχυρή ροπή ἐκκινήσεως. Ἡ ταχύτητα περιστροφῆς τους ἐξαρτᾶται ἀπό τό φορτίο, ὅπως σέ ὅλους τούς κινητήρες σειρᾶς. Ὅταν ἀφαιρέσουμε τελείως τό φορτίο, ἡ ταχύτητα αὐξάνεται πάρα πολύ καί ὑπάρχει κίνδυνος καταστροφῆς τοῦ κινητήρα. Γιά τή ρύθμιση τῶν στροφῶν χρησιμοποιοῦνται ἀντιστάσεις ἢ αὐτομετασχηματιστές.

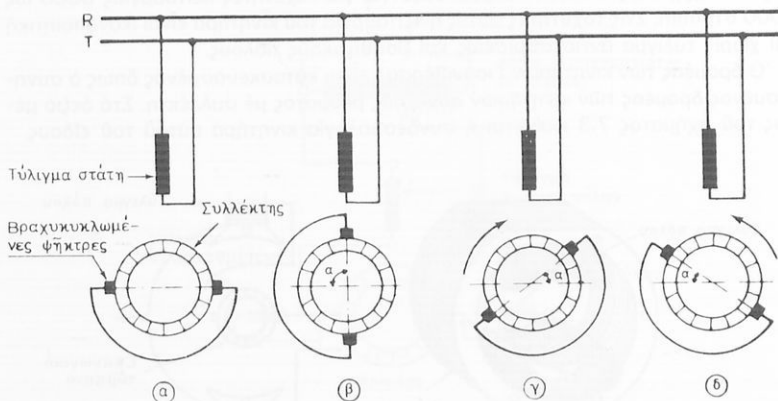
Οἱ μικροί κινητήρες Γιουνιβέρσαλ μποροῦν νά λειτουργήσουν τόσο μέ ἐναλλασσόμενο ρεῦμα συχνότητος 25 ὥς 60 Hz, ὅσο καί μέ συνεχές ρεῦμα. Στή λειτουργία μέ συνεχές ρεῦμα ἡ ταχύτητα περιστροφῆς εἶναι 15% μεγαλύτερη. Στή λειτουργία μέ ἐναλλασσόμενο ρεῦμα ἔχουν συντελεστή ἰσχύος μεταξύ 0,5 καί 0,8.

Οι κινητήρες Γιουνιβέρσαλ χρησιμοποιούνται πολύ σέ μικρά έργαλεία, π.χ. σέ ηλεκτρικά τρυπάνια, σέ ανεμιστήρες, σέ συσκευές οικιακής χρήσεως κλπ.

7.4 Κινητήρες αντίδρασεως.

Στήν απλούστερη μορφή τους οι κινητήρες αυτοί έχουν στάτη μέ μονοφασικό τύλιγμα εναλλασσόμενου ρεύματος καί δρομέα μέ τύλιγμα συνεχούς ρεύματος, τά άκρα τών ομάδων του οποίου συνδέονται στό συλλέκτη. Τό τύλιγμα του στάτη συνδέεται στό δίκτυο τροφοδοτήσεως καί παράγει εναλλασσόμενο (μή περιστρεφόμενο) μαγνητικό πεδίο. Τό τύλιγμα του δρομέα δέν συνδέεται ηλεκτρικά ούτε μέ τό τύλιγμα του στάτη ούτε μέ τό δίκτυο ηλεκτροδοτήσεως.

Οι ψήκτρες, οι οποίες εφάπτονται στό συλλέκτη, είναι μεταξύ τους βραχυκυκλωμένες ανά δύο καί είναι όλες στερεωμένες επάνω σέ μηχανισμό, ο οποίος μάς επιτρέπει μέ τή βοήθεια ενός χειροστρόφαλου νά τίς μεταθέτομε. Δηλαδή μπορούμε νά μεταβάλλομε τή θέση τους επάνω στό συλλέκτη, άν στρέψομε τό μηχανισμό κατά τή μία ή τήν άλλη φορά.



Σχ. 7.4.

Κινητήρας αντίδρασεως.

Στό σχήμα 7.4 τό διπολικό τύλιγμα του στάτη παριστάνεται μέ ένα πηνίο, του οποίου ο άξονας συμπίπτει μέ τόν άξονα του εναλλασσόμενου μαγνητικού πεδίου που δημιουργείται από τό τύλιγμα. Όταν ο άξονας τών δύο βραχυκυκλωμένων μεταξύ τους ψηκτρών συμπίπτει μέ τήν ουδέτερη ζώνη, όπως δείχνει τό σχήμα 7.4(α), τότε στό επάνω μισό του τυλίγματος του δρομέα δημιουργούνται ηλεκτρεγερτικές δυνάμεις από έπαγωγή, οι οποίες όμως αλληλοεξουδετερώνονται. Τό ίδιο συμβαίνει καί στό τύλιγμα του κάτω μισού του δρομέα. Άρα τό τύλιγμα δέν διαρρέεται από ρεύμα, ούτε αναπτύσσονται ηλεκτρομαγνητικές δυνάμεις στους άγωγούς του, δηλαδή δέν ασκείται ροπή στό δρομέα. Ο κινητήρας δέν ξεκινά καί τό τύλιγμα του στάτη του απλώς άπορροφά ένα μικρό σχετικά ρεύμα μαγνητίσεως από τό δίκτυο.

Ἄν ὁ ἄξονας τῶν ψηκτρῶν συμπίπτει μέ τόν ἄξονα τοῦ μαγνητικοῦ πεδίου τοῦ στάτη, ἄν δηλαδή ἡ γωνία $\alpha = 90^\circ$, ὅπως δείχνει τό σχῆμα 7.4(β), τότε οἱ ἀγωγοί τοῦ τυλίγματος τοῦ δρομέα διαρρέονται ἀπό ἔνταση ρεύματος, ἡ ὁποία μάλιστα λόγω τῆς βραχυκυκλώσεως τῶν ψηκτρῶν φθάνει σέ μεγάλες τιμές, ἱκανές νά καταστρέψουν τόν κινητήρα. Ροπή ὅμως στό δρομέα δέν ἀσκεῖται πάλι, γιατί οἱ ροπές τῶν δυνάμεων πού ἀναπτύσσονται στό ἐπάνω μισό τοῦ τυλίγματος τοῦ δρομέα ἀλληλοεξουδετερώνονται. Τό ἴδιο συμβαίνει καί μέ τό κάτω μισό τοῦ δρομέα. Δηλαδή καί στή θέση αὐτή τῶν ψηκτρῶν ὁ κινητήρας δέν μπορεῖ νά ξεκινήσει.

Ὅταν ὅμως ὁ ἄξονας τῶν βραχυκυκλωμένων ψηκτρῶν σχηματίζει γωνία α μεταξύ 0° καί 90° , ὅπως στό σχῆμα 7.4(γ), οἱ ἠλεκτρεγερτικές δυνάμεις πού δημιουργοῦνται ἀπό ἐπαγωγή μέσα στούς ἀγωγούς τοῦ τυλίγματος τοῦ δρομέα ἀλληλοεξουδετερώνονται μόνο μερικά. Ἄρα, λόγω τοῦ ρεύματος πού θά διαρρέει τώρα τοὺς ἀγωγούς καί πού κλείνει κύκλωμα μέσα ἀπό τίς βραχυκυκλωμένες ψηκτρες, θά ἀσκεῖται ροπή στό δρομέα, ἡ ὁποία τόν θέτει σέ κίνηση κατά τή φορά τοῦ τόξου. Ὅταν ἡ μετάρθεση τῶν ψηκτρῶν εἶναι ὅπως φαίνεται στό σχῆμα 7.4(δ), τότε ὁ κινητήρας περιστρέφεται μέ φορά ἀντίθετη τῆς προηγούμενης.

Ἡ ταχύτητα καί ἡ ροπή τοῦ κινητήρα ἀντιδράσεως ἐξαρτᾶται ἀπό τή γωνία μετάρθεσως τῶν ψηκτρῶν του α . Ὅσο αὐξάνομε (μέχρις ἑνός ὁρίου) τή γωνία α μέ τό μηχανισμό πού ἀναφέραμε, τόσο αὐξάνεται ἡ ταχύτητα περιστροφῆς τοῦ κινητήρα. Συνεπῶς ὁ κινητήρας ἀντιδράσεως ἔχει εὐκόλο τρόπο ρυθμίσεως τῆς ταχύτητάς του. Ἐπίσης εὐκόλη εἶναι στούς κινητήρες αὐτοὺς ἡ ἀλλαγὴ τῆς φορᾶς περιστροφῆς, ἡ ὁποία πραγματοποιεῖται μέ τόν ἴδιο μηχανισμό, μέ περιστροφή τοῦ χειροστροφάλου κατά τήν ἀντίθετη φορά.

Ὁ κινητήρας ἀντιδράσεως, γιά ὀρισμένη θέση τῶν ψηκτρῶν, ἔχει χαρακτηριστικά λειτουργίας ὅπως αὐτά τοῦ κινητήρα σειρᾶς. Δηλαδή ἡ ταχύτητα μεταβάλλεται σέ μεγάλα ὅρια, ὅταν μεταβάλλεται τό φορτίο. Ἐπίσης στή λειτουργία χωρίς φορτίο εἶναι ἐνδεχόμενο νά καταστραφεῖ ὁ κινητήρας ἀπό ὑπερβολικὴ ταχύτητα περιστροφῆς. Στό κανονικὸ φορτίο εἶναι δυνατό νά πετύχομε ρύθμιση στροφῶν, μέ τόν τρόπο πού ἀναφέραμε, μεταξύ 60% καί 130% τοῦ ὀνομαστικοῦ ἀριθμοῦ στροφῶν.

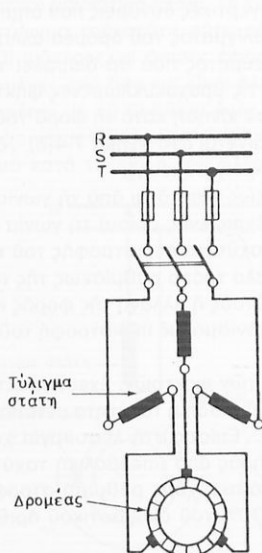
Στούς κινητήρες ἀντιδράσεως χρησιμοποιεῖται ἡ μέθοδος τῆς ἀπευθείας ἐκκινήσεως ἐπειδὴ ἔχουν μικρὴ ἔνταση ἐκκινήσεως καί μάλιστα μέ σχετικὰ μεγάλη ροπή. Ὁ συντελεστής ἰσχύος στή λειτουργία μέ τό κανονικὸ φορτίο εἶναι μικρότερος ἀπο τοὺς μονοφασικοὺς κινητήρες σειρᾶς. Οἱ κινητήρες ἀντιδράσεως χρησιμοποιοῦνται ὅπου ἀπαιτεῖται λεπτομερὴς ρύθμιση τῆς ταχύτητας περιστροφῆς.

7.5 Τριφασικοί κινητήρες σειρᾶς.

Οἱ κινητήρες αὐτοί, πού ἀνήκουν στήν κατηγορία τῶν τριφασικῶν κινητήρων μέ συλλέκτη, ἔχουν στάτη ὅμοιο ἀκριβῶς μέ τό στάτη ἑνός ἀσύγχρονου τριφασικοῦ κινητήρα. Ὁ δρομέας τοὺς ὅμως ἔχει τύλιγμα συνεχοῦς ρεύματος μέ τὰ ἄκρα τῶν ὁμάδων συνδεμένα στοὺς τομεῖς τοῦ συλλέκτη. Ὁ ἀριθμὸς τῶν πόλων τοῦ τυλίγματος τοῦ στάτη εἶναι ὁ ἴδιος μέ τόν ἀριθμὸ τῶν πόλων τοῦ τυλίγματος τοῦ δρομέα.

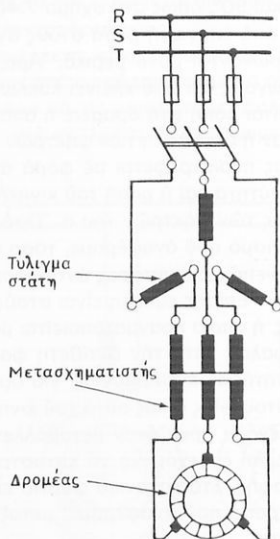
Έπάνω στο συλλέκτη εφάπτονται τρεις ψήκτρες σε σημεία που ίσαπέχουν μεταξύ τους, δηλαδή σε αποστάσεις 120° . Οι ψήκτρες αυτές είναι στερεωμένες σε ένα μηχανισμό που επιτρέπει τη μετάθεσή τους, όπως στους κινητήρες αντίδρασης.

Τά άκρα του τύλιγματος κάθε φάσεως του στάτη συνδέονται με το δίκτυο με μία από τις ψήκτρες, όπως δείχνει το σχήμα 7.5α. Δηλαδή έχουμε σύνδεση σε σειρά των τριών φάσεων του στάτη με τις τρεις φάσεις του δρομέα, δεδομένου ότι το τύλιγμα του δρομέα μπορεί να θεωρηθεί σαν τριφασικό τύλιγμα συνδεσμο-λογημένο σε τρίγωνο.



Σχ. 7.5α.

Τριφασικός κινητήρας σειράς χαμηλής τάσεως.



Σχ. 7.5β.

Τριφασικός κινητήρας σειράς υψηλής τάσεως.

Η αρχή λειτουργίας των κινητήρων αυτών είναι η εξής: "Όταν ο στάτης τροφοδοτείται από το δίκτυο δημιουργεί μαγνητικό πεδίο περιστρεφόμενο (παράγρ. 4.2) με σύγχρονη ταχύτητα $n_s = f/p$. Το τύλιγμα του δρομέα συνδεσμο-λογημένο, όπως αναφέραμε, σε σειρά με το τύλιγμα του στάτη, τροφοδοτείται και αυτό με τριφασικό ρεύμα της ίδιας συχνότητας f . Συνεπώς δημιουργεί με όμοιο τρόπο περιστρεφόμενο μαγνητικό πεδίο με ταχύτητα επίσης $n_s = f/p$, δεδομένου ότι το τύλιγμα αυτό έχει τον ίδιο αριθμό ζευγών πόλων p με το τύλιγμα του στάτη.

Όποια και αν είναι η ταχύτητα περιστροφής του δρομέα, το τύλιγμά του συμπεριφέρεται πάντοτε, από την άποψη του μαγνητικού πεδίου, σαν να ήταν ακίνητο στο χώρο, και το μαγνητικό πεδίο που παράγει περιστρέφεται πάντοτε με τη σύγχρονη ταχύτητα n_s . Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι η διανομή του ρεύματος μέσα

στούς άγωγούς του τυλίγματος του δρομέα γίνεται μέ τό συλλέκτη από τίς άκίνητες (μή περιστρεφόμενες) ψήκτρες.

Άρα τά περιστρεφόμενα μαγνητικά πεδία του στάτη καί του δρομέα έχουν τήν ίδια γωνιακή ταχύτητα καί όταν εΐναι «έν φάσει» στό χώρο, δηλαδή τό ένα άκριβώς άπέναντι στό άλλο, δέν άσκεΐται καμιά ροπή στό δρομέα. Άν όμως μέ τό μηχανισμό μεταθέσμε τίς ψήκτρες κατά μία όρισμένη γωνία, δημιουργείται αντίστοιχη φασική άπόκλιση στό χώρο μεταξύ των δύο μαγνητικών πεδίων, τά όποια μέ τή μεταξύ τους αντίδραση άσκοΐν ροπή στό δρομέα μέ **φορά αντίθετη τής μεταθέσεως των ψηκτρών**. Άν ή άντιστάμενη ροπή του φορτίου εΐναι μικρότερη από τή ροπή αύτή ό κινητήρας θά ξεκινήσει.

Έπειδή στή λειτουργία του ό κινητήρας περιστρέφεται μέ φορά πού συμπίπτει μέ τή φορά περιστροφής των μαγνητικών πεδίων, γΐ αυτό ή μετάθεση των ψηκτρών γίνεται πάντοτε κατά φορά αντίθετη από τή φορά περιστροφής του κινητήρα. Άν θέλομε νά αλλάξομε τή φορά περιστροφής του κινητήρα, όπως καί στούς ασύγχρονους τριφασικούς κινητήρες, άντιμεταθέτομε δύο από τούς τροφοδοτικούς άγωγούς γιά νά αλλάξει ή φορά περιστροφής των μαγνητικών πεδίων, καί κάνομε μετάθεση στίς ψήκτρες αντίθετη από ότι ήταν προηγούμενα.

Η μέγιστη ροπή του κινητήρα πετυχαΐνεται, όταν ή μετάθεση των ψηκτρών εΐναι ίση περίπου μέ 90 ηλεκτρικές μοΐρες. Αυτό εΐναι καί τό όριο, μέχρι τό όποίο εΐναι έπιτρεπτή ή μετάθεση των ψηκτρών.

Γιά όρισμένη θέση των ψηκτρών, ό κινητήρας συμπεριφέρεται σάν κινητήρας συνεχούς ρεύματος μέ διέγερση σειράς, δηλαδή ή ταχύτητα περιστροφής έξαρτάται από τό φορτίο κλπ.

Γιά όρισμένο φορτίο σταθερής ροπής, ή ταχύτητα περιστροφής του κινητήρα αύξάνεται, όσο αύξάνεται (μέχρις ενός όρίου) ή μετάθεση των ψηκτρών κατά φορά αντίθετη από τή φορά κινήσεως. Η έκκίνηση των κινητήρων αυτών, όταν εΐναι μικρής ισχύος, γίνεται μέ τοποθέτηση των ψηκτρών στή θέση τής χαμηλής ταχύτητας, γιά νά έλαττώσομε τήν ένταση έκκινήσεως, ή όποία διαφορετικά εΐναι σημαντική. Γιά τήν έκκίνηση κινητήρων μεγάλης ισχύος χρησιμοποιούμε αυτόμετασχηματιστές.

Όταν ή τάση του δικτύου τροφοδοτήσεως του κινητήρα εΐναι άρκετά ύψηλή (πάνω από 380 V), παρεμβάλλομε ένα μετασχηματιστή, γιά τόν ύποβιβασμό τής τάσεως, μεταξύ των τυλιγμάτων του στάτη καί του δρομέα, όπως φαΐνεται στό σχήμα 7.5β. Αυτό γίνεται γιατί εΐναι τεχνικά πολύ δύσκολο νά κατασκευάσομε συλλέκτες γιά ύψηλές τάσεις.

Η ρύθμιση τής ταχύτητας των τριφασικών κινητήρων σειράς μόνο μέ τή μετάθεση των ψηκτρών, δηλαδή χωρίς τή χρησιμοποίηση έξωτερικών άντιστάσεων καί των άπωλειών τίς όποιες συνεπάγεται ή χρήση τους, έχει ως άποτέλεσμα οΐ κινητήρες αυτοΐ νά έχουν μεγάλο βαθμό άποδόσεως σέ όλη τήν κλίμακα των ταχυτήτων τους. Ό συντελεστής ισχύος εΐναι επίσης ύψηλός καί πλησιάζει τή μονάδα γιά ταχύτητες του κινητήρα κοντά ή καί πάνω από τή σύγχρονη ταχύτητα.

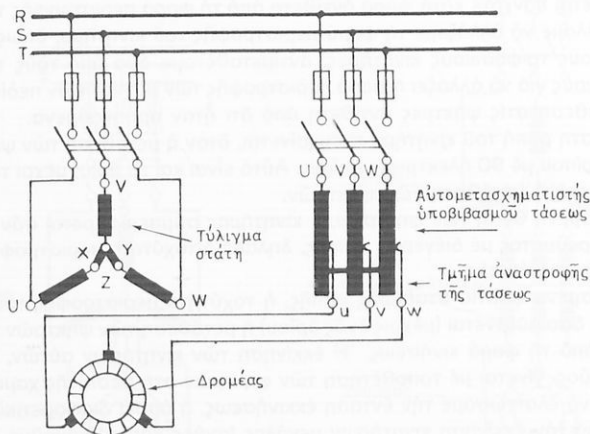
7.6 Τριφασικοί κινητήρες διακλαδώσεως.

Οΐ τριφασικοί κινητήρες διακλαδώσεως, πού εΐναι καί αυτοΐ κινητήρες μέ συλ-

λέκτες, ονομάστηκαν έτσι γιατί έχουν χαρακτηριστικά όπως των κινητήρων συνεχούς ρεύματος με παράλληλη διέγερση (διακλάδωση). Ταυτόχρονα έχουν τη δυνατότητα ρυθμίσεως της ταχύτητας σε μεγάλα όρια. Δύο είναι οι αντιπροσωπευτικότεροι τύποι των κινητήρων αυτών: **Οι τριφασικοί κινητήρες διακλαδώσεως με τροφοδοτηση από το στάτη** και **οι τριφασικοί κινητήρες διακλαδώσεως με τροφοδοτηση από το δρομέα**.

1) Τριφασικοί κινητήρες διακλαδώσεως με τροφοδότηση από το στάτη.

Το τυλίγμα του στάτη των κινητήρων αυτών τροφοδοτείται άπευθείας από το δίκτυο. Το τυλίγμα του δρομέα τροφοδοτείται επίσης από το δίκτυο με την παρεμβολή ενός μετασχηματιστή ή αυτομετασχηματιστή για τον υποβιβασμό της τάσεως, όπως δείχνει το σχήμα 7.6α.



Σχ. 7.6α.

Τριφασικός κινητήρας διακλαδώσεως με τροφοδότηση από το στάτη.

Η αρχή της λειτουργίας των κινητήρων αυτών είναι ίδια με τους τριφασικούς κινητήρες σειράς. Η ροπή δημιουργείται εδώ από τη μετάθεση στο χώρο μεταξύ των δύο περιστρεφόμενων μαγνητικών πεδίων του στάτη και του δρομέα. Η μετάθεση αυτή εξαρτάται πάλι από τη θέση των ψηκτρών στο συλλέκτη, αλλά και από τη φασική απόκλιση του ρεύματος του δρομέα προς το ρεύμα του στάτη. Αυτή η φασική απόκλιση δημιουργείται από το γεγονός, ότι τα τυλίγματα του στάτη και του δρομέα τροφοδοτούνται εδώ **παράλληλα** από το δίκτυο και μάλιστα το ένα με την παρεμβολή μετασχηματιστή ή αυτομετασχηματιστή.

Η μεταβολή της ταχύτητας του κινητήρα γίνεται με μεταβολή της σχέσεως υποβιβασμού της τάσεως του μετασχηματιστή ή αυτομετασχηματιστή, οι οποίοι για το σκοπό αυτό κατασκευάζονται με λήψεις (σχ. 7.6α). Όταν η τάση στο δευτερεύον του μετασχηματιστή ελαττώνεται, αυξάνεται η ταχύτητα του κινητήρα. Για να αυξηθεί η ταχύτητα πέρα από τη σύγχρονη, η τάση του δευτερεύοντος του μετασχη-

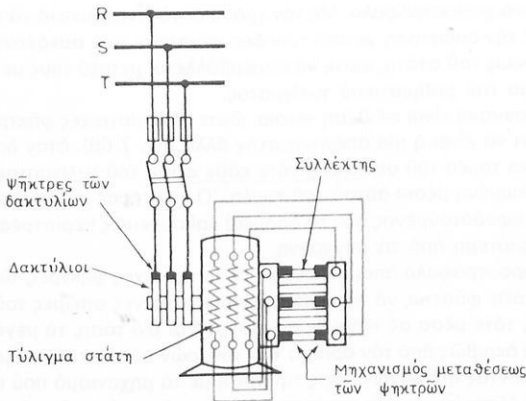
ματιστή αναστρέφεται. Στην πράξη η ταχύτητα του κινητήρα μεταβάλλεται μεταξύ 20% και 130% της ονομαστικής ταχύτητας.

Γιά ορισμένη τάση του δευτερεύοντος του μετασχηματιστή ή ταχύτητα του κινητήρα είναι πολύ σταθερή και όταν ακόμη η αντίστροφή ροπή του φορτίου μεταβάλλεται σε μεγάλα όρια.

Οι κινητήρες αυτοί, που έχουν σε όλη την κλίμακα των ταχυτήτων τους πολύ καλό βαθμό απόδοσης και συντελεστή ισχύος, χρησιμοποιούνται σε νηματοურγεία, ύφαντουργεία, μικρά έλαστρα, χαρτοποιητικές μηχανές κλπ.

2) Τριφασικοί κινητήρες διακλαδώσεως με τροφοδοτηση από τό δρομέα.

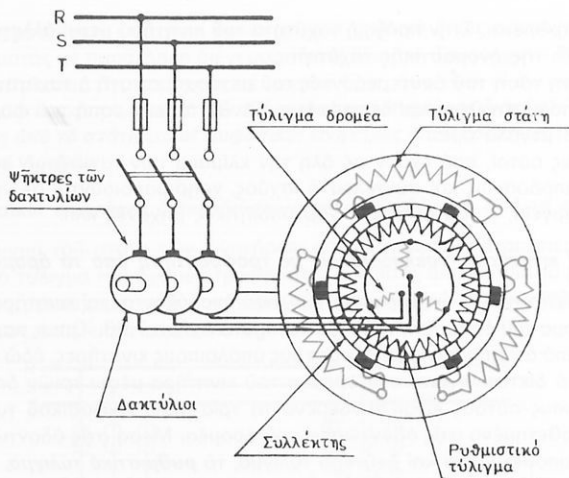
Η γενική διάταξη των κινητήρων αυτών, που ονομάζονται και κινητήρες Schrage, από τό όνομα του εφευρέτη τους, φαίνεται στο σχήμα 7.6β. Όπως παρατηρούμε, αντίθετα από ότι συμβαίνει με όλους τούς υπόλοιπους κινητήρες, εδώ η τροφοδότηση από τό δίκτυο γίνεται στο δρομέα του κινητήρα μέσω τριών δακτυλίων. Στούς δακτύλιους αυτούς είναι συνδεδεμένα τά τρία άκρα τριφασικού τυλίγματος που είναι τοποθετημένο στίς όδοντώσεις του δρομέα. Μέσα στίς όδοντώσεις αυτές υπάρχει τοποθετημένο και δεύτερο τύλιγμα, τό **ρυθμιστικό τύλιγμα**, τό όποιο συνδέεται με τούς τομείς του συλλέκτη, όπως τό τύλιγμα του έπαγωγικού τυμπάνου σε ένα κινητήρα συνεχούς ρεύματος. Τό σχήμα 7.6γ δίνει τό διάγραμμα τής συνδεσμολογίας των τυλιγμάτων σε ένα κινητήρα διακλαδώσεως με τροφοδότηση από τό δρομέα.



Σχ. 7.6β.

Τριφασικός κινητήρας διακλαδώσεως με τροφοδότηση από τό δρομέα.

Ο στάτης του κινητήρα έχει τριφασικό τύλιγμα, τά άκρα του όποίου συνδέονται σε δύο σειρές ψηκτρών. Κάθε σειρά αποτελείται από τρείς ίσαπέχουσες ψήκτρες (κατά 120°) στερεωμένες σε ένα μηχανισμό μεταθέσεως. Δηλαδή υπάρχουν δύο τέτοιοι μηχανισμοί, οι όποιοι όμως περιστρέφονται ταυτόχρονα σε αντίθετες φο-



Σχ. 7.6γ.

Τυλίγματα κινητήρα διακλαδώσεως με τροφοδότηση από τό δρομέα.

ρές από ένα κοινό χειροστρόφαλο. Μέ τον τρόπο αυτό είναι δυνατό να αυξήσουμε ή να ελαττώσουμε την απόσταση μεταξύ των δύο ψηκτρών, πού συνδέονται στα δύο άκρα κάθε φάσεως του στάτη, ώστε να παρεμβάλλεται μεταξύ τους μεγαλύτερο ή μικρότερο τμήμα του ρυθμιστικού τυλίγματος.

Όταν οι μηχανισμοί είναι σε θέση τέτοια, ώστε οι αντίστοιχες ψηκτρες των φάσεων του στάτη να είναι ή μία απέναντι στην άλλη (σχ. 7.6β), όταν δηλαδή εφάπτονται στον ίδιο τομέα του συλλέκτη, τότε κάθε φάση του τυλίγματος του στάτη είναι βραχυκυκλωμένη μέσω αυτού του τομέα. Ο κινητήρας συμπεριφέρεται σαν ασύγχρονος (τροφοδοτούμενος από τό δρομέα) και συνεπώς περιστρέφεται με ταχύτητα λίγο μικρότερη από τή σύγχρονη.

Αν με τό χειροστρόφαλο απομακρύνουμε τις αντίστοιχες ψηκτρες, ώστε μεταξύ των ψηκτρών κάθε φάσεως να παρεμβάλλονται όρισμένες σπειρές του ρυθμιστικού τυλίγματος, τότε μέσα σε κάθε φάση εισέρχεται μία τάση, τό μέγεθος της οποίας εξαρτάται άκριβώς από τόν αριθμό των σπειρών αυτών του ρυθμιστικού τυλίγματος. Αυξάνοντας ή ελαττώνοντας τήν τάση με τό μηχανισμό πού περιγράψαμε, αυξάνουμε ή ελαττώνουμε τήν ταχύτητα του κινητήρα πάνω ή και κάτω από τή σύγχρονη ταχύτητα. Συνήθως τά άκράια όρια των ταχυτήτων πού πετυχαίνονται με τόν τρόπο αυτό έχουν μεταξύ τους σχέση 1 προς 3, υπάρχουν όμως κινητήρες αυτού του είδους με όρια 1 προς 15 ή και περισσότερο.

Ο κινητήρας ξεκινά άπευθείας με τοποθέτηση των ψηκτρών στη θέση πού έχει τή μικρότερη ταχύτητα. Στη λειτουργία του έχει πολύ καλό συντελεστή ισχύος για ταχύτητες πάνω από τή σύγχρονη, ενώ για ταχύτητες κάτω από τή σύγχρονη ό συντελεστής ισχύος ελαττώνεται. Ο βαθμός απόδοσεως του κινητήρα είναι πολύ

καλός. Η αλλαγή της φοράς περιστροφής του κινητήρα γίνεται, όπως και στους ασύγχρονους τριφασικούς κινητήρες, με αντιμετάθεση των δύο από τους τρεις τροφοδοτικούς άγωγους.

Οι κινητήρες Schrage χρησιμοποιούνται σε περιπτώσεις όπου απαιτείται λεπτομερής ρύθμιση της ταχύτητας, όπως σε τυπογραφικές και χαρτοποιητικές μηχανές, έργοστάσια ελαστικού, φυσητήρες λεβήτων, συμπιεστές, γερανούς, σε μεγάλες έργαλειομηχανές κλπ.

7.7 Έρωτήσεις.

1. Σε τί διαφέρει κατασκευαστικά ο κινητήρας συνεχούς ρεύματος με διέγερση σειράς, από το μονοφασικό κινητήρα σειράς με συλλέκτη;
2. Τι είναι οι κινητήρες Γιουνιβέρσαλ και πού χρησιμοποιούνται;
3. Τι γνωρίζετε για τους κινητήρες αντιδράσεως (περιγραφή, άρχη λειτουργίας, φορά εκκίνησης, αλλαγή φοράς περιστροφής);
4. Ποιά είδη κινητήρων έναλλασσόμενου ρεύματος με συλλέκτη γνωρίζετε;
5. Νά περιγραφεί η άρχη λειτουργίας των μονοφασικών κινητήρων σειράς.
6. Τι γνωρίζετε για τους τριφασικούς κινητήρες σειράς με συλλέκτη (σχηματική παράσταση, τρόπος εκκίνησης, μεταβολή στρωφών, αλλαγή φοράς περιστροφής);
7. Πώς γίνεται η ρύθμιση της ταχύτητας περιστροφής στον τριφασικό κινητήρα διακλαδώσεως πού τροφοδοτείται από τό στάτη και πώς πετυχαίνονται ταχύτητες πάνω από τή σύγχρονη ταχύτητα;

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΟΓΔΟΟ

ΤΥΛΙΓΜΑΤΑ ΜΗΧΑΝΩΝ ΕΝΑΛΛΑΣΣΟΜΕΝΟΥ ΡΕΥΜΑΤΟΣ

8.1 Γενικά.

Στό κεφάλαιο 3 είδαμε ότι στο στάτη των συγχρόνων γεννητριών με έσωτερικούς πόλους είναι τοποθετημένο τό έπαγωγικό τύμπανο, τό όποίο φέρει τό τύλιγμα. Τό τύλιγμα αυτό συνδέεται μέ τό δίκτυο, πού τροφοδοτεί μέ έναλλασσόμενο ρεύμα.

Στήν περίπτωση των συγχρόνων κινητήρων, οί όποίοι είναι μηχανές όμοιες μέ τούς έναλλακτήρες, όπως είδαμε στό κεφάλαιο 4, τό δίκτυο τροφοδοτεί μέ έναλλασσόμενο ρεύμα τό τύλιγμα τής μηχανής, τό όποίο βρίσκεται συνήθως στό στάτη.

Ό στάτης των άσυγχρόνων κινητήρων (κεφάλαια 5 καί 6) καί των κινητήρων έναλλασσόμενου ρεύματος μέ συλλέκτη (κεφάλαιο 7) είναι όμοιος μέ τό στάτη των συγχρόνων μηχανών. Δηλαδή φέρει τύλιγμα, κατασκευασμένο μέ βάση τίσ ίδιες άρχές, τό όποίο τροφοδοτείται μέ έναλλασσόμενο ρεύμα από τό δίκτυο.

Τέλος, στά προηγούμενα κεφάλαια είδαμε, ότι ό δρομέας των άσυγχρόνων κινητήρων μέ δακτύλιους καθώς καί των συγχρόνων μηχανών μέ έξωτερικούς πόλους, φέρει τύλιγμα κατασκευασμένο επίσης μέ τίσ ίδιες άρχές, πού είναι κατασκευασμένο τό τύλιγμα του στάτη των μηχανών έναλλασσόμενου ρεύματος.

Στό κεφάλαιο αυτό θά εξετάσουμε τά τύλιγματα έναλλασσόμενου ρεύματος, πού αναφέραμε παραπάνω, των συγχρόνων καί άσυγχρόνων μηχανών καί θά δώσουμε παραδείγματα, πού αναφέρονται κυρίως σέ είδη τυλιγμάτων πού χρησιμοποιούνται σέ κινητήρες.

Ύπενθυμίζομε έδω, ότι όνομάζομε σύγχρονη ταχύτητα (παράγρ. 3.5), τήν ταχύτητα πού προκύπτει από τή σχέση:

$$n_s = \frac{60 \cdot f}{p} \quad \text{σέ στρ/μιν}$$

όπου: f είναι ή συχνότητα του ρεύματος καί p ό άριθμός των ζευγών των μαγνητικών πόλων τής μηχανής, μέ βάση τόν όποίο έχει κατασκευασθεί καί τό τύλιγμα του στάτη τής.

Οί σύγχρονοι κινητήρες περιστρέφονται μέ ταχύτητα, ή όποία είναι αυστηρά ίση μέ τή σύγχρονη ταχύτητα τής μηχανής άνεξάρτητα από τό φορτίο τους.

Οί άσύγχρονοι κινητήρες περιστρέφονται μέ ταχύτητα, ή όποία εξαρτάται μέν από τό φορτίο τής μηχανής, δέν διαφέρει όμως παρά ένα μικρό ποσοστό από τή σύγχρονη ταχύτητα πού προκύπτει από τήν παραπάνω σχέση. Στίς μηχανές αυτές, οί όποίες δέν έχουν μαγνητικούς πόλους, τό p είναι ό άριθμός ζευγών πόλων του

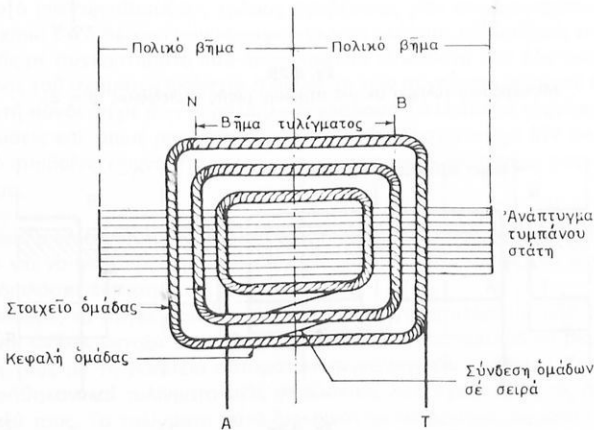
τυλίγματός τους. Δηλαδή και για τὰ τυλίγματα τῶν ἀσυγχρόνων μηχανῶν δεχόμεστε ἓνα ἀριθμὸ ζευγῶν μαγνητικῶν πόλων καὶ μέ βάση αὐτόν, ὅπως στίς σύγχρονες μηχανές, διαμορφώνομε τὸ τύλιγμα ὡς διπολικό, τετραπολικό κλπ. Ὄταν τὸ τύλιγμα αὐτὸ τροφοδοτηθεῖ μέ ἐναλλασσόμενο ρεῖμα ἀπὸ τὸ δίκτυο, δημιουργεῖ μαγνητικὸ πεδίο, τὸ ὁποῖο εἶναι καὶ αὐτὸ ἀντίστοιχα διπολικό, τετραπολικό κλπ.

Τόσο στίς σύγχρονες μηχανές, ὅσο καὶ στίς ἀσύγχρονες ἔχομε μονοφασικά, διφασικά καὶ τριφασικά τυλίγματα. Τὰ τριφασικά τυλίγματα συνδεσμοιογούνται σέ ἀστέρα ἢ σέ τρίγωνο. Στὴν ἐπόμενη παράγραφο, πού θά ἐξετάσουμε τὰ εἶδη τῶν τυλιγμάτων τῶν μηχανῶν ἐναλλασσόμενου ρεύματος, θά ἀναφερόμαστε σέ μονοφασικά τυλίγματα. Τὰ εἶδη ὅμως, στὰ ὁποῖα θά κατατάξομε τὰ τυλίγματα, ἰσχύουν καὶ γιὰ τὰ πολυφασικά τυλίγματα τῶν ὁποίων τὰ ἰδιαίτερα χαρακτηριστικά θά ἐξετάσουμε σέ ἄλλη παράγραφο.

8.2 Εἶδη τυλιγμάτων.

1) Τυλίγματα σέ μία στρώση.

Τὰ τυλίγματα πού περιγράψαμε στίς παραγράφους 3.6, 3.7 καὶ 3.8 (σχ. 3.6, 3.7α, 3.8α), ἀνήκουν στὴν κατηγορία τῶν τυλιγμάτων ἐναλλασσόμενου ρεύματος, πού ὀνομάζονται **τυλίγματα σέ μία στρώση**. Χαρακτηριστικὸ αὐτῶν εἶναι ὅτι σέ κάθε αὐλάκι τῶν ὀδοντώσεων ὑπάρχει μόνο ἓνα στοιχεῖο τοῦ τυλίγματος. Ὅπως ἀναφέραμε ἐκεῖ, τὰ τυλίγματα αὐτὰ ἀποτελοῦνται ἀπὸ συγκροτήματα ὁμάδων, ὅπως αὐτὸ τοῦ σχήματος 8.2α. Οἱ ὁμάδες τοῦ συγκροτήματος (τρεῖς στὸ σχῆμα) εἶναι



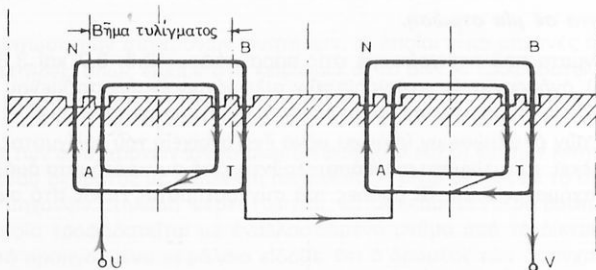
Σχ. 8.2α.

Συγκρότημα ὁμάδων συγκεντρικοῦ τυλίγματος.

συνδεμένες σέ σειρά, ὥστε τελικά, νά μένουν ἐλεύθερα γιὰ σύνδεση τὰ δύο ἄκρα τοῦ συγκροτήματος Α (ἀρχή) καὶ Τ (τέλος).

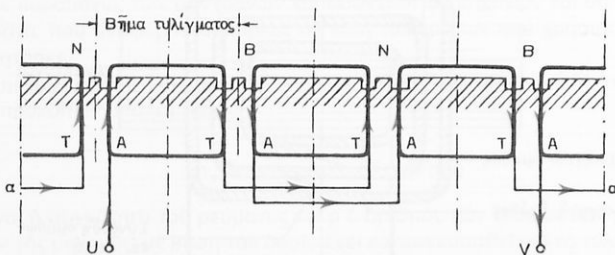
Όπως παρατηρούμε στο σχήμα 8.2α, οι ομάδες του συγκροτήματος, πού ή μία περιβάλλει την άλλη, δέν έχουν όλες τό ίδιο βήμα, δηλαδή τήν ίδια απόσταση μεταξύ τών δύο στοιχείων τους. Τά τυλίγματα τά όποία αποτελούνται από παρόμοια συγκροτήματα ομάδων, όνομάζονται είδικότερα **συγκεντρικά τυλίγματα**. Σέ αὐτά τό βήμα τοῦ τυλίγματος είναι ίσο μέ τό βήμα τῆς **μέσης ομάδας** τοῦ συγκροτήματος, ὅπως δείχνει τό σχήμα. Ἐπίσης από τό ίδιο σχήμα παρατηρούμε ὅτι τό βήμα τοῦ τυλίγματος είναι ίσο μέ τό πολικό βήμα.

Υπάρχουν δύο τρόποι πού κατασκευάζονται τά τυλίγματα σέ μία στρώση. Κατά τόν ένα τρόπο, σέ κάθε διπλό πολικό βήμα ἔχομε ένα συγκρότημα ομάδων από τό τύλιγμα κάθε φάσεως. Δηλαδή ἔχομε p συγκροτήματα ομάδων ἀνά φάση σέ ὅλο τό τύλιγμα. Τό σχήμα 8.2β δείχνει ένα ἀπλό μονοφασικό τύλιγμα αὐτοῦ τοῦ είδους γιά μία τετραπολική μηχανή ($p = 2$). Τά τυλίγματα αὐτά όνομάζονται **μισῆς περιελίξεως**, γιατί οι κεφαλές τών ομάδων καλύπτουν περίπου τό μισό τῆς μετωπικῆς περιφέρειας τοῦ τυμπάνου.



Σχ. 8.2β.

Μονοφασικό τύλιγμα σέ μία στρώση, μισῆς περιελίξεως ($p = 2$).



Σχ. 8.2γ.

Μονοφασικό τύλιγμα σέ μία στρώση, πλήρους περιελίξεως ($p = 2$).

Στό δεύτερο τρόπο κατασκευῆς τών τυλιγμάτων, κάθε συγκρότημα τοῦ πρώτου τρόπου ἔχει διασπασθεῖ σέ δύο συγκροτήματα, καθένα από τά όποία ἔχει τό μισό ἀριθμό ομάδων, ὅπως φαίνεται στό σχήμα 8.2γ. Στό παράδειγμα αὐτό κάθε συγκρότημα αποτελείται από μία ομάδα, ἀφοῦ στό τύλιγμα τοῦ σχήματος 8.2β τά συγ-

κροτήματα αποτελούνται από δύο ομάδες τό καθένα. Στά τυλίγματα αυτά, πού δνομάζονται **πλήρους περιελίξεως**, έχομε 2 . ρ συγκροτήματα ανά φάση. Τό βήμα τοῦ τυλίγματος εἶναι τό ἴδιο μέ τό βήμα τοῦ τυλίγματος μισῆς περιελίξεως ἀπό τό ὁποῖο προήλθαν.

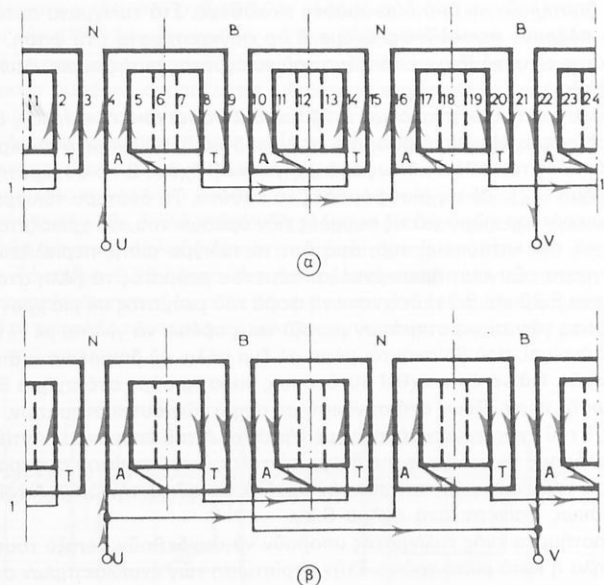
Τά δύο τυλίγματα τῶν σχημάτων 8.2β καί 8.2γ εἶναι ἀπό ἠλεκτρικῆς ἀπόψεως τελείως ἰσοδύναμα. Ἡ μόνη διαφορά τους εἶναι ὅτι ἀντί νά έχομε ρ συγκροτήματα μέ πολλές ομάδες τό καθένα, ὅπως στό σχῆμα 8.2β έχομε 2 . ρ συγκροτήματα, ὅπως στό σχῆμα 8.2γ, μέ τίς μισές ομάδες τό καθένα. Τό δεύτερο τύλιγμα ἔχει ἀνάγκη ἀπό μικρότερο χῶρο γιά τίς κεφαλές τῶν ὁμάδων του, καί χρειάζεται λιγότερο ἀγωγό γιά τήν κατασκευή του, ἀπό ὅ,τι τό τύλιγμα μισῆς περιελίξεως.

Στά τυλίγματα τῶν κινητήρων ἐναλλασσόμενου ρεύματος τά βέλη στούς ἀγωγούς (σχήματα 8.2β καί 8.2γ) δείχνουν τή φορά τοῦ ρεύματος σέ μία χρονική στιγμή. Ἡ σύνδεση τῶν συγκροτημάτων μεταξύ τους πρέπει νά γίνεται μέ τέτοιο τρόπο, ὥστε οἱ ἀγωγοί, πού βρίσκονται μέσα σέ ἕνα πόλο, νά διαρρέονται ἀπό ρεῦμα τῆς ἴδιας φορᾶς. Γιά νά ἐπιτευχθεῖ αὐτό, ὅπως παρατηροῦμε στό σχῆμα 8.2β, στά τυλίγματα μισῆς περιελίξεως στή σύνδεση σέ σειρά τῶν συγκροτημάτων, συνδέομε τό τέλος Τ τοῦ ἑνός συγκροτήματος μέ τήν ἀρχή Α τοῦ ἐπόμενου. Ἀντίθετα στά τυλίγματα πλήρους περιελίξεως συνδέομε τό τέλος Τ τοῦ πρώτου συγκροτήματος μέ τό τέλος Τ τοῦ δεύτερου, κατόπιν τήν ἀρχή Α αὐτοῦ μέ τήν ἀρχή Α τοῦ ἐπόμενου κ.ο.κ., ὅπως φαίνεται στό σχῆμα 8.2γ.

Τά συγκροτήματα ἑνός τυλίγματος μποροῦν νά συνδεθοῦν μεταξύ τους σέ σειρά, παράλληλα ἢ κατὰ μικτό τρόπο. Στήν περίπτωση τῶν ἐναλλακτῆρων συνδέομε τά συγκροτήματα σέ σειρά, ὅταν θέλομε νά πετύχομε ὑψηλές τάσεις. Στούς κινητήρες εἶναι ὁ πιό συνηθισμένος τρόπος συνδέσεως τῶν συγκροτημάτων μεταξύ τους. Τό σχῆμα 8.2δ δείχνει μονοφασικό τύλιγμα πλήρους περιελίξεως τετραπολικῆς μηχανῆς μέ συγκροτήματα πού αποτελοῦνται τό καθένα ἀπό δύο ομάδες. Στό ἐπάνω μέρος τοῦ σχήματος φαίνεται ἡ σύνδεση τῶν συγκροτημάτων σέ σειρά καί κάτω ἡ μικτή σύνδεση μέ δύο παράλληλους κλάδους. Τό τύμπανο τῆς μηχανῆς ἔχει 24 ὁδοντώσεις καί, ὅπως παρατηροῦμε, τό $\frac{1}{3}$ τῶν ὁδοντώσεων δέν φέρει ἀγωγούς. Αὐτό συμβαίνει συχνά στά τυλίγματα μονοφασικῶν κινητήρων χωρίς βοηθητικό τύλιγμα.

Εἶναι εὐκόλο νά ἐννοήσει κανεῖς, ὅτι τό κάτω τύλιγμα β τοῦ σχήματος 8.2δ εἶναι κατάλληλο γιά νά λειτουργεῖ μέ τάση ἴση μέ τό μισό τῆς τάσεως τοῦ α καί ὅτι ἀπορροφᾷ διπλάσια ἔνταση.

Ὅπως εἶδαμε, τά συγκεντρικά τυλίγματα ἔχουν συγκροτήματα, τῶν ὁποίων οἱ ομάδες εἶναι ἀνισες μεταξύ τους. Αὐτό ἀποτελεῖ μειονέκτημα γιά τή βιομηχανική κατασκευή τους μέ τή βοήθεια αὐτομάτων περιελικτικῶν μηχανῶν. Γιά τό λόγο αὐτό ἐπινοήθηκαν καί τυλίγματα μιᾶς στρώσεως, πού ἔχουν ὅλες τίς ομάδες ὅμοιες μεταξύ τους. Τά τυλίγματα αὐτά διακρίνονται σέ βροχοτυλίγματα (σχ. 8.2ε) καί κυματοτυλίγματα (σχ. 8.2στ). Στά σχήματα γιά νά φανεῖ καλύτερα ἡ ἀρχή, μέ τήν ὁποία κατασκευάζονται τά ἀντίστοιχα τυλίγματα, οἱ ομάδες παριστάνονται μέ μία μόνο σπείρα. Εἶναι ἡ περίπτωση τυλίγματος μέ ράβδους (μπάρες). Ὅταν οἱ ὁμάδες αποτελοῦνται ἀπό πολλές σπείρες μονωμένου σύρματος, ἐνώνονται τά ἄκρα τῶν διαδοχικῶν ὁμάδων κατὰ τά γνωστά.



Σχ. 8.26.

Σε σειρά (α) και μικτή σύνδεση (β) των συγκροτημάτων τυλίγματος.

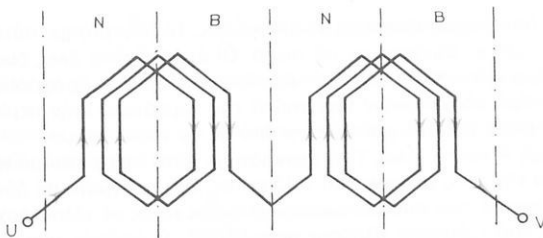
Επίσης πρέπει να σημειωθεί ότι τα τυλίγματα των σχημάτων 8.2ε και 8.2στ είναι τυλίγματα μισής περιελίξεως. Φυσικά είναι δυνατό να κατασκευασθούν και τυλίγματα αυτού του είδους πλήρους περιελίξεως.

2) Τυλίγματα σε δύο στρώσεις.

Τυλίγματα για μηχανές έναλλασσόμενου ρεύματος κατασκευάζονται και σε δύο στρώσεις, δηλαδή με δύο στοιχεία από δύο διαφορετικές ομάδες μέσα σε κάθε αύλακι του τυμπάνου, όπως ακριβώς κατασκευάζονται τα τυλίγματα των μηχανών συνεχούς ρεύματος, με τα όποια μοιάζουν στη διάταξη των ομάδων.

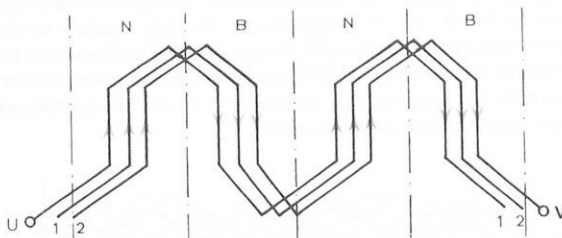
Τα τυλίγματα σε μία στρώση, και μάλιστα τα συγκεντρικά, εξεταζόμενα χρονολογικά προηγήθηκαν από τα άλλα τυλίγματα. Κατόπιν χρησιμοποιήθηκαν τα τυλίγματα σε μία στρώση με ομάδες ίσου βήματος, που κατασκευάζονται σε περιελικτικές μηχανές. Τέλος η εξέλιξη οδήγησε στα τυλίγματα σε δύο στρώσεις, τα όποια με την πάροδο του χρόνου ολοένα και περισσότερο προτιμούνται από τους κατασκευαστές των κινητήρων έναλλασσόμενου ρεύματος.

Τα κύρια πλεονεκτήματα των τυλιγμάτων σε μία στρώση είναι τα εξής: 1) Η λειτουργία των μηχανών και ιδιαίτερα των κινητήρων παρουσιάζει μεγάλο βαθμό ασφάλειας. 2) Οι συνδέσεις τους είναι απλές και 3) είναι εύκολη η αντικατάσταση ενός μέρους του τυλίγματος όταν πάθει βλάβη. Μειονεκτούν όμως σχετικά με τα τυλίγματα σε δύο στρώσεις, γιατί αυτά καταλαμβάνουν μικρότερο χώρο και συνεπώς οι διαστάσεις της μηχανής γίνονται μικρότερες. Επίσης οι ομάδες των τυλιγ-



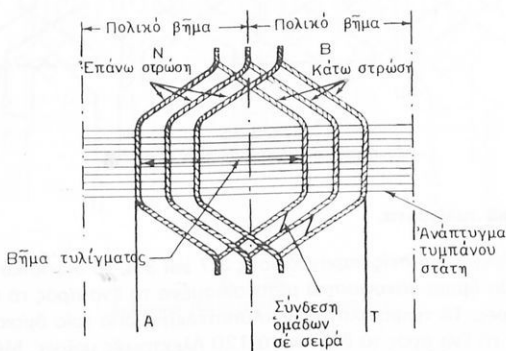
Σχ. 8.2ε.

Μονοφασικό βροχοτύλιγμα μιάς στρώσεως.



Σχ. 8.2στ.

Μονοφασικό κυματοτύλιγμα μιάς στρώσεως.



Σχ. 8.2ζ.

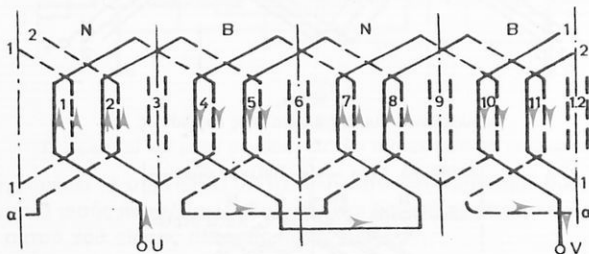
Συγκρότημα ομάδων τυλίγματος σε δύο στρώσεις.

μάτων σε δύο στρώσεις, που είναι όλες όμοιες μεταξύ τους, είναι δυνατό να προκατασκευασθούν και να διαμορφωθούν σε περιελκτικές μηχανές με χαμηλό κόστος.

Τα τυλίγματα σε δύο στρώσεις κατασκευάζονται συνήθως ως βροχοτυλίγματα και σπάνια ως κυματοτυλίγματα ή συγκεντρικά. Τό σχήμα 8.2ζ παριστάνει συγκρό-

τημα ομάδων από βροχοτύλιγμα σε δύο στρώσεις. Τό συγκρότημα αυτό αποτελείται από τρεις ομάδες συνδεδεμένες σε σειρά. Οι ομάδες είναι όλες όμοιες μεταξύ τους και τό βήμα τό τυλίγματος είναι τώρα ίσο μέ τό βήμα μιᾶς ομάδας F, πού μετριέται σε ἀριθμό ὁδοντώσεων (αὐλακιῶν) τοῦ τυμπάνου. Στήν περίπτωση τοῦ σχήματος, τό βήμα τοῦ τυλίγματος είναι ἴσο μέ τό πολικό βήμα.

Μέ τήν ἀρχή A καί τό τέλος T τό συγκρότημα αὐτό συνδέεται μέ τά ὑπόλοιπα συγκροτήματα τῆς ἴδιας φάσεως τοῦ τυλίγματος. Στά τυλίγματα σε δύο στρώσεις οἱ συνδέσεις μεταξύ τῶν συγκροτημάτων γίνονται: τέλος μέ τέλος, ἀρχή μέ ἀρχή, δηλαδή, ὅπως στά τυλίγματα πλήρους περιελίξεως. Ὁ ἀριθμός τῶν συγκροτημάτων ἀνά φάση είναι ἴσος μέ τόν ἀριθμό τῶν πόλων $2 \cdot p$, ὅπως εἶδαμε ὅτι συμβαίνει ἐπίσης μέ τά τυλίγματα πλήρους περιελίξεως. Τό σχῆμα 8.2η δίνει παράδειγμα μονοφασικοῦ βροχοτύλιγματος σε δύο στρώσεις γιά τετραπολική μηχανή. Τό τύλιγμα ἀποτελεῖται ἀπό $2 \cdot p = 4$ συγκροτήματα τῶν δύο ομάδων, συνδεδεμένα σε σειρά. Μέ συνεχή γραμμή παριστάνονται τά στοιχεῖα τῶν ομάδων, πού βρίσκονται στήν ἐπάνω στρώση καί μέ διακοπτόμενη γραμμή αὐτά πού βρίσκονται στήν κάτω στρώση. Τό τύμπανο τῆς μηχανῆς ἔχει συνολικά 12 ὁδοντώσεις (αὐλάκια), στό $\frac{1}{3}$ τῶν ὁποίων δέν ἔχουν τοποθετηθεῖ στοιχεῖα.



Σχ. 8.2η.

Μονοφασικό τύλιγμα σε δύο στρώσεις.

8.3 Πολυφασικά τυλίγματα.

Ὅπως ἐξηγήθηκε καί στίς παραγράφους 3.7 καί 3.8, τό διφασικό τύλιγμα ἀποτελεῖται ἀπό δύο ὅμοια μονοφασικά μετατοπισμένα τό ἓνα πρὸς τό ἄλλο κατὰ 90 ἠλεκτρικές μοῖρες. Τό τριφασικό τύλιγμα ἀποτελεῖται ἀπό τρία ὅμοια μονοφασικά μετατοπισμένα τό ἓνα πρὸς τό ἄλλο κατὰ 120 ἠλεκτρικές μοῖρες. Μέ πολυφασικά τυλίγματα πάνω ἀπό τρεῖς φάσεις δέν θά ἀσχοληθοῦμε στό βιβλίο αὐτό.

Ἡ γεωμετρική γωνία γιά τή μετατόπιση τοῦ ἐνός μονοφασικοῦ τυλίγματος πρὸς τό ἄλλο ἐπάνω στό τύμπανο δίνεται ἀπό τόν τύπο (παράγρ. 3.4):

$$\theta = \frac{\theta_{\eta\lambda}}{p} \quad \text{σέ γεωμετρικές μοῖρες}$$

Π.χ. σέ διφασικό τετραπολικό τύλιγμα ($p = 2$) ἡ μετατόπιση τῶν δύο μονοφασικῶν τυλιγμάτων μεταξύ τους είναι:

$$\theta = \frac{\theta_{\eta\lambda}}{p} = \frac{90}{2} = 45 \text{ γεωμετρικές μοίρες}$$

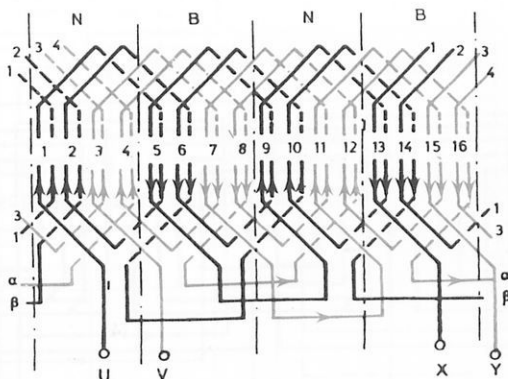
Τέτοιο τύλιγμα σέ μία στρώση στήν απλούστερή του μορφή δείχνει τό σχήμα 3.7α.

Ήν τό τύμπανο έχει συνολικά z όδοντώσεις, τότε ή μετατόπιση τῶν θ γεωμετρικῶν μοιρῶν ἀντιστοιχεῖ σέ:

$$z \cdot \frac{\theta}{360} \text{ όδοντώσεις}$$

Στό διφασικό τετραπολικό τύλιγμα σέ δύο στρώσεις τοῦ σχήματος 8.3α, τοῦ ὁποῖου τό τύμπανο έχει $z = 16$ όδοντώσεις, ή ἀρχή V τῆς δεύτερης φάσεως εἶναι μετατοπισμένη ὡς πρός τήν ἀρχή U τῆς πρώτης φάσεως κατά:

$$z \cdot \frac{\theta}{360} = 16 \times \frac{45}{360} = 2 \text{ όδοντώσεις}$$



Σχ. 8.3α.

Διφασικό τύλιγμα σέ δύο στρώσεις.

Σημειώνομε ἐπίσης ὅτι στό βροχοτύλιγμα αὐτό, μέ συγκροτήματα πού ἀποτελοῦνται ἀπό δύο ὁμάδες, ἔχομε $2 \cdot p = 4$ συγκροτήματα ὁμάδων σέ κάθε φάση.

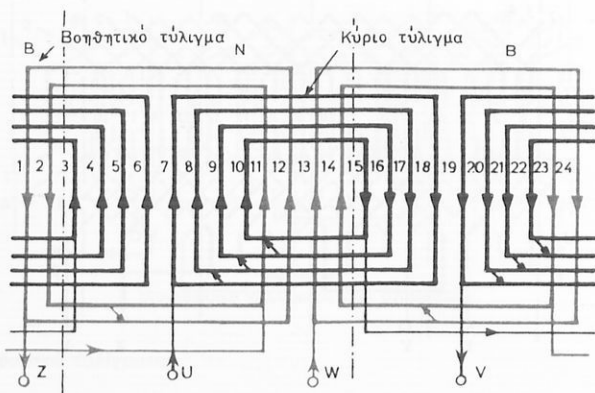
Μέ τά διφασικά μοιάζουν καί τά τυλίγματα τῶν μονοφασικῶν κινητήρων μέ βοηθητικό τύλιγμα. Οἱ κινητήρες αὐτοί ἐκτός ἀπό τό κύριο μονοφασικό τύλιγμα, τό ὁποῖο κατασκευάζεται μέ ἕνα ἀπό τοὺς τρόπους πού ἀναφέραμε στήν προηγούμενη παράγραφο, ἔχουν καί ἕνα βοηθητικό τύλιγμα. Αὐτό εἶναι τοποθετημένο ἐπίσης μέσα στίς ὁδοντώσεις τοῦ στάτη, ἀλλά μετατοπισμένο κατά 90 ἡλεκτρικές μοίρες σχετικά μέ τό κύριο τύλιγμα. Οἱ ἀγωγοί τοῦ βοηθητικοῦ τυλίγματος τοποθετοῦνται

μέσα στα αυλάκια, πού δέν καταλαμβάνονται από τό κύριο τύλιγμα καί μερικές φορές καί μέσα σέ αυλάκια, στά όποια υπάρχουν καί άγωγοί του κύριου τυλίγματος. Πάντως τό βοηθητικό τύλιγμα δέν άποτελεΐ δεύτερη φάση, γιατί ούτε εΐναι όμοιο άκριβώς μέ τό κύριο μονοφασικό τύλιγμα, ούτε συνδέεται στή δεύτερη φάση δικτύου, όπως έξηγήσαμε στό κεφάλαιο 6 πού έξετάσαμε τούς μονοφασικούς κινητήρες.

Παράδειγμα.

Τό σχήμα 8.3β δείχνει τό κύριο καί βοηθητικό τύλιγμα μονοφασικού διπολικού κινητήρα μέ 24 όδοντώσεις στό στάτη. Κάθε τύλιγμα εΐναι κατασκευασμένο ως συγκεντρικό πλήρους περιελίξεως. Τό κύριο τύλιγμα πιάνει 16 όδοντώσεις καί τό βοηθητικό τίς υπόλοιπες 8. Ή άρχή W του βοηθητικού τυλίγματος εΐναι μετατοπισμένη σχετικά μέ τήν άρχή U του κύριου τυλίγματος κατά:

$$z \cdot \frac{\theta}{360} = 24 \times \frac{90}{360} = 6 \text{ όδοντώσεις}$$



Σχ. 8.3β.

Διπολικό τύλιγμα σέ μία στρώση μονοφασικού κινητήρα μέ βοηθητικό τύλιγμα.

Στά τριφασικά τυλίγματα, όπως άναφέραμε στήν άρχή τής παραγράφου, οι τρείς φάσεις εΐναι μετατοπισμένες μεταξύ τους κατά 120 ηλεκτρικές μοΐρες. Τό σχήμα 3.8α παριστάνει τριφασικό τύλιγμα σέ μία στρώση στήν άπλουστερή του μορφή.

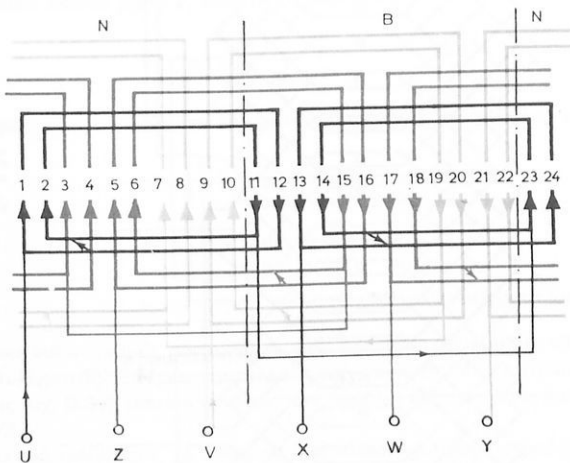
Τό σχήμα 8.3γ δείχνει ένα άλλο τριφασικό συγκεντρικό τύλιγμα σέ μία στρώση. Τό τύλιγμα αυτό εΐναι διπολικό, πλήρους περιελίξεως μέ 24 όδοντώσεις. Συνεπώς ή μετατόπιση τής άρχής V τής δεύτερης φάσεως από τήν άρχή U τής πρώτης φάσεως καί τής άρχής W τής τρίτης φάσεως από τήν άρχή V τής δεύτερης θά εΐναι:

$$\theta = \frac{\theta_{\eta\lambda}}{p} = \frac{120}{1} = 120 \text{ γεωμετρικές μοίρες}$$

$$\eta \cdot z \cdot \frac{\theta}{360} = 24 \times \frac{120}{360} = 8 \text{ όδοντώσεις}$$

Κάθε φάση αποτελείται από δύο συγκροτήματα (όσος είναι ο αριθμός των πόλων) συνδεδεμένα μεταξύ τους σε σειρά. Όπως είναι γνωστό τα έξι άκρα U - X, V - Y και W - Z των τριών φάσεων καταλήγουν στους έξι άκροδέκτες της μηχανής (σχ. 3.8γ). Έκεί με έλάσματα γίνεται ή συνδεσμολογία των φάσεων σε άστέρα (σχ. 3.8δ) ή σε τρίγωνο (σχ. 3.8ε).

Στά τριφασικά τύλιγματα σε μία στρώση, ο συνολικός αριθμός των ομάδων είναι ίσος με τό μισό του αριθμού των όδοντώσεων του τυμπάνου. Στο παράδειγμα αυτό με 24 όδοντώσεις έχουμε τύλιγμα που αποτελείται από 12 ομάδες.

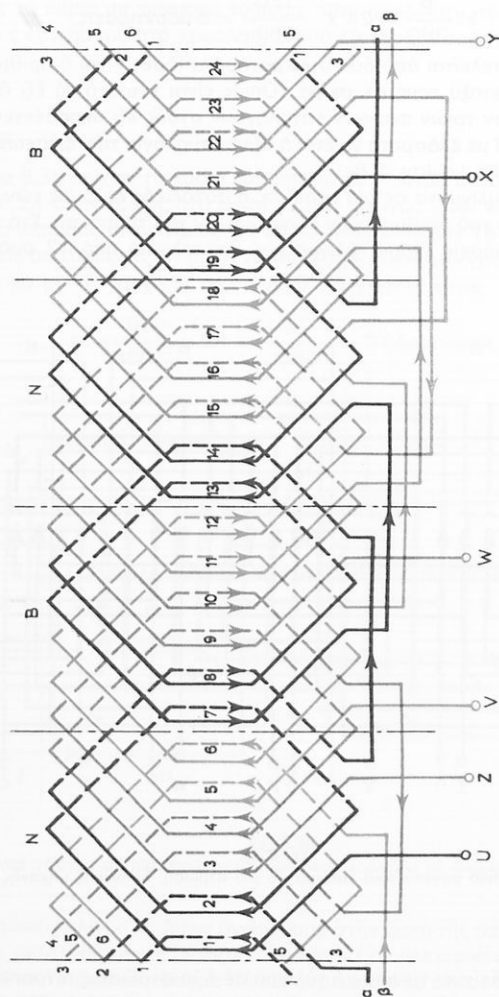


Σχ. 8.3γ.

Τριφασικό συγκεντρικό τύλιγμα σε μία στρώση, διπολικής μηχανής.

Παράδειγμα.

Τό σχήμα 8.3δ δείχνει τριφασικό τύλιγμα σε δύο στρώσεις τετραπολικής μηχανής με 24 όδοντώσεις. Η μετατόπιση της μιάς φάσεως προς την άλλη είναι ίση με 4 όδοντώσεις. Όπως παρατηρούμε, τό τύλιγμα αποτελείται από $2 \cdot p = 4$ συγκροτήματα ομάδων σε κάθε φάση, καθένα από τό όποια έχει δύο ομάδες. Στά τριφασικά τυλίγματα σε δύο στρώσεις ο αριθμός των ομάδων είναι ίσος με τόν αριθμό των όδοντώσεων, δηλαδή έδω έχουμε 24 ομάδες.



Σχ. 8.36.

Τριφασικό τύλιγμα σε δύο στρώσεις, τετραπολικής μηχανής.

8.4 Σχεδίαση τών τυλίγμάτων έναλλασσόμενου ρεύματος.

Γιά νά γίνει ή σχεδίαση ενός τυλίγματος μηχανής έναλλασσόμενου ρεύματος πρέπει νά γνωρίζομε:

- Τόν αριθμό τών όδοντώσεων (αύλακιών) z .
- Τόν αριθμό τών ζευγών πόλων p .
- Τόν αριθμό τών φάσεων m .
- Τόν αριθμό τών στοιχείων σέ κάθε αύλακι (τύλιγμα σέ μία στρώση ή σέ δύο στρώσεις).

Επίσης πρέπει νά γνωρίζομε τό είδος του τυλίγματος (παράγρ. 8.2) καί τόν τρόπο τής συνδέσεως τών συγκροτημάτων τών ομάδων κάθε φάσεως μεταξύ τους (σέ σειρά ή παράλληλα). Φυσικά γιά τήν κατασκευή του τυλίγματος πρέπει νά εἶναι γνωστός καί ὁ ἀριθμός τών ἀγωγῶν κάθε στοιχείου w , δηλαδή ἀπό πόσες σπείρες ἀποτελεῖται κάθε ομάδα.

Μέ βάση τά παραπάνω στοιχεῖα ὑπολογίζομε πρῶτα τόν **ἀριθμό τών όδοντώσεων σέ κάθε πολικό βῆμα z_1** , ἀπό τή σχέση:

$$z_1 = \frac{z}{2 \cdot p}$$

Ὁ ἀριθμός τών όδοντώσεων σέ κάθε πολικό βῆμα καί φάση z_2 εἶναι τότε:

$$z_2 = \frac{z_1}{3} \quad \text{γιά τά τριφασικά τυλίγματα}$$

$$z_2 = \frac{z_1}{2} \quad \text{γιά τά διφασικά τυλίγματα}$$

$$z_2 = \frac{2}{3} \cdot z_1 \quad \text{γιά τά μονοφασικά τυλίγματα (συνήθως)}$$

Τό z_2 εἶναι καί ὁ ἀριθμός τών ομάδων, ἀπό τίς ὁποῖες ἀποτελεῖται κάθε συγκρότημα τοῦ τυλίγματος. Ἐξαίρεση ἀποτελοῦν τά τυλίγματα σέ μία στρώση πλήρους περιελίξεως (σχ. 8.3γ), ὅπου ὁ ἀριθμός τών ομάδων κάθε συγκροτήματος εἶναι ἴσος μέ $z_2/2$.

Τό βῆμα τοῦ τυλίγματος, τό ὁποῖο σέ ὅλα τά προηγούμενα παραδείγματα ἦταν ἴσο μέ τό πολικό βῆμα z_1 , μετρίεται ἐπίσης σέ ἀριθμό όδοντώσεων (αύλακιῶν) τοῦ τυμπάνου. Π.χ. στό τύλιγμα τοῦ σχήματος 8.3δ ἔχομε πολικό βῆμα:

$$z_1 = \frac{z}{2 \cdot p} = \frac{24}{2 \times 2} = 6 \text{ όδοντώσεις}$$

Τό βῆμα τοῦ τυλίγματος εἶναι ἴσο καί αὐτό μέ 6 όδοντώσεις. Δηλαδή, ὅταν τό πρῶτο στοιχείο μιάς ομάδας τοποθετηθεῖ στήν όδόντωση μέ ἀριθμό 1, τό δεύτερο στοιχείο θά τοποθετηθεῖ στήν όδόντωση μέ ἀριθμό $1 + 6 = 7$. Αὐτός εἶναι ὁ λόγος πού στήν πράξη τό βῆμα ενός τυλίγματος αὐτοῦ τοῦ είδους τό χαρακτηρίζομε ὡς «βῆμα 1-7».

Μέ βάση τά παραπάνω στοιχεῖα καί μέ τή βοήθεια ὧσων ἀναφέρθηκαν στίς

προηγούμενες δύο παραγράφους, είναι δυνατό νά σχεδιασθεῖ τό τύλιγμα μιᾶς μηχανῆς ἐναλλασσόμενου ρεύματος, ὅπως θά ἐξηγήσουμε καί στά 7 παραδείγματα πού ἀκολουθοῦν.

Παράδειγμα 1.

Νά σχεδιασθεῖ τριφασικό τύλιγμα γιά στάτη ἀσύγχρονου κινητήρα μέ 24 ὀδοντώσεις. Τό τύλιγμα πρέπει νά εἶναι τετραπολικό σέ μία στρώση, συγκεντρικό, μιᾶς περιελίξεως, μέ συγκροτήματα ὁμάδων συνδεμένα σέ σειρά.

Λύση.

Τό πολικό βῆμα εἶναι:

$$z_1 = \frac{z}{2 \cdot p} = \frac{24}{2 \times 2} = 6 \text{ ὀδοντώσεις}$$

Ὁ ἀριθμός τῶν ὀδοντῶσεων σέ κάθε πολικό βῆμα καί φάση εἶναι:

$$z_2 = \frac{z_1}{3} = \frac{6}{3} = 2 \text{ ὀδοντώσεις}$$

Ἐφόσον τό τύλιγμα εἶναι μιᾶς περιελίξεως θά ὑπάρχουν $p = 2$ συγκροτήματα ὁμάδων ἀνά φάση καί κάθε συγκρότημα θά ἀποτελεῖται ἀπό $z_2 = 2$ συγκεντρικές ὁμάδες.

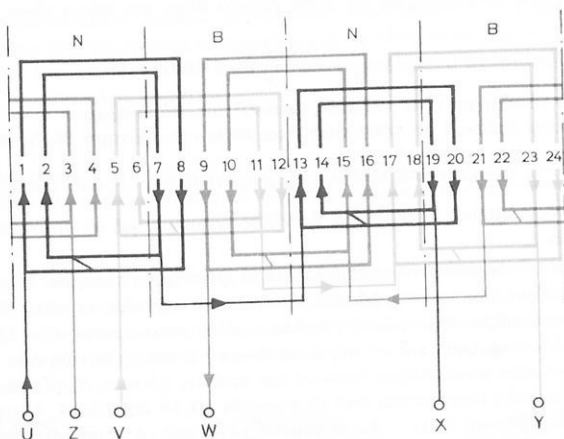
Γιά τή σχεδίαση τοῦ τυλίγματος στό ἀνάπτυγμα τοῦ τυμπάνου, χαράζουμε πρῶτα 24 παράλληλες γραμμές σέ ἴσες ἀποστάσεις μεταξύ τους, οἱ ὁποῖες παριστάνουν τά 24 στοιχεῖα τοῦ τυλίγματος μέσα στίς ἰσάριθμες ὀδοντώσεις (σχ. 8.4α). Τά στοιχεῖα τῶν $z_2 = 2$ πρώτων ὀδοντῶσεων, δηλαδή τά στοιχεῖα 1 καί 2, τά χρωματίζουμε μέ τό χρῶμα τῆς πρώτης φάσεως (μαῦρο στό σχῆμα). Ἐπειτα, ἀφοῦ ἀφήσουμε τά στοιχεῖα τῶν $2 \cdot z_2 = 2 \times 2 = 4$ ἐπομένων ὀδοντῶσεων γιά τή δεύτερη καί τρίτη φάση, δηλαδή τά στοιχεῖα 3, 4, 5, 6 χρωματίζουμε πάλι μέ τό χρῶμα τῆς πρώτης φάσεως τά δύο στοιχεῖα πού ἀκολουθοῦν, 7 καί 8. Ἀπό αὐτά ἀρχίζει ὁ δεύτερος πόλος τοῦ τυλίγματος, ἀφοῦ, ὅπως εἶδαμε, τό πολικό βῆμα εἶναι $z_1 = 6$ ὀδοντώσεις. Ἡ σύνδεση τῶν στοιχείων 1,2 καί 7,8 ὅπως φαίνεται στό σχῆμα 8.4α, μᾶς δίνει τό πρῶτο συγκρότημα τῆς πρώτης φάσεως τοῦ τυλίγματος.

Γιά τή σχεδίαση τοῦ δευτέρου συγκροτήματος ὁμάδων τῆς πρώτης φάσεως, πρέπει νά ἀφήσουμε $2 \cdot z_2 = 2 \times 2 = 4$ πάλι στοιχεῖα μετά τό στοιχεῖο 8. Ἔτσι τό συγκρότημα αὐτό ἀποτελεῖται ἀπό τά στοιχεῖα 13, 14 καί 19,20, ὅπως δείχνει τό σχῆμα. Ἡ σύνδεση τῶν δύο συγκροτημάτων γίνεται σέ σειρά, ὅπως τό ζητᾶ τό παράδειγμα. Τά ἐλεύθερα ἄκρα, δηλαδή ἡ ἀρχή U καί τό τέλος X συνδέονται στούς ἀκροδέκτες τῆς μηχανῆς, ὅπως φαίνεται στό σχῆμα 3.8γ.

Ἡ ἀρχή τῆς δεύτερης φάσεως θά ἀπέχει ἀπό τήν ἀρχή τῆς πρώτης φάσεως, σύμφωνα μέ ὅσα ἀναφέραμε στήν προηγούμενη παράγραφο, κατά:

$$\theta = \frac{\theta_{\eta\lambda}}{p} = \frac{120}{2} = 60 \text{ γεωμετρικές μοῖρες}$$

$$\eta \quad z \cdot \frac{\theta}{360} = 24 \times \frac{60}{360} = 4 \text{ ὀδοντώσεις}$$



Σχ. 8.4α.

Τριφασικό συγκεντρικό τύλιγμα σε μία στρώση, τετραπολικής μηχανής.

Δηλαδή η δεύτερη φάση (κόκκινη στο σχήμα) θα αρχίζει από την οδόντωση $1 + 4 = 5$. Η σχεδιάσή της γίνεται όπως και της πρώτης φάσεως. Το πρώτο συγκρότημα ομάδων αποτελείται από τα στοιχεία 5, 6 και 11, 12 και το δεύτερο από τα στοιχεία 17, 18 και 23, 24.

Τέλος, η τρίτη φάση (γαλάζια στο σχήμα) αποτελείται από το συγκρότημα ομάδων 9, 10 και 15, 16 και από το συγκρότημα 21, 22 και 3, 4.

Όπως παρατηρούμε στο σχήμα 8.4α, όλοι οι άγωγοί που βρίσκονται στην περιοχή ενός πόλου διαρρέονται από ρεύμα της ίδιας κατευθύνσεως. Επίσης παρατηρούμε ότι, ενώ στην πρώτη και δεύτερη φάση το ρεύμα εισέρχεται από τις άρχες των U και V, κατά την ίδια χρονική στιγμή το ρεύμα εξέρχεται από την άρχη W της τρίτης φάσεως. Αυτό είναι σύμφωνο με τα γνωστά από την Ήλεκτροτεχνία για την κατεύθυνση που έχουν τα ρεύματα μία ορισμένη χρονική στιγμή σε τριφασικό σύστημα.

Παράδειγμα 2.

Νά σχεδιασθεί τριφασικό τύλιγμα για στάτη ασύγχρονου κινητήρα με 24 οδοντώσεις. Το τύλιγμα πρέπει να είναι διπολικό σε μία στρώση, συγκεντρικό, πλήρους περιελίξεως.

Λύση.

Τό πολικό βήμα είναι:

$$z_1 = \frac{z}{2 \cdot p} = \frac{24}{2 \times 1} = 12 \text{ οδοντώσεις}$$

Ο αριθμός των όδοντώσεων σε κάθε πολικό βήμα και φάση είναι:

$$z_2 = \frac{z_1}{3} = \frac{12}{3} = 4 \text{ όδοντώσεις}$$

Εφόσον το τύλιγμα είναι πλήρους περιελίξεως, θα υπάρχουν $2 \cdot p = 2 \times 1 = 2$ συγκροτήματα ομάδων σε κάθε φάση και κάθε συγκρότημα θα αποτελείται από

$\frac{z_2}{2} = \frac{4}{2} = 2$ συγκεντρικές ομάδες. Η μικρότερη από τις δύο αυτές ομάδες θα πρέπει να περιλαμβάνει $2 \cdot z_2 = 2 \times 4 = 8$ όδοντώσεις, για τα στοιχεία των άλλων δύο φάσεων.

Στό σχήμα 8.3γ φαίνεται σχεδιασμένο το ζητούμενο τύλιγμα. Το πρώτο συγκρότημα ομάδων της πρώτης φάσεως αποτελείται από τα στοιχεία 1,2 και 11,12. Όπως παρατηρούμε, η μικρότερη ομάδα του συγκροτήματος (2-11) έχει βήμα $11-2 = 9$ όδοντώσεων, για να περιλαμβάνει τα 8 στοιχεία των δύο άλλων φάσεων. Το δεύτερο συγκρότημα ομάδων της πρώτης φάσεως αρχίζει άμέσως μετά το πρώτο. Δηλαδή αποτελείται από τα στοιχεία 13,14 και 23,24. Αυτό γίνεται για να έχουμε συνεχόμενα τα $z_2 = 4$ στοιχεία σε κάθε πολικό βήμα και φάση, όπως και στα συγκεντρικά τυλίγματα πλήρους περιελίξεως. Έδώ τα συνεχόμενα στοιχεία της πρώτης φάσεως είναι τα 11, 12, 13, 14 για το ένα πολικό βήμα και τα στοιχεία 23,24 και 1,2 για το άλλο. Για τα υπόλοιπα ισχύουν, όσα αναφέραμε και στο προηγούμενο παράδειγμα.

Παράδειγμα 3.

Νά σχεδιασθεί το τύλιγμα του στάτη μονοφασικού διπολικού κινητήρα με 24 όδοντώσεις. Το τύλιγμα πρέπει να είναι συγκεντρικό σε μία στρώση, πλήρους περιελίξεως.

Λύση.

Το πολικό βήμα είναι:

$$z_1 = \frac{z}{2 \cdot p} = \frac{24}{2 \times 1} = 12 \text{ όδοντώσεις}$$

Ο αριθμός των όδοντώσεων σε κάθε πολικό βήμα, που καταλαμβάνονται από στοιχεία του τυλίγματος είναι:

$$z_2 = \frac{2}{3} \cdot z_1 = \frac{2}{3} \times 12 = 8 \text{ όδοντώσεις}$$

Αφού το τύλιγμα είναι πλήρους περιελίξεως, θα υπάρχουν $2 \cdot p = 2 \times 1 = 2$ συγκροτήματα ομάδων και το καθένα θα αποτελείται από:

$$\frac{z_2}{2} = \frac{8}{2} = 4 \text{ ομάδες}$$

Ο αριθμός των κενών όδοντώσεων σε κάθε πολικό βήμα είναι:

$$z_1 - z_2 = 12 - 8 = 4 \text{ όδοντώσεις}$$

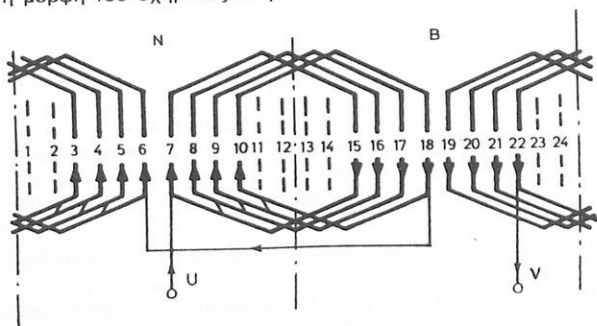
Τά δύο συγκροτήματα ομάδων του μονοφασικού τυλίγματος, σύμφωνα με αυτά που αναφέραμε στο προηγούμενο παράδειγμα, θα είναι συνεχόμενα. Τό ζητούμενο τύλιγμα θα έχει τή μορφή που έχει τό κύριο τύλιγμα του σχήματος 8.3β (νά άγνοηθεί τό βοηθητικό τύλιγμα).

Παράδειγμα 4.

Νά σχεδιασθεί τό τύλιγμα του κινητήρα του προηγούμενου παραδείγματος 3 ως βροχοτύλιγμα σε μία στρώση με όλες τίς ομάδες όμοιες μεταξύ τους.

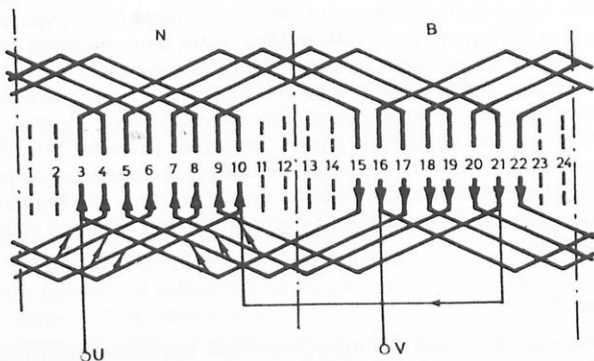
Λύση.

Τά στοιχεία του τυλίγματος (z , z_1 , z_2), ό αριθμός συγκροτημάτων καί ό αριθμός των ομάδων κάθε συγκροτήματος είναι τά ίδια με του προηγούμενου παραδείγματος. Με βήμα των ομάδων του τυλίγματος από 8 όδοντώσεις (βήμα 1-9) τό τύλιγμα έχει τή μορφή του σχήματος 8.4β.



Σχ. 8.4β.

Διπολικό μονοφασικό τύλιγμα σε μία στρώση με βήμα ομάδων 1-9.



Σχ. 8.4γ.

Διπολικό μονοφασικό τύλιγμα σε μία στρώση, με βήμα ομάδων 1-13.

Ἄν ἐκλέξομε γιά βῆμα τῶν ὁμάδων τοῦ τυλίγματος 12 ὁδοντώσεις (βῆμα 1-13), τό τύλιγμα παίρνει τή μορφή τοῦ σχήματος 8.4γ.

Παράδειγμα 5.

Νά σχεδιασθεῖ τό τύλιγμα τοῦ στάτη μονοφασικοῦ τετραπολικοῦ κινητήρα μέ 12 ὁδοντώσεις. Τό τύλιγμα πρέπει νά εἶναι βροχοτύλιγμα σέ δύο στρώσεις, μέ τά συγκροτήματα ὁμάδων συνδεμένα σέ σειρά.

Λύση.

Τό πολικό βῆμα εἶναι:

$$z_1 = \frac{z}{2 \cdot p} = \frac{12}{2 \times 2} = 3 \text{ ὁδοντώσεις}$$

Ὁ ἀριθμός τῶν ὁδοντώσεων σέ κάθε πολικό βῆμα, πού καταλαμβάνονται ἀπό στοιχεῖα τοῦ τυλίγματος, εἶναι:

$$z_2 = \frac{2}{3} \cdot z_1 = \frac{2}{3} \times 3 = 2 \text{ ὁδοντώσεις}$$

Ἄρα σέ κάθε πολικό βῆμα μία ὁδόντωση θά μένει κενή.

Ἀφοῦ τό τύλιγμα εἶναι σέ δύο στρώσεις, ὁ ἀριθμός τῶν συγκροτημάτων τῶν ὁμάδων θά εἶναι $2 \cdot p = 2 \times 2 = 4$. Κάθε συγκρότημα θά ἀποτελεῖται ἀπό δύο ὁμάδες, δηλαδή ὅσος εἶναι ὁ ἀριθμός τῶν ὁδοντώσεων σέ κάθε πολικό βῆμα καί φάση.

Τό βῆμα τοῦ τυλίγματος τό παίρνομε ἴσο μέ τό πολικό βῆμα, δηλαδή 3 ὁδοντώσεις (βῆμα ὁμάδων 1-4 σέ ὁδοντώσεις).

Στά τυλίγματα σέ δύο στρώσεις, γιά τή σχεδίαση τοῦ τυλίγματος χαράζομε σέ κάθε ὁδόντωση (αὐλάκι) δύο γραμμές, οἱ ὁποῖες παριστάνουν τά στοιχεῖα, πού τοποθετοῦνται μέσα σέ αὐτή. Ἡ ἀριστερή εἶναι συνεχῆς καί παριστάνει τό ἐπάνω στοιχεῖο, ἐνῶ ἡ δεξιά εἶναι διακοπτόμενη καί παριστάνει τό κάτω στοιχεῖο, ὅπως φαίνεται στό σχῆμα 8.2η. Ἐπίσης σημειώνομε μέ διακοπτόμενες γραμμές τίς κενές ὁδοντώσεις (δύο γραμμές σέ κάθε αὐλάκι). Τέλος σημειώνομε τά βέλη ἐπάνω στά στοιχεῖα, πού παριστάνουν τή φορά τοῦ ρεύματος σέ μία χρονική στιγμή.

Ἐφόσον τό βῆμα τοῦ τυλίγματος εἶναι 1-4, γιά τό σχηματισμό τῶν ὁμάδων συνδέομε τό ἄνω στοιχεῖο τῆς ὁδοντώσεως 1 μέ τό κάτω στοιχεῖο τῆς ὁδοντώσεως 4 κ.ο.κ., κατὰ τά γνωστά καί ἀπό τίς μηχανές συνεχοῦς ρεύματος. Ἡ σύνδεση σέ σειρά τῶν συγκροτημάτων μεταξύ τους γίνεται καί μέ τή βοήθεια τῶν βελῶν πού σημειώσαμε ἐπάνω στά στοιχεῖα, τά ὁποῖα πρέπει νά ἔχουν τήν ἴδια κατεύθυνση στή διαδρομή ὅλης τῆς φάσεως, ὅπως φαίνεται στό σχῆμα 8.2η, πού παριστάνει τό ζητούμενο τύλιγμα.

Παράδειγμα 6.

Νά σχεδιασθεῖ τό τύλιγμα τοῦ στάτη διφασικοῦ τετραπολικοῦ κινητήρα μέ 16 ὁδοντώσεις. Τό τύλιγμα πρέπει νά εἶναι βροχοτύλιγμα σέ δύο στρώσεις, μέ τά συγκροτήματα τῶν ὁμάδων συνδεμένα σέ σειρά.

Λύση.

Τό πολικό βήμα είναι:

$$z_1 = \frac{z}{2 \cdot p} = \frac{16}{2 \times 2} = 4 \text{ όδοντώσεις}$$

Ο αριθμός των όδοντώσεων σε κάθε πολικό βήμα καί φάση είναι:

$$z_2 = \frac{z_1}{2} = \frac{4}{2} = 2 \text{ όδοντώσεις}$$

Άρα κάθε συγκρότημα θά αποτελείται από 2 ομάδες. Ο αριθμός των συγκροτημάτων κάθε φάσεως πού είναι συνδεδεμένα σε σειρά θά είναι $2 \cdot p = 2 \times 2 = 4$. Τό βήμα κάθε ομάδας του τύλιγματος θά είναι ίσο μέ τό πολικό βήμα $z_1 = 4$ όδοντώσεις (βήμα 1-5 σε όδοντώσεις).

Τό ζητούμενο τύλιγμα φαίνεται στό σχήμα 8.3α. Σημειώνουμε, έκτός από αυτά πού αναφέρθηκαν στό προηγούμενο παράδειγμα, ότι τά στοιχεΐα, πού ανήκουν σε διαφορετικές φάσεις, τά παριστάνουμε μέ διαφορετικό χρώμα, όπως καί στά συγκεντρικά τυλίγματα. Π.χ. αρχίζουμε από τά στοιχεΐα των $z_2 = 2$ πρώτων όδοντώσεων καί τά σημειώνουμε μέ μαύρο χρώμα, επειδή ανήκουν στην πρώτη φάση. Τά στοιχεΐα των επομένων δύο όδοντώσεων πού ανήκουν στην δεύτερη φάση θά γίνουν κόκκινα κ.ο.κ.

Παράδειγμα 7.

Νά σχεδιασθεΐ τριφασικό τύλιγμα τετραπολικής μηχανής της οποίας ο στάτης έχει 24 όδοντώσεις. Τό τύλιγμα πρέπει νά είναι βροχοτύλιγμα σε δύο στρώσεις, μέ συγκροτήματα ομάδων συνδεδεμένα σε σειρά.

Λύση.

Τό πολικό βήμα είναι:

$$z_1 = \frac{z}{2 \cdot p} = \frac{24}{2 \times 2} = 6 \text{ όδοντώσεις}$$

Ο αριθμός των όδοντώσεων σε κάθε πολικό βήμα καί φάση είναι:

$$z_2 = \frac{z_1}{3} = \frac{6}{3} = 2 \text{ όδοντώσεις}$$

Άρα κάθε συγκρότημα θά αποτελείται από δύο ομάδες. Ο αριθμός συγκροτημάτων κάθε φάσεως πού είναι συνδεδεμένα σε σειρά θά είναι $2 \cdot p = 2 \times 2 = 4$. Τό βήμα κάθε ομάδας του τυλίγματος θά είναι ίσο μέ τό πολικό βήμα, δηλαδή 6 όδοντώσεις (βήμα 1-7 σε όδοντώσεις).

Η μετατόπιση των φάσεων μεταξύ τους θά είναι 4 όδοντώσεις, σύμφωνα μέ αυτά πού αναφέρθηκαν στην παράγραφο 8.3. Τό σχήμα 8.3δ παριστάνει τό ζητούμενο τύλιγμα.

8.5 Κανονικά και μή κανονικά τυλίγματα.

Στά τυλίγματα σέ μία ή σέ δύο στρώσεις, πού εξετάσαμε μέχρι εδώ, εἶναι εύκολο νά διαπιστώσομε ὅτι ἰσχύουν οἱ ἀκόλουθες συνθήκες:

- Τό βῆμα τοῦ τυλίγματος εἶναι ἴσο μέ τό πολικό βῆμα z_1 , πού εἶναι ἀριθμός ἀκέραιος.
- Ὁ ἀριθμός z_2 τῶν ὁδοντώσεων σέ κάθε πολικό βῆμα καί φάση εἶναι ἀριθμός ἀκέραιος.
- Ἡ μετατόπιση τῶν φάσεων μεταξύ τους εἶναι ἀκριβῶς ἴση μέ γωνία πού ἀντιστοιχεῖ σέ 90 ἤλεκτρικὲς μοῖρες γιά τὰ διφασικά τυλίγματα καί σέ 120 ἤλεκτρικὲς μοῖρες γιά τὰ τριφασικά τυλίγματα.

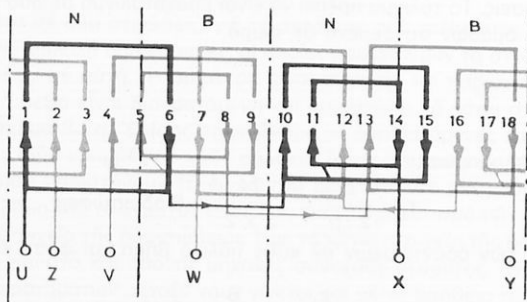
Κάθε τύλιγμα ἐναλλασσόμενου ρεύματος, τό ὁποῖο ἀναποκρίνεται στίς παραπάνω συνθήκες ὀνομάζεται **κανονικό τύλιγμα**. Χαρακτηριστικά τῶν κανονικῶν τυλιγμάτων εἶναι: 1) Κάθε φάση καταλαμβάνει τό $1/m$ τῶν ὁδοντώσεων τοῦ πολικοῦ βήματος (m εἶναι ὁ ἀριθμός φάσεων). 2) Σέ ἐκ διαμέτρου ἀντίθετα σημεῖα ἐπάνω στό τύμπανο βρίσκονται στοιχεῖα πού ἀνήκουν στήν ἴδια φάση καί 3) στά τυλίγματα σέ δύο στρώσεις μέσα στό ἴδιο αὐλάκι ὑπάρχουν στοιχεῖα πού ἀνήκουν στήν ἴδια φάση.

Ἐκτός ἀπό τὰ κανονικά τυλίγματα κατασκευάζονται καί **μή κανονικά τυλίγματα**. Σέ αὐτά δέν ἰσχύει μία ἢ περισσότερες ἀπό τίς συνθήκες πού ἀναφέραμε. Π.χ. ἂν θελήσουμε νά σχεδιάσουμε τριφασικό συγκεντρικό τύλιγμα μέ 4 πόλους καί 18 ὁδοντώσεις, θά ἔχομε:

$$z_1 = \frac{z}{2 \cdot p} = \frac{18}{2 \times 2} = 4,5 \text{ ὁδοντώσεις}$$

$$\text{καί} \quad z_2 = \frac{z_1}{3} = \frac{4,5}{3} = 1,5 \text{ ὁδοντώσεις}$$

Δηλαδή τόσο τό z_1 ὅσο καί τό z_2 δέν εἶναι ἀριθμοί ἀκέραιοι. Ἐνα τύλιγμα αὐτοῦ τοῦ εἶδους σχεδιάζεται ὅπως φαίνεται στό σχῆμα 8.5α. Ὅπως παρατηροῦμε, κάθε φάση ἀποτελεῖται ἀπό δύο συγκεντρώματα, ἀπό τὰ ὁποῖα τό ἓνα ἔχει μία ὁμάδα καί τό ἄλλο δύο ὁμάδες.



Σχ. 8.5α.

Τετραπολικό τριφασικό τύλιγμα μέ $z_2 = 1,5$.

Τά τυλίγματα μέ z_2 μὴ ἀκέραιο ἀριθμὸ κατασκευάζονται τόσο σέ μία στρώση ὅσο καί σέ δύο στρώσεις. Πάντως σέ τριφασικὲς μηχανές, γιά νά εἶναι τὰ τυλίγματα τῶν τριῶν φάσεων συμμετρικά, πρέπει ὁ ἀριθμὸς τῶν ὁδοντώσεων z τοῦ τυμπάνου νά εἶναι διαιρετὸς διὰ τοῦ 3. Σημειώνομε ὅτι σπάνια κατασκευάζονται καί ὄχι ἀπόλυτα συμμετρικά τυλίγματα. Ἐπίσης ὅτι μερικὲς φορές, τόσο στά συμμετρικά ὅσο καί στά μὴ συμμετρικά τυλίγματα, ἀφήνονται ὁδοντώσεις κενές ἀπὸ ἀγωγούς.

Τά τυλίγματα μέ z_2 μὴ ἀκέραιο παρουσιάζουν ὀρισμένα πλεονεκτήματα, κυρίως στοὺς ἐναλλακτῆ-

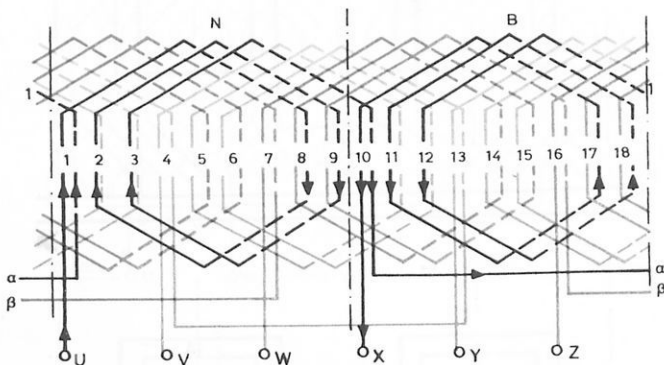
ρες, όπως είναι ομαλότερη καμπύλη της ηλεκτρεγερτικής δύναμews, πού πλησιάζει περισσότερο την ημιτονοειδή μορφή κλπ.

Τό σχήμα 8.5β δίνει ένα άλλο παράδειγμα μή κανονικού τυλίγματος. Σέ αυτό έχουμε:

$$z_1 = \frac{z}{2 \cdot p} = \frac{18}{2 \times 1} = 9 \text{ όδοντώσεις}$$

καί
$$z_2 = \frac{z_1}{3} = \frac{9}{3} = 3 \text{ όδοντώσεις}$$

Δηλαδή τά z_1 καί z_2 είναι αριθμοί άκέραιοι, τό βήμα όμως του τυλίγματος είναι 7 όδοντώσεις (βήμα 1-8), δηλαδή μικρότερο από τό πολικό βήμα $z_1 = 9$. Όπως παρατηρούμε στό τύλιγμα αυτό, σέ όρισμένες όδοντώσεις υπάρχουν στοιχεία από ομάδες, οι όποιες ανήκουν σέ διαφορετικές φάσεις. Άρα στίς περιπτώσεις αυτές, ή τάση μεταξύ των δύο αυτών στοιχείων πού είναι μέσα στό ίδιο αύλακι, είναι δυνατό νά φθάσει καί μέχρι την πολική τάση του δικτύου τροφοδοτήσεως. Δηλαδή στά τυλίγματα αυτά πρέπει νά γίνεται καλή καί άσφαλής μόνωση μεταξύ των στοιχείων πού είναι στό ίδιο αύλακι.



Σχ. 8.5β.

Διπολικό τριφασικό τύλιγμα σέ δύο στρώσεις μέ 18 όδοντώσεις καί βήμα 1-8.

Έπίσης στό σχήμα 8.5β παρατηρούμε ότι τό ρεύμα στά στοιχεία, τά όποια βρίσκονται στίς όδοντώσεις 8,9 καί 17,18, είναι αναστραμμένο.

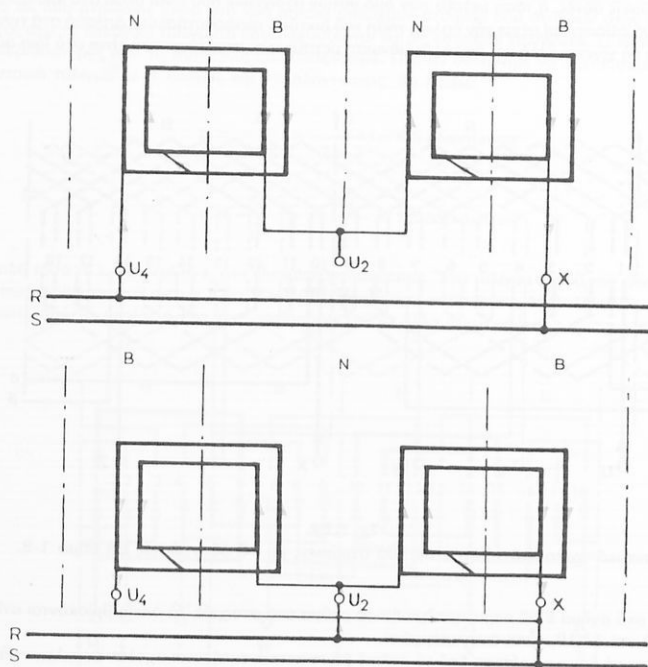
Τυλίγματα μέ βήμα μικρότερο από τό πολικό βήμα κατασκευάζονται σχεδόν άποκλειστικά σέ δύο στρώσεις. Στούς τριφασικούς κινητήρες τά τυλίγματα αυτά παρουσιάζουν όρισμένα πλεονεκτήματα, όπως οίκονομία ύλικού, καλύτερο βαθμό άποδόσεως του κινητήρα, μικρότερο συντελεστή σκεδάσεως κλπ.

Όπως διαπιστώνουμε, υπάρχει μεγάλη ποικιλία μή κανονικών τυλιγμάτων, όπως άλλωστε υπάρχουν καί άλλες παραλλαγές κανονικών τυλιγμάτων, τίς όποιες δέν εξετάσαμε στό προηγούμενο. Μέ όλες αυτές τίς ποικιλίες δέν πρόκειται νά άσχοληθούμε περισσότερο στό βιβλίο αυτό. Έπισημαίνουμε μόνο την ύπαρξή τους, δεδομένου ότι ενδέχεται νά τίς συναντήσει αυτός πού άσχολείται μέ επισκευές τυλιγμάτων πού έπαθαν βλάβη. Στίς περιπτώσεις αυτές θά πρέπει μέ προσοχή νά άντιγράψει τό σχέδιο του τυλίγματος, πού έπαθε βλάβη, βοηθούμενος από τίς γενικές του γνώσεις γιά τά τυλίγματα έναλλασσόμενου ρεύματος καί νά φροντίσει νά άνακατασκευάσει τό τύλιγμα όπως ακριβώς ήταν άρχικά.

8.6 Τυλίγματα με μεταβλητό αριθμό πόλων.

Όπως αναφέραμε στην παράγραφο 8.1, από τον αριθμό των πόλων του τυλίγματος του στάτη εξαρτάται η ταχύτητα περιστροφής των συγχρόνων και άσυγχρόνων κινητήρων. Συνεπώς είναι δυνατό να αλλάξουμε την ταχύτητα περιστροφής ενός κινητήρα, αν μεταβάλλουμε τον αριθμό των πόλων του τυλίγματος του.

Οι κινητήρες με περισσότερες από μία ταχύτητες, π.χ. με 2,3 ή και 4 ταχύτητες περιστροφής, έχουν σήμερα σημαντικό πεδίο εφαρμογών. Για το λόγο αυτό θα τους εξετάσουμε αναλυτικότερα. Ειδικά θα ασχοληθούμε με το τύπο των τυλιγμάτων, που ονομάζονται Dahlander και Lindstrom από τα ονόματα αυτών που τα επινόησαν. Τα τυλίγματα αυτά μας δίνουν σχέση αριθμού πόλων 2/1, δηλαδή σχέση ταχυτήτων του κινητήρα 1/2 και στηρίζονται στη μεταβολή της συνδεσμολογίας των συγκροτημάτων τους, όπως θα δούμε άμεσα παρακάτω.



Σχ. 8.6α.

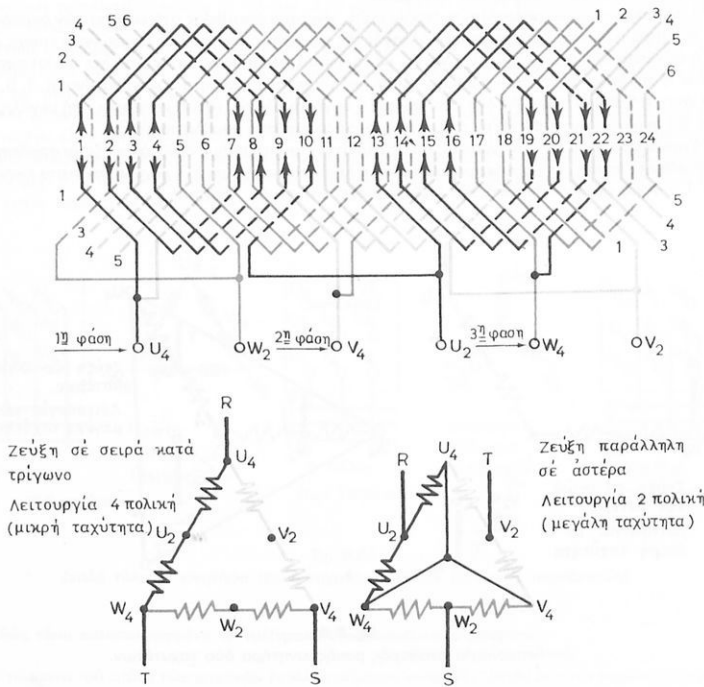
Μετατροπή τετραπολικού τυλίγματος σε διπολικό.

Το σχήμα 8.6α δείχνει στο επάνω μέρος με την απλούστερη μορφή τετραπολικό μονοφασικό τυλίγμα, του οποίου τα συγκροτήματα ομάδων είναι συνδεσμολογημένα σε σειρά. Η τροφοδότηση του τυλίγματος γίνεται από τους ακροδέκτες U_4 και X . Αν όμως το τυλίγμα αυτό το τροφοδοτήσουμε από τη μεσαία λήψη U_2 , με επιστροφή τους δύο ακροδέκτες U_4 και X , όπως φαίνεται στο κάτω μέρος του ίδιου σχήματος, τότε τα δύο συγκροτήματα ομάδων συνδέονται παράλληλα. Ταυτόχρονα το τυλίγμα μετατρέπεται σε διπολικό, όπως φαίνεται από τη φορά που έχει το ρεύμα σε μία χρονική στιγμή μέσα στα στοιχεία του τυλίγματος.

Στήν αρχή αυτή, δηλαδή της χρησιμοποίησης μεσαίας λήψεως σέ κάθε φάση, στηρίζονται τά τυλίγματα Dahlander, τά οποία, όπως είπαμε, χρησιμοποιούνται συχνά στους κινητήρες μέ δύο ταχύτητες περιστροφής.

Σέ ένα τριφασικό τύλιγμα μέ δύο αριθμούς πόλων θά έχομε 9 άκρα (τά 6 άκρα των τριών φάσεων καί τίς 3 μεσαίες λήψεις), τά οποία πρέπει νά συνδέσσομε σέ ισάριθμους άκροδέκτες στό κιβώτιο άκροδεκτών του κινητήρα. Συνήθως οι κατασκευαστές κάνουν μερικές από τίς συνδέσεις μεταξύ των φάσεων μέσα στον κινητήρα, όποτε στό κιβώτιο των άκροδεκτών έχομε πάλι έξι άκροδέκτες, από τους όποιους είναι δυνατή ή μεταβολή του αριθμού των πόλων του τυλίγματος.

Τά τυλίγματα μέ δύο αριθμούς πόλων ύπολογίζονται βασικά γιά τό μεγαλύτερο αριθμό πόλων (μικρότερη ταχύτητα). Η λειτουργία του κινητήρα στην ταχύτητα αυτή είναι κανονική. Στή μεγάλη ταχύτητα (μικρός αριθμός πόλων) έχομε μειωμένη χρησιμοποίηση του κινητήρα καί κυρίως στην έκκίνηση, όπου ο κινητήρας παρουσιάζει μειωμένη ροπή. Άν χρησιμοποιήσομε όμως τυλίγματα σέ δύο στρώσεις, ή ροπή έκκίνησης του κινητήρα βελτιώνεται σημαντικά.



Σχ. 8.6β.

Τύλιγμα ασύγχρονου τριφασικού κινητήρα δύο ταχυτήτων.

Τό σχήμα 8.6β δείχνει ένα τριφασικό τύλιγμα σέ δύο στρώσεις από κινητήρα δύο ταχυτήτων μέ αριθμούς πόλων 2/4, καί 24 όδοντώσεις. Οι άρχές U_4 , V_4 , W_4 των τριών φάσεων λαμβάνονται έτσι, ώστε νά απέχουν 120 ηλεκτρικές μοίρες γιά τό μικρό αριθμό πόλων ($p = 1$ στό παράδειγμα του σχήματος). Τό τέλος της πρώτης φάσεως έχει συνδεθεί μέσα στον κινητήρα μέ την άρχή W_4 της τρίτης φάσεως. Τό τέλος της τρίτης φάσεως μέ την άρχή της V_4 της δεύτερης καί τό τέλος αυτής μέ την άρ-

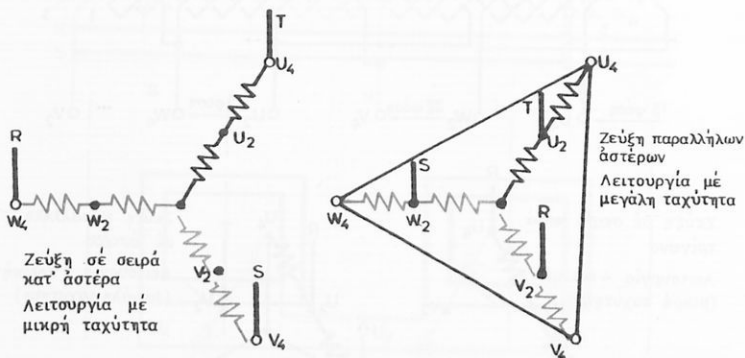
χή U_4 της πρώτης φάσεως. Έτσι στο κιβώτιο των ακροδεκτών του κινητήρα έχουμε 6 ακροδέκτες, τούς U_4 , V_4 , W_4 και τὰ μέσα U_2 , V_2 και W_2 των τριών φάσεων.

Γιά τή λειτουργία του κινητήρα ως τετραπολικού (μικρή ταχύτητα), οι ακροδέκτες U_2 , V_2 , W_2 μένουν ελεύθεροι και ή τροφοδότηση από τις τρεις φάσεις R,S,T του δικτύου γίνεται στους U_4 , V_4 , W_4 , όπως φαίνεται στο κάτω αριστερό μέρος του σχήματος 8.6β. Οι τρεις φάσεις είναι συνδεσμολογημένες σέ σειρά κατὰ τρίγωνο. Αν παρακολουθήσουμε τή φορά του ρεύματος στα στοιχεία της πρώτης φάσεως (βέλη που είναι στο επάνω μέρος του τυλίγματος), θά διαπιστώσουμε, ότι πραγματικά έχουμε τετραπολικό τυλίγμα.

Γιά τή λειτουργία του κινητήρα ως διπολικού (μεγάλη ταχύτητα), ή τροφοδότηση από τις τρεις φάσεις R,S,T του δικτύου γίνεται στους ακροδέκτες U_2 , V_2 , W_2 , όπως φαίνεται στο κάτω δεξιό μέρος του σχήματος 8.6β. Οι ακροδέκτες U_4 , V_4 , W_4 βραχυκυκλώνονται γιά νά αποτελέσουν τόν κόμβο του άστερα. Οι τρεις φάσεις είναι συνδεσμολογημένες τώρα παράλληλα σέ άστέρα. Αν παρακολουθήσουμε τή πρώτη φάση θά δούμε ότι τό ρεύμα, που εισέρχεται τώρα από τόν ακροδέκτη U_2 και έξέρχεται από τούς ακροδέκτες U_4 και V_4 , σχηματίζει 2 πόλους, όπως δείχνουν τὰ βέλη που είναι επάνω στα στοιχεία στο κάτω μέρος του τυλίγματος.

Η παραπάνω συνδεσμολογία των ακροδεκτών, γίνεται ή άπευθείας στο κιβώτιο των ακροδεκτών του κινητήρα ή με κατάλληλο διακόπτη αλλαγής τής ταχύτητας (σχ. 5.13α). Σημειώνουμε επίσης ότι, όταν ή σύνδεση των ακροδεκτών U_4 , V_4 , W_4 με τό δίκτυο γιά τή μικρή ταχύτητα είναι αντίστοιχα R, S, T, τότε ή σύνδεση των ακροδεκτών U_2 , V_2 , W_2 γιά τή μεγάλη ταχύτητα πρέπει νά είναι R, T, S, όπως έχει γίνει στο σχήμα 8.6β. Αν δέν γίνει σωστά ή συνδεσμολογία, τότε ό κινητήρας στη μεγάλη ταχύτητα θά περιστρέφεται αντίθετα από ό,τι περιστρέφεται στη χαμηλή ταχύτητα.

Η συνδεσμολογία των τυλιγμάτων, όπως παριστάνεται στο σχήμα 8.6β, ονομάζεται **συνδεσμολογία σταθερής ισχύος**. Στη συνδεσμολογία αυτή ή ισχύς του κινητήρα στη μεγάλη ταχύτητα είναι περίπου 1,5 φορά μεγαλύτερη από τήν ισχύ που έχει στη μικρή ταχύτητα.



Σχ. 8.6γ.

Συνδεσμολογία σταθερής ροπής κινητήρα δύο ταχυτήτων.

Στους κινητήρες δύο ταχυτήτων πραγματοποιείται σπάνια και ή ονομαζόμενη **συνδεσμολογία σταθερής ροπής**. Όταν γίνεται αυτή, στο μεγάλο αριθμό πόλων (μικρή ταχύτητα), τὰ συγκροτήματα κάθε φάσεως είναι πάλι συνδεσμολογημένα μεταξύ τους σέ σειρά. Οι τρεις φάσεις όμως είναι συνδεσμολογημένες σέ άστέρα, όπως φαίνεται στο άριστερό μέρος του σχήματος 8.6γ. Ό ουδέτερος κόμβος του άστερα είναι μόνιμα πραγματοποιημένος μέσα στον κινητήρα. Στο κιβώτιο των ακροδεκτών έχουμε πάλι τις τρεις μεσαίες λήψεις U_2 , V_2 , W_2 και τις τρεις άρχές U_4 , V_4 , W_4 . Η τροφοδότηση από τις τρεις φάσεις R, S, T του δικτύου γίνεται στους τελευταίους αυτούς ακροδέκτες, ενώ οι μεσαίες λήψεις μένουν ελεύθερες.

Στο μικρό αριθμό πόλων (μεγάλη ταχύτητα) σχηματίζονται δύο παράλληλοι άστέρες, όπως φαίνεται στο δεξιό μέρος του σχήματος 8.6γ. Για να γίνει αυτό τροφοδοτούμε τον κινητήρα από τους άκροδέκτες U_2, V_2, W_2 και βραχυκυκλώνουμε τους άκροδέκτες U_4, V_4, W_4 για τό σχηματισμό του κόμβου του δεύτερου άστέρα.

Στή συνδεσμολογία σταθερής ροπής σέ ένα κινητήρα π.χ. 4/8 πόλων, ή χρήσιμη ισχύς στους 8 πόλους είναι ίση μέ τήν ισχύ στους 4 πόλους διαιρεμένη μέ τό λόγο:

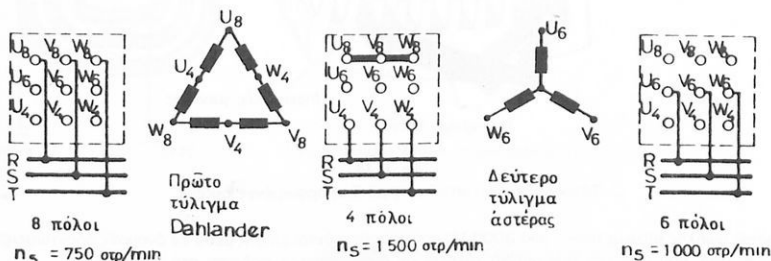
$$\left(\frac{\text{ταχύτητα 4 πόλων}}{\text{ταχύτητα 8 πόλων}} \right)^3$$

δηλαδή διαιρεμένη μέ τό 8.

Οι δύο άριθμοί πόλων ενός κινητήρα είναι δυνατό νά επιτευχθούν καί μέ τήν τοποθέτηση μέσα στις όδοντώσεις του στάτη δύο τελείως ανεξαρτήτων μεταξύ τους τυλιγμάτων. Αυτό γίνεται κυρίως, όταν οι δύο ταχύτητες, πού επιθυμούμε νά πετύχουμε, δέν έχουν μεταξύ τους τήν απλή σχέση 1/2.

Συνήθως τοποθετείται πρώτα τό τύλιγμα μέ τό μικρό άριθμό πόλων καί κατόπιν τό τύλιγμα μέ τό μεγάλο άριθμό πόλων. Έτσι είναι δυνατό νά κατασκευασθούν κινητήρες μέ 2/6 πόλους ή 2/8 πόλους κλπ. Στους κινητήρες αυτούς ή συνδεσμολογία κάθε τυλίγματος (σέ άστέρα ή τρίγωνο) γίνεται συνήθως μέσα στον κινητήρα. Έτσι έχουμε πάλι 6 άκροδέκτες, τρεις γιά τήν τροφοδότηση του ενός τυλίγματος καί τρεις γιά τήν τροφοδότηση του άλλου.

Τέλος κατασκευάζονται καί κινητήρες μέ 3 ή 4 ταχύτητες. Αυτοί έχουν δύο τυλίγματα, από τά όποια τό ένα είναι τύπου Dahlander μέ δύο άριθμούς πόλων καί τό άλλο απλό τύλιγμα όρισμένου άριθμού πόλων, όταν θέλουμε 3 ταχύτητες ή τύλιγμα Dahlander όταν θέλουμε 4 ταχύτητες. Τό σχήμα 8.6δ δείχνει τά 2 τυλίγματα, τό κιβώτιο των 9 άκροδεκτών καί τή σύνδεση μέ τους ζυγούς ενός κινητήρα τριών ταχυτήτων μέ 8/6/4 πόλους.



Σχ. 8.6δ.

Διπλό τύλιγμα κινητήρα τριών ταχυτήτων 8/6/4 πόλων, 9 άκροδεκτών.

8.7 Πώς είναι κατασκευασμένα τά τυλίγματα έναλλασσόμενου ρεύματος.

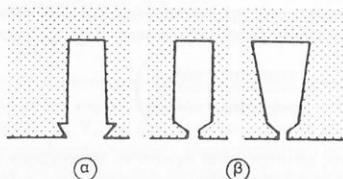
Τό τύμπανο του στάτη των μηχανών έναλλασσόμενου ρεύματος, εκτός από τήν περίπτωση των έναλλακτρήων μέ έξωτερικούς πόλους, αποτελείται από πολλά μαγνητικά ελάσματα, όπως τό περιγράψαμε στο έδάφιο 2 τής παραγράφου 3.2.

Οι όδοντώσεις του τυμπάνου, στά αυλάκια των όποιων τοποθετούνται τά στοιχεία των όμάδων του τυλίγματος, έχουν διάφορα σχήματα. Συνήθως τίς διακρίνουμε σέ δύο κατηγορίες: α) **Άνοικτές όδοντώσεις** καί β) **ήμικλειστες όδοντώσεις**, όπως παρουσιάζονται στο σχήμα 8.7α.

Οι άνοικτές όδοντώσεις χρησιμοποιούνται γενικά στους μεγάλους κινητήρες (έπάνω από 150 kW) καί στους έναλλακτρήες. Στίς περιπτώσεις αυτές τό τύλιγμα κατασκευάζεται συνήθως σέ δύο στρώσεις μέ ράβδους από χαλκό (μπάρες) ή μέ όμάδες από άγωγό κυκλικής διατομής προκατασκευασμένες καί διαμορφωμένες σέ περιελκτικές μηχανές.

Οι διαμορφωμένες ομάδες πρίν από τήν τοποθέτησή τους μέσα στά αύλακια περιβάλλονται έξωτε-
ρικά μέ ένα ή περισσότερα στρώματα μονωτικού, όπως δείχνει τό σχήμα 8.7β.

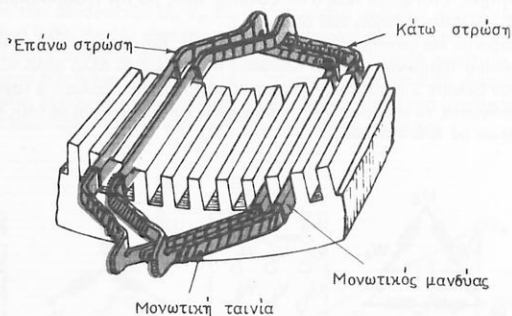
Μέ τόν παραπάνω τρόπο κατασκευάζονται καί τά τυλίγματα τών μηχανών έναλλασσόμενου ρεύ-



Σχ. 8.7α.

Ώδοντώσεις στάτη μηχανών έναλλασσόμενου ρεύματος.

α) Άνοικτές. β) Ήμικλειστές.



Σχ. 8.7β.

Τύλιγμα σέ δύο στρώσεις μέ διαμορφωμένες ομάδες.

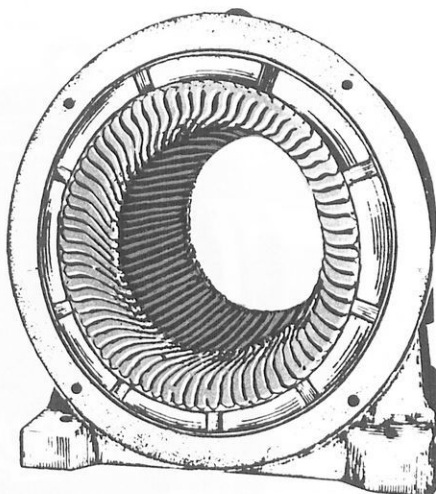
ματος ύψηλης τάσεως (πάνω από 3000 V), πού τοποθετούνται επίσης μέσα σέ άνοικτές όδοντώσεις.
Ή μορφή, πού έχει ένα τελειωμένο τύλιγμα σέ δύο στρώσεις φαίνεται στό σχήμα 8.7γ.

Οι ήμικλειστές όδοντώσεις χρησιμοποιούνται περισσότερο στους κινητήρες μικρής καί μέσης ισχύος. Τό τύλιγμα πού είναι συνήθως σέ μία στρώση κατασκευάζεται από άγωγό κυκλικής διατομής. Στίς περιπτώσεις αυτές τά συγκροτήματα τών ομάδων κατασκευάζονται, όπως δείχνει τό σχήμα 8.7δ, δηλαδή όλο τό συγκρότημα αποτελείται από πολλές σπείρες ενός άγωγού, του όποιου τά άκρα άποτελούν τά άκρα του συγκροτήματος. Μέ τόν τρόπο αυτό άποφεύγονται ένώσεις στό άκρα τών ομάδων. Τό συγκρότημα του σχήματος 8.7δ είναι από συγκεντρικό τύλιγμα.

Τά στοιχεία τών ομάδων δέν περιβάλλονται έδώ από μονωτικούς μανδύες, όπως στό τυλίγματα μέ διαμορφωμένες ομάδες. Οι άγωγοί τών στοιχείων είναι έλεύθεροι καί τούς περνάμε ένα-ένα από τό στόμιο τής όδοντώσεως, όπως δείχνει τό σχήμα 8.7ε. Μέσα στό αύλακι οι άγωγοί τακτοποιούνται σέ στρώσεις καί ό ένας δίπλα στον άλλο. Πρίν άρχίσει ή τοποθέτηση τών άγωγών, οι πλευρές κάθε αύλακιού μώνονται μέ έμποτισμένο ύφασμα, πρεσπάν κλπ., όπως φαίνεται καί στό σχήμα 8.7ε.

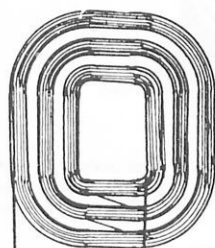
Ό ίδιος τρόπος κατασκευής του τυλίγματος ακολουθείται, όταν οι όδοντώσεις είναι ήμικλειστές, καί στό τυλίγματα σέ μία στρώση μέ ομάδες όμοιες μεταξύ τους.

Τό σχήμα 8.7στ δείχνει τό στάτη ενός κινητήρα, ό όποιος έχει συγκεντρικό τύλιγμα σέ μία στρώση. Στο σχήμα 8.7ζ φαίνεται λεπτομερέστερα, πώς γίνεται ή διαμόρφωση τών κεφαλών τών ομάδων στό τυλίγματα αυτά.



Σχ. 8.7γ.

Τύλιγμα σε δύο στρώσεις τριφασικού κινητήρα.

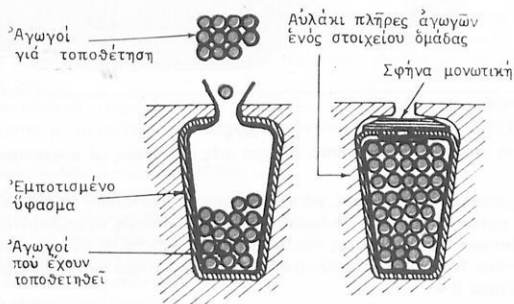


Αρχή

Τέλος

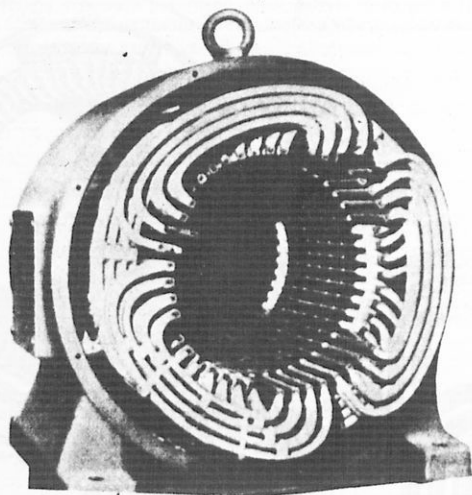
Σχ. 8.7δ.

Συγκρότημα ομάδων συγκεντρικού τυλίγματος.



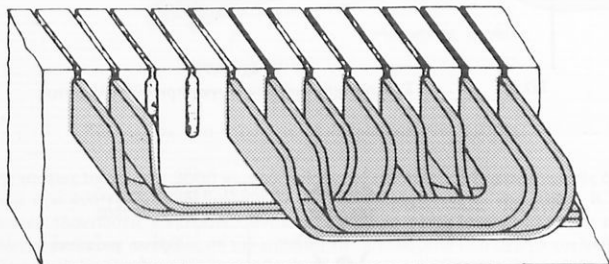
Σχ. 8.7ε.

Τοποθέτηση άγωγών σε ήμικλειστες οδοντώσεις.



Σχ. 8.7στ.

Στάτης τριφασικού κινητήρα με συγκεντρικό τύλιγμα σε μία στρώση.



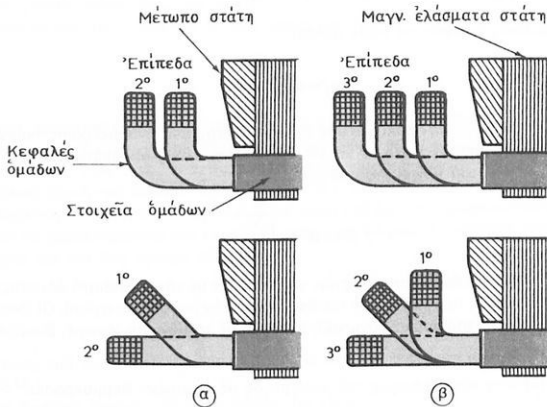
Σχ. 8.7ζ.

Διαμόρφωση κεφαλών σε τριφασικό τύλιγμα μιᾶς στρώσεως με συγκεντρικές ομάδες.

Όπως παρατηρούμε στο σχήμα 8.7ζ, για να είναι δυνατή η εκτέλεση των συγκεντρικῶν τριφασικῶν τυλιγμάτων, πρέπει οι κεφαλές των ομάδων έξω από τὰ αὐλάκια νὰ κάμπτονται, ὅπως δείχνει τὸ σχῆμα. Στὴν περίπτωση αὐτὴ οἱ κεφαλές των ομάδων διατάσσονται σὲ δύο ἐπίπεδα παράλληλα πρὸς τὰ μέτωπα τοῦ στάτη. Τὸ τύλιγμα ὀνομάζεται **δύο ἐπιπέδων**. Τύλιγμα αὐτοῦ τοῦ εἶδους εἶναι καὶ αὐτὸ πού δείχνει τὸ σχῆμα 8.4α.

Στὴν περίπτωση τοῦ σχήματος 8.3γ, τὸ τύλιγμα ὀνομάζεται **τριῶν ἐπιπέδων**, γιατί οἱ κεφαλές των ομάδων, γιὰ νὰ εἶναι δυνατὴ ἡ κατασκευὴ τοῦ τυλιγματος, πρέπει νὰ διαταχθοῦν σὲ τρία ἐπίπεδα παράλληλα πρὸς τὰ μέτωπα τοῦ στάτη. Τὸ σχῆμα 8.7η παρουσιάζει διάφορες διατάξεις συγκεντρικῶν τυλιγμάτων μετὰ τίς κεφαλές των ομάδων σὲ δύο ἢ τρία ἐπίπεδα.

Όταν ὁ ἀγωγός, ἀπὸ τὸν ὁποῖο πρέπει νὰ κατασκευασθοῦν οἱ σπεῖρες των ομάδων, δέν εἶναι δυ-



Σχ. 8.7η.

Διατάξεις με κεφαλές ομάδων σε δύο επίπεδα (α) και τρία επίπεδα (β).

νατό να περάσει από το άνοιγμα των ημικλειστων οδοντώσεων, τότε κατασκευάζουμε το τύλιγμα με δύο (ή περισσότερους) παράλληλους αγωγούς, όποτε κάθε αγωγός έχει διατομή περίπου ίση με το μισό αυτής που απαιτείται.

8.8 Άλλαγή χαρακτηριστικών τυλίγματος.

Υπάρχουν περιπτώσεις, που χρειάζεται να αλλάξουμε τα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά ενός κινητήρα. Η αλλαγή αυτή μπορεί να γίνει με κατασκευή νέου τυλίγματος του στάτη. Αυτό μας επιτρέπει:

- Νά αλλάξουμε την τάση του κινητήρα και η ισχύς να μένει η ίδια.
- Νά αλλάξουμε την ισχύ του κινητήρα και η τάση του να μένει η ίδια.
- Νά αλλάξουμε την τάση και την ισχύ του κινητήρα.

Οι παραπάνω μετατροπές γίνονται, χωρίς το τύλιγμα να αλλάξει τύπο, αριθμό πόλων και συχνότητα ρεύματος και συνεπώς, χωρίς ο κινητήρας να αλλάξει ταχύτητα. Στα επόμενα θα ασχοληθούμε αναλυτικά μόνο με την πρώτη περίπτωση, δηλαδή με την αλλαγή της τάσεως του κινητήρα, όταν η ισχύς του μένει η ίδια.

Στην περίπτωση αυτή τα στοιχεία του νέου τυλίγματος του στάτη θα προκύψουν από τα στοιχεία του παλιού τυλίγματος με τη βοήθεια των παρακάτω τύπων. Τα σύμβολα που θα χρησιμοποιηθούν είναι:

- N = η ισχύς που αποδίδει ο κινητήρας σε kW
- w_1 = αριθμός αγωγών σε κάθε αύλακι
- R = η αντίσταση κάθε φάσεως του τυλίγματος
- D = η διάμετρος του μονωμένου αγωγού
- d = η διάμετρος του αγωγού χωρίς μόνωση
- B = το ολικό βάρος των αγωγών του τυλίγματος
- U_ϕ = η φασική τάση του τυλίγματος
- I_Δ = η ένταση γραμμής για σύνδεση του τυλίγματος σε τρίγωνο
- I_γ = η ένταση γραμμής για σύνδεση του τυλίγματος σε αστέρα.

Αν η φασική τάση του τυλίγματος του κινητήρα από U_ϕ θέλουμε να γίνει U_ϕ' με την ίδια ισχύ N , τότε τα χαρακτηριστικά του νέου τυλίγματος θα είναι:

- 'Ο νέος αριθμός άγωγών σε κάθε αύλακι:

$$w_1' = w_1 \cdot \frac{U_{\phi'}}{U_{\phi}}$$

"Όταν ο αριθμός w_1' , που θά προκύψει από τή σχέση αυτή, δέν είναι άκέραιος, παίρνομε ως w_1' τόν πλησιέστερο άκέραιο αριθμό. Αυτό τό w_1' θά λαμβάνεται στους παρακάτω τύπους:

- 'Η νέα διάμετρος του μονωμένου άγωγού:

$$D' = D \cdot \sqrt{\frac{w_1}{w_1'}}$$

'Από τούς καταλόγους τών κατασκευαστών για άγωγούς μέ τήν επιθυμητή μόνωση, εκλέγομε τήν πλησιέστερη διάμετρο D' , πρós αυτή που προέκυψε από τήν παραπάνω σχέση. Οί ίδιοι κατάλογοι δίδουν καί τή διάμετρο d' του γυμνού άγωγού, ανάλογα μέ τή μόνωση (έμαγιέ, βαμβάκι, μετόξι κλπ.) που έχει.

- 'Η νέα αντίσταση κάθε φάσεως του τυλίγματος σε όρισμένη θερμοκρασία:

$$R' = R \cdot \frac{w_1'}{w_1} \cdot \left(\frac{d}{d'} \right)^2$$

- Τό νέο όλικό βάρος γυμνού άγωγού του τυλίγματος:

$$B' = B \cdot \frac{w_1'}{w_1} \cdot \left(\frac{d'}{d} \right)^2$$

- 'Η ένταση γραμμής για σύνδεση του νέου τυλίγματος σε τρίγωνο:

$$I_{\Delta}' = I_{\Delta} \cdot \frac{U_{\phi'}}{U_{\phi}}$$

- 'Η ένταση γραμμής για σύνδεση του νέου τυλίγματος σε άστέρα:

$$I_Y' = I_Y \cdot \frac{U_{\phi'}}{U_{\phi}}$$

- 'Η ένταση αυτή είναι δυνατό νά υπολογισθεί καί από τή σχέση:

$$I_Y' = \frac{I_{\Delta}'}{\sqrt{3}}$$

"Αν γνωρίζομε τό βαθμό αποδόσεως του κινητήρα η καί τό συντελεστή ισχύος συνφ μέ τήν παλιά τάση, δεδομένου ότι τά μεγέθη αυτά δέν αλλάζουν στή μετατροπή για νέα τάση, μπορούμε τό I_{Δ}' νά τό υπολογίσομε καί από τή σχέση:

$$I_{\Delta}' = \frac{N}{\sqrt{3} \cdot U_{\phi}' \cdot \eta \cdot \text{συνφ}}$$

Σημείωση.

Κατά τή μετατροπή του τυλίγματος ενός κινητήρα είναι ένδεχόμενο ή διάμετρος D' του άγωγού, που θά προκύψει από τή σχέση που δώσαμε, νά είναι σημαντικά μεγαλύτερη από τή διάμετρο του άγωγού που προϋπήρχε καί ο νέος άγωγός νά μή μπορεί νά περάσει από τό άνοιγμα του αύλακιού. Αυτό συμβαίνει συνήθως, όταν ή νέα τάση λειτουργίας του κινητήρα είναι σημαντικά μικρότερη από τήν παλιά τάση. Στίς περιπτώσεις αυτές, όπως αναφέραμε καί στήν παράγραφο 8.7, χρησιμοποιούμε δύο

ή περισσότερους παράλληλους αγωγούς οι οποίοι να έχουν άθροισμα διατομών με μόνωση ίσο με τη διατομή που αντιστοιχεί στη διάμετρο D' που υπολογίσαμε.

Παράδειγμα.

Τετραπολικός, τριφασικός κινητήρας ισχύος $N = 2,2 \text{ kW}$, τάσεως $220/380 \text{ V}$, έχει τυλίγμα στάτη με $w_1 = 53$ αγωγούς σε κάθε αύλακι. Οι αγωγοί έχουν διάμετρο $D = 1,24 \text{ mm}$ μαζί με τη μόνωση (χωρίς τη μόνωση $d = 1,05 \text{ mm}$). Η αντίσταση κάθε φάσεως του τυλίγματος στους 20°C είναι $R = 2,5 \Omega$ και το όλικό βάρος του αγωγού του τυλίγματος $B = 2,9 \text{ kp}$. Η ένταση γραμμής για συνδεσμο-λογία του τυλίγματος σε αστέρα είναι $I_Y = 5 \text{ A}$ (με τάση του δικτύου τροφοδοτήσεως 380 V). Ποιά πρέπει να είναι τα χαρακτηριστικά του νέου τυλίγματος για να γίνει ο κινητήρας τάσεως $115/200 \text{ V}$ με την ίδια ισχύ και τον ίδιο αριθμό πόλων;

Λύση.

Η φασική τάση του παλιού τυλίγματος είναι $U_\phi = 220 \text{ V}$, η φασική τάση του νέου τυλίγματος είναι $U'_\phi = 115 \text{ V}$.

Άρα ο νέος αριθμός αγωγών σε κάθε αύλακι θα είναι:

$$w'_1 = w_1 \cdot \frac{U_\phi}{U'_\phi} = 53 \times \frac{220}{115} = 27,7$$

Παίρνουμε $w'_1 = 28$ αγωγούς σε κάθε αύλακι.

$$D' = D \cdot \sqrt{\frac{w_1}{w'_1}} = 1,24 \times \sqrt{\frac{53}{28}} = 1,7 \text{ mm}$$

Από τους πίνακες των κατασκευαστών παίρνουμε διάμετρο $D' = 1,72 \text{ mm}$ για αγωγό μονωμένο με δύο στρώσεις από βαμβάκι (Πίνακας 8.8.1), στην οποία αντιστοιχεί διάμετρος γυμνού αγωγού $d = 1,5 \text{ mm}$.

Η νέα αντίσταση κάθε φάσεως του τυλίγματος στους 20° θα είναι:

$$R' = R \cdot \frac{w'_1}{w_1} \cdot \left(\frac{d}{d'}\right)^2 = 2,5 \times \frac{28}{53} \times \left(\frac{1,05}{1,5}\right)^2 = 0,648 \Omega$$

Το νέο βάρος του αγωγού του τυλίγματος θα είναι:

$$B' = B \cdot \frac{w'_1}{w_1} \cdot \left(\frac{d'}{d}\right)^2 = 2,9 \times \frac{28}{53} \times \left(\frac{1,5}{1,05}\right)^2 = 3,12 \text{ kp}$$

Η νέα ένταση γραμμής για σύνδεση του τυλίγματος σε αστέρα θα είναι:

$$I'_Y = I_Y \cdot \frac{U_\phi}{U'_\phi} = 5 \times \frac{220}{115} = 9,5 \text{ A}$$

Για σύνδεση του τυλίγματος σε τρίγωνο ο κινητήρας θα άπορροφά:

$$I'_\Delta = \sqrt{3} \cdot I'_Y = 1,73 \times 9,5 = 16,5 \text{ A}$$

Αντί να υπολογίζουμε το νέο αριθμό αγωγών σε κάθε αύλακι από τον τύπο που αναφέραμε, μπορούμε να χρησιμοποιούμε τον Πίνακα 8.8.2.

ΠΙΝΑΚΑΣ 8.8.1.
Διάμετροι καί διατομές άγωγών γιά περιελίξεις ήλεκτρικών μηχανών

Διατομή γυμνού άγωγού mm ²	Διάμετρος γυμνού άγωγού mm	Διάμετρος άγωγού έμαγιέ mm	Διάμετρος άγωγού με μία στρώση ραιγιόν mm	Διάμετρος άγωγού με δύο στρώσεις άπό βαμβάκι mm	Άντίσταση σέ 15° C Ω/km
0,384	0,70	0,76	0,79	0,86	45,212
0,441	0,75	0,81	0,84	0,91	39,385
0,502	0,80	0,865	0,89	0,96	34,616
0,636	0,90	0,975	1,03	1,08	27,351
0,785	1,00	1,08	1,13	1,18	22,154
0,950	1,10	1,18	1,23	1,28	18,309
1,130	1,20	1,28	1,33	1,38	15,384
1,227	1,25	1,33	1,38	1,43	14,178
1,327	1,30	1,38	1,43	1,48	13,109
1,539	1,40	1,48	1,53	1,58	11,303
1,767	1,50	1,585	1,63	1,72	9,846
2,010	1,60	1,685	1,75	1,82	8,654
2,269	1,70	1,785	1,85	1,92	7,665
2,544	1,80	1,885	1,95	2,02	6,837
3,141	2,00	2,09	2,15	2,22	5,585
3,463	2,10	2,19	2,25	2,34	5,023
3,801	2,20	2,29	2,35	2,44	4,577
3,976	2,25	2,34	2,40	2,49	4,376
4,154	2,30	2,39	2,45	2,54	4,187
4,524	2,40	2,49	2,55	2,64	3,846
4,908	2,50	2,59	2,65	2,74	3,544
5,309	2,60	2,69	2,76	2,86	3,277
6,157	2,80	2,89	2,96	3,06	2,826
7,068	3,00	3,09	3,16	3,26	2,461

Ο πίνακας 8.8.2 χρησιμοποιείται ως έξης:

Στή στήλη, ή όποία αντίστοιχεί στην παλιά τάση του κινητήρα, βρίσκουμε τόν άριθμό, ό όποιος είναι ίσος με τόν παλιό άριθμό άγωγών σέ κάθε αύλάκι. Κινούμενοι άπό τόν άριθμό αυτό όριζόντια διαβά-
 ζουμε στή στήλη τής νέας τάσεως του κινητήρα τόν άριθμό άγωγών σέ κάθε αύλάκι του νέου τύλιγμα-
 τος.

Παράδειγμα.

Τριφασικός κινητήρας τάσεως 127/220 V έχει 30 άγωγούς σέ κάθε αύλάκι. Άν ό κινητήρας πρέ-
 πει νά γίνει τάσεως 220/380 V, ποίος άριθμός άγωγών πρέπει νά τοποθετηθεί σέ κάθε αύλάκι στο
 τύλιγμα;

Λύση.

Στόν Πίνακα 8.8.2 καί στή στήλη τής τάσεως κινητήρα 127/220 V βρίσκουμε τόν άριθμό 30. Κι-
 νούμενοι όριζόντια άπό τόν άριθμό 30 διαβάζουμε στή στήλη τής τάσεως 220/380 V τόν άριθμό 52.
 Άρα με 52 άγωγούς σέ κάθε αύλάκι πρέπει νά κατασκευασθεί τό νέο τύλιγμα.

ΠΙΝΑΚΑΣ 8.8.2.**Αριθμός άγωγών σε κάθε αύλακι για διάφορες τάσεις τριφασικών κινητήρων**

Τάση κινητήρα σε βόλτ (V)	110/190	115/200	127/220	220/380	380/660
Αριθμός άγωγών σε κάθε αύλακι	10	10	11	20	34
	11	11	13	22	38
	12	12	14	24	41
	13	13	15	26	45
	14	15	16	28	48
	15	16	17	30	52
	16	17	18	32	55
	17	18	20	34	59
	18	19	21	36	62
	19	20	22	38	66
	20	21	23	40	69
	21	22	24	42	72
	22	23	25	44	76
	23	24	26	46	80
	24	25	28	48	83
	25	26	29	50	86
	26	27	30	52	90
	27	28	31	54	93
	28	29	32	56	97
	29	30	33	58	100
	30	31	35	60	104
	31	32	36	62	107
	32	33	37	64	110
	33	35	38	66	114
	34	36	39	68	118
	35	37	40	70	121
	36	38	41	72	124
	37	39	43	74	128
	38	40	44	76	131
	39	41	45	78	135
	40	42	46	80	138
	41	43	47	82	142
	42	44	48	84	145

8.9 Έρωτήσεις.

1. Μέ ποιά σχέση συνδέεται η σύγχρονη ταχύτητα κινητήρα με τον αριθμό ζευγών πόλων του τυλίγματος του;
2. Ποιές είναι οι δύο βασικές κατηγορίες τυλιγμάτων έναλλασσόμενου ρεύματος και ποιο τό κύριο χαρακτηριστικό κάθε μιάς;
3. Ποιά είναι τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα των τυλιγμάτων σε μία στρώση σχετικά με τα τυλίγματα σε δύο στρώσεις;
4. Πώς διατάσσονται οι ομάδες ενός συγκροτήματος στά συγκεντρικά τυλίγματα σε μία στρώση μισής περιελίξεως; Έχουν όλες τό ίδιο βήμα; Ποιό είναι τό βήμα του τυλίγματος;
5. Ποιά είναι τα πλεονεκτήματα των τυλιγμάτων πλήρους περιελίξεως σχετικά με τα τυλίγματα μισής περιελίξεως;
6. Μέ τί ίσοῦται ὁ ἀριθμός τῶν συγκροτημάτων κάθε φάσεως στά τυλίγματα σε μία στρώση;

- 1) πλήρους περιελίξεως και 2) μισής περιελίξεως; Μέ τι ίσοῦται ὁ ἴδιος ἀριθμὸς στὰ τυλίγματα σέ δύο στρώσεις;
7. Στὰ διφασικά τυλίγματα μέ p ζεύγη πόλων, πόσο εἶναι μετατοπισμένη ἡ ἀρχή τῆς δευτέρας φάσεως ἀπὸ τὴν ἀρχή τῆς πρώτης (σέ γεωμετρικὲς μοῖρες καί σέ ὀδοντώσεις);
8. Ποιά στοιχεῖα εἶναι ἀπαραίτητο νὰ γνωρίζουμε γιὰ νὰ μπορέσουμε νὰ σχεδιάσουμε συγκεντρικὸ τριφασικὸ τίγλιμα σέ μία στρώση;
9. Μέ τι ἰσοῦται ὁ ἀριθμὸς τῶν ὁμάδων, ἀπὸ τίς ὁποῖες ἀποτελεῖται ἓνα συγκροτῆμα τυλίγματος σέ δύο στρώσεις;
10. Ἐνα κανονικὸ τίγλιμα, δηλαδὴ ἓνα τίγλιμα πού ἀνταποκρίνεται στίς τρεῖς συνθήκες τῶν κανονικῶν τυλιγμάτων, ποιά ἄλλα χαρακτηριστικά ἔχει;
11. Γιατί στὴν κατασκευὴ τῶν ἐναλλακτῆρων χρησιμοποιοῦνται τὰ μὴ κανονικά τυλίγματα μέ z_2 μὴ ἀκέραιο;
12. Γιατί χρησιμοποιοῦνται στὴν κατασκευὴ τῶν κινητῆρων ἐναλλασσόμενου ρεύματος τὰ μὴ κανονικά τυλίγματα μέ βῆμα μικρότερο ἀπὸ τὸ πολικὸ βῆμα;
13. Τίγλιμα μέ $4/8$ πόλους πόσες ταχύτητες δίνει σέ κινητῆρα καί ποιά σχέση ἔχουν μεταξύ τους; Ποιά εἶναι ἡ σχέση μεταξύ τῶν ἰσχύων, πού ἀποδίδει ὁ κινητῆρας, στίς ταχύτητες αὐτές;
14. Ἀνάφερε ἓνα ἀπὸ τοὺς τρόπους πού μποροῦμε νὰ ἔχουμε κινητῆρα μέ τρεῖς ταχύτητες, οἱ ὁποῖες νὰ ἔχουν μεταξύ τους σχέση $1/2/3$.

8.10 Προβλήματα καὶ ἀσκῆσεις.

1. Πόσες ὁμάδες ἔχει συνολικὰ τριφασικὸ τίγλιμα σέ δύο στρώσεις μέ ἀριθμὸ ὀδοντώσεων $z = 36$; Ἀπὸ πόσα συγκροτῆματα ὁμάδων ἀποτελεῖται κάθε φάση του, ὅταν ὁ ἀριθμὸς τῶν ζευγῶν πόλων εἶναι $p = 2$;
(Ἀπάντ.: 36 ὁμάδες, 4 συγκροτῆματα)
2. Προκειμένου νὰ κατασκευασθεῖ τριφασικὸ βροχουτίγλιμα σέ μία στρώση μισῆς περιελίξεως σέ τύμπανο τετραπολικῆς μηχανῆς μέ 24 ὀδοντώσεις νὰ ὑπολογισθοῦν: 1) Ὁ ἀριθμὸς τῶν ὀδοντώσεων σέ κάθε πολικὸ βῆμα. 2) Ὁ ἀριθμὸς τῶν ὀδοντώσεων σέ κάθε πολικὸ βῆμα καί φάση. 3) Ἡ μετατόπιση σέ ἀριθμὸ ὀδοντώσεων τῶν ἀρχῶν δύο διαδοχικῶν φάσεων καί 4) νὰ δοθεῖ ὁ πίνακας τῶν στοιχείων, ἀπὸ τὰ ὁποῖα ἀποτελεῖται κάθε φάση, ἀν τὰ συγκροτῆματα ὁμάδων εἶναι συνδεμένα σέ σειρά.
(Ἀπάντ.: 1) 6 ὀδοντώσεις, 2) 2 ὀδοντώσεις, 3) 4 ὀδοντώσεις, 4) Φάση U - X στοιχεῖα 1 - 7 - 2 - 8 - 13 - 19 - 14 - 20, φάση V - Y στοιχεῖα 5 - 11 - 6 - 12 - 17 - 23 - 18 - 24, φάση W - Z στοιχεῖα 9 - 15 - 10 - 16 - 21 - 3 - 22 - 4)
3. Νὰ σχεδιασθεῖ τετραπολικὸ μονοφασικὸ τίγλιμα σέ δύο στρώσεις μέ 24 ὀδοντώσεις καί σύνδεση τῶν συγκροτημάτων σέ σειρά.
(Ἀπάντ.: $z_1 = 6$ ὀδοντώσεις, $z_2 = 4$ ὀδοντώσεις. Θὰ ὑπάρχουν 2 . $p = 4$ συγκροτῆματα ἀπὸ 4 ὁμάδες τὸ καθένα. Κενὲς ὀδοντώσεις θὰ εἶναι οἱ 1, 6, 7, 12, 13, 18, 19, 24. Γιὰ τὴ σχεδίαση βλέπε καί σχῆμα 8.2ζ)
4. Νὰ σχεδιασθεῖ τὸ κύριο καί βοηθητικὸ τίγλιμα διπολικοῦ μονοφασικοῦ κινητῆρα μέ 24 ὀδοντώσεις. Τὰ τυλίγματα θὰ εἶναι σέ μία στρώση πλήρους περιελίξεως, διαμορφωμένα σέ βροχουτίγλιμα μέ ὅμοιες ὁμάδες.
(Ἀπάντ.: Τὸ κύριο τίγλιμα θὰ εἶναι ὅμοιο μέ τὸ τίγλιμα τοῦ σχήματος 8.4β. Τὸ βοηθητικὸ τίγλιμα θὰ εἶναι τοποθετημένο στίς κενὲς ὀδοντώσεις, ὅπως στὸ σχῆμα 8.3β, ἀλλὰ θὰ ἔχει ὁμάδες ὅμοιες μεταξύ τους μέ βῆμα 1-11)
5. Νὰ σχεδιασθεῖ τριφασικὸ τετραπολικὸ τίγλιμα σέ μία στρώση ἀποτελούμενο ἀπὸ συγκροτῆματα συγκεντρικῶν ὁμάδων συνδεμένων σέ σειρά. Τὸ τίγλιμα θὰ εἶναι μισῆς περιελίξεως γιὰ τύμπανο μέ 36 ὀδοντώσεις.
(Ἀπάντ.: $z_1 = 9$, $z_2 = 3$. Θὰ ὑπάρχουν σέ κάθε φάση $p = 2$ συγκροτῆματα ἀπὸ τρεῖς ὁμάδες κάθε ἓνα συνδεμένα σέ σειρά. Γιὰ τὴ σχεδίαση βλέπε καί σχῆμα 8.4α)
6. Νὰ σχεδιασθεῖ τριφασικὸ διπολικὸ τίγλιμα σέ δύο στρώσεις γιὰ μηχανὴ μέ 12 ὀδοντώσεις. Σύνδεση τῶν συγκροτημάτων τῶν ὁμάδων σέ σειρά.
(Ἀπάντ.: $z_1 = 6$, $z_2 = 2$. Θὰ ὑπάρχουν σέ κάθε φάση 2 . $p = 2$ συγκροτῆματα ἀπὸ δύο ὁμάδες κάθε ἓνα συνδεμένα σέ σειρά. Γιὰ σχεδίαση βλέπε καί σχῆμα 8.3δ)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΕΝΑΤΟ

ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΤΕΣ

9.1 Χρήση καί είδη μετασχηματιστών.

Παρουσιάζεται συχνά η περίπτωση να έχουμε ανάγκη ηλεκτρικού ρεύματος με τάση διαφορετική από την τάση του δικτύου, από τό όποιο γίνεται ή τροφοδότηση μέ ηλεκτρική ενέργεια. Π.χ. ένώ έχουμε ανάγκη ηλεκτρικού ρεύματος μέ τάση 110 V, τό δίκτυο ηλεκτροδοτήσεως έχει τάση 220 V.

Στό συνεχές ρεύμα ή περίπτωση αυτή είναι δυνατό να αντιμετωπισθεί μέ μία αντίσταση στην όποία δημιουργούμε την πώση τάσεως πού άπαιτείται. Τότε όμως έχουμε σημαντική άπώλεια ενέργειας, από ή θερμότητα πού δημιουργείται στην αντίσταση. Σέ σοβαρές περιπτώσεις αναγκαζόμαστε να χρησιμοποιήσουμε ένα **ζεϋγος κινητήρα-γεννήτριας**, όποτε ή γεννήτρια μās δίνει συνεχές ρεύμα μέ την επιθυμητή τάση, ένώ ό κινητήρας τροφοδοτείται από τό δίκτυο ηλεκτροδοτήσεως. Καί στίς δύο περιπτώσεις ό βαθμός άποδόσεως του συστήματος είναι χαμηλός ή τό πολύ μέτριος.

Η μεταφορά μεγάλων ποσοτήτων ηλεκτρικής ενέργειας, γιά να είναι οικονομικά συμφέρουσα, πρέπει να γίνεται μέ ύψηλή τάση. Στή συνέχεια όμως πρέπει αυτή ή ύψηλή τάση του ηλεκτρικού ρεύματος να υποβιβάζεται, γιά να είναι δυνατή ή διανομή του στους καταναλωτές καί μέ λογικές προφυλάξεις ή άκίνδυνη χρησιμοποίησή του από αυτούς. Τό σοβαρό αυτό πρόβλημα δέν έχει λυθεί άκόμα γιά τό συνεχές ρεύμα μέ τρόπο πού να συμφέρει οικονομικά.

Αντίθετα γιά τό έναλλασσόμενο ρεύμα υπάρχουν κατάλληλα μηχανήματα, τά όποια μάλιστα δέν έχουν κινούμενα μέρη καί τά όποια μās επιτρέπουν να άνυψώνουμε ή να υποβιβάζουμε την τάση του ρεύματος. Στά μηχανήματα αυτά, πού όνομάζονται **στατοί μετασχηματιστές** ή απλά **μετασχηματιστές**, ή μεταβολή της τάσεως του ρεύματος γίνεται μέ πολύ μικρές άπώλειες της ηλεκτρικής ενέργειας πού μεταβιβάζεται. Κατασκευάζονται σήμερα μεγάλοι μετασχηματιστές μέ βαθμό άποδόσεως πάνω από 98%, δηλαδή μέ άπώλεια κάτω από 2% της ισχύος πού μεταβιβάζεται.

Έτσι έγινε δυνατή ή παραγωγή της ηλεκτρικής ενέργειας στους μεγάλους σταθμούς παραγωγής στην πιό κατάλληλη τάση (π.χ. 15.000 V ή 20.000 V). Στή συνέχεια μέ ή χρησιμοποίηση **μετασχηματιστών άνυψώσεως** ή τάση του ρεύματος μετατρέπεται σέ ύψηλή (π.χ. 150.000 V) ή ύπερυψηλή (π.χ. 380.000 V). Μέ την τάση αυτή γίνεται μέ οικονομικό τρόπο ή μεταφορά μεγάλων ποσοτήτων ηλεκτρικής ενέργειας στους τόπους καταναλώσεως, οι όποιοι βρίσκονται συνήθως σέ

μεγάλες αποστάσεις από τους σταθμούς παραγωγής. Έκεῖ μέ τή χρησιμοποίηση **μετασχηματιστῶν ὑποβιβασμοῦ** ἡ τάση τοῦ ρεύματος μετατρέπεται στή μέση τάση τῶν δικτύων διανομῆς (π.χ. 20.000 V, 15.000 V). Τέλος ἀπό τά δίκτυα αὐτά, μέ τή μεσολάβηση πάλι μετασχηματιστῶν ὑποβιβασμοῦ, τροφοδοτοῦνται τά δίκτυα διανομῆς χαμηλῆς τάσεως (π.χ. 380/220 V), μέ τά ὁποῖα ἡ ἠλεκτρική ἐνέργεια φθάνει μέχρι τοὺς μικρότερους καταναλωτές.

Ἄν ἓνας καταναλωτής ἔχει ἀνάγκη ἠλεκτρικῆς ἐνέργειας μέ διαφορετική τάση (π.χ. 110 V) ἀπό τήν τάση τοῦ δικτύου διανομῆς, ἡ χρησιμοποίηση ἑνὸς μετασχηματιστῆ τοῦ δίνει μία ἀπλή καί οἰκονομική λύση.

Ἀπό τά παραπάνω συμπεραίνομε ὅτι ἡ δυνατότητα χρησιμοποίησεως μετασχηματιστῶν μέ τό ἐναλλασσόμενο ρεῦμα, ἔδωσε σέ αὐτό τά πλεονεκτήματα, τά ὁποῖα τό καθιέρωσαν σάν τό εἶδος τοῦ ρεύματος, τό ὁποῖο χρησιμοποιοῦν πιά ὅλες οἱ χώρες στά δίκτυα ἠλεκτροδοτήσεως τῶν καταναλωτῶν. Τό συνεχές ρεῦμα χρησιμοποιεῖται μόνο σέ εἰδικές χρήσεις. Στίς περιπτώσεις αὐτές μετατρέπομε τό ἐναλλασσόμενο ρεῦμα τοῦ δικτύου ἠλεκτροδοτήσεως σέ συνεχές μέ τή βοήθεια καταλλήλων μηχανημάτων, πού θά ἐξετάσουμε σέ ἰδιαίτερο κεφάλαιο.

Ὅταν οἱ μετασχηματιστές εἶναι κατασκευασμένοι γιά νά χρησιμοποιοῦνται στή μετατροπή τῆς τάσεως τριφασικοῦ συστήματος, ὀνομάζονται **τριφασικοί μετασχηματιστές**. Κατασκευάζονται ἐπίσης καί **μονοφασικοί μετασχηματιστές**, οἱ ὁποῖοι χρησιμοποιοῦνται σέ μονοφασικό ρεῦμα, ἡ (πράγμα πού εἶναι τό ἴδιο) γιά τή μετατροπή τῆς τάσεως μιᾶς φάσεως ἀπό ἓνα τριφασικό σύστημα.

9.2 Κατασκευή τῶν μετασχηματιστῶν.

1) Γενικά.

Τό κύριο μέρος κάθε μετασχηματιστῆ ἀποτελεῖται ἀπό ἓνα μαγνητικό κύκλωμα, στό ὁποῖο εἶναι περιελιγμένα δύο τυλίγματα, τό **τύλιγμα ὕψηλῆς τάσεως** (Y.T.) καί τό **τύλιγμα χαμηλῆς τάσεως** (X.T.).

Τό μαγνητικό κύκλωμα πού ὀνομάζεται καί **πυρήνας τοῦ μετασχηματιστῆ**, κατασκευάζεται ἀπό πολλά μαγνητικά ἐλάσματα, ὅπως αὐτά πού εἶδαμε ὅτι χρησιμοποιοῦνται στήν κατασκευή τοῦ πυρήνα τοῦ ἐπαγωγικοῦ τυμπάνου τῶν στρεφόμενων ἠλεκτρικῶν μηχανῶν. Τό πάχος τῶν ἐλασμάτων αὐτῶν εἶναι 0,35 ὡς 0,5 mm καί φέρουν ἐπιφανειακή μόνωση ἀπό εἰδικό βερνίκι γιά περιορισμό τῶν δινορρευσμάτων. Σήμερα κατασκευάζονται μαγνητικά ἐλάσματα γιά μετασχηματιστές, τά ὁποῖα ἔχουν ἐξαιρετικά χαμηλές ὀλικές ἀπώλειες. Αὐτό ἐπέτρεψε τήν κατασκευή μετασχηματιστῶν μέ πολύ καλό βαθμό ἀποδόσεως.

Τό τύλιγμα ὕψηλῆς τάσεως τῶν μετασχηματιστῶν ἀποτελεῖται ἀπό πολλές σπειρες μονωμένου χάλκινου ἀγωγοῦ κυκλικῆς ~~διατομῆς~~ διατομῆς. Τό τύλιγμα χαμηλῆς τάσεως κατασκευάζεται συνήθως ἀπό ἀγωγό ~~τετραγωνικῆς~~ ἡ ὀρθογωνικῆς διατομῆς μονωμένο μέ ταινία ἀπό χαρτί ἡ βαμβάκι. Αὐτό ἔχει πάντοτε μικρότερο ἀριθμό σπειρῶν ἀπό τό τύλιγμα Y.T. καί μεγαλύτερη διατομή ἀγωγοῦ. Τά δύο τυλίγματα εἶναι προσεκτικά μονωμένα μεταξύ τους.

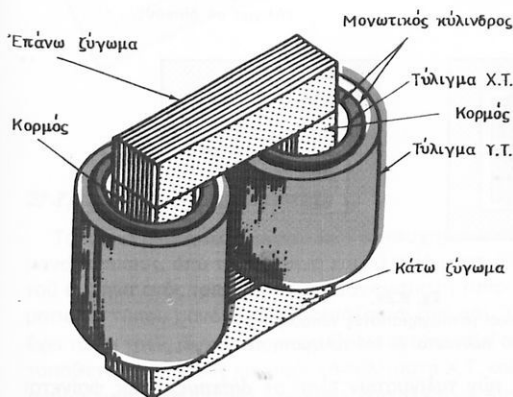
Στήν περίπτωση μετασχηματιστῶν ~~ὑποβιβασμοῦ~~ τάσεως, τό τύλιγμα Y.T. συνδέεται μέ τήν πηγή τῆς ἠλεκτρικῆς ἐνέργειας, ἐνῶ ἀπό τό τύλιγμα X.T. τροφοδοτεῖται ἡ κατανάλωση. Σέ αὐτή τήν περίπτωση τό τύλιγμα Y.T. ὀνομάζεται **πρωτεύων**

τύλιγμα ή απλά **πρωτεύον**, ενώ το τύλιγμα Χ.Τ. ονομάζεται **δευτερεύον τύλιγμα** ή **δευτερεύον**. Αντίθετα στους μετασχηματιστές ανυψώσεως τάσεως πρωτεύον ονομάζουμε το τύλιγμα Χ.Τ. και δευτερεύον το τύλιγμα Υ.Τ.

Στά επόμενα θα εξετάσουμε αναλυτικά τη μορφή και τον τρόπο κατασκευής των διαφόρων μερών των μετασχηματιστών, αρχίζοντας από τους μονοφασικούς μετασχηματιστές.

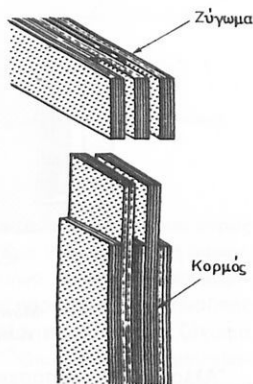
2) Μονοφασικοί μετασχηματιστές.

Το σχήμα 9.2α παριστάνει ένα μικρό μονοφασικό μετασχηματιστή. Ο πυρήνας του μετασχηματιστή, κατασκευασμένος όπως αναφέρθηκε από μαγνητικά ελάσματα, αποτελείται από τους δύο **κορμούς**, δηλαδή τα κατακόρυφα μέρη και από τα δύο ζυγώματα, δηλαδή τα οριζόντια μέρη. Το επάνω ζύγωμα αποχωρίζεται από τον υπόλοιπο πυρήνα για να είναι δυνατή η τοποθέτηση των τυλιγμάτων στους κορμούς. Στους μεγάλους μετασχηματιστές, και το κάτω ζύγωμα αποτελεί ιδιαίτερο τμήμα του πυρήνα. Ορισμένοι κατασκευαστές κάνουν τρεις ενώσεις του ζυγώματος με τους κορμούς όχι επίπεδες, όπως στο σχήμα 9.2α, αλλά θηλυκωτές, όπως φαίνεται στο σχήμα 9.2β.



Σχ. 9.2α.

Μονοφασικός μετασχηματιστής.



Σχ. 9.2β.

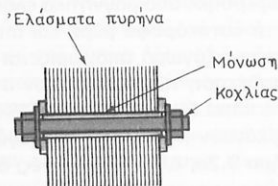
Θηλυκωτή σύνδεση κορμού-ζυγώματος.

Τα μαγνητικά ελάσματα του πυρήνα στους κορμούς συσφίγγονται μεταξύ τους με καρφιά ή βίδες, που μονώνονται προς τον πυρήνα, όπως δείχνει το σχήμα 9.2γ, για να μη βρίσκουν δρόμο διελεύσεως τα δινορρεύματα. Στους μεγάλους μετασχηματιστές, η σύσφιξη στα ζυγώματα γίνεται με σιδηροελάσματα σχήματος $\square$ και βίδες (σχ. 9.2η).

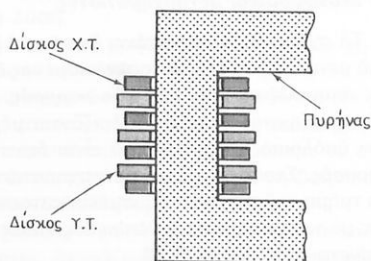
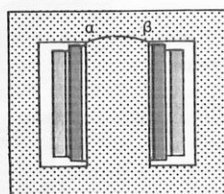
Σε κάθε κορμό του μετασχηματιστή του σχήματος 9.2α υπάρχει ένα τύλιγμα Χ.Τ. σε μορφή κυλίνδρου και ένα τύλιγμα Υ.Τ. επίσης σε κυλινδρική μορφή. Το τύλιγμα Υ.Τ. περιβάλλει το τύλιγμα Χ.Τ. και όπως φαίνεται στο σχήμα, μονώνονται

μεταξύ τους καί πρὸς τὸν κορμὸ μὲ μονωτικούς κυλίνδρους. Τὰ τυλίγματα Χ.Τ. τῶν δύο κορμῶν συνδέονται μεταξύ τους σὲ σειρά, ὥστε τελικὰ νὰ μένουν ἐλεύθερα δύο ἄκρα τοῦ τυλίγματος Χ.Τ. τοῦ μετασχηματιστῆ. Κατὰ τὸν ἴδιο τρόπο ἔχομε δύο ἄκρα τοῦ τυλίγματος Υ.Τ. "Ὅλα αὐτὰ τὰ ἄκρα συνδέονται στοὺς ἀκροδέκτες τοῦ μετασχηματιστῆ.

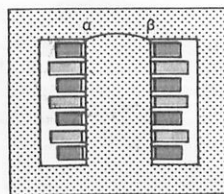
Τὰ τυλίγματα Υ.Τ. καί Χ.Τ. ὅταν κατασκευάζονται μὲ τὸν τρόπο πού ἀναφέραμε, δηλαδή τὸ ἓνα μέσα στὸ ἄλλο, ὀνομάζονται **συγκεντρικὰ ἢ κυλινδρικὰ τυλίγματα**.



Σχ. 9.2γ.

Σχ. 9.2δ.
Τύλιγμα σὲ δίσκους.

α)



β)

Σχ. 9.2ε.

Μονοφασικοὶ μετασχηματιστές τύπου μανδύα.

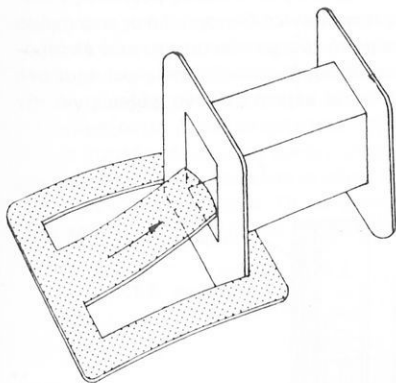
α) Μὲ κυλινδρικὰ τυλίγματα. β) Μὲ τυλίγματα σὲ δίσκους.

Ἄλλος τρόπος κατασκευῆς τῶν τυλιγμάτων εἶναι σὲ **δίσκους**, ὅπως φαίνεται στὸ σχῆμα 9.2δ. Κάθε τύλιγμα ἀποτελεῖται ἀπὸ πολλὰ τμήματα διαμορφωμένα σὲ δίσκους. Οἱ δίσκοι τοποθετοῦνται στοὺς κορμούς ἐναλλάξ, ὅπως φαίνεται στὸ σχῆμα. Τὰ τυλίγματα ὧλων τῶν δίσκων Χ.Τ. συνδέονται συνήθως σὲ σειρά, ὥστε νὰ ἔχομε πάλι δύο ἄκρα τοῦ τυλίγματος Χ.Τ. τοῦ μετασχηματιστῆ. Τὸ ἴδιο γίνεται καί μὲ τοὺς δίσκους Υ.Τ.

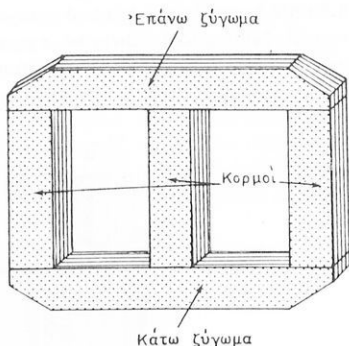
Οἱ μετασχηματιστές, πού ἔχουν τὰ τυλίγματα στοὺς δύο κορμούς, ὅπως στὸ σχῆμα 9.2α, ὀνομάζονται **μετασχηματιστές τύπου πυρήνα**. Ἄλλος τύπος μετασχηματιστῶν εἶναι οἱ **μετασχηματιστές τύπου μανδύα**. Σὲ αὐτοὺς ὁ πυρήνας ἔχει τρεῖς κορμούς, ἀπὸ τοὺς ὁποίους ὁ μεσαῖος ἔχει διπλάσια διατομὴ ἀπὸ τοὺς ἀκραίους. Στὸν κορμὸ αὐτὸ τοποθετοῦνται τὰ τυλίγματα, τὰ ὁποῖα μπορεῖ νὰ εἶναι διαμορφωμένα σὲ κυλίνδρους ἢ δίσκους, ὅπως δείχνει τὸ σχῆμα 9.2ε. Οἱ ἀκραῖοι κορμοί

χρησιμεύουν μόνο για νά κλείνει τό μαγνητικό κύκλωμα καί συνεπῶς περιβάλλουν τά τυλίγματα σάν μανδύας.

Στούς μικροὺς μονοφασικοὺς μετασχηματιστές τύπου μανδύα κάθε μαγνητικό ἔλασμα κόβεται σέ ἓνα κομμάτι, πού ἔχει τή μορφή τοῦ σχήματος 9.2ε. Στήν περίπτωση αὐτή ὁ μεσαῖος κορμός εἶναι κομμένος στό τμήμα αβ, ὥστε ἡ τοποθέτηση τῶν τυλιγμάτων σέ αὐτόν νά γίνεται ὅπως φαίνεται στό σχῆμα 9.2στ.



Σχ. 9.2στ.



Σχ. 9.2ζ.

Πυρήνας τριφασικοῦ μετασχηματιστή.

3) Τριφασικοὶ μετασχηματιστές.

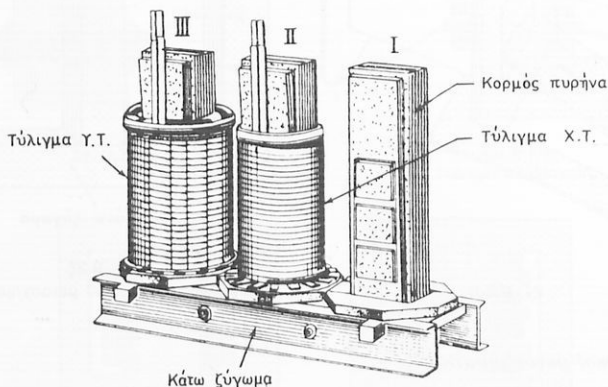
Τό κύριο μέρος τῶν τριφασικῶν μετασχηματιστῶν ἀποτελεῖται, ὅπως καί στοὺς μονοφασικοὺς, ἀπὸ τὸν πυρῆνα καί τά τυλίγματα. Τό σχῆμα 9.2ζ δείχνει τή μορφή τοῦ πυρήνα ἑνὸς τριφασικοῦ μετασχηματιστῆ τύπου πυρήνα (τριφασικοὶ μετασχηματιστές τύπου μανδύα κατασκευάζονται σπάνια). Ὅπως παρατηροῦμε, ὁ πυρῆνας ἔχει τώρα τρεῖς ἴδιους κορμούς. Πρὶν τοποθετηθεῖ στή θέση του τό ἐπάνω ζυγὼμα τοποθετοῦνται στοὺς κορμούς τά τυλίγματα Χ.Τ. καί Υ.Τ. Ὅπως καί στοὺς μονοφασικοὺς μετασχηματιστές, σέ κάθε κορμὸ ἔχομε ἓνα τύλιγμα Χ.Τ. καί ἓνα τύλιγμα Υ.Τ. Ἐτσι ἔχομε συνολικά τρία τυλίγματα, τίς *τρεῖς φάσεις τῆς Χ.Τ.* καί τίς *τρεῖς φάσεις τῆς Υ.Τ.* Δηλαδή ἔχομε ἕξι ἄκρα ἀπὸ τά τυλίγματα Χ.Τ. καί ἕξι ἄκρα ἀπὸ τά τυλίγματα Υ.Τ. Ἡ σύνδεση τῶν ἄκρων αὐτῶν μεταξύ τους καί πρὸς τοὺς ἀκροδέκτες τοῦ μετασχηματιστῆ θά ἐξηγηθεῖ σέ ἄλλη παράγραφο.

Στό σχῆμα 9.2η, στὸν κορμὸ I δέν ἔχει τοποθετηθεῖ ἀκόμη κανένα τύλιγμα. Στὸν κορμὸ II ἔχει τοποθετηθεῖ μόνο τό τύλιγμα Χ.Τ. Στὸν κορμὸ III ἔχουν τοποθετηθεῖ καί τά δύο τυλίγματα. Στήν περίπτωση τοῦ σχήματος πρόκειται γιά τυλίγματα συγκεντρικά.

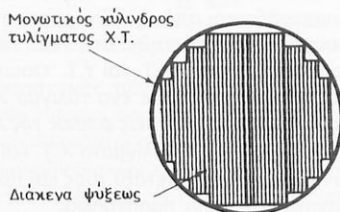
Ὅταν ὁ μετασχηματιστὴς προορίζεται γιά δίκτυα ὑψηλῆς τάσεως (π.χ. 15.000 V), τό τύλιγμα Υ.Τ. κάθε φάσεως δέν κατασκευάζεται σάν ἑνας μονοκόμματος κύλινδρος, ὅπως π.χ. στό σχῆμα 9.2α, ἀκόμα καί ἂν πρόκειται γιά συγκεντρικὸ τύλιγμα.

μα. Στην περίπτωση αυτή το τύλιγμα Υ.Τ. κάθε φάσεως κατασκευάζεται από πολλά ανεξάρτητα πηνία (γαλέττες), όπως φαίνεται στο σχήμα 9.2η, τα οποία τοποθετούνται το ένα δίπλα στο άλλο και συνδέονται σε σειρά. Με τον τρόπο αυτό πετυχαίνουμε να μην έχουμε μεγάλη τάση μεταξύ των σπειρών, που βρίσκονται στις διαδοχικές στρώσεις του τυλίγματος.

Πρέπει να αναφέρουμε επίσης ότι για την καλύτερη έκμετάλλευση του χώρου, που αφήνει ο έσωτερικός κύλινδρος του τυλίγματος Χ.Τ., στους μεγάλους μετασχηματιστές οι κορμοί δεν έχουν συνήθως τετραγωνική διατομή, όπως στο σχήμα 9.2α αλλά μεταβλητή. Αυτό το πετυχαίνουμε με το κόψιμο των μαγνητικών ελασμάτων με άνισα πλάτη, ώστε να σχηματίζουν διατομή κορμού, όπως φαίνεται στο σχήμα 9.2θ. Μεταξύ των ελασμάτων αφήνονται μερικά διάκενα ψύξεως για την κυκλοφορία του αέρα ή του λαδιού.



Σχ. 9.2η.



Σχ. 9.2θ.

Διατομή ενός κορμού από πυρήνα μετασχηματιστή.

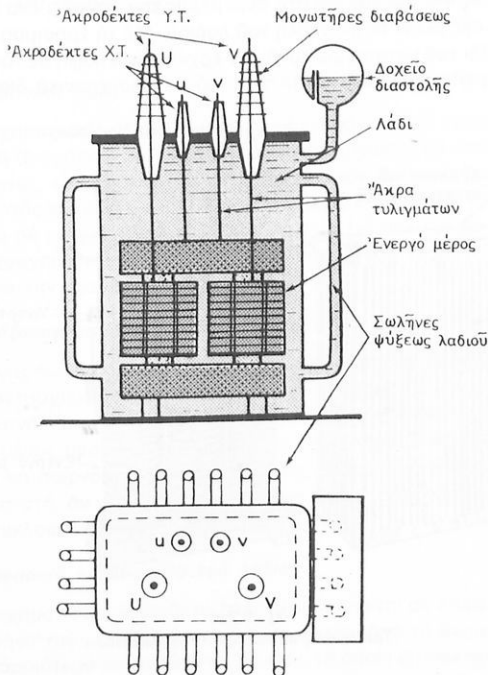
4) Μονώσεις και άκροδέκτες.

Τα τυλίγματα των μετασχηματιστών, μετά την τοποθέτησή τους στους πυρήνες, διαποτίζονται με βερνίκι και στη συνέχεια ξεραίνονται σε ειδικούς κλιβάνους. Με

τόν τρόπο αυτό όχι μόνο πετυχαίνουμε καλύτερη μόνωση αλλά επίσης τὰ τυλίγματα αποκτούν καί μεγαλύτερη δυσκαμψία, ή οποία ελαττώνει τίς δονήσεις τών άγωγών στή λειτουργία τοῦ μετασχηματιστή.

Ἡ μόνωση τών συνδέσεων μεταξύ τών τυλιγμάτων καθώς καί τών άκροδεκτῶν δέν παρουσιάζει δυσκολίες στήν πλευρά τῆς χαμηλῆς τάσεως. Τίς συνδέσεις τών τυλιγμάτων ὑψηλῆς τάσεως τίς τοποθετοῦμε μέσα σέ μονωτικούς κυλίνδρους (π.χ. από βακελίτη). Τά άκρα τών τυλιγμάτων αὐτῶν στηρίζονται σέ μονωτήρες από πορσελάνη καί αποτελοῦν τούς άκροδέκτες Υ.Τ. τοῦ μετασχηματιστή.

Όταν ὁ μετασχηματιστής εἶναι κατασκευασμένος γιά χαμηλές τάσεις, τότε ὁ πυρήνας μέ τὰ τυλίγματα, πού ὀνομάζεται καί **ένεργό μέρος** τοῦ μετασχηματιστή, εἶναι συνήθως έκτεθειμένος στόν άέρα τοῦ περιβάλλοντος. Οἱ μετασχηματιστές αὐτοί ὀνομάζονται **ξηροί μετασχηματιστές**. Όταν ὅμως εἶναι κατασκευασμένος γιά δίκτυα ὑψηλῆς τάσεως, τό ένεργό μέρος τοῦ μετασχηματιστή εἶναι τοποθετημένο μέσα σέ ἕνα λέβητα πού εἶναι γεμάτος από εἰδικό μονωτικό ὀρυκτέλαιο, τελείως άπαλλαγμένο από ὑγρασία. Οἱ μετασχηματιστές αὐτοί ὀνομάζονται **μετασχηματιστές λαδιού**. Όπως βλέπομε στό σχῆμα 9.2ι, πού δείχνει παραστατικά σέ τομή με-



Σχ. 9.2ι.

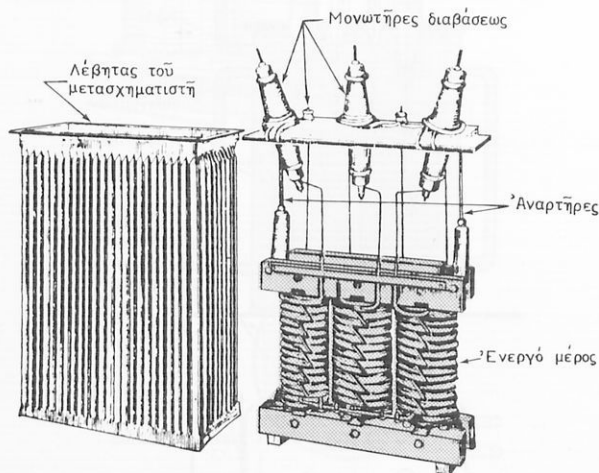
Μονοφασικός μετασχηματιστής λαδιού.

τασχηματιστή αυτού του είδους, οι μονωτήρες διαβάσεως, που αποτελούν και τους άκροδέκτες των τυλιγμάτων του μετασχηματιστή είναι στερεωμένοι στο κάλυμμα του λέβητα. Τό μέρος των μονωτήρων κάτω από τό κάλυμμα είναι βυθισμένο μέσα στό λάδι, ενώ τό μέρος επάνω από τό κάλυμμα είναι κατάλληλα διαμορφωμένο, ώστε νά μήν προκαλούνται υπερπηδήσεις, από τήν υψηλή τάση.

Σέ όρισμένους μετασχηματιστές, όπως αυτός του σχήματος 9.2ι, ο λέβητας επικοινωνεί μέ δοχείο διαστολής, τό όποιο είναι ως τά μισά γεμάτο λάδι καί επικοινωνεί μέ τόν ατμοσφαιρικό άέρα, γιά νά είναι δυνατό στό λάδι του μετασχηματιστή νά διαστέλλεται έλεύθερα, όταν αύξάνεται ή θερμοκρασία του. Ταυτόχρονα τό λάδι μέσα στό δοχείο διαστολής έχει χαμηλότερη θερμοκρασία καί δέν παθαίνει αλλοιώσεις από τόν ατμοσφαιρικό άέρα, μέ τόν όποιο βρίσκεται σέ έπαφή.

Μέ τό δοχείο διαστολής πετυχαίνουμε νά είναι πάντοτε γεμάτος μέ λάδι ο λέβητας του μετασχηματιστή. Έτσι δέν είναι δυνατό νά σχηματισθούν κάτω από τό κάλυμμα του λέβητα φυσαλίδες από άέρια λαδιού καί άέρα, οι όποιες μπορεί νά προκαλέσουν έκρηξη, όταν δημιουργηθεί κάποιος σπινθήρας.

Σέ άλλους μετασχηματιστές, οι όποιοι δέν έχουν δοχείο διαστολής, ο λέβητας είναι αεροστεγώς κλεισμένος καί στό άνω μέρος του υπάρχει ένα στρώμα από άζωτο, τό όποιο έπιτρέπει τή διαστολή του λαδιού. Μέ τή χρησιμοποίηση του άζώτου τό ζεστό λάδι του μετασχηματιστή δέν έρχεται σέ έπαφή μέ τόν ατμοσφαιρικό άέρα καί διατηρείται σέ καλή κατάσταση γιά μεγάλα χρονικά διαστήματα.



Σχ. 9.2ια.

Τριφασικός μετασχηματιστής λαδιού.

Στούς μετασχηματιστές λαδιού τό ενεργό μέρος του μετασχηματιστή είτε στήριζεται στόν πυθμένα του λέβητα, όπως στό μετασχηματιστή του σχήματος 9.2ι, είτε κρεμιέται από τό κάλυμμα του λέβητα μέ δύο αναρτήρες, όπως φαίνεται στό

σχήμα 9.21α. Στην περίπτωση αυτή, αν χρειασθεί να αποσυναρμολογήσουμε το μετασχηματιστή, θά πρέπει να έχουμε υπόψη μας ότι με το κάλυμμα θά ανυψώσουμε και το ένεργό μέρος.

9.3 Ψύξη των μετασχηματιστών.

Αν και οι μετασχηματιστές είναι από τις ηλεκτρικές μηχανές, που έχουν τους καλύτερους βαθμούς αποδόσεως, όμως στη λειτουργία τους θερμαίνονται και αυτοί, όπως κάθε ηλεκτρική μηχανή, από τη θερμότητα που παράγεται από τις μαγνητικές και ηλεκτρικές απώλειες, τις οποίες θά εξετάσουμε σε άλλη παράγραφο.

Κατά την κατασκευή των μετασχηματιστών λαμβάνονται κατάλληλα μέτρα, ώστε να διευκολύνεται η μετάδοση της θερμότητας των απωλειών στον περιβάλλοντα χώρο. Δηλαδή λαμβάνονται μέτρα για την **ψύξη των μετασχηματιστών**, ώστε η θερμοκρασία τους στη λειτουργία να μην ανεβαίνει σε όρια επικίνδυνα για τις μονώσεις. Πρέπει να σημειωθεί ότι τα όρια αυτά έχουν σημαντικά αυξηθεί τα τελευταία χρόνια χάρη στη χρησιμοποίηση νέων μονωτικών υλικών.

Ανάλογα με τον τρόπο ψύξεως τους μετασχηματιστές τους διακρίνουμε σε:

α) Ξηρούς με φυσική ψύξη.

Στους μετασχηματιστές αυτούς η εξωτερική επιφάνεια του ένεργου μέρους του μετασχηματιστή (επιφάνεια ψύξεως), με την οποία έρχονται σε έπαφή με τον αέρα του περιβάλλοντος, είναι αρκετή για την εξασφάλιση ικανοποιητικής ψύξεως.

Ο τρόπος αυτός ψύξεως είναι ο πιο οικονομικός, δεν μπορεί όμως να εφαρμοσθεί παρά μόνο σε μετασχηματιστές μικρής ισχύος (τό πολύ μέχρι 25 kVA). Όταν η ισχύς του μετασχηματιστή είναι μεγαλύτερη τότε η εξωτερική του επιφάνεια δεν είναι αρκετή για την εξασφάλιση της ψύξεως.

β) Ξηρούς με εξαναγκασμένη κυκλοφορία του αέρα ψύξεως.

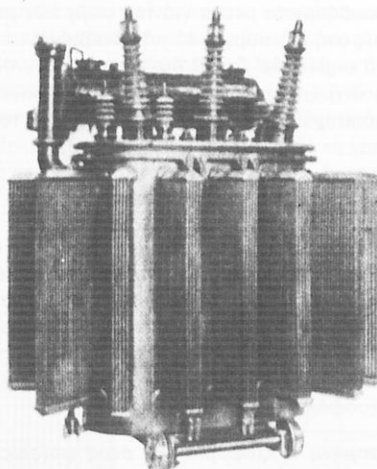
Σε αυτούς ένας άνεμιστήρας επιταχύνει τη μετάδοση της θερμότητας των απωλειών από το μετασχηματιστή στον περιβάλλοντα αέρα. Ο μετασχηματιστής έχει τότε διόδους (κανάλια) για την κυκλοφορία του αέρα στον πυρήνα και τα τυλίγματα και είναι κλεισμένος μέσα σε ένα μεταλλικό περίβλημα. Στους μετασχηματιστές αυτούς πρέπει να παίρνομε μέτρα προστασίας, δηλαδή να σταματά η λειτουργία του μετασχηματιστή, αν για οποιοδήποτε λόγο σταματήσει να λειτουργεί ο άνεμιστήρας, που κυκλοφορεί τον αέρα ψύξεως.

γ) Λαδιού με φυσική κυκλοφορία του λαδιού.

Στους μετασχηματιστές λαδιού, το λάδι, που βρίσκεται σε έπαφή με τα τυλίγματα και τον πυρήνα του μετασχηματιστή, θερμαίνεται από τη θερμότητα των απωλειών, γίνεται αραιότερο και ανεβαίνει. Το λάδι, το οποίο βρίσκεται σε έπαφή με τα τοιχώματα του λέβητα και που έχει μεταδώσει σε αυτά μέρος της θερμότητάς του, έχει μεγαλύτερη πυκνότητα και συνεπώς κατεβαίνει και παίρνει τη θέση του θερμού λαδιού. Με τον τρόπο αυτό σχηματίζεται ένα ρεύμα λαδιού, το οποίο παίρνει

τή θερμότητα των άπωλειών από τό ενεργό μέρος του μετασχηματιστή καί τή μεταφέρει στά τοιχώματα του λέβητα, όποτε από εκεί μεταδίδεται στον περιβάλλοντα ατμοσφαιρικό αέρα.

Γιά νά αύξηθει ή ταχύτητα μεταδόσεως τής θερμότητας στον ατμοσφαιρικό αέρα, των μετασχηματιστών λαδιού ισχύος μεγαλύτερης από 25 kVA περίπου, οί κατασκευαστές τοποθετούν στά πλευρά του λέβητα σωληνες (σχ. 9.2ι), πτερύγια (σχ. 9.2ια) ή σώματα ψύξεως παρόμοια μέ τά σώματα των κεντρικών θερμάνσεων (σχ. 9.3), τά όποια έπικοινωνούν μέ τό επάνω καί κάτω μέρος των πλευρών του λέβητα. Έτσι, αύξάνεται σημαντικά ή επιφάνεια έπαφής του λαδιού μέ τά τοιχώματα του λέβητα καί των τοιχωμάτων μέ τον ατμοσφαιρικό αέρα. Ό τρόπος αυτός εφαρμόζεται συνήθως στους μετασχηματιστές μέ μέτρια ισχύ (15 ως 1000 kVA).



Σχ. 9.3.

Μετασχηματιστής λαδιού μέ σώματα ψύξεως.

Γιά νά αύξηθει ακόμα περισσότερο ή ταχύτητα ψύξεως στους μεγάλους μετασχηματιστές (π.χ. μέ ισχύ 10.000 kVA) χρησιμοποιούνται άνεμιστήρες, οί όποιοι θέτουν σέ κίνηση τον αέρα, πού περιβάλλει τίς σωληνώσεις ή τά σώματα ψύξεως. Οί άνεμιστήρες αυτοί μπαίνουν σέ λειτουργία, όταν τό φορτίο του μετασχηματιστή περάσει ένα όριο, π.χ. τό μισό του κανονικού φορτίου.

δ) Λαδιού μέ εξαναγκασμένη κυκλοφορία του λαδιού.

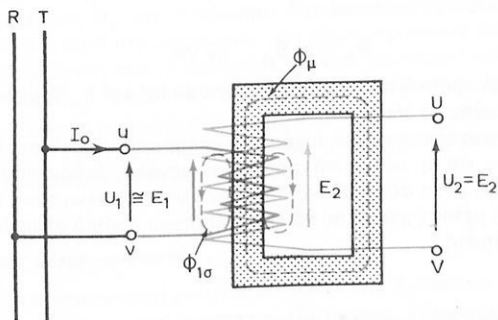
Σέ αυτή τή μέθοδο ψύξεως, πού εφαρμόζεται σέ μετασχηματιστές μεγάλης ισχύος (π.χ. 50.000 kVA), τό λάδι όδηγείται μέ τή βοήθεια άντλίας καί σωληνώσεων από τό επάνω μέρος του μετασχηματιστή σέ ιδιαίτερο ψυγείο πού βρίσκεται έξω από αυτόν. Στο ψυγείο τό λάδι ψύχεται είτε μέ τον ατμοσφαιρικό αέρα μέ τή βοήθεια άνεμιστήρων, είτε μέ ψυχρό νερό πού κυκλοφορεί έξωτερικά των ψυ-

γείων. Ἀφοῦ δώσει τή θερμότητά του τό λάδι ἐπανέρχεται στό κάτω μέρος τοῦ μετασχηματιστή.

9.4 Ἡ ἀρχή τῆς λειτουργίας τῶν μετασχηματιστῶν.

1) Μονοφασικοί μετασχηματιστές.

Τό σχῆμα 9.4α παριστάνει ἕνα μονοφασικό μετασχηματιστή, στόν ὁποῖο χάρις ἀπλότητας δεχόμαστε ὅτι ὑπάρχουν τυλίγματα μόνο στόν ἕνα κορμό τοῦ πυρήνα. Τό πρωτεύον τυλίγμα (Χ.Τ. στό σχῆμα) τροφοδοτεῖται ἀπό δίκτυο μέ ἐναλλασσόμενη τάση πού ἔχει ἐνδεικνυμένη τιμή U_1 . Τό δευτερεύον τυλίγμα (Υ.Τ. στό σχῆμα) εἶναι ἀνοικτό, δηλαδή δέν ἔχει συνδεθεῖ κατανάλωση σέ αὐτό.



Σχ. 9.4α.

Λειτουργία μετασχηματιστή χωρίς φορτίο.

Ἡ ἐναλλασσόμενη τάση U_1 δημιουργεῖ στό πρωτεύον τυλίγμα μία ἐναλλασσόμενη ἔνταση I_0 . Ἀποτέλεσμα τῆς ἐντάσεως αὐτῆς εἶναι, ὅπως γνωρίζουμε ἀπό τήν Ἠλεκτροτεχνία, νά ἀναπτυχθεῖ μέσα στόν πυρήνα τοῦ μετασχηματιστή μαγνητική ροή Φ_μ , πού κλείνει κύκλωμα ὅπως φαίνεται στό σχῆμα. Μποροῦμε νά δεχθοῦμε ὅτι ἡ μαγνητική ἀντίσταση τοῦ κυκλώματος αὐτοῦ εἶναι σταθερή. Αὐτό πλησιάζει πολύ στήν πραγματικότητα, ὅταν ἡ μαγνητική ἐπαγωγή στόν πυρήνα δέν εἶναι μεγάλη. Τότε ἡ μαγνητική ροή πού δημιουργεῖται ἀπό τήν ἐναλλασσόμενη ἔνταση I_0 θά εἶναι καί αὐτή ἐναλλασσόμενη, δηλαδή ἡ μεταβολή της μέ τό χρόνο θά παριστάνεται ἀπό μία ἡμιτονοειδή καμπύλη. Ἡ συχνότητα f τῆς ἐναλλασσόμενης αὐτῆς μαγνητικῆς ροῆς θά εἶναι ἡ ἴδια μέ τή συχνότητα τῆς I_0 , δηλαδή μέ τή συχνότητα τοῦ δικτύου τροφοδοτήσεως.

Μέσα ἀπό τό δευτερεύον τυλίγμα περνᾷ συνεπῶς μία ἐναλλασσόμενη, δηλαδή μεταβαλλόμενη μέ τό χρόνο μαγνητική ροή. Γνωρίζουμε ἀπό τήν Ἠλεκτροτεχνία ὅτι μέσα σέ αὐτό θά ἀναπτυχθεῖ ἡλεκτρεγερτική δύναμη ἀπό ἐπαγωγή, πού εἶναι καί αὐτή ἐναλλασσόμενη τῆς ἴδιας συχνότητας f . Ἡ ἐνδεικνυμένη τιμή της δίνεται ἀπό τή σχέση:

$$E_2 = 4,44 \cdot f \cdot w_2 \cdot \Phi_\mu \quad \text{σέ Vs}$$

όπου: f είναι η συχνότητα σέ Hz, w_2 ο αριθμός σπειρών του δευτερεύοντος τυλίγματος καί Φ_μ η μέγιστη τιμή σέ Vs τής (ήμιτονοειδούς) μαγνητικής ροής.

Μπορούμε νά πούμε ότι τό δευτερεύον τύλιγμα λειτουργεί σάν μιά μονοφασική γεννήτρια μέ ηλεκτρεγερτική δύναμη E_2 , από τήν όποία μπορούμε νά τροφοδοτήσουμε μονοφασικό καταναλωτή, συνδέοντας τά άκρα του στους άκροδέκτες U καί V.

Όπως παρατηρούμε, η ηλεκτρεγερτική δύναμη E_2 είναι άνάλογη του άριθμού των σπειρών w_2 του δευτερεύοντος. Άρα είναι δυνατό νά γίνει όσο θέλομε μεγάλη, άρκεί νά τοποθετήσμε τόν κατάλληλο άριθμό σπειρών (καί οι μονώσεις νά άντέχουν στήν τάση πού θά δημιουργηθεί).

Η μαγνητική ροή Φ_μ ύπολογίζεται από τή μέγιστη τιμή B_μ τής μαγνητικής έπαγωγής, τήν όποία θέλομε νά έχομε στόν κορμό του πυρήνα καί από τήν πραγματική διατομή (διατομή σιδήρου) του κορμού:

$$\Phi_\mu = s \cdot B_\mu \quad \text{σέ Vs}$$

όπου: s είναι η πραγματική διατομή του πυρήνα σέ m^2 καί B_μ η μέγιστη τιμή τής μαγνητικής έπαγωγής σέ Vs/ m^2 .

Στους μετασχηματιστές μεγάλης ισχύος η διατομή του κορμού του πυρήνα είναι μεγάλη. Συνεπώς καί η μαγνητική ροή είναι μεγάλη, δεδομένου ότι τό B_μ εκλέγεται συνήθως μέσα σέ όρισμένα όρια. Άρα γιά όρισμένη τάση δευτερεύοντος E_2 , ο μεγάλος μετασχηματιστής θά έχει μικρότερο άριθμό σπειρών w_2 από τό μικρό μετασχηματιστή.

Παράδειγμα.

Μετασχηματιστής έχει διατομή κορμού $10 \text{ cm} \times 10 \text{ cm}$. Άν η μέγιστη τιμή τής μαγνητικής έπαγωγής είναι $B_\mu = 1 \text{ Vs}/m^2$ καί η συχνότητα του έναλλασσόμενου ρεύματος πού τροφοδοτεί τό πρωτεύον είναι $f = 50 \text{ Hz}$ νά βρεθεί:

α) Ποιά ηλεκτρεγερτική δύναμη δημιουργείται στό δεύτερευον, όταν αυτό έχει $w_2 = 200$ σπείρες καί β) ποίος πρέπει νά είναι ο άριθμός των σπειρών w_2 του δευτερεύοντος γιά νά δίνει τήν ίδια ηλεκτρεγερτική δύναμη, όταν η διατομή του κορμού έχει διαστάσεις $15 \text{ cm} \times 15 \text{ cm}$.

Λύση.

α) Η διατομή του κορμού είναι:

$$s' = 0,1 \times 0,1 = 0,01 \text{ m}^2$$

Γιά νά βρούμε τήν πραγματική διατομή του πυρήνα στόν κορμό, μετά τήν άφαίρεση των έπιφανειακών μονώσεων των έλασμάτων κλπ. παίρνομε συνήθως τά $9/10$ τής s' . Δηλαδή είναι:

$$s = 0,9 \cdot s' = 0,9 \times 0,01 = 0,009 \text{ m}^2$$

$$\text{Άρα:} \quad \Phi_\mu = s \cdot B_\mu = 0,009 \times 1 = 0,009 \text{ Vs}$$

$$\text{καί} \quad E_2 = 4,44 \cdot f \cdot w_2 \cdot \Phi_\mu = 4,44 \times 50 \times 200 \times 0,009 = 399 \text{ V}$$

β) Τώρα είναι: $s = 0,9 \cdot s' = 0,9 \times 0,015 \times 0,015 = 0,02 \text{ m}^2$

Άρα: $\Phi_\mu = s \cdot B_\mu = 0,02 \times 1 = 0,02 \text{ Vs}$

$$\text{καί} \quad w_2 = \frac{E_2}{4,44 \cdot f \cdot \Phi_\mu} = \frac{399}{4,44 \times 50 \times 0,02} \cong 90 \text{ σπείρες}$$

Μέ ὁμοιο τρόπο, ὅπως ἐξηγήθηκε γιὰ τὸ δευτερεῖον τύλιγμα, δημιουργεῖται καὶ στὸ πρῶτεῖον ἡλεκτρεγερτικὴ δύναμη ἀπὸ ἐπαγωγή E_1 ἡ ὁποία ὅμως δρᾷ ἐδῶ σὰν ἀντιηλεκτρεγερτικὴ δύναμη πρὸς τὴν τάση U_1 . Ἡ ἐνδείκνυμένη τιμὴ τῆς δίνεται ἀπὸ τὴ σχέση:

$$E_1 = 4,44 \cdot f \cdot w_1 \cdot \Phi_\mu$$

ὅπου: w_1 εἶναι ὁ ἀριθμὸς σπειρῶν τοῦ πρῶτεῖοντος τυλίγματος, Φ_μ ἡ μέγιστη τιμὴ σέ Vs τῆς μαγνητικῆς ροῆς καὶ f ἡ συχνότητα τοῦ ρεύματος σέ Hz.

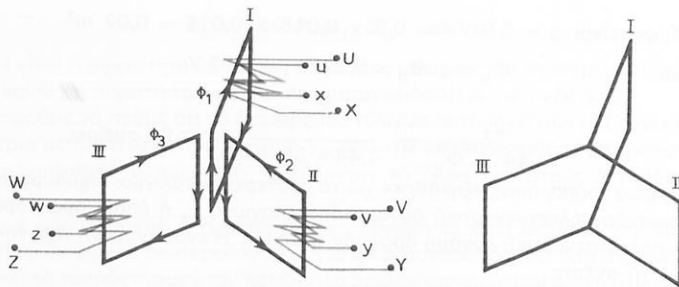
Ἡ μαγνητικὴ ροὴ Φ_μ (σχ. 9.4α) εἶναι ἡ **χρήσιμη μαγνητικὴ ροὴ τοῦ μετασχηματιστῆ**, γιατί συντελεῖ στὴ δημιουργία τῶν ἡλεκτρεγερτικῶν δυνάμεων. Ἡ ἐντάση I_0 ὅμως διερχόμενη ἀπὸ τὸ πρῶτεῖον τύλιγμα δημιουργεῖ καὶ **μία πρῶτεῖουσα ροὴ σκεδάσεως** $\Phi_{1\sigma}$ ἡ ὁποία κλείνει κύκλωμα μέ τὸν ἀέρα, ὅπως φαίνεται στὸ σχῆμα 9.4α. Ἄν καὶ ἡ ροὴ αὐτὴ εἶναι μικρὸ ποσοστὸ τῆς χρήσιμης μαγνητικῆς ροῆς (κάτω ἀπὸ 0,5%), ἔχει ἰδιαίτερη σημασία στὴ λειτουργία τοῦ μετασχηματιστῆ, γιατί δημιουργεῖ αὐτεπαγωγικὴ πτώση τάσεως.

2) Τριφασικοὶ μετασχηματιστές.

Τρεῖς ὅμοιοι μονοφασικοὶ μετασχηματιστές εἶναι δυνατό νά χρησιμοποιηθοῦν σέ τριφασικὸ σύστημα γιὰ τὴ μετατροπὴ τῆς τάσεως. Ἡ λύση αὕτη χρησιμοποιεῖται γιὰ μεγάλες ἰσχεῖς καὶ πολὺ ὑψηλές τάσεις. Στὶς ἄλλες περιπτώσεις χρησιμοποιοῦνται οἱ τριφασικοὶ μετασχηματιστές, πού περιγράψαμε στὴν παράγραφο 9.2, ἐδάφιο 3.

Γιὰ νά ἐξηγήσουμε τὴν ἀρχὴ λειτουργίας τῶν τριφασικῶν μετασχηματιστῶν, ἄς πάρουμε τρεῖς μονοφασικοὺς μετασχηματιστές μέ τυλίγματα μόνο στὸν ἓνα κορμό. Οἱ μετασχηματιστές ἔχουν τοποθετηθεῖ σέ διάταξη ἀκτινωτῆ ἔτσι, ὥστε οἱ κορμοί, οἱ ὁποῖοι δέν ἔχουν τυλίγματα, νά εἶναι ἐνωμένοι, ὅπως φαίνεται στὸ ἀριστερὸ μέρος τοῦ σχήματος 9.4β. Ἄν τὰ πρῶτεῦοντα τυλίγματα, π.χ. τὰ τυλίγματα χαμηλῆς τάσεως u-x, v-y καὶ w-z τὰ ἐνώσουμε μεταξύ τους σέ ἀστέρα ἢ σέ τρίγωνο καὶ τὰ συνδέσουμε σέ τριφασικὸ δίκτυο, τότε, ὅπως γνωρίζουμε ἀπὸ τὴν Ἠλεκτροτεχνία, οἱ ἐντάσεις, πού θὰ περάσουν ἀπὸ αὐτά, θὰ ἔχουν κάθε στιγμὴ ἄθροισμα μηδέν. Ἄρα μηδενικὸ ἄθροισμα θὰ ἔχουν καὶ οἱ στιγμιαῖες τιμές Φ_1 , Φ_2 καὶ Φ_3 τῶν μαγνητικῶν ροῶν, πού θὰ δημιουργηθοῦν στοὺς τρεῖς πυρῆνες ἀπὸ τίς ἐντάσεις αὐτές. Δηλαδή ἀπὸ τοὺς τρεῖς ἐνωμένους κορμούς δέν θὰ περνᾷ μαγνητικὴ ροὴ. Συνεπῶς μπορούμε νά ἀφαιρέσουμε τοὺς κορμούς αὐτοὺς καὶ νά ἔχομε τριφασικὸ μετασχηματιστὴ μέ πυρῆνα, ὅπως φαίνεται στὸ δεξιὸ μέρος τοῦ σχήματος 9.4β.

Ἡ κατασκευὴ τοῦ πυρῆνα ὅπως τὸν δείχνει τὸ σχῆμα παρουσιάζει σημαντικὲς δυσκολίες, ἐνῶ ταυτόχρονα ἓνας μετασχηματιστὴς μέ τέτοιο πυρῆνα θὰ εἶχε μεγάλο ὄγκο. Γι' αὐτοὺς τοὺς λόγους, τοὺς τριφασικοὺς μετασχηματιστές τοὺς κατα-



Σχ. 9.4β.

σκευάζουν με πυρήνα που έχει τη μορφή του σχήματος 9.2ζ. Αυτό συνεπάγεται μία μικρή άσυμμετρία στις μαγνητικές ροές, χωρίς όμως ιδιαίτερη σημασία.

Σέ κάθε κορμό του πυρήνα του τριφασικού μετασχηματιστή τοποθετείται, όπως έξηγήσαμε, ένα τύλιγμα Χ.Τ. και ένα Υ.Τ. Έτσι κάθε κορμός συμπεριφέρεται σαν μονοφασικός μετασχηματιστής. Στα επόμενα, όπου θα ασχοληθούμε με τη λειτουργία των μετασχηματιστών, θα εξετάσουμε μονοφασικούς μετασχηματιστές. Τα συμπεράσματα όμως, στα οποία θα καταλήξουμε, εφαρμόζονται εύκολα και στους τριφασικούς μετασχηματιστές. Άρκει νά έχουμε υπόψη μας, ότι η ηλεκτρεγερτική δύναμη, ή τάση και η ένταση του μονοφασικού μετασχηματιστή είναι τα αντίστοιχα φασικά μεγέθη για τους τριφασικούς μετασχηματιστές. Άνάλογα με τη σύνδεση των τυλιγμάτων των μετασχηματιστών αυτών, είναι εύκολο τά φασικά μεγέθη νά μετατραπούν σε πολικά.

9.5 Λειτουργία των μετασχηματιστών χωρίς φορτίο.

Όταν ο μετασχηματιστής εργάζεται χωρίς φορτίο στο δευτερεύον (σχ. 9.4α) ή ένταση I_0 είναι μικρό ποσοστό της ονομαστικής του έντάσεως (1 ως 5% για τους μέτριου και μεγάλου μεγέθους μετασχηματιστές, φθάνει μέχρι 10% για τους μικρούς). Άρα, είναι πολύ μικρές τόσο ή ώμική πώση τάσεως ($I_0 \cdot R_1$) στο πρωτεύον τύλιγμα λόγω της ώμικής αντίστασεως του άγωγού, όσο και ή ατέπαγωγική πώση τάσεως ($I_0 \cdot X_1$) λόγω της ροής σκεδάσεως. Συνεπώς στη λειτουργία χωρίς φορτίο ή τάση U_1 είναι ίση με μεγάλη προσέγγιση πρὸς τήν ηλεκτρεγερτική δύναμη E_1 που δημιουργείται στο πρωτεύον:

$$U_1 = E_1$$

Στό δευτερεύον τύλιγμα στη λειτουργία χωρίς φορτίο είναι:

$$U_2 = E_2$$

Άρα μπορούμε νά γράψουμε:

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{4,44 \cdot f \cdot w_1 \cdot \Phi_{\mu}}{4,44 \cdot f \cdot w_2 \cdot \Phi_{\mu}} = \frac{w_1}{w_2} = K$$

Δηλαδή στη λειτουργία χωρίς φορτίο τοῦ μετασχηματιστῆ ὁ λόγος τῶν τάσεων πρῶτεύοντος καί δευτερεύοντος εἶναι ἴσος μέ τὸ λόγο τῶν ἀριθμῶν σπειρῶν τῶν ἀντιστοιχῶν τυλιγμάτων. Ὁ τελευταῖος αὐτός λόγος w_1/w_2 ὀνομάζεται **σχέση μεταφορᾶς K τοῦ μετασχηματιστῆ**.

Παράδειγμα.

Ποῖος εἶναι ὁ ἀριθμὸς σπειρῶν w_1 ἐνός μετασχηματιστῆ, ὁ ὁποῖος ἔχει $w_2 = 2000$, καί ὁ ὁποῖος στη λειτουργία χωρίς φορτίο ὅταν τροφοδοτήθηκε μέ τάση $U_1 = 12 \text{ V}$ ἔδωσε $U_2 = 120 \text{ V}$; Ποιά εἶναι ἡ σχέση μεταφορᾶς τοῦ μετασχηματιστῆ;

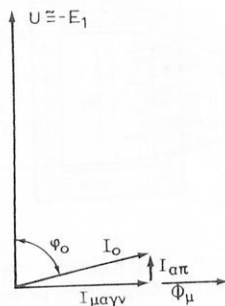
Λύση.

$$\text{Εἶναι} \quad \frac{U_1}{U_2} = \frac{w_1}{w_2}$$

$$\text{Ἄρα:} \quad w_1 = w_2 \cdot \frac{U_1}{U_2} = 2000 \times \frac{12}{120} = 200 \text{ σπεῖρες}$$

Ἡ σχέση μεταφορᾶς εἶναι:

$$K = \frac{w_1}{w_2} = \frac{200}{2000} = 0,1 \quad \text{ἢ} \quad \frac{1}{10}$$



Σχ. 9.5.

Στη λειτουργία χωρίς φορτίο ἡ ἔνταση I_0 ἔχει φασική ἀπόκλιση ϕ_0 πρὸς τὴν τάση U_1 περίπου ἴση μέ 90° . Στὴν πραγματικότητα, λόγω τῶν μαγνητικῶν ἀπωλειῶν τοῦ μετασχηματιστῆ, ἡ ϕ_0 εἶναι μικρότερη ἀπὸ 90° , ὅπως φαίνεται στό σχῆμα 9.5. Ἡ I_0 ἀναλύεται σέ μία ἔνταση $I_{\text{μαγν}}$, ἡ ὁποία προκαλεῖ τὴ μαγνήτιση τοῦ πυρήνα καί δέν ξοδεύει ἰσχύ, καί σέ μία ἔνταση $I_{\text{απ}}$, ἡ ὁποία εἶναι σέ φάση μέ τὴν τάση U_1

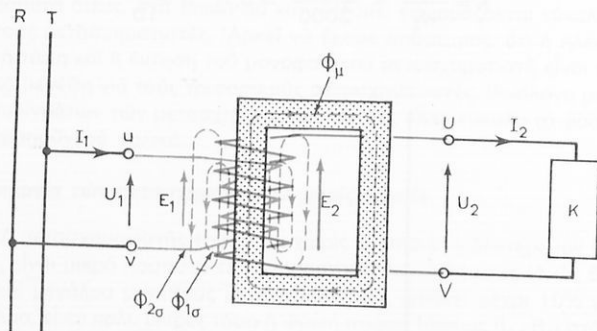
καί δίνει τήν ισχύ γιά τίς μαγνητικές απώλειες στόν πυρήνα (ἀπό ὑστέρηση καί δι-
νορρέυματα). Ἡ $I_{\text{αν}}$ εἶναι περίπου 10% τῆς I_0 , ὁπότε εἶναι $\sin \phi_0 \cong 0,1$.

Οἱ μαγνητικές απώλειες τοῦ μετασχηματιστῆ εἶναι πρακτικά οἱ ἴδιες, τόσο στή
λειτουργία μέ φορτίο ὥς καί χωρίς φορτίο καί μποροῦν νά μετρηθοῦν μέ ἕνα βατ-
τόμετρο, τό ὁποῖο συνδέομε στό πρωτεῦον τύλιγμα. Στή λειτουργία χωρίς φορτίο
ἡ ἐνδειξη τοῦ βαττόμετρου εἶναι ἴση μέ τίς μαγνητικές απώλειες, γιατί οἱ ἡλεκτρι-
κές απώλειες ($I_0^2 \cdot R_1$) εἶναι ἀμελητέες. Οἱ μαγνητικές απώλειες στοὺς μετασχηματι-
στές μέ μέτριο βαθμό ἀποδόσεως δέν ὑπερβαίνουν τά 4 ὡς 5% τῆς ὀνομαστικῆς ἰ-
σχύος, φθάνουν δέ μέχρι 1% στοὺς μετασχηματιστές μέ καλὸ βαθμό ἀποδόσεως.
Ἐπειδὴ εἶναι πολὺ μικρές οἱ μαγνητικές απώλειες, τοὺς μετασχηματιστές μποροῦ-
με νά τοὺς ἀφήνομε συνδεμένους στό δίκτυο τροφοδοτήσεως καί τίς ὥρες στίς ὁ-
ποῖες δέν ὑπάρχει φορτίο πού νά τροφοδοτεῖται ἀπὸ τὸ δευτερεῦον τους.

9.6 Λειτουργία τῶν μετασχηματιστῶν μέ φορτίο.

1) Φόρτιση μετασχηματιστῆ.

“Ὅταν συνδέσουμε ἕνα καταναλωτὴ K στό δευτερεῦον τοῦ μετασχηματιστῆ (σχ.
9.6α), πού τὸ πρωτεῦον του τροφοδοτεῖται μέ σταθερὴ τάση U_1 , ἀπὸ τὸ δευτε-
ρεῦον τύλιγμα θά περάσει μιά ἐναλλασσόμενη ἔνταση μέ ἐνδεικνυμένη τιμὴ I_2 .



Σχ. 9.6α.

Λειτουργία μετασχηματιστῆ μέ φορτίο.

Ταυτόχρονα ἡ ἔνταση, τὴν ὁποία τὸ πρωτεῦον ἀπορροφᾷ ἀπὸ τὸ δίκτυο τροφοδο-
τήσεως, θά αὐξηθεῖ **αὐτόματα** ἀπὸ I_0 σέ I_1 . Αὐτό, πού μπορούμε νά τὸ διαπιστώσο-
με πειραματικά, ἐξηγεῖται καί θεωρητικά, καί ὀφείλεται στὰ φαινόμενα τῆς ἡλε-
κτρομαγνητικῆς ἐπαγωγῆς. Τελικὰ τὴν ισχύ, τὴν ὁποία ἀπορροφᾷ ὁ καταναλωτὴς
ἀπὸ τὸ δευτερεῦον τύλιγμα, μαζί μέ τίς απώλειες τοῦ μετασχηματιστῆ, τὴν δίνει τὸ
δίκτυο, πού τροφοδοτεῖ τὸ πρωτεῦον τύλιγμα.

Χωρὶς νά ἐπεκταθοῦμε περισσότερο, θά ἀναφέρομε μόνο, ὅτι στή φόρτιση τοῦ
μετασχηματιστῆ ἡ μαγνητικὴ ροή Φ_μ , πού περνᾷ μέσα ἀπὸ τὸν πυρήνα μένει
περίπου ἡ ἴδια, ὅση ἦταν στή λειτουργία χωρίς φορτίο. Ἡ Φ_μ ἐξαρτᾶται μόνο ἀπὸ

τά κατασκευαστικά στοιχεία του μετασχηματιστή και όχι από τις συνθήκες φορτίσεώς του. Αυτό γίνεται, γιατί όταν ή I_0 γίνει I_1 τα περισσότερα άμπερελίγματα του πρωτεύοντος του μετασχηματιστή εξουδετερώνονται από τα αντίθετα άμπερελίγματα που δημιουργούνται από τό δευτερεύον τύλιγμα λόγω τής έντάσεως φορτίσεως I_2 .

2) Σχέσεις μεταξύ έντάσεων και τάσεων.

“Αν μετρήσουμε τίσ έντάσεις I_1 και I_2 , θά διαπιστώσουμε ότι μέ άρκετή προσέγγιση ισχύει ή σχέση:

$$\frac{I_2}{I_1} = \frac{w_1}{w_2} = K \quad \eta \quad I_2 = K \cdot I_1$$

Μέ προσέγγιση επίσης ισχύει και μέ φορτίο ή σχέση, πού είδαμε ότι ισχύει χωρίς φορτίο:

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{w_1}{w_2} = K \quad \eta \quad U_2 = \frac{U_1}{K}$$

“Η προσέγγιση στίς σχέσεις αυτές είναι τόσο μεγαλύτερη όσο οι άπώλειες και οι ροές σκεδάσεως του μετασχηματιστή είναι μικρότερες. Δηλαδή σέ ένα **ιδανικό μετασχηματιστή**, χωρίς άπώλειες και σκεδάσεις, οι σχέσεις θά ίσχυαν άπόλυτα.

“Από τίσ παραπάνω σχέσεις βγάζουμε τό δευτερεύον, θά **υποβιβάζει** μέ τήν ίδια περίπου σχέσης **άνυψώνει** τήν τάση στό δευτερεύον, θά **υποβιβάζει** μέ τήν ίδια περίπου σχέση τήν ένταση, πού κυκλοφορεί σέ αυτό. “Επίσης, έπειδή ή πυκνότητα του ρεύματος πρέπει νά είναι ή ίδια στους άγωγούς και των δύο τυλιγμάτων, μπορούμε νά πούμε, ότι: Τό τύλιγμα χαμηλής τάσεως και μεγάλης έντάσεως έχει μικρό άριθμό σπειρών και άγωγή μεγάλης διατομής. Τό τύλιγμα ύψηλής τάσεως και χαμηλής έντάσεως έχει μεγάλο άριθμό σπειρών και άγωγή μικρής διατομής.

“Αν θεωρήσουμε άμελητέες τίσ άπώλειες του μετασχηματιστή τότε ή ισχύς N_1 , πού άπορροφά τό πρωτεύον από τό δίκτυο, είναι ίση περίπου μέ τήν ισχύ N_2 , πού δίνει τό δευτερεύον:

$$N_1 = N_2 \quad \eta \quad U_1 \cdot I_1 \cdot \sin\phi_1 = U_2 \cdot I_2 \cdot \sin\phi_2$$

$$\text{“Έχομε όμως} \quad U_2 = \frac{U_1}{K} \quad \text{και} \quad I_2 = K \cdot I_1$$

$$\text{“Άρα: } U_2 \cdot I_2 = U_1 \cdot I_1 \quad \text{και συνεπώς:}$$

$$\sin\phi_1 = \sin\phi_2$$

Δηλαδή ή φασική άπόκλιση ϕ_1 μεταξύ τάσεως και έντάσεως του πρωτεύοντος του μετασχηματιστή είναι ίση περίπου μέ τή ϕ_2 πού προκύπτει από τό συντελεστή ισχύος του καταναλωτή ($\sin\phi_2$). Περίπου ίση είναι και ή φαινόμενη ισχύς του πρωτεύοντος ($N_{s_1} = U_1 \cdot I_1$) μέ τή φαινόμενη ισχύ του δευτερεύοντος ($N_{s_2} = U_2 \cdot I_2$):

$$N_{s_1} = N_{s_2}$$

Παράδειγμα.

Ένας μονοφασικός μετασχηματιστής δίνει ένταση δευτερεύοντος $I_2 = 2$ Α μέ τάση $U_2 = 40$ V, όταν η τάση του δικτύου τροφοδοτήσεως είναι $U_1 = 440$ V. Ποιά σύνθετη αντίσταση παρουσιάζει ο μετασχηματιστής αυτός στο δίκτυο τροφοδοτήσεως, αν θεωρηθούν αμελητέες οι απώλειές του;

Η σύνθετη αντίσταση που ζητάμε είναι:

$$Z_1 = \frac{U_1}{I_1} = \frac{K \cdot U_2}{I_2/K} = K^2 \cdot \frac{U_2}{I_2}$$

όπου:
$$K = \frac{U_1}{U_2} = \frac{440}{40} = 11$$

Άρα:
$$Z_1 = 11^2 \times \frac{40}{2} = 2420 \Omega$$

Κατά τη λύση του παραπάνω παραδείγματος προέκυψε η πολύ ενδιαφέρουσα σχέση ότι:

$$Z_1 = K^2 \cdot Z_2$$

όπου: Z_2 είναι η σύνθετη αντίσταση του καταναλωτή: $Z_2 = \frac{U_2}{I_2}$

Όπως αναφέραμε, οι σχέσεις, που δώσαμε στην παράγραφο αυτή, είναι σχέσεις που ισχύουν με προσέγγιση. Τά πραγματικά μεγέθη διαφέρουν λίγο από εκείνα που προκύπτουν από τις σχέσεις αυτές. Δηλαδή μπορούμε να τις χρησιμοποιούμε όταν δεν υπάρχει ανάγκη μεγάλης ακρίβειας. Σημειώνουμε επίσης ότι για τον ακριβή υπολογισμό των μεγεθών πρέπει να γίνει χρήση συνθέτων διανυσματικών διαγραμμάτων, των οποίων η ανάπτυξη ξεφεύγει από τους σκοπούς του βιβλίου. Έπειδή όμως έχει ιδιαίτερο ενδιαφέρον, στο επόμενο εδάφιο θα εξετάσουμε το φαινόμενο της πτώσεως τάσεως στους μετασχηματιστές.

3) Πτώση τάσεως.

Κάθε ένα από τα δύο τυλίγματα ενός μετασχηματιστή έχει ορισμένη ωμική αντίσταση και δημιουργεί ορισμένη ροή σκεδάσεως ($\Phi_{1\sigma}$ και $\Phi_{2\sigma}$ στο σχήμα 9.6α). Αποτέλεσμα αυτών είναι, όταν ο μετασχηματιστής εργάζεται με φορτίο, να δημιουργείται σε κάθε τύλιγμά του μία ωμική και μία αυτεπαγωγική (λόγω της ροής σκεδάσεως) πτώση τάσεως. Συνεπώς η τάση U_2 με φορτίο δεν είναι ποτέ ακριβώς ίση με την τάση του δευτερεύοντος χωρίς φορτίο. Δηλαδή η U_2 με φορτίο δεν είναι ακριβώς ίση με U_1/K .

Τη μεταβολή της τάσεως του δευτερεύοντος του μετασχηματιστή από τη λειτουργία χωρίς φορτίο στη λειτουργία με τό κανονικό φορτίο του, για ορισμένο συντελεστή ισχύος του φορτίου και σταθερή τάση πρωτεύοντος, την ονομάζουμε **διακύμανση τάσεως** και την εκφράζουμε ως ποσοστό επί τοις εκατό της τάσεως του δευτερεύοντος με τό κανονικό φορτίο.

Ἐπειδὴ στὴ λειτουργία χωρίς φορτίο, ἡ τάση τοῦ δευτερεύοντος εἶναι ἴση μέ τὴν ἠλεκτρεγερτική του δύναμη, γιὰ τὴ διακύμανση τάσεως ἔχομε:

$$\epsilon\% = \frac{E_2 - U_{2N}}{U_{2N}} \cdot 100\%$$

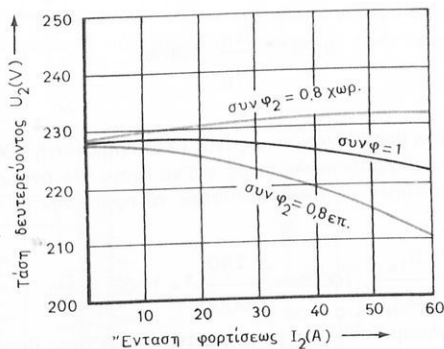
Ὅσο μικρότερη εἶναι ἡ διακύμανση τάσεως, τόσο ποιοτικά καλύτερος εἶναι ὁ μετασχηματιστής. Στους μετασχηματιστές μέσου καὶ μεγάλου μεγέθους, ἡ διακύμανση τάσεως εἶναι κάτω τοῦ 5%.

Χαρακτηριστική φορτίου ἑνός μετασχηματιστῆ ὀνομάζομε τὴν καμπύλη, ἡ ὁποία δείχνει πῶς μεταβάλλεται ἡ τάση τοῦ δευτερεύοντός του, ὅταν μεταβάλλεται τὸ φορτίο του, μέ σταθερή τάση τοῦ πρωτεύοντος καὶ σταθερό συντελεστὴ ἰσχύος τοῦ φορτίου.

Τὸ σχῆμα 9.6β δίνει τίς χαρακτηριστικὲς φορτίου ἑνός μετασχηματιστῆ γιὰ τρεῖς διαφορετικοὺς συντελεστὲς ἰσχύος τοῦ φορτίου, δηλαδή γιὰ $\cos\phi_2 = 0,8$ χωρητικό, γιὰ $\cos\phi_2 = 1$ καὶ γιὰ $\cos\phi_2 = 0,8$ ἐπαγωγικό. Γενικά ἡ τάση μέ φορτίο εἶναι χαμηλότερη τῆς τάσεως χωρίς φορτίο. Εἶναι ὅμως δυνατό νά παρουσιασθεῖ καὶ μεγαλύτερη τάση, ὅταν τὸ φορτίο εἶναι πολὺ χωρητικό (π.χ. πυκνωτής).

Παράδειγμα.

Νά ὑπολογισθεῖ ἡ διακύμανση τάσεως τοῦ μετασχηματιστῆ, ὁ ὁποῖος ἔχει χαρακτηριστικὲς φορτίου τίς καμπύλες τοῦ σχήματος 9.6β, ἂν τὸ κανονικὸ του φορτίο εἶναι $I_{2N} = 50$ A.



Σχ. 9.6β.

Χαρακτηριστικὲς φορτίου μετασχηματιστῆ.

Λύση.

Γιὰ $\cos\phi_2 = 0,8$ ἐπαγ.

$$\epsilon_1\% = \frac{228 - 217}{217} \times 100\% = 5\%$$

$$\text{Γιά συν}\phi_2 = 1 \quad \epsilon_2\% = \frac{228 - 224}{224} \times 100\% = 1,8\%$$

$$\text{Γιά συν}\phi_2 = 0,8 \text{ χωρ.} \quad \epsilon_3\% = \frac{228 - 232}{232} \times 100\% = -1,7\%$$

Σημειώνουμε ότι στο διάγραμμα του σχήματος 9.6β, επειδή η πτώση τάσεως στους μετασχηματιστές είναι πολύ μικρή (συνήθως δέν υπερβαίνει τὸ 5%), ἡ βαθμολόγηση τοῦ ἄξονα τῶν τάσεων ἔχει ἀρχίσει ἀπὸ τὰ 200 V. Αὐτὸ πρέπει πάντοτε νὰ τὸ προσέχουμε, γιὰ νὰ μὴν παρασυρόμαστε σὲ ψεύτικες ἐντυπώσεις, σχετικὰ μὲ τὴν ποσοστιαία μεταβολὴ ἑνὸς μεγέθους (π.χ. ἐδῶ τῆς τάσεως U_2).

4) Τάση βραχυκυκλώσεως.

Ἐκτελοῦμε τὸ ἀκόλουθο πείραμα: Σὲ ἓνα μετασχηματιστὴ βραχυκυκλώνουμε τὸ δευτερεῦον τύλιγμα ἀφοῦ παρεμβάλλουμε ἓνα ἀμπερόμετρο στὸν ἀγωγὸ τῆς βραχυκυκλώσεως. Ἐπειτα τροφοδοτοῦμε τὸ πρωτεῦον τύλιγμα μὲ τάση (ποῦ ἔχει συχνότητα ἴση μὲ τὴν ὀνομαστικὴ), τὴν ὁποία αὐξάνουμε σιγὰ-σιγὰ ἀρχίζοντας ἀπὸ πολὺ μικρὲς τιμές. Γιὰ κάποια τιμὴ U_{1K} τῆς τάσεως τοῦ πρωτεῦοντος, τὴν ὁποία μετροῦμε μὲ βολτόμετρο, ἡ ἔνταση στὸ βραχυκυκλωμένο δευτερεῦον θὰ γίνει ἴση μὲ τὴν ὀνομαστικὴ ἔνταση I_{2N} τοῦ μετασχηματιστῆ. Τότε καὶ ἡ ἔνταση τοῦ πρωτεῦοντος θὰ εἶναι ἴση μὲ τὴν ὀνομαστικὴ τὴν ἔνταση I_{1N} . Τὴν τάση αὐτὴ U_{1K} , ἡ ὁποία ξοδεύεται ὁλόκληρη γιὰ ἐσωτερικὴ πτώση τάσεως μέσα στὸ μετασχηματιστὴ, τὴν ὀνομάζουμε **τάση βραχυκυκλώσεως**. Συνήθως τὴν ἐκφράζουμε σάν ποσοστὸ ἐπὶ τοῖς ἑκατὸ τῆς ὀνομαστικῆς τάσεως τοῦ πρωτεῦοντος τοῦ μετασχηματιστῆ:

$$u_K\% = \frac{U_{1K}}{U_{2N}} \cdot 100\%$$

Παράδειγμα.

Ποιά εἶναι ἡ τάση βραχυκυκλώσεως ἑνὸς μετασχηματιστῆ 6000/400 V, στὸν ὁποῖο κατὰ τὸ πείραμα βραχυκυκλώσεως, γιὰ νὰ ἔχομε τὴν ὀνομαστικὴ ἔνταση στὸ δευτερεῦον, χρειάσθηκε νὰ τροφοδοτήσουμε τὸ πρωτεῦον μὲ τάση 240 V;

Λύση.

$$u_K\% = \frac{U_{1K}}{U_{2N}} \cdot 100\% = \frac{240}{6000} \times 100\% = 4\%$$

Ὅπως θὰ ἐξηγήσουμε στὴν ἐπόμενη παράγραφο, ἡ τάση βραχυκυκλώσεως καθορίζει τὴ διανομὴ τῶν φορτίων σὲ μετασχηματιστές ποῦ λειτουργοῦν παράλληλα.

Ὅταν γνωρίζουμε τὴν τάση βραχυκυκλώσεως, μπορούμε νὰ ὑπολογίσουμε τὴν πιθανὴ ἔνταση ἑνὸς βραχυκυκλώματος στὸ δευτερεῦον τοῦ μετασχηματιστῆ, ὅταν τὸ πρωτεῦον τροφοδοτεῖται μὲ τὴν ὀνομαστικὴ του τάση, ἀπὸ τὴ σχέση:

$$I_{2K} = \frac{I_{2N}}{u_K} \cdot 100$$

Παράδειγμα.

Στό μετασχηματιστή τοῦ προηγούμενου παραδείγματος νά ὑπολογισθεῖ σέ ποιά τιμή μπορεῖ νά φθάσει ἡ ἔνταση βραχυκυκλώσεως στό δευτερεῦον μέ τήν ὀνομαστική τάση τροφοδοτήσεως στό πρωτεῦον, ὅταν ἡ ὀνομαστική ἔνταση τοῦ δευτερέοντος εἶναι $I_{2N} = 200 \text{ A}$.

Λύση.

Εἶναι:

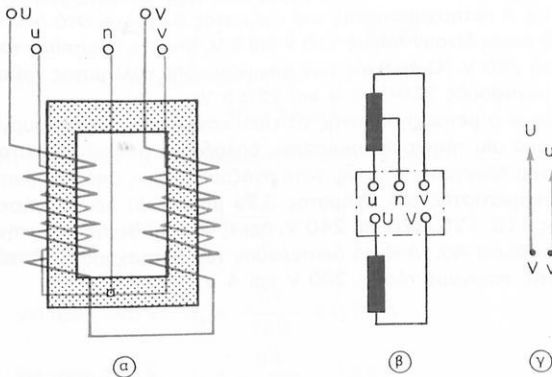
$$I_{2K} = \frac{I_{2N} \cdot 100}{u_K} = \frac{200 \times 100}{4} = 5000 \text{ A}$$

Τέλος μέ τό πείραμα βραχυκυκλώσεως, πού περιγράψαμε στήν ἀρχή τοῦ ἐδαφίου, μπορούμε νά μετρήσουμε καί τίς ἡλεκτρικές ἀπώλειες πού ἔχει ἕνας μετασχηματιστής στό κανονικό του φορτίο. Ἡ ἔνδειξη ἑνός βαττόμετρου συνδεμένου στό πρωτεῦον τοῦ μετασχηματιστή δίνει τίς ἀπώλειες αὐτές, ὅταν ἡ ἔνταση στό βραχυκυκλωμένο δευτερεῦον γίνει ἴση μέ τήν ὀνομαστική ἔνταση I_{2N} . Στό πείραμα βραχυκυκλώσεως, ἐπειδή ἔχει μικρή τιμή ἡ τάση βραχυκυκλώσεως (συνήθως δέν ὑπερβαίνει τό 6 ὡς 7%), οἱ μαγνητικές ἀπώλειες εἶναι πολύ μικρές καί συνεπῶς ἀμελητέες.

9.7 Συνδεσμολογία τῶν τυλιγμάτων τῶν μετασχηματιστῶν.

1) Μονοφασικοί μετασχηματιστές.

Τό σχῆμα 9.7α(α) παριστάνει πῶς εἶναι συνδεσμολογημένα τά τυλίγματα ἑνός μονοφασικοῦ μετασχηματιστή, τά ὁποῖα δεχόμαστε ὅτι εἶναι περιελιγμένα κατὰ



Σχ. 9.7α.

Συνδεσμολογία τυλιγμάτων μονοφασικοῦ μετασχηματιστή.

τήν ίδια φορά καί, όπως γνωρίζομε, είναι τοποθετημένα στους δύο κορμούς του πυρήνα. Στο (β) του σχήματος φαίνεται μία άλλη (συμβολική) σχεδίαση των τυλιγμάτων του μετασχηματιστή. Στη σχεδίαση αυτή τα τυλίγματα πρέπει να θεωρηθούν ότι πηγαίνουν στην πραγματική τους (φυσική) θέση, αν στραφούν προς τα κάτω.

Οι άκροδέκτες του τυλίγματος Υ.Τ. σημειώνονται στο κάλυμμα του μετασχηματιστή με τα κεφαλαία γράμματα U και V (ή A και B ή H_1 και H_2). Οι άκροδέκτες του τυλίγματος Χ.Τ. σημειώνονται με τα μικρά γράμματα u και v (ή a και b ή x_1 και x_2). "Αν γίνεται καί **μεσαία λήψη**, όπως στο σχήμα, ο αντίστοιχος άκροδέκτης τοποθετείται μεταξύ των άλλων δύο καί σημειώνεται με τα μικρά γράμματα n ή n_p ή x_0 .

Απέναντι ακριβώς από τον άκροδέκτη U της Υ.Τ. τοποθετείται ο άκροδέκτης u της Χ.Τ., ο οποίος έχει πάντοτε την ίδια πολικότητα με τον U. Δηλαδή τα παραστατικά διανύσματα των τάσεων VU και vu είναι σέ φάση [σχ. 9.7α (γ)].

Στούς μετασχηματιστές με μεσαία λήψη, μεταξύ του άκροδέκτη της n καί ενός από τους δύο άλλους άκροδέκτες u καί v επικρατεί τό μισό της τάσεως του δευτερεύοντος. "Αν π.χ. η τάση του δευτερεύοντος είναι 220 V, τότε μεταξύ n καί u καθώς καί μεταξύ n καί v έχουμε τάση 110 V. Δηλαδή ο μετασχηματιστής δίνει στο δευτερεύον στίς περιπτώσεις αυτές δύο τάσεις που μπορούν να χρησιμοποιηθούν (110 καί 220 V). Μικροί μετασχηματιστές με μεσαία λήψη χρησιμοποιούνται πολύ στίς **άνορθωτικές διατάξεις** των ηλεκτρονικών κυκλωμάτων.

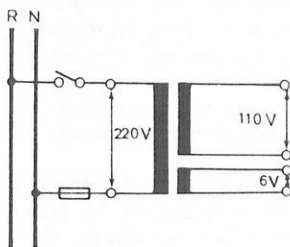
Μέ τον ίδιο τρόπο, όπως έχουμε τή μεσαία λήψη, είναι δυνατό από τό δευτερεύον του μετασχηματιστή να πάρουμε περισσότερες λήψεις. Έχουμε τότε ένα μετασχηματιστή ο οποίος μπορεί να δώσει πολλές τάσεις στο δευτερεύον του. Τό μέγεθος κάθε μιάς από τίς τάσεις αυτές εξαρτάται από τον αριθμό των σπειρών του αντίστοιχου σημείου λήψεως.

Σέ όρισμένες περιπτώσεις θέλομε να έχουμε από τό δευτερεύον του μετασχηματιστή ένα όρισμένο αριθμό τάσεων **ανεξαρτήτων μεταξύ τους**. Τό δευτερεύον του μετασχηματιστή έχει τότε αντίστοιχο αριθμό τυλιγμάτων ανεξαρτήτων επίσης μεταξύ τους. Π.χ. ο μετασχηματιστής του σχήματος 9.7β έχει στο δευτερεύον δύο τυλίγματα, τό όποια δίνουν τάσεις 110 V καί 6 V, όταν τό πρωτεύον του τροφοδοτείται με τάση 220 V. Ό αριθμός των σπειρών κάθε τυλίγματος καθορίζεται από τίς σχέσεις μεταφοράς 220/110 V καί 220/6 V.

"Όταν θέλομε ο μετασχηματιστής να είναι κατάλληλος να λειτουργήσει με περισσότερες από μία τάσεις πρωτεύοντος, δηλαδή να μπορεί να λειτουργήσει σέ διάφορα δίκτυα ηλεκτροδοτήσεως, τότε βγάзоμε λήψεις από τό πρωτεύον τύλιγμα. Ό μετασχηματιστής του σχήματος 9.7γ μπορεί να λειτουργήσει με τάσεις πρωτεύοντος 110, 125, 220 καί 240 V, άρκεί να τοποθετήσομε στην κατάλληλη λήψη την ασφάλεια Ασ. Από τό δευτερεύον του μετασχηματιστή, τό όποιο έχει δύο τυλίγματα, παίρνομε τάσεις 300 V καί 4 V.

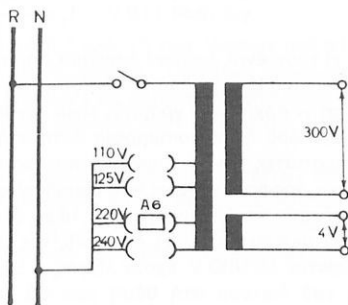
Παράδειγμα.

"Ένας μετασχηματιστής ραδιοφώνου, όπως αυτός του σχήματος 9.7γ, τροφοδοτεί από τό τύλιγμα των 300 V τίς ανόδους των λυχνιών με ένταση 100 mA καί από τό τύλιγμα των 4 V τά νήματα θερμάνσεως με ένταση 6 A. Νά υπολογισθεί ή ι-



Σχ. 9.7β.

Μετασχηματιστής με δύο τυλίγματα
στο δευτερεύον.



Σχ. 9.7γ.

Μετασχηματιστής για διάφορες τάσεις
πρωτεύοντος.

σχύς τοῦ μετασχηματιστῆ καί ἡ ἔνταση πρωτεύοντος γιά τίς διάφορες λήψεις, ἂν οἱ ἀπώλειες θεωρηθοῦν ἀμελητέες.

Λύση.

Τό τύλιγμα τῶν ἀνόδων ἔχει φαινόμενη ισχύ:

$$N'_s = U'_2 \cdot I'_2 = 300 \times 0,1 = 30 \text{ VA}$$

Τό τύλιγμα θερμάνσεως ἔχει φαινόμενη ισχύ:

$$N''_s = U''_2 \cdot I''_2 = 4 \times 6 = 24 \text{ VA}$$

Ἄρα ἡ ισχύς τοῦ μετασχηματιστῆ εἶναι:

$$N_s = 30 + 24 = 54 \text{ VA}$$

Ἡ ἔνταση πρωτεύοντος θά ὑπολογισθεῖ ἀπό τή σχέση:

$$I_1 = \frac{N_s}{U_1}$$

Ἄρα ἔχομε:

$$\text{γιά τάση } 240 \text{ V, } I_1 = \frac{54}{240} = 0,22 \text{ A}$$

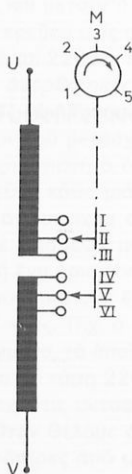
$$\text{γιά τάση } 220 \text{ V, } I_1 = \frac{54}{220} = 0,24 \text{ A}$$

$$\text{γιά τάση } 125 \text{ V, } I_1 = \frac{54}{125} = 0,43 \text{ A}$$

$$\text{γιά τάση } 110 \text{ V, } I_1 = \frac{54}{110} = 0,49 \text{ A}$$

Ἡ τάση ἑνὸς δικτύου διανομῆς ἀπὸ τὸ ὁποῖο τροφοδοτοῦνται μετασχηματιστές, δέν εἶναι ἡ ἴδια σέ ὅλη τὴν ἑκταση τοῦ δικτύου, λόγω πτώσεως τῆς τάσεως (ἡ τάση στὴν ἀρχὴ κάθε γραμμῆς εἶναι μεγαλύτερη ἀπὸ ὅ,τι εἶναι στὸ τέλος τῆς). Γιά νά μὴν ἐπιδρᾷ ἡ ἀνομοιομορφία αὐτὴ στὴν τάση τοῦ δευτερεύοντός τους, οἱ μετασχηματιστές τῶν δικτύων διανομῆς κατασκευάζονται μέ λήψεις στὸ πρωτεύον, γιά τάσεις τροφοδοτήσεως πού κυμαίνονται μέσα σέ ὁρισμένα ὅρια, οἱ ὁποῖες τούς ἐπιτρέπουν νά δίνουν τὴν ἴδια τάση δευτερεύοντος.

Οἱ μετασχηματιστές διανομῆς τῆς ΔΕΗ, πού εἶναι ὀνομαστικῆς τάσεως πρωτεύοντος 15.000 V, ἔχουν λήψεις $\pm 5\%$ καὶ $\pm 2,5\%$. Αὐτὸ σημαίνει ὅτι, ὅταν ἡ τάση τοῦ δικτύου στὴ θέση πού θά τοποθετηθεῖ ὁ μετασχηματιστής εἶναι π.χ. 14.250 V, θά χρησιμοποιηθεῖ ἡ λήψη $- 5\%$. Ἄν εἶναι 15.375 V, θά χρησιμοποιηθεῖ ἡ λήψη $+ 2,5\%$ κ.ο.κ.



Διαφορά τάσεως στήν Υ.Τ.	Συνδεσμολογία λήψεων	Θέση μεταγωγέα
- 5%	I - VI	1
- 2,5%	I - V	2
0%	II - V	3
+ 2,5%	II - IV	4
+ 5%	III - IV	5

Σχ. 9.76.

Λήψεις πρωτεύοντος μετασχηματιστή διανομῆς.

Τὸ σχῆμα 9.76 δείχνει τὸ τύλιγμα Υ.Τ. ἑνὸς μετασχηματιστή (τῆς μιᾶς φάσεως, ἂν ὁ μετασχηματιστής εἶναι τριφασικός) καὶ τὸν τρόπο, μέ τὸν ὁποῖο παίρνονται οἱ λήψεις. Τὸ τύλιγμα εἶναι διαιρεμένο σέ δύο μισά καὶ ἡ συνδεσμολογία τῶν λήψεων γίνεται μέ μηχανισμό, ὁ ὁποῖος κινεῖται ἀπὸ μεταγωγέα M, πού βρίσκεται στὸ κάλυμμα τοῦ μετασχηματιστή. Γιά τὴ θέση τοῦ μεταγωγέα, πού δείχνει τὸ σχῆμα, συνδέονται οἱ λήψεις II καὶ V. Ὅπως βλέπομε ἀπὸ τὸν πίνακα, πού εἶναι στὸ δεξιὸ μέρος τοῦ σχήματος 9.7δ, ἡ σύνδεση αὐτὴ δίνει διαφορὰ τάσεως στὸ πρωτεύον

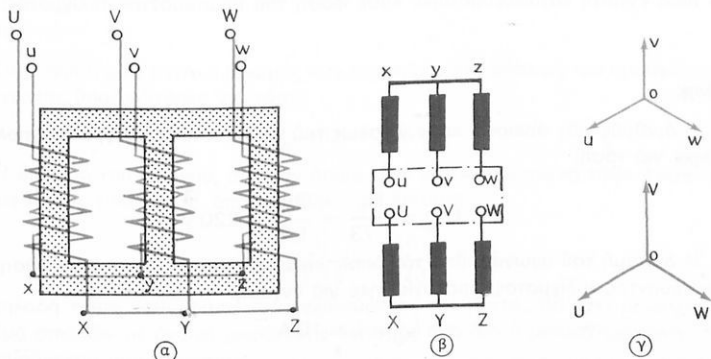
0%, δηλαδή είναι η θέση που πρέπει να έχει ο μεταγωγέας όταν η τάση του δικτύου Υ.Τ. είναι 15.000 V.

Τέλος σημειώνουμε ότι στην κατασκευή αυτή η αλλαγή των λήψεων πρέπει να γίνεται, όταν ο μετασχηματιστής δεν είναι σε λειτουργία. Υπάρχουν άλλες κατασκευές, που επιτρέπουν την αλλαγή των λήψεων του μετασχηματιστή όταν λειτουργεί ή ακόμη και την αυτόματη αλλαγή των λήψεων, όταν η τάση του δικτύου μεταβάλλεται.

Όσα αναφέραμε στο έδαφιο αυτό για τις λήψεις των μετασχηματιστών και για τα πολλαπλά τυλίγματα, είναι εύκολο να αντιληφθεί κανείς ότι εφαρμόζονται και στους τριφασικούς μετασχηματιστές. Για τó λόγο αυτό στο επόμενο έδαφιο, που θα εξετάσουμε τη συνδεσμολογία των τυλιγμάτων των τριφασικών μετασχηματιστών, δεν θα τα επαναλάβουμε.

2) Τριφασικοί μετασχηματιστές.

Τó σχήμα 9.7ε(α) παριστάνει σχηματικά πώς είναι τοποθετημένα τὰ τρία τυλίγματα (φάσεις) Υ.Τ. και τὰ τρία τυλίγματα (φάσεις) Χ.Τ. στον τριφασικό μετασχηματιστή. Τὰ τυλίγματα αυτά δεχόμαστε ότι είναι περιελιγμένα κατά τήν ίδια φορά, όπως γίνεται συνήθως στην πράξη. Στην περίπτωση του σχήματος, τόσο τὰ τυλίγματα Υ.Τ. όσο και τὰ τυλίγματα Χ.Τ. είναι συνδεσμολογημένα σε άστέρα. Δηλαδή πρόκειται για μετασχηματιστή **ζεύξεως άστέρα-άστέρα**, όπως λέμε.



Σχ. 9.7ε.

Τριφασικός μετασχηματιστής ζεύξεως άστέρα-άστέρα.

Τὰ ελεύθερα άκρα των τριών φάσεων της Υ.Τ. έχουν συνδεθεί στους τρεις αντίστοιχους άκροδέκτες του καλύμματος του μετασχηματιστή, οι όποιοι είναι χαρακτηρισμένοι με τὰ κεφαλαία γράμματα U, V, W (ή A, B, C, ή H_1, H_2, H_3). Αντίστοιχα οι τρεις άκροδέκτες της Χ.Τ. είναι χαρακτηρισμένοι με τὰ μικρά γράμματα u, v, w (ή a, b, c, ή x_1, x_2, x_3). Οι συνδέσεις των άκρων X, Y, Z και x, y, z, γίνονται μέσα στο μετασχηματιστή και σχηματίζουν τούς ουδέτερους κόμβους Υ.Τ. και Χ.Τ. Σε όρι-

σμένους μετασχηματιστές οι ουδέτεροι κόμβοι συνδέονται με ιδιαίτερους ακροδέκτες πάνω στο κάλυμμα, οι οποίοι φέρουν τότε το γράμμα N (ή M_p ή H_0) για την Υ.Τ. και n (ή m_p ή x_0) για την Χ.Τ.

Τό σχήμα 9.7ε(β) δίνει τη συμβολική σχεδίαση των τυλιγμάτων μετασχηματιστή ζεύξης άστρα-άστρα. Στο (γ) του ίδιου σχήματος φαίνεται το διανυσματικό διάγραμμα ύψλης και χαμηλής τάσεως. Όπως παρατηρούμε, στη ζεύξη αυτή η φασική απόκλιση μεταξύ των διανυσμάτων των αντίστοιχων φάσεων είναι μηδενική.

Στη συνδεσμολογία του άστρα (για την ύψηλή ή χαμηλή τάση) ισχύουν οι γνωστές σχέσεις:

$$U_{\phi} = \frac{U}{1,73}$$

$$I_{\phi} = I$$

Παράδειγμα.

Ένας τριφασικός μετασχηματιστής κατασκευάστηκε για να τροφοδοτείται από δίκτυο τάσεως 380 V. Στο πλήρες φορτίο του το πρωτεύον τυλίγμα, που είναι συνδεδεσμένο σε άστρα, απορροφά από το δίκτυο ένταση 10 A. Για ποιά τάση και ποιά ένταση κατασκευάστηκε κάθε φάση του πρωτεύοντος τυλίγματος;

Λύση.

Ο αριθμός των σπειρών κάθε φάσεως του πρωτεύοντος τυλίγματος υπολογίσθηκε για τάση:

$$U_{1\phi} = \frac{U_1}{1,73} = \frac{380}{1,73} = 220 \text{ V}$$

Η διατομή του άγωγου, από τον οποίο είναι κατασκευασμένη κάθε φάση του πρωτεύοντος τυλίγματος, υπολογίσθηκε για ένταση:

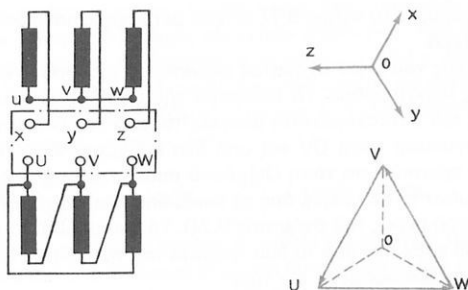
$$I_{1\phi} = I_1 = 10 \text{ A}$$

Στους τριφασικούς μετασχηματιστές τα τυλίγματα Υ.Τ. ή Χ.Τ. ή και τα δύο μπορεί να συνδεσμοποιηθούν και σε τρίγωνο. Στο σχήμα 9.7στ παριστάνεται μετασχηματιστής ζεύξης **τριγώνου-άστρα**, δηλαδή τριγώνου στην Υ.Τ. και άστρα στη Χ.Τ.

Σε κάθε φάση του τυλίγματος Υ.Τ. εφαρμόζονται τώρα οι πολικές τάσεις του δικτύου. Συνεπώς ισχύουν οι γνωστές σχέσεις:

$$U_{\phi} = U$$

$$I_{\phi} = \frac{I}{1,73}$$



Σχ. 9.7στ.

Τριφασικός μετασχηματιστής ζεύξεως τριγώνου-άστέρα.

Παράδειγμα.

“Αν ο μετασχηματιστής του προηγούμενου παραδείγματος έχει τό πρωτεύον τύλιγμα συνδεσμοποιημένο σε τρίγωνο, για ποιά τάση καί για ποιά ένταση κατασκευάσθηκε κάθε φάση του τυλίγματος αυτού;

Λύση.

Στήν περίπτωση αυτή, ο αριθμός των σπειρών κάθε φάσεως του πρωτεύοντος τυλίγματος υπολογίσθηκε για τάση:

$$U_{1\phi} = U_1 = 380 \text{ V}$$

‘Η διατομή του άγωγού, από τόν οποιο είναι κατασκευασμένη κάθε φάση του πρωτεύοντος τυλίγματος, υπολογίσθηκε για ένταση:

$$I_{1\phi} = \frac{I_1}{1,73} = \frac{10}{1,73} = 5,78 \text{ A}$$

Δηλαδή τώρα κάθε φάση του πρωτεύοντος τυλίγματος θά έχει μεγαλύτερο αριθμό σπειρών μέ άγωγό μικρότερης διατομής από ό,τι ο μετασχηματιστής του προηγούμενου παραδείγματος.

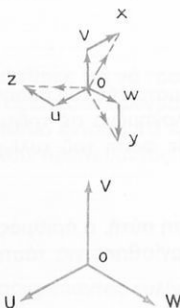
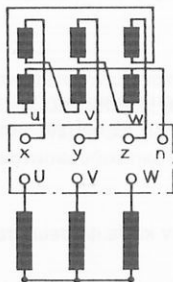
Πρέπει νά παρατηρήσμε, ότι ο μετασχηματιστής του σχήματος 9.7στ έχει τόν ουδέτερο κόμβο στά επάνω άκρα u, v, w, των τυλιγμάτων Χ.Τ. Αυτό έχει σάν αποτέλεσμα, οι τάσεις στά τυλίγματα αυτά νά έχουν φασική απόκλιση 180° πρὸς τίς τάσεις των αντιστοίχων τυλιγμάτων Υ.Τ., δηλαδή τό διανυσματικό διάγραμμα του μετασχηματιστή αυτού είναι όπως φαίνεται στο δεξιό μέρος του σχήματος 9.7στ.

Στά τριφασικά δίκτυα διανομής ηλεκτρικής ενέργειας μέ ουδέτερο, πολλές φορές χρησιμοποιούνται μετασχηματιστές υποβιβασμού, οι οποίοι έχουν τό δευτερεύον τους, δηλαδή τή Χ.Τ., συνδεσμοποιημένο σε **τεθλασμένο άστέρα** (ζίγκ - ζάγκ). Στή συνδεσμολογία αυτή τό τύλιγμα Χ.Τ. κάθε κορμού αποτελείται από δύο τμήματα. Κάθε τμήμα συνδέεται σε σειρά μέ ένα τμήμα από τό τύλιγμα χαμηλής

τάσεως άλλου κορμού. Τό σχήμα 9.7ζ δείχνει μετασχηματιστή ζεύξεως άστέρα-τεθλασμένου άστέρα.

Στό δεξιό μέρος τοῦ ίδιου σχήματος φαίνεται τό διανυσματικό διάγραμμα τῶν τάσεων. Όπως παρατηροῦμε, τό διάνυσμα τῆς φασικῆς τάσεως $U_{2\phi} = ox$ τοῦ δευτερεύοντος τοῦ μετασχηματιστή αποτελείται ἀπό ἕνα διάνυσμα ov παράλληλο πρὸς τήν πρωτεύουσα τάση OV καί ἀπό ἕνα διάνυσμα vx μέ φασική ἀπόκλιση 180° πρὸς τήν πρωτεύουσα τάση OU . Αυτό προκύπτει ἀπό τόν τρόπο, πού εἶναι συνδεσμολογημένα τά δύο μέρη, ἀπό τά ὁποῖα ἀποτελεῖται τό τύλιγμα Χ.Τ. τῆς φάσεως nx (ἀριστερό μέρος τοῦ σχήματος 9.7ζ). Τό ἴδιο συμβαίνει καί μέ τίς ὑπόλοιπες φάσεις. Ἄρα κάθε ἕνα ἀπό τά δύο τμήματα τοῦ τυλίγματος Χ.Τ., πού ἔχει κάθε κορμός, εἶναι κατασκευασμένο γιά τάση:

$$u_{2\phi} = ov = vx = \frac{ox}{1,73} = \frac{U_{2\phi}}{1,73}$$



Σχ. 9.7ζ.

Τριφασικός μετασχηματιστής ζεύξεως άστέρα-τεθλασμένου άστέρα.

Παράδειγμα.

Γιά ποιά τάση πρέπει νά κατασκευασθεῖ κάθε τμήμα τοῦ δευτερεύοντος τυλίγματος ζεύξεως τεθλασμένου άστέρα σέ ἕνα μετασχηματιστή, πού δίνει πολική τάση 400 V; Πόσο τοῖς ἑκατό περισσότερες σπεῖρες ἔχει τό τύλιγμα αὐτό σχετικά μέ τό δευτερεῦον τύλιγμα ζεύξεως σέ άστέρα ἑνός άλλου μετασχηματιστή πού δίνει τήν ἴδια πολική τάση;

Λύση.

Έχομε:
$$U_{2\phi} = \frac{U_2}{1,73} = \frac{400}{1,73} = 231 \text{ V}$$

Ἄρα:
$$ov = vx = \frac{U_{2\phi}}{1,73} = \frac{231}{1,73} = 133 \text{ V}$$

Στή ζεύξη τεθλασμένου άστέρα σέ κάθε κορμό έχομε δύο τυλίγματα, κάθε ένα από τά όποία δίνει τάση 133 V, όπως προέκυψε παραπάνω. Άρα ό άριθμός σπειρών καί τών δύο τυλιγμάτων θά άντιστοιχεί σέ τάση $2 \times 133 = 266$ V. Ό άριθμός σπειρών κάθε τυλίγματος X.T. στή συνδεσμολογία άστέρα θά άντιστοιχεί σέ τάση 231 V, όταν ή πολική τάση είναι 400 V. Συνεπώς ή συνδεσμολογία τεθλασμένου άστέρα έχει περισσότερες σπείρες κατά:

$$\frac{266 - 231}{231} \times 100\% = \frac{35}{231} \times 100\% = 15\%$$

Τό ότι άπαιτοϋν περισσότερες σπείρες άποτελεί μειονέκτημα τών μετασχηματιστών τεθλασμένου άστέρα. Χρησιμοποιοϋνται όμως, όταν έχομε μεγάλη άνομοιομορφία στή φόρτιση τών τριών φάσεων τοϋ δευτερεύοντος τοϋ μετασχηματιστή, όποτε περιορίζουν τήν κακή λειτουργία τοϋ μετασχηματιστή πού προκαλείται από τήν άνομοιομορφη φόρτιση. Επίσης μέ τή συνδεσμολογία τεθλασμένου άστέρα, όπως καί μέ τή συνδεσμολογία άστέρα, μπορούμε νά έχομε οϋδέτερο κόμβο, πού είναι άπαραίτητος στά τριφασικά δίκτυα διανομής μέ τέσσερεις άγωγούς.

3) Κατάταξη τών τριφασικών μετασχηματιστών σέ ομάδες.

Άπό όσα αναφέραμε στό προηγούμενο έδάφιο συμπεραίνουμε, ότι ύπάρχουν πολλοί συνδυασμοί στή συνδεσμολογία τών τυλιγμάτων τών τριφασικών μετασχηματιστών. Ό Πίνακας 9.7.1 δίνει τίς συνδεσμολογίες πού χρησιμοποιοϋνται στήν πράξη. Ό συμβολισμός κάθε μετασχηματιστή πού αναφέρεται στόν πίνακα αυτό είναι ό **διεθνής συμβολισμός**. Τά γράμματα πού χρησιμοποιοϋνται δίνουν άμέσως καί τό είδος τής συνδεσμολογίας. Τό πρώτο γράμμα (κεφαλαίο) δίνει τή ζεύξη τοϋ τυλίγματος Y. T. καί τό δεύτερο (μικρό) τοϋ τυλίγματος X. T., ως έξης:

Σέ τρίγωνο	= D, d
Σέ άστέρα	= Y, y
Σέ τεθλασμένο άστέρα	= Z, z

Μετά τά δύο γράμματα ακολουθεί ένας άριθμός (0,5,6,11), πού είναι ό άριθμός τής ομάδας, στήν όποία ανήκει ό μετασχηματιστής καί έχει τήν άκόλουθη σημασία: "Αν τόν άριθμό αυτό τόν πολλαπλασιάσουμε επί 30° , μάς δίνει τή γωνία κατά τήν όποία καθυστεροϋν τά διανύσματα τής X.T. ως πρός τά άντίστοιχα διανύσματα τής Y.T. Ό μετασχηματιστής π.χ. τοϋ σχήματος 9.7ε έχει συμβολισμό Y_0 , γιατί ή γωνία μεταξύ τών άντιστοιχών διανυσμάτων Y.T. καί X.T. είναι μηδενική.

Άπό τήν παραπάνω σημασία, πού έχει ό χαρακτηριστικός άριθμός τής ομάδας, συμπεραίνουμε ότι όλοι οι μετασχηματιστές, πού ανήκουν σέ μία ομάδα, έχουν τάσεις στό δευτερεύον, οι όποιες είναι σέ φάση μεταξύ τους, όταν τά πρωτεύοντά τους τροφοδοτοϋνται από τό ίδιο δίκτυο. Αυτό φαίνεται καί από τά διανυσματικά διαγράμματα τοϋ Πίνακα 9.7.1, στά όποία δέν έχουν σημειωθεί χάρη άπλότητας τά βέλη τών διανυσμάτων.

ΠΙΝΑΚΑΣ 9.7.1.

Συνδεσμολογίες τριφασικών μετασχηματιστών

Αριθμός ομάδας	Συμβολισμός	Διανυσματικό διάγραμμα		Συνδεσμολογία	
		Υ.Τ.	Χ.Τ.	Υ.Τ.	Χ.Τ.
0	Dd 0				
	Yy 0				
	Dz 0				
5	Dy 5				
	Yd 5				
	Yz 5				
6	Dd 6				
	Yy 6				
	Dz 6				
11	Dy 11				
	Yd 11				
	Yz 11				

9.8 Παράλληλη λειτουργία μετασχηματιστών.

Όταν ένας μετασχηματιστής δεν έπαρκει για την τροφοδότηση ενός φορτίου, π.χ. ενός δικτύου, τότε ή πρέπει νά τον αντικαταστήσουμε μέ άλλο μεγαλύτερης Ι-

σχύος ή να συνδέσουμε παράλληλα με αυτόν ένα δεύτερο μετασχηματιστή, ο όποιος να πάρει ένα μέρος του φορτίου.

Γιά να μπορούν δύο ή περισσότεροι μετασχηματιστές να λειτουργήσουν παράλληλα πρέπει να εκπληρώνουν τīs ακόλουθες συνθήκες:

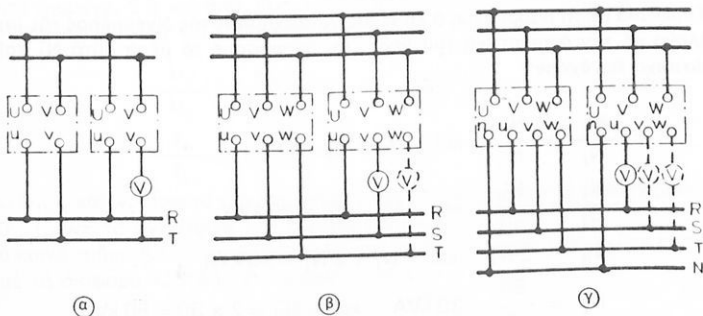
α) Νά είναι κατασκευασμένοι γιά τήν ίδια τάση πρωτεύοντος καί γιά τήν ίδια τάση δευτερεύοντος.

β) Νά ανήκουν στήν ίδια ομάδα συνδεσμολογίας (Πίνακας 9.7.1).

γ) Νά έχουν ίσες τάσεις βραχυκυκλώσεως.

δ) Νά γίνει σωστή σύνδεση τών αντίστοιχων άκροδεκτών.

Οι τρεις πρώτες συνθήκες μπορούν εύκολα να εξακριβωθούν από τά στοιχεία, πού είναι γραμμένα στίς πινακίδες τών μετασχηματιστών. 'Η εξακρίβωση τής τέταρτης συνθήκης, αν δέν είμαστε βέβαιοι γιά τήν αντίστοιχία τών άκροδεκτών, γίνεται μέ τή βοήθεια ενός βολτόμετρου πού να έχει κλίμακα μετρήσεων διπλάσια τής τάσεως του δευτερεύοντος τών μετασχηματιστών. Τό σχήμα 9.8 δείχνει τή χρήση του βολτόμετρου γιά τό σκοπό αυτό στήν περίπτωση μονοφασικών μετασχηματιστών (α), τριφασικών μετασχηματιστών χωρίς ουδέτερο (β) καί τριφασικών μετασχηματιστών μέ ουδέτερο (γ).



Σχ. 9.8.

Όρθή σύνδεση άκροδεκτών.

Δηλαδή συνδέομε τόν ένα άκροδέκτη τής Χ.Τ. του μετασχηματιστή πού πρόκει-ται να παραλληλισθεί με τόν αντίστοιχο ζυγό Χ.Τ. καί έπειτα τοποθετούμε τό βολτόμετρο διαδοχικά μεταξύ τών λοιπών άκροδεκτών καί τών αντίστοιχων ζυγών Χ.Τ. Σέ καμιά περίπτωση τό βολτόμετρο δέν πρέπει να δείξει τάση.

Αν εκπληρώνονται όλες οι συνθήκες πού αναφέραμε, οι μετασχηματιστές θά λειτουργήσουν παράλληλα με απόλυτα ικανοποιητικό τρόπο καί καθένας θά αναλάβει από τό συνολικό φορτίο ένα μέρος ανάλογο προς τήν ονομαστική του ισχύ.

Στήν πράξη όμως σπάνια συμβαίνει να έχομε μετασχηματιστές με απόλυτα ίσες τάσεις βραχυκυκλώσεως. Γι' αυτό δεχόμαστε ότι ή τρίτη συνθήκη ισχύει όταν οι τάσεις βραχυκυκλώσεως δέν διαφέρουν μεταξύ τους περισσότερο από 10%. Όταν ή διαφορά είναι μεγαλύτερη, ο μετασχηματιστής με τή μικρότερη τάση βραχυκυκλώσεως θά αναλάβει φορτίο μεγαλύτερο από αυτό πού του αναλογεί με βά-

ση τήν ισχύ του. Έτσι υπάρχει ένδεχομένο ένας μικρός μετασχηματιστής πού εργάζεται παράλληλα με ένα μεγάλο να υπερφορτωθεί. Για τό λόγο αυτό δέν βάζομε σέ παράλληλη λειτουργία μετασχηματιστές πού έχουν σχέση ονομαστικής ισχύος μεγαλύτερη από 3 : 1. Θά πρέπει μάλιστα ό μικρότερος μετασχηματιστής νά έχει λίγο μεγαλύτερη τάση βραχυκυκλώσεως γιά νά μήν δημιουργοῦνται συνθήκες υπερφορτώσεώς του.

Όταν ἔχομε μεγάλες διαφορές στίς τάσεις βραχυκυκλώσεως, συνδέομε σέ σειρά μέ τό μετασχηματιστή, πού ἔχει τή μικρότερη τάση βραχυκυκλώσεως, εἰδικά **στραγγαλιστικά πηνία**. Τό μέγεθος αὐτῶν τῶν πηνίων προσδιορίζεται ἀπό τή διαφορά τῶν τάσεων βραχυκυκλώσεως καί ἀπό τήν ισχύ.

Παράδειγμα.

Δύο μετασχηματιστές μέ ονομαστική ισχύ $N_I = 40 \text{ kVA}$ καί $N_{II} = 80 \text{ kVA}$ ἔχουν τήν ἴδια τάση βραχυκυκλώσεως 4%. Ἄν οἱ μετασχηματιστές αὐτοί ἐργασθοῦν παράλληλα γιά νά τροφοδοτήσουν φορτίο $N' = 90 \text{ kVA}$, πόση ισχύ θά δώσῃ ὁ καθένας;

Λύση.

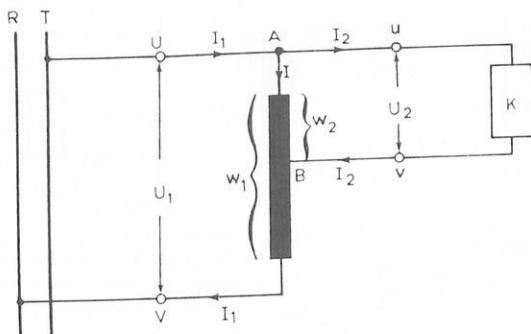
Σύμφωνα μέ τά παραπάνω, ὁ καθένας μετασχηματιστής δίνει μέρος τῆς ισχύος ἀνάλογο μέ τήν ονομαστική του ισχύ. Ἄν ὀνομάσουμε τά μέρη αὐτά N'_I καί N'_{II} ἀντίστοιχα θά ἔχομε:

$$\begin{aligned} \frac{N'_I}{N_I} &= \frac{N'_{II}}{N_{II}} \quad \text{καί} \quad N'_I + N'_{II} = N' \\ \eta \quad \frac{N'_I}{40} &= \frac{N'_{II}}{80} \quad \text{καί} \quad N'_I + N'_{II} = 90 \text{ kVA} \\ \eta \quad N'_{II} &= 2 N'_I \quad \text{καί} \quad N'_I + 2 N'_I = 90 \text{ kVA} \\ \eta \quad N'_I &= \frac{90}{3} = 30 \text{ kVA} \quad \text{καί} \quad N'_{II} = 2 \times 30 = 60 \text{ kVA} \end{aligned}$$

Τέλος πρέπει νά σημειώσουμε ὅτι, ὅταν οἱ μετασχηματιστές ἔχουν μεταγωγεῖς μέ λήψεις τυλιγμάτων (παράγραφος 9.7, ἐδάφιο 1), θά πρέπει οἱ μεταγωγεῖς σέ ὅλους τούς μετασχηματιστές πού λειτουργοῦν παράλληλα νά εἶναι στήν ἴδια θέση. Διαφορετικά θά κυκλοφορήσουν ρεύματα μεταξύ τῶν δευτερευόντων τυλιγμάτων τῶν μετασχηματιστῶν, ἔστω καί ἂν ἐκπληρώνονται οἱ συνθήκες παράλληλης λειτουργίας, πού ἀναφέραμε στή ἀρχή αὐτῆς τῆς παραγράφου.

9.9 Αυτόμετασχηματιστές.

Αὐτομετασχηματιστής (μονοφασικός) εἶναι ὁ μετασχηματιστής, ὁ ὁποῖος ἔχει ἓνα μόνο τυλίγμα, τοῦ ὁποῖου τά ἄκρα ἀποτελοῦν τούς ἀκροδέκτες U καί V τῆς ὑψηλῆς τάσεως. Οἱ ἀκροδέκτες u καί v τῆς χαμηλῆς τάσεως εἶναι συνδεδεμένοι μέ τό ἓνα ἄκρο A τοῦ τυλίγματος καί μέ μία ἐνδιάμεση λήψη B αὐτοῦ, ὅπως φαίνεται στό σχῆμα 9.9α. Ἄρα τό τμήμα AB τοῦ τυλίγματος ἀνήκει καί στό πρωτεύον καί στό δευτερεῖον τοῦ μετασχηματιστή.



Σχ. 9.9α.

Συνδεσμολογία μονοφασικού αυτόμετασχηματιστή.

“Όσα έχουμε αναφέρει για το μονοφασικό μετασχηματιστή με δύο ξεχωριστά τυλίγματα (παράγρ. 9.5 και 9.6), ισχύουν και για το μονοφασικό αυτόμετασχηματιστή. Ισχύουν δηλαδή και εδώ κατά προσέγγιση οι σχέσεις:

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{w_1}{w_2} = K \quad \text{ή} \quad U_2 = \frac{U_1}{K}$$

$$\frac{I_2}{I_1} = \frac{w_1}{w_2} = K \quad \text{ή} \quad I_2 = K I_1$$

όπου: U_1 , I_1 και w_1 είναι τα γνωστά μεγέθη του πρωτεύοντος του μετασχηματιστή και U_2 , I_2 , w_2 , τα αντίστοιχα του δευτερεύοντος.

Το κοινό τμήμα AB του τυλίγματος διαρρέεται από ένταση I , που είναι περίπου ίση με τη διαφορά των δύο εντάσεων I_1 και I_2 :

$$I = I_1 - I_2$$

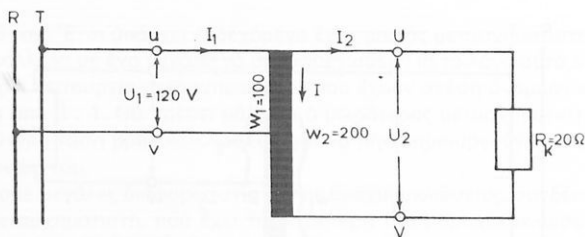
Παράδειγμα.

“Ενας αυτόμετασχηματιστής τροφοδοτείται με τάση $U_1 = 120 \text{ V}$. Ο αριθμός σπειρών του πρωτεύοντος είναι $w_1 = 100$. Το όλο τύλιγμα έχει $w_2 = 200$ σπείρες. Αν στο δευτερεύον του μετασχηματιστή είναι συνδεδεμένος ένας καταναλωτής που έχει ωμική αντίσταση 20Ω , να υπολογισθούν η ένταση που απορροφά ο αυτόμετασχηματιστής από το δίκτυο και η ένταση στο κοινό μέρος του τυλίγμάτος του.

Λύση.

Στόν αυτόμετασχηματιστή αυτό το δευτερεύον είναι το τύλιγμα Υ.Τ. (σχ. 9.9β). Οι σχέσεις ισχύουν όπως δόθηκαν. Συνεπώς έχουμε:

$$K = \frac{w_1}{w_2} = \frac{100}{200} = \frac{1}{2}$$



Σχ. 9.9β.

Άρα:

$$U_2 = \frac{U_1}{K} = \frac{120}{1/2} = 240 \text{ V}$$

Άφου ή ωμική αντίσταση του καταναλωτή είναι $R_k = 20 \Omega$ θά έχομε:

$$I_2 = \frac{U_2}{R_k} = \frac{240}{20} = 12 \text{ A}$$

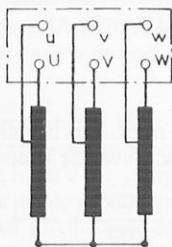
Συνεπώς ή ένταση πού απορροφά ή αυτομετασχηματιστής από τό δίκτυο τροφοδοτήσεως, είναι:

$$I_1 = \frac{I_2}{K} = \frac{12}{1/2} = 24 \text{ A}$$

καί

$$I = I_1 - I_2 = 24 - 12 = 12 \text{ A}$$

Αποτέλεσμα τής μειωμένη έντάσεως στο κοινό τμήμα του τυλίγματος των αυτομετασχηματιστών είναι ότι αυτό κατασκευάζεται με άγωγό μικρότερης διατομής. Συνεπώς οι αυτομετασχηματιστές απαιτούν μικρότερο βάρος άγωγών χαλκού από τούς μετασχηματιστές με δύο τυλίγματα. Άλλο πλεονέκτημα των αυτομετασχηματιστών είναι ότι έχουν μικρότερες ήλεκτρικές άπώλειες, δηλαδή έχουν καλύτερο βαθμό άποδόσεως. Έχουν όμως καί ένα σοβαρό μειονέκτημα. Έπειδή υπάρχει τό κοινό τμήμα του τυλίγματος, ή πλευρά τής χαμηλής τάσεως δέν είναι ήλεκτρικά μονωμένη από τήν πλευρά τής ψηλής τάσεως. Αυτό δημιουργεί κινδύνους κατά τή χρήση τους. Γι' αυτό χρησιμοποιούνται σέ ειδικές μόνο περιπτώσεις καί κατασκευάζονται για σχέσεις μεταφοράς πού πλησιάζουν τή μονάδα (π.χ. 1/2).



Σχ. 9.9γ.

Τριφασικός αυτομετασχηματιστής.

Το σχήμα 9.9γ δείχνει τη συνδεσμολογία τριφασικού αυτόμετασχηματιστή, ο οποίος, σύμφωνα με όσα αναφέρθηκαν στους μονοφασικούς αυτόμετασχηματιστές, έχει σε κάθε ένα από τους τρεις κορμούς του πυρήνα από ένα μόνο τύλιγμα.

9.10 Χαρακτηριστικά στοιχεία των μετασχηματιστών.

Στήν πινακίδα που έχει κάθε μετασχηματιστής, εκτός από το όνομα του έργου-στασίου κατασκευής και τον αριθμό κατασκευής, αναγράφονται συνήθως και τα ακόλουθα χαρακτηριστικά στοιχεία:

α) Η ονομαστική ισχύς του μετασχηματιστή σε VA ή kVA. Είναι η φαινόμενη ισχύς, την οποία μπορεί να δίνει συνεχώς το δευτερεύον του μετασχηματιστή με την ονομαστική τάση, χωρίς κίνδυνο υπερθερμάνσεως, όταν η θερμοκρασία του περιβάλλοντος δεν υπερβαίνει ορισμένα όρια.

β) Ο αριθμός των φάσεων του μετασχηματιστή.

γ) Η ονομαστική συχνότητα, δηλαδή η συχνότητα του ρεύματος, για την οποία ισχύουν τα χαρακτηριστικά στοιχεία του μετασχηματιστή.

δ) Η ονομαστική τάση πρωτεύοντος και η ονομαστική τάση δευτερεύοντος για τη λειτουργία χωρίς φορτίο. Όταν π.χ. στην πινακίδα αναφέρεται ονομαστική τάση 20.000 V-231/400 V, σημαίνει ότι ο μετασχηματιστής (πρόκειται προφανώς για τριφασικό μετασχηματιστή), όταν τροφοδοτηθεί στο πρωτεῖον από τριφασικό δίκτυο (πολικής) τάσεως 20.000 V, θα δώσει στο δευτερεύον χωρίς φορτίο τάση φασική μὲν 231 V πολική δὲ 400 V. Σὲ ορισμένους μετασχηματιστές ἀντὶ τῆς τάσεως τοῦ δευτερεύοντος χωρίς φορτίο δίνεται ἡ τάση μὲ τὸ ὀνομαστικὸ φορτίο.

ε) Η τάση βραχυκυκλώσεως του μετασχηματιστή επί τοῖς ἑκατὸ, σύμφωνα με ὅσα ἀναφέρθηκαν στὴν παράγραφο 9.6, ἐδάφιο 4.

στ) Η ομάδα στην οποία ἀνήκει ἀπὸ ἀποψη συνδεσμολογίας τῶν τυλιγμάτων τοῦ ὀ (τριφασικός) μετασχηματιστής, π.χ. Dy1 (παράγραφος 9.7, ἐδάφιο 3).

Η πινακίδα τῶν μετασχηματιστῶν δὲν γράφει συνήθως τίς ὀνομαστικές ἐντάσεις πρωτεύοντος καὶ δευτερεύοντος τοῦ μετασχηματιστή, εἶναι ὅμως εὐκόλο νὰ τίς ὑπολογίσουμε ἀπὸ τὴν ὀνομαστικὴν ἰσχύ καὶ τίς ὀνομαστικές τάσεις.

9.11 Βαθμὸς ἀποδόσεως τῶν μετασχηματιστῶν.

Ὅπως εἶδαμε, ὁ μετασχηματιστής δὲν ἔχει κινούμενα μέρη. Συνεπῶς στὴ λειτουργία του δὲν ὑπάρχουν μηχανικές ἀπώλειες. Παρὰ τὸ γεγονός αὐτὸ στὸ μετασχηματισμὸ τῆς ἡλεκτρικῆς ἐνέργειας σὲ ἡλεκτρικὴ ἐνέργεια διαφορετικῆς τάσεως καὶ ἐντάσεως, ἡ ἰσχύς ποὺ παίρνομε δὲν εἶναι ἴση μὲ τὴν ἰσχύ ποὺ δίδομε στὸ μετασχηματιστή. Αὐτὸ ὀφείλεται στὶς ἀπώλειες μέσα στὸ μετασχηματιστή, οἱ ὁποῖες εἶναι δύο εἰδῶν:

α) **Ἡλεκτρικές ἀπώλειες** ἀπὸ τὸ φαινόμενο Τζούλ μέσα στὰ τυλίγματα, ποὺ ὀνομάζονται καὶ **ἀπώλειες χαλκοῦ** (N_{η}).

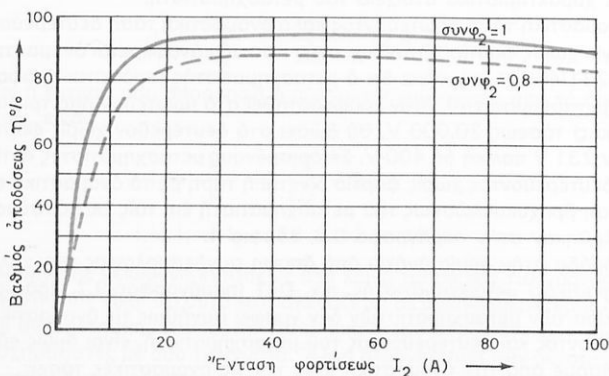
β) **Μαγνητικές ἀπώλειες** ἀπὸ ὑστέρηση καὶ δινορρεύματα μέσα στὸ σιδερένιο πυρήνα τοῦ μαγνητικοῦ κυκλώματος, ποὺ ὀνομάζονται καὶ **ἀπώλειες σιδήρου** (N_{μ}).

Ὀνομάζομε βαθμὸ ἀποδόσεως ἑνὸς μετασχηματιστή τὸ λόγος τῆς πραγματικῆς ἰσχύος ποὺ δίνει τὸ δευτερεύον, πρὸς τὴν πραγματικὴ ἰσχύ ποὺ ἀπορροφᾷ τὸ πρωτεῖον, ὅταν αὐτὸ τροφοδοτεῖται μὲ τὴν ὀνομαστικὴν τοῦ τάση:

$$\eta = \frac{N_2}{N_1} = \frac{N_2}{N_2 + N_\eta + N_\mu}$$

Γιά να προσδιορίσουμε τις ακριβείς συνθήκες κάτω από τις οποίες ισχύει ορισμένος βαθμός αποδόσεως ενός μετασχηματιστή, πρέπει να γνωρίζουμε την ένταση φορτίσεως του δευτερεύοντος καθώς και το συντελεστή ισχύος του φορτίου, γιατί όταν μεταβάλλεται είτε η ένταση φορτίσεως, είτε ο συντελεστής ισχύος, είτε και τα δύο μαζί, μεταβάλλεται και ο βαθμός αποδόσεως του μετασχηματιστή.

Το σχήμα 9.11 δίνει τη μεταβολή του βαθμού αποδόσεως ενός μετασχηματιστή, όταν μεταβάλλεται η ένταση φορτίσεως του δευτερεύοντος με σταθερό συντελεστή ισχύος του φορτίου $\cos\phi_2 = 1$. Όταν ο συντελεστής του φορτίου είναι μικρότερος, π.χ. $\cos\phi_2 = 0,8$ έχουμε άλλη καμπύλη (διακοπτόμενη στο σχήμα), η οποία δίνει μικρότερες τιμές του βαθμού αποδόσεως. Σε κάθε περίπτωση ο μεγαλύτερος βαθμός αποδόσεως, δηλαδή το μέγιστο της καμπύλης, βρίσκεται συνήθως κοντά στο ονομαστικό φορτίο του μετασχηματιστή.



Σχ. 9.11.

Μεταβολή βαθμού αποδόσεως μετασχηματιστή.

Τις καμπύλες του σχήματος 9.11 μπορούμε να τις προσδιορίσουμε πειραματικά με μέτρηση (μέ βατόμετρα) των ισχύων N_1 και N_2 για διάφορες εντάσεις φορτίσεως του δευτερεύοντος, με σταθερό συντελεστή ισχύος του καταναλωτή.

Άλλος τρόπος είναι, αν γνωρίζουμε τις απώλειες N_η και N_μ , να υπολογίσουμε το βαθμό αποδόσεως από τη σχέση:

$$\eta = \frac{N_2}{N_2 + N_\eta + N_\mu}$$

ή οποία για τούς μονοφασικούς μετασχηματιστές γίνεται:

$$\eta = \frac{U_2 \cdot I_2 \cdot \cos\phi_2}{U_2 \cdot I_2 \cdot \cos\phi_2 + N_\eta + N_\mu}$$

καί για τούς τριφασικούς μετασχηματιστές:

$$\eta = \frac{1,73 \cdot U_2 \cdot I_2 \cdot \sin \phi_2}{1,73 \cdot U_2 \cdot I_2 \cdot \sin \phi_2 + N_\eta + N_\mu}$$

Οι μαγνητικές απώλειες N_μ προσδιορίζονται εύκολα με τη λειτουργία χωρίς φορτίο του μετασχηματιστή, όπως εξηγήσαμε στην παράγραφο 9.5.

Οι ηλεκτρικές απώλειες N_η προσδιορίζονται με τό πείραμα βραχυκυκλώσεως του μετασχηματιστή (παράγραφος 9.6, εδάφιο 4) για διάφορες εντάσεις I_2 .

Παράδειγμα.

Σέ τριφασικό μετασχηματιστή (πολικής) τάσεως δευτερεύοντος 220 V, με τό πείραμα βραχυκυκλώσεως μετρήθηκαν οι απώλειες χαλκού ως εξής:

για	$I_2 = 100$	200	300 A
	$N_\eta = 1200$	2800	11000 W

Νά προσδιορισθούν οι βαθμοί απόδόσεως του μετασχηματιστή για τίς ίδιες τιμές της εντάσεως δευτερεύοντος καί για συντελεστή ισχύος της καταναλώσεως ίσο με τη μονάδα. Από τη λειτουργία χωρίς φορτίο του μετασχηματιστή προκύπτει $N_\mu = 3000$ W.

Λύση.

Γιά $I_2 = 100$ A έχομε $N_2 = 1,73 \times 220 \times 100 \times 1 = 38.000$ W

Γιά $I_2 = 200$ A έχομε $N_2 = 1,73 \times 220 \times 300 \times 1 = 76.000$ W

Γιά $I_2 = 300$ A έχομε $N_2 = 1,73 \times 220 \times 300 \times 1 = 114.000$ W

Άρα για:

$$I_2 = 100 \text{ A} \quad \eta = \frac{38000}{38000 + 1200 + 3000} = \frac{38000}{42200} = 0,90$$

$$I_2 = 200 \text{ A} \quad \eta = \frac{76000}{76000 + 2800 + 3000} = \frac{76000}{81800} = 0,93$$

$$I_2 = 300 \text{ A} \quad \eta = \frac{114000}{114000 + 11000 + 3000} = \frac{114000}{128000} = 0,89$$

9.12 Όρια φορτίσεως των μετασχηματιστών.

Όπως αναφέραμε στην παράγραφο 9.10 ονομαστική ισχύς ενός μετασχηματιστή είναι ή φαινόμενη ισχύς, την οποία μπορεί νά δίνει συνεχώς τό δευτερεύον του μετασχηματιστή με την ονομαστική τάση του, χωρίς ή θερμοκρασία των τυλιγμάτων του στό θερμότερο σημείο νά ξεπεράσει ένα δριο καθορισμένο από τόν κατασκευαστή με βάση την ποιότητα των μονωτικών πού χρησιμοποιήθηκαν.

Γιά τόν καθορισμό της θερμοκρασίας αυτής οι κατασκευαστές λαμβάνουν υπόψη τους όρισμένη θερμοκρασία του περιβάλλοντος, με βάση τούς σχετικούς κανονισμούς, καί την άνύψωση της θερμοκρασίας πού προκαλείται κατά τη λειτουργία του μετασχηματιστή από τη θερμότητα των άπω-λειών.

Οι θερμοκρασίες αυτές σύμφωνα με τούς Γερμανικούς Κανονισμούς είναι:

α) Γιά τό περιβάλλον. Μέγιστη θερμοκρασία άέρα 40°C. Μέση θερμοκρασία άέρα σέ 24 ώρες 30°C. Μέση έτήσια θερμοκρασία άέρα 20°C.

β) Γιά την άνύψωση της θερμοκρασίας του μετασχηματιστή λαμβάνονται υπόψη οι τιμές του Πίνακα 9.12.1.

ΠΙΝΑΚΑΣ 9.12.1.**Έπιτρεπόμενη άνύψωση τής θερμοκρασίας μετασχηματιστών (σε °C)**

	Κλάση μονωτικών υλικών					
	A	A ₀	E	B	F	H
Στά τυλίγματα	60	65	75	80	100	135
Στό έπάνω μέρος του λαδιού	—	60	—	—	—	—

Οι κλάσεις μονωτικών υλικών που άναφέρονται στόν πίνακα περιλαμβάνουν:

Κλάση Α. Όργανικά ύλικά (όπως βαμβάκι, μετάξι, χαρτί, έμποτισμένα με μονωτικές ούσιες).

Κλάση Α₀. Όργανικά ύλικά (όπως παραπάνω και μονωτικές βαφές στους άγωγούς βουτηγμένα μέσα σε λάδι).

Κλάση Ε. Συνθετικό χαρτί (craft paper) και μονωτικές βαφές στους άγωγούς χωρίς έμπότιση με μονωτικές ούσιες.

Κλάση Β. Άνόργανα ύλικά (όπως μίκα, άμιάντος, γυαλί, έμποτισμένα με συνθετική ρητίνη).

Κλάση F. Όπως ή κλάση Β έμποτισμένα με ειδικές ούσιες.

Κλάση Η. Όπως ή κλάση Β έμποτισμένα με καθαρές σιλικόνες.

Όταν ή θερμοκρασία του περιβάλλοντος δέν είναι αύτή που πήρε ύπόψη του ό κατασκευαστής ή όταν ή φόρτιση του μετασχηματιστή που προηγήθηκε δέν ήταν συνεχής και ίση με τήν όνομαστική ισχύ του μετασχηματιστή, τότε ή ισχύς, τήν όποία μπορεί νά μάς δώσει ό μετασχηματιστής χωρίς κίνδυνο νά μεταβληθεί ή διάρκεια ζωής του, είναι διαφορετική από τήν όνομαστική του. Μπορεί νά είναι μεγαλύτερη ή και μικρότερη άπό αύτή.

Η έξέταση των παραγόντων, οι όποιοι καθορίζουν τό πόσο μεγαλύτερη ή μικρότερη μπορεί νά είναι ή φόρτιση ενός μετασχηματιστή δέν θά γίνει στό βιβλίο αύτό. Άναφέρουμε μόνο, ότι σε έγκαταστάσεις μεγάλων μετασχηματιστών ύπάρχουν κατάλληλα όργανα, τά όποία μάς δίνουν τά στοιχεία εκείνα, που χρειαζόμαστε γιά νά καθορίζουμε τή φόρτιση του μετασχηματιστή που έπιτρέπεται κάθε φορά.

Ένδεικτικά δίνουμε παρακάτω μερικά στοιχεία γιά τήν έπιτρεπόμενη ύπερφόρτιση των μετασχηματιστών, τά όποια είναι σύμφωνα με τούς Γερμανικούς Κανονισμούς.

Ό Πίνακας 9.12.2 δίνει τήν έπιτρεπόμενη ύπερφόρτιση ξηρών μετασχηματιστών με μονωτικά κλάσεις Α καθώς και τή διάρκεια της, όταν ή μέση θερμοκρασία του άέρα ψύξεως δέν ύπερβαίνει τούς 25°C και ή φόρτιση του μετασχηματιστή που προηγήθηκε ήταν μικρότερη άπό τήν όνομαστική. Γιά μονωτικά κλάσεις Ε και Β πρέπει νά πάρουμε γιά διάρκεια ύπερφορτίσεως τό 90% και 85% αντίστοιχα.

ΠΙΝΑΚΑΣ 9.12.2.**Διάρκεια ύπερφορτίσεως ξηρών μετασχηματιστών**

Προηγηθείσα συνεχής φόρτιση % τής όνομαστικής ισχύος	Διάρκεια ύπερφορτίσεως, γιά ύπερφόρτιση % τής όνομαστικής ισχύος				
	10% min	20% min	30% min	40% min	50% min
50	60	30	20	15	12
75	55	23	15	11	9
90	45	16	10	7	5

Ό Πίνακας 9.12.3 δίνει τά ίδια στοιχεία γιά μετασχηματιστές λαδιού με φυσική κυκλοφορία λαδιού και χωρίς άνεμιστήρες γιά τόν άέρα, στους όποιους λαμβάνεται ύπόψη και ή θερμοκρασία του λαδιού στην έναρξη τής ύπερφορτίσεως. Η θερμοκρασία του άέρα ψύξεως στή διάρκεια τής ύπερφορτίσεως δέν πρέπει νά ύπερβαίνει τούς 25°C.

ΠΙΝΑΚΑΣ 9.12.3.**Διάρκεια υπερφορτίσεως μετασχηματιστών λαδιού**

Προηγούμενα συνεχής φόρτιση % της ονομαστικής ισχύος	Θερμοκρασία λαδιού κατά την έναρξη υπερφορτίσεως	Διάρκεια υπερφορτίσεως για υπερφόρτιση % της ονομαστικής ισχύος				
		10%	20%	30%	40%	50%
		h	h	min	min	min
50	55	3	1,5	60	30	15
75	68	2	1	30	15	8
90	78	1	0,5	15	8	4

“Αν η θερμοκρασία του περιβάλλοντος διαφέρει από αυτή που ελήφθη για βάση στον καθορισμό της ισχύος του μετασχηματιστή (παράγρ. 9.12), τότε οι μετασχηματιστές λαδιού με φυσική κυκλοφορία λαδιού και χωρίς άνεμιστήρες για τον αέρα, μπορούν να φορτισθούν συνεχώς σύμφωνα με τα στοιχεία που δίνει ο Πίνακας 9.12.4.

ΠΙΝΑΚΑΣ 9.12.4.

Έπιτρεπόμενη συνεχής φόρτιση μετασχηματιστών λαδιού για θερμοκρασία αέρα διαφορετική από αυτή που ελήφθη για βάση

Διαφορά θερμοκρασίας αέρα από αυτή που ελήφθη για βάση	-20° C	-10° C	0° C	+ 10° C	+ 20° C
Συνεχής φόρτιση % της ονομαστικής ισχύος	121	111	100	91	81

9.13 Άλλαγή των χαρακτηριστικών τυλίγματος μετασχηματιστή.

Μερικές φορές συμβαίνει να έχουμε ένα μετασχηματιστή, ο οποίος είναι κατασκευασμένος για τάση πρωτεύοντος ή δευτερεύοντος διαφορετική από εκείνη που θα έπρεπε να έχει για τη χρήση που τον προορίζουμε. Στις περιπτώσεις αυτές πρέπει να αντικαταστήσουμε το αντίστοιχο τύλιγμα με άλλο, το οποίο να έχει τα επιθυμητά χαρακτηριστικά.

Μερικοί απλοί τύποι μας δίνουν τα στοιχεία του νέου τυλίγματος με βάση τα στοιχεία του παλιού τυλίγματος. Οι τύποι αυτοί εφαρμόζονται όχι μόνο στα τυλίγματα των μετασχηματιστών, αλλά και σε κάθε τύλιγμα κάθε τύπου μαγνητικού κυκλώματος, του οποίου επιθυμούμε αλλαγή της τάσεως.

Για τους τριφασικούς μετασχηματιστές οι τύποι πρέπει να εφαρμόζονται στα φασικά μεγέθη της τάσεως και έντάσεως.

Πρώτα υπολογίζουμε το λόγο της νέας τάσεως U' προς την παλιά τάση του τυλίγματος U . Τό λόγο αυτό το συμβολίζουμε με το γράμμα λ . Είναι:

$$\lambda = \frac{U'}{U} \quad \text{ή} \quad U' = \lambda \cdot U$$

Για τη νέα τάση, η οποία είναι λ φορές μεγαλύτερη από την παλιά, το νέο τύλιγμα πρέπει να έχει αριθμό σπειρών w ίσο με λ φορές μεγαλύτερο από τον αριθμό σπειρών w του παλιού τυλίγματος:

$$w' = \lambda \cdot w$$

Η ένταση I' του νέου τυλίγματος θα είναι ίση με την ένταση του παλιού τυλίγματος I διαιρεμένη δια λ :

$$I' = \frac{I}{\lambda}$$

‘Αρα η διατομή F' του άγωγου του νέου τυλίγματος θα είναι λ φορές μικρότερη από τη διατομή F

του άγωγού του παλιού τυλίγματος, γιά νά έχομε τήν ίδια πυκνότητα ρεύματος:

$$F' = \frac{F}{\lambda}$$

Συνεπώς ή διάμετρος d' του άγωγού του νέου τυλίγματος θά δίνεται από τή διάμετρο d του παλιού άγωγού μέ τή σχέση:

$$d' = \frac{d}{\sqrt{\lambda}}$$

Τέλος ή όλική ώμική αντίσταση του άγωγού του νέου τυλίγματος R' θά δίνεται κατά προσέγγιση από τή σχέση:

$$R' = \lambda^2 \cdot R$$

όπου: R ή όλική ώμική αντίσταση του άγωγού του παλιού τυλίγματος (στήν ίδια θερμοκρασία).

Παράδειγμα.

Τό Ένα από τά τυλίγματα μονοφασικού μετασχηματιστή είναι κατασκευασμένο γιά τάση 220 V και αποτελείται από 640 σπείρες από άγωγό διαμέτρου 0,35 mm. 'Η όλική ώμική αντίσταση του τυλίγματος στους 20°C είναι 24 Ω. Ποιά είναι τά αντίστοιχα στοιχεία του νέου τυλίγματος, μέ τό όποίο πρέπει νά αντικαταστήσουμε τό τυλίγμα αυτό, ώστε νά λειτουργεί μέ τάση 110 V;

Λύση.

Είναι $U = 220 \text{ V}$ καί $U' = 110 \text{ V}$, άρα:

$$\lambda = \frac{U'}{U} = \frac{110}{220} = \frac{1}{2}$$

'Ο άριθμός των σπειρών του νέου τυλίγματος θά είναι:

$$w' = \lambda \cdot w = \frac{1}{2} \times 640 = 320 \text{ σπείρες}$$

'Η διάμετρος του άγωγού του νέου τυλίγματος θά είναι:

$$d' = \frac{d}{\sqrt{\lambda}} = \frac{0,35}{\sqrt{\frac{1}{2}}} = \sqrt{2} \times 0,35 = 1,414 \times 0,35 = 0,495 \text{ mm}$$

'Εκλέγομε $d' = 0,5 \text{ mm}$.

'Η όλική ώμική αντίσταση του νέου τυλίγματος στους 20°C θά είναι περίπου:

$$R' = \lambda^2 \cdot R = \left(\frac{1}{2}\right)^2 \times 24 = \frac{1}{4} \times 24 = 6 \Omega$$

9.14 Μετασχηματιστές μετρήσεων.

1) Γενικά.

"Όλοι οί μετασχηματιστές, τούς όποίους έξετάσαμε στά προηγούμενα όνομάζονται **μετασχηματιστές ισχύος**, γιά νά διακρίνονται από τούς **μετασχηματιστές μετρήσεων**, οί όποιοί χρησιμεύουν μόνο στό νά υποβιβάζουν κατά Ένα γνωστό λόγο μία τάση ή ένταση, πού θέλομε νά μετρήσουμε. Έτσι μπορούμε νά μετρήσουμε π.χ. μέ βολτόμετρο, πού έχει κλίμακα μέχρι 150 V, μία ψηλή τάση 10.000 V. Όμοια μπορούμε νά μετρήσουμε μία μεγάλη ένταση, π.χ. 200 A, μέ άμπερόμετρο βαθμο-

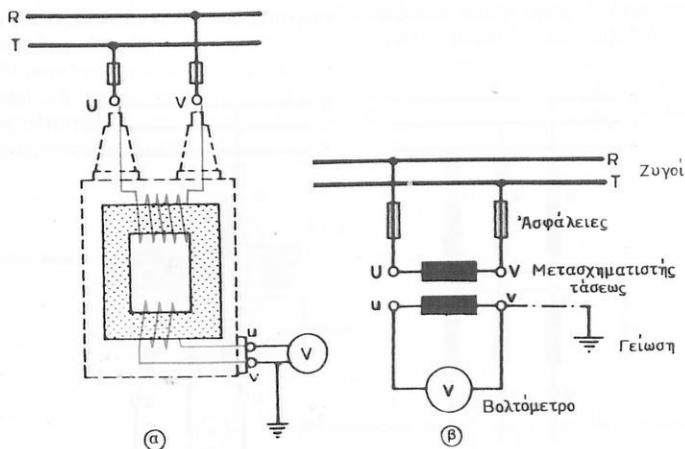
λογημένο μέχρι 5 A. Αντίστοιχα με τον προορισμό τους οι μετασχηματιστές μετρήσεων διακρίνονται σε **μετασχηματιστές τάσεως** και **μετασχηματιστές έντάσεως**.

2) Μετασχηματιστές τάσεως.

Τό πρωτεύον των μετασχηματιστών αυτών συνδέεται στους ζυγούς της Υ.Τ. πού θέλουμε να μετρήσουμε και στο δευτερεύον τους συνδέεται τό βολτόμετρο, όπως φαίνεται στο σχήμα 9.14α(α). Στο (β) του ίδιου σχήματος φαίνεται ή συμβολική παράσταση ενός μονοφασικού μετασχηματιστή τάσεως.

Οι μετασχηματιστές τάσεως εργάζονται με πολύ μικρό φορτίο, γιατί έχουν να δώσουν μόνο τό πολύ αδύνατο ρεύμα, πού χρειάζεται τό βολτόμετρο. Πρέπει όμως να διατηρούν αυστηρά σταθερή σχέση μεταφοράς σε όλη την κλίμακα της μετρήσεως. Αυτό απαιτεί την κατασκευή του μαγνητικού τους κυκλώματος με εξαιρετική επιμέλεια.

Όπως φαίνεται και στο σχήμα 9.14α, ο ένας άκροδέκτης της Χ.Τ. των μετασχηματιστών τάσεως γειώνεται. Αυτό γίνεται για την ασφάλεια αυτών πού χειρίζονται τό βολτόμετρο ή τα υπόλοιπα όργανα, πού είναι δυνατό να συνδεθούν στο δευτερεύον, όπως βατόμετρο, μετρητές ενέργειας, ρυθμιστές κλπ. Επίσης στους μετα-



Σχ. 9.14α.

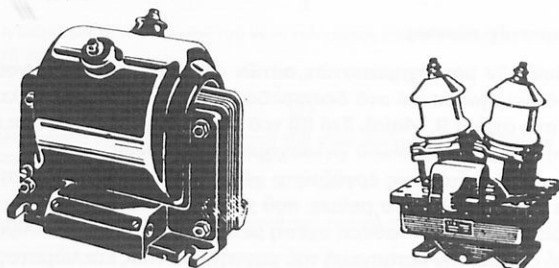
Συνδεσμολογία μονοφασικού μετασχηματιστή τάσεως.

σχηματιστές αυτούς τοποθετούνται πάντοτε ασφάλειες στη σύνδεση του πρωτεύοντος με την Υ.Τ.

Η κλίμακα του βολτόμετρου είναι βαθμολογημένη είτε ως χαμηλή τάση, όποτε για να βρούμε τη μετρούμενη Υ.Τ. πρέπει να πολλαπλασιάσουμε την ένδειξη επί τη σχέση μεταφοράς K , είτε ως Υ.Τ., όποτε γίνεται άπευθείας ανάγνωση της τάσεως.

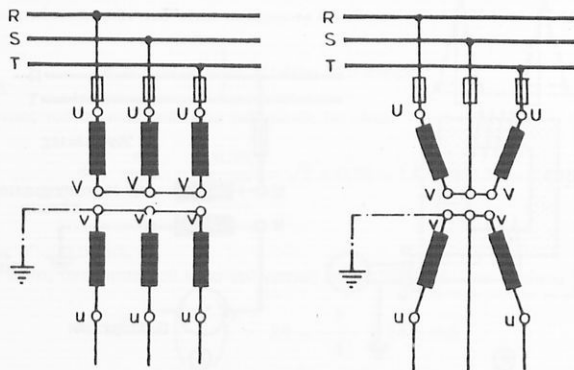
Οι μετασχηματιστές τάσεως, πού προορίζονται να λειτουργήσουν με τάσεις όρ-

κετά ύψηλές, είναι τοποθετημένοι μέσα σέ μονωτικό λάδι. Τό σχήμα 9.14β δεξιά δείχνει ένα μετασχηματιστή τάσεως αὐτοῦ τοῦ εἴδους καί ἀριστερά ένα μετασχηματιστή τάσεως ξηροῦ τύπου.



Σχ. 9.14β.
Μετασχηματιστές τάσεως.

Στά τριφασικά συστήματα συνδέομε τρεῖς μονοφασικούς μετασχηματιστές τάσεως (ἢ ἓνα τριφασικό) μέ ζεύξη σέ ἀστέρα, ὅπως φαίνεται ἀριστερά στό σχήμα 9.14γ. Μία ἄλλη συνδεσμολογία, πού χρησιμοποιεῖται συχνά στά τριφασικά συστήματα, εἶναι ἡ ζεύξη V δύο μονοφασικῶν μετασχηματιστῶν τάσεως, ὅπως φαίνεται στό δεξιό τοῦ σχήματος 9.14γ.

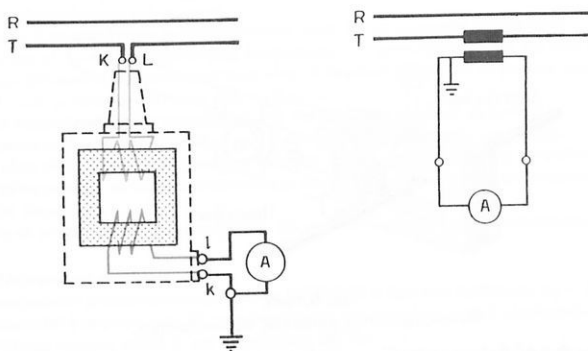


Σχ. 9.14γ.
Τριφασική ζεύξη μετασχηματιστῶν τάσεως.

3) Μετασχηματιστές ἐντάσεως.

Τό πρωτεύον τῶν μετασχηματιστῶν ἐντάσεως συνδέεται σέ σειρά μέ τό κύκλωμα, τοῦ ὁποῖου θέλομε νά μετρήσουμε τήν ἐνταση, ὅπως δείχνει τό σχήμα 9.14δ. Στό δεξιό μέρος τοῦ σχήματος φαίνεται ἡ συμβολική παράστασή τοῦ μετασχηματιστή ἐντάσεως.

Ἡ σύνθετη ἀντίσταση τοῦ πρωτεύοντος τοῦ μετασχηματιστῆ ἑντάσεως πρέπει νά εἶναι πολύ μικρή, ὅπως εἶναι ἡ ἀντίσταση ἑνός ἀμπερόμετρου συνεχοῦς ρεύμα-

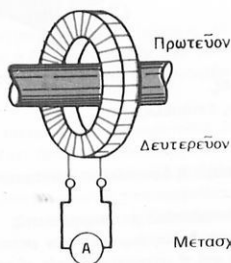


Σχ. 9.146.

Συνδεσμολογία μετασχηματιστῆ ἑντάσεως.

τος. Γιά τό λόγο αὐτό τό πρωτεῦον ἔχει λίγες σπεῖρες ἀπό ἀγωγό μέ διατομή ἱκανή νά περάσει ὅλο τό πρὸς μέτρηση ρεῦμα.

Οἱ μετασχηματιστές πού προορίζονται γιά πολύ μεγάλες ἑντάσεις ἔχουν εἰδική μορφή. Τό πρωτεῦον ἀποτελεῖται ἀπό ἕνα μόνο ἀγωγό, ἀπό τόν ὁποῖο περνᾷ τό πρὸς μέτρηση ρεῦμα, ἐνῶ τό δευτερεῦον ἔχει τή μορφή κυλινδρικοῦ δακτύλιου, ὅπως φαίνεται στό σχῆμα 9.14ε.



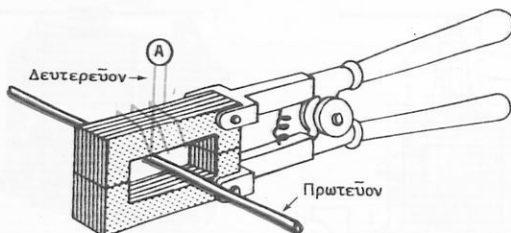
Σχ. 9.14ε.

Μετασχηματιστής ἑντάσεως γιά μεγάλες ἑντάσεις.

Σέ ὁρισμένους μετασχηματιστές ἑντάσεως τό μαγνητικό κύκλωμα ἀποτελεῖται ἀπό δύο μισά, τά ὁποῖα ἀνοίγουν ὅπως ἡ τανάλια μέσα ἀπό τήν ὁποία περνᾷ ὁ ἀγωγός, τοῦ ὁποῖου θέλομε νά μετρήσομε τήν ἑνταση (σχ. 9.14στ).

Ὅποιαδήποτε καί ἂν εἶναι ἡ διάταξη τοῦ πρωτεύοντος καί δευτερεύοντος τυλίγματος τοῦ μετασχηματιστῆ ἑντάσεως, πρέπει νά ἔχομε ὑπόψη μας, ὅτι τό δευτερεῖον τύλιγμα **δέν πρέπει ποτέ νά μένει ἀνοικτό**, δηλαδή χωρίς φορτίο, ὅταν διέρχεται ρεῦμα ἀπό τό πρωτεῦον. Στή λειτουργία τοῦ μετασχηματιστῆ ἑντάσεως, τό δευτερεῖον του εἶναι σχεδόν βραχυκυκλωμένο ἀπό τό ἀμπερόμετρο, τό ὁποῖο ἔχει μικρή σύνθετη ἀντίσταση. Ἄν ὅμως τό δευτερεῖον μένει ἀνοικτό, θά δημιουργη-

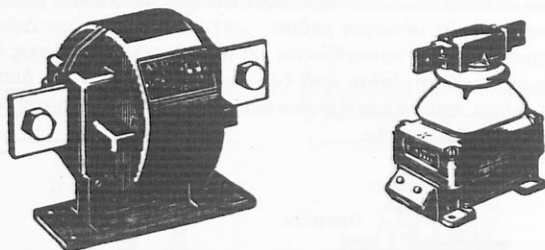
Θεϊ μεταξύ τῶν ἄκρων του ἐπικίνδυνα μεγάλη τάση. Συνεπῶς, ἂν θέλομε ἀπὸ μετασχηματιστὴ ἐντάσεως, πού λειτουργεῖ, νά ἀφαιρέσουμε τὸ ἀμπερόμετρο, θά πρέπει πρῶτα νά βραχυκυκλώσουμε τὸ δευτερεύον του.



Σχ. 9.14στ.

Μετασχηματιστὴς ἐντάσεως τύπου ἀρπάγης.

Τὸ σχῆμα 9.14ζ δείχνει τὴν ἐξωτερικὴ μορφή ἑνὸς συνηθισμένου μετασχηματιστὴ ἐντάσεως πού προορίζεται γιὰ μετρήσεις σὲ δίκτυα Χ.Τ. (ἀριστερά) καὶ ἑνὸς πού προορίζεται γιὰ δίκτυα Υ.Τ. (δεξιὰ).



Σχ. 9.14ζ.

Μετασχηματιστὴς ἐντάσεως.

9.15 Ἑρωτήσεις.

1. Τί πλεονεκτήματα δίνει στὸ ἐναλλασσόμενο ρεῦμα ἡ δυνατότητα χρησιμοποίησεως τῶν μετασχηματιστῶν;
2. Ἀπὸ τί ἀποτελεῖται τὸ ἐνεργό μέρος ἑνὸς μονοφασικοῦ μετασχηματιστῆ;
3. Μὲ ποίους τρόπους τοποθετοῦνται τὰ τυλίγματα στοὺς πυρήνες τῶν μετασχηματιστῶν;
4. Τί ὀνομάζομε μετασχηματιστὴς τύπου πυρήνα καὶ τί μετασχηματιστὴς τύπου μανδύα;
5. Ποιοὶ εἶναι οἱ τρόποι ψύξεως τῶν μετασχηματιστῶν;
6. Ποιὰ εἶναι ἡ ἀρχὴ λειτουργίας τῶν μονοφασικῶν μετασχηματιστῶν καὶ ποιὰ εἶναι ἡ τιμὴ τῆς ἡλεκτρεγερτικῆς δυνάμεως πού δημιουργεῖται ἀπὸ ἐπαγωγὴν στὰ τυλίγματα;
7. Τί ὀνομάζομε σχέση μεταφορᾶς ἑνὸς μετασχηματιστῆ; Πῶς συνδέεται αὐτὴ μὲ τὴν τάση χωρὶς φορτίο τοῦ μετασχηματιστῆ;
8. Στὴ λειτουργία μὲ φορτίο ἑνὸς μετασχηματιστῆ ποιὲς σχέσεις κατὰ προσέγγιση συνδέουν τὴν τάση καὶ ἐντάσεις πρωτεύοντος καὶ δευτερεύοντος;
9. Ποιὰ σχέση δίνει τὴν διακύμανση τάσεως στοὺς μετασχηματιστὴς;
10. Τί εἶναι τάση βραχυκυκλώσεως μετασχηματιστῆ; Σὲ τί μᾶς χρησιμεύει;
11. Τί πετυχαίνομε μὲ τὴν λήψεϊς στοὺς μετασχηματιστὴς;
12. Ποιὰ τὰ πλεονεκτήματα καὶ ποιὰ τὰ μειονεκτήματα τῆς συνδεσμολογίας σὲ τεθλασμένο ἀστὲρα

των τυλιγμάτων των μετασχηματιστών;

13. Τι σημαίνει σύμφωνα με το διεθνή συμβολισμό συνδεσμολογία μετασχηματιστή ΥγΟ;
14. Ποιό είναι το κύριο χαρακτηριστικό των μετασχηματιστών που ανήκουν στην ίδια ομάδα από άποψη συνδεσμολογίας τυλιγμάτων;
15. Πότε δύο ή περισσότεροι μετασχηματιστές λέμε ότι λειτουργούν παράλληλα;
16. Ποιές είναι οι συνθήκες παράλληλης λειτουργίας των μετασχηματιστών και πώς ελέγχονται;
17. Τι είναι οι αυτόμετασχηματιστές και ποιά είναι τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματά τους σχετικά με τους μετασχηματιστές με δύο τυλίγματα;
18. Τι είναι ονομαστική ισχύς μετασχηματιστή και σε ποιές μονάδες μετρείται;
19. Ποιά χαρακτηριστικά στοιχεία είναι γραμμένα στην πινακίδα κάθε μετασχηματιστή;
20. Ποιές είναι οι απώλειες των μετασχηματιστών και με ποιά πειράματα μετρούνται;
21. Ποιά σχέση συνδέει το βαθμό απόδοσης μετασχηματιστή με την ισχύ δευτερεύοντος και την ισχύ των απωλειών;
22. Τι είναι οι μετασχηματιστές μετρήσεων; (Περιγραφή και τρόπος χρησιμοποίησής).

9.16 Προβλήματα και άσκησης.

1. Ένα μονοφασικός μετασχηματιστής τάσεως 6600/230 V έχει στο πρωτεύον $w_1 = 1650$ σπείρες. Νά υπολογισθεί η μέγιστη τιμή της μαγνητικής ροής στον πυρήνα, όταν ο μετασχηματιστής συνδεθεί σε δίκτυο τάσεως 6600 V και συχνότητας 50 Hz.
(**Απάντ.:** 0,018 Vs)
2. Ο αριθμός σπειρών του πρωτεύοντος ενός μονοφασικού μετασχηματιστή είναι $w_1 = 1200$ και του δευτερεύοντος $w_2 = 350$. Η μέγιστη τιμή της ήμιτονοειδούς μεταβαλλόμενης μαγνητικής ροής στον πυρήνα είναι $\Phi_m = 0,005$ Vs όταν ο μετασχηματιστής τροφοδοτείται από δίκτυο με συχνότητα 50 Hz. Νά υπολογισθούν οι ηλεκτρεγερτικές δυνάμεις που δημιουργούνται από επαγωγή στα δύο τυλίγματα.
(**Απάντ.:** $E_1 = 1332$ V, $E_2 = 388$ V)
3. Σε μονοφασικό μετασχηματιστή μετρήθηκαν οι τάσεις πρωτεύοντος και δευτερεύοντος χωρίς φορτίο και βρέθηκαν $U_1 = 2800$ V και $U_2 = 220$ V αντίστοιχα. Αν το δευτερεύον έχει $w_2 = 52$ σπείρες, πόσες σπείρες έχει το πρωτεύον;
(**Απάντ.:** $w_1 = 662$ σπείρες)
4. Τριφασικός μετασχηματιστής ζεύξης άστρα-άστρα έχει σχέση ονομαστικών τάσεων 2200/115 V. Αν η ένταση γραμμής στο δευτερεύον είναι 72 A ποιά είναι η ένταση γραμμής στο πρωτεύον του μετασχηματιστή, αν άγνοηθούν οι απώλειές του;
(**Απάντ.:** 3,76 A)
5. Ένας έναέριος υποσταθμός εξυπηρετείται από τριφασικό μετασχηματιστή 15.000/380/220 V, 160 kVA, που έχει βαθμό απόδοσης 0,96. Στην πλευρά της καταναλώσεως μετρήθηκε ισχύς 135 kW με συνφ = 0,8. Νά βρεθούν: 1) Η συνδεσμολογία του δευτερεύοντος του μετασχηματιστή. 2) Αν ο μετασχηματιστής υπερφορτίζεται και πόσο; 3) Η ένταση γραμμής στο πρωτεύον.
(**Απάντ.:** 1) Σε άστρα ή σε τεθλασμένο άστρα. 2) Είναι $N_{2S} = 168$, 75 kVA, άρα υπερφορτίζεται κατά 8,75 kVA ή 5,4%. 3) $I_1 = 6,77$ A)
6. Ένας μονοφασικός μετασχηματιστής 6600/220 V έχει λήψεις στο πρωτεύον $\pm 5\%$. Γιά ποιές τάσεις πρωτεύοντος είναι κατασκευασμένος;
(**Απάντ.:** 6930 V, 6600 V, 6270 V)
7. Μονοφασικός μετασχηματιστής 1250/230 V είναι γνωστό ότι έχει διακύμανση τάσεως 5%. Ποιά είναι η τάση του δευτερεύοντος του μετασχηματιστή στη λειτουργία με το κανονικό φορτίο;
(**Απάντ.:** 219 V)
8. Ένας μονοφασικός μετασχηματιστής 2200/220 V, 4 kVA, 50 Hz απορροφά ισχύ $N_p = 80$ W στη λειτουργία χωρίς φορτίο με τάση 2200 V. Στο πείραμα βραχυκυκλώσεως με την ονομαστική ένταση δευτερεύοντος $I_2 = 18,2$ A απορροφά ισχύ $N_h = 112$ W. Νά υπολογισθεί ο βαθμός απόδοσης του μετασχηματιστή γιά συνφ₂ = 0,8 και γιά την ονομαστική ένταση του δευτερεύοντος.
(**Απάντ.:** 94,4%)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΔΕΚΑΤΟ

ΜΕΤΑΤΡΟΠΕΙΣ – ΑΝΟΡΘΩΤΕΣ

10.1 Γενικά.

Ἡ πρόοδος στήν τεχνολογία πού συνδέεται μέ τήν ηλεκτρική ἐνέργεια, ὅπως ἀναφέραμε, ὁδήγησε στήν ἀποκλειστική χρησιμοποίηση τοῦ ἐναλλασσόμενου ρεύματος στά δίκτυα διανομῆς ηλεκτρικῆς ἐνέργειας. Ὑπάρχουν ὅμως περιπτώσεις, στίς ὁποῖες γιά ὀρισμένες χρήσεις εἶναι ἀπαραίτητο νά ἔχομε ηλεκτρική ἐνέργεια μέ μορφή συνεχοῦς ρεύματος. Γιά παραδείγματα ἀναφέρομε τή φόρτιση τῶν συσσωρευτῶν, τή γαλβανοπλαστική, τήν ηλεκτρολυτική παραγωγή μετάλλων, τήν ηλεκτρική ἔλξη (τρόλεϋ, ηλεκτρικοί σιδηρόδρομοι), τήν τροφοδότηση τηλεφωνικῶν καί τηλεγραφικῶν ἐγκαταστάσεων κλπ. Στίς περιπτώσεις αὐτές πρέπει νά μετατρέπομε τό ἐναλλασσόμενο ρεῦμα σέ συνεχές.

Παλιότερα ἡ μετατροπή αὐτή γινότανε μέ τή βοήθεια *ζευγῶν κινητήρα-γεννήτριας, στρεφόμενων μετατροπέων ἢ μετατροπέων μέ μηχανικές ἐπαφές*. Ἡ ἐπινόηση ὅμως τῶν ἀνορθωτῶν ὑδραργύρου καί στή συνέχεια τῶν ξηρῶν ἀνορθωτῶν, μέ τή χρησιμοποίηση τῶν ἡμιαγωγῶν ἀπό ὑποξείδιο τοῦ χαλκοῦ ἢ ἀπό σελήνιο καί τῶν ἀκόμη νεωτέρων ἀπό γερμάνιο ἢ πυρίτιο, ὁδήγησε σιγά-σιγά στήν ἐγκατάλειψη, ἐκτός ἀπό πολύ λίγες περιπτώσεις, τῶν ζευγῶν καί τῶν μετατροπέων.

Στά ἐπόμενα θά δώσουμε πολύ σύντομα, τήν περιγραφή τῶν ζευγῶν κινητήρα-γεννήτριας καί τῶν μετατροπέων, χωρίς νά ἀναφέρομε τοὺς μετατροπεῖς μέ μηχανικές ἐπαφές, τῶν ὁποίων ἡ χρησιμοποίηση ἔχει ἐντελῶς ἐγκαταλειφθεῖ. Στή συνέχεια θά μάς ἀπασχολήσουν οἱ *ἀνορθωτές* μέ ἡμιαγωγούς, μέ λυχνίες ὑδραργύρου καί μέ λυχνίες θερμῆς καθόδου.

10.2 Τό ζεῦγος κινητήρα-γεννήτριας.

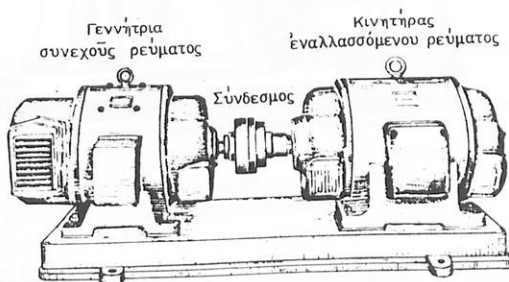
Τό ζεῦγος κινητήρα-γεννήτριας ἀποτελεῖται ἀπό ἕνα κινητήρα ἐναλλασσόμενου ρεύματος, ὁ ὁποῖος εἶναι μηχανικά συνδεμένος μέ μία γεννήτρια συνεχοῦς ρεύματος (σχ. 10.2), τήν ὁποία καί κινεῖ. Δηλαδή ἐδῶ ἡ ηλεκτρική ἐνέργεια τοῦ ἐναλλασσόμενου ρεύματος μετατρέπεται ἀπό τόν κινητήρα σέ μηχανική, γιά νά μετατραπεῖ στή συνέχεια ἀπό τή γεννήτρια σέ ηλεκτρική ἐνέργεια συνεχοῦς ρεύματος.

Ἄν ἡ ἰσχύς τοῦ συνεχοῦς ρεύματος πού χρειαζόμαστε εἶναι μικρή, ὁ κινητήρας

είναι συνήθως μία ασύγχρονη μηχανή, η οποία, αν υπάρχουν απότομες μεταβολές του φορτίου συνεχούς ρεύματος, εφοδιάζεται καί με σφόνδυλο. Αν η ισχύς είναι μεγάλη, χρησιμοποιούμε συνήθως σύγχρονο κινητήρα, ο οποίος έχει μεγαλύτερο βαθμό απόδοσης και επιτρέπει τη βελτίωση του συντελεστή ισχύος όλης της εγκατάστασης, όπως εξηγήσαμε.

Το κύριο μειονέκτημα του ζεύγους κινητήρα-γεννήτριας είναι ο χαμηλός ολικός βαθμός απόδοσής του, ο οποίος είναι γινόμενο του βαθμού απόδοσης η_K του κινητήρα επί το βαθμό απόδοσης $\eta_{Γ}$ της γεννήτριας. Π.χ. αν $\eta_K = \eta_{Γ} = 0,90$ είναι:

$$\eta = \eta_K \cdot \eta_{Γ} = 0,90 \times 0,90 = 0,81 \quad \text{ή} \quad 81\%$$



Σχ. 10.2.
Ζεύγος κινητήρα-γεννήτριας.

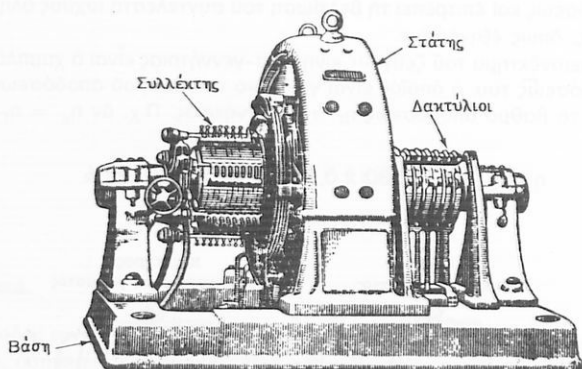
10.3 Στρεφόμενος μετατροπέας.

Ο στρεφόμενος μετατροπέας, ο οποίος ονομάζεται καί **μεταλλάκτης** (commutator), είναι ηλεκτρική μηχανή που μετατρέπει το εναλλασσόμενο ρεύμα άπευθείας σε συνεχές, δηλαδή χωρίς τη μεσολάβηση της μηχανικής ενέργειας, αλλά καί το συνεχές ρεύμα σε εναλλασσόμενο. Για το λόγο αυτό έχει καλύτερο βαθμό απόδοσης από το ζεύγος κινητήρα-γεννήτριας της ίδιας ισχύος.

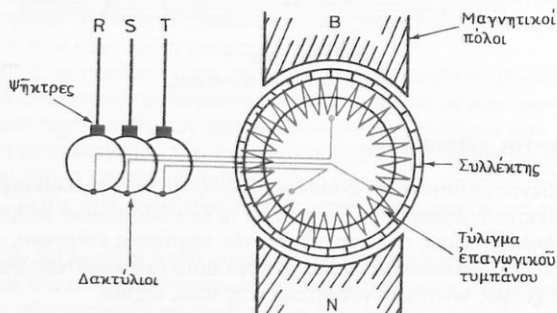
Ο στρεφόμενος μετατροπέας είναι βασικά μηχανή συνεχούς ρεύματος με παράλληλη διέγερση, η οποία όμως στην πλευρά του επαγωγικού τυμπάνου, που δεν βρίσκεται ο συλλέκτης, φέρει στόν άξονα δακτύλιους για τη σύνδεση με το δίκτυο εναλλασσόμενου ρεύματος (σχ. 10.3α). Ο αριθμός των δακτυλίων εξαρτάται από τον αριθμό των φάσεων του εναλλασσόμενου ρεύματος, το οποίο πρόκειται να μετατραπεί σε συνεχές. Για μονοφασικό ρεύμα χρειάζονται δύο δακτύλιοι, για τριφασικό τρεις καί για εξαφασικό έξι. Το σχήμα 10.3β δείχνει διαγραμματικά τη σύνδεση των δακτυλίων τριφασικού μετατροπέα με το τύλιγμα του επαγωγικού τυμπάνου, η οποία πραγματοποιείται σε τρία ισαπέχοντα σημεία. Όταν ο μετατροπέας δεν είναι διπολικός όπως στο σχήμα, τότε η σύνδεση γίνεται σε σημεία που απέχουν μεταξύ τους κατά 120 ηλεκτρικές μοίρες.

Κατά τη μετατροπή του εναλλασσόμενου ρεύματος σε συνεχές, ο στρεφόμενος

μετατροπέας παίρνει τὸ ἐναλλασσόμενο ρεύμα ἀπὸ τοὺς δακτύλιους καὶ δίνει τὸ συνεχές ρεύμα ἀπὸ τὸ συλλέκτη. Ὁ μετατροπέας λειτουργεῖ τότε σάν σύγχρονος κινητήρας γιὰ τὴν πλευρά τοῦ ἐναλλασσόμενου ρεύματος καὶ σάν γεννήτρια συνε-



Σχ. 10.3α.
Στρεφόμενος μετατροπέας.



Σχ. 10.3β.
Τύλιγμα τριφασικοῦ στρεφόμενου μετατροπέα.

χοῦς ρεύματος, γιὰ τὴν πλευρά τοῦ συνεχοῦς ρεύματος. Στὸ σχῆμα 10.3γ φαίνεται ἡ συνδεσμολογία ἑνὸς τριφασικοῦ στρεφόμενου μετατροπέα. Ἡ ἐκκίνηση τοῦ στρεφόμενου μετατροπέα στὶς περιπτώσεις αὐτές γίνεται μὲ ἓνα ἀπὸ τοὺς γνωστούς τρόπους ἐκκινήσεως τῶν συγχρόνων κινητήρων (παράγρ. 4.4).

Οἱ στρεφόμενοι μετατροπέες χρησιμοποιοῦνται ἐπίσης γιὰ τὴ μετατροπὴ συνεχοῦς ρεύματος σὲ ἐναλλασσόμενο. Στὴν περίπτωση αὕτῃ ὁ μετατροπέας λειτουργεῖ σάν κινητήρας μὲ παράλληλη διέγερση γιὰ τὴν πλευρά τοῦ συνεχοῦς ρεύματος

καί σάν ἐναλλακτῆρας γιά τήν πλευρά τοῦ ἐναλλασσόμενου ρεύματος. Συνεπῶς πρέπει νά γίνει συγχρονισμός πρὶν ἀπὸ τή σύνδεση στοῦ δίκτυο ἐναλλασσόμενου ρεύματος, ἂν πρόκειται νά ἐργασθεῖ παράλληλα μέ ἄλλες μηχανές.

Σέ ἓνα στρεφόμενο μετατροπέα, μεταξύ τῶν τάσεων συνεχοῦς καί ἐναλλασσόμενου ρεύματος ὑπάρχει μία καθορισμένη σχέση, πού πολύ λίγο ἐπηρεάζεται ἀπὸ τή μεταβολή τοῦ φορτίου. Ἡ ἐνδεικνυμένη τιμὴ τῆς (πολικῆς) τάσεως τοῦ ἐναλλασσόμενου ρεύματος U_{ϵ} προκύπτει ἀπὸ τήν τάση U_6 τοῦ συνεχοῦς ρεύματος μέ τῇ βοήθεια τῶν ἀκολουθῶν σχέσεων:

Γιά μονοφασικό μετατροπέα:

$$U_{\epsilon} = 0,707 \cdot U_6$$

Γιά τριφασικό μετατροπέα:

$$U_{\epsilon} = 0,65 \cdot U_6$$

Γιά ἐξαφασικό μετατροπέα μέ ἕξι δακτύλιους, ἡ ἐνδεικνυμένη τιμὴ τῆς φασικῆς τάσεως εἶναι:

$$U_{\phi\epsilon} = 0,73 \cdot U_6$$

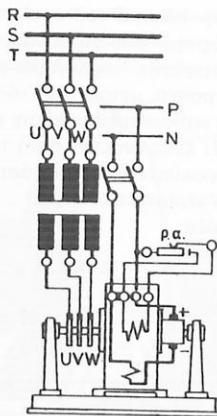
Π.χ. γιά νά δίνει ἓνας στρεφόμενος τριφασικός μετατροπέας τάση συνεχοῦς $U_6 = 230 \text{ V}$, πρέπει νά τροφοδοτεῖται μέ τάση (πολική) ἀπὸ τήν πλευρά τοῦ ἐναλλασσόμενου ρεύματος ἴση μέ $U_{\epsilon} = 0,65 \times 230 = 150 \text{ V}$.

Γιά τήν τροφοδότηση τοῦ στρεφόμενου μετατροπέα μέ τήν κατάλληλη τάση ἐναλλασσόμενου ρεύματος, παρεμβάλλομε ἓνα μετασχηματιστή, ὅπως δείχνει τὸ σχῆμα 10.3γ. Ὁ μετασχηματιστὴς αὐτός κατασκευάζεται μέ λήψη στοῦ δευτερεύον, ὅταν θέλομε νά ἔχομε ρύθμιση τῆς τάσεως τοῦ συνεχοῦς, γιατί ἡ μεταβολή τῆς ἐντάσεως διεγέρσεως μέ τή ρυθμιστικὴ ἀντίσταση δέν προκαλεῖ μεταβολή τῆς τάσεως τοῦ συνεχοῦς ρεύματος.

Ἡ μεταβολή τῆς ἐντάσεως διεγέρσεως προκαλεῖ, ὅπως εἶδαμε καί στοὺς σύγχρονους κινητήρες (παράγρ. 4.5), μεταβολή στοῦ συντελεστῆ ἰσχύος, μέ τὸν ὁποῖο ὁ μετατροπέας φορτίζει τὸ δίκτυο τοῦ ἐναλλασσόμενου ρεύματος. Συνεπῶς μέ τὸν τρόπο αὐτό εἶναι δυνατό νά πετύχομε, ὥστε ὁ στρεφόμενος μετατροπέας νά λειτουργεῖ μέ $\cos \phi = 1$.

Ἄλλοι τρόποι γιά τή ρύθμιση τῆς τάσεως τοῦ συνεχοῦς, ὅταν ὁ μετασχηματιστὴς δέν ἔχει λήψεις στοῦ δευτερεύον, εἶναι νά παρεμβάλλομε στραγγαλιστικά πηνία μεταξὺ τοῦ δευτερεύοντος τοῦ μετασχηματιστῆ καὶ τῶν δακτυλίων (δίνει ρύθμιση τῆς τάσεως τοῦ συνεχοῦς ρεύματος μέχρι 5%) ἢ νά παρεμβάλλομε ἓνα ἐπαγωγικὸ ρυθμιστὴ τάσεως (παράγρ. 8.9).

Ὅπως ἀναφέραμε, οἱ στρεφόμενοι μετατροπεῖς πολύ λίγο χρησιμοποιοῦνται σήμερα γιά τή μετατροπὴ ἐναλλασσόμενου σέ συνεχές ρεῦμα. Σημειώνομε ὅμως, ὅτι στρεφόμενοι μετατροπεῖς μικρῆς ἰσχύος χρησιμοποιοῦνται σέ ἀρκετές περιπτώσεις γιά τή μετατροπὴ συνεχοῦς ρεύματος σέ ἐναλλασσόμενο σέ συστήματα συνεχοῦς ρεύματος, στὰ ὁποῖα ὑπάρχει ἀνάγκη τροφοδοτήσεως συσκευῶν ἐναλλασσόμενου ρεύματος (π.χ. στὴν ἀεροπορία, σέ ὀχήματα πού κινοῦνται μέ συνεχές ρεῦμα κλπ.).



Σχ. 10.3γ.

Συνδεσμολογία τριφασικού στρεφόμενου μετατροπέα.

10.4 Η ηλεκτρική βαλβίδα.

Γιά τή μετατροπή του έναλλασσόμενου ρεύματος σέ συνεχές χρησιμοποιούμε σήμερα σχεδόν αποκλειστικά τούς άνορθωτές, πού εἶναι καί αὐτοί ηλεκτρικές μηχανές χωρίς όμως περιστρεφόμενα μέρη. Στους άνορθωτές βασικό μέρος αποτελοῦν τά όνομαζόμενα **άνορθωτικά στοιχεῖα**, τά όποῖα ἔχουν τή χαρακτηριστική ιδιότητα νά μή παρουσιάζουν τήν ἴδια αντίσταση στή διέλευση τοῦ ρεύματος καί κατά τήν μία φορά καί κατά τήν αντίθετη. Δηλαδή παρουσιάζουν ιδιότητες **ηλεκτρικής βαλβίδας**, ὅπως λέμε.



Σχ. 10.4.

Ηλεκτρική βαλβίδα.

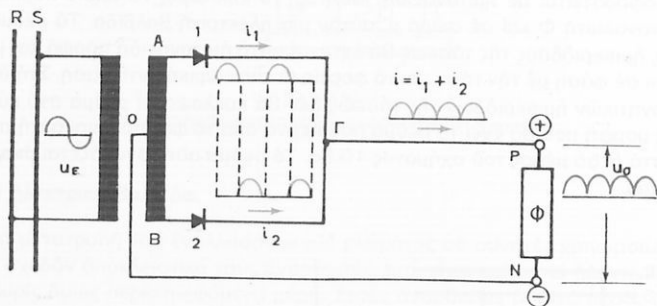
Τό σχήμα 10.4 δίνει τή συμβολική παράσταση ηλεκτρικής βαλβίδας. Κατά τή φορά από τήν **άνοδο** Α πρὸς τήν **κάθοδο** Κ, ἡ αντίσταση R_{AK} εἶναι πολύ μικρή καί μπορεί νά ληφθεῖ ἴση μέ τό μηδέν. Ἄρα ρεύμα (i) μπορεί νά περάσει κατά τή φορά αὐτή, πού λαμβάνεται καί σάν θετική φορά τῶν ἐντάσεων καί τῶν τάσεων. Κατά τήν αντίθετη φορά, δηλαδή από τήν κάθοδο πρὸς τήν άνοδο, ἡ αντίσταση R_{KA} εἶναι πολύ μεγάλη καί μπορεί νά ληφθεῖ ἄπειρη. Ἄρα ρεύμα δέν μπορεί νά περάσει από τήν ηλεκτρική βαλβίδα κατά τή φορά αὐτή. Δηλαδή, ἂν ἐφαρμοσθεῖ ἀρνητική τάση μεταξύ τῶν ηλεκτροδίων τῆς βαλβίδας, ἡ ένταση θά εἶναι ἴση μέ μηδέν.

Στήν πράξη ἡ αντίσταση R_{KA} ποτέ δέν εἶναι ἴση μέ μηδέν. Συνεπῶς κατά τή διέλευση τοῦ ρεύματος από τή βαλβίδα ἔχομε κάποια πτώση τάσεως μέσα σ' αὐτή

πως είδαμε, χρησιμοποιούνται μόνο οι μισές (οι θετικές) ήμιπερίοδοι του έναλλασσόμενου ρεύματος. Δηλαδή με την άνορθωση μισού κύματος πετυχαίνουμε, ώστε το ρεύμα, που διέρχεται μέσα από τον καταναλωτή, να έχει πάντοτε την ίδια φορά. Η άνορθωτική αυτή διάταξη χρησιμοποιείται για πολύ μικρές εντάσεις ρεύματος και όταν δεν μας ενδιαφέρει **ή κυμάτωση** του άνορθωμένου ρεύματος.

2) Άνορθωση πλήρους κύματος.

Στό σχήμα 10.5β φαίνεται μία άλλη διάταξη με δύο ηλεκτρικές βαλβίδες, με την οποία πετυχαίνουμε **άνορθωση πλήρους κύματος**. Έδώ ο μετασχηματιστής έχει στο δευτερεύον του τη μεσαία λήψη Ο, ή οποία αποτελεί τον ένα πόλο τροφοδοτήσεως του καταναλωτή. Ο άλλος πόλος προέρχεται από το σημείο Γ όπου ενώνονται οι δύο κάθοδοι των ηλεκτρικών βαλβίδων.



Σχ. 10.5β.

Μονοφασική άνορθωση πλήρους κύματος.

Με τη διάταξη αυτή πετυχαίνουμε, ώστε στη μία ήμιπερίοδο της έναλλασσόμενης τάσεως του δευτερεύοντος του μετασχηματιστή το ρεύμα i_1 να διέρχεται από την ηλεκτρική βαλβίδα 1 μέσω του κυκλώματος ΟΑΓΡΝΟ. Στην επόμενη ήμιπερίοδο το ρεύμα i_2 διέρχεται από τη βαλβίδα 2 μέσω του κυκλώματος ΟΒΓΡΝΟ. Από τον καταναλωτή περνά το άθροισμα των ρευμάτων i_1 και i_2 , το οποίο παριστάνεται με μία καμπύλη, σαν αυτή που φαίνεται στο σχήμα 10.5β. Το άνορθωμένο ρεύμα i είναι στην περίπτωση αυτή **κυματόρρευμα**. Την ίδια μορφή έχει και η τάση u_ϕ που εφαρμόζεται στον καταναλωτή Φ.

Παρατηρούμε ότι σε κάθε ήμιπερίοδο γίνεται χρήση της τάσεως, που παράγει το μισό του δευτερεύοντος του μετασχηματιστή. Δηλαδή δεν γίνεται πλήρης έκμετάλλευση του μετασχηματιστή και γι' αυτό το λόγο η διάταξη αυτή χρησιμοποιείται μόνο για μικρές τάσεις.

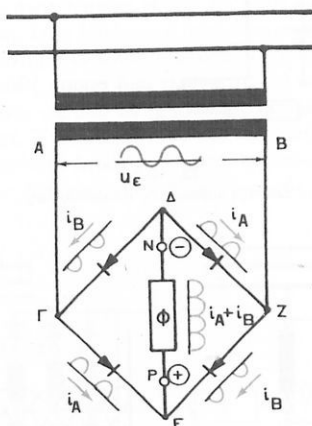
3) Διάταξη μονοφασικής γέφυρας.

Άλλη άνορθωτική διάταξη πλήρους άνορθώσεως, ή οποία δεν έχει ανάγκη από μεσαία λήψη στο μετασχηματιστή τροφοδοτήσεως και ή οποία αξιοποιεί πλήρως

τό μετασχηματιστή, είναι η ονομαζόμενη **διάταξη γέφυρας** (σχ. 10.5γ). Η διάταξη αυτή έχει τέσσερις ηλεκτρικές βαλβίδες, αντί για δύο που είχε η προηγούμενη διάταξη, με συνέπεια να έχουμε αύξηση των απωλειών μέσα στον άνορθωτή. Σε κάθε βαλβίδα εφαρμόζεται το μισό της ολικής τάσεως.

Το ρεύμα στη μία ήμιπερίοδο της τάσεως ακολουθεί το κύκλωμα ΑΓΕΡΝΔΖΒ και στην άλλη το κύκλωμα ΒΖΕΡΝΔΓΑ. Το ρεύμα δηλαδή μέσα από τον καταναλωτή και κατά τις δύο ήμιπεριόδους περνά με την ίδια φορά.

Σημειώνουμε εδώ ότι ένας τρόπος για να πετύχουμε ρύθμιση της τάσεως του άνορθωμένου ρεύματος σε μία διάταξη άνορθώσεως, είναι να έχει ο μετασχηματιστής τροφοδοτήσεως λήψεις στο δευτερεύον του.



Σχ. 10.5γ.

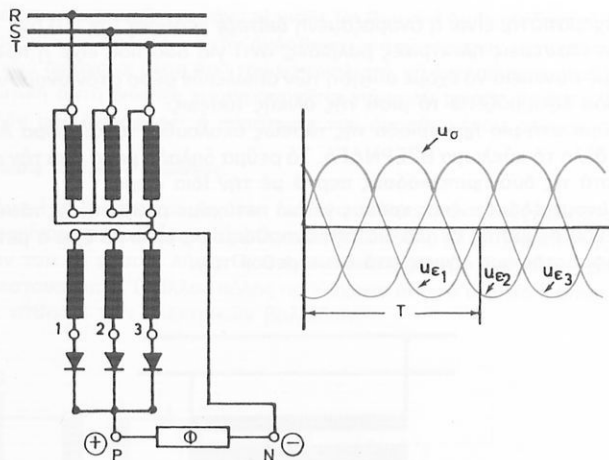
Άνορθωτική διάταξη μονοφασικής γέφυρας.

4) Διάταξη τριφασικής άνορθώσεως.

Όταν χρειαζόμαστε μεγάλη ισχύ κάνουμε άνορθωση τριφασικού έναλλασσόμενου ρεύματος με μία διάταξη, όπως αυτή του σχήματος 10.5δ. Με τη διάταξη αυτή, σε κάθε στιγμή, ρεύμα διέρχεται μόνο από τη βαλβίδα εκείνη, της οποίας η άνοδος είναι συνδεδεμένη με τη φάση, που έχει τη μεγαλύτερη θετική τάση. Δηλαδή η άνορθωμένη τάση u_o μεταξύ των άκρων του καταναλωτή θα μεταβάλλεται, όπως δείχνει η καμπύλη στο δεξιό μέρος του σχήματος 10.5δ. Παρατηρούμε, ότι η u_o αποτελείται από τις κορυφές των θετικών ήμιπεριοδών των τριών φασικών τάσεων u_{e1} , u_{e2} , u_{e3} του δευτερεύοντος του μετασχηματιστή.

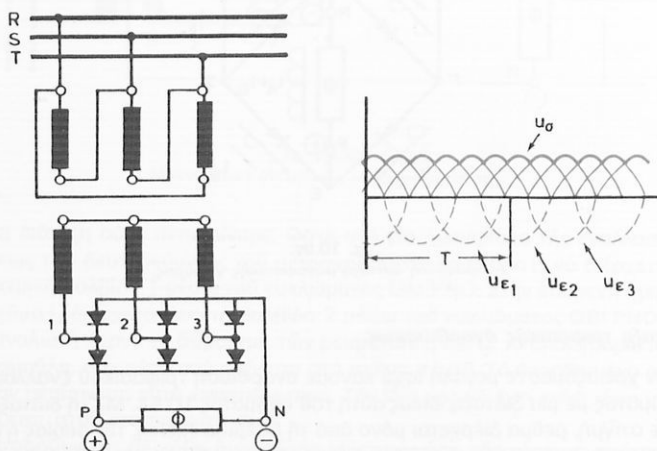
5) Διάταξη τριφασικής γέφυρας.

Εκτός από την τριφασική άνορθωση, που περιγράψαμε παραπάνω, υπάρχει και



Σχ. 10.5δ.

Διάταξη τριφασικής άνορθώσεως.



Σχ. 10.5ε.

Διάταξη άνορθώσεως τριφασικής γέφυρας.

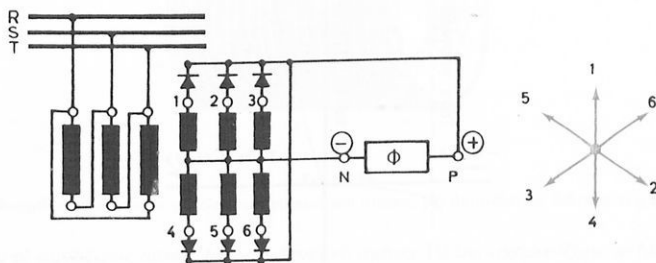
ή **διάταξη τριφασικής γέφυρας** (σχ. 10.5ε). Σ' αυτή δέν χρειάζεται οὐδέτερος κόμβος τοῦ μετασχηματιστή καί γι' αὐτό τό δευτερεύον του μπορεῖ νά εἶναι συνδεδεμένο σέ ἀστέρα ἢ σέ τρίγωνο. Μέ τή διάταξη τῆς τριφασικῆς γέφυρας ἀνορθώνονται καί οἱ δύο ἡμιπερίοδοι κάθε φάσεως τοῦ δευτερεύοντος τοῦ μετα-

σχηματιστή. Δηλαδή είναι αντίστοιχη με την ανόρθωση πλήρους κύματος των μονοφασικών διατάξεων. Έτσι ελαττώνεται σημαντικά ή κυμάτωση στην ανορθωμένη τάση, όπως φαίνεται στο δεξιό μέρος του σχήματος 10.5ε. Το ανορθωμένο ρεύμα είναι τώρα πολύ πιο όμαλό και συνεπώς πλησιάζει στο συνεχές ρεύμα, δηλαδή σε ρεύμα με σταθερή τάση.

Στην περίπτωση της απλής τριφασικής ανορθώσεως, ο αριθμός των κυμάτων σε μία περίοδο T είναι ίσος με τον αριθμό των φάσεων, δηλαδή με τρία. Στην περίπτωση της τριφασικής γέφυρας είναι ίσος με το διπλάσιο του αριθμού των φάσεων, δηλαδή με έξι.

6) Διάταξη εξασφατικής ανορθώσεως.

Η διάταξη αυτή δίνει ανορθωμένο ρεύμα της ίδιας ακριβώς μορφής με τη διάταξη τριφασικής γέφυρας. Στην εξασφατική ανορθωτική διάταξη, η οποία τροφοδοτείται από τριφασικό σύστημα έναλλασσόμενου ρεύματος, το δευτερεύον του μετασχηματιστή έχει σε κάθε κορμό δύο τυλίγματα. Τα έξι αυτά τυλίγματα συνδεσμολογούνται μεταξύ τους σε δύο αντίστροφους άστερες με κοινό κόμβο, όπως δείχνει το σχήμα 10.5στ. Έτσι τα διανύσματα των φασικών τάσεων του δευτερεύοντος του μετασχηματιστή έχουν μεταξύ τους φασική απόκλιση $360 : 6 = 60$ ηλεκτρικές μοίρες, όπως φαίνεται και στο δεξιό μέρος του ίδιου σχήματος.



Σχ. 10.5στ.

Διάταξη εξασφατικής ανορθώσεως.

10.6 Άνορθωτές με ήμιαγωγούς.

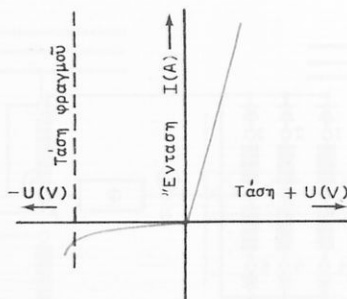
1) Γενικά.

Στους άνορθωτές αυτούς, οι οποίοι ονομάζονται και **ξηροί άνορθωτές**, χρησιμοποιούνται άνορθωτικά στοιχεία (ηλεκτρικές βαλβίδες) από ήμιαγωγούς. Στοιχεία αυτού του είδους είναι τα στοιχεία ύποξειδίου του χαλκού, σεληνίου, γερμανίου και πυριτίου. Οι άνορθωτές με στοιχεία ύποξειδίου του χαλκού χρησιμοποιούνται σήμερα μόνο σαν άνορθωτές οργάνων μετρήσεως. Μέχρι πριν από λίγα χρόνια για τα ισχυρά ρεύματα χρησιμοποιούσαμε κυρίως άνορθωτές σεληνίου. Τώρα ο-

μως, χάρη στις εξαιρετικές τους ιδιότητες, οι άνορθωτές γερμανίου και πυριτίου κερδίζουν συνεχώς έδαφος.

Τό βασικό μέρος των άνορθωτικών στοιχείων είναι ένας δίσκος από ήμιαγωγό υλικό, όπως σελήνιο, υποξειδίο του χαλκού, πυρίτιο ή γερμάνιο. Μεταξύ αυτού και ενός ηλεκτροδίου από μεταλλικό έλασμα παρεμβάλλεται μία λεπτή διαχωριστική στρώση, στην οποία στηρίζεται και ή λειτουργία του στοιχείου σαν ήλεκτρικής βαλβίδας. Δηλαδή ή στρώση αυτή αφήνει τό ρεύμα νά περνά πρός τή μία μόνο φορά, ενώ τό φράζει πρός τήν αντίθετη και γι' αυτό ονομάζεται **στρώση φραγμού**.

Τό σχήμα 10.6α δείχνει τή χαρακτηριστική καμπύλη μεταβολής του ρεύματος, όταν μεταβάλλεται ή τάση που εφαρμόζεται σέ ένα άνορθωτικό στοιχείο από ήμιαγωγό. Όπως παρατηρούμε, και όταν ή τάση είναι άρνητική, υπάρχει ένα μικρό άρνητικό ρεύμα, τό οποίο είναι χωρίς σημασία, έφόσον ή άρνητική τάση δέν υπερβαίνει ένα όριο. Στο όριο αυτό, τό οποίο ονομάζομε **τάση φραγμού**, γίνεται διάσπαση τής στρώσεως φραγμού και τό στοιχείο σταματά νά συμπεριφέρεται σαν ήλεκτρική βαλβίδα. Δηλαδή ρεύμα περνά πιά και κατά τήν άρνητική φορά. Συνηθίζεται επίσης σαν τάση φραγμού νά ονομάζεται και ή ένδεικνυμένη τιμή τής τάσεως έναλλασσόμενου ρεύματος, που προκαλεί μέ τς άρνητικές ήμπεριόδους της τή διάσπαση τής ήλεκτρικής βαλβίδας. Είναι αυτονόητο ότι **ή έμπρεσόμενη τάση λειτουργίας** μιās βαλβίδας είναι μικρότερη από τήν τάση φραγμού.



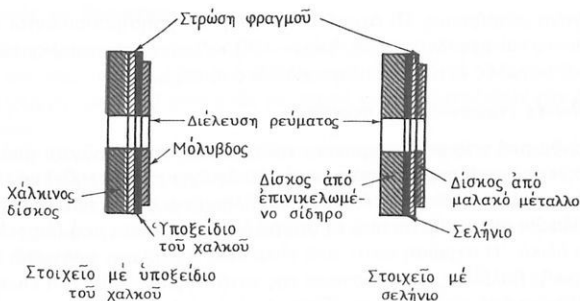
Σχ. 10.6α.

Χαρακτηριστική καμπύλη έντάσεως-τάσεως άνορθωτικών στοιχείων.

2) Άνορθωτές σεληνίου και υποξειδίου του χαλκού.

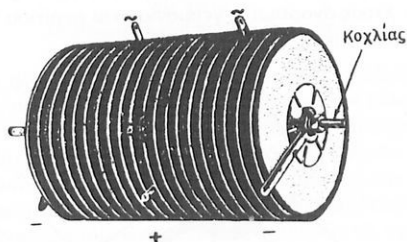
Στό σχήμα 10.6β φαίνεται στό άριστερό μέρος πως είναι συγκροτημένο ένα στοιχείο υποξειδίου του χαλκού και στό δεξιό μέρος ένα στοιχείο σεληνίου. Στό πρώτο, ή διέλευση του ρεύματος γίνεται από τό ηλεκτρόδιο μολύβδου πρός τό ηλεκτρόδιο χαλκού (χάλκινος δίσκος). Στό δεύτερο, τό ρεύμα περνά από τό ηλεκτρόδιο έπινικελωμένου σιδήρου πρός τό δίσκο μαλακού μετάλλου.

Τά άνορθωτικά στοιχεία συνδέονται μεταξύ τους σέ σειρά ή παράλληλα ανάλογα μέ τήν τάση και ένταση του ρεύματος, τήν οποία θέλομε νά μās δώσει ο άνορθωτής και μέ τήν άνορθωτική διάταξη που έχομε διαλέξει (παράγρ. 10.5). Για νά



Σχ. 10.6β.

Άνορθωτικά στοιχεία υποξειδίου του χαλκού και σεληνίου.



Σχ. 10.6γ.

Άνορθωτής σεληνίου με δίσκους ψύξεως και λήψεις για άνορθωτική διάταξη γέφυρας.

γίνουν οι συνδέσεις αυτές, όπως δείχνει το σχήμα 10.6γ, σχηματίζουμε στήλες από άνορθωτικά στοιχεία, τα οποία στερεώνουμε με μία βίδα που περνά από τις τρύπες που υπάρχουν στο κέντρο των στοιχείων.

Όταν ο άνορθωτής είναι για μεγάλες εντάσεις, μεταξύ των στοιχείων παρεμβάλλονται μεγάλοι μεταλλικοί δίσκοι, οι οποίοι χρησιμεύουν για την ψύξη. Η επιτρεπόμενη τάση λειτουργίας στα στοιχεία υποξειδίου του χαλκού είναι περίπου 10 V (ένδεικνυμένη τιμή) και στα στοιχεία σεληνίου 20 ως 25 V. Η επιτρεπόμενη φόρτιση στα στοιχεία σεληνίου με φυσική ψύξη είναι περίπου 60 mA/cm². Αυτή τριπλασιάζεται αν έχουμε εξαναγκασμένη κυκλοφορία του αέρα ψύξεως με ανεμιστήρα. Σε κάθε περίπτωση πρέπει να έχουμε υπόψη μας, ότι η θερμοκρασία των στοιχείων σεληνίου κατά τη λειτουργία του άνορθωτή δεν πρέπει να περνά τους 80° C. Ο βαθμός αποδόσεως των άνορθωτών σεληνίου είναι 85 ως 90%. Στους άνορθωτές υποξειδίου του χαλκού ο βαθμός αποδόσεως είναι μικρότερος και η μέγιστη επιτρεπόμενη θερμοκρασία είναι 50° C.

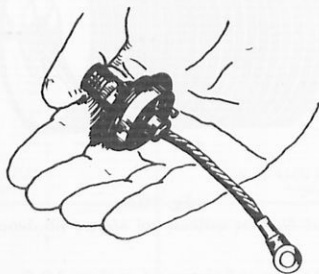
Οι άνορθωτές υποξειδίου του χαλκού χρησιμοποιούνται, όπως αναφέραμε, μό-

νο σέ ὄργανα μετρήσεως. Οἱ ἀνορθωτές σεληνίου χρησιμοποιοῦνται εἴτε γιά μικρές ἐντάσεις καί μεγάλες τάσεις (μέχρι 100 kV) εἴτε γιά χαμηλές τάσεις (μέχρι 250 V) καί μεγάλες ἐντάσεις (μέχρι χιλιάδες ἀμπέρ).

3) Ἀνορθωτές γερμανίου καί πυριτίου.

Τά ἀνορθωτικά στοιχεῖα γερμανίου καί πυριτίου ἀποτελοῦνται ἀπό ἓνα λεπτό δίσκο ἀπό γερμάνιο ἢ πυρίτιο ἐπάνω στὸν ὁποῖο ἔχει τοποθετηθεῖ μέ τήξη ἓνα ἄλλο κατάλληλο ὕλικό (ἱνδιο γιά τὸ γερμάνιο, ἀλουμίνιο γιά τὸ πυρίτιο). Στὴν ἔνωση τῶν δύο ὕλικῶν σχηματίζεται ἀπὸ τὴ σύντηξή τους στρώση πού ἀποτελεῖται καί ἀπὸ τὰ δύο ὕλικά. Ἡ στρώση αὐτή, πού εἶναι ἐδῶ ἡ στρώση φραγμοῦ, ἔχει ιδιότητες ἡλεκτρικῆς βαλβίδας. Ἡ ἀντίστασή της κατὰ τὴ μία διεύθυνση εἶναι 5000 φορές μεγαλύτερη ἀπὸ τὴν ἀντίθετη. Ἔτσι σ' αὐτὰ τὰ ἀνορθωτικά στοιχεῖα τὸ ἀρνητικό ρεῦμα εἶναι πολὺ μικρότερο ἀπὸ ὅτι εἶναι στὰ στοιχεῖα σεληνίου.

Ἡ ἐπιτρεπόμενη τάση λειτουργίας (ἐνδεικνυμένη τιμὴ) στὰ ἀνορθωτικά στοιχεῖα γερμανίου εἶναι 160 V, ἐνῶ στὰ στοιχεῖα πυριτίου 380 V περίπου γιά κάθε στοιχεῖο. Ἡ ἐπιτρεπόμενη ἔνταση φορτίσεως στὸ γερμάνιο καί πυρίτιο φθάνει σέ 50 ὡς 150 A/cm², δηλαδὴ εἶναι μεγαλύτερη κατὰ 1000 φορές περίπου ἀπὸ τὰ στοιχεῖα σεληνίου. Στούς ἀνορθωτές γερμανίου καί πυριτίου γιά τάσεις πάνω ἀπὸ 100 V ὁ βαθμὸς ἀποδόσεως περνᾷ τὸ 95%.



Σχ. 10.66.

Ἀνορθωτικό στοιχεῖο πυριτίου ἰσχύος 10 kW.

Αὐτὰ τὰ ἀνορθωτικά στοιχεῖα (σχ. 10.66) μπορούμε νὰ τὰ χρησιμοποιήσουμε καί γιά μεγάλες ἰσχεῖς. Ἐνα μειονέκτημα πού παρουσιάζουν εἶναι ἡ μεγάλη εὐαισθησία τους στὴ θερμότητα. Ἡ ὀριακὴ θερμοκρασία στὰ στοιχεῖα γερμανίου εἶναι μόνο 65° C ἐνῶ στοὺς ἀνορθωτές πυριτίου εἶναι 140° C. Λόγω τῶν μικρῶν διαστάσεων τῶν στοιχείων ἡ θερμοχωρητικότητά τους εἶναι μικρή, μέ συνέπεια σέ μία ὑπερφόρτιση ἡ θερμοκρασία τους νὰ ἀνεβαίνει γρήγορα. Γιά τὸ λόγο αὐτὸ τὰ στοιχεῖα εἶναι ἐφοδιασμένα μέ ψυκτικά σώματα καί οἱ ἀντίστοιχοι ἀνορθωτές μέ αὐτόματες διατάξεις γιά τὴ γρήγορη διακοπὴ τῆς τροφοδοτήσεως σέ περίπτωση ἀνυψώσεως τῆς θερμοκρασίας.

Οἱ ἀνορθωτές μέ ἀνορθωτικά στοιχεῖα γερμανίου καί πυριτίου χρησιμοποιοῦνται γιά ἐντάσεις ἀπὸ 1A καί κάτω μέχρι πάνω ἀπὸ 1000 A.

4) Άνορθωτές με θυρίστορ.

Σήμερα χρησιμοποιούνται και στίς ηλεκτρικές μηχανές άνορθωτές με **θυρίστορ**. Δηλαδή με άνορθωτικά στοιχεία από ήμιαγωγούς που έχουν τή δυνατότητα νά δύνουν ρυθμιζόμενη τάση τοῦ συνεχοῦς ρεύματος καί νά ἐπιτρέπουν τήν ἐφαρμογή αὐτοματισμῶν.

Τό θυρίστορ βασικά εἶναι ἓνα άνορθωτικό στοιχείο πυριτίου πού ἔχει ὅμως περισσότερα στρώματα ἀπό ήμιαγωγό ὑλικό, ὥστε νά σχηματίζονται τρεῖς στρώσεις φραγμοῦ. Μέ τήν κατασκευή αὐτή εἶναι δυνατή ἡ τοποθέτηση στό άνορθωτικό στοιχείο, ἐκτός ἀπό τήν άνοδο καί τήν κάθοδο καί ενός τρίτου ηλεκτροδίου πού τό ὀνομάζομε **πύλη** (σχ. 10.6ε).



Σχ. 10.6ε.

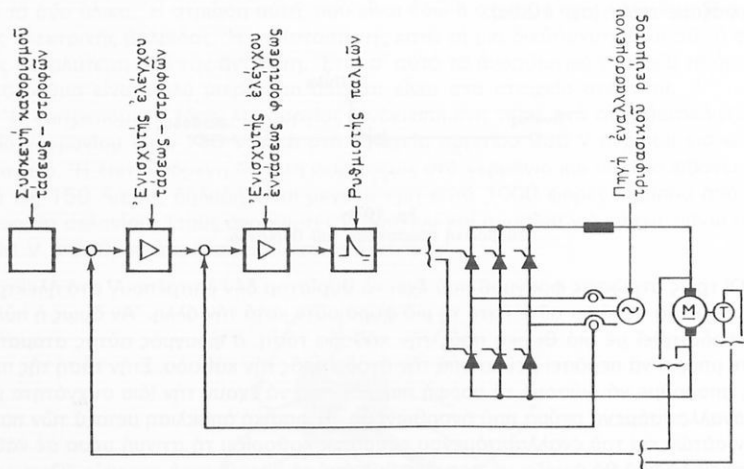
Συμβολική παράσταση τοῦ θυρίστορ.

Οἱ τρεῖς στρώσεις φραγμοῦ πού ἔχει τό θυρίστορ δέν ἐπιτρέπουν στό ηλεκτρικό ρεύμα νά περάσει οὔτε κατά τή μιά φορά οὔτε κατά τήν ἄλλη. Ἄν ὅμως ἡ πύλη τροφοδοτηθεῖ μέ μιά θετική πρὸς τήν κάθοδο τάση, ὁ φραγμός αὐτός σταματᾷ. Τότε μπορεῖ νά περάσει ρεύμα ἀπό τήν άνοδο πρὸς τήν κάθοδο. Στήν τάση τῆς πύλης μποροῦμε νά δώσομε τή μορφή παλμῶν πού νά ἔχουν τήν ἴδια συχνότητα μέ τό ἀναλασσόμενο ρεύμα πού άνορθώνομε. Ἡ φασική ἀπόκλιση μεταξύ τῶν παλμῶν αὐτῶν καί τοῦ ἐναλασσόμενου ρεύματος καθορίζει τή στιγμή μέσα σέ κάθε ἡμιπερίοδο πού θά ἀρχίζει νά περνᾷ ρεύμα ἀπό τό άνορθωτικό στοιχείο. Ὄταν μεταβάλλομε αὐτή τή φασική ἀπόκλιση μεταβάλλεται ἡ τάση τοῦ συνεχοῦς ρεύματος. Ἡ ἴδια μέθοδος γιά τή ρύθμιση τῆς τάσεως τοῦ συνεχοῦς ἐφαρμόζεται καί στίς λυχνίες ὑδραργύρου μέ σχάρες καί θά τήν ἐξηγήσομε ἀναλυτικά σέ μιά ἐπόμενη παράγραφο (10.9). Ἡ πτώση τάσεως μέσα στό άνορθωτικό στοιχείο φθάνει τά 1,5 ὠς 1,9 V γιά τό κύριο ρεύμα.

Τά τελευταῖα χρόνια ἡ ἐξάπλωση τῆς χρήσεως τῶν θυρίστορ εἶναι θεαματική. Ὅπως ἀναφέραμε καί στήν παράγραφο 2.11 (ἐδάφιο 3) μιά ἀπό τίς ἐφαρμογές τους εἶναι στήν τροφοδότηση τῶν κινητῆρων συνεχοῦς ρεύματος καί τόν αὐτόματο ἔλεγχο τῆς ταχύτητας περιστροφῆς. Τό σχῆμα 10.6στ δείχνει μιά τέτοια διάταξη. Σ' αὐτήν, ἡ άνόρθωση τοῦ ἐναλασσόμενου τριφασικοῦ ρεύματος γίνεται μέ μιά τριφασική γέφυρα ἀπό θυρίστορ πού τροφοδοτεῖ τό ἐπαγωγικό τύμπανο τοῦ κινητήρα συνεχοῦς ρεύματος Μ.

Γιά τόν ἔλεγχο τῆς ταχύτητας τοῦ κινητήρα χρησιμοποιεῖται ἓνα ὄργανο μετρήσεως τῆς ταχύτητας Τ, πού εἶναι μιά πολύ μικρή γεννήτρια τῆς ὁποίας ἡ τάση εἶναι ἀκριβῶς ἀνάλογη τῆς ταχύτητας. Οἱ ἐνδείξεις τοῦ ὀργάνου αὐτοῦ, μαζί μέ τίς ἐνδείξεις γιά τήν τάση τοῦ ἐπαγωγικοῦ τυμπάνου τοῦ κινητήρα καί τήν ἔνταση φορτίσεως, μεταβιβάζονται, ὅπως δείχνει τό σχῆμα 10.6στ, σέ ἐνισχυτές ἐλέγχου, οἱ ὁποῖοι ἐπηρεάζουν τό ρυθμιστή παλμῶν. Αὐτός μέ τή σειρά του ρυθμίζει τή φασική

ἀπόκλιση τῶν παλμῶν πού τροφοδοτοῦν μέ τάση τίς πύλες τῶν θυρίστωρ. Ἀποτελεσμα αὐτῆς τῆς ρυθμίσεως εἶναι νά αὐξάνεται ἢ νά ἐλαττώνεται ἡ τάση συνεχοῦς ρεύματος πού ἐφαρμόζεται στό ἐπαγωγικό τύμπανο τοῦ κινητήρα Μ. Ἐτσι διορθώνεται αὐτόματα ὁποιαδήποτε μεταβολή στίς στροφές τοῦ κινητήρα, ἡ ὁποία θά προέκυπτε ἀπό μεταβολή τοῦ φορτίου, τῆς τάσεως τοῦ δικτύου ἢ τῆς ἐντάσεως διεγέρσεως καί ὁ κινητήρας ἔχει ἀπόλυτα σταθερή ταχύτητα. Ἐπίσης ἡ διάταξη ἐπιτρέπει νά καθορίσῃ καί μάλιστα σέ πολύ μεγάλα ὅρια, τόν ἀριθμό στροφῶν στό λεπτό μέ τόν ὁποῖο θέλομε νά ἐργάζεται ὁ κινητήρας.



Σχ. 10.6στ.

Αὐτόματος ἔλεγχος τῆς ταχύτητας κινητήρα.

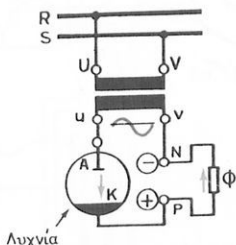
10.7 Ἀνορθωτές ὑδραργύρου.

1) Ἡ ἀρχή τῆς λειτουργίας.

Στοὺς ἀνορθωτές αὐτοὺς τῇ λειτουργία τῆς ηλεκτρικῆς βαλβίδας ἐκτελεῖ μία **λυχνία**. Ἡ λυχνία ἀποτελεῖται ἀπὸ ἓνα κατάλληλα διαμορφωμένο δοχεῖο ἀπὸ γυαλί ἢ χάλυβα ἀπὸ τὸ ὁποῖο ἔχει ἀφαιρεθεῖ ὁ ἀέρας, ὥστε νά ὑπάρχει μέσα σ' αὐτὴ πολὺ μικρὴ πίεση, ἴση περίπου μέ ἓνα ἑκατομμυριοστὸ τῆς ἀτμόσφαιρας. Ἡ ἀνοδος Α (σχ. 10.7α) εἶναι ἓνα ηλεκτρόδιο ἀπὸ μέταλλο ἢ γραφίτη. Ἡ κάθοδος Κ ἀποτελεῖται ἀπὸ ὑδράργυρο, ὁ ὁποῖος βρίσκεται στό κάτω μέρος τῆς λυχνίας, ἡ ὁποία γιὰ τὸ λόγο αὐτὸ ὀνομάζεται καί **λυχνία ὑδραργύρου**. Ἡ σύνδεση τῶν δύο ηλεκτροδίων Α καί Κ μέ τὸ ἐξωτερικὸ κύκλωμα γίνεται μέ τρόπο ἀεροστεγῆ, ὥστε νά μὴν ἐλαττώνεται τὸ **κενὸ** μέσα στῇ λυχνία.

Ὅταν ἡ κάθοδος εἶναι ψυχρὴ δέν περνᾷ ρεῖμα ἀπὸ τῇ λυχνία. Ἄν ὅμως μέ κάποιο μέσο πυρακτώσῃ ἓνα σημεῖο τῆς ἐπιφάνειας τοῦ ὑδραργύρου, δηλαδὴ τῆς

καθόδου, τότε αυτή αρχίζει να εκπέμπει ηλεκτρόνια, τα οποία πηγαίνουν προς την άνοδο, όταν το δυναμικό της ως προς την κάθοδο είναι θετικό. Όπως αναφέρομε παρακάτω, μέσα στη λυχνία δημιουργούνται και άτμοι υδραργύρου. Τα κινούμενα ηλεκτρόνια συγκρούονται με τα μόρια των ατμών και προκαλούν με αυτό τον τρόπο **ιονισμό κρούσεων**. Τα ιόντα που παράγονται από τον ιονισμό πηγαίνουν και αυτά προς την άνοδο. Όπως είναι γνωστό από την Ήλεκτροτεχνία, η μεταφορά αυτή ηλεκτρονίων και ιόντων σημαίνει διέλευση ηλεκτρικού ρεύματος, το οποίο συμβατικά έχει φορά αντίθετη από την κατεύθυνση κίνησης των ηλεκτρονίων. Δηλαδή μέσα στη λυχνία κυκλοφορεί ηλεκτρικό ρεύμα και μάλιστα με τη μορφή φωτεινού τόξου, μόνο από την άνοδο προς την κάθοδο. Αντίθετη φορά του ρεύματος δεν είναι δυνατή. Δηλαδή στις αρνητικές ήμπεριόδους της τάσεως που εφαρμόζεται δεν κυκλοφορεί κανένα ρεύμα μέσα από τη λυχνία. Συνεπώς η λυχνία υδραργύρου λειτουργεί σαν ηλεκτρική βαλβίδα, όπως την περιγράψαμε στην παράγραφο 10.4.



Σχ. 10.7α.

Μονοφασικός άνορθωτής υδραργύρου με ανόρθωση μισού κύματος.

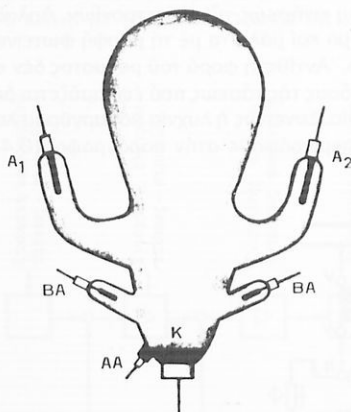
Σύμφωνα λοιπόν με τα παραπάνω η διάταξη του σχήματος 10.7α είναι αντίστοιχη με τη γνωστή διάταξη μονοφασικής άνορθώσεως μισού κύματος (έδαφιο 1, παράγραφος 10.5). Άρα από το φορτίο Φ περνά άνορθωμένο ρεύμα μορφής, όπως αυτή που δείχνει το σχήμα 10.5α στο δεξιό του μέρος.

Όταν λειτουργεί η λυχνία υδραργύρου, η άνοδος φθάνει σε θερμοκρασία περίπου 600°C . Την ονομάζουμε όμως ψυχρή σε σχέση με την πυρακτωμένη κηλίδα, η οποία σχηματίζεται επάνω στην επιφάνεια του υδραργύρου, της οποίας η θερμοκρασία φθάνει τους 3000°C . Λόγω αυτής της υψηλής θερμοκρασίας δημιουργούνται άτμοι υδραργύρου μέσα στη λυχνία οι οποίοι, όταν έλθουν σε έπαφή με τα τοιχώματά της, ψύχονται και επανέρχονται σαν υδράργυρος στην κάθοδο. Αυτό συνεχώς επαναλαμβάνεται στη διάρκεια της λειτουργίας και συνεπώς δεν υπάρχει κατανάλωση υδραργύρου.

2) Ανόρθωση πλήρους κύματος

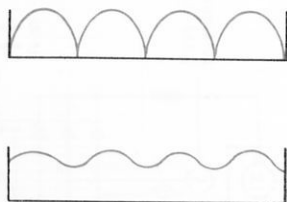
Για να αποφύγουμε τα μειονεκτήματα της άνορθώσεως μισού κύματος, χρησιμοποιούμε και στους μονοφασικούς άνορθωτές υδραργύρου την ανόρθωση πλήρους κύματος, την οποία περιγράψαμε στην παράγραφο 10.5, έδαφιο 2. Η διαφορά

σχετικά με τη συνδεσμολογία που δείχνει το σχήμα 10.5β είναι ότι εδώ, αντί να έχουμε δύο βαλβίδες, δηλαδή δύο ξεχωριστές λυχνίες, έχουμε μία λυχνία με δύο ανόδους A_1 και A_2 και μία κοινή κάθοδο K , όπως δείχνει το σχήμα 10.7β. Το σχήμα αυτό παριστάνει μία πραγματική λυχνία υδραργύρου από γυαλί με δύο ανόδους. Όπως παρατηρούμε, η λυχνία έχει και δύο **βοηθητικές ανόδους** των οποίων τη χρησιμότητα θα εξηγήσουμε στο επόμενο εδάφιο.



Σχ. 10.7β.

Γυάλινη λυχνία υδραργύρου δύο ανόδων.



Σχ. 10.7γ.

Επίδραση στραγγαλιστικού πηνίου.

Σημειώνουμε, ότι και στους άνορθωτές υδραργύρου το ρεύμα που περνά από το φορτίο είναι κυματόρρευμα, όπως εξηγήσαμε στην παράγραφο 10.5, εδάφιο 2. Η μορφή του φαίνεται στο επάνω μέρος του σχήματος 10.7γ. Για να ελαττώσουμε την κυμάτωση του ρεύματος συνδέουμε στον άνω γωγό καθόδου σε σειρά προς το φορτίο ένα **στραγγαλιστικό πηνίο**.

Το στραγγαλιστικό πηνίο έχει πυρήνα που αποτελείται από πολλά μαγνητικά έλασματα, όπως ο πυρήνας των μετασχηματιστών και παρουσιάζει μεγάλη αυτεπαγωγική αντίσταση στη διέλευση του εναλλασσόμενου ρεύματος. Αντίθετα, η αντίσταση που παρουσιάζει στη διέλευση του συνεχούς ρεύματος είναι μικρή.

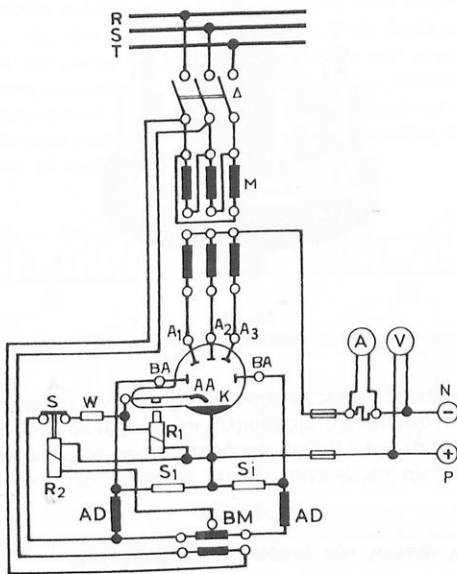
Το κυματόρρευμα μπορούμε να θεωρήσουμε ότι αποτελείται από συνεχές ρεύμα και από σειρά εναλλασσόμενων ρευμάτων διαφόρων συχνοτήτων. Με την αντίσταση που παρουσιάζει το στραγγαλιστικό πηνίο στη διέλευση των εναλλασσόμενων αυτών ρευμάτων, η κυμάτωση του ρεύματος που διέρχεται από το φορτίο ελαττώνεται, όπως φαίνεται στο κάτω μέρος του σχήματος 10.7γ.

3) Τριφασικοί άνορθωτές υδραργύρου.

Στους τριφασικούς άνορθωτές υδραργύρου χρησιμοποιούμε λυχνία με τρεις ανόδους A_1 , A_2 , A_3 και κοινή κάθοδο, όπως φαίνεται παραστατικά στο σχήμα 10.7δ. Η συνδεσμολογία στα λοιπά στοιχεία της είναι βασικά η ίδια με τη διάταξη της τριφασικής άνορθώσεως του σχήματος 10.5δ. Το σχήμα 10.7δ περιλαμβάνει και τα

απαραίτητα βοηθητικά κυκλώματα για τη λειτουργία του τριφασικού άνορθωτη υδραργύρου.

Γιά να βάλομε σέ λειτουργία τόν άνορθωτή τοῦ σχήματος 10.7δ κλείνομε τό διακόπτη Δ, ὁπότε παίρνουν τάση ὁ κύριος μετασχηματιστής Μ καί ὁ βοηθητικός μετασχηματιστής ΒΜ. Ἀπό τό δευτερεῖον τοῦ βοηθητικοῦ μετασχηματιστή τροφοδοτεῖται μέσω τοῦ διακόπτη S καί τῆς ἀντιστάσεως W, τό πηνίο R₁. Τό πηνίο αὐτό ἔλκει τόν ὀπλισμό τῆς ἀνόδου ἀφῆς ΑΑ, μέχρις ὅτου ἡ βελὼνη, πού εἶναι συνδεδεμένη σ' αὐτόν, βυθισθεῖ στόν ὑδράργυρο τῆς καθόδου Κ. Τότε ὅμως τό τῦλιγμα τοῦ πηνίου R₁ βραχυκυκλώνεται μέσω τῆς καθόδου, δέν διαρρέεται ἀπό ρεύμα καί ἀφήνει τόν ὀπλισμό, ὁπότε ἡ βελὼνη ἀνυψώνεται ἀπτότομα. Ἔτσι, λόγω διακοπῆς τοῦ κυκλώματος σχηματίζεται σπινθήρας, ὁ ὁποῖος προκαλεῖ τό ἀνάμμα τῶν βοηθητικῶν ἀνόδων ΒΑ καί τῇ δημιουργίᾳ τῆς πυρακτωμένης κηλίδας στήν ἐπιφάνεια τοῦ ὑδραργύρου τῆς καθόδου.



Σx . 10.78.

Συνδεσμολογία τριφασικού άνορθωτή ύδραργύρου.

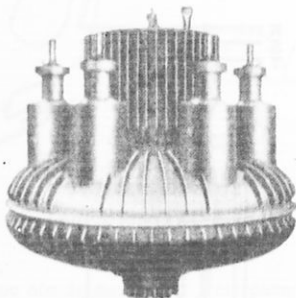
Τό άνορθωμένο ρεύμα τών βοηθητικών άνόδων, πού περνά από τό κύκλωμα: βοηθητικές άνοδοι — κάθοδος — τύλιγμα πηγίου R_2 — μεσαία λήψη βοηθητικού μετασχηματιστή, προκαλεί τήν έλξη του όπλισμού του πηγίου R_2 καί τό άνοιγμα του διακόπτη S . Έτσι σταματά ή λειτουργία του κυκλώματος πού χρησιμεύει γιά τό άναμμα τής λυχνίας. Τά S_i εἶναι άντιστάσεις πού έξαρτώνται από τήν τάση πού

χρησιμοποιείται και τα AD στραγγαλιστικά πηνία συνδεδεμένα σε σειρά με τις βοηθητικές ανόδους.

Τό ρεύμα πού περνά από τις βοηθητικές ανόδους, συντηρεί την πυρακτωμένη κηλίδα στην κάθοδο, ή όποία, όπως εξηγήσαμε, χρησιμεύει για τη λειτουργία των κυρίων ανόδων, όταν συνδεθεί φορτίο στους άκροδέκτες Ρ και Ν.

10.8 Άνορθωτές ύδραργύρου με μεταλλική λυχνία.

Οι άνορθωτές με γυάλινη λυχνία και με 2 ή 3 ή 6 ανόδους κατασκευάζονται για έντάσεις ρεύματος από 10 ως 500 Α και τάσεις μέχρι 1500 V. Για έντάσεις περίπου μέχρι 10.000 Α και τάσεις μέχρι 5000 V οι λυχνίες των άνορθωτών κατασκευάζονται χαλύβδινες και μπορεί να έχουν 12 ή 18 ή και 24 ανόδους. Τό σχήμα 10.8 δείχνει την έξωτερική μορφή μίας χαλύβδινης λυχνίας ύδραργύρου.



Σχ. 10.8.

Χαλύβδινη λυχνία ύδραργύρου αερόφυκτη για 1200 Α.

Για τις πολύ μεγάλες έντάσεις χρησιμοποιείται νερό για την ψύξη της λυχνίας και άντλία κενού για τη συντήρηση της χαμηλής πιέσεως μέσα σ' αυτή. Οι άνορθωτές αυτοί δέν έχουν τόσο καλό βαθμό αποδόσεως όσο οι μικρότεροι σε μέγεθος, στους όποιους ή ψύξη της λυχνίας γίνεται με ρεύμα άέρα και δέν χρειάζονται άντλία κενού.

10.9 Ρύθμιση της τάσεως των άνορθωτών ύδραργύρου.

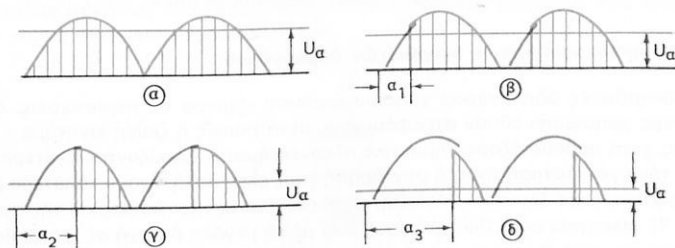
Στους άνορθωτές ύδραργύρου ή ρύθμιση της τάσεως του συνεχούς ρεύματος γίνεται όμαλά, δηλαδή χωρίς βαθμίδες και ουσιαστικά χωρίς απώλειες (μέχρι μηδενισμού της τάσεως). Για να τό πετύχομε αυτό παρεμβάλλομε *σχάρες ρυθμίσεως* μεταξύ ανόδου και καθόδου. Οι σχάρες αυτές είναι μονωμένα ηλεκτρόδια από μεταλλικό πλέγμα ή από διάτρητο έλασμα.

Η μέθοδος αυτή εφαρμόσθηκε πρώτα σε ηλεκτρονικές λυχνίες ύψηλου κενού, στις όποιες, όταν ή σχάρα έχει θετικό δυναμικό σχετικά με την κάθοδο, άσκει πρόσθετη δύναμη έλξεως στα ηλεκτρόνια πού φεύγουν από την κάθοδο. Όταν ή σχάρα έχει άρνητικό δυναμικό, τότε άπωθεί τά ηλεκτρόνια. Στην πρώτη περίπτωση τό

ρεύμα ηλεκτρονίων γίνεται μεγαλύτερο, ενώ στη δεύτερη περίπτωση το ρεύμα αυτό εξασθενεί. Όταν η αρνητική τάση της σχάρας φθάσει σε κάποιο όριο, διακόπτεται τελείως το ρεύμα των ηλεκτρονίων προς την άνοδο.

Στις άνορθωτικές λυχνίες ύδραργύρου, μέσα στις οποίες, όπως αναφέραμε, υπάρχουν άτομοι ύδραργύρου, το μέγεθος της αρνητικής τάσεως της σχάρας έχει επίδραση στη στιγμή κατά την οποία κάθε ήμιπερίοδο δημιουργείται το τόξο, μεταβολή του ρεύματος δεν είναι δυνατή, έστω και αν μεταβληθεί η τιμή της τάσεως της σχάρας. Μεταβάλλοντας όμως τη στιγμή έναρξης του τόξου, μεταβάλλουμε και τη μέση τιμή της τάσεως συνεχούς ρεύματος του άνορθωτή, δηλαδή ρυθμίζουμε την τάση αυτή.

Τα παραπάνω εξηγούνται καλύτερα με τη βοήθεια των καμπυλών του σχήματος 10.9α, στις οποίες τα τμήματα με γαλάζιο χρώμα παριστάνουν το μέρος κάθε ήμιπεριόδου, κατά το οποίο περνά ρεύμα από τη λυχνία, και την τάση που παράγεται από αυτό. Η ευθεία γαλάζια γραμμή, ή παράλληλη στον οριζόντιο άξονα, δείχνει τη μέση τιμή U_a της τάσεως συνεχούς ρεύματος. Στην περίπτωση α δεν υπάρχει καμιά ελάττωση της μέσης τιμής U_a . Με επίδραση στο μέγεθος της αρνητικής τάσεως της σχάρας μπορούμε να έχουμε στιγμή έναρξης του τόξου σε κάθε ήμιπερίοδο μετατοπισμένη κατά α_1 (περίπτωση β), κατά α_2 (περίπτωση γ), κατά α_3 (περίπτωση δ). Αντίστοιχα μειώνεται και η μέση τιμή της τάσεως συνεχούς ρεύματος U_a , όπως δείχνει το σχήμα 10.9α.

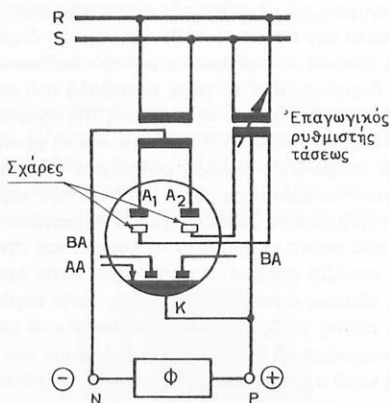


Σχ. 10.9α.

Ρύθμιση της τάσεως συνεχούς U_a με μετάθεση της στιγμής έναρξης του τόξου.

Η ρύθμιση της τάσεως στις σχάρες μπορεί να γίνει είτε με συνεχές ρεύμα, είτε με έναλλασσόμενο, είτε τέλος και με τα δύο είδη. Στο σχήμα 10.9β παριστάνεται το κύριο μέρος της συνδεσμολογίας ενός μονοφασικού άνορθωτή ύδραργύρου με ρύθμιση της τάσεως στις σχάρες με έναλλασσόμενο ρεύμα. Αυτό πετυχαίνεται με τη βοήθεια ενός **έπαγωγικού ρυθμιστή τάσεως**, ο οποίος στην κατασκευή του μοιάζει με ασύγχρονο κινητήρα με τύλιγμα έναλλασσόμενου ρεύματος και στο δρομέα και ο οποίος λειτουργεί όπως ο μετασχηματιστής. Ο δρομέας δεν περιστρέφεται, μπορεί όμως να μετατίθεται κατά τη μία ή την άλλη φορά μέχρι το πολύ ένα πολικό βήμα. Με τη μετάθεση του δρομέα μεταβάλλουμε τη φασική από-

κλιση μεταξύ τάσεως πρωτεύοντος (στάτη) καί τάσεως δευτερεύοντος (δρομέα). Συνεπώς μπορούμε έτσι νά ρυθμίσουμε τή στιγμή κατά τήν ὁποία ἡ σχάρα θά ἔχει τήν κατάλληλη ἀρνητική τάση σχετικά μέ τή θετική τάση τῆς ἀντίστοιχης ἀνόδου.



Σχ. 10.9β.

Ρύθμιση τῆς τάσεως συνεχοῦς ρεύματος μέ σχάρες.

10.10 Χρησιμοποίηση τῶν ἀνορθωτῶν ὑδραργύρου.

Οἱ ἀνορθωτές ὑδραργύρου χρησιμοποιοῦνται σήμερα σέ περιπτώσεις, ὅπου παλιότερα χρησιμοποιοῦσαν στρεφόμενους μετατροπείς ἢ ζεύγη κινητήρα - γεννήτριας, γιατί παρουσιάζουν σημαντικά πλεονεκτήματα: χρειάζονται λιγότερο χώρο γιά τήν ἐγκατάστασή τους, ἡ συντήρησή τους εἶναι ἀπλή, ἔχουν καλύτερο βαθμό ἀποδόσεως καί δέν εἶναι εὐαίσθητοι σέ μεταβολές τῆς τάσεως καί τῆς συχνότητος. Ἡ τελευταία αὕτη ιδιότητά τους μαζί μέ τή μεγάλη ἀντοχή σέ στιγμιαίες ὑπερφορτίσεις πού ἔχουν, τούς κάνουν κατάλληλους γιά τήν τροφοδότηση ἡλεκτρικῶν σιδηροδρόμων, τρόλλεϋ κλπ.

Ἡ ὑπερφόρτιση τῶν ἀνορθωτῶν ὑδραργύρου δέν μπορεῖ βέβαια νά περάσει ὁρισμένα ὅρια, τόσο στήν ἔνταση τοῦ ρεύματος ὅσο καί στή διάρκεια της. Ὑπέρβαση τῶν ὁρίων αὐτῶν προκαλεῖ ὑπερθέρμανση τῆς λυχνίας, ἡ ὁποία χάνει τότε τίς ιδιότητες τῆς ἡλεκτρικῆς βαλβίδας. Τό ρεῦμα δέν πηγαίνει πιά τότε μόνο ἀπό τήν ἀνοδο στήν κάθοδο. Εἶναι δυνατό νά ἔχομε διέλευση ρεύματος καί ἀπό μία ἀνοδο σέ ἄλλη. Στήν περίπτωση αὕτη οἱ ἀντίστοιχες φάσεις τοῦ δευτερεύοντος τοῦ μετασχηματιστή βραχυκυκλώνονται.

Ἡ πώση τάσεως μέσα στήν ἀνορθωτική λυχνία οὐσιαστικά εἶναι ἀνεξάρτητη ἀπό τήν ἔνταση ρεύματος πού διέρχεται καί κυμαίνεται μεταξύ 16 καί 26 V. Ὁ βαθμός ἀποδόσεως τῆς λυχνίας εἶναι τόσο καλύτερος, ὅσο ἡ τάση συνεχοῦς εἶναι ψηλότερη. Π.χ. γιά τάση συνεχοῦς 115 V καί πώση τάσεως 18 V μέσα στή λυχνία, ὁ βαθμός ἀποδόσεώς της εἶναι:

$$\eta = \frac{115}{115 + 18} = 0,86$$

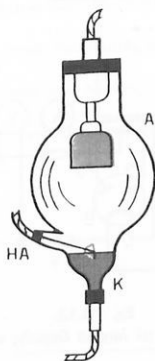
ένω για τάση συνεχούς 550 V και 20 V πτώση τάσεως, έχουμε βαθμό αποδόσεως:

$$\eta = \frac{550}{550 + 20} = 0,96$$

Ο όλικός βαθμός αποδόσεως του άνορθωτή εξαρτάται από τις απώλειες στο μετασχηματιστή, στην άνορθωτική λυχνία και στα βοηθητικά κυκλώματα. Κυμαίνεται από 75% για τάσεις συνεχούς 60 V μέχρις 91% για τάσεις συνεχούς 550 V.

10.11 Άνορθωτές υδραργύρου μις άνόδου Ίγνιτρον.

Οι άνορθωτές αυτοί είναι ειδική μορφή άνορθωτών υδραργύρου με μία άνοδο και βέβαια με μία κάθοδο από υδράργυρο (σχ. 10.11). Επί πλέον έχουν ένα ειδικό ηλεκτρόδιο άφης (HA), που αποτελείται από δύστηκτο ήμιαγωγό υλικό και τό όποιο είναι βυθισμένο μέσα στον υδράργυρο της καθόδου. Στην επιφάνεια έπαφής του ηλεκτροδίου αυτού με τον υδράργυρο δημιουργείται ηλεκτρικό πεδίο ύψηλης έντάσεως. Λόγω του πεδίου αυτού σχηματίζεται τόξο μεταξύ ηλεκτροδίου άφης και υδραργύρου, τό όποιο δημιουργεί την πυρακτωμένη κηλίδα επάνω στην επιφάνεια του υδραργύρου. Τό τόξο μεταξύ ηλεκτροδίου άφης και υδραργύρου μετατρέπεται σέ τόξο μεταξύ άνόδου και καθόδου στή διάρκεια της θετικής ήμιπεριόδου της τάσεως που εφαρμόζεται στην άνοδο. Τό κύκλωμα του ηλεκτροδίου άφης τροφοδοτείται συνήθως από τούς ζυγούς έναλλασσόμενου ρεύματος, που τροφοδοτούν και τό κύκλωμα άνόδου-καθόδου.



Σχ. 10.11.

Γυάλινη λυχνία Ίγνιτρον.

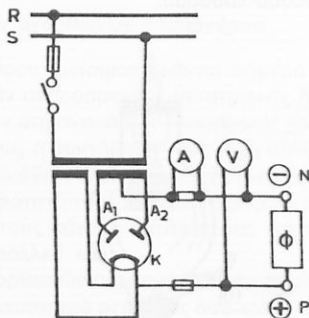
Γιά ισχύ μέχρι 50 kVA οι άνορθωτές Ίγνιτρον κατασκευάζονται με γυάλινη λυχνία και ψύξη άέρα, ένω για ισχύ από μερικές έκατοντάδες kVA μέχρι περίπου 2500 kVA κατασκευάζονται με μεταλλική λυχνία και ψύξη νερού.

Τά πλεονεκτήματα τῶν ἀνορθωτῶν αὐτῶν σχετικὰ μὲ τοὺς συνηθισμένους ἀνορθωτὲς ὑδραργύρου εἶναι, ὅτι ἔχουν πολὺ μικρότερο μέγεθος καὶ μικρότερες ἀπώλειες καὶ ὅτι μποροῦν νὰ ἀντέξουν σὲ μεγάλες στιγμιαῖες ὑπερφορτίσεις, π.χ. 100 φορές περισσότερο ἀπὸ τὴν ἐπιτρεπόμενη μέση τιμὴ τῆς ἐντάσεως. Μειονέκτημά τους εἶναι ἡ μικρὴ διάρκεια ζωῆς τῶν λυχνιῶν. Βρίσκουν ἐφαρμογὴ στὶς ἡλεκτρολύσεις ἀλουμινίου, μαγνησίου, στὴν ἡλεκτρικὴ ἔλξη κλπ.

10.12 Ἀνορθωτὲς θερμῆς καθόδου.

Ἡ ἡλεκτρικὴ βαλβίδα τῶν ἀνορθωτῶν αὐτῶν ἀποτελεῖται ἀπὸ γυάλινη λυχνία, μέσα στὴν ὁποία ὑπάρχει ἄνοδος κυλινδρικοῦς συνήθως μορφῆς ἀπὸ ἔλασμα ἢ πλέγμα. Στὸ κέντρο τῆς ἀνόδου βρίσκεται ἡ κάθοδος, ἡ ὁποία θερμαίνεται μὲ ἡλεκτρικὸ ρεῦμα. Ἡ κάθοδος εἶναι κατασκευασμένη ἀπὸ σύρμα βολφραμίου, ἐπὰν στὸ ὁποῖο ἔχει τοποθετηθεῖ στρώση ὀξειδίου τοῦ βαρίου.

Ἡ λυχνία εἶναι κενὴ ἀέρα (**λυχνίες ὑψηλοῦ κενοῦ**) ἢ περιέχει ὀρισμένο ἀέριο ἢ ἀτμούς ὑδραργύρου μὲ χαμηλὴ πίεση (**λυχνίες μὲ ἀέριο**). Καὶ στὰ δύο εἶδη, μὲ τὴ θέρμανση τῆς καθόδου (περίπου σὲ 800°C) ἐκπέμπονται ἀπὸ αὐτὴ ἡλεκτρόνια, ἐνῶ ἀπὸ τὴν ψυχρὴ ἄνοδο δὲν ἐξέρχεται κανένα ἡλεκτρόνιο. Ἔτσι ἡλεκτρικὸ ρεῦμα εἶναι δυνατό νὰ περνᾷ μόνο κατὰ τὴ μία φορά (συμβατικὰ ἀπὸ τὴν ἄνοδο πρὸς τὴν κάθοδο). Συνεπῶς οἱ λυχνίες αὐτές, πού ὀνομάζονται καὶ δίοδοι λυχνίες, παρουσιάζουν χαρακτηριστικὰ ἡλεκτρικῆς βαλβίδας καὶ μποροῦν νὰ χρησιμοποιηθοῦν στὴν ἀνόρθωση τοῦ ἐναλλασσόμενου ρεύματος.



Σχ. 10.12.

Ἀνορθωτὴς μὲ λυχνία θερμῆς καθόδου.

Οἱ λυχνίες ὑψηλοῦ κενοῦ, στὶς ὁποῖες τὸ ρεῦμα ἀποτελεῖται μόνο ἀπὸ ἡλεκτρόνια, πού ἐκπέμπονται ἀπὸ τὴν κάθοδο ὅπως ἀναφέραμε, χρησιμοποιοῦνται γιὰ τὴν ἀνόρθωση ρευμάτων ἐντάσεως τὸ πολὺ μέχρι μερικὰ μιλλιαμπέρ καὶ γιὰ τάσεις 200 ὠς 300 V. Πεδίῳ ἐφαρμογῆς τους ἦσαν κυρίως οἱ ραδιοφωνικὲς συσκευές, ὅπου ὁμως σήμερα ἔχουν σχεδὸν ἀντικατασταθεῖ ἀπὸ τοὺς ἀνορθωτὲς σεληνίου καὶ πυριτίου, οἱ ὁποῖοι δὲν ἔχουν ἀνάγκη ἀπὸ θέρμανση στὴν κάθοδο.

Στις λυχνίες θερμής καθόδου μέ αέριο, τό ηλεκτρικό ρεύμα μεταξύ καθόδου καί ανόδου αποτελείται κατά ένα μέρος μόνο από ηλεκτρόνια. Λόγω τῶν συγκρούσεων τῶν ηλεκτρονίων μέ τά μόρια τοῦ αερίου, πού βρίσκεται μέσα στή λυχνία, προκαλεῖται ἰονισμός τοῦ αερίου. Συνεπῶς στό ηλεκτρικό ρεύμα μεταξύ ανόδου καί καθόδου συμμετέχουν καί τά ἰόντα πού δημιουργοῦνται.

Τό σχῆμα 10.12 δείχνει τή συνδεσμολογία μικροῦ ἀνορθωτῆ μέ λυχνία θερμῆς καθόδου (μέ δύο ἀνόδους A_1 , A_2) καί ἀνόρθωση πλήρους κύματος. Ὅπως παρατηροῦμε, ἡ θέρμανση τῆς καθόδου γίνεται μέ τροφοδότηση ἀπό ἰδιαίτερο τύλιγμα τοῦ δευτερεύοντος τοῦ μετασχηματιστή.

Λυχνία θερμῆς καθόδου μέ αέριο, ὅταν φέρει καί σχάρα γιά τή ρύθμιση τῆς τάσεως τοῦ συνεχοῦς ὀνομάζεται **θύρατρον**. Λυχνίες αὐτοῦ τοῦ εἶδους κατασκευάζονται γιά ἐντάσεις ρεύματος μέχρι 1000 A καί ἔχουν διαστάσεις πολύ μικρότερες ἀπό τίς λυχνίες ὑδραργύρου τῆς ἴδιας ἰσχύος. Ἐπίσης δέν ἔχουν ἀνάγκη οὔτε εἰδικῆς διατάξεως γιά τήν ἀφή, οὔτε βοηθητικῶν ἀνόδων.

10.13 Ἑρωτήσεις.

1. Νά σχεδιασθεῖ ἡ συνδεσμολογία στρεφόμενου μετατροπέα καί νά περιγραφεῖ ὁ τρόπος λειτουργίας καί χρησιμοποίησέως του.
2. Πού χρησιμοποιοῦνται οἱ ἀνορθωτές καί ἀπό ποιά κύρια μέρη ἀποτελεῖται μία ἀνορθωτική διάταξη πλήρους κύματος;
3. Ποιά εἶναι τά πλεονεκτήματα καί ποιά τά μειονεκτήματα τῆς ἀνορθώσεως μέ μονοφασική γέφυρα σέ σχέση μέ τήν ἀνόρθωση πλήρους κύματος;
4. Νά σχεδιασθεῖ μία ἀπλή διάταξη τριφασικῆς ἀνορθώσεως καί νά περιγραφεῖ πῶς γίνεται ἡ ἀνόρθωση.
5. Ποιοί εἶναι οἱ κυριότεροι ἀνορθωτές πού χρησιμοποιοῦνται στήν πράξη;
6. Νά σχεδιασθεῖ ἕνα ἀπλό διάγραμμα μονοφασικῆς ἀνορθώσεως μέ λυχνία ὑδραργύρου καί νά περιγραφεῖ ἡ ἀρχή τῆς λειτουργίας.
7. Πῶς γίνεται ἡ ρύθμιση τῆς τάσεως στοῦς ἀνορθωτές ὑδραργύρου μέ σχάρες καί ποιά τά πλεονεκτήματα τῆς μεθόδου αὐτῆς;
8. Πῶς ὑπολογίζεται ὁ βαθμός ἀποδόσεως μιᾶς λυχνίας ὑδραργύρου; Νά δοθεῖ ἕνα ἀριθμητικό παράδειγμα.
9. Τί εἶναι ὁ ὁδοός λυχνία ὑψηλοῦ κενοῦ, ποιά εἶναι ἡ ἀρχή λειτουργίας της καί πού χρησιμοποιεῖται;

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΕΝΔΕΚΑΤΟ

ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ ΚΑΙ ΒΛΑΒΕΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΩΝ

11.1 Ἡ ἔννοια καί τό πρόγραμμα τῆς συντηρήσεως.

Συντήρηση εἶναι ἡ ἐργασία, τήν ὁποία κάνομε γιά νά διατηροῦμε τίς μηχανές σέ καλή κατάσταση λειτουργίας. Σκοπός δηλαδή τῆς συντηρήσεως εἶναι νά ἀποφεύγονται κατά τό δυνατό βλάβες στίς μηχανές. Ὁ σκοπός αὐτός ἐπιτυγχάνεται μέ τακτικές ἐπιθεωρήσεις τῶν μηχανῶν, μέ τίς ὁποῖες ἐξακριβώνομε ἂν ὑπάρχει καμιά ἀνωμαλία ἢ ἂν χρειάζεται νά ἐπισκευασθεῖ ἢ νά ἀντικατασταθεῖ κάποιο φθαρμένο μέρος τῆς μηχανῆς. Ἔργο ἐπίσης τῆς συντηρήσεως εἶναι νά ἐξαλείψει τίς ἀνωμαλίες αὐτές καί νά ἐπισκευάσει ἢ νά ἀντικαταστήσει τά φθαρμένα μέρη.

Κάθε πότε πρέπει νά γίνονται οἱ ἐπιθεωρήσεις αὐτές καί τί πρέπει νά ἐλέγχεται σέ κάθε ἐπιθεώρηση καθορίζεται ἀπό τό **πρόγραμμα συντηρήσεως**. Τό πρόγραμμα αὐτό ἐξαρτᾶται ἀπό τό εἶδος τῶν μηχανημάτων, ἀπό τό εἶδος τῶν κινητήρων πού ἔχουν, ἀπό τίς συνθῆκες λειτουργίας κλπ. Συνεπῶς εἶναι διαφορετικό ἀπό ἐργοστάσιο σέ ἐργοστάσιο καί πολλές φορές διαφορετικό γιά τά διάφορα τμήματα τοῦ ἴδιου ἐργοστασίου.

Τό πρόγραμμα συντηρήσεως καταστρώνεται σέ κάθε περίπτωση ἀπό τόν ὑπεύθυνον τοῦ ἐργοστασίου καί πρέπει νά τηρεῖται μέ εὐσυνειδησία ἀπό αὐτούς πού ἔχουν τήν εὐθύνη τῆς ἐφαρμογῆς του. Σάν παράδειγμα δίνομε παρακάτω ἕνα πρόγραμμα συντηρήσεως, τό ὁποῖο καθορίζει κάθε πότε πρέπει νά γίνονται οἱ ἐπιθεωρήσεις (κάθε ἐβδομάδα = ΕΒ, κάθε μήνα = Μ, κάθε χρόνο = ΕΤ), ποῖό μέρος, ἐπιθεωροῦμε καί τί ἐλέγχομε κατά τήν ἐπιθεώρηση. Στίς ἐπόμενες παραγράφους ἐξηγοῦμε, πῶς γίνεται ἡ συντήρηση τῶν πῶ σημαντικῶν τμημάτων τῶν ηλεκτρικῶν μηχανῶν.

Πρόγραμμα Συντηρήσεων

Κάθε πότε γίνεται ή επιθεώρηση	Επιθεωρούμενο μέρος	Τι ελέγχουμε κατά την επιθεώρηση
EB - M - ET M - ET ET	Ψήκτρες	- Τή φθορά αν υπάρχουν σπινθηρισμοί - Τήν πίεση των ελατηρίων και αν υπάρχουν βλάβες στις ψήκτρες - Τήν μετατόπιση των θετικών και αρνητικών ψηκτρών, τή γωνία των ψηκτρών, τήν καλή έπαφή με τό συλλέκτη
EB - M - ET	Συλλέκτες	Αν υπάρχει συσσώρευση άκαθαρσιών, άνωμαλίες τής επιφάνειας, προεξέχοντες τομείς ή μίκα, έκκεντρότητα, άγωγοί τοῦ τυλίγματος άποκολλημένοι από τούς τομείς
EB - M - ET M - ET ET	Τυλίγματα και συνδέσεις	- Αν υπάρχει συσσώρευση σκόνης ή άκαθαρσίας, διαφυγή λιπαντικού προς τά τυλίγματα, υγρασία επάνω ή κοντά σέ αυτά - Χαλάρωση τής στηρίξεως των τυλιγμάτων ή των συνδέσεων των άγωγών - Αν υπάρχουν θραύσματα στίς επιφάνειες των μονώσεων ή άλλες ένδείξεις βλάβης τους. Έλεγχος τής αντίστασεως μονώσεως
M - ET ET	Δακτύλιοι	- Αν υπάρχει συσσώρευση άκαθαρσίας - Έλέγχεται ή έκκεντρότητα και ή αντίσταση μονώσεως
EB - M - ET M - ET	Έδρανα τριβής	- Τή στάθμη λαδιού - Αν υπάρχει φθορά των έδράνων, αν άπαιτείται άντικατάσταση τοῦ λαδιού, αν υπάρχουν διαφυγές λαδιού
EB - M - ET M - ET ET	Ένοφairoι τριβείς (ρουλεμάν)	- Τή θερμοκρασία, αν υπάρχουν άσυνήθεις θόρυβοι ή δονήσεις - Αν υπάρχουν διαφυγές γράσσου - Αντικατάσταση γράσσου σέ περιπτώσεις βαριάς 24ωρης λειτουργίας - Καθαρισμός και άντικατάσταση γράσσου
EB - M - ET M - ET ET	Σύστημα άερισμού και ψύξεως	- Αν υπάρχει συσσώρευση ύλικού ή σκόνης στίς διόδους διελεύσεως τοῦ άέρα ψύξεως - Αν υπάρχουν χαλαρωμένα πτερύγια τοῦ άνεμιστήρα - Καθαρισμός τοῦ έσωτερικοῦ τής μηχανής
ET	Μηχανικοί σύνδεσμοι	Έλεγχος τής εύθιγραμμίσεως και αν άπαιτείται σύσφιξη των κοχλιών τοῦ συνδέσμου ή άντικατάσταση έλαστικών δακτυλίων
EB - M - ET M - ET	Ίμάντες και άλυσίδες μεταδόσεως κινήσεως	- Αν είναι καλά ταυσμένοι και αν παρουσιάζουν φθορά που άπαιτεί έπίσκευή ή άντικατάσταση - Αν άπαιτείται άντικατάσταση τοῦ λιπαντικοῦ των άλυσίδων

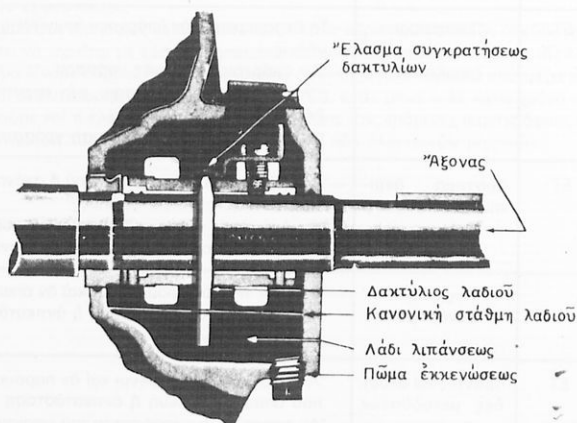
Συνεχίζεται

Συνέχεια από προηγούμενη σελίδα

Κάθε πότε γίνεται ή επιθεώρηση	Επιθεωρούμενο μέρος	Τί ελέγχουμε κατά την επιθεώρηση
M - ET	Συστήματα μεταδόσεως κινήσεως με δοντωτούς τροχούς	— "Αν το λιπαντικό πρέπει να αντικατασταθεί καί αν παρουσιάζουν φθορές
ET	Διάκενα αέρα μεταξύ δρομέα καί στάτη	— "Αν παρουσιάζουν άνομοιομορφία πού άπαιτεί διόρθωση
M - ET	Στήριξη τής μηχανής	— "Αν υπάρχει χαλάρωση τών κοχλιών συσφίξεως κλπ.
M - ET ET	Φορτία	— "Αν άλλαξαν οι συνθήκες φορτίσεως τής μηχανής — "Αν ή ισχύς πού άπορροφά ή κινήτjρας χωρίς φορτίο καί με φορτίο, μετρούμενη με κατάλληλα όργανα, είναι μέσα στά κανονικά όρια

11.2 Η λίπανση τών ηλεκτρικών μηχανών.

Τά μέρη τά όποία χρειάζονται λίπανση στis ηλεκτρικές μηχανές, είναι κυρίως τά έδρανα, μέσα στά όποια περιστρέφεται ή άξονας τής μηχανής. "Όταν υπάρχουν έδρανα τριβής (κουσινέτα) με δακτύλιους λαδιού (σχ. 11.2α), πρέπει οι δακτύλιοι νά περιστρέφονται κατά τή λειτουργία τής μηχανής καί νά παρασύρουν τό λιπαντικό λάδι. Η περιστροφή αυτή πρέπει νά γίνεται με ήμαλό τρόπο. "Αν οι δα-



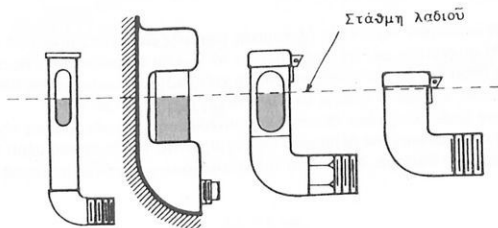
Σχ. 11.2α.

"Έδρανο τριβής με δακτύλιο λαδιού.

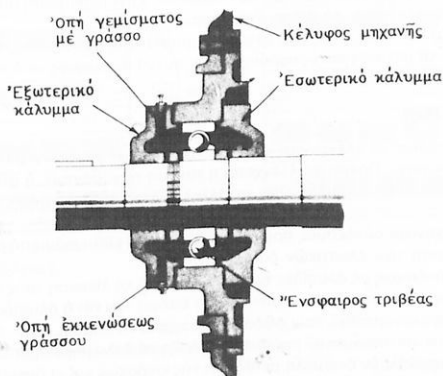
κτύλοι πηδούν κατά την περιστροφή τους, είναι δείγμα ότι έχουν χάσει το κυκλικό τους σχήμα.

Τό λιπαντικό λάδι μέσα στη δεξαμενή του έδρανου πρέπει να φθάνει μέχρι την κανονική του στάθμη (σχ. 11.2α), όποτε περίπου το $\frac{1}{3}$ του δακτύλιου βρίσκεται μέσα στο λάδι. Συνήθως τα έδρανα αυτά έχουν ένα δείκτη της στάθμης του λαδιού (σχ. 11.2β).

Τό λάδι λιπάνσεως πρέπει να τό αλλάζομε κατά διαστήματα, ανάλογα με τή χρησιμοποίηση της μηχανής, γιατί παθαίνει αλλοιώσεις. Για να ελέγξομε τήν κατάσταση, στην όποια βρίσκεται τό λιπαντικό λάδι, τό συγκρίνομε με δείγμα λαδιού πού δέν έχει χρησιμοποιηθεί. Για να αντικαταστήσομε τό λάδι, αφαιρούμε πρώτα όλο τό παλιό καί καθαρίζομε τή δεξαμενή του έδρανου.



Σχ. 11.2β.
Δείκτης στάθμης λαδιού.



Σχ. 11.2γ.
Έδρανο ένσφαιρου τριβέα.

Στά έδρανα με ένσφαιρους τριβείς (ρουλεμάν) χρησιμοποιείται γράσσο ως λιπαντικό. Για τήν αντί- κατάσταση του παλιού γράσσου με νέο προβλέπονται συνήθως στά έδρανα δύο όπές (σχ. 11.2γ). Άφου αφαιρέσομε τά πώματα καί των δύο όπών, αφαιρούμε με κατάλληλο διαλυτικό όλο τό παλιό γράσσο. Έπειτα κλείνομε τήν όπή εκκενώσεως καί γεμίζομε τό έδρανο με νέο γράσσο με τή βοήθεια γρασσαδόρου. Σε όρισμένες μηχανές ή αντικατάσταση του παλιού γράσσου δέν είναι δυνατή χωρίς αποσυναρμολόγηση της μηχανής.

Γιά τό πόσο τακτικά πρέπει να γίνεται ή αντικατάσταση του γράσσου, οι κατασκευαστές των μηχανών δίνουν σχετικές οδηγίες. Πάντως ή εργασία αυτή πρέπει να γίνεται με σχολαστική καθαριότητα,

γιατί αν περάσουν ακαθαρσίες μέσα στον ένσφαιρο τριβέα, είναι ένδεχόμενο να του προκαλέσουν βλάβη.

Έκτός από τὰ έδρανα, στίς ηλεκτρικές μηχανές χρειάζονται λίπανση καί όρισμένοι μηχανισμοί μεταδόσεως κινήσεως, όπως είναι οι μειωτήρες στρωφών, οι άλυσίδες μεταδόσεως κινήσεως κλπ. Ή λίπανση καί τών μηχανισμών αυτών πρέπει να γίνεται με έπιμέλεια καί σύμφωνα με τό πρόγραμμα.

11.3 Συντήρηση τών μηχανικών μερών.

1) Τό καθάρισμα.

Τό καθάρισμα τών διαφόρων μερών τής ηλεκτρικής μηχανής είναι ένα σημαντικό στοιχείο τής καλής συντηρήσεως. Ή συχνότητα με τήν οποία πρέπει να γίνεται εξαρτάται από τίσ συνθήκες πού επικρατούν στό χώρο όπου λειτουργεί ή μηχανή. Με τό καθάρισμα απομακρύνουμε όλες τίσ ύλες (σκόνη, ροκανίδια κλπ.), πού υπάρχουν επάνω στή μηχανή ή στό έσωτερικό τής.

Όταν επικαθήσουν ξένες ύλες είναι δυνατό να προκαλέσουν υπερθέρμανση τής μηχανής, γιατί φράζουν τίσ διόδους κυκλοφορίας του αέρα ψύξεως τής μηχανής. Τά έξωτερικά μέρη τών μηχανών τά καθαρίζουμε με ένα κομμάτι ύφασμα, ενώ για τὰ τυλίγματα χρησιμοποιούμε απορροφητήρα σκόνης ή μικρό φυσητήρα.

2) Τά διάκενα.

Τά διάκενα μεταξύ στάτη καί δρομέα, πρέπει να ελέγχονται σέ όρισμένα χρονικά διαστήματα με ειδικά φίλερ. Άν σέ ένα σημείο τό διάκενο είναι μικρότερο από τὰ $\frac{3}{4}$ του διάκενου στό έκ διαμέτρου αντίθετο σημείο, θα πρέπει ο δρομέας τής μηχανής να κεντραρισθεί. Ένας λόγος πού προκαλεί άνομοιομορφία στα διάκενα, είναι καί ή φθορά τών εδράνων. Στην περίπτωση αυτή θα πρέπει να άντικαταστήσουμε ή έπισκευάσουμε τά φθοραμένα έδρανα.

Ή άνομοιομορφία τών διακένων έχει μεγάλη σημασία στίς ασύγχρονες μηχανές, στίς όποιες τά διάκενα είναι μικρά. Οι μηχανές αυτές παρουσιάζουν συχνά άνωμαλίες, οι όποιες άφείλονται σέ άνομοιομορφα διάκενα.

3) Λοιπά μηχανικά μέρη.

Στή συντήρηση πρέπει να ελέγχονται κατά διαστήματα καί σύμφωνα με τό πρόγραμμα τά μέσα μεταδόσεως τής κινήσεως. Πρέπει να ελέγχεται ή τάνυση τών ιμάντων, ή φθορά τους, ή εύθυγράμια τών τρωχαλίων τους καί να λαμβάνονται κατάλληλα μέτρα άνάλογα με τίσ άνωμαλίες πού παρατηρούνται.

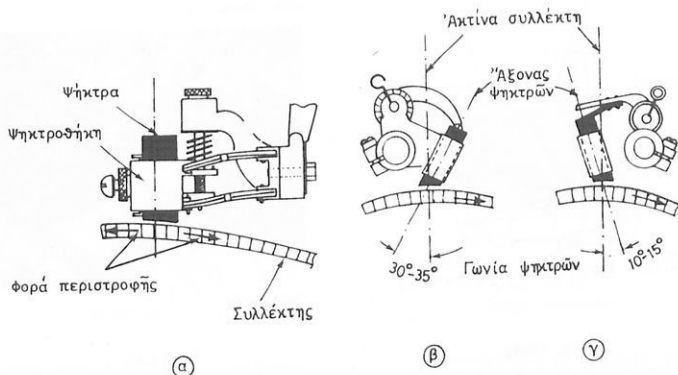
Άν υπάρχουν μηχανικοί σύνδεσμοι, πρέπει να ελέγχεται ή εύθυγράμμισή τους, ή σύσφιξη τών κοχλίων καί ή κατάσταση τών ελαστικών δακτυλίων.

Στίς μεταδόσεις κινήσεως με άλυσίδες πρέπει εκτός από τή λίπανσή τους να ελέγχεται καί ο βαθμός τής φθοράς τους. Ό συντηρητής πρέπει να έχει υπόψη του ότι ή άλυσίδα ή ο ιμάντας πρέπει να έπισκευασθεί ή να άντικατασταθεί, πρίν φθάσει στό σημείο να σπάσει. Τότε, εκτός από τά άλλα, είναι δυνατό να προκαλέσει καί άτύχημα σέ πρόσωπα ή βλάβη σέ άλλα μηχανήματα. Επίσης ότι οι χαλαροί ιμάντες ή άλυσίδες προκαλούν άνώμαλη μετάδοση τής κινήσεως καί οι υπερβολικά τανυσμένοι προκαλούν γρήγορη φθορά τόσο τών ίδιων, όσο καί τών εδράνων.

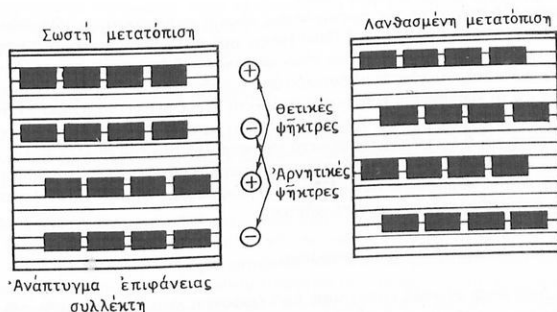
11.4 Συντήρηση τών ψηκτρών.

Ή καλή λειτουργία μιās ηλεκτρικής μηχανής εξαρτάται σέ μεγάλο βαθμό από τή σωστή συντήρηση τών ψηκτρών τής. Στίς έπιθεωρήσεις εξετάζουμε αν οι ψηκτρες κινούνται ελεύθερα μέσα στίς ψηκτροθήκες τους, χωρίς όμως να υπάρχει καί μεγάλη χάρη μεταξύ αυτών καί τών ψηκτροθηκών. Έλέγχουμε επίσης τήν έπιφάνεια τών ψηκτρών, ή οποία έφάπτεται στό συλλέκτη ή τό δακτύλιο καί ή όποια κανονικά πρέπει να είναι λεία.

Σημασία για τήν καλή λειτουργία τής μηχανής έχει καί ή γωνία, τήν οποία σχηματίζει ο άξονας τών ψηκτρών με τήν άκτίνα του συλλέκτη. Ή γωνία αυτή, πού έχει καθορισθεί από τόν κατασκευαστή τής μηχανής, πρέπει να ελέγχεται, μήπως έχει μεταβληθεί. Τό σχήμα 11.4α δείχνει τίσ γωνίες ψηκτρών πού χρησιμοποιούνται συνήθως. Ή περίπτωση α, δηλαδή με μηδενική γωνία, χρησιμοποιείται



Σχ. 11.4α.
Γωνίες ψηκτρών.



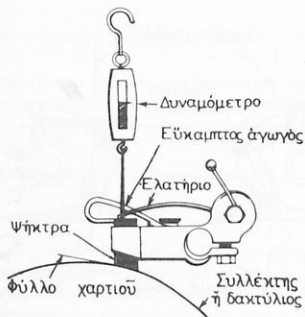
Σχ. 11.4β.
Σωστή και λανθασμένη μετατόπιση ψηκτρών.

σέ μηχανές που περιστρέφονται και προς τις δύο φορές. Οι περιπτώσεις β και γ χρησιμοποιούνται σέ μηχανές που περιστρέφονται προς τη μία μόνο φορά. Πιο συνηθισμένη είναι η περίπτωση γ.

Έκτός από τη γωνία των ψηκτρών στις επιθεωρήσεις πρέπει να ελέγχεται και η μετατόπιση μεταξυ των θετικών και αρνητικών ψηκτρών, ώστε να προκαλείται ομοιόμορφη φθορά του συλλέκτη. Το σχήμα 11.4β εξηγεί ποιά είναι η σωστή και ποιά η λανθασμένη μετατόπιση των ψηκτρών.

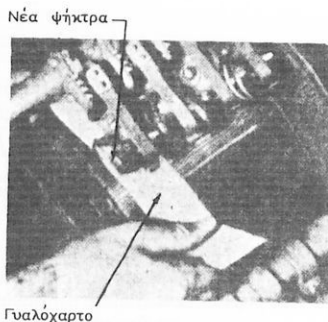
Η πίεση, με την οποία το ελατήριο πιέζει την ψήκτρα επάνω στο συλλέκτη ή το δακτύλιο, επηρεάζει επίσης την καλή λειτουργία της μηχανής και πρέπει να ελέγχεται με προσοχή κατά τη συντήρηση. Υπερβολικά μεγάλη πίεση έχει σαν αποτέλεσμα τη γρήγορη φθορά τόσο του συλλέκτη ή του δακτύλιου όσο και των ψηκτρών, ενώ πίεση μικρότερη από την κανονική έχει σαν αποτέλεσμα σπινθηρισμούς και επομένως πάλι φθορά (κάψιμο) του συλλέκτη ή του δακτύλιου και των ψηκτρών.

Η μέτρηση της πίεσεως γίνεται, όπως δείχνει το σχήμα 11.4γ, με τη βοήθεια **δυναμόμετρου**. Η ανάνγνωση γίνεται τη στιγμή που το δυναμόμετρο μόλις άνασκηώνει το ελατήριο, ώστε να περνά εύκολα ένα φύλλο χαρτί μεταξύ ψήκτρας και συλλέκτη. Η πίεση αυτή πρέπει να κυμαίνεται μεταξύ 1 ως



Σχ. 11.4γ.

Μέτρηση της πίεσης των ψηκτρών.



Σχ. 11.4δ.

Στρώσιμο νέων ψηκτρών.

2 N (0,1 ως 0,2 kp) ανά cm^2 για ψηκτρες από γραφίτη, από άνθρακα, ή ελαφρά μεταλλικές ψηκτρες και μεταξύ 2 ως 3,5 N (0,2 ως 0,35 kp) ανά cm^2 για πολύ μεταλλικές ψηκτρες που εφάπτονται σε δακτύλιους.

Μία από τις τακτικές φροντίδες της συντηρήσεως είναι η αντικατάσταση των φθαρμένων ψηκτρών. Οι νέες ψηκτρες πρέπει να είναι του ίδιου τύπου, που είχε χρησιμοποιήσει ο κατασκευαστής της μηχανής. Το στρώσιμο της επιφάνειας των νέων ψηκτρών που εφάπτεται στο συλλέκτη, ώστε να αποκτήσει την καμπυλότητα του, γίνεται με λουρίδα από γυαλόχαρτο. Οι ψηκτρες τοποθετούνται στις ψηκτροθήκες τους και το γυαλόχαρτο επάνω στο συλλέκτη, όπως δείχνει το σχήμα 11.4δ. Με τό χέρι κινούμε το δρομέα της μηχανής προς τη μία και την άλλη κατεύθυνση, όποτε η ψηκτρα τρίβεται επάνω στο γυαλόχαρτο και η επιφάνειά της αποκτά την καμπυλότητα του συλλέκτη. Για την εργασία αυτή χρησιμοποιούμε πρώτα χονδρό γυαλόχαρτο και έπειτα λεπτό. Μετά το στρώσιμο καθαρίζομε καλά το συλλέκτη από το καρβουνίδι των ψηκτρών. Τέλος βάζομε τη μηχανή σε λειτουργία χωρίς φορτίο, ώστε να στρώσουν τελείως οι νέες ψηκτρες.

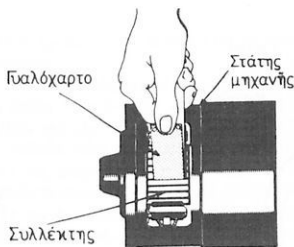
11.5 Συντήρηση του συλλέκτη και των δακτύλιων.

Ο συλλέκτης, όταν είναι σε καλή κατάσταση, έχει επιφάνεια λεία, «γυαλιστερή», και τελείως κυλινδρική. Με τη λειτουργία της μηχανής είναι δυνατό να παρουσιασθούν στην επιφάνεια του συλλέκτη διάφορες ανωμαλίες. Στην απλούστερή τους μορφή οι ανωμαλίες αυτές είναι γρατσουνίσματα της επιφάνειας, που οφείλονται σε σκληρά μόρια σκόνης ή όποια υπάρχουν στις ψηκτρες. Είναι επίσης συσσώρευση ακαθαρσιών από μόρια άνθρακα των ψηκτρών, από λάδια ή λίπη κλπ. Στις περιπτώσεις αυτές χρειάζεται καθαρισμός του συλλέκτη, ο οποίος γίνεται με ένα ειδικά διαμορφωμένο κομμάτι ξύλου, επάνω στο οποίο έχει τοποθετηθεί ένα πολύ λεπτό γυαλόχαρτο. Αυτό πιέζεται ελαφρά επάνω στο συλλέκτη, όπως δείχνει το σχήμα 11.5α, ενώ η μηχανή περιστρέφεται. Έπειτα με ένα κομμάτι ύφασμα ή με πεπιεσμένο αέρα απαλλαγμένο από υγρασία αφαιρούμε τη σκόνη. Τέλος αφήνομε τη μηχανή να εργασθεί για όρισμένο διάστημα χωρίς φορτίο για να έχουμε τελείως «γυαλισμένη» την επιφάνεια του συλλέκτη.

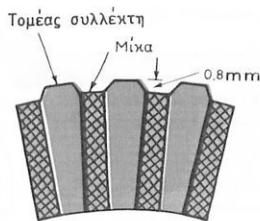
Εδώ πρέπει να τονίσουμε ότι για τόν καθαρισμό του συλλέκτη δεν πρέπει να χρησιμοποιούμε σμυρόπανο, λιπαντικό λάδι, βενζίνη ή άλλο αναφλέξιμο υγρό.

Αν οι ανωμαλίες του συλλέκτη είναι σημαντικές, όπως όταν υπάρχει εκκεντρότητα, προεξέχοντες τομείς, προεξέχοντα τεμάχια μίκας, αυλάκια (που δημιουργούνται συνήθως από τη μη σωστή μετατόπιση των θετικών και αρνητικών ψηκτρών) κλπ., τότε πρέπει να αφαιρεθούν οι ανωμαλίες αυτές στον τόρνο, αφού εξαλειφθεί και η αίτια που τις προκάλεσε.

Μετά το τονρίσισμα, με κατάλληλο εργαλείο, π.χ. με λάμα από σιδηροπρίονο, αφαιρούμε τμήμα



Σχ. 11.5α.
Καθάρισμα συλλέκτη.



Σχ. 11.5β.
Τμήμα συλλέκτη.

της μίκας, ώστε η επιφάνειά της να βρίσκεται περίπου 0,8 mm κάτω από την επιφάνεια του συλλέκτη. Επίσης, αν χρειάζεται, στρογγυλεύουμε (σπάζουμε) τις γωνίες των τομέων του συλλέκτη, όπως φαίνεται στο σχήμα 11.5β. Τέλος «γυαλίζουμε» την επιφάνεια του συλλέκτη με τη διαδικασία που άναφέραμε.

Οι δακτύλιοι των μηχανών παρουσιάζουν πολύ λιγότερες περιπτώσεις ανωμαλιών από τους συλλέκτες. Συνήθως έχουν ανάγκη από καθάρισμα. Σε περιπτώσεις εξαιρετικής φθοράς ή σχηματισμού αυλακιών χρειάζονται τριβή. Κατά τη συντήρηση των δακτυλίων πρέπει να ελέγχονται και οι συνδέσεις των άγωγών με τους δακτύλιους, καθώς και η κατάσταση στην οποία βρίσκεται η μόνωση των δακτυλίων και των άγωγών.

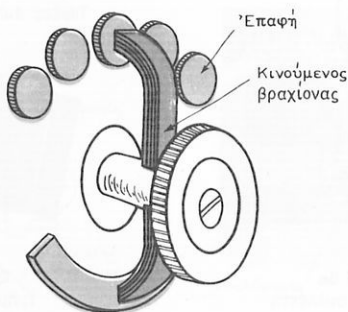
11.6 Συντήρηση των βοηθητικών συσκευών.

Οι συσκευές, τις οποίες χρησιμοποιούμε για τον έλεγχο της λειτουργίας και τη ρύθμιση των ηλεκτρικών μηχανών, όπως π.χ. οι αυτόματοι διακόπτες, οι εκκινήτες, οι ρυθμιστικές αντίστασεις διεγέρσεως κλπ., χρειάζονται και αυτές τη συντήρησή τους, για να βρίσκονται σε καλή κατάσταση λειτουργίας.

Στις επιθεωρήσεις των συσκευών αυτών προσέχουμε ιδιαίτερα τις επαφές, οι οποίες πρέπει να καθαρίζονται τακτικά με λεπτό γυαλόχαρτο και να αλείφονται με λεπτό στρώμα βαζελίνης για να προφυλάσσονται από τις ρυτιδώσεις. Στις περιπτώσεις που οι επαφές παρουσιάζουν φθορά από σπινθήρες (κάψιμο), πρέπει πρώτα να λειάνουμε την επιφάνειά τους με λίμα ή, όταν η φθορά είναι μεγάλη, να τις αντικαταστήσουμε με καινούργιες. Μεγάλες φθορές από σπινθήρες στις επαφές παρουσιάζονται συνήθως, όταν ο κινούμενος βραχίονας (σχ. 10.6) δεν εφάπτεται καλά και με την κατάλληλη πίεση στις επαφές.

Αν υπάρχουν αυτόματοι διακόπτες ή άλλες συσκευές κατασκευασμένες για να λειτουργούν μέσα σε λάδι, τότε πρέπει στις επιθεωρήσεις της συντηρήσεως να ελέγχεται η κατάσταση του λαδιού. Η καθαρότητα του λαδιού έχει μεγάλη σημασία για τη μονωτική του ικανότητα. Συνεπώς, όταν το λάδι περιέχει ακαθαρσίες ή υγρασία, πρέπει να το αλλάζουμε με άλλο αμεταχείριστο. Επίσης στις επιθεωρήσεις ελέγχουμε τη στάθμη του λαδιού. Όταν η στάθμη είναι χαμηλότερη από αυτή που προβλέπεται από τον κατασκευαστή, είναι ενδεχόμενο να μένουν επαφές έξω από το λάδι. Τότε στη λειτουργία προκαλείται φθορά των επαφών από τους σπινθηρισμούς που παράγονται και υπάρχει κίνδυνος έκρηξης ή αναφλέξεως.

Από τις συχνότερες αιτίες βλαβών των ηλεκτρικών μηχανών είναι και οι κακές συνδέσεις των άγωγών με τους ακροδέκτες των μηχανών ή των βοηθητικών συσκευών καθώς και των άγωγών μεταξύ τους. Κακή ή χαλαρή σύνδεση είναι δυνατό να προκαλέσει διακοπή στο ηλεκτρικό κύκλωμα ή να παραμβάλει σημαντική αντίσταση στη διέλευση του ηλεκτρικού ρεύματος, με συνέπεια εκτός των άλλων και τοπική υπερθέρμανση. Συνεπώς πρέπει κατά τις επιθεωρήσεις της συντηρήσεως να ελέγχονται με προσοχή οι συνδέσεις των άγωγών και να σφίγγονται ή να συγκολλούνται, όσες παρουσιάζουν χαλάρωση ή διακοπή.



Σχ. 11.6.

11.7 Άποσυναρμολόγηση των ηλεκτρικών μηχανών.

Τόσο κατά την άποσυναρμολόγηση μιάς ηλεκτρικής μηχανής για επιθεώρηση του έσωτερικού της καί έπισκευή ένδεχομένης βλάβης, όσο καί κατά τή συναρμολόγησή της, πρέπει νά δίνουμε προσοχή στά ακόλουθα, τά όποια όμως κάθε άλλο παρά έξαντλούν τό θέμα. Ή προσοχή καί ή πείρα αυτού πού άσχολείται μέ τήν έργασία θά του εΐναι πολύτιμοι όδηγοί.

1) Άποσυναρμολόγηση.

α) Κατά τήν άποσύνδεση των άγωγών από τούς άκροδέκτες τους νά σημαδεύονται τόσο οι άγωγοί, όσο καί οι αντίστοιχοι άκροδέκτες μέ όμοια σημάδια, π.χ. μέ τόν ίδιο αριθμό χαραγών. Αυτό έξοικονομεί χρόνο στή συναρμολόγηση τής μηχανής καί άποφεύγονται λάθη.

β) Ή άφαίρεση των μηχανικών συνδέσμων, τροχαλιών, όδοντωτών τροχών καί άνεμιστήρων πρέπει νά γίνεται μέ κατάλληλο έξολκέα καί όχι μέ σφυροκόπημα, πού εΐναι ένδεχόμενο νά προκαλέσει βλάβες, τόσο στά κομμάτια πού αφαιρούνται όσο καί σέ άλλα τμήματα τής μηχανής.

γ) Ή άφαίρεση των ένσφαιρων τριβών (ρουλεμάν) γίνεται καί αύτή μέ τή χρήση έξολκέα. Ή πίεση εφαρμόζεται στόν έσωτερικό δακτύλιο. Άν αυτό δέν εΐναι δυνατό, τότε εφαρμόζεται ή πίεση στόν έξωτερικό δακτύλιο, έφόσον όμως εΐναι όμοιόμορφα διανεμημένη σ' αυτόν. Ή πίεση πρέπει νά άσκείται παράλληλα πρός τόν άξονα τής μηχανής, δηλαδή κάθετα πρός τό ρουλεμάν. Σημειώνουμε έπίσης, ότι οι ένσφαιροι τριβείς αφαιρούνται από τόν άξονα τής μηχανής, μόνο έφόσον αυτό εΐναι τελείως άπαραίτητο (π.χ. όταν χρειάζεται νά άφαιρέσουμε τόν άξονα από τό δρομέα) ή όταν πρόκειται νά τούς άντικαταστήσουμε μέ καινούργιους.

δ) Γιά τήν άφαίρεση των ψηκτρών πρέπει πρώτα νά τίς άπαλλάξουμε από τήν πίεση του έλατηρίου τους, γιατί διαφορετικά εΐναι ένδεχόμενο νά τούς προκαλέσουμε βλάβη.

ε) Κάθε κομμάτι τής μηχανής πού αφαιρείται τό καθαρίζουμε καλά καί τό τοποθετούμε μέ τάξη επάνω σέ καθαρή επιφάνεια.

στ) Μέ ιδιαίτερη προσοχή μεταχειριζόμαστε τά τυλίγματα πού αφαιρούμε καθώς καί τούς δρομείς πού φέρουν περιελίξεις, ώστε νά άποφύγουμε τή δημιουργία βλαβών (σπάσιμο) στις μονώσεις τους. Άφού τά καθαρίσουμε τά τοποθετούμε επάνω σέ κατάλληλα ύποστηρίγματα.

2) Συναρμολόγηση.

α) Γιά τήν συναρμολόγηση μιάς μηχανής φροντίζουμε πρώτα νά έχουν καθαρισθεΐ όλα τά μέρη της καί προσπαθούμε νά τά κρατήσουμε καθαρά κατά τή διάρκεια τής συναρμολογήσεως. Ήπίσης φροντίζουμε νά καθαρίσουμε, νά λιμάρουμε άν χρειάζεται καί νά γυαλίσουμε τίς επιφάνειες των ηλεκτρικών επαφών.

β) Πρίν άρχίσουμε τήν έργασία τής συναρμολόγησης, ελέγχουμε τή μόνωση τών διαφόρων μερών τής μηχανής.

γ) Ή συναρμολόγηση γίνεται μέ τοποθέτηση κάθε μέρους στή θέση του, χωρίς νά εφαιμόζουμε βία, ή όποία είναι δυνατό νά προκαλέσει βλάβη στά μέρη πού συναρμολογούνται.

δ) Πρίν από τήν τοποθέτηση τής μηχανής στή θέση της καθαρίζουμε καλά τό χώρο γύρω από αυτή. Άφου τοποθετηθεί ή μηχανή, ελέγχουμε τήν οριζοντίωση της καί τήν ευθυγράμμιση τών άξόνων, άν ή ζεύξη τής μηχανής γίνεται μέ μηχανικό σύνδεσμο.

ε) Πρίν βάλομε τή μηχανή σέ λειτουργία ελέγχουμε:

1) Άν έχει τοποθετηθεί τό κατάλληλο λιπαντικό στά έδρανα, κιβώτια ταχυτήτων κλπ.

2) Άν κατά τή στροφή τής μηχανής μέ τό χέρι (άν είναι δυνατό) άκούγεται άσυνήθιστος θόρυβος.

3) Άν ή αντίσταση μονώσεως τών τυλιγμάτων τής μηχανής ως πρός τό σώμα της είναι ικανοποιητική. Ή μέτρηση γίνεται μέ τή βοήθεια του είδικου όργάνου πού ονομάζεται Μέγκερ (Megger).

στ) Άφου λειτουργήσει ή μηχανή γιά διάστημα λίγων ήμερών γίνεται μία είδική έπιθεώρησή της (έκτος προγράμματος συντηρήσεως). Ίδιαίτερη προσοχή δίνεται στά μέρη, τά όποια αντικαταστάθηκαν κατά τήν άποσυναρμολόγηση, γιά νά διαπιστωθεί άν εργάζονται καλά.

11.8 Βλάβες τών ήλεκτρικών μηχανών.

Όσο καλή καί άν είναι ή συντήρηση τών ήλεκτρικών μηχανών, δέν είναι δυνατό νά άποκλεισθεί τό ένδεχόμενο νά εμφανισθοῦν βλάβες κατά τή λειτουργία τους. Στά επόμενα έχουμε κατατάξει σέ μορφή πίνακα τίς πιο συνηθισμένες βλάβες. Στήν πρώτη στήλη αναφέρεται τό σύμπτωμα τό όποιο εμφανίζει ή μηχανή πού παρουσιάζει βλάβη, στή δεύτερη στήλη ή πιθανή αίτία τής βλάβης καί στήν τρίτη τό τί πρέπει νά γίνει, δηλαδή ή θεραπεία. Όπως παρατηρούμε στον πίνακα, σέ κάθε σύμπτωμα αντιστοιχούν περισσότερες από μία πιθανές αίτίες, τίς όποιες πρέπει νά ελέγξουμε γιά νά εξακριβώσουμε σέ ποιά από αυτές όφείλεται ή βλάβη. Άρχίζουμε συνήθως από τίς πιο πιθανές καί συνεχίζουμε μέ τίς λιγότερο πιθανές. Στήν έργασία αυτή πρέπει νά χρησιμοποιούμε γιά τούς ελέγχους όργανα, τά όποια νά είμαστε βέβαιοι ότι εργάζονται καλά.

Βλάβες Ήλεκτρικών Μηχανών

Γεννήτριες συνεχούς ρεύματος

Σύμπτωμα	Πιθανή αίτία	Θεραπεία
1) Ή μηχανή δέν δίνει τάση	α) Έξασθένηση του παραμέ- νοντα μαγνητισμού β) Διακοπή στο κύκλωμα του τυλίγματος των πόλων γ) Διακοπή στή ρυθμιστική άντίσταση διεγέρσεως δ) Κακή έπαφή των άγωγών μέ τούς άκροδέκτες ε) Ή μαγνητική ροή των πό- λων είναι αντίθετη από τον παραμένοντα μαγνητισμό στ) Άντίστροφη ή φορά τής έντάσεως σέ ένα πόλο	α) Νά περάσουμε συνεχές ρεύμα από τά τυλίγματα των πόλων β) Νά βρεθεί καί νά έπισκευασθεί ή βλά- βη γ) Όμοια όπως παραπάνω δ) Νά σφιχθοῦν οι βίδες ε) Στο κιβώτιο άκροδεκτών τής μηχανής νά γίνει άντιστροφή τής τροφοδοσίας των πόλων στ) Ή βλάβη αυτή εμφανίζεται μετά τήν έπισκευή του τυλίγματος ενός πόλου. Νά γίνει ή σωστή σύνδεση

Συνεχίζεται

Συνέχεια από προηγούμενη σελίδα

Σύμπτωμα	Πιθανή αιτία	Θεραπεία
2) Ή τάση τής μηχανής δέν είναι κανονική	ζ) Κακή επαφή των ψηκτρών	ζ) Ρύθμιση τής τάσεως των έλατηρίων καί άντικατάσταση των ψηκτρών, άν είναι φθαρμένες
	η) Άκάθαρτος συλλέκτης	η) Βλέπε παράγρ. 11.5
3) Σπινθηρισμοί στό συλλέκτη	α) Ύπερφόρτιση ή όχι σω- στή μετάθεση των ψη- κτρών από τήν ούδέτερη ζώνη	α) Έλάττωση του φορτίου ή διόρθωση τής μεταθέσεως των ψηκτρών
	β) Διακοπή στό τύλιγμα του έπαγωγικού τυμπάνου (δύο τομείς του συλλέκτη μαυρί- ζουν από σπινθηρισμούς)	β) Άποκατάσταση τής διακοπής ή μερική νέα περιέλιξη
	γ) Βραχυκύκλωμα μεταξύ δύο ομάδων του έπαγωγι- κού τυμπάνου (ισχυροί σπιν- θηρισμοί στό συλλέκτη)	γ) Μερική ή όλική νέα περιέλιξη
	α) Διακοπή ή βραχυκύκλωμα στό τύλιγμα του έπαγωγικού τυμπάνου	α) Βλέπε παραπάνω 2 . β και 2 . γ
	β) Φθαρμένος συλλέκτης, ή μίκρα	β) Βλέπε παράγρ. 11.5
	γ) Ύπερφόρτιση ή όχι σω- στή μετάθεση των ψη- κτρών από τήν ούδέτερη ζώνη	γ) Βλέπε παραπάνω 2.α
	δ) Ψήκτρεις πολύ σκληρές ή πολύ μαλακές	δ) Νά τοποθετηθοῦν ψήκτρεις όπως προ- βλέπονται από τόν κατασκευαστή

Κινητήρες συνεχούς ρεύματος

Σύμπτωμα	Πιθανή αιτία	Θεραπεία
4) Ό κινητήρας δέν ξε- κινά	α) Δέν υπάρχει τάση στους άκροδέκτες του	α) Νά εξακριβωθεί άν υπάρχει τάση στό δίκτυο
	β) Τήξη ασφάλειας	β) Νά άντικατασταθεί
	γ) Διακοπή στό τύλιγμα του έπαγωγικού τυμπάνου	γ) Άποκατάσταση τής διακοπής ή μερική νέα περιέλιξη

Συνεχίζεται

Συνέχεια από προηγούμενη σελίδα

Σύμπτωμα	Πιθανή αιτία	Θεραπεία
5) 'Ο κινητήρας ξεκινά με δυσκολία	δ) Διακοπή ή κακή επαφή στους τροφοδοτικούς αγωγούς ή στις βοηθητικές συσκευές (έκκινητή κλπ.) α) Κακή επαφή σε άκροδέκτες του κινητήρα ή των βοηθητικών συσκευών β) Όχι σωστή μετάθεση των ψηκτρών από την ουδέτερη ζώνη γ) Βλέπε παραπάνω 2.β δ) Ίμάντας πολύ τανυσμένος ε) Μεγάλη ανθιστάμενη ροπή στην εκκίνηση στ) Βραχυκύκλωμα του τυλίγματος με το σώμα του κινητήρα	δ) Αποκατάσταση της διακοπής, σφίξιμο των επαφών α) Νά φτιαχτούν οι άκροδέκτες β) Νά αναζητηθεί η καλύτερη θέση για τη λειτουργία με το κανονικό φορτίο γ) Βλέπε παραπάνω 2.β δ) Νά χαλαρωθεί ο ιμάντας ε) 'Ο κινητήρας είναι μικρός γιά τό κινούμενο μηχανήμα ή αυτό παρουσιάζει ανωμαλία- στ) Νά έπισκευασθεί τό τύλιγμα
6) 'Ο κινητήρας περιστρέφεται με ταχύτητα μεγαλύτερη της κανονικής	α) 'Η τάση του δικτύου τροφοδοτήσεως είναι πολύ ύψηλή β) Διακοπή στο τύλιγμα των πόλων ή βραχυκυκλωμένες σπείρες (για κινητήρες με παράλληλη διέγερση) γ) Όχι σωστή συνδεσμολογία της διεγέρσεως	α) Νά γίνει μέτρηση της τάσεως τροφοδοτήσεως β) Νά αποκατασταθεί ή διακοπή ή νά γίνει νέο τύλιγμα γ) Νά γίνει σύμφωνα με τό σχέδιο του κατασκευαστή
7) Σπινθηρισμοί στο συλλέκτη	Βλέπε παραπάνω έδάφιο 3 γιά γεννήτριες συνεχούς ρεύματος	'Η θεραπεία είναι ή ίδια έκτός από τη μετάθεση των ψηκτρών, πού πρέπει νά γίνει κατά την αντίθετη φορά.

Συνεχίζεται

Συνέχεια από προηγούμενη σελίδα

Σύμπτωμα	Πιθανή αιτία	Θεραπεία
8) Οι ασφάλειες τήκονται	α) Ό κινητήρας υπερφορτίζεται β) Βραχυκύκλωμα στο κύκλωμα τροφοδοτήσεως του κινητήρα γ) Διακοπή στο κύκλωμα διεγέρσεως	α) Νά γίνει επαλήθευση με μέτρηση της έντάσεως που απορροφάται β) Νά ελεγχθούν οι γραμμές καί οι βοηθητικές συσκευές του κινητήρα γ) Νά αποκατασταθεί ή διακοπή
9) Ό κινητήρας υπερθερμαίνεται	α) Υπερφόρτιση β) Η τάση του δικτύου είναι πολύ ψηλή ή πολύ χαμηλή γ) Βραχυκυκλωμένες σπείρες στο τύλιγμα του τυμπάνου δ) Κακός αερισμός ε) Ό ανεμιστήρας δέν περιστρέφεται κατά τη σωστή φορά στ) Ό δρομέας έφάπτεται (βρίσκει) στο στάτη	α) Νά ελαττωθεί τό φορτίο ή νά τοποθετηθεί μεγαλύτερος κινητήρας β) Νά ελεγχθεί αν ή τάση του δικτύου είναι μέσα στα όρια $\pm 5\%$ της όνομαστικής τάσεως γ) Νά γίνει νέα μερική ή όλική περιέλιξη δ) Νά καθαρισθούν οι δίοδοι κυκλοφορίας του άέρα ψύξεως ε) Νά αλλάγει ή φορά περιστροφής στ) Νά αλλάγουν τά έδρανα

Σύγχρονες γεννήτριες (έναλλακτήρες)

10) Άνωμαλίες στην τάση του έναλλακτήρα	α) Η διεγέρτρια δέν δίνει τάση β) Διακοπή στους άγωγούς που τροφοδοτούν τη διεγερση του έναλλακτήρα ή χαλαρή έπαφή	α) Βλέπε παραπάνω 1.α ως 1.η β) Νά βρεθεί καί νά αποκατασταθεί ή διακοπή. Νά σφιχθούν οι έπαφές
---	---	--

Συνεχίζεται

Συνέχεια από προηγούμενη σελίδα

Σύμπτωμα	Πιθανή αίτια	Θεραπεία
	γ) Διακοπή στο τυλίγμα του στάτη	γ) Νά αποκατασταθεί ή διακοπή ή νά γίνει μερική αντικατάσταση του τυλίγματος
	δ) Δέν είναι συμμετρική ή φόρτιση	δ) Νά γίνει ή φόρτιση περίπου συμμετρική
	ε) Ό ρυθμιστής στροφών δέν εργάζεται καλά	ε) Νά επισκευασθεί ή νά αντικατασταθεί ό ρυθμιστής στροφών

Μετασχηματιστές

11) Ό μετασχηματιστής υπερθερμαίνεται	α) Ύπερφόρτιση	α) Νά ελαττωθεί τό φορτίο ή νά τοποθετηθεί μεγαλύτερος μετασχηματιστής
	β) Βραχυκύκλωμα στά τυλίγματα	β) Νά αντικατασταθούν τά βραχυκυκλωμένα τυλίγματα
	γ) Βραχυκύκλωμα στά έλάσματα του πυρήνα	γ) Νά σταλεί για έπισκευή
	δ) Διάσπαση τής μονώσεως των άκροδεκτών	δ) Νά αντικατασταθούν οί άκροδέκτες που παρουσιάζουν τή βλάβη
	ε) Ό χώρος δέν αερίζεται καλά	ε) Νά ληφθούν μέτρα καλύτερου αερισμού του χώρου

Άσύγχρονοι κινητήρες

12) Ό κινητήρας δέν ξεκινά, βόμβος δέν ακούγεται	α) Δέν υπάρχει τάση στο δίκτυο	α) Βλέπε παραπάνω 4.α
	β) Τήξη ασφαλειών	β) Νά αντικατασταθούν
	γ) Βλέπε παραπάνω 4.δ	γ) Βλέπε παραπάνω 4.δ

Συνεχίζεται

Συνέχεια από προηγούμενη σελίδα

Σύμπτωμα	Πιθανή αιτία	Θεραπεία
13) Ο κινητήρας δεν ξεκινά, ακούγεται κανονικός βόμβος	α) Λανθασμένη συνδεσμο- λογία στο κιβώτιο των άκρο- δεκτών του κινητήρα β) Διακοπή στο τύλιγμα του δρομέα γ) Διακοπή στον έκκινητή ή στούς άγωγούς συνδεσμο- λογήσεώς του δ) Φθορά ή κακή επαφή των ψηκτρών ε) Βλέπε παραπάνω 5.ε	α) Οι φάσεις του στάτη πιθανώς είναι συνδεσμολογημένες σέ άστέρα αντί του κανονικού σέ τρίγωνο πού άπαιτεί ή τάση τροφοδοτήσεως β) Σέ τύλιγμα κλωβού νά έπανακολληθεϊ. Σέ τριφασικό τύλιγμα νά άποκατασταθεϊ ή διακοπή ή νά γίνει νέο τύλιγμα γ) Νά άποκατασταθεϊ ή βλάβη ή νά άντι- κατασταθεϊ ο έκκινητής δ) Άντικατάσταση φθαρμένων ψη- κτρών, ρύθμιση πιέσεως έλατηρίων ε) Βλέπε παραπάνω 5.ε
14) Ο κινητήρας δεν ξεκινά, ακούγεται δυνατός βόμβος	α) Μία φάση δεν παίρνει ρεύμα β) Μία φάση του τυλίγματος του στάτη παρουσιάζει δια- κοπή γ) Βραχυκύκλωμα στο τύλι- γμα του στάτη	α) Νά άναζητηθεϊ ή βλάβη (έλλειψη τά- σεως σέ μία φάση του δικτύου, τ.σ.σ. ή άσφάλειας, διακοπή ενός άγωγού, κα- κή έπαφή σέ άκροδέκτη) και νά έπισκευα- σθεϊ β) Νά άποκατασταθεϊ ή διακοπή ή νά άν- τικατασταθεϊ ή φάση πού παρουσιάζει βλάβη γ) Μερική ή όλική άντικατάσταση του τυ- λίγματος
15) Ο κινητήρας ξεκινά χωρίς φορτίο και οι στροφές του πέφτουν μόλις τόν φορτίσουμε	α) Βλέπε παραπάνω 13.α β) Βλέπε παραπάνω 13.β γ) Βλέπε παραπάνω 13.γ δ) Βλέπε παραπάνω 13.δ ε) Πτώση τάσεως στο δί- κτυο	α) Βλέπε παραπάνω 13.α β) Βλέπε παραπάνω 13.β γ) Βλέπε παραπάνω 13.γ δ) Βλέπε παραπάνω 13.δ ε) Νά έπιβεβαιωθεϊ και νά άναζητηθεϊ ή αιτία

Συνεχίζεται

Συνέχεια από προηγούμενη σελίδα

Σύμπτωμα	Πιθανή αιτία	Θεραπεία
16) Ο κινητήρας υπερθερμαίνεται	α) Βλέπε παραπάνω 9.α β) Λανθασμένη συνδεσμο- λογία στο κιβώτιο τῶν ἀκρο- δεκτῶν γ) Βραχυκύκλωμα στά τυλίγ- ματα τοῦ στάτη ἢ τοῦ δρο- μέα δ) Βλέπε παραπάνω 14.α καί 14.β ε) Βλέπε παραπάνω 9.δ στ) Βλέπε παραπάνω 9.στ	α) Βλέπε παραπάνω 9.α β) Νά γίνει ἔλεγχος στή συνδεσμο- λογία καί νά γίνει ἡ σωστή γ) Μερική ἢ ὀλική ἀντικατάσταση τοῦ ἀν- τιστοίχου τυλίγματος δ) Βλέπε παραπάνω 14.α καί 14.β ε) Βλέπε παραπάνω 9.δ στ) Βλέπε παραπάνω 9.στ

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΠΡΩΤΟ

ΟΙ ΑΡΧΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΤΩΝ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΩΝ

1.1	Τι είναι οι ηλεκτρικές μηχανές	1
1.2	Ηλεκτρεγερτική δύναμη σε κινούμενο άγωγο	2
1.3	Η άρχη λειτουργίας των γεννητριών	4
1.4	Δύναμη άσκούμενη σε ρευματοφόρο άγωγο	10
1.5	Η άρχη λειτουργίας των κινητήρων συνεχούς ρεύματος	11
1.6	Αντιηλεκτρεγερτική δύναμη	13
1.7	Δυνάμεις πεδήσεως στις γεννήτριες	14
1.8	Ερωτήσεις	15
1.9	Προβλήματα και ασκήσεις	15

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΔΕΥΤΕΡΟ

ΗΛΕΚΤΡΙΚΕΣ ΜΗΧΑΝΕΣ ΣΥΝΕΧΟΥΣ ΡΕΥΜΑΤΟΣ

2.1	Ποι χρησιμοποιούνται οι μηχανές συνεχούς ρεύματος	16
2.2	Πώς είναι κατασκευασμένες οι μηχανές συνεχούς ρεύματος	17
2.3	Η διέγερση των μηχανών συνεχούς ρεύματος	20
2.4	Τυλίγματα μηχανών συνεχούς ρεύματος	22
2.5	Η λειτουργία των γεννητριών συνεχούς ρεύματος	28
2.6	Είδη γεννητριών συνεχούς ρεύματος	33
2.7	Παράλληλη λειτουργία γεννητριών	42
2.8	Ίσχύς, απώλειες, βαθμός αποδόσεως γεννητριών	43
2.9	Η λειτουργία των κινητήρων συνεχούς ρεύματος	45
2.10	Είδη κινητήρων συνεχούς ρεύματος	51
2.11	Ρύθμιση της ταχύτητας στους κινητήρες συνεχούς ρεύματος	58
2.12	Ηλεκτρική πέδηση	63
2.13	Ίσχύς, απώλειες, βαθμός αποδόσεως κινητήρων συνεχούς ρεύματος	63
2.14	Ερωτήσεις	65
2.15	Προβλήματα και ασκήσεις	65

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΡΙΤΟ

ΓΕΝΝΗΤΡΙΕΣ ΕΝΑΛΛΑΣΣΟΜΕΝΟΥ ΡΕΥΜΑΤΟΣ

3.1	Γενικά	67
3.2	Τύποι και κατασκευή έναλλακτών	67
3.3	Ψύξη των έναλλακτών	74
3.4	Η άρχη λειτουργίας των έναλλακτών	76

3.5	Συχνότητα καί ταχύτητα περιστροφής	78
3.6	Μονοφασικοί έναλλακτῆρες	79
3.7	Διφασικοί έναλλακτῆρες	81
3.8	Τριφασικοί έναλλακτῆρες	82
3.9	Ἡ τιμή τῆς ἡλεκτρεγερτικῆς δυνάμεως έναλλακτῆρα	86
3.10	Ρύθμιση τῆς ἡλεκτρεγερτικῆς δυνάμεως έναλλακτῆρα	87
3.11	Λειτουργία τῶν έναλλακτῆρων μέ φορτίο	90
3.12	Πῶς βάζομε σέ λειτουργία ένα έναλλακτῆρα	92
3.13	Παράλληλη λειτουργία έναλλακτῆρων	94
3.14	Χαρακτηριστικά στοιχεία έναλλακτῆρων	101
3.15	Ἀπώλειες καί βαθμός ἀποδόσεως έναλλακτῆρα	102
3.16	Ἐρωτήσεις	105

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΕΤΑΡΤΟ

ΣΥΓΧΡΟΝΟΙ ΚΙΝΗΤΗΡΕΣ

4.1	Ἡ κατασκευή τῶν συγχρόνων κινήτρων	106
4.2	Περιστροφόμενα μαγνητικά πεδία	106
4.3	Ἡ ἀρχή λειτουργίας τῶν συγχρόνων τριφασικῶν κινήτρων	110
4.4	Ἐκκίνηση τῶν συγχρόνων κινήτρων	112
4.5	Λειτουργία τῶν συγχρόνων κινήτρων	113
4.6	Ποῦ χρησιμοποιοῦνται οἱ σύγχρονοι κινήτρες	114
4.7	Ἐρωτήσεις	116
4.8	Προβλήματα καί ἀσκήσεις	117

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΠΕΜΠΤΟ

ΑΣΥΓΧΡΟΝΟΙ ΤΡΙΦΑΣΙΚΟΙ ΚΙΝΗΤΗΡΕΣ

5.1	Γενικά	118
5.2	Ἡ κατασκευή τῶν ἀσυγχρόνων τριφασικῶν κινήτρων	118
5.3	Ἡ ἀρχή τῆς λειτουργίας	123
5.4	Διολίσθηση	125
5.5	Τάση καί ἔνταση τοῦ δρομέα	126
5.6	Ἡ ροπή τῶν ἀσυγχρόνων τριφασικῶν κινήτρων	129
5.7	Ἀνθιστάμενη ροπή τοῦ φορτίου	133
5.8	Ἀνθιστάμενη ροπή τοῦ φορτίου	134
5.9	Ἰσχύς ἀσύγχρονου κινήτρη	136
5.10	Ἡ ἐκκίνηση τῶν κινήτρων μέ βραχυκυκλωμένο δρομέα	142
5.11	Κινήτρες διπλοῦ κλωβοῦ	143
5.12	Κινήτρες μέ βαθιά αὐλάκια	144
5.13	Ἡ ἐκκίνηση τῶν κινήτρων μέ δακτύλιους	146
5.14	Ρύθμιση τῆς ταχύτητας στοὺς ἀσύγχρονους τριφασικούς κινήτρες	152
5.15	Ἀλλαγὴ τῆς φορᾶς περιστροφῆς	152
5.16	Βαθμός ἀποδόσεως καί συντελεστής ἰσχύος	156
5.17	Χαρακτηριστικά στοιχεία τῶν ἀσυγχρόνων κινήτρων	158
5.18	Μεταβολὴ τῆς τάσεως καί συχνότητος τοῦ δικτύου ἡλεκτροδότησεως	159
5.19	Ἐρωτήσεις	159
5.19	Προβλήματα καί ἀσκήσεις	159

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΕΚΤΟ

ΑΣΥΓΧΡΟΝΟΙ ΜΟΝΟΦΑΣΙΚΟΙ ΚΙΝΗΤΗΡΕΣ

6.1	Γενικά	161
-----	--------	-----

6.2	Μονοφασικοί κινητήρες αντίστροφος	162
6.3	Μονοφασικοί κινητήρες με πυκνωτή	163
6.4	Κινητήρες με βραχυκυκλωμένες σπείρες στο στάτη	164
6.5	Τριφασικοί κινητήρες χρησιμοποιούμενοι σαν μονοφασικοί	165
6.6	Ίσχυς μονοφασικού κινητήρα	166
6.7	Ερωτήσεις	167
6.8	Προβλήματα και ασκήσεις	167

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΕΒΔΟΜΟ

ΚΙΝΗΤΗΡΕΣ ΕΝΑΛΛΑΣΣΟΜΕΝΟΥ ΡΕΥΜΑΤΟΣ ΜΕ ΣΥΛΕΚΤΗ

7.1	Γενικά	168
7.2	Μονοφασικοί κινητήρες σειράς	168
7.3	Κινητήρες Γιουνιβέρσαλ (Universal)	171
7.4	Κινητήρες αντιδράσεως	172
7.5	Τριφασικοί κινητήρες σειράς	173
7.6	Τριφασικοί κινητήρες διακλαδώσεως	175
7.7	Ερωτήσεις	179

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΟΓΔΟΟ

ΤΥΛΙΓΜΑΤΑ ΜΗΧΑΝΩΝ ΕΝΑΛΛΑΣΣΟΜΕΝΟΥ ΡΕΥΜΑΤΟΣ

8.1	Γενικά	180
8.2	Είδη τυλιγμάτων	181
8.3	Πολυφασικά τυλίγματα	186
8.4	Σχεδίαση των τυλιγμάτων έναλλασσόμενου ρεύματος	191
8.5	Κανονικά και μη κανονικά τυλίγματα	198
8.6	Τυλίγματα με μεταβλητό αριθμό πόλων	200
8.7	Πώς είναι κατασκευασμένα τα τυλίγματα έναλλασσόμενου ρεύματος	203
8.8	Άλλαγή χαρακτηριστικών τυλίγματος	207
8.9	Ερωτήσεις	211
8.10	Προβλήματα και ασκήσεις	212

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΕΝΑΤΟ

ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΤΕΣ

9.1	Χρήση και είδη μετασχηματιστών	213
9.2	Κατασκευή των μετασχηματιστών	214
9.3	Ψύξη των μετασχηματιστών	221
9.4	Η αρχή της λειτουργίας των μετασχηματιστών	223
9.5	Λειτουργία των μετασχηματιστών χωρίς φορτίο	226
9.6	Λειτουργία των μετασχηματιστών με φορτίο	228
9.7	Συνδεσμολογία των τυλιγμάτων των μετασχηματιστών	223
9.8	Παράλληλη λειτουργία μετασχηματιστών	243
9.9	Αυτόμετασχηματιστές	244
9.10	Χαρακτηριστικά στοιχεία των μετασχηματιστών	247
9.11	Βαθμός απόδοσεως των μετασχηματιστών	248
9.12	Όρια φορτίσεως των μετασχηματιστών	250
9.13	Άλλαγή των χαρακτηριστικών τυλίγματος μετασχηματιστή	252
9.14	Μετασχηματιστές μετρήσεων	253
9.15	Ερωτήσεις	257
9.16	Προβλήματα και ασκήσεις	258

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΔΕΚΑΤΟ

ΜΕΤΑΤΡΟΠΕΙΣ – ΑΝΟΡΘΩΤΕΣ

10.1	Γενικά	259
10.2	Τό ζεύγος κινητήρα-γεννήτριας	259
10.3	Στρεφόμενος μετατροπέας	260
10.4	Ή ηλεκτρική βαλβίδα	262
10.5	Ανορθωτικές διατάξεις	263
10.6	Ανορθωτές με ήμιαγωγούς	267
10.7	Ανορθωτές ύδραργύρου	272
10.8	Ανορθωτές ύδραργύρου με μεταλλική λυχνία	276
10.9	Ρύθμιση της τάσεως των ανορθωτών ύδραργύρου	276
10.10	Χρησιμοποίηση των ανορθωτών ύδραργύρου	278
10.11	Ανορθωτές ύδραργύρου μιᾶς ἀνόδου Τγνιτρον	279
10.12	Ανορθωτές θερμῆς καθόδου	280
10.13	Ερωτήσεις	281

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΕΝΔΕΚΑΤΟ

ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ ΚΑΙ ΒΛΑΒΕΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΩΝ

11.1	Ἡ ἔννοια καί τό πρόγραμμα τῆς συντηρήσεως	282
11.2	Ἡ λίπανση τῶν ηλεκτρικῶν μηχανῶν	284
11.3	Συντήρηση τῶν μηχανικῶν μερῶν	286
11.4	Συντήρηση τῶν ψηκτρῶν	286
11.5	Συντήρηση τοῦ συλλέκτη καί τῶν δακτυλίων	288
11.6	Συντήρηση τῶν βοηθητικῶν συσκευῶν	289
11.7	Ἀποσυναρμολόγηση τῶν ηλεκτρικῶν μηχανῶν	290

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	1
2. ΟΡΟΛΟΓΙΑ	2
3. ΟΡΟΛΟΓΙΑ	3
4. ΟΡΟΛΟΓΙΑ	4
5. ΟΡΟΛΟΓΙΑ	5
6. ΟΡΟΛΟΓΙΑ	6
7. ΟΡΟΛΟΓΙΑ	7
8. ΟΡΟΛΟΓΙΑ	8
9. ΟΡΟΛΟΓΙΑ	9
10. ΟΡΟΛΟΓΙΑ	10
11. ΟΡΟΛΟΓΙΑ	11
12. ΟΡΟΛΟΓΙΑ	12
13. ΟΡΟΛΟΓΙΑ	13
14. ΟΡΟΛΟΓΙΑ	14
15. ΟΡΟΛΟΓΙΑ	15
16. ΟΡΟΛΟΓΙΑ	16
17. ΟΡΟΛΟΓΙΑ	17
18. ΟΡΟΛΟΓΙΑ	18
19. ΟΡΟΛΟΓΙΑ	19
20. ΟΡΟΛΟΓΙΑ	20
21. ΟΡΟΛΟΓΙΑ	21
22. ΟΡΟΛΟΓΙΑ	22
23. ΟΡΟΛΟΓΙΑ	23
24. ΟΡΟΛΟΓΙΑ	24
25. ΟΡΟΛΟΓΙΑ	25
26. ΟΡΟΛΟΓΙΑ	26
27. ΟΡΟΛΟΓΙΑ	27
28. ΟΡΟΛΟΓΙΑ	28
29. ΟΡΟΛΟΓΙΑ	29
30. ΟΡΟΛΟΓΙΑ	30
31. ΟΡΟΛΟΓΙΑ	31
32. ΟΡΟΛΟΓΙΑ	32
33. ΟΡΟΛΟΓΙΑ	33
34. ΟΡΟΛΟΓΙΑ	34
35. ΟΡΟΛΟΓΙΑ	35
36. ΟΡΟΛΟΓΙΑ	36
37. ΟΡΟΛΟΓΙΑ	37
38. ΟΡΟΛΟΓΙΑ	38
39. ΟΡΟΛΟΓΙΑ	39
40. ΟΡΟΛΟΓΙΑ	40
41. ΟΡΟΛΟΓΙΑ	41
42. ΟΡΟΛΟΓΙΑ	42
43. ΟΡΟΛΟΓΙΑ	43
44. ΟΡΟΛΟΓΙΑ	44
45. ΟΡΟΛΟΓΙΑ	45
46. ΟΡΟΛΟΓΙΑ	46
47. ΟΡΟΛΟΓΙΑ	47
48. ΟΡΟΛΟΓΙΑ	48
49. ΟΡΟΛΟΓΙΑ	49
50. ΟΡΟΛΟΓΙΑ	50
51. ΟΡΟΛΟΓΙΑ	51
52. ΟΡΟΛΟΓΙΑ	52
53. ΟΡΟΛΟΓΙΑ	53
54. ΟΡΟΛΟΓΙΑ	54
55. ΟΡΟΛΟΓΙΑ	55
56. ΟΡΟΛΟΓΙΑ	56
57. ΟΡΟΛΟΓΙΑ	57
58. ΟΡΟΛΟΓΙΑ	58
59. ΟΡΟΛΟΓΙΑ	59
60. ΟΡΟΛΟΓΙΑ	60
61. ΟΡΟΛΟΓΙΑ	61
62. ΟΡΟΛΟΓΙΑ	62
63. ΟΡΟΛΟΓΙΑ	63
64. ΟΡΟΛΟΓΙΑ	64
65. ΟΡΟΛΟΓΙΑ	65
66. ΟΡΟΛΟΓΙΑ	66
67. ΟΡΟΛΟΓΙΑ	67
68. ΟΡΟΛΟΓΙΑ	68
69. ΟΡΟΛΟΓΙΑ	69
70. ΟΡΟΛΟΓΙΑ	70
71. ΟΡΟΛΟΓΙΑ	71
72. ΟΡΟΛΟΓΙΑ	72
73. ΟΡΟΛΟΓΙΑ	73
74. ΟΡΟΛΟΓΙΑ	74
75. ΟΡΟΛΟΓΙΑ	75
76. ΟΡΟΛΟΓΙΑ	76
77. ΟΡΟΛΟΓΙΑ	77
78. ΟΡΟΛΟΓΙΑ	78
79. ΟΡΟΛΟΓΙΑ	79
80. ΟΡΟΛΟΓΙΑ	80
81. ΟΡΟΛΟΓΙΑ	81
82. ΟΡΟΛΟΓΙΑ	82
83. ΟΡΟΛΟΓΙΑ	83
84. ΟΡΟΛΟΓΙΑ	84
85. ΟΡΟΛΟΓΙΑ	85
86. ΟΡΟΛΟΓΙΑ	86
87. ΟΡΟΛΟΓΙΑ	87
88. ΟΡΟΛΟΓΙΑ	88
89. ΟΡΟΛΟΓΙΑ	89
90. ΟΡΟΛΟΓΙΑ	90
91. ΟΡΟΛΟΓΙΑ	91
92. ΟΡΟΛΟΓΙΑ	92
93. ΟΡΟΛΟΓΙΑ	93
94. ΟΡΟΛΟΓΙΑ	94
95. ΟΡΟΛΟΓΙΑ	95
96. ΟΡΟΛΟΓΙΑ	96
97. ΟΡΟΛΟΓΙΑ	97
98. ΟΡΟΛΟΓΙΑ	98
99. ΟΡΟΛΟΓΙΑ	99
100. ΟΡΟΛΟΓΙΑ	100

COPYRIGHT ΙΔΡΥΜΑΤΟΣ ΕΥΓΕΝΙΔΟΥ

ΦΩΤΟ-ΟΡΦΕΤ 1 ΔΕΛΕΡΙΑ Κ 128 - ΑΘΗΝΑΙ - ΤΗΛ. 94 24 582

Ἡ Δυναμοηλεκτρικὴ μηχανὴ τοῦ Gramme.

